原子炉施設故障等報告書

平成１７年　3月　1日　　関西電力株式会社

件　　名	美浜発電所３号機　二次系配管破損事故について
事象発生の日時	平成１６年８月９日　１５時２２分（「火災報知器動作」警報等発信）
事象発生の場所	美浜発電所３号機　タービン建屋
事象発生の原子炉施設名	蒸気タービン設備　主復水管
事象の状況	１．事象発生時のプラント状況 平成１６年８月９日、定格熱出力一定運転中のところ、１５時２２分に中央制御室の「火災報知器動作」「３Ｂ直流接地」警報、１５時２３分に「３Ａ直流接地」警報が発信した。このため、運転員が中央制御室の表示盤で火災報知器動作箇所が脱気器に隣接しているタービン建屋２階のエリアであることを確認し、点検のためタービン建屋３階面入口から建屋内に入ったところ、脱気器に隣接しているエリアに蒸気が充満していることを確認した。 このことから、２次系の配管から蒸気または高温水が漏えいしている可能性が高いと判断し、１５時２６分から緊急負荷降下を実施していたところ、１５時２８分に「３Ａ　ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ」警報が発信し、原子炉が自動停止、続いてタービンが自動停止した。 プラントの自動停止状態に異常はなく、１次冷却材温度、加圧器水位・圧力、蒸気発生器（以下「ＳＧ」という）水位等が安定したことから、１５時３５分に原子炉は高温停止状態で安定していることを確認し、さらに、原子炉の低温停止操作は８月１０日２３時４５分に完了した。 タービン建屋内の点検を実施し、８月９日１７時３０分に脱気器に隣接しているタービン建屋２階エリアの天井付近にある第４低圧給水ヒータから脱気器へ至るＡ系の復水配管に破口部を確認した。破口が認められた部位は、２系統（Ａ・Ｂ系）ある復水配管のうち、Ａ系配管であり、Ａ系の復水流量を計測するオリフィス下流側近傍であった。また、Ａ系配管の破口部付近や周辺の配管に取り付けていた保温材は付いておらず、周囲に散乱している状況であった。 本事象は、２次系設備に起因する事故であり、環境への放射能の放出はなく、環境への影響もなかった。 ２．被災者の状況および初動対応 事故発生当時、タービン建屋内には、当社社員１名と８月１４日から予定していた美浜３号機第２１回定期検査の準備作業等に携わっていた協力会社作業員１０４名がおり、破損したＡ系復水配管の付近で準備作業に従事していた協力会社作業員１１名が被災（熱傷）した。 運転員がタービン建屋２階のエレベータ前で倒れている被災者を発見し、発電室長等を経由して所長室員が１１９番救急通報を実施した。 被災した協力会社作業員は、当初、当社社員および他の協力会社作業員により、その後、消防署救急隊員も加わり、順次タービン建屋外へ運ばれ、救急車で病院へ運ばれた。１１名のうち、５名が亡くなり、６名が熱傷のため入院（うち５名は退院［平成１７年２月２８日現在］）された。
事象の原因	１．配管破損メカニズムおよび設備への影響評価 （１）配管破損メカニズムに関する評価 ａ．配管調査 ・Ａ系配管（破損配管）の外観観察を行った結果、頂上部近傍で軸方向および周方向に大きく破口し、破口幅は、軸方向に約５１５mm、周方向に約９３０mmであり、下流側に向かって、右方向に進展したき裂は、上流側、下流側ともに溶接部直近で停止し、左方向に進展したき裂は、管底部近傍で停止していた。 ・Ａ系配管およびＢ系配管について、超音波肉厚測定器による肉厚測定を行った結果、いずれもオリフィス下流側において、ほぼ全周にわたり減肉傾向が認められ、最も薄い箇所はＡ系配管：０．４mm、Ｂ系配管：１．８mmであった。 ・Ａ系配管のオリフィス下流側について、破口部からデジタルマイクロスコープで内面を観察した結果、残留水によって表面が腐食し表面状態が変化したと推定される１８０°位置（配管底部）を除くすべての内面に、約１mm幅の鱗片状模様が一様に認められ、オリフィス近傍では約３～５mm幅とやや大きいものであった。 ・破面の観察を行った結果、延性破壊の特徴であるディンプルが観察された。 以上のことから、当該部位はオリフィス下流部でエロージョン／コロージョンが発生したことにより減肉が進行し、肉厚が薄くなった部位を中心に延性破壊によるき裂が発生し

事象の原因	た結果、破損したものと推定される。 b特性要因図による主な評価結果 ・当該部位はPWR管理指針において管理すべき箇所として登録されていれば適切な管理が可能であったが、登録漏れのため、PWR管理指針に則った管理が行なわれていなかった。 ・当該配管の材料は炭素鋼（SB42）であり、内面に鱗片状模様が認められたことから、エロージョン／コロージョンであると考えられる。 以上のことからエロージョン／コロージョンによる減肉が、PWR管理指針に則った管理が行われていなかった当該部位で進行したことにより、肉厚が薄くなり内圧によって破損したものと考えられる。 c．試験・解析によるエロージョン／コロージョン評価 A系配管とB系配管のオリフィス下流部の流れの乱れの状況を確認するために、試験および解析を実施した。その結果、A系配管・B系配管ともに旋回流が発生し流れに乱れが発生していることを確認した。また、A系配管はB系配管に比べて強い旋回流が発生し、オリフィス下流部で比較的大きな非定常な流れの乱れが発生しているという特徴を確認した。 以上の検討から、配管破損メカニズムはオリフィス下流部での流れの乱れによってエロージョン／コロージョンによる減肉が、PWR管理指針に則った管理が行なわれていなかった当該部位で進行したことによって、肉厚が薄くなり内圧によって破損したものと考えられる。 （2）事故による設備への影響評価 a．復水配管破損による影響 現場点検を実施し、床面や設備に残った水分痕を確認することにより、熱水および蒸気の影響範囲を確認した。 周辺配管の保温材落下状況等より破口部からの噴出水による影響は、破口部上方および配管内部から見た破口部の前方約7mの範囲であった。 破口部から流出した蒸気は、タービン建屋全域に広がるとともに、制御建屋・中間建屋・中央制御室に侵入したものと推定される。 b．プラントの安全停止に係る設備への影響調査結果 事故の影響を受けたと推定される範囲内に設置されている安全系設備の内、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁は、事故時に直流接地警報が発信した。また、中央制御室制御盤、計器用電源設備および直流電源設備は、蒸気の侵入が認められた。また、事故の影響範囲に設置されている安全系設備以外の設備については、脱気器内部構造物の変形、給水ポンプモータ内部の発錆等が認められた。 ・主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の端子箱の内部に熱水が浸入し、直流電源回路に直流電源回路に片側接地を生じていたが、電磁弁の駆動電源が確保されていたことから、事故後に主蒸気隔離弁を閉止することができた。 ・中央制御室制御盤内のケーブル床貫通部等にシール処理の不適切な箇所があったため、蒸気が中央制御室制御盤内等に侵入したが、事故時は正常に動作した。 2．2次系配管肉厚管理に関する評価 全プラントの2次系配管の肉厚管理状況について調査した結果、PWR管理指針に規定される主要点検部位に対して2次系配管肉厚管理が未実施の部位が15箇所（美浜3号機の当該部位およびB系の同一部位を除く）あることを確認した。 3．2次系配管肉厚管理システムの検討 a．業務の計画・体制において ・PWR管理指針は2次系配管肉厚管理業務の基本ルールを定めたものであり、具体的な業務の役割と責任分担等、業務の計画を綿密に定めていなかった。 ・2次系配管肉厚管理業務のデータをチェックするための人的資源が不十分であった。 ・2次系配管肉厚管理業務のデータをチェックするための機械化が不十分であった。 ・2次系配管肉厚管理の点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。 b．調達管理において ・協力会社を信頼し、詳細を明示しなくてもやってくれているだろうとの思い込みから、点検対象漏れ発見時の当社への報告等、外注先に対する要求仕様が記載されていなかった。 ・要求事項で記載しきれない、あるいは予想できない異常や不具合を発見したときに、契約先である協力会社とその情報を共有できるプロセスが明確でなかった。 ・三菱重工業から提出された工事計画や結果報告にはPWR管理指針が引用されていたものの、当社としては、点検リストに照らして充足したものであることを確認していなかった。 c．情報の共有において ・不適合の定義が明確ではなく、「点検リスト漏れ」を不適合として水平展開できなかった。

事象の原因	・事業者間の水平展開ができなかった。 ・三菱重工業から当社に対して、ＰＷＲプラントに共通の点検・調査において、不具合等がいずれかのＰＷＲプラントにおいて発見されたとき、当社に確実に伝わる仕組みがなかった。 ・当社社員と協力会社社員との接触が少なく、コミュニケーションが不十分であった。 ｄ．教育において ・配管からのリークは発生しても最初は小リークで、大きな破損が直ちに起こり、甚大な被害をもたらすとは考えておらず、米国サリー発電所での２次系配管破損事故（以下、「サリー事故」という）のような危機に対する意識付けが不十分であった。 ・サリー事故に対する教訓が必ずしも正確には伝わっていなかった。 ・２次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性について認識不足であった。 ・調達管理の重要性に関する教育が不十分であった。 ｅ．監査において ・内部監査（第一者監査）は、社内標準類の整備状況や整合性に力点が置かれ、その社内標準に基づく業務の詳細な実施状況はサンプル的に確認することにとどまっていた。 ・協力会社に対する監査（第二者監査）についても、主として品質保証体制の整備状況に関するものとなっていたため、個別業務の実施内容まで踏み込めていなかった。 ４．被災者救出に関する初動対応 ａ．被災者救出のため、消防・救急への通報を行ったが、所内連絡の一部に消防計画にあらかじめ定められていた経路にて連絡されていなかった。 ｂ．当初、当社社員等による救出活動の際、耐熱服を着用していなかった。 ｃ．作業人員把握等の状況を迅速に消防・救急に対して説明できる体制となっていなかった。 ｄ．管理区域外での災害で被ばく・汚染がなかった場合は、その旨を当社から医療機関へ直接連絡する仕組みとなっていなかった。 ｅ．迅速に作業責任者等を通じて作業者の安否確認をすることができなかった。 ５．事故発生時のプラント状況に関する評価 （１）運転パラメータおよび運転操作 事故発生前の運転パラメータには当該配管破損の兆候を示す変化は認められなかった。 また、事故時における原子炉停止操作については、運転マニュアルに基づき実施していることを確認した。 （２）プラントの挙動評価 ａ．１次系のプラント挙動 今回の事故は、ＳＧ器内水の放出はなく、１次冷却材ポンプも停止していないこと等から、安全解析の評価結果の範囲内であり、原子炉の冷却は正常に行われ、原子炉への影響はなかった。 ｂ．２次系のプラント挙動 脱気器へ流れる復水流量は、１５時２３分からＡ系が増加、Ｂ系が急激に低下し、Ｂ系流量は「０ｔ／ｈ」となり、脱気器水位が急激に低下している。Ａ系流量については、２次系のプラント挙動再現解析を行なった結果、最大約４，６００ｔ／ｈとなった。 復水配管からの流出量は、２次系純水タンクからの補給水（約５６５ｔ）および系統保有水減少分（約３２０ｔ）から、合計で約８８５ｔと推定される。
保護装置の種類及び動作状況	「３Ａ ＳＧ給水<蒸気流量不一致トリップ」による原子炉自動停止　動作「適」
放射能の影響	な　し
被　害　者	１１名被災（熱傷）　うち５名が死亡
他に及ぼした障害	な　し
復旧の日時	未　定

再発防止対策	1．２次系配管破損に関する対策 破損した配管は、経済産業省からの「美浜発電所３号機に対する技術基準適合命令について」（平成１６・０９・２２原第１８号　平成１６年９月２７日付）により、第４低圧給水ヒータ出口弁から脱気器入口までの間について技術基準に適合するよう、配管の取替え等復旧を行い、かつ技術基準に適合していることを確認する。 ・既にステンレス鋼配管としている復水配管ヘッダ部については、技術基準が要求する計算必要厚さを満足していることを配管肉厚測定により確認する。 ・復水配管ヘッダ出口から脱気器入口については、現状の炭素鋼から耐食性に優れたステンレス鋼配管に取替えるとともに、材料変更に伴い、運転中に受ける熱の影響を緩和する観点から、一部配管支持構造物配置の見直しを実施する。また、配管取替工事にあたっては、材料、構造の技術基準適合確認検査を実施する。新設配管についても配管肉厚測定を実施する。 2．２次系配管肉厚管理に関する対策 ・主要点検部位について、「余寿命が５年未満となる時期に点検を行なう。さらに余寿命が５年未満の場合は取替・溶接補修を立案し、余寿命がゼロ年になるまでの間に補修すること、また、補修までの間は、定期検査において毎回点検する」と変更した。（管理指針改善済） ・その他に分類されている部位の未点検箇所については全て至近３回以内の定期検査において点検する。（管理指針改善済） ・肉厚測定範囲、測定ポイントおよび詳細測定方法を明記（管理指針改善済） ・過去減肉データの分析に基づき、当社の管理指針、点検計画を見直す 現在、（社）日本機械学会において、減肉管理の機能性規格の策定およびそれをふまえた技術規格が検討されている。これらの規格が策定されるまでの暫定措置として、行政文書の発出がされたが、これらに適切に対応していく。 3．２次系配管肉厚管理システムに関する対策 （1）２次系配管肉厚管理業務に反映すべき品質保証上の対策 a．業務の計画と体制 ・直営化までの間の２次系配管肉厚管理業務の当社による主体的管理の実施 ・当社現場立会い等の強化 ・２次系配管肉厚管理業務の直営化 ・２次系配管肉厚管理業務に携わる人員の強化 ・原子力データ処理システムの改善および高度化 ・経年変化点検管理票の定期的なレビューの実施 b．調達管理 ・協力会社および社内の役割分担の明確化 ・点検対象漏れ発見時の報告等調達要求事項の明確化 ・検収時に確認すべき内容・方法の明記と周知徹底 c．情報の共有 ・「点検リストの漏れ」に関する事例の社内標準への反映 ・「点検リストの漏れ」以外の事例の確実な水平展開の実施 ・情報管理専任者の設置による水平展開の確実な実施 ・重要情報がキーパーソンへ直接入るシステムの構築 ・「点検リストの漏れ」のような事例の国内電力会社間での水平展開の仕組みの改善 ・電力・メーカ間の保全情報共有化の仕組みづくり ・水平展開された知見を協力会社と共有する仕組みの構築 ・協力会社とのコミュニケーションの充実 ・現場における作業員とのコミュニケーションの充実 d．教育 ・美浜３号機二次系配管破損事故による教訓等の事例周知 ・２次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性に関する項目の教育システムへの組み込み ・調達管理の重要性に関する教育の充実 e．監査 ・個別業務の業務実施内容に沿って詳細に確認する業務プロセスに着目した監査へのシフト （2）PWR管理指針の的確な運用 PWR管理指針では、余寿命が２年以下と評価された場合には取替計画を策定することとなっているが、調査の過程で、「発電用火力設備の技術基準の解釈について」を誤って解釈し、適用していた事例があったため、以下の対策を実施することとした。 ・技術基準の解釈に明記されている別表の許容値を厳正に用いて運用する。

再発防止対策	・当社の管理指針について、「余寿命が５年未満となる時期に点検を行なう。さらに、余寿命が５年未満の場合は取替・溶接補修を立案し余寿命がゼロ年になるまでの間に補修すること、また、補修までの間は、定期検査において毎回点検を継続する」と改正した。また、事前に補修方法や補修用部材を準備しておくなどの運用・管理を適切に実施する。 ・技術基準を運用する者が適切に技術基準を理解できるよう教育を実施する。 （３）労働安全活動に反映すべき対策 ・事故後、運転中のプラントへの立ち入り制限を実施。当面、定期検査前準備作業を不実施。事前準備作業の内容、優先度および重要度を精査。 ・管理区域内外の発災を問わず、被ばく・汚染の有無に関する情報を確実に救急隊ならびに医療機関に連絡するよう、社内標準に反映した。 ・救急通報のルール遵守を周知徹底した。 ・救出活動にあたる際の注意事項について周知徹底した。 ・消防・救急の現地指揮本部と連携強化を図るため、必要な説明が速やかに行える体制とした。 ・作業エリアへの入域システムによる、現場での作業人員の的確な把握を行なう運用とした。 ・発電所内の作業者に対して、プラントの運転状態に応じた危険箇所の周知等を行なうよう、各発電所作業担当箇所に指示し、各発電所は現場作業従事者に周知・説明した。 ・立入制限中の現場には、耐熱服の設置場所、安全通路を表示するとともに主復水・主給水系統の配管については点検状況等を記載した表示札の取り付け。 ・入構時安全衛生教育に災害発生時の避難経路、耐熱服の設置場所などの項目を追加する。 ４．事故再発防止対策の保全業務への水平展開 （１）業務の計画と体制 当社の原子力発電所の保全業務は、業務の計画と結果の評価は当社が行ない、現場作業を外注することを基本としてきたが、２次系配管の肉厚管理業務は、業務の計画段階で、当社・メーカ・協力会社の役割分担が不明確であった。この反省から当社の保全業務全般について役割分担をより明確にする。 工事の安全上の重要度、必要とされる技術力や法的な位置付け、工事形態などに応じて役割分担を定めて基本計画を策定し、それぞれの工事の種別ごとに類型化しルール化する。 （２）調達管理 ａ．請負工事に加え委託調査も含めた、当社の役割の明確化 ｂ．調達要求事項記載内容のさらなる明確化と周知徹底 ｃ．検収時に確認すべき内容・方法の明確化と周知徹底 （３）情報の共有 ａ．「点検リストの漏れ」に関する事例の社内標準への反映 ｂ．「点検リストの漏れ」以外の事例の確実な水平展開の実施 ｃ．情報管理専任者の設置による水平展開の確実な実施 ｄ．重要情報がキーパーソンへ直接入るシステムの構築 ｅ．「点検リストの漏れ」のような事例の国内電力会社間での水平展開の仕組みの改善 ｆ．電力・メーカ間の保全情報共有化の仕組みづくり ｇ．水平展開された知見を協力会社と共有する仕組みの構築 ｈ．協力会社とのコミュニケーションの充実 ｉ．現場における作業員とのコミュニケーションの充実 （４）教育の充実 ａ．美浜３号機二次系配管破損事故による教訓等の事例周知 ｂ．業務の計画や調達管理に関する教育の充実 （５）監査の強化 品質・安全監査室による内部監査および原子力部門による協力会社に対する監査について、より現場に密着した業務プロセスに着目した確認ができるような体制を構築する。 ５．事故により影響を受けた設備の措置 ・主蒸気隔離弁駆動用電磁弁を収納しているパネルを防水型のものに変更する。 ・中央制御室制御盤等、壁床貫通部の隙間のある箇所に適切なシール施工を実施する。 ・脱気器損傷部修理、発錆部の手入れ等、今後必要な処置を実施し、健全性を確認する。

美浜発電所３号機　二次系配管破損事故について

関西電力株式会社

平成１７年３月

目　　次

はじめに・・・

第８章　事故再発防止対策の保全業務への水平展開

１．業務の計画と体制・・・３７

２．調達管理・・・３７

３．情報の共有・・３８

４．教育の充実・・３８

５．監査の強化・・３８

６．労働安全活動・・３９

７．高経年化対策・・４０

８．地元からの信頼回復・・・４１

第９章　対策の確実な実施とフォロー・・・４２

おわりに・・・４３

はじめに

当社は、平成１６年８月９日、美浜発電所３号機において２次系配管の破損事故を発生させました。この事故により、５名もの方が尊いお命を亡くされ、６名の方が重傷を負われました。被災者、ご遺族、ご家族の皆様に、改めて深くお詫びを申し上げますとともに、亡くなられた方々のご冥福を心からお祈り申し上げます。

また、日頃から発電所の維持運営にご協力をいただいている協力会社の皆様や、美浜町、地元の自治体、福井県、隣接の府県の皆様、さらには、国をはじめ各方面の皆様に大変なご迷惑をおかけするとともに、広く国民の皆様にご不安を与え、ご心配をおかけしたことを、改めて深くお詫び申し上げます。

今回の事故後、社長は、直ちに「二度とこのような事故を起こさないため、徹底した原因究明と再発防止策に全社をあげて取組む。」とのメッセージを発し、全役員・全従業員一丸となって、信頼回復に向けて取組んでまいりました。

平成１６年９月２７日には、原子力安全・保安院から『美浜３号機二次系配管破損事故に関する中間とりまとめ』（以下「中間とりまとめ」という）が公表され、当社も、「直ちに実施する対策」に加え、「当面とるべき対策」などをとりまとめ、国、福井県、美浜町をはじめ、各立地町、近隣の自治体にご報告申し上げました。

このたびの事故の直接的な原因は、すでに昨年９月の原子力安全・保安院の『美浜３号機二次系配管破損事故に関する中間とりまとめ』の中で、「関西電力、三菱重工業、日本アームの３者が関与する２次系配管の減肉管理ミス」によって、「要管理箇所が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと」とご指摘いただいておりますように、当社の２次系配管肉厚管理に関する品質保証システムや保守管理システムの整備が不十分であったため、本来管理されるべき部位が、当社の管理する対象から漏れて、長年そのまま管理されず、ついには、当該部位が破損して高温高圧の蒸気が噴出し、重大な人身事故に至ったものであります。

当社は、設備を設置、運営管理する者として、管理されるべきものが管理範囲外におかれていることを修正できず、重大な事故に至った責任を痛感いたしますとともに、二度とこのような事故を起こしてはならないとの強い決意のもと、これらシステムの見直しを喫緊の課題として取組み、再発防止対策を検討してまいりました。原因の究明、対策の検討にあたっては、過去の業務プロセスを詳細に調査いたしました。そこから抽出された要因に応じ、必要部位についてはすべて当社管理範囲内に取り込み確実に管理する等の２次系配管肉厚管理に関する対策、労働安全活動の充実等の対策、ならびに、２次系配管肉厚管理業務に関する対策のうち保全業務品質向上の観点から、業務全般に反映すべき対策をとりまとめ、事故発生以後、当社がこれまで取組んでまいりました原因の調査・検討の内容とあわせ、ここにご報告申し上げるものであります。

第１章　体制と進め方

１．検討の体制

社長は、事故後直ちに全社をあげて事故への対応に取組むことを決定し、その拠点として、自らを本部長とする「非常災害対策本部」を設置し、関係箇所への指示、事故情報の連絡や報道発表等の対応を行なうこととした。

平成１６年８月１７日、事故原因の究明、事故再発防止対策の検討を行なうため、「美浜発電所３号機事故対策委員会」（以下「事故対策委員会」という）を設置した。また、その下部に、配管破損メカニズム等事故に関する技術的、物理的な側面以外の原因究明に焦点をあて、事故に至るまでの事実関係を社内第三者の立場で調査する「専門調査部会」を設置し、調査を開始した。同年９月２日、この専門調査部会を、原子力関係者以外の委員で構成する、より独立性を高めた、「美浜発電所３号機事故原因検証委員会」（以下「原因検証委員会」という）に改め、原因検証委員会の下部検討組織として「事故原因検証ワーキンググループ」を設けた。

同年８月２７日には、現行の保全体制の課題を整理し、保全業務の高度化を目指すために、社外の専門家も参画する「原子力保全機能強化検討委員会」（以下「保全機能委員会」という）を設置し、「事故対策委員会」ならびに、「原因検証委員会」からの検討結果の報告を受け審議を行なうこととした。

「保全機能委員会」には、調査・検討の客観性を確保する観点から、原子力部門以外の委員も参加しているほか、社外有識者として、品質管理、法律、原子力の専門家に委員としてご就任いただき、調査・検討の方法や評価、対策の立案に対して幅広くご意見をいただいた。

（開催実績：保全機能委員会９回、事故対策委員会６回、原因検証委員会４回）

なお、従来から社内に設けている「品質・安全委員会」にも適宜報告を行ない、客観的な指導・助言を得ることとした。

これらの委員会の体制を図―１に示す。各委員会の役割は次のとおりである。

（１）「原子力保全機能強化検討委員会」

保全機能強化という観点から、検討の方向性を「事故対策委員会」および「原因検証委員会」に示し、必要な指示を与える。検討結果の報告を受け、事故の直接的な要因、背景となる間接的な要因を踏まえた再発防止策および原子力保全業務全般の高度化対策を立案する。

さらに、本委員会独自に協力会社、メーカ、当社内、社外有識者等に聞き取り等の調査を行ない、結果を対策に反映するとともに、必要に応じて全社展開すべき対策を社長に進言する。

（２）「美浜発電所３号機事故原因検証委員会」

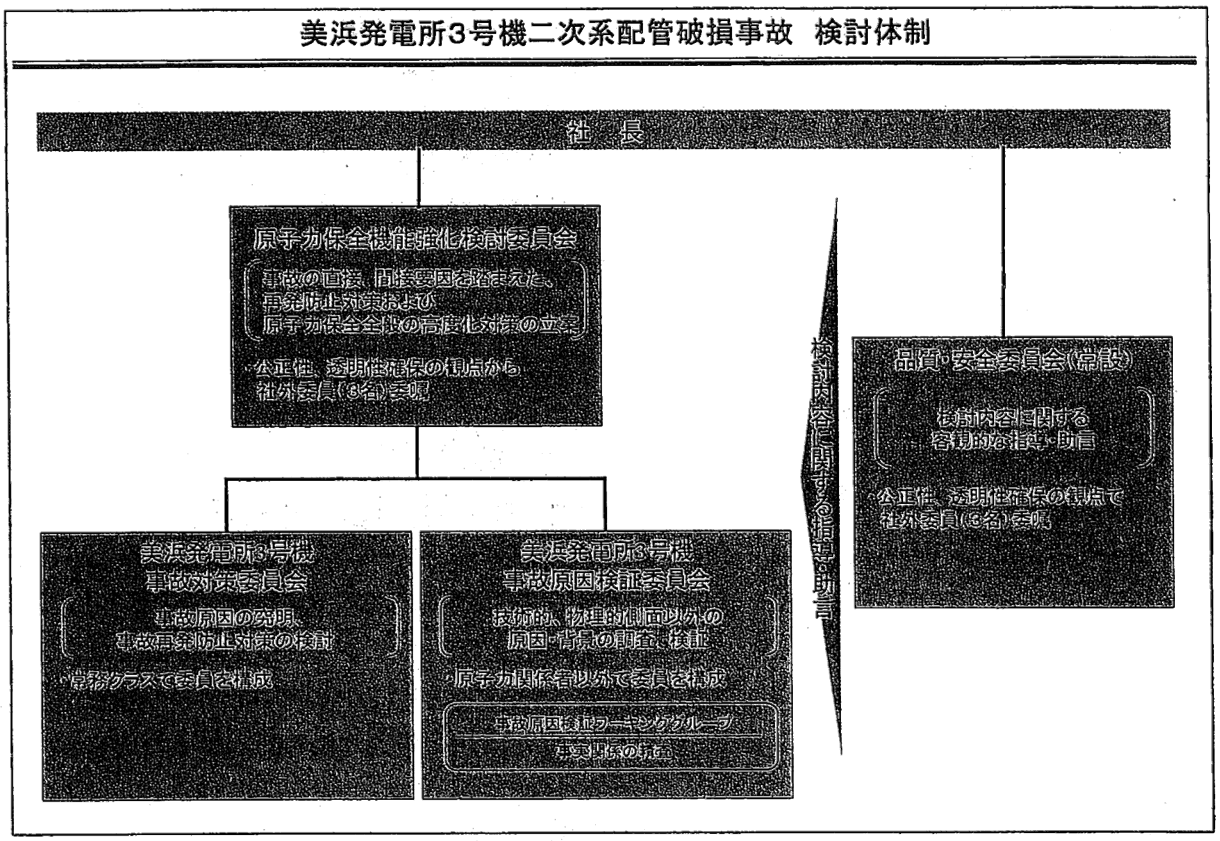
技術的、物理的側面以外の原因に焦点を当て、事故に至るまでの事実関係の調査・検証を行なう。その結果を、「保全機能委員会」に報告し、必要な指示を受ける。

（３）「美浜発電所３号機事故対策委員会」

「保全機能委員会」から指示を受け、２次系配管の破損メカニズムに関する技術的・物理

的側面に関する検討を行なう。さらに、「原因検証委員会」の調査結果から、直接的要因と背景となる要因を抽出し、対策の検討を行なう。

その結果については、「保全機能委員会」に報告し、必要な指示を受ける。



図－１

２．検討の進め方

当該破損部位の破損のメカニズム、および、その部位が事故発生時点まで肉厚測定されなかったのはなぜか、の２点から検討を実施した。

破損メカニズムについては、現場調査の確認結果を踏まえて、ＦＴ図を用いて破損に至る可能性を列挙した上で、その一つ一つについて技術的検討を実施した。

破損部位が事故発生時まで肉厚測定されなかったことについては、事実関係の調査結果に基づき、原因の検討を進めた。

まず、「要管理箇所（当該オリフィス下流部）が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと」について、「原子力設備２次系配管肉厚の管理指針（ＰＷＲ）」（以下「ＰＷＲ管理指針」という）の制定・運用から事故発生に至るまでのプロセスごとに、社内原子力部門、三菱重工業、日本アームに対して書類調査ならびにヒアリングを行ない、事実関係を把握した。それらの事実関係の中から点検箇所の漏れにつながった直接的な要因を抽出するとともに、その背景となる要因についても、意識、組織、環境の面からルート・コーズ・アナリシス（以下「ＲＣＡ」という）の手法を参考に抽出した。

そして、抽出された事故の要因を、「原子力発電所における安全のための品質保証規程」（ＪＥＡＣ４１１１－２００３）の要求事項で分類・整理し、対策を講じることとした。

さらに、より信頼性の高い発電所運営を目指し、こうした対策を２次系配管肉厚管理業務以

外の保全業務全般に対しても、水平展開することにより、継続的な改善に努めることとした。

また、われわれが常日頃より『安全』を重視し運転を行なっている原子力発電所において、１１名の方が死傷された極めて重大な人身事故を起こし、地元をはじめ国民の皆様に大変なご心配をおかけしたことを深く反省し、より安全で、より安心な原子力を目指すという観点から、労働安全をはじめ、高経年化対策、さらに事故後ご指摘を受けたＰＷＲ管理指針の不適切な運用についても、万全の対策を講ずるべく取組んでいくこととした。

第２章　事故発生の状況

１．事故発生時のプラント状況　（添付資料２－１～８）

平成１６年８月９日、美浜３号機は定格熱出力一定運転中であり、２次系の給水・復水系統等の主要パラメータは安定しており、運転員による巡回点検（直近の巡回点検８月９日１１時頃（＊））でも異常は認められていなかったが、１５時２２分に中央制御室の「火災報知器動作」「３Ｂ直流接地」警報が発信し、引き続き１５時２３分に「３Ａ直流接地」警報が発信した。

このため、運転員が中央制御室の表示盤で火災報知器動作箇所を確認したところ、脱気器に隣接しているタービン建屋２階のエリアであることを確認した。直ちに運転員が点検のため中央制御室を出てタービン建屋３階面の入口から建屋内に入ったところ、脱気器に隣接しているエリアに蒸気が充満していることを確認した。

このことから、２次系の配管から蒸気または高温水が漏えいしている可能性が高いと判断し、１５時２６分から緊急負荷降下（発電機負荷降下率５％／分）を実施していたところ、１５時２８分に「３Ａ　ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ」警報（＊＊）（以下「原子炉自動停止信号」という）が発信し、原子炉が自動停止、続いてタービンが自動停止した。

補助給水ポンプ３台のうち、電動補助給水ポンプ２台は原子炉自動停止信号発信前の１５時２８分に主給水ポンプ全台停止（運転中のＡ・Ｂ機停止）により自動起動し、タービン動補助給水ポンプ１台は蒸気発生器（以下「ＳＧ」という）水位異常低（狭域水位の１３％）で１５時２８分に自動起動した。

プラントの自動停止状態に異常はなく、１次冷却材温度、加圧器水位・圧力、ＳＧ水位等が安定したことから、１５時３５分に原子炉は高温停止状態で安定していることを確認し、さらに、原子炉の低温停止操作は８月１０日２３時４５分に完了した。

＊：巡回点検の着眼点

目視による漏えい（可視範囲での配管保温表面の確認、床面が濡れていないことの確認）の有無、異音・異臭の有無、主要な現場監視計器指示値確認

＊＊：ＡＳＧ水位低（設定値：狭域水位の２５％）

＋ＡＳＧ給水＜蒸気流量不一致（設定値：３１２ｔ／ｈ）で警報発信

運転員がタービン建屋内の点検を実施した結果、８月９日１７時３０分に脱気器に隣接しているタービン建屋２階エリアの天井付近にある第４低圧給水ヒータから脱気器へ至るＡ系の復水配管に破口部を確認した。破口が認められた部位は、２系統（Ａ・Ｂ系）ある復水配管のうち、Ａ系配管（２階床面から約４．５ｍの高さ）であり、Ａ系の復水流量を計測するオリフィスの下流側近傍であった。また、Ａ系配管の破口部付近や周辺の配管に取付けていた保温材はついておらず、周囲に散乱している状況であった。

なお、復水配管の破損時期については、１５時２２分に中央制御室の「火災報知器動作」「３Ｂ直流接地」警報が、また１５時２３分に「３Ａ直流接地」警報が発信しており、これらの警報が高温・高圧（約１４０℃、約１ＭＰａ）の熱水またはその水蒸気によるものと考えると、破損した時期は同警報発信と同時期の可能性が高いと考える。

2．周辺環境への影響　（添付資料２－９，１０）

２次系設備に起因する事故であり、環境への放射能の放出はなかった。また、野外モニタおよびプロセスモニタを調査した結果、事故発生前後で有意な指示変化は認められず、環境への影響もなかった。

なお、念のため復水のトリチウム濃度を分析した結果、検出限界値未満（検出限界値：０．１Ｂｑ／ｃｍ^3）であった。

3．被災者の状況および初動対応　（添付資料２－１１～１４）

（1）被災者の状況

a．被災状況

事故発生当時、美浜３号機のタービン建屋内には、当社社員１名と８月１４日から予定していた美浜３号機第２１回定期検査の準備作業等に携わっていた協力会社作業員１０４名がいた。このうち、破損したＡ系復水配管の付近で準備作業（床の養生、作業エリアの区画、工具類の搬入等）に従事していた協力会社作業員１１名が被災（熱傷）した。

運転員が、１５時２７分タービン建屋２階のエレベータ前で倒れている被災者を発見し、中央制御室の制御員へ連絡、制御員から報告を受けた当直課長が救急車の出動要請を発電室長経由にて所長室長へ依頼し、所長室員が１５時３０分～１５時３５分にかけて１１９番救急通報を実施した。

被災した協力会社作業員は、当初は当社社員および他の協力会社作業員により、その後は当社からの１１９番通報で駆けつけた消防署救急隊員も加わって、順次タービン建屋外へ運ばれた後、救急車で病院へ運ばれた。病院へ運ばれた１１名のうち、５名が亡くなり（うち１名は８月２５日に亡くなった）、６名が熱傷のため入院（うち５名は退院（平成１７年２月２８日現在））された。なお、入院された被災者の方々の状況は以下のとおり。

継続して入院中の方：１名

退院された方：５名（それぞれ平成１６年８月２４日、９月２４日、１０月８日、１０月２３日、平成１７年１月２１日退院）

（2）被災者救出に関する初動対応

a．被災者救出のための通報連絡

１５時２２分の「火災報知器動作」を受けて直ちに「タービン建屋火災発生」の一斉放送を行なった。その後、運転員が現場に向かい状況確認を行なうまでに５分、次に、電話等による連絡に３分を費やして、所内連絡を実施した。

しかしながら、通報経路は、発見者（現場）→制御員（中央制御室）→当直課長（中央制御室）→発電室長（対策本部）→所長室長（対策本部）となっており、消防計画にあらかじめ定められていた経路とは制御員と発電室長を経由した点が異なっており、火災発生確認後速やかに定められた通報経路にて連絡されていなかった。

なお、１１９救急通報については、１５時３０分に第一報として、「会社名」、「所在地」、「連絡者の所属・氏名」、「３号機タービン建屋で蒸気の充満により、作業者が３名以上倒れていること」、「被ばく者がいないこと」、「救急車の出動要請」を連絡し、１５時４３分に第二報として、「救急車の出動の追加要請」を連絡した。

b．現場での被災者救出

１５時３０分以降、各課および協力会社から救出要員が現場に急行し、１５時３５分～１５時５０分に６名を救出した。このとき、救出要員は建屋内の温度、視界などの状況を十分確認し、自分達の安全が確保できる場所で活動したことから、耐熱服は着用していなかった。

なお、１６時００分～１６時３０分に消防署救急隊と当社社員が共同で捜索を行ない、５名を救出したが、このときの捜索メンバーは耐熱服を着用していた。

c．消防・救急との連携

１６時１３分に消防・救急の現場指揮本部へ発電所管理職を当社窓口として派遣し、現場の状況等の連絡を行なった。しかしながら、作業人員把握等の状況を迅速に消防・救急に対して説明できる体制となっていなかった。

d．医療機関への情報連絡

被災者受入先の医療機関より、消防からは管理区域外の災害であるとは聞いているが、念のため、放射線管理課員を派遣しサーベイを実施する様、要請を受け、当社より人員を派遣し、サーベイを実施した。

これは、管理区域外での災害で被ばく・汚染がなかった場合は、その旨を当社から医療機関へ直接連絡する仕組みとなっていなかったためである。

e．作業者の安否確認

被災者の救出が完了した後も、消防署救急隊と当社社員および他の協力会社作業員による建屋内の捜索活動は続けられ、１９時００分に全ての捜索を完了し、その他に負傷者がいないことを確認した。

しかしながら、作業者の安否確認は作業責任者等を通じて、より迅速に確認することが可能であり、この情報は現場での捜索活動にも有益となる。

第３章　事故発生時のプラント状況に関する検討

１．運転パラメータおよび運転操作　（添付資料３－１～６）

事故発生の前後の運転パラメータについて調査したところ、当該配管破損前には破損の兆候を示す変化は認められなかった。また、事故時の運転パラメータおよび運転確認状況から、今回の事故時における原子炉停止操作については、運転マニュアルに基づき実施していることを確認した。

しかしながら、今回のような脱気器水位制御弁の閉止操作等の２次系配管破損事故時に流出量を低減する具体的な対応操作を記載した運転マニュアルがないことから、事故に備えた運転マニュアルの充実等（原子炉手動トリップの実施および脱気器水位制御弁の早期閉止の運転マニュアルへの反映ならびにシミュレータ訓練による事故対応能力の向上）を行ない、後述する事故時の配管からの流出量の低減を図る。

２．プラントの挙動

（１）１次系のプラント挙動　（添付資料３－７，８）

美浜発電所原子炉設置変更許可申請書において、給水系配管に破断が生じ、２次冷却材が喪失し、原子炉の冷却能力が低下する事故として「主給水管破断」を想定している。

「主給水管破断」事故では、主給水管の逆止弁とＳＧの間の配管破断による破断口を通じてのＳＧ器内水の放出、外部電源の喪失による１次冷却材ポンプの停止等を仮定しているのに対して、今回の事故においては、主給水管の逆止弁よりさらに上流側の復水配管の脱気器入口での破損であったことからＳＧ器内水の放出はなく、１次冷却材ポンプも停止していないこと等から、安全解析の評価結果の範囲内であり、原子炉の冷却は正常に行なわれ、原子炉への影響はなかった。

なお、１次系のプラント挙動再現解析を行なった結果、解析結果と実機のプラント挙動はよく一致しており、解析により、今回の事故時挙動を再現することができた。

（２）２次系のプラント挙動　（添付資料３－８，９）

ａ．復水流量および流出量

通常Ａ・Ｂの２系統で脱気器へ流れる復水流量は、１５時２３分から破口が認められたＡ系が増加、Ｂ系が急激に低下している。その後、Ｂ系流量は１５時２４分以降「０ｔ／ｈ」となっており、脱気器水位が１５時２３分頃から急激に低下している。

なお、Ａ系流量については１５時２４分から１５時３１分の間は計測器のレンジオーバー（計測範囲：２，０００ｔ／ｈまで）により計測できていないが、２次系のプラント挙動再現解析を行なった結果、計測できていない期間のＡ系流量の評価値は最大約４，６００ｔ／ｈとなった。

復水配管からの流出量は、２次系純水タンクからの補給水（約５６５ｔ）および系統保有水減少分（約３２０ｔ）から、合計で約８８５ｔと推定される。

ｂ．補助給水流量制御弁の一時的な動作不具合　（添付資料３－10）

事故発生当日の１５時２８分に電動補助給水ポンプが自動起動した後、ＳＧ水位異常

低（狭域水位の１３％）によりタービン動補助給水ポンプが自動起動したが、補助給水流量が必要流量確保できていることから、１次冷却材温度低下防止のために１５時３２分にタービン動補助給水配管のA、B、C補助給水流量制御弁（３ＨＣＶ－３１２０（以下「A弁」という)、３ＨＣＶ－３１２１（以下「B弁」という)、３ＨＣＶ－３１２２（以下「C弁」という)）３台を閉止した。

その後、ＳＧの水位が回復し安定していることから、１７時１２分にタービン動補助給水ポンプを停止し、引き続き同ポンプを自動待機状態とするために、１７時１３分にA～C弁３台の開操作を実施したところ、A、C弁２台が閉止したまま開動作しなかった。

なお、A、C弁について、翌日の１時２０分に再度開操作したところ、同弁が開動作した。

原因調査のために当該弁の分解点検を行なったが、特に異常は見られなかったことから、弁動作が不調であったときの系統状態の評価を行ない、それに基づく確認試験を実施した。

その結果、A、C弁が開動作しなかったのは、背圧がポンプ停止中の弁開放力を上回っていたためであり、ポンプ停止中の弁開放力が事故発生時の背圧と比較して小さかったのは、当該弁の設計条件に背圧がポンプ停止中の弁開放力を上回るような系統状態を想定していなかったためと推定される。

なお、B弁については、弁のシートリークによりポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が閉じ込められなかったため、正常に開動作したものと推定される。

対策としては、当該弁についてタービン動補助給水ポンプが停止中においても、設計上想定される最大背圧よりも大きな弁開放力を持たせるために、弁駆動用バネをバネ定数の大きなものに取替える。

第４章　配管破損メカニズムに関する検討

１．配管破損メカニズムの特定

配管破損メカニズムの特定にあたっては、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会美浜発電所３号機二次系配管破損事故調査委員会（以下「事故調査委員会」という）にて報告された資料等を参照し、検討した。

（１）配管調査　　（添付資料４－１，２）

ａ．外観観察

Ａ系配管（破損配管）は頂上部近傍で軸方向および周方向に大きく破口し、破口幅は、軸方向に約５１５mm、周方向に約９３０mmであった。

下流側に向かって、右方向に進展したき裂は、上流側、下流側ともに溶接部直近で停止し、左方向に進展したき裂は、管底部近傍で停止していた。

ｂ．肉厚測定

Ａ系配管およびＢ系配管について、超音波肉厚測定器による肉厚測定を実施した結果、いずれもオリフィス下流側においては、ほぼ全周にわたり減肉傾向が認められ、オリフィス上流側においては、有意な減肉傾向は認められなかった。

Ａ系配管のオリフィス端面から６９７mm（１・１／４直径付近）の破口先端部において最も薄い０．４mmの箇所が認められた。Ｂ系配管ではオリフィス端面から７３４mm（１・１／４直径付近）において最も薄い１．８mmの箇所が認められた。

軸方向の減肉量は、Ａ系配管、Ｂ系配管いずれもオリフィス下流１直径～１．５直径付近で最大となり、下流側に向かって徐々に減少している。

なお、Ａ系配管の底部（１８０°位置）の肉厚はオリフィス下流１．５直径から下流に向かってほとんど減肉しておらず他の位置と様相が異なっている。

周方向の減肉量については、Ａ系配管は頂上部に偏って減肉しており、Ｂ系配管は比較的均一に減肉している。

ｃ．配管内面観察

Ａ系配管のオリフィス下流部について、破口部からデジタルマイクロスコープで内面を観察した結果、残留水によって表面が腐食し表面状態が変化したと推定される１８０°位置（配管底部）を除くすべての内面に、約１mm幅の鱗片状模様が一様に認められた。オリフィス近傍では、鱗片状模様は約３～５mm幅とやや大きいものであった。

ｄ．破損部調査

当該配管の破損部調査結果については、第７回事故調査委員会において、下記のとおり報告されている。

（ａ）破面観察

「延性破壊の特徴であるディンプルが観察され、破面の近傍では、塑性変形に伴う硬さの上昇と伸びた金属組織が観察されたことから、配管破損は延性破壊によるものである。ただし、配管の破口部と未変形部の周長に有意な差はなく、破壊に伴う伸び

は破面近傍に集中しているものと考えられる。」

（b）材料調査

材料成分分析の結果、「A系、B系配管ともに、材料規格を満足していた。また、ミルシートとほぼ同一値であった。」

引張試験の結果、「A系、B系配管は同等であり、ミルシートとほぼ等しく異常は認められなかった。」

硬さ試験の結果、「硬さはいずれも１５０ＨＶ１前後であり大きな相違は認められない。」

（c）オリフィスベント孔下流部の調査

「オリフィスベント孔下流部において、オリフィスを支えるフランジ部に達する局所的な減肉が認められたが、破口部の減肉に影響を与えたとは考えられない。また、当該箇所の減肉は、局所的なものであり、フランジが補強部材になることからも、配管の大きな破口を引き起こす可能性はないと考えられる。」

以上の調査結果を踏まえると、オリフィス下流部に鱗片状模様を伴った減肉が認められたことから、当該部位はオリフィス下流部でエロージョン／コロージョンが発生したことにより減肉が進行し、肉厚が薄くなった部位を中心に延性破壊によるき裂が発生した結果、破損したものと推定される。

（2）ＦＴ図による検討　（添付資料４－３）

当該部位の減肉メカニズムはエロージョン／コロージョンであると考えられるが、ＦＴ図に基づき、エロージョン／コロージョンも含め、配管やオリフィスの設計面、製作面、施工面等の観点からも検討した。

a．設計面

（a）配管材料選定

当該配管部に使用している材料は、最高使用圧力、最高使用温度を考慮し「発電用火力設備の技術基準」に基づいた材料仕様を満足していることを確認した。

（b）配管材料

配管材料成分についてミルシートを調査した結果、要求仕様を満足していることを確認した。また、実機材料成分については、第７回事故調査委員会において「A系、B系配管ともに、材料規格を満足していた。また、ミルシートとほぼ同一値であった」ことが報告されている。

（c）オリフィス材料

オリフィス材料成分についてミルシートを調査した結果、要求仕様を満足していることを確認した。

（d）配管設計、支持構造物設計

「発電用火力設備の技術基準」および「ＡＮＳＩ（ＡＳＭＥ）Ｂ３１．１」に基づき設計し、適切なサポート支持条件であること、また、当該配管の切断前後の切断端移動量の計測結果から算出した配管の発生応力も、許容応力に対して十分小さいことを確認した。

（e）オリフィス設計

ＪＩＳ規格およびＡＳＭＥ規格を適用した設計を行ない、設計条件、運転条件を考慮した設計仕様であることを確認した。

b．製作面

（a）配管製作および寸法・形状

「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。また、Ａ系配管およびＢ系配管の実機配管の寸法を測定した結果、Ａ系配管の破損部分の下流側で類似配管に適用されるＪＩＳの外径の許容差を超えるものが一部あるが、Ａ系配管のそれ以外の部分、および、Ｂ系配管では超えるものがないことを確認した。

（b）オリフィス寸法・形状

オリフィス納入時の成績書を確認し、寸法が要求仕様を満足していることを確認した。

c．施工面

（a）配管据付施工

「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。なお、現地において刻印を確認し、計画どおり施工されていることを確認した。

（b）支持構造物据付施工

当該配管の切断前後の切断端移動量の計測結果から算出した配管の発生応力が、許容応力に対して十分小さいことを確認した。

d．保守面

（a）配管管理

当該部位はＰＷＲ管理指針において管理すべき箇所として登録されていれば適切な管理が可能であったが、登録漏れのため、ＰＷＲ管理指針に則った管理が行なわれていなかった。

（b）オリフィス管理

オリフィスの取付状況を現地調査により確認し、オリフィス穴径の中心位置のずれは、想定されるずれの最大値の範囲内であることを確認した。

（c）支持構造物管理

保全指針に基づく点検手入れ、低温・高温停止時の確認を行なっており、第２０回定期検査時に当該部位を含む復水配管ヘッダから脱気器までの支持構造物の外観目視点検を実施し、異常のないことを確認した。

e．運転・環境面

（a）給復水の水質管理

２次系の水質管理履歴を調査した結果、給水、復水のｐＨ、溶存酸素など給水処理に係わる水質データはいずれも水質管理値内に維持されていた。また、２次系給水処理は

運転開始当初からＡＶＴ、最近ではＥＴＡ処理等が計画的に行なわれているなど、各種対策により経年的に給水鉄濃度も低減してきていることから、運転開始以降当該部位の水質環境について特異な点は認められない。

（b）エロージョン／コロージョン

Ａ系配管のオリフィス下流部について、破口部からデジタルマイクロスコープで内面を観察した結果、残留水によって表面が腐食し表面状態が変化したと推定される１８０°位置（配管底部）を除くすべての内面に、約１mm幅の鱗片状模様が一様に認められた。オリフィス近傍では、鱗片状模様は約３～５mm幅とやや大きいものであった。

当該配管の材料は炭素鋼（ＳＢ４２）であり、内面に鱗片状模様が認められたことからエロージョン／コロージョンであると考えられる。

（c）キャビテーション／エロージョン

当該配管の設計条件では、復水配管流量計オリフィスは流れによる減圧による蒸気泡発生条件に対して十分余裕があり、キャビテーションは発生しない。また、当該部位の内面観察の結果からもキャビテーション／エロージョンは認められなかった。

（d）フレッティング摩耗

オリフィスと配管フランジの合わせ面および配管を支持しているスプリングハンガーの取付部は、すべりが生じないため、フレッティング摩耗は発生しないことを確認した。

（e）流体振動、機械振動

当該系統の各ポンプの周波数特性（ＮＺ成分）と当該配管の固有振動数とは大きくかけ離れており、共振する可能性はない。また、共振の可能性のある各ポンプと当該配管の間は固定サポートにより振動が伝わらない構造になっており共振する可能性はない。

（f）圧力・熱サイクル

当該配管に影響をおよぼした可能性のある過去事象を調査した結果、給水流量、圧力、温度の影響や過去事象の発生回数が設計の想定範囲内であることを確認した。また当該配管には、温度ゆらぎやキャビティーフロー型熱成層が生じないため、熱疲労は発生しないことを確認した。

（g）異常昇圧

当該事故発生直前の運転パラメータからは、通常運転時に認められるパラメータの変動を大きく上回る変化は認められなかった。

ｆ．破損のトリガー

運転パラメータ調査、周辺作業実施状況調査および聞き取り調査他の結果から、トリガーとなる事象は認められないことを確認した。

以上の調査結果より、減肉のメカニズムにエロージョン／コロージョン以外の要因は認められなかった。また、エロージョン／コロージョンによる減肉が、ＰＷＲ管理指針に則った管理が行なわれていなかった当該部位で進行したことによって、肉厚が薄くなり内圧によって破損したものと考えられる。

2．試験・解析によるエロージョン／コロージョン評価

当該部位はオリフィス下流部の流れの乱れによりエロージョン／コロージョンが発生していたと考えられることから、Ａ系配管とＢ系配管のオリフィス下流部の流れの乱れの状況を確認するために試験および解析を実施した。また、一般に公開されている減肉予測式により予測される減肉速度と実機減肉速度を比較し、当該部位の減肉速度の特異性の有無を評価した。さらに、Ａ系配管とＢ系配管の実機減肉状況を模擬して破壊解析を行ない、肉厚が薄くなったことによって破損に至るか否かを評価した。

（１）可視化試験　（添付資料４－４）

Ａ系配管、Ｂ系配管の上流のヘッダ部を含め１／２．６モデルの試験装置を製作し、ヘッダ部およびオリフィスの上下流部を可視化するとともに、オリフィス上流部の流速分布およびオリフィス下流部の圧力変動を計測した。

その結果、Ａ系配管、Ｂ系配管ともに旋回流が発生し流れに乱れが発生していることが確認された。

また、Ａ系配管はＢ系配管に比べて強い旋回流が発生し、オリフィス下流部で比較的大きな非定常な流れの乱れが発生しているという特徴を確認した。なお、これら旋回流はヘッダ部からの配管分岐部で発生していることを確認した。

（２）流動解析　（添付資料４－４）

Ａ系配管、Ｂ系配管の上流のヘッダ部を含めてモデル化し、解析コード（Ｆｌｕｅｎｔ）を用いて流動解析を実施した。

その結果、Ａ系配管、Ｂ系配管ともに旋回流が発生し流れに乱れが発生していることが確認された。

また、Ａ系配管は、Ｂ系配管に比べて強い旋回流が発生しているという特徴を確認した。

（３）可視化試験と実機減肉との比較　（添付資料４－４）

可視化試験で計測したオリフィス下流部の圧力変動分布傾向と実機で計測した減肉分布傾向について、軸方向と周方向で比較した結果、軸方向では実機の最大減肉位置と可視化試験の最大圧力変動位置が対応しており、また、周方向では実機の減肉量の傾向（Ａ系配管がＢ系配管より大きい）が可視化試験の圧力分布の傾向（Ａ系配管がＢ系配管より大きい）に対応しており、両者は比較的良く一致していた。

（４）減肉速度　（添付資料４－５）

一般に公開されている減肉速度予測式（ＷＡＴＨＥＣ式）により当該部位の使用環境中での減肉速度を評価した結果、実機減肉速度は減肉速度予測式により計算した平均減肉速度と同程度であり、当該部位の減肉速度に特異性はないことを確認した。

（５）破損評価　（添付資料４－６，７）

Ａ系配管とＢ系配管の実機減肉状況を模擬して破壊解析を行なった結果、Ａ系配管は内圧により発生する応力が支配的な要因で、破損に至る可能性があることを確認した。また、Ｂ系配管は破損に至る可能性がないことを確認した。

また、配管破損挙動については、第７回事故調査委員会で「３次元モデルを用いて解析した結果、開口は、先ず軸方向に進展し、その後、周方向に進展しており、き裂発生後１／１００秒以内に最終形状となったと推定される。解析によって得られた破口形状は、実際の破口部を比較的良く再現できた。」ことが報告されている。

以上のことから、エロージョン／コロージョンの要因と考えられる流れの乱れが、Ａ系配管・Ｂ系配管ともにオリフィス下流部で発生していること、また、Ａ系配管はＢ系配管と比較して、強い旋回流や非定常な流れの乱れが発生するという特徴を、可視化試験・解析によって確認した。

さらに、一般に公開されている減肉速度予測式から求まる平均減肉速度と実機減肉速度は同程度であり、Ａ系配管の減肉速度に特異性はないことを確認した。また、当該部位は内圧により発生する応力が支配的な要因で破損に至る可能性があることを確認した。

３．検討結果

以上の検討から、配管破損メカニズムは、オリフィス下流部で流れの乱れによってエロージョン／コロージョンによる減肉が発生し、このエロージョン／コロージョンによる減肉が、ＰＷＲ管理指針に則った管理が行なわれていなかった当該部位で進行したことによって、肉厚が薄くなり内圧によって破損したものと考えられる。

なお、Ａ系配管とＢ系配管の減肉分布の違いは、試験・解析の結果から、Ａ系配管ではＢ系配管に比べて強い旋回流が生じていたことが要因の一つである可能性がある。今後、配管減肉に係る不確定な影響因子を極力抑制するとの観点から、念のため、得られた知見を設計に活用していくことや、耐食性に優れた材料への変更や、点検頻度、点検方法等の配管減肉管理に反映していく。

第５章　事故による設備への影響検討と今後の対応

今回の事故においては、復水管破口部から系統水がタービン建屋内に噴出し、破口部周辺に熱水が流出するとともに蒸気がタービン建屋全域に充満した。

このため、現場点検を実施し、床面や設備に残った水分痕を確認することにより、熱水および蒸気の影響範囲を確認した。さらに、その影響範囲内にある設備について設備影響調査を実施した。これらの点検、調査等の結果から、プラントの安全停止に必要な設備等への影響について検討した。

１．事故時の状況の推定　（添付資料５－１）

破口発生により流出した系統水は、約８８５ｔと考えられる。事故時に復水管を流れていた系統水は、温度約１４０℃、圧力約１ＭＰａであった。解析結果および実機データから、破口発生から原子炉トリップまでの約６分間に、全体の半分近くの熱水（１４０℃）が流出したと推定され、原子炉トリップ以降は急速に系統水の温度は低下している。

（１）熱水の状況の推定

ａ．破口部からの噴出水の状況　（添付資料５－２，３）

破損した復水配管真上のタービン建屋２階面の天井コンクリートに蒸気のあたった痕跡、破損配管と同レベルの高さ（タービン建屋２階床面から４～５ｍ）の周辺配管の保温材落下状況、および破損配管周辺の機器の損傷状況から、噴出水による影響は、破口部上方および配管内部から見た破口部の前方約７ｍの範囲であったことを確認した。

また、現地調査結果から得られた復水配管の破損時の移動量（推定７５mm）、および２次系のプラント挙動再現解析での流出流量から、破損時に復水配管に作用した反力は５～１０ｔ程度であったと推定される。

ｂ．床を流れた水の影響範囲　（添付資料５－４，５）

残留水、水跡および保温材等の堆積状況を確認した結果、破口部付近の２階床面および１階床面に水跡があり、また保温材が床面開口部（グレーチングや階段）に集中して堆積していたことから、破口部から流出した熱水は破口部付近の２階床面から広がり、階段部および床面開口部を通じて１階面に流れ落ち、最終的にタービンサンプへ流入したものと推定される。

（２）蒸気の推定到達範囲　（添付資料５－４～６）

破口後３～４分までの間にタービン建屋のほぼ全域の火災報知器が作動していること、設備や床面に凝縮水の痕が見られることから、破口部から流出した蒸気は急速にタービン建屋のほぼ全域に広がったものと推定される。また、タービン建屋に隣接する制御建屋のケーブル処理室および中央制御室制御盤内で火災報知器が作動し、制御建屋の計器用電源設備および中間建屋の直流電源設備の区画においても凝縮水の痕が確認されたことから、これらの区画にも蒸気が浸入したものと推定される。

（3）事故時のプラント挙動の影響

事故時の２次系の挙動および２次系のプラント挙動再現解析から、破口部からの系統水の流出に伴い、系統の急激な減圧および復水流量の増加が発生したと考えられる。また、系統水の流出による脱気器水位の急激な低下により、脱気器から取水している給水ブースターポンプがトリップし、それに伴い主給水ポンプもトリップしている。

２．プラントの安全停止に係る設備への影響調査結果

事故時の状況の推定から、事故の影響を受けたと推定される範囲内に設置されている安全系設備には、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁、中央制御室制御盤、計器用電源設備、直流電源設備およびタービン動補助給水ポンプがあった。これらの設備以外には、影響を受けたと推定される範囲内にプラントの安全停止に係る設備は設置されていなかった。これらの安全系設備のうち、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁については、事故時に直流接地警報が発信した。また、中央制御室制御盤、計器用電源設備および直流電源設備については、蒸気の浸入が認められた。これらの設備についての影響調査結果を以下に示す。

（1）主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地　（添付資料５－７）

主蒸気隔離弁駆動用電磁弁について調査した結果、タービン建屋２階からの熱水が流れ落ちたと考えられる階段に最も近い位置に設置されていたＣ主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の端子箱の内部に熱水が浸入し、直流電源回路に片側接地を生じていたことが確認された。また、Ｃ主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の隣の、階段から離れた位置に設置されていたＡおよびＢ主蒸気隔離弁駆動用電磁弁については、直流接地は生じていなかったが、端子箱内部への蒸気の浸入が認められた。

しかしながら、直流電源系は＋側、－側ともに接地をとらない非接地回路となっており、片側接地が生じても電磁弁の駆動電源が確保されていたことから、事故後に主蒸気隔離弁を閉止することができた。

（2）中央制御室制御盤等への蒸気浸入　（添付資料５－８）

中央制御室階下のケーブル処理室において、ケーブルトレイおよび電線管のタービン建屋との壁貫通部のシール施工が不適切な箇所があり、また、中央制御室制御盤内のケーブル床貫通部においてもシール処理の不適切な箇所があったため、これらの貫通部を通じて蒸気が中央制御室制御盤内に浸入した。ケーブル処理室階下にある計器用電源設備については、ケーブル処理室に浸入した蒸気が凝縮し、滴下していることが確認された。さらに、直流電源設備については、タービン建屋との貫通部にシール施工の不適切な箇所があったことに加え、直流電源設備室への換気設備の給気がタービン建屋からとられているため、ここからも蒸気が浸入したことが確認された。しかしながら、タービン建屋との貫通部のシール施工が適切に実施されていた他の区画については、蒸気の浸入は認められなかった。

中央制御室制御盤、計器用電源設備および直流電源設備については蒸気の浸入が確認されたが、事故時は正常に動作した。今回の調査の中でも絶縁抵抗測定やシーケンス試験等を実施した結果、異常は認められなかった。

（3）タービン動補助給水ポンプ　（添付資料５－８）

タービン動補助給水ポンプ室への吸気が、タービン建屋から行なわれていることから、蒸気浸入の可能性が考えられたが、調査の結果、蒸気の浸入の痕跡は認められなかった。タービン建屋からの吸気は、蒸気の少なかったタービン建屋１階床面に設置された吸気口から行なわれていたため、室内への蒸気の浸入が少なく、加えて、室内の温度が高かったことから、浸入した蒸気が凝縮することもなかったと推定される。

タービン動補助給水ポンプの運転に必要な電気設備は、ポンプ室内に設置されておらず、ポンプ自体も周辺の蒸気により運転に支障をきたすものではないことから、たとえポンプ室内に蒸気の浸入があった場合にも、運転上問題となることはない。また、タービン動補助給水ポンプの運転に必要な補助給水流量制御弁は、ポンプとは別の区画に設置されており、影響を受けることはない。

３．設備影響調査結果を踏まえた今後の対応　（添付資料５－７～９）

（１）主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地

主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地を生じたことに鑑み、熱水および蒸気の浸入対策として、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁を収納しているパネルを防水型のものに変更し、熱水および蒸気の浸入を防止する構造とする。

（２）中央制御室制御盤等への蒸気浸入

中央制御室制御盤等への蒸気浸入は、壁床貫通部のシール施工の一部に不適切な部分があったことによるものであり、隙間のある箇所について適切なシール施工を実施する。

また、直流電源設備の換気設備についても、より一層の信頼性の確保の観点から給気場所をタービン建屋内から外気へ変更する。

なお、事故の影響範囲に設置されているその他の設備については、脱気器内部の構造物の変形、主給水ポンプモータ内部の発錆等の影響が見られたが、今後、適切な処置を実施し健全性を確認していく。

４．復水配管の復旧

破損した復水配管は、経済産業省からの「美浜発電所３号機に対する技術基準適合命令について」（平成１６・０９・２２原第１８号　平成１６年９月２７日付）により、第４低圧給水ヒータ出口弁から脱気器入口までの間について技術基準に適合するよう、配管の取替え等の復旧を行ない、かつ技術基準に適合していることを確認する。

（１）配管の状況

技術基準適合命令を受けた範囲の配管は、既にステンレス鋼配管に取替えが行なわれている復水配管ヘッダ部と、そこから分岐して２つの脱気器に至るＡ系およびＢ系の炭素鋼配管により構成されている。

（2）復旧確認

a．復水配管ヘッダ部

既にステンレス鋼配管としている復水配管ヘッダ部については、技術基準が要求する計算必要厚さを満足していることを配管肉厚測定により確認する。

b．復水配管ヘッダ出口から脱気器入口

復水配管ヘッダ出口から脱気器入口については、現状の炭素鋼から耐食性に優れたステンレス鋼配管に取替えるとともに、材料変更に伴い、運転中に受ける熱の影響を緩和する観点から、一部配管支持構造物配置の見直しを実施する。また、配管取替工事にあたっては、材料、構造の技術基準適合確認検査を実施する。さらに、新設配管についても配管肉厚測定を実施する。

第６章　２次系配管肉厚管理に関する評価と今後の対応

本章では、事故を契機に実施された当社における配管肉厚管理に係る調査の過程で明らかになった問題点を踏まえ、これまで実施されてきた配管肉厚管理に関する評価とそれらに基づく配管肉厚管理のさらなる充実に向けた今後の対応について述べる。

なお、事故発生の直接の原因となった当該部位がから漏れたこと、漏れが修正できなかったこと、漏れが発見されたが点検計画に反映できなかったことに対する検討と対策については、第７章で述べる。

１．これまでの２次系配管肉厚管理に関する評価

当社は、昭和５０年代前半より２次系炭素鋼配管の減肉現象に着目し、配管の肉厚調査を進めていたが、昭和５８年に高浜２号機においてエロージョン／コロージョンによる減肉トラブルを経験したことを契機に体系的な肉厚調査を開始した。

当該肉厚調査により得られたデータならびにそれまでの諸外国における運転経験等も含めた当時の技術知見を集大成して、平成２年５月にＰＷＲ管理指針を策定し、その後、現在に至るまでこのＰＷＲ管理指針を基本として２次系配管の肉厚管理を実施してきている。

（１）２次系配管肉厚管理の実施状況　（添付資料６－１）

美浜３号機を含む全プラントの２次系配管の肉厚管理状況について、記録類をもとに調査した結果、ＰＷＲ管理指針に規定される主要点検部位に対して２次系配管肉厚管理が未実施の部位が１５箇所（美浜３号機の当該部位およびＢ系の同一部位を除く）あることが確認された。

（２）２次系配管肉厚管理未実施部位の点検状況

運転中のプラントを計画的に順次停止し、上記の２次系配管肉厚管理未実施部位を含めて、超音波肉厚測定器による肉厚測定を実施したことにより、ＰＷＲ管理指針に規定される主要点検部位に対して２次系配管肉厚管理が未実施のものはない。なお、事故原因調査の一環として、美浜３号機の当該部位およびＢ系の同一部位についても肉厚測定を実施している。

（３）ＰＷＲ管理指針の評価

ａ．初期設定減肉率

ＰＷＲ管理指針では、初回の肉厚測定の時期を決定するため、主要点検部位について「二相流」、「水単相流」ごとに、流速、温度別に初期設定減肉率を規定している。

原子力安全・保安院による中間とりまとめでも述べられているように、全体としてみれば、減肉率は、ほぼ初期設定減肉率の範囲内にあるものの、主要点検部位の一部には、測定された減肉率がＰＷＲ管理指針の初期設定減肉率を上回っているものが認められる。

初期設定減肉率は、初回の肉厚測定時期の決定のみに用いられ、いったん肉厚測定が行なわれるとその測定値に基づき減肉率を新たに設定し、余寿命および次回の測定時期が決定される。

当社プラントにおいては、先に述べた２次系配管肉厚管理未実施であった１５箇所の部位も含めて、ＰＷＲ管理指針に規定される全ての主要点検部位に対する初回の肉厚測定を

完了しており、初期設定減肉率の適切性が直ちに安全上の問題につながるわけではないが、（社）日本機械学会における検討結果等に基づき、その適切性を確認していく。

b．主要点検系統と「その他」の区分

ＰＷＲ管理指針では、減肉傾向があるとみなされる系統を主要点検系統、減肉傾向にないとみなされる箇所を「その他」に分類し、「その他」については、１０年間に約２５％を点検対象にしている。

中間とりまとめでも述べられているように、全体としてみれば、「その他」は主要点検系統に比して減肉傾向が小さいものの、一部には主要点検系統と同程度の減肉が見られるものがある。

「その他」に分類されるものに主要点検系統と同程度の減肉が認められた場合、それらと同様の箇所について点検時期を繰り上げるなどの措置を講じてきていることが多いが、そういった運用は明文化されておらず、また、必ずしも徹底されていない。

「その他」に分類されるものの体系的かつ合理的な見直しについては、（社）日本機械学会等における検討結果を待つ必要があるが、当社においては、それらの見直しが完了するまでの当面の措置として、未点検の「その他」について点検時期を繰り上げるなどの措置を講じていくことが必要である。

c．肉厚測定範囲、測定ポイントおよび詳細測定方法

ＰＷＲ管理指針には、肉厚測定範囲および測定ポイントに関する詳細な規定はなく、それらは、都度の請負契約において定める運用となっている。

さらに、肉厚がある判定基準肉厚を下回った場合に、当該測定ポイントの周辺に対し測定ピッチを細かくして詳細測定を行なうという運用についても同様であり、ＰＷＲ管理指針には規定されていない。

なお、ＰＷＲ管理指針に規定されていなくても、従来から上記のような運用を確実に実施してきている。

２．当社の管理指針の充実

当社では、平成２年に策定したＰＷＲ管理指針を基本として、２次系配管肉厚管理を実施するための管理指針を定めて運用しているが、先に述べたように、これまでの配管肉厚管理を評価した結果、改善すべき事項が明らかとなっており、それらを含め、当社の管理指針を以下のとおり充実している。

・主要点検部位について、「余寿命が２年以下となる前に点検を行なう」を改め、「余寿命が５年未満となる時期に点検を行なう。さらに、余寿命が５年未満の場合は取替・溶接補修を立案し、余寿命がゼロ年になるまでの間に補修すること、また、補修までの間は、定期検査において毎回点検を継続する」と変更した。

・「その他」に分類されている部位の未点検箇所については、全て至近３回以内の定期検査において点検する。

・設備実態に応じた運用マニュアルになっているかという観点での見直しを実施し、肉厚測定範囲、測定ポイントおよび詳細測定方法を明記した。

３．２次系配管肉厚管理のさらなる充実に向けて

配管肉厚管理においては、（社）日本機械学会によってこれらの規格が策定され、原子力安全・保安院による技術評価を経て行政手続法上の判断基準に位置づけられるまでの暫定的な措置として、安全規制上の要求事項が原子力安全・保安院からの行政文書（平成１７年２月１８日付）によって明確化された。

当社としては、原子力安全・保安院からの行政文書に従い、配管材料は、炭素鋼のみならず低合金鋼、ステンレス鋼も対象とし、減肉事象は、エロージョン／コロージョンのみならず、他の減肉事象（浸食等）も対象とする等、２次系配管肉厚管理に万全を期すべく、当社の管理指針、点検計画を見直す。

一方、平成１７年１月、（社）日本機械学会において、配管肉厚管理を適切に実施するために事業者に要求すべき事項を規定した機能性規格（案）がとりまとめられている。

さらに、現在、（社）日本機械学会においては、公衆審査中（平成１７年１月１４日～３月１４日）の機能性規格（案）を踏まえ、従来のＰＷＲ管理指針をもとに、ＰＷＲプラントを対象とした２次系配管肉管理に関する技術規格を策定すべく、国内全ＰＷＲプラントにおける検査データの分析、国内外の事故・故障データの分析なども含めた検討が進められている。

当社としても、検査データの提供を行なう等、既に、積極的に技術規格の検討作業に参画しており、２次系配管肉厚管理に万全を期すべく、それらの結果を当社の管理指針に反映していく。

第７章　２次系配管肉厚管理システムに関する検討と対策

今回の事故の直接的な原因は、既に昨年９月の原子力安全・保安院の中間とりまとめの中で「関西電力、三菱重工業、日本アームの３者が関与する２次系配管の減肉管理ミス」によって、「要管理箇所が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと」と指摘いただいているように、当社の２次系配管肉厚管理業務に関する品質保証システムや保守管理システムの整備が不十分であったことから、多角的な視点から事故要因の抽出を行ない、対策について検討を行なった。

また、同様に原子力安全・保安院から、運用が適切でなかったとの指摘を受けた「発電用火力設備の技術基準の解釈について」の「ただし書き」を独自に解釈したことについて、その再発防止に向けた対策についてルールの遵守の観点から要因の抽出を行ない、検討を行なった。

さらに、今回の事故は５名の方が尊いお命を亡くされ６名の方が重傷を負われた重大な人身事故であり、二度と同様の事故を起こさないためにも不可欠な労働安全衛生面での対策について検討を行なった。

１．要因の抽出と対策検討の進め方

２次系配管肉厚管理ではスケルトン図や点検管理票といった点検リストを使用しており、今回の事故の直接的な原因は、この点検リストから、当該破損部位が漏れていたことにある。そのため、今回の分析にあたっては、ＰＷＲ管理指針の策定時期から事故が発生するまでの間を４つのフェーズに分けて、上記の観点から事実を整理し要因を抽出した。さらに、他のプラントにおいて当該箇所と同一部位が点検リストから漏れていたことを発見した際に、その情報が美浜３号機に活用されなかったフェーズを加え、これら５つのフェーズを対象として事実関係の調査等を行なった。

フェーズⅠ：ＰＷＲ管理指針が策定されるまで、および、ＰＷＲ管理指針が適用されて以降、三菱重工業が２次系配管点検工事を実施
フェーズⅡ：三菱重工業から日本アームへの２次系配管点検業務の移管
フェーズⅢ：日本アームがスケルトン図のＣＡＤ化等を実施
フェーズⅣ：日本アームが当該部位の登録漏れを発見してから事故に至るまで
フェーズⅤ：美浜３号機以外でスケルトン図から当該箇所と同一部位が漏れていたこと等の発見

調査は、直接的な要因に加えて、その背景となる要因を抽出するために、意識、組織、環境等に係る要因まで分析した。分析にあたっては、「要管理箇所が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと」を分析の対象範囲とし、事実関係をもとに点検リスト漏れに焦点をあてた問題点を把握し、これを起点としてＲＣＡの手法を参考に、背景となる要因を抽出した。

それらの要因（事実関係に基づく直接的な要因および背景となる要因等）を、「原子力発電所における安全のための品質保証規程」（ＪＥＡＣ４１１１－２００３）の要求事項に基づき、「業務の計画と体制」「調達管理」などに整理し、検討した。

2．要因の抽出結果

（1）事実関係の調査結果

各フェーズにおける事実関係は以下のとおり。

フェーズⅠ：PWR管理指針が策定されるまで、および、PWR管理指針が適用されて以降、三菱重工業が2次系配管点検工事を実施

- 当社は、昭和59年頃から2次系配管肉厚管理を強化し、その中で蓄積されたデータをもとに、昭和62年10月に減肉調査に係る点検要領の策定を目的に三菱重工業に対して調査委託を行ない、その成果を踏まえて平成2年5月にPWR管理指針を策定した。
- PWR管理指針を適用した2次系配管の点検工事を行なうべく、三菱重工業がこれまでにあったスケルトン図を見直ししたが、当初からの登録漏れ（当該部位を含む）が発生した。三菱重工業は、このスケルトン図に基づき点検計画を当社に提案している。
  この提案は、余寿命評価に基づき次回定期検査で点検対象とするものを示すものであり、当社の工事仕様書には明記されていないものの、受注者において継続して行なわれていたものである。当社はその提案に基づき仕様書を作成して契約を行ない、提出される計画書や報告書の確認を行なっている。なお、工事計画書や工事報告書にはPWR管理指針に基づき実施していることが記載されている。
- PWR管理指針を初回に適用した段階で、主要点検系統において美浜3号機では当該箇所を含み3箇所、当社11基合計では42箇所が当初からの登録漏れとなっていた。
  42箇所の登録漏れのうち、14箇所が流量計オリフィス下流部であり、美浜1号機、美浜3号機、高浜4号機で当該部位を含め同一部位が4箇所漏れていた。
- 三菱重工業は、PWR管理指針適用に伴うスケルトン図の見直し作業において、付番チェックと追加付番という単調な手作業が連続し、1人作業であったためにヒューマンエラーが発生したとしている。また、三菱重工業においてはスケルトン図の見直し後のダブルチェックは行なっていなかった。
  なお、オリフィスについては減圧オリフィスと流量計オリフィスの2種類があり、PWR管理指針策定以前は、それまでの減肉経験から減圧オリフィス下流部は点検対象とされていたが、流量計オリフィス下流部については、全数が点検部位として登録されていたわけではなかったこと、また、三菱重工業が作成したPWR管理指針原案には含まれていなかった流量計オリフィス下流部が直前にPWR管理指針に含まれたという経緯があったこと等が当該部位の抽出漏れにつながったと考えられる。
- 42箇所のうち、10箇所の当初からの登録漏れについては三菱重工業が当社の2次系配管点検工事を実施していた期間に修正されているが、漏れが発見され、修正されたことについて当社に連絡はなかった。
- 三菱重工業は、この登録漏れがあるスケルトン図に基づき、美浜3号機第11回定期検査（平成3年1月開始）を計画、提案した。当社は、当初から三菱重工業に2次系配管の点検工事を発注していたこと、三菱重工業と連携してPWR管理指針を策定したこと、当社で開催した打合せにおいて、三菱重工業がPWR管理指針に関する説明を実施したこと、および三菱重工業による点検計画の提案においてPWR管理指針に基づき実施する旨明記されていたことから、2次系配管のスケルトン図の確認は、三菱重工業が

ＰＷＲ管理指針に基づいて行なったと考え、当社は点検対象箇所の漏れを防止するための確認を行なわなかった。

フェーズⅡ：三菱重工業から日本アームへの２次系配管点検業務の移管

・当社は、２次系配管点検業務の独立性確保と自主技術力の養成を目的に、平成７年に三菱重工業から日本アームへ２次系配管点検業務の移管を決定した。業務の移管に際し、平成８年９月に三菱重工業と委託契約を締結し、配管肉厚管理に関する計測箇所の調査結果と、基本データを整理の上、ラインスペックデータや最新のスケルトン図と全プラントの計測データを整理し、提出するよう求めた。この委託契約に基づき平成９年１月に三菱重工業から当社に提出された基本データを、当社は日本アームへ提供した。

・当社は、委託契約にＰＷＲ管理指針に基づいたスケルトン図の整理、提出を明記していなかった。また、三菱重工業はスケルトン図について特段のチェックをせず、保持するデータをそのまま当社へ渡したとしている。その結果、日本アームに当社が提供したスケルトン図からは当該部位を含む３２箇所が当初からの登録漏れのままとなっていたが、当社はＰＷＲ管理指針に基づいたスケルトン図等が提出されたものと考えて、確認を行なわなかった。

・日本アームは三菱重工業と、業務移管後の至近４プラントの配管点検について助勢を求める業務指導契約を平成９年１月に締結した。日本アームは、三菱重工業の子会社である原子力サービスエンジニアリング（以下「ＮＵＳＥＣ」という）の指導を受けながら点検業務を開始したが、三菱重工業による当初からの登録漏れ修正の事実が日本アームには伝わっていなかったことから、三菱重工業が担当していた期間のスケルトン図に当初からの登録漏れがあるとは考えなかった。

フェーズⅢ：日本アームがスケルトン図のＣＡＤ化等を実施

・日本アームは、当社から提供されたスケルトン図・計測データ等に基づき、点検業務を進める中で、三菱重工業が２次系配管点検工事を担当していた当時、スケルトン図は十分な変更管理がなされていなかったことに気付き、平成９年９月に当社に対してスケルトン図のＣＡＤ化等を提案した。当社は、日本アームの説明を受け入れ、現場調査結果によるスケルトン図の修正とＣＡＤ化等について、平成９年１０月に「２次系配管検査データ・図面整備委託」として日本アームに発注した。その結果、これまでの変更管理の不備に対する対策はとられたものの、当該部位の登録漏れは継続した。

・日本アームは、平成８年の業務移管後継続して当社の２次系配管の点検工事を受託し、点検業務を行なう中で当初からの登録漏れを事故発生までに当社全プラントで１７箇所発見し、発見した部位のスケルトン図を修正し、定期検査提案に反映させていた。この中に破損部位も含め同一部位が４箇所含まれているが、後述する高浜４号機の例を除き、当社に登録漏れのものとして連絡はなされなかった。また、その他の箇所で当社に連絡がなされたケースもあるが、変更管理の不備等によるものと思い込み、三菱重工業から引き継いだスケルトン図に漏れがあり、それが継続しているとは考えていなかった。さらに、当社はＰＷＲ管理指針に基づく点検リストを定期的に見直しておらず、当該部位の登録漏れを発見できなかった。

フェーズⅣ：日本アームが当該部位の登録漏れを発見してから事故に至るまで

・日本アームは検査データを管理し、余寿命等の評価を行ない、点検計画等を作成するための原子力データ処理システム（以下「ＮＩＰＳ」という）を平成８年度から構築し、改良を進めた。当社は平成１４年度には、２次系配管肉厚管理業務高度化のため、ＮＩＰＳの機能追加や図面整備の委託を行なった。

・日本アームは、前記委託によりスケルトン図と点検管理票の照合が容易となり、データ確認作業を行なっていた中で、美浜３号機第２０回定期検査（平成１５年５月開始）の直前である平成１５年４月に、当該部位の登録漏れを発見した。日本アームは、発見した当該部位のスケルトン図を修正したが、登録漏れがあったことを当社には連絡しなかった。

・日本アームは、平成１５年５月からの美浜３号機第２０回定期検査での点検の提案も行なわなかったため、当該部位は点検対象箇所とならなかった。また、日本アームが第２０回定期検査終了後に提出した総括報告書には、当該部位に点検すべき箇所であることを示す付番を追加したスケルトン図が添付されていたが、当社は、登録漏れの修正について連絡を受けていなかった。

・日本アームは、平成１５年１１月に美浜３号機第２１回定期検査（平成１６年８月開始予定）に向けて当該部位を点検すべき箇所に含めた点検対象箇所のリストを電子メールにて当社へ提案した。当社は同リストを受領したものの、登録漏れや未点検という記載は当該リストにはなく、特段の情報提供もなかったことから、その提案に基づき点検計画書を策定した。

・平成１６年７月の大飯１号機のその他部位（主給水管）減肉トラブルを受け、若狭支社は、その他部位も含め次回定期検査で追加点検すべき箇所を抽出するよう各発電所に指示した。

美浜発電所は、この指示を受け、点検リストのチェック作業を進める中で、未点検箇所の一部として当該部位を抽出したが、既に次回定期検査において点検する計画であったことを確認した。

フェーズⅤ：美浜３号機以外でスケルトン図から当該箇所と同一の部位が漏れていたこと等の発見

・日本アームは、高浜３号機の当該同一部位での減肉傾向を受け、平成９年に高浜４号機にて当該同一部位の減肉状況を調査した際に登録漏れを発見し、その部位の点検を提案する際、登録漏れについても当社に伝えた。当社はその提案をもとに、点検計画済みであった至近の高浜４号機第１０回定期検査（平成１０年１月開始）に織り込んで点検を実施したが、他プラントには展開しなかった。

・日本アームは、各プラントの定期検査ごとに配管関係のトラブル情報を収集し、報告および調査計画への反映のため、平成８年１２月からＮＵＳＥＣと定期検査ごとに情報提供契約を締結した。それに基づき、平成１０年以降、日本アームは、ＮＵＳＥＣから他社プラントの配管点検結果の概要報告を受けた。その中に、北海道電力泊１号機や日本原子力発電敦賀２号機の当該同一部位の減肉情報も含まれていた。この減肉情報の提供について、日本アームとの間に認識の相違があり、ＮＵＳＥＣは水平展開を意図したも

のであったとしているのに対し、日本アームは数多くの情報の中の一つであり特別な情報とは受け止めず、当社の全プラントへ水平展開することはなかったとしている。泊１号機や敦賀２号機の登録漏れを含め、漏れの情報については、ＮＵＳＥＣから日本アームおよび当社には伝えられなかった。

・日本アームは、美浜１号機での当該同一部位の登録漏れを発見し、平成１３年９月に当社に提出した提案書には反映しているが、当社に登録漏れを伝えていなかった。

（２）直接的な要因・背景となる要因の抽出および要因の分類　　（添付資料７－１～３）

各フェーズの事実関係から問題点を把握し、そこから明らかになる直接的な要因を抽出した。

さらに点検リスト漏れの要因把握に万全を期すために、事実関係をもとに点検リスト漏れに焦点をあてた問題点を把握し、これを起点としてＲＣＡの手法を参考に背景となる要因についても抽出を行なった。

これらの要因抽出にあたっては、「原子力発電所における安全のための品質保証規程」（ＪＥＡＣ４１１１－２００３）の要求事項に基づき直接的要因と背景となる要因を整理し、２次系配管肉厚管理業務に反映すべき要因として、「業務の計画と体制」「調達管理」「情報の共有」「教育」「監査」の５項目に分類した。

ａ．業務の計画・体制において

①ＰＷＲ管理指針は２次系配管肉厚管理業務の基本ルールを定めたものであり、実際の業務の管理を実施していくための、具体的な業務の役割と責任分担、その運用のルール、検証方法等、業務の計画を綿密に定めていなかった。

②２次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための人的資源が不十分であった。

③２次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための機械化が不十分であった。

④２次系配管肉厚管理の点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。

ｂ．調達管理において

①協力会社を信頼し、詳細を明示しなくてもやってくれているだろうとの思い込みから、ＰＷＲ管理指針や設備の現状に照らして「点検リストの漏れ」がないことの確認、点検リストのダブルチェックや点検対象漏れを発見した場合の当社への報告など、外注先に対する要求仕様が記載されていなかった。

②要求事項で記載しきれない、あるいは予想できない異常や不具合を発見したときに、契約先である協力会社とその情報を共有できるプロセスが明確でなかった。

③三菱重工業から提出された工事計画や結果報告にはＰＷＲ管理指針が引用されていたものの、当社としては、点検リストに照らして充足したものであることを確認していなかった。

ｃ．情報の共有において

①不適合の定義が明確ではなく、「点検リストの漏れ」を不適合として水平展開できなかっ

た

②事業者間の水平展開ができなかった。

③三菱重工業から当社に対して、ＰＷＲプラントに共通の点検・調査において、異常事項、不具合、トラブル等がいずれかのＰＷＲプラントにおいて発見されたときには、当社に確実に伝わる仕組みがなかった。

④当社社員と協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが不十分であった。

ｄ．教育において

①配管からのリークは発生しても最初は小リークで、大きな破損が直ちに起こり、甚大な被害をもたらすとは考えておらず、サリーのような危機に対する意識付けが不十分であった。

②サリー事故に対する教訓が必ずしも正確には伝わっていなかった。

③２次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性について認識不足であった。

④調達管理の重要性に関する教育が不十分であった。

ｅ．監査において

①内部監査（第一者監査）は、社内標準類の整備状況や整合性に力点がおかれ、その社内標準に基づく業務の詳細な実施状況はサンプル的に確認することにとどまっていた。

②協力会社に対する監査（第二者監査）についても、主として品質保証体制の整備状況に関するものとなっていたため、個別業務の実施内容まで踏み込めていなかった。

３．２次系配管肉厚管理業務に反映すべき品質保証上の対策

第７章２．にて分類された要因に対して、以下の対策を実施する。

（１）業務の計画と体制

要因ａ．－① ＰＷＲ管理指針は２次系配管肉厚管理業務の基本ルールを定めたものであり、実際の業務の管理を実施していくための、具体的な業務の役割と責任分担、その運用のルール、検証方法等、業務の計画を綿密に定めていなかった。

（対策１）直営化までの間の２次系配管肉厚管理業務の当社による主体的管理の実施

第７章３．（１）（対策３）（ａ）にて記述する抜本的見直しを行なうまでの間、当社が主体的に管理することに改め、以下の対策を実施する。

（ａ）スケルトン図（配管立体図）とＰＷＲ管理指針を照合し、２次系配管肉厚管理が必要な箇所の経年変化点検管理票（以下「点検管理票」という）への反映状況を確認し、これを整備した。

（ｂ）当社の５ヵ年点検計画に基づき、当該定期検査の点検計画作成を協力会社に依頼し、協力会社作成の点検計画を確認の上、協力会社に点検を依頼する。

（ｃ）点検結果の評価についても、協力会社からの評価をＰＷＲ管理指針に照らし当社でも評価し確認する。

（d）設備改造に伴う２次系配管の変更が、確実に２次系配管肉厚管理業務に反映されるよう、仕組みを変更した。すなわち、設備改造を行なうメーカ等がスケルトン図を変更し、当社に提出することを工事仕様書で要求する。当社はこれらのスケルトン図を原本管理するとともに、ＮＩＰＳを管理する協力会社にスケルトン図の変更を依頼し、点検管理票に反映させる。

（対策２）当社現場立会い等の強化

協力会社社員が現場で行なう肉厚測定作業等への当社社員の立会いを強化し、協力会社社員との対話、連携、および重要ポイントの確認を行なう。

（対策３）２次系配管肉厚管理業務の直営化

今回の事故に鑑み、肉厚測定を除く２次系配管肉厚管理業務は当社が自ら実施することとし、必要なシステムを含め、協力会社から当社に移管する。

そのため、業務分担を以下のとおり見直しする。また、見直し後の業務の役割分担、運用のルールについて文書にて明確化する。

（a）当社が行なう業務

・点検計画の作成
・入力された測定データの確認
・ＰＷＲ管理指針に基づく余寿命評価
・点検結果の評価、対策の立案、実施
・スケルトン図、点検管理票の変更および原本管理
・定期的な点検管理票（スケルトン図を含む）のレビュー

（b）協力会社が行なう業務

・点検計画に基づく肉厚測定（現場測定、測定データの確認、入力および記録の作成）

要因ａ．－②
２次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための人的資源が不十分であった。

（対策４）２次系配管肉厚管理業務に携わる人員の強化

点検計画からデータ評価等の一連の工程にわたって確認を行なうなど２次系配管肉厚管理業務を充実させるために人員を強化する。

要因ａ．－③
２次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための機械化が不十分であった。

（対策５）ＮＩＰＳの改善および高度化

２次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための機械化が不十分であったことから以下の対策を実施する。

・スケルトン図と点検管理票をＮＩＰＳ内でリンクさせる。
・スケルトン図、点検管理票の変更経緯をシステムに記録し、トレーサビリティーを向上させる。
・主要点検部位の新たな追加等、重要な変更がシステムに入力された場合、当該箇所が明確に認識できるようビジュアル化（赤色表示等）を図る。

要因ａ．－④
２次系配管肉厚管理の点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。

（対策６）点検管理票の定期的なレビューの実施

点検管理票に２次系配管肉厚管理未実施部位がないことの確認等を行なうため３年ごとを目途にスケルトン図を含む定期的なレビューを実施する。さらに、発電所で策定した点検計画を上位機関がサイドチェックする仕組みとする。

（２）調達管理

要因ｂ．－①
協力会社を信頼し、詳細を明示しなくてもやってくれているだろうとの思い込みから、ＰＷＲ管理指針や設備の現状に照らして点検リストの漏れがないことの確認、点検リストのダブルチェックや点検対象漏れを発見した場合の当社への報告など、外注先に対する要求仕様が記載されていなかった。

要因ｂ．－②
要求事項で記載しきれない、あるいは予想できない異常や不具合を発見したときに、契約先である協力会社とその情報を共有できるプロセスが明確でなかった。

（対策１）協力会社および社内の役割分担の明確化

２次系配管肉厚管理業務において、当社と協力会社の点検計画の提案の扱いが明確でないことや当社内の役職と担当を含め、誰が何を確認するか等の責任分担や運用が明確でなかったことから、肉厚測定を除く２次系配管肉厚管理業務を当社が自ら全て実施するまでの間、以下の対策を実施する。

（ａ）協力会社の役割

イ．次回定期検査の点検計画を作成し、当社に提案する。

ロ．肉厚測定、余寿命評価を実施する。

（ｂ）当社の役割

イ．当社自ら中期点検計画（５ヵ年）を作成し、協力会社から提案された点検計画と照合、確認する。

ロ．肉厚測定結果および余寿命評価結果の妥当性について評価し、次回点検計画を決定するとともに、必要があれば取替え等の計画を行なう。

ハ．スケルトン図・点検リストは当社が管理し、変更にあたっては承認申請図書として変更管理を実施することを保修業務要領指針「２次系配管肉厚管理業務の厳正化」に明記した。

（対策２）点検対象漏れ発見時の報告等調達要求事項の明確化

２次系配管肉厚管理業務において、当社は点検管理票のダブルチェックや点検対象漏れを発見した場合の当社への報告などを、外注先に対して明確に要求していなかったことから、肉厚測定を除く２次系配管肉厚管理業務を当社が自ら全て実施するまでの間、以下の対策を実施する。

（ａ）実施範囲の明確化

イ．配管肉厚測定実施範囲については、当社発注仕様書に基づく範囲であることを明確化する。

ロ．スケルトン図・配管経年変化点検管理票・点検結果整理表を提出する。

ハ．肉厚測定を実施し測定データに基づく余寿命評価を行ない、次回点検計画を策定し提案する。

（b）２次系配管肉厚管理業務における異常時の報告要求の明確化

スケルトン図と現場との照合の結果、不整合が認められた場合，測定データに異常が認められた場合および点検対象漏れを発見した場合等の当社への報告要求を、発注仕様書により明確化する。

（c）業務手順の明確化

配管肉厚測定に関する具体的業務手順について、保修業務要領指針「２次系配管肉厚の管理指針」に記載するとともに、発注仕様書に明記した。

要因ｂ．－③

三菱重工業から提出された工事計画や結果報告にはＰＷＲ管理指針が引用されていたものの、当社としては、点検リストに照らして充足したものであることを確認していなかった。

（対策３）検収時に確認すべき内容・方法の明記と周知徹底

２次系配管肉厚管理業務において、三菱重工業から提案された基本データについて、ＰＷＲ管理指針に基づき点検箇所に抜けがないことのチェックが十分になされていなかったことに鑑み、外注結果が要求事項を満足している内容であることを確認するため、検収時の確認事項について、その内容・方法を保修業務要領および請負工事一般仕様書に関する要領指針に記載し周知徹底する。

（３）情報の共有

要因ｃ．－①

不適合の定義が明確ではなく、「点検リストの漏れ」を不適合として水平展開できなかった。

（対策１）「点検リストの漏れ」に関する事例の社内標準への反映

今回の「点検リストの漏れ」が確実に水平展開が図れるよう、不適合事例として社内標準に明記した。

（対策２）「点検リストの漏れ」以外の事例の確実な水平展開の実施

「点検リストの漏れ」以外の事例についても、確実に水平展開が図れるよう、不適合事例の抽出基準および具体例の明確化を検討し、社内標準へ反映する。また、社内ならびに、メーカおよび協力会社も含め、不適合事例に係る情報共有ルールを社内標準へ反映する。

（対策３）情報管理専任者の設置による水平展開の確実な実施

２次系配管肉厚管理業務において、「点検リストの漏れ」を不適合として水平展開できなかったことから、各発電所において情報管理専任者を設置し、水平展開の確実な実施を図るとともに、社内ＬＡＮを活用した全発電所の同一設備担当者間の情報交換の場を提供し、タイムリーな情報の反映を図る。

（対策４）重要情報がキーパーソンへ直接入るシステムの構築

２次系配管肉厚管理業務において、「点検リストの漏れ」を不適合として情報を入

手できなかったことから、次期点検箇所等の設備信頼性に関する契約先からの提案については、当社で内容を確認の上、より迅速に対応するため、ＩＴを活用し、担当者のみならず対応の専決権限を持つ者にも直接情報が入るシステムを構築する。また、その契約先からの提案に対する評価などの状況を、発電所の共通データベースで管理し、契約先（提案先）にも明確に伝える。

要因ｃ．－②
事業者間の水平展開ができなかった。

（対策５）「点検リストの漏れ」のような事例の国内電力会社間での水平展開の仕組みの改善

設備などのハード面における不適合のみならず、ソフト面における不適合についても水平展開を図る必要性に鑑み、今回発生した点検リスト漏れのような事例を国内電力会社間で共有するために、国内電力会社間で水平展開が図られるよう仕組みを改善した。具体的には、「保全品質情報基準」に「トラブル発生の未然防止の観点から再発防止対策を図るとき」として、具体事例に「主配管、主要弁、ポンプなど重要な部位、項目が点検リストから漏れた場合」を追記した。

要因ｃ．－③
三菱重工業から当社に対して、ＰＷＲプラントに共通の点検・調査において、異常事項、不具合、トラブル等がいずれかのＰＷＲプラントにおいて発見されたときには、当社に確実に伝わる仕組みがなかった。

（対策６）電力・メーカ間の保全情報共有化の仕組みづくり

他社との２次系配管肉厚管理業務の情報・対策の共有化を図るために、国内ＰＷＲプラントを所有する電力とメーカ間でオーナーズグループを組織し、各社の不具合情報、海外情報および知見を収集し、対策情報を提供する場を設けるよう今年度内を目途に各社に働きかける。

要因ｃ．－④
当社社員と協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが不十分であった。

（対策７）水平展開された知見を協力会社と共有する仕組みの構築

２次系配管肉厚管理業務に係る水平展開された具体的内容について、それぞれの設備の工事を担当する協力会社へも情報提供し、協力会社と一体となった対策の立案を行なう。なお、具体的運用においては、単に協力会社へ情報を提供する一方通行のやり方ではなく、対策および水平展開要否の検討、対策の実施まで双方向のやりとりを行ない、確実かつ高度な不適合処置・水平展開を目指す。

（対策８）協力会社とのコミュニケーションの充実

２次系配管肉厚管理業務において、当社社員と協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが図れていなかったことから、従来からの安全衛生協議会等の活動や協力会社が行なう朝礼、ＴＢＭ（ツールボックスミーティング）等への参加に加えて、発電所の所長・次長および若狭支社保修グループチーフマネジャーにおいては、原則年１回全ての元請け会社と個別に対話する機会を設けるとともに、発電所課長クラスにおいては日常的に協力会社実務者クラスと対話

を行ない、情報の共有化を図っている。これは、保全活動の基礎である協力会社との良好なコミュニケーションが図れる雰囲気を醸成していく。

(対策9) 現場における作業員とのコミュニケーションの充実

朝礼、ＴＢＭのみならず現場監督業務を通じて第一線の作業員に当社としての顔が見えるようにすることによって情報を吸い上げる現場環境が必要であり、このため当社に定期検査における現場作業等の監督業務を専門的に行なうグループを新設、試行し、その効果を評価した上で将来的なあり方について検討する。

（4）教育

要因ｄ．－①
配管からのリークは発生しても最初は小リークで、大きな破損が直ちに起こり、甚大な被害をもたらすとは考えておらず、サリー事故のような危機に対する意識付けが不十分であった。

要因ｄ．－②
サリー事故に対する教訓が必ずしも正確には伝わっていなかった。

(対策１) 美浜３号機二次系配管破損事故による教訓等の事例周知

トラブル事象とその教訓を認識し、管理すべき範囲が管理外におかれると重大な事故につながることもあるという危機意識をもつよう、保修課員（配管担当者）に徹底する。そのため、配管破損に係る過去のトラブル事象とその教訓を周知するとともにそれぞれの業務の重要性を意識させるための教育を、保修課員（配管担当者）を対象として実施する。

要因ｄ．－③
２次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性について認識不足であった。

(対策２) ２次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性に関する項目の教育システムへの組み込み

２次系配管肉厚管理指針の内容、肉厚測定および値の判断方法、余寿命評価方法に加えて、業務の計画の重要性を認識させるべく過去の事故事例の紹介を新たな教育項目として、教育システムに組み込み、保修課員（配管担当者）を対象とした教育が実施できる仕組みにする。

要因ｄ．－④
調達管理の重要性に関する教育が不十分であった。

(対策３) 調達管理の重要性に関する教育の充実

調達管理に係るルール面において、仕様書における責任分界点・補償条件等の明確化、不適合の定義など当社への報告基準を具体的に調達要求事項に明示（「点検リストの漏れ」が重大な不適合であることを明示）、検収時に確認すべき内容・方法をより明確にしていくなど、調達管理業務を改善した点と同業務の重要性を皆が十分理解できる様に教育メニューに追加する。

（5）監査

要因ｅ．－①
内部監査（第一者監査）は、社内標準類の整備状況や整合性に力点がおかれ、その社内標準に基づく業務の詳細な実施状況はサンプル的に確認することにとどまっていた。

要因ｅ．－②
協力会社に対する監査（第二者監査）についても、主として品質保証体制の整備状況に関するものとなっていたため、個別業務の実施内容まで踏み込めていなかった。

（対策１）個別業務の業務実施内容に沿って詳細に確認する業務プロセスに着目した監査へのシフト

２次系配管肉厚管理業務において、内部監査（第一者監査）は、社内標準類の整備状況や整合性に力点がおかれ、協力会社に対する監査（第二者監査）についても、主として品質保証体制の整備状況に関するものとなっていたため、個別業務の実施内容まで踏み込めていなかった。

内部監査（第一者監査）および協力会社に対する監査（第二者監査）ともに、従来は仕組みの整備状況を中心に確認してきたが、今後は個別業務について、実施手順の要求事項やプロセスが明確にされ、業務が効果的に実施されているかの確認にシフトさせていく。具体的には、業務の計画、実施、フォローという業務のプロセスについて、想定されるリスクに対する管理手段が設けられ、それが確実に実施されていることを確認するものである。

4．ＰＷＲ管理指針の的確な運用

ＰＷＲ管理指針では、余寿命が２年以下と評価された場合には取替計画を策定することとなっているが、調査の過程で、火力技術基準の「ただし書き」を誤って適用していた事例があったため、以下の対策を実施することとした。

・技術基準の解釈に明記されている別表の許容値を厳正に用いて運用する。
・当社の管理指針について、「余寿命が２年以下となる前に点検を行なう」を改め、「余寿命が５年未満となる時期に点検を行なう。さらに、余寿命が５年未満の場合は取替・溶接補修を立案し、余寿命がゼロ年になるまでの間に補修すること、また、補修までの間は、定期検査において毎回点検を継続する」と改正した。また、事前に補修方法や補修用部材を準備しておくなどの運用・管理を適切に実施する。
・技術基準を運用する者が適切に技術基準を理解できるよう教育を実施する。

5．労働安全活動に反映すべき対策

今回の事故は、５名もの方が尊いお命を亡くされ、６名の方が重傷を負われるという極めて重大な人身事故であり、このような事故を二度と繰り返さないため、労働安全の観点から今回の事故から得られた教訓に基づき、以下の対策を実施した。

（1）事故後直ちに実施した対策

事故後直ちに、運転中のプラントへの立ち入り制限を実施し、やむを得ず作業が必要な場合には、耐熱服の着用等の措置を実施する。また、２次系配管の健全性が確認され、協力会社の方々、地元の方々のご理解が得られるまで定期検査前準備作業を実施しないこととし、従来、定期検査前準備作業として行なっていた作業をプラント停止後に実施する。定期検査

においてプラント運転中に事前準備として行なっていた作業の内容、優先度および重要度を精査している。

（2）被災者救出活動の確実な実施

（a）１１９番通報について

「消防計画」・「原子力発電所における警防活動に関する協定書」において、火災等を発見した場合は、速やかに消防機関へ通報することを定めており、発見者は、所属長・当直課長に直接報告し、消防計画に定められた消防署への通報者に速やかに情報が伝わるように徹底する。

以上の内容が発電所員に十分浸透する様、救急通報のルール遵守を周知徹底した。

（b）現場指揮本部との連携

消防現場指揮本部との連携強化を図るため、担当管理職を同本部へ派遣することにより、消防本部の指揮のもと、建屋構造設備・作業人員把握状況等を含め、必要な説明が速やかに行える体制とした。また、当社対策本部室近傍の場所を消防本部用に準備し、消防本部の方へ当社対策本部の情報をより迅速に提供できるようにするとともに、構内ＰＨＳにより消防現場指揮本部と当社対策本部との連絡が確実に実施できるようにする。

（c）作業者の安否確認

災害発生時には、作業エリアへの入域システムにより速やかに周辺防護区域および防護区域への立ち入り者とその協力会社名を把握し、協力会社の作業責任者を通じて、安否を確認することにより、現場での作業人員の的確な把握を行なう運用とした。

（d）被ばく・汚染情報の連絡

管理区域内外の発災を問わず、被ばく・汚染の有無に関する情報を確実に救急隊ならびに医療機関に連絡するよう、社内標準に反映した。

（e）救出要員の２次災害防止

２次災害防止のため、念のための処置として、救出活動にあたる際の注意事項を発電所員に対して周知徹底した。

（f）地元地区への連絡

発電所が要請した救急車等の緊急車両が地元を通過する場合、通過地域周辺の方々にその状況を知っていただけるよう、美浜町の音声告知放送設備を利用した連絡を実施していく。

（3）作業者への周知

今回の事故を踏まえ、発電所内の全ての作業者に対して美浜３号機の事故に係る状況を説明し、さらにプラントの運転状態に応じた危険箇所の周知等を行ない、安全に対する理解を促すよう各発電所作業担当箇所に指示し、各発電所は、現場作業に従事する者に周知し、説明した。

また、立入制限中の現場においては、耐熱服の設置場所、安全通路がわかる様に表示するとともに、主復水・主給水系統の配管については主要点検部位に点検状況等を記載した表示札を取付け、また、主要機器類については点検が実施されており健全である旨を当該エリア入口に掲示することにより、作業者の方々が自ら確認できるようにした。加えて、発電所への入構時安全衛生教育においては、災害発生時の避難経路、耐熱服の設置場所などの項目

も追加する。

第８章　事故再発防止対策の保全業務への水平展開

１．業務の計画と体制

当社の原子力発電所の保全業務については、業務の計画と結果の評価は当社が行ない、現場作業を外注することを基本としてきた。

２次系配管の肉厚管理業務は、第７章で述べたとおり、業務の計画段階で、当社・メーカ・協力会社の役割分担が不明確であった。この反省から当社の保全業務全般にわたり役割分担をより明確にしておくことが必要と考え、３者が適切な緊張感を長期にわたり継続するための方策として次の事項を実施する。

当社、メーカ（製造者）および協力会社（施工会社）の役割分担と責任を、保全の計画の段階で文書等により明確にする。具体的には、保全の計画、調達管理、結果の評価、記録の保管などは、当社の役割であり全ての責任を有することを明確にする。その上でメーカに対して、高度な技術力を有するものであるという観点から設備に関する各種技術情報（不具合情報）の提供を求める。また、協力会社（施工会社）に対しては、当社の要求事項の確実な遂行と施工に係る情報提供を求める。当社はその情報をもとに最終的な保全の計画を策定する。

このため、工事の安全上の重要度、必要とされる技術力や法的な位置付け、工事形態などに応じて役割分担を定めて基本計画を策定し、その後、それぞれの工事の種別ごとに類型化してルール化する。

２．調達管理

当社では、保全業務を行なうにあたって、請負や委託は必要不可欠なものであり、調達管理を適切に実施することが保全業務の品質を確保する上で、非常に重要であると考えている。

第７章で述べたとおり、調達管理においては、当社の要求事項を確実に満足できるよう仕様書等を明確にすることが重要であり、以下の事項を実施する。

ａ．請負工事に加え委託調査も含めた、当社の役割の明確化

保安上、重要な案件については、委託調査も含めて外注した業務について、その実施体制、手順、力量等を確認することにより、品質を確保することが必要である。そのために、当社がどの程度関与するかを個々の業務ごとに検討する。例えば業務のプロセスごとに確認が必要なもの、ポイントの確認より全体を評価するもの、力量管理により外注先に委ねるもの、結果の確認だけで十分な業務に分類し、それぞれに適切な管理程度と方法を明確化するとともに当社担当者に十分理解させてその状況をフォローし、改善を図る。

この調達管理の最適化については、外注の重要度や内容、形態、力量に応じ、当社の役割を見直すためのこととし、基本計画を策定し、その後、それぞれのパターンに分けルール化する。

ｂ．調達要求事項記載内容のさらなる明確化

業務の計画において定められた責任分界点・補償条件等の明確化、不適合の定義等、当社への報告基準を具体的に調達要求事項に明示（点検リスト漏れが重大な不適合であることを明示）、および検収時に確認すべき内容・その検収方法について、調達文書である仕様書や契約書において明確にする。その旨、保修業務要領に追加記載し、周知徹底する。

c．検収時に確認すべき内容・方法

外注結果が要求事項を満足している内容であることを確認するため、検収時の確認事項について、その内容・方法について保修業務要領および請負工事一般仕様書に関する要領指針に記載し周知徹底する。

3．情報の共有

第７章で述べたとおり、２次系配管肉厚管理においては情報共有が重要であり、水平展開等の対策を実施することとしたが、保全業務全般についても同様の対策を以下の項目について展開する。

a．「点検リストの漏れ」に関する事例の社内標準への反映
b．「点検リストの漏れ」以外の事例の確実な水平展開の実施
c．情報管理専任者の設置による水平展開の確実な実施
d．重要情報がキーパーソンへ直接入るシステムの構築
e．「点検リストの漏れ」のような事例の国内電力会社間での水平展開の仕組みの改善
f．電力・メーカ間の保全情報共有化の仕組みづくり
g．水平展開された知見を協力会社と共有する仕組みの構築
h．協力会社とのコミュニケーションの充実
i．現場における作業員とのコミュニケーションの充実

4．教育の充実

第７章３．（４）において、当社が教育関係の対策として実施する項目を列挙したが、これらの中で、保全業務遂行能力の向上につながるものについては、より効果的な対策となるよう、対策内容を２次系配管肉厚管理業務だけでなく保全業務全般に拡大し、実施する。

a．美浜３号機二次系配管破損事故による教訓等の事例周知

配管破損に関する過去のトラブル事例と教訓を確実に伝承するとともに、これを通じて２次系配管肉厚管理業務や調達管理業務の重要性を認識させるための教育を実施するが、他の業務においてもその重要性は変わらない。そのため、対象となるトラブルを配管破損事故に限定せず、教訓を伝承すべき重大なトラブル事例全般とするとともに、そのトラブルが業務の重要性の認識不足から発生したものであれば、これもあわせて周知する。また、対象者も配管担当者に限らず、発電所技術系社員全員として、ｅ－ラーニングにて実施する。なお、この内容は新入社員教育のメニューにも追加する。

b．業務の計画や調達管理に関する教育

２次系配管肉厚管理の改善の対策として抽出した業務の計画および調達管理に関する教育については、その重要性に鑑み、保全業務共通のものとして充実を図る。

5．監査の強化

品質・安全監査室による内部監査および原子力部門による協力会社に対する監査について、より現場に密着した業務プロセスに着目した確認ができるような体制を構築する。

6．労働安全活動

今回の事故では、設備保全状況を労働安全確保のための仕組みに反映する取組みが十分でなかったため、労働安全確保に向け、体系的な取組みを行なうための対策を実施する。

（1）労働安全衛生マネジメントシステムの導入

a．システム導入

今後の労働災害防止対策として、事業場のトップが自ら率先し、一体となった安全管理活動を推進すべく、美浜発電所において、労働安全衛生マネジメントシステムを導入する。

本マネジメントシステムは、厚生労働省が策定した指針に基づくもので、「計画－実施－評価－改善」という一連の過程を定めて、連続的かつ継続的な安全衛生管理を自主的に行なうことにより、事業場の労働災害の潜在的危険性を低減するとともに、労働者の健康の増進および快適な職場環境の形成の促進を図り、事業場における安全衛生水準の向上に資することを目的としている。美浜発電所では、既に取組みに着手し、実施体制、安全衛生方針・目標を決定、年度活動計画を策定するとともに内部監査やレビューのための仕組みを構築した。

また、本マネジメントシステムにおいては、事業場における危険または有害要因およびこれに対する実施事項を特定するとともに、これらの内容を作業者に周知するプロセスが含まれており、既に試行中である。今後は、これらの試行活動を経て、平成１７年度に本格運用する。

加えて、第７章５．（1）における運転中の事前準備作業の検討結果を踏まえ、必要な作業については、労働安全衛生マネジメントシステムの中でリスク評価を行なうことにより、制限事項と安全確保策を明確にし、定期検査前準備作業の改善を図り、協力会社、地元の方々のご理解を得ていく。

なお、美浜発電所の取組みを踏まえ、高浜発電所、大飯発電所へも展開する。

b．設備の適切な維持管理

労働安全衛生マネジメントシステムの中で事業場における危険または有害要因およびこれに対する実施事項を特定するプロセスがあり、この中で危険箇所を特定し、実施事項として、適切な設備保全ができていることを確認する。

（2）安全管理活動の確実な実施

次の事項等により安全管理活動の確実な実施に努める。

a．事業場における相互連携

（a）現場設備に精通した保修部門の管理職を安全管理者として選任し、安全管理活動と設備管理活動を一体として実施できる体制とする。

（b）労働安全衛生マネジメントシステムの体制の中において、設備管理を所管する技術系副所長や安全管理者を中核に位置付けて推進する。

b．総括安全衛生管理者を中心とする安全管理活動の実施

（a）総括安全衛生管理者、安全管理者の安全衛生委員会への出席を含め、適正な運用の徹底を図る。

（b）安全衛生委員会を発電所員の意見を反映させる場として中核に位置づけ、総括安全衛生管理者がリーダーシップをとり、法で定められた事項、安全衛生目標、安全衛生活動計画、システムの運用状況を審議し、活性化を図る。

c．協力会社も含めた全体的な緊急避難訓練の徹底

（a）協力会社と合同で行なう緊急避難訓練については、種々の災害を想定した避難ルートを確保する。

（b）作業者の迅速な避難を目的とした協力会社との緊急避難訓練（年２回以上）を実施する。また、訓練に際しては、協力会社に対して積極的に参加を働きかける。

（3）コミュニケーションの充実

労働安全衛生マネジメントシステムを運用する中で、安全衛生目標の設定や安全衛生活動計画の策定時に、安全衛生委員会において発電所員の意見を聞くほか、安全衛生協議会、さらには、日常作業におけるＴＢＭ等の場を通じて当社－協力会社間のコミュニケーションを十分に図る。

（4）安全管理者への教育の実施

労働災害の現状、災害事例の研修、最近の安全管理手法などに関する教育を実施し、現場の労働安全衛生活動の中心メンバーである安全管理者の能力向上を図ることにより、労働安全衛生の水準を向上させる。

7．高経年化対策

当社は美浜２号機の蒸気発生器伝熱管損傷事故を契機として、高経年化対策の重要性についていち早く認識し、専任の体制を構築し、この課題について取組んできた。

今回の配管破損事故は、２８年間当該部位が要管理箇所として点検リストから漏れていたため点検されず、破損に至ったものである。これは２８年間運転してきたというプラントの高経年化が背景にあり、運転年数に応じた点検範囲の拡大などのさらなる高経年化への考慮が必要である。

当社はこれまでもＳＧ、原子炉容器上蓋等の設備の更新を行なってきたが、プラントの高経年化に対しても、予防保全や信頼性向上の観点から適切な設備更新を行なうことが大変重要である。

運転開始後３０年を超えたプラントでは、高経年化対策検討にて抽出された新たな保全策をとりまとめた長期保全計画（通常の点検計画を含む）を計画的かつ確実に実施し、さらには高経年化プラントについて、より信頼性の高い管理を行なうため、検査・モニタリング技術、予防保全・補修技術、経年変化評価技術の研究開発を今後も継続して実施し、その成果を保全プログラムに反映して、高経年化したプラントの健全性を維持していくことが重要である。

また、こうした高経年化プラントについては社会的関心も高く、一般の方々にご安心をいただくためにも、取組み内容について積極的に公表しご理解を得ていくことが不可欠である。

このように高経年化対策については、技術的側面と社会的側面から対応の充実を図る必要があることから、今後も積極的かつ計画的に取組んでいく。

なお、今回の配管破断事故に鑑み、高経年化プラントへの２次系配管肉厚管理については、運転開始後３０年を超えるプラントを対象に以下のさらなる充実を図った。

① ３回の定期検査で再度、全箇所を点検
② 余寿命１０年未満になれば、毎定期検査で点検
③ 減肉傾向が認められるもので余寿命１０年未満のものは、今後数回の定期検査で耐食性に優れた材料に取替え

８．地元からの信頼回復

当社は従来から、発電所のコミュニケーショングループを中心に、さまざまな機会を捉えて地元の方々との対話活動等を進めてきた。しかしながらこのたびの事故により、地元の方々が発電所に向けるお気持ちを発電所の技術者等が直接汲み取りながら、発電所の業務を運営することが重要であること、また、地元の方々の声を経営に活かしていくことが重要であることを、改めて認識した。

そこで、よりよい意思疎通を図る対策として地元の方々と発電所の技術者等が直接対話する機会を増やす。既に美浜町全戸（約３，０００戸）を訪問し、ご意見を伺っている。また、社長以下、本店・若狭支社幹部が積極的に、直接地元の方々のご意見をお伺いしあるいは当社の状況等を定期的にご説明させていただく。具体的には、社長は年１回程度、本店原子力部門および若狭支社の幹部は年３回程度の頻度で各立地町の方々と対話するべく地元との調整を進めている。

関西地域における使用電力量の約６割を担うすべての原子力発電所を福井県に立地している当社としては、地元の企業であるという認識のもと、福井県との共存、共栄が大切であり、信頼が得られるよう地域との共生にしっかり取組んでいく。

また、原子力事業本部再編に伴い、原子力発電事業の基盤を福井県に置き事業を運営するという観点から、原子力事業本部を福井県に移転していく。

さらに長期的な福井県の発展、また県下地場産業の活性化にも寄与するために福井県が進める「エネルギー研究開発拠点化計画」の具体化について、全社をあげて協力していく

この構想において新たな課題となっている高経年化研究や特殊で高度な医療研究と治療のための施設の整備の推進に積極的に協力していく。

第９章　対策の確実な実施とフォロー

第７章、第８章において、２次系配管肉厚管理システムに関する対策、２次系配管肉厚管理の教訓を踏まえた保全業務全般への展開および、安全を最優先とする保全活動の定着のためのそれぞれ対策を実施していくことを述べた。対策には、組織の見直しや要員増強を含めたしくみの整備も含まれており、会社全体で進めていく。

対策は、より安全な原子力を目指すものであり、対策が保全活動をはじめとする発電所の業務に確実に定着するようにしていかなければならない。そのため、下記のとおり取組む。

①「原子力保全改革委員会（仮称）」を新たに設置し、対策の取組み状況や進捗状況を委員会として把握し、取組み内容などについて審議を行ない、対策が確実に実施されていることを確認し、必要に応じ指導を行なう。また、対策ごとに実施体制や実施計画のレビューを行ない、対策実施担当箇所と綿密なコミュニケーションを通じ、適宜助言等フォローを行なう。

②「原子力発電所における安全のための品質保証規程」（ＪＥＡＣ４１１１－２００３）に基づくマネジメントレビューにおいて、対策実施状況をインプット情報の一つとして取りあげ、トップマネジメントの視点からレビューを行なう。

なお、対策実施の状況については、地元との対話の機会を利用し、地元の方々に適時説明を行ない、ご理解を得ることとする。

おわりに

本報告書におきましては、私どもの発生させたこのたびの重大な事故の原因の調査･検討、再発防止対策の内容について、ご報告を申し上げました。

私どもは、改めて、この事故を深く反省し、二度とこのような事故を起こさないとの決意を新たにして、より安全で安心していただける原子力発電を目指し、ご報告申し上げた対策を着実に実施してまいりますのはもとより、原子力に対する信頼、当社への信頼を賜れますよう、全社一丸となって、懸命に努力を続けていく覚悟でございます。

皆様方には、引き続きご指導を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

以　上

添付資料リスト

第１章　関連資料

－

第２章　関連資料

添付資料２－１　：美浜３号機　概略系統図
－２　：美浜３号機　復水配管破口部の状況
－３　：美浜３号機　復水配管スケルトン図（第４低圧給水ヒータ～脱気器）
－４　：２次系配管破損事故時におけるプラント主要パラメータの推移
－５　：シーケンスイベント記録
－６　：美浜３号機　２系配管破損事故時の火災報知器の発報状況
－７　：美浜３号機　主給水ポンプ自動停止について
－８　：美浜３号機　第４低圧給水ヒータから脱気器への配管損傷に係る周辺状況写真
－９　：野外モニタ記録
－１０：美浜３号機　２次系水中に含まれるトリチウムについて
－１１：被災者の発見場所
－１２：２次系配管破損事故における被災者救出に係る人の動き
－１３：被災者の状況時系列
－１４：被災者救出に係る問題点の抽出

第３章　関連資料

添付資料３－１　：主要パラメータ挙動の解説
－２　：美浜３号機　プラント状況の時系列
－３　：美浜３号機　２次系配管破損事故時のプラント系統状態
－４　：美浜３号機　２次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き
－５　：美浜３号機　通常停止操作と今回停止操作の相違
－６　：美浜３号機　２次系配管破損事故時の運転操作について
－７　：美浜３号機　２次系配管破損事故と「主給水管破断」事故との比較
－８　：美浜３号機　２次系配管破損事故の再現解析および炉心の健全性評価結果について
－９　：美浜３号機　破口部からの流出経路および流出量について
－１０：美浜３号機　補助給水流量制御弁の一時的な動作不具合について

第４章　関連資料

添付資料４－１　：美浜発電所３号機２次系配管破損事故に係る現地調査データ
－２　：美浜発電所３号機　二次系配管破損部調査報告書（案）の概要
－３　：美浜３号機　二次系配管破損事故の要因分析
－４　：可視化試験・解析による美浜発電所３号機の配管内流動の検討について

－５　：美浜発電所３号機　復水管減肉速度の比較検討
－６　：美浜発電所３号機　２次系復水配管の破壊評価について
－７　：２次系配管破損挙動解析

第５章　関連資料

添付資料５－１　：脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について
－２　：破損配管周辺設備の損傷状況
－３　：美浜発電所３号機　２次系配管破損に伴う配管反力について
－４　：２次配管破損事故直後における熱水・蒸気の動きのイメージ
－５　：熱水、蒸気の到達範囲および設備影響調査対象機器
－６　：事故時の火災報知器の動作状況
－７　：主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地について
－８　：美浜３号機　中間・制御建屋への蒸気浸入経路の調査状況について
－９　：事故によるその他設備への影響

第６章　関連資料

添付資料６－１　：２次系配管肉厚管理未実施部位に対する肉厚測定結果

第７章　関連資料

添付資料７－１　：事実関係から要因の抽出および対策への展開
－２　：事実関係の調査結果による問題点の把握
－３　：直接的な要因、背景となる要因（ＲＣＡ）、要因集約および対策の関係表

第８章　関連資料

－

第９章　関連資料

－

用　語　集

＝あ＝

ＡＮＳＩ（ＡＳＭＥ）Ｂ３１．１

米国規格協会（American National Standards Institute）の動力配管基準。

ＡＳＭＥ規格

米国工業規格（American Society of Mechanical Engineers Code）の構造物に対する構造設計基準。

安全衛生委員会

労働安全衛生法に基づき、事業所の安全に係る事項を検討する場が安全委員会、事業所の衛生に係る事項を検討する場が衛生委員会であり、労働者 50 人以上規模の事業所について設置する（安全委員会は 一部の産業では選任の義務はない。）。
安全委員会と衛生委員会をそれぞれ設置することに代えて、安全衛生委員会として設置するもの。

安全衛生協議会

原子力発電所において、関西電力と協力会社が一体となって、安全衛生活動を推進するため、関西電力および協力会社責任者で構成し、年間を通じて安全衛生に関する定期的な情報交換会、安全パトロール、安全衛生行事、意識啓発活動等を実施する組織。

安全解析

原子炉施設の設置前段階において、その施設の安全性（安全対策）をデータで分析すること。

安全管理者

労働安全衛生法に基づき、一定の業種及び規模の事業場ごとに選任される。
安全衛生管理業務のうち、安全に係る技術的事項を管理する。

安全系設備

原子力発電所で事故が発生した時に、原子炉や原子炉格納容器を保護するための設備。安全系設備は、確実に作動するように多重性及び独立性を持たせている。

安全裕度

安全限界のしきい値に対して持たせる一定の裕度。

ｅ－ラーニング

ネットワークを活用した教育や研修のこと。利用者はパソコンを使い、好きなときに学ぶことができ講師との質疑応答も可能。

１次系

加圧水型原子炉の場合、原子炉とその関連設備からなる部分と、放射性部物質を含まないタービン・復水系・給水系などから成る部分に分けられる、前者の設備のこと。（原子炉系ともいう。）

１次冷却材　**１次冷却材ポンプ**

放射性物質を含む原子炉側のシステムを流れる水が１次冷却材であり、そのシステム内を循環させるポンプが１次冷却材ポンプである。１次冷却材は、ＳＧにおいて２次冷却材に熱を伝達する。

請負工事一般仕様書

当社原子力発電所の請負工事を受注した請負会社が工事を施工する際に必要とする、各種工事に共通する一般的な、品質管理、作業管理、安全衛生管理および災害防止上の要求事項をまとめた仕様書。

ＡＶＴ（全揮発性薬品処理）

系統内のｐＨ（ペーハー）調整や腐食防止に用いられる薬品をアンモニア、ヒドラジンおよびエタノールアミンなどの濃縮しない薬品で処理する方法。(All　Volatile　Treatment)

ＥＴＡ（エタノールアミン）

系統内の水質をｐＨ（ペーハー）調整する薬品。アンモニアに比べ蒸気とドレン（液相）が混合した二相流の流体のｐＨ調整に有効で、鉄成分の溶出低減が期待できる。

ＮＺ成分

ポンプなどの回転機器が持つ流れの周期的変動や大きな渦の吸込みが原因となる周波数特性。

ＦＴ図

問題の原因解析手法であるＦＴＡ(Fault Tree Analysis)において作成する図。発生すると好ましくない事象（トップ事象）を頂上において、その事象が生ずるための一次要因、二次要因及びそれ以下の要因を展開したもの。ちょうどヒマラヤ杉の形に似ているので、ＦＴ図(Fault Tree Diagram)と呼ばれる。

エロージョン／コロージョン

金属材料の腐食が流体の流れにより加速される現象。なお、エロージョンは材料表面に流体が衝突することなどの機械的な作用による摩耗現象であり、コロージョンとは腐食化学的な侵食や溶解等の腐食である。最近ではエロージョン・コロージョンをエロージョンと明確に区別するために
ＦＡＣ（Flow　Assisted　Corrosion、或いは、Flow　accelerated　Corrosion）と呼ばれることもある。

塩化物イオン環境

塩化物(塩素)イオンが存在する環境。

塩素型応力腐食割れ

材料に残留又は外部から加えられた応力と水質(腐食)環境中に存在する塩化物イオンとの共同作用によって発生する腐食により、発生する材料の割れ。

ＯＪＴ

仕事の現場で、実務を通じて業務に必要な知識や技術を習得させる研修。（オン ザ ジョブ トレーニング）

オーナーズグループ

国内ＰＷＲプラントを所有する北海道電力、四国電力、九州電力、日本原子力発電とプラント供給メーカの保全情報共有化の場。

オリフィス

流体の流れる流路の断面を狭める絞り機構。

＝か＝

加圧器

１次冷却材の圧力や保有する量を調整している設備。

解析コード（Ｆｌｕｅｎｔ）

流動を解析するための一般的な解析コードのこと。Ｆｌｕｅｎｔは商品名。

可視化試験

普段、実機では見ることの出来ない内面の状態を観察・分析する試験。

管理区域

原子力施設や放射線利用施設等で、関係者以外の者の無用な放射線被ばくを防止するとともに、施設内で作業する人の被ばく管理を適正に行うため、放射線被ばくのおそれのある区域を他の一般区域から物理的に隔離した区域。

技術基準

法的に容認できる最小限の要求。

技術基準適合確認検査

配管が技術基準に適合していることを確認する検査。

逆止弁

蒸気、水などの流体が、逆流しないように作動する弁（バルブ）。

キャビティフロー型熱成層

流れのない閉塞分岐管（低温）に、主管（高温）の流れに誘起された高温水が侵入することにより発生する熱成層のこと。

キャビテーション

流体が流れている中で、流速の速い箇所で流体の一部が蒸発して気泡が発生し、流速の遅い箇所で気泡がつぶれる現象。

機能性規格

具体的な仕様に関する要求を取り纏めた規格ではなく、要求事項を実現するための機能のみを取り纏めた規格。

給水ヒータ

復水・給水などの２次冷却材を蒸気との熱交換によってその温度を高めることにより、プラントの熱効率を上昇させるために設置されている機器。美浜３号機においては、１段目～４段目までの低圧給水ヒータ、６段目の高圧給水ヒータが設置されている。

給水系統

脱気器で加熱・脱気した給水を高圧給水加熱器でさらに加熱し、蒸気発生器へ送水する系統。

給水ポンプ、給水ブースターポンプ

通常運転中に蒸気発生器へ給水するためのポンプ。通常３台中２台が運転されている。

狭域水位（ＳＧ）

ＳＧ水位をより細かに監視するために設けられた水位。

共振

固有振動数に合わせて外から周期的な力を加えると、振幅が急に大きくなる現象。（共鳴ともいう）

緊急負荷降下

運転中の発電機出力を事故時において緊急に降下させる際の出力降下操作。

計器用電源設備

原子力発電所が停電しても、運転員が必要な監視計器や制御装置等用の電源を無停電で供給する設備。

計算必要厚さ

配管が強度を保つための設計計算に用いた計算上の配管厚さ。

経年変化点検管理票（点検管理票）

スケルトン図の点検部位について点検実績や予定をそれぞれ記載した一覧表

ケーブルトレイ

ケーブルを保護し支持するために、布設経路に設置するもの。

検出限界値未満

測定器において検出できるレベルを下まわっている（検出されない）こと。

原子力設備２次系配管肉厚の管理指針（ＰＷＲ管理指針）

ＰＷＲプラントの２次系配管について、減肉状況を管理するするために点検対象、方法等を取り決めたもの。

「原子力発電所における安全のための品質保証規程」（ＪＥＡＣ４１１１－２００３）

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律に基づく原子力発電所、核燃料加工施設及び再処理施設等の安全のための品質保証要求を具現化した民間基準。

原子炉自動停止

プラントの停止が必要となった場合、信号により自動的に制御棒を挿入、原子炉の核分裂を停止させること。

原子炉設置変更許可申請書

原子炉施設の基本設計ないし基本的設計方針を変更する際、その内容について経済産業大臣の許可をうけるために必要とされる事項を記載した書類。

減肉速度予測式（ＷＡＴＨＥＣ式）

プラントメーカ（Siemens 社；ドイツ）が、実機のエロージョン・コロージョンによる減肉データに基づいて、流速・配管形状・温度・材料・水質・溶存酸素濃度等をパラメータにして作成した減肉速度の予測式のこと。

減肉率

配管において、減肉の進む割合。

高温停止状態

タービンは停止し、原子炉は未臨界で１次冷却材が無負荷時の温度・圧力を維持した状態。

高経年化対策

運転が開始されてから３０年以上が経過し、運転の長期化に対する安全性・信頼性のより一層の向上に向けて実施されている活動。

電気事業者は、高経年化対策検討報告書を国に提出・報告し、国は評価内容を確認するとともに経験が充分にある専門家や学識経験者の意見を取り入れながら評価･検討を行っている。

工事仕様書

発注工事ごとに作成するもので工事内容、工事範囲等の調達要求事項を記載した文書。

孔食

局部的に腐食が進行して深い孔(あな)をつくる腐食形態。（点食、ピッチング）

公的機関

本報告書では原子力発電所の運営にあたり関係する公の機関。代表的な機関として福井県庁、福井県警察本部、敦賀・美方消防組合等をいう。

降伏応力

材料に力（応力）を加えて変形を生じさせる時、永久に元の形に戻らなくなる応力。

固有振動数

物が振動する時は決まった振動数で振動する、その振動数のこと。

＝さ＝

サリー事故

米国サリー原子力発電所２号機で１９８６年１２月に発生した事故。
定格出力運転中のところ原子炉が自動停止、その後タービン建屋にある給水ポンプ入口配管が破断した。破断部付近の配管内面は著しく減肉しており、この事故で作業員８名が火傷、うち４名が死亡した。

「３Ａ（Ｂ）直流接地」警報

直流電源の漏電電流を検出し、系統から切り離す運転操作が必要であることを運転員に注意喚起する警報。

酸素型応力腐食割れ

材料に残留又は外部から加えられた応力と水質(腐食)環境中に存在する酸素との共同作用によって発生する腐食形態。

シーケンス試験

複数の機器の動作順番が予め定めている自動制御プログラムどおりに動作することを確認する試験。

シートリーク

弁座からの漏れのこと。弁（バルブ）に要求する本来の流路閉鎖が出来ず、微量の流れが継続する状態。

シール処理

ケーブルトレイ等の貫通部に密閉性を確保するために行なう処理。

支持構造物

配管、機器の振動や動揺を吸収するため、ある程度の自由度を保ちながら荷重を支えるもので、ハンガやサポート、防振装置等がある。

ＪＩＳ規格

日本工業規格（Japanese　Industrial　Standard)。

自動待機状態

待機状態の機器に自動起動信号が入力されると、自動起動し通常運転状態となるよう待機している状態。

主給水管

蒸気発生器の２次側へ給水を送水する主給水系統の配管。

蒸気発生器（またはＳＧ）

１次冷却材と２次冷却材の熱交換を行い、タービンを回転させるための蒸気を発生させる設備。

硝酸イオン、強アルカリ環境

硝酸イオン環境：硝酸イオン（NO_3^-、強酸化性のイオン）が存在する環境。
強アルカリ環境：アルカリ性の強い（ｐＨが高い）環境。

承認申請図書

工事実施にあたり、関係する技術図書(設備の機能･性能、基本仕様等)で当社の承認が必要なもの。

初期設定減肉率

初回の肉厚測定時期を決定するため、主要な部位について内部流体、流速、温度別に設定されたものである。設定にあたっては、過去に得られたデータや諸外国における運転経験等も考慮して策定された。

芯ずれ

オリフィスの正規の取り付け位置中心から、実際の取り付け位置とのずれ。

水質管理値

系統の設備、機器の健全性を維持するため、この値を超えるか超えるおそれがある場合は、原因究明や必要な回復措置を講ずる必要のある値。

すきま腐食

構造的な隙間に腐食作用を起こす物質が滞留することによって発生する腐食形態。

スケルトン図（立体配管図）

建物内や装置内を走る配管ルートを立体的に描いた立体配管図。

制御員

原子炉の運転操作を行う運転員。

制御建屋

中央制御室等を格納している建物。

責任分界点

契約において発注者・受注者が契約書類（契約書・仕様書）の中で明確化したお互いやるべきことの区分点。（または債権・債務の区分点。）

絶縁抵抗測定

絶縁された導体間の電気抵抗を測定すること。

旋回流

流体が流れ方向に平行なある軸を中心として回転しながら流れる流れ。

総括安全衛生管理者

労働安全衛生法に基づき、一定の業種及び規模の事業場について、選任される事業を実質的に統括管理する者。

安全管理者、衛生管理者を指揮するとともに労働者の危険又は健康障害を防止するための措置等の業務を統括管理する。

総括報告書

工事終了後に提出される最終の報告書。「所見・考察」、「工事施工範囲・施工内容・工事期間」、「体制表」、「実績の工程表」、「作業要領書（改正履歴含む）」、「各種記録およびチェックシート」等で構成される。

＝た＝

タービン自動停止

プラントの停止が必要となった場合、信号により自動的にタービンに入る蒸気を遮断し、タービンを停止すること。

タービン建屋

タービン発電機や２次系設備を収納（格納）している建物。

ただし書

発電用火力設備に関する技術基準において、別表に規定される材料の許容引張応力を、通常運転時における温度及び圧力が最高使用温度及び最高使用圧力を超える時間がいずれの１２月間においても運転時間の１％以下の場合は、１．２倍、１０％以下の場合は、１．１５倍とすることの記載。

脱気器

蒸気により給水を直接加熱し、給水中の不凝縮ガスを分離除去するもの。

弾性変形

材料に力（応力）を加えて変形を生じさせた後、力（応力）を取り除くと元の形に戻ること。

炭素鋼（ＳＢ４２）

２％以下の炭素を含有する鉄。加工が容易で、プレス成形用薄板や各種工具に用いられている。

中央制御室

発電所の設備を集中管理・制御している部屋。

中間建屋

タービン建屋と１次系建屋の中間に位置する建物。

超音波肉厚測定器

構造物の欠陥検出における非破壊試験法の一つで、超音波が配管物の内部を伝搬しあたって跳ね返ってくる距離で配管の肉厚を計測する計量器。

調達管理

調達（物品の購入、工事の請負、業務の委託）に関する管理。具体的には、社内での事務手続き・取引会社の管理・工事施工管理・購入品の管理（受入検査含む）の方法を明確にするとともに、取引先に対する要求情報を明確にすることが求められる。

直流電源設備

直流電源を供給する設備、蓄電池や充電器等から構成される。

低温停止操作

１次冷却材を低温停止ほう素濃度まで濃縮したのちに行う原子炉の冷却操作。蒸気発生器や余熱除去系統を用いて温度・圧力を降下させる操作である。

定格熱出力一定運転

原子炉の熱出力が定格値で一定となるような運転方法。

定期安全管理審査

電気事業法に基づき、電気事業者が実施する定期事業者検査の検査の体制（組織）、検査方法、工程管理等について、独立行政法人が実施する審査。

定期事業者検査

電気事業法に基づき、国が定めた技術基準を満足していることを確認するために電気事業者が実施を義務付けられている検査。

ＴＢＭ（ツールボックスミーティング）

作業前に現場で作業内容、注意事項などを確認するミーティング。

出来事流れ図

今回の事象が発生した全体の出来事を時間軸で図式化し、どこに問題があったかを洗い出し、その洗い出した問題毎に何が不足していたかを分析する。

デジタルマイクロスコープ

画像処理を電子的に行い、対象物を拡大するもの。

点検リスト

スケルトン図や点検管理票といった点検に必要な資料の総称

電磁弁パネル

電磁弁を格納している収納箱。

トリチウム

水素の同位体であり、低エネルギーのβ線を放出する放射性核種。原子炉内では核分裂や放射化によって生成される。

トレーサビリティ

スケルトン図と管理票間のつながりを明確にすること。

＝な＝

２次系

ＰＷＲのように、原子炉とその関連設備からなる部分と、放射性部物質を含まないタービン・復水系・給水系などから成る部分に分けられるプラントにおいて、後者のタービン側のシステムを構成する設備のこと。具体的には、主蒸気設備、蒸気タービン設備、復水設備、給水設備などで構成される。タービン系ともいう。

２次系純水タンク

純水装置で製造した純水（不純物の極めて少ない水）を貯蔵しているタンク。

２次系配管経年変化調査工事

昭和５０年台前半より２次系炭素鋼配管の減肉現象に着目し、昭和５７年に定期点検で実施する工事件名として社内標準で制定した。点検内容は配管の肉厚測定を行うものである。

２次系配管肉厚管理システム（ＮＩＰＳ（Nuclear Inspection data Processing System））

原子力発電所設備の欠陥発生状況評価、設備信頼性の向上、経年的な欠陥進行状況と余寿命評価を支援するシステム。

２次冷却材

放射性物質を含まないタービン側のシステムを流れる水。ＳＧにおいて、１次冷却材から熱を伝達される。

二相流

物質が取りうる固相、気相、液相の三つの相（状態）のうち、二つの相が混合する流れのこと。（本報告書においては、蒸気と熱水が混合した気液二相流のこと）。

（社）日本機械学会

技術社会の基幹である機械関連技術に関わる技術者、研究者、学生、法人の会員から構成されて、講演発表会、講習会、研究分科会などの企画実施、市民フォーラムによる社会の啓蒙活動、国際会議による世界への貢献を活発に行い、会員相互の学術の向上と社会への技術成果の還元をしている社会法人。

熱傷

熱によって起こる皮膚の損傷。

＝は＝

背圧

弁（バルブ）における出口側（２次側）の圧力。

発電用火力設備の技術基準

電気事業法に基づき火力設備の技術基準を定めたものであるが、原子力の蒸気タービン及びその他付属設備などの２次系設備についても本技術基準が適用されている。

ＰＷＲ

軽水（一般には重水と区別して、通常の水を指す）を冷却材として使う軽水炉の一方式。原子炉で加熱された加圧水で２次冷却水を加熱し、その蒸気でタービンを回す。

非破壊検査

配管などの傷・歪(ひずみ)などを、エックス線・超音波などをあてたり表面を染色したりして、配管などを破壊することなく検査すること。

品質保証システム

品質（原子力安全）に影響を与える活動を体系的に実施するための管理の方法を定め、品質に影響を与える全てのプロセスについて、これを計画し、実施し、評価し、改善するというＰ－Ｄ－Ｃ－Ａ　サイクルを廻す仕組み。

復水系統

蒸気タービンで仕事をした蒸気を復水器で凝縮（復水）させ、その復水を、低圧給水加熱器で加熱し脱気器へ送水する系統。

復水配管

復水系統を構成している配管。

復水ポンプ　復水ブースターポンプ

通常運転中に復水器の復水を脱気器へ送水するためのポンプ。通常３台中２台が運転されている。

不適合処置

要求事項を満たすように手直しすること、または修理すること。

プラント挙動再現解析

事故発生時のプラントの状態をコンピュータ上再現し、データ分析を行なうこと。

ブローホール、スラグ巻き込み

ブローホール　：溶接の熱でガス化する物質が母材表面にある場合、気孔欠陥が生じ易くなる現象。

スラグ巻き込み：金属が凝固する際、不純物として酸化物を凝固排出する。その酸化物が金属中に閉じ込められて凝固する現象。

プロセスモニタ

発電所内で取り扱う水、空気、ガス等の放射線を連続測定する装置。

ｐＨ（ペーハー）

水素イオン濃度を表す指数で、液の酸性・アルカリ性の程度を表すのに使う単位。中性は７、酸性は７より小さく、アルカリ性は７より大きい。

ヘッダ

複数系列の同じ配管が合流する集合管。

保温材

配管を覆うことにより通常運転時の配管からの放熱を抑制するためのもの。

保修業務要領

「原子力発電所の保守管理規程（ＪＥＡＣ４２０９－２００３）」を適用規格として、若狭支社が保守管理に係る業務の円滑適正な運営を図ることを目的とし、定めた社内標準。

補助給水ポンプ

主給水ポンプとは別に設けられ、蒸気発生器への給水を確保し余熱除去系統が使用開始されるまで原子炉停止後の崩壊熱除去を行うためのポンプ。電動機で駆動される電動補助給水ポンプが２台、蒸気でタービンを回すことで駆動されるタービン動補助給水ポンプが１台設置されている。

補助給水流量制御弁

タービン動補助給水ポンプ出口にあり、各蒸気発生器への給水量を調整する弁。

保守管理システム

点検及び試験並びに補修、取替え及び改造の対象範囲を定め、その計画を策定・実施し、結果について確認・評価を行うとともに、必要時には是正処置を講ずるための管理システム。

保全指針

機器単位の点検部位、点検範囲、点検頻度、点検内容等を整理したもの。

保全品質情報基準

法に基づき国へ報告する必要のない軽微な事象であるが、保安活動の向上の観点から電力各社で共有化するだけでなく、産官学でも情報共有化することが有益な情報（保全品質情報）について電力各社が共有する選定基準のこと。

＝ま＝

マネジメントレビュー

品質マネジメントシステムが引き続き適切・妥当で、かつ有効であることを確実にするために、トップマネジメント（社長）が実施するレビュー。

水単相流

物質が取りうる固相、気相、液相の三つの相（状態）のうち、水単一の相の流れ。

ミルシート

鋼材、鋼管等の材料の試験検査結果を記載した証明書。

モニタリング技術

機器の状態を監視していく技術。

＝や＝

野外モニタ

原子力発電所周辺環境の放射線の量を連続測定する放射線測定装置。

床の養生

作業時の異物管理及び床面の保護のため、建屋床面の内、作業スペースとなる場所にベニア板等を敷き詰めること。

溶存酸素

水中に溶け込んでいる分子状の酸素。

余寿命

必要最小厚さに減肉するまでの予想時間（単位：年）。

＝ら＝

ラインスペックデータ

系統の最高使用圧力や最高使用温度と配管の材料やサイズを表した値。

鱗片状模様

美浜３号機当該部位の配管内で観察された魚の鱗のようなエロージョン／コロージョンに特徴的な模様。（一つの鱗の大きさは約１～２ｍｍ超である。）

ＲＣＡ（ルート・コーズ・アナリシス：root cause analysis）

不具合や事故が発生した後に、事故からたどってその背後に潜むシステムの問題やヒューマンファクターを探る根本原因解析法。集中討論から改善を考案し追跡調査により潜在的な問題を明らかにすることができる。

レンジオーバー

圧力、流量、温度などの指示計の指示が測定範囲外となり、指示が読み取れない状態。

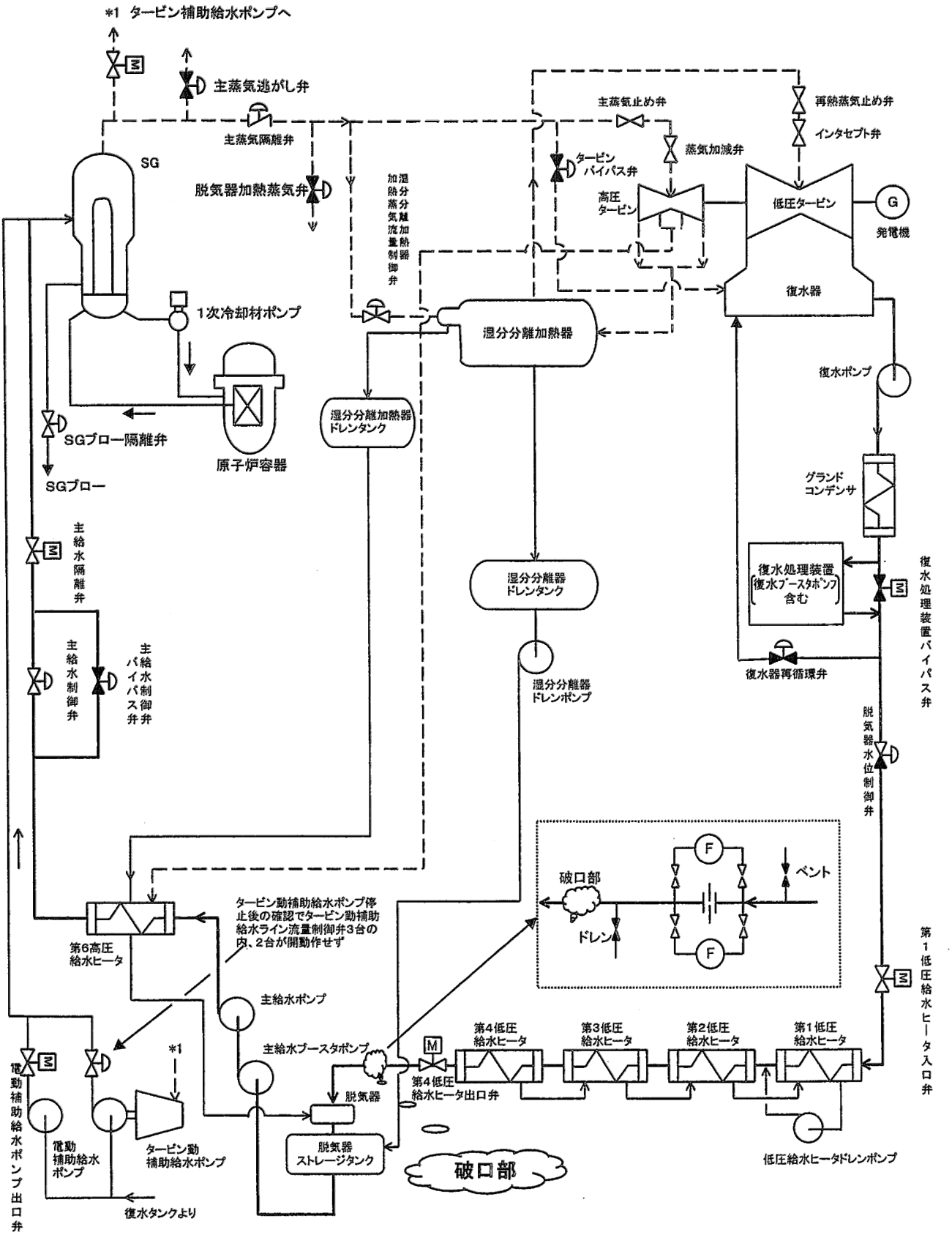
労働安全衛生マネジメントシステム

事業者が労働者の協力の下に一連の過程を定めて継続的に行う自主的な安全衛生活動を促進することにより、労働災害の潜在的危険性を低減するとともに、労働者の健康の増進及び快適な職場環境の形成の促進を図り、もって事業場における安全衛生の水準の向上に資することを目的として、告示された平成１１年４月の厚生労働省の指針。

【労働安全衛生マネジメントシステムの定義】

事業場において、安全衛生方針の表明、安全衛生目標の設定、安全衛生計画の作成、実施及び運用並びに安全衛生計画の実施状況等の日常的な点検及び改善並びに一定の期間ごとに行う当該安全衛生方針の表明から安全衛生計画の実施状況等の日常的な点検及び改善までの一連の過程の見直し等を連続的かつ継続的に実施する安全衛生管理に関する仕組みであって、生産管理等事業実施に係る管理に関する仕組みと一体となって実施され、及び運用されるものをいう。（厚生労働省指針から引用）

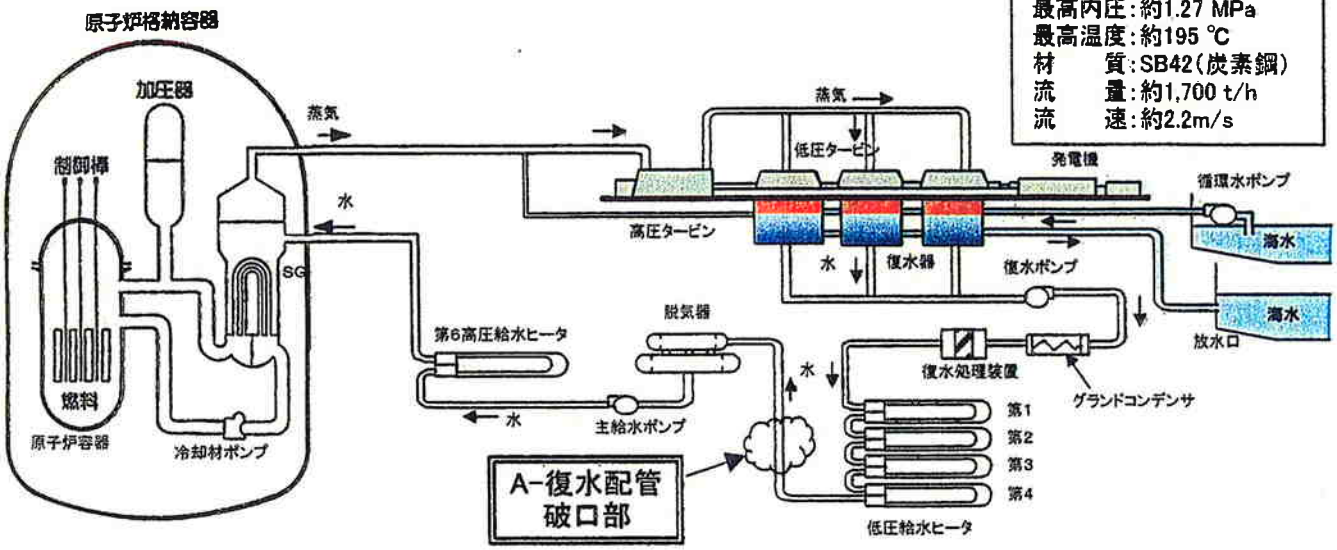
美浜3号機　概略系統図

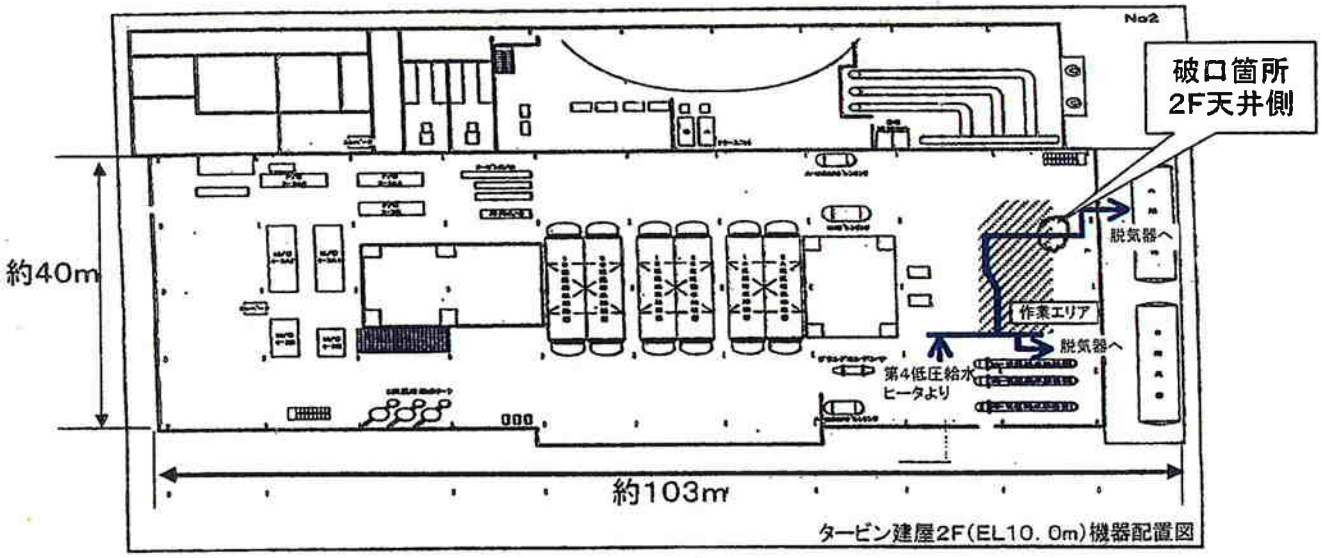

*1 タービン補助給水ポンプへ
主蒸気逃がし弁
主蒸気隔離弁
主蒸気止め弁
再熱蒸気止め弁
インタセプト弁
蒸気加減弁
タービンバイパス弁
高圧タービン
低圧タービン
G
発電機
復水器
SG
脱気器加熱蒸気弁
湿分分離加熱器加熱蒸気流量制御弁
湿分分離加熱器
1次冷却材ポンプ
原子炉容器
SGブロー隔離弁
SGブロー
湿分分離加熱器ドレンタンク
復水ポンプ
グランドコンデンサ
主給水隔離弁
主給水制御弁
主給水制御弁バイパス弁
湿分分離器ドレンタンク
湿分分離器ドレンポンプ
復水処理装置（復水ブースタポンプ含む）
復水処理装置バイパス弁
復水器再循環弁
脱気器水位制御弁
破口部
ベント
ドレン
F
タービン動補助給水ポンプ停止後の確認でタービン動補助給水ライン流量制御弁3台の内、2台が開動作せず
第6高圧給水ヒータ
主給水ポンプ
主給水ブースタポンプ
第4低圧給水ヒータ
第3低圧給水ヒータ
第2低圧給水ヒータ
第1低圧給水ヒータ
第1低圧給水ヒータ入口弁
第4低圧給水ヒータ出口弁
脱気器
脱気器ストレージタンク
電動補助給水ポンプ出口弁
電動補助給水ポンプ
タービン動補助給水ポンプ
復水タンクより
低圧給水ヒータドレンポンプ
破口部

美浜3号機　復水配管破口部の状況

概略系統図

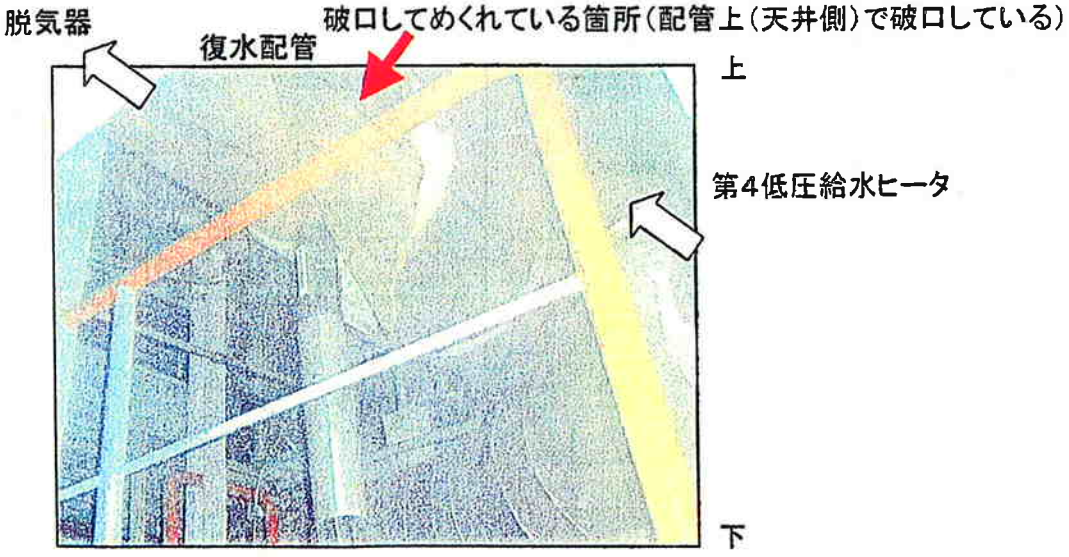
[復水配管]
外　　径：約560mm
厚　　さ：約10mm
最高内圧：約1.27 MPa
最高温度：約195 ℃
材　　質：SB42（炭素鋼）
流　　量：約1,700 t/h
流　　速：約2.2m/s





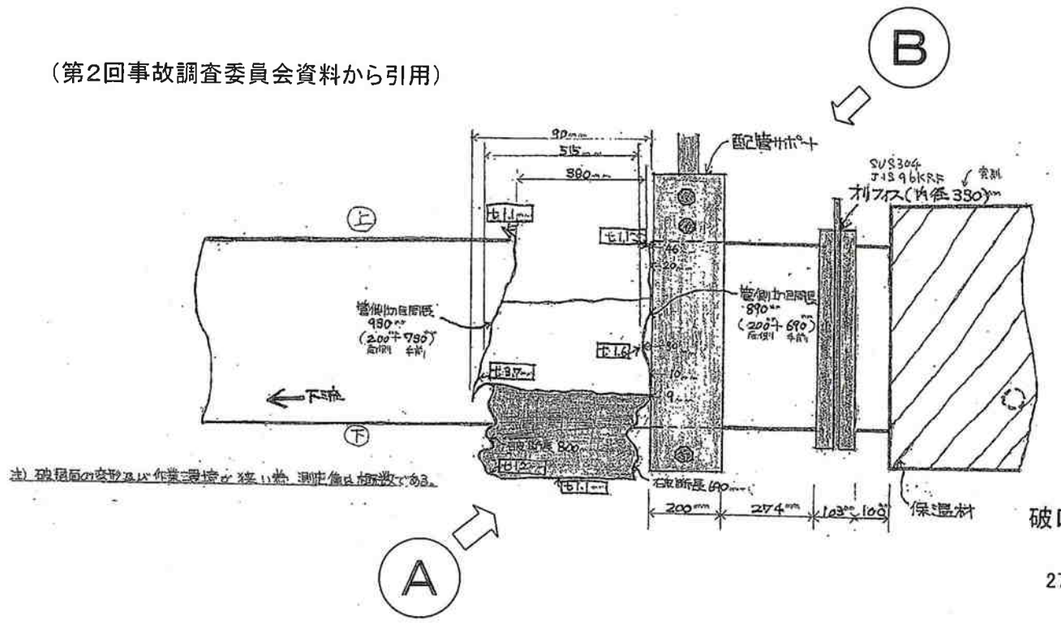
タービン建屋2F(EL10.0m)機器配置図

タービン建屋2F面（天井側）の写真（8月9日17：30頃撮影）

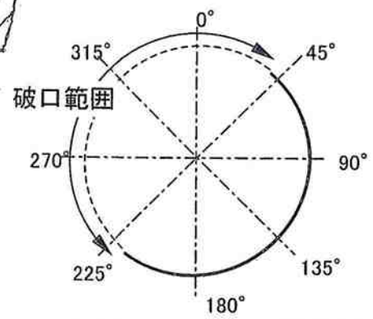


美浜3号機　復水配管破口部の状況

（第2回事故調査委員会資料から引用）



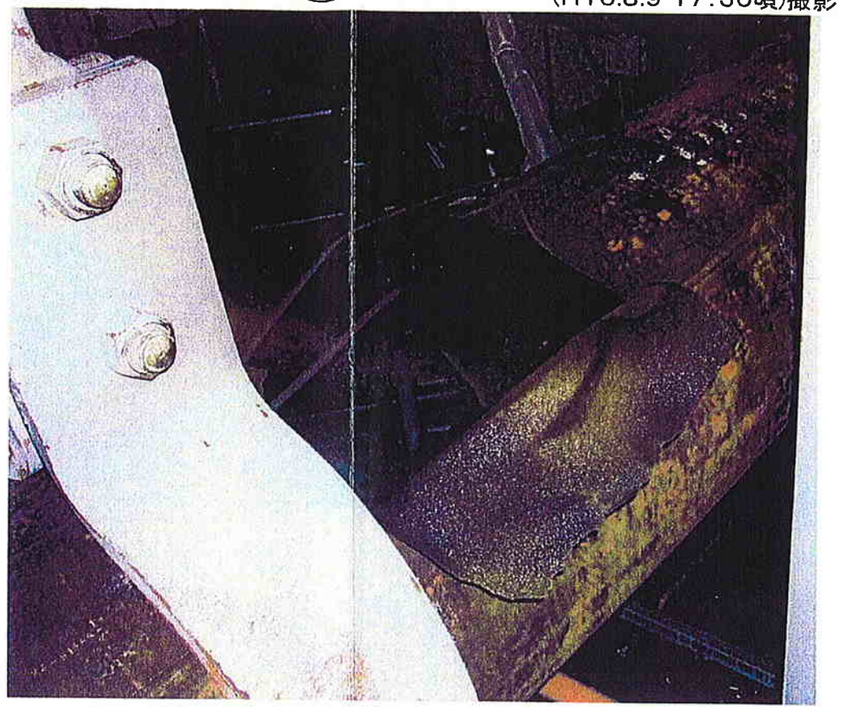
注）破損面の変形および作業環境が悪い為、測定値は概数である。



上流側（第4低圧給水加熱器側より見る）

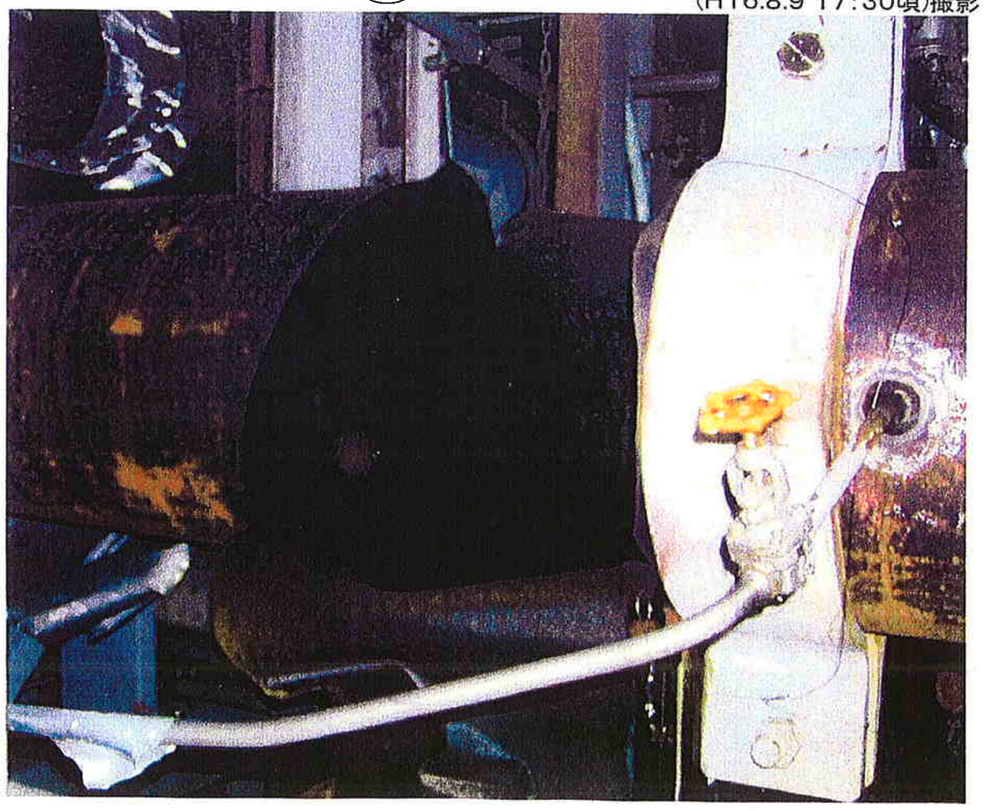
Ⓑ 方向

（H16.8.9 17:30頃）撮影



Ⓐ 方向

（H16.8.9 17:30頃）撮影

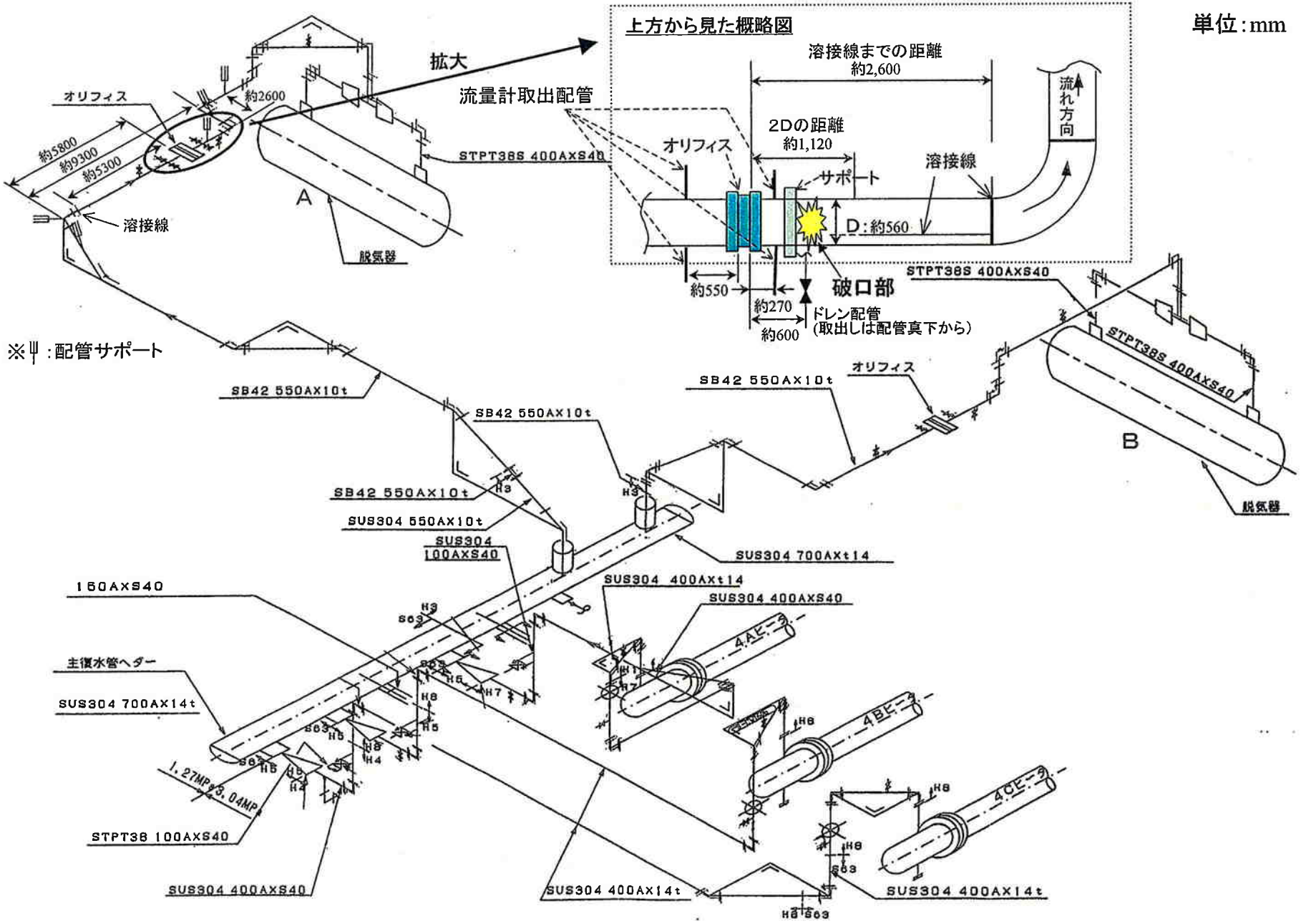


Ⓐ 方向（拡大）

（H16.8.9 17:30頃）撮影

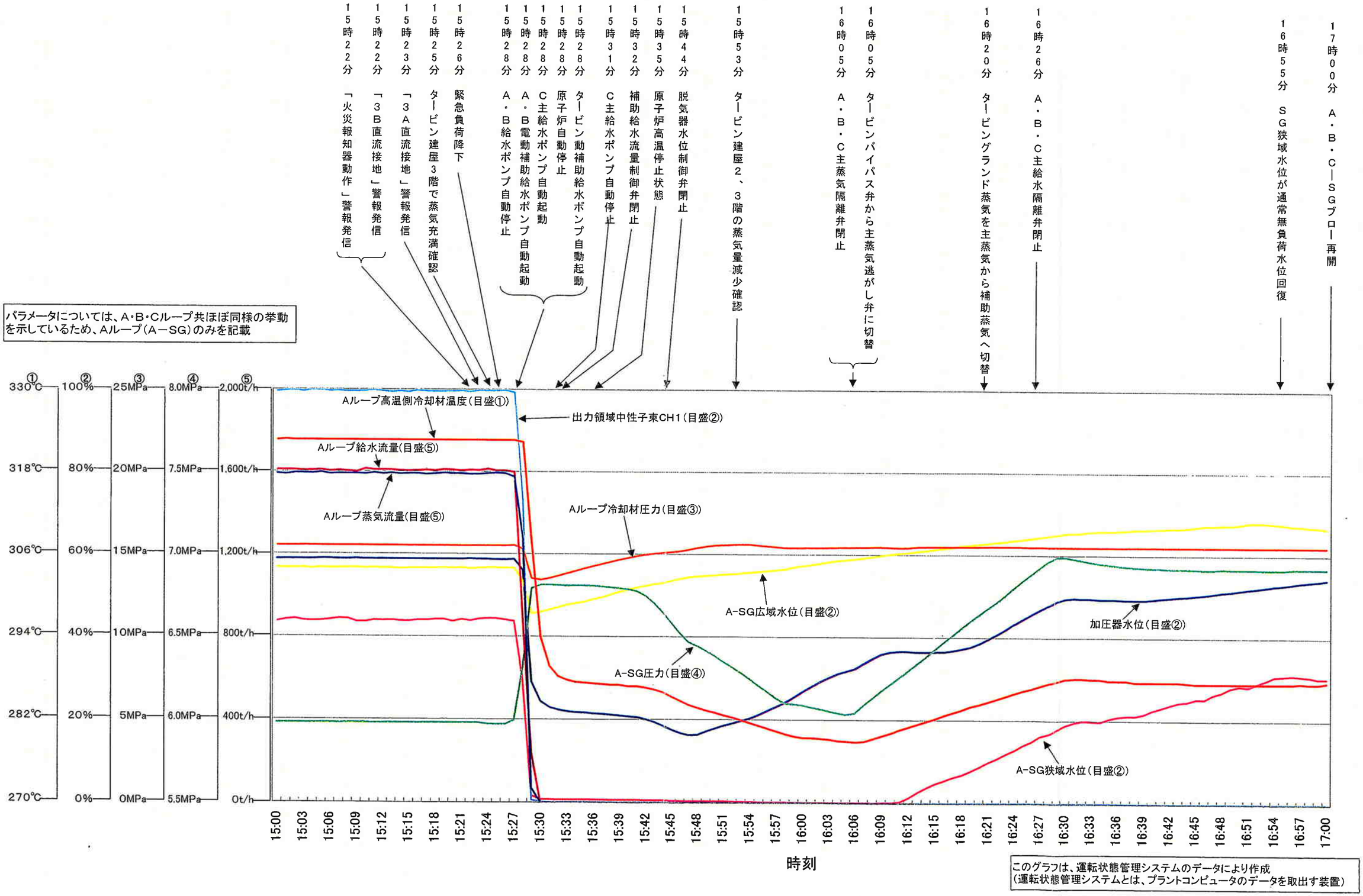
美浜3号機　復水配管スケルトン図（第4低圧給水ヒータ～脱気器）

単位：mm



２次系配管破損事故時におけるプラント主要パラメータの推移

パラメータについては、A･B･Cループ共ほぼ同様の挙動を示しているため、Aループ（A－SG）のみを記載



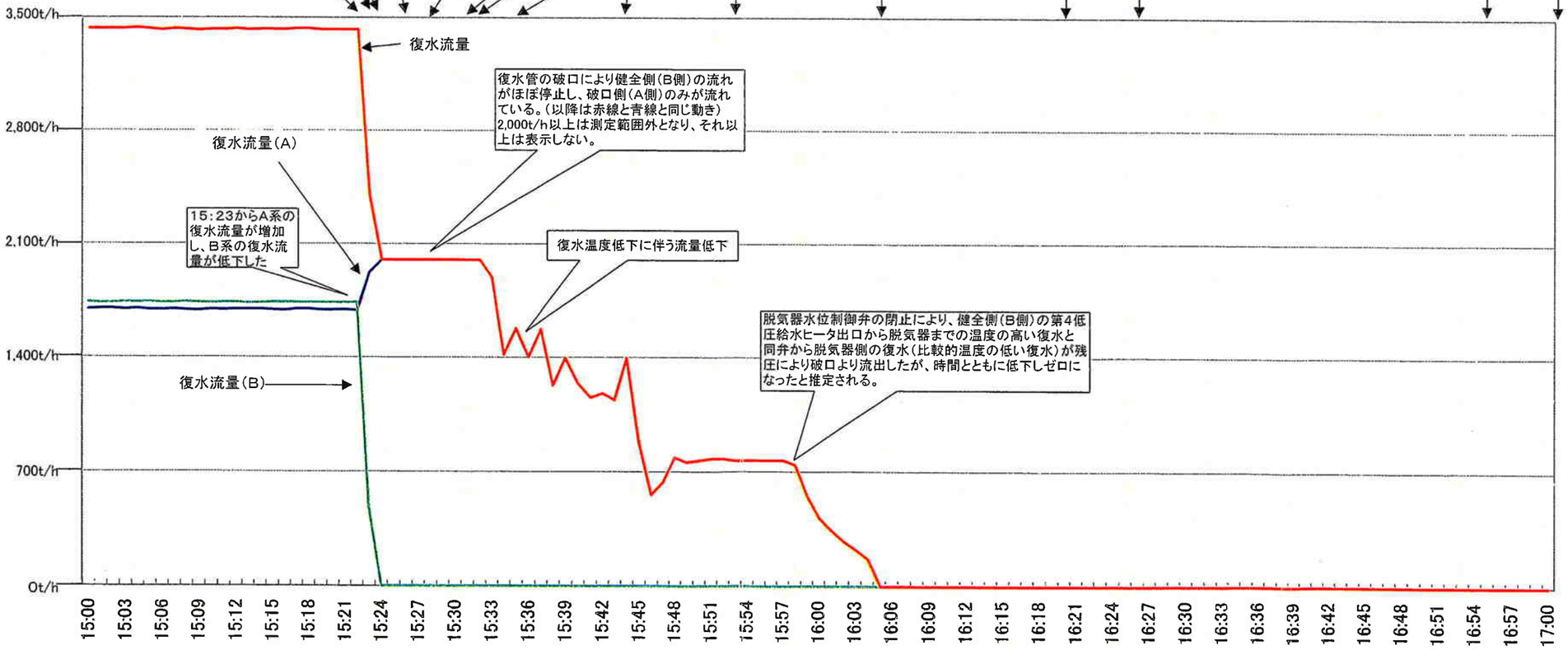
このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
（運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置）

２次系配管破損事故時におけるプラント復水関連パラメータの推移

復水流量＝復水流量(A)＋復水流量(B)

測定範囲　復水流量(A):0～2，000t／h
　　復水流量(B):0～2，000t／h

15時22分　「火災報知器動作」警報発信
15時22分　「３Ｂ直流接地」警報発信
15時23分　「３Ａ直流接地」警報発信
15時25分　タービン建屋３階で蒸気充満確認
15時26分　緊急負荷降下
15時28分　タービン動補助給水ポンプ自動起動
15時28分　原子炉自動停止
15時28分　Ｃ主給水ポンプ自動起動
15時28分　Ａ・Ｂ電動補助給水ポンプ自動起動
15時28分　Ａ・Ｂ給水ポンプ自動停止
15時31分　Ｃ主給水ポンプ自動停止
15時32分　補助給水流量制御弁閉止
15時35分　原子炉高温停止状態
15時44分　脱気器水位制御弁閉止
15時53分　タービン建屋２、３階の蒸気量減少確認
16時05分　タービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替
16時05分　Ａ・Ｂ・Ｃ主蒸気隔離弁閉止
16時20分　タービングランド蒸気を主蒸気から補助蒸気へ切替
16時26分　Ａ・Ｂ・Ｃ主給水隔離弁閉止
16時55分　ＳＧ狭域水位が通常無負荷水位回復
17時00分　Ａ・Ｂ・Ｃ－ＳＧブロー再開



このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
（運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置）

シーケンスイベント記録

		ファーストイベント発生時刻		
04/08/09 15:28:39	シーケンスイベント記録開始			15時 28分 05.84秒
	電動補助給水ポンプ自動起動信号	XYMDAFWPS	発生	0.00秒 ← 主給水ポンプ全台停止による
	電動補助給水ポンプ自動起動信号	XYMDAFWPS	復帰	6.37秒 ← C主給水ポンプ自動起動による復帰
	Ａ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ	LB474BW	発生	6.88秒
	Ａトレン原子炉トリップしゃ断器不足電圧動作	XY52UVA	発生	6.89秒 ← 給水喪失によるミスマッチ原子炉自動停止
	Ｂトレン原子炉トリップしゃ断器不足電圧動作	XY52UVB	発生	6.89秒
	Ａトレン原子炉トリップバイパスしゃ断器不足電圧動作	XY52BYUVA	発生	6.90秒
	Ｂトレン原子炉トリップバイパスしゃ断器不足電圧動作	XY52BYUVB	発生	6.90秒 ← 原子炉自動停止による
	Ｂトレン原子炉トリップしゃ断器	XY52RTB	切	6.95秒
	Ａトレン原子炉トリップしゃ断器	XY52RTA	切	6.95秒
	原子炉トリップによるタービントリップ	XY52RTW	発生	7.01秒
	非常しゃ断油圧低トリップ	XYTBOL	発生	7.07秒
	タービン非常しゃ断油圧低トリップ	XYESTW	発生	7.08秒 ← タービン自動停止による
	非常しゃ断油圧低トリップ	XYTBOL	復帰	7.12秒
	非常しゃ断油圧低トリップ	XYTBOL	発生	7.14秒
	出力領域中性子束変化率急減トリップ	NC41KW	発生	7.20秒 ← 原子炉自動停止による中性子束変化
	タービン主蒸気止め弁閉トリップ	XYTSVW	発生	7.43秒
	過出力ΔＴトリップ	TB412BW1	発生	7.67秒
	Ｃ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ	LB494BW	発生	7.68秒
	過大温度ΔＴトリップ	TB412CW1	発生	7.71秒
	Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ	LB484BW	発生	7.72秒
	過大温度ΔＴトリップ	TB412CW1	復帰	8.21秒 ← パラメータ安定による復帰
	過出力ΔＴトリップ	TB412BW1	復帰	8.25秒
	加圧器圧力低トリップ	PB455CW	発生	9.69秒 ← 原子炉自動停止による一時的な圧力低下
	Ａ－ＳＧ水位異常低トリップ	LB474AW	発生	10.45秒
	電動補助給水ポンプ自動起動信号	XYMDAFWPS	発生	10.50秒
	Ｃ－ＳＧ水位異常低トリップ	LB494AW	発生	10.70秒 ← 原子炉自動停止によるＳＧ水位低下
	Ｂ－ＳＧ水位異常低トリップ	LB484AW	発生	10.71秒
	タービン動補助給水ポンプ自動起動信号	XYTDAFWPS	発生	10.80秒
	加圧器圧力低トリップ	PB455CW	復帰	10.82秒
	Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ	LB484BW	復帰	12.89秒 ← 原子炉自動停止による復帰
	Ｃ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ	LB494BW	復帰	13.86秒
	Ａ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ	LB474BW	復帰	15.95秒
	Ａトレン給水隔離	XYFW1A	発生	34.28秒 ← 原子炉自動停止＆冷却材平均温度低による
	シーケンスイベント記録終了			

04/08/09 15:29:02　シーケンスイベント記録開始

ファーストイベント発生時刻		15時 28分 05.84秒
	XYFWIB　発生	34.28秒 ← 原子炉自動停止＆冷却材平均温度低による
	XY86P　発生	37.14秒 ← 原子炉自動停止→タービン自動停止による
	XY86BU　発生	37.14秒 ← インターロック
	XY41E　切	37.18秒
	XY43A1　切	37.18秒
	XY43B　切	37.18秒
	XY43A2　切	37.19秒 ← 発電機自動停止による
	XY130　切	37.19秒
	XY43SB　入	37.31秒
	LB484BW　発生	51.43秒
	LB484BW　復帰	51.52秒
	LB484BW　発生	51.88秒
	LB484BW　復帰	51.99秒
	LB484BW　発生	52.33秒
	LB484BW　復帰	52.46秒
	LB484BW　発生	52.79秒
	LB484BW　復帰	52.93秒
	LB484BW　発生	53.26秒
	LB484BW　復帰	53.40秒
	LB484BW　発生	53.72秒
	LB484BW　復帰	53.88秒
	LB484BW　発生	54.19秒
	LB484BW　復帰	54.35秒
	LB484BW　発生	54.67秒
	LB484BW　復帰	54.82秒
	LB484BW　発生	55.13秒
	LB484BW　復帰	55.29秒
	LB484BW　発生	55.61秒
	LB484BW　復帰	55.76秒
	LB484BW　発生	56.08秒
	LB484BW　復帰	56.23秒
	LB484BW　発生	56.55秒
	LB484BW　復帰	56.70秒

発電機トリップ
発電機バックアップトリップ
界磁しゃ断器
４－３Ａ１しゃ断器
４－３Ｂしゃ断器
４－３Ａ２しゃ断器
主変しゃ断器
４－３ＳＢしゃ断器
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ
シーケンスイベント記録終了

04/08/09 15:29:09　シーケンスイベント記録開始

B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ	
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ	
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ	

04/08/09 15:29:17　シーケンスイベント記録開始

B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
B－SG給水＜蒸気流量不一致トリップ
シーケンスイベント記録終了

ファーストイベント発生時刻　15時28分05.84秒

LB484BW	復帰	64.64秒
LB484BW	発生	64.97秒
LB484BW	復帰	65.11秒
LB484BW	発生	65.43秒
LB484BW	復帰	65.57秒
LB484BW	発生	65.90秒
LB484BW	復帰	66.04秒
LB484BW	発生	66.37秒
LB484BW	復帰	66.51秒
LB484BW	発生	66.84秒
LB484BW	復帰	66.97秒
LB484BW	発生	67.29秒
LB484BW	復帰	67.44秒
LB484BW	発生	67.76秒
LB484BW	復帰	67.91秒
LB484BW	発生	68.23秒
LB484BW	復帰	68.37秒
LB484BW	発生	68.70秒
LB484BW	復帰	68.84秒
LB484BW	発生	69.16秒
LB484BW	復帰	69.31秒
LB484BW	発生	69.63秒
LB484BW	復帰	69.77秒
LB484BW	発生	70.09秒
LB484BW	復帰	70.24秒
LB484BW	発生	70.56秒
LB484BW	復帰	70.70秒
LB484BW	発生	71.02秒
LB484BW	復帰	71.17秒
LB484BW	発生	71.49秒
LB484BW	復帰	71.63秒
LB484BW	発生	71.96秒
LB484BW	復帰	72.10秒

04/08/09 15:29:25　シーケンスイベント記録開始

ファーストイベント発生時刻		15時 28分 05.84秒
LB484BW	発生	72.43秒
LB484BW	復帰	72.56秒
LB484BW	発生	72.88秒
LB484BW	復帰	73.03秒
LB484BW	発生	73.35秒
LB484BW	復帰	73.50秒
LB484BW	発生	73.82秒
LB484BW	復帰	73.96秒
LB484BW	発生	74.28秒
LB484BW	復帰	74.42秒
LB484BW	発生	74.74秒
LB484BW	復帰	74.89秒
LB484BW	発生	75.21秒
LB484BW	復帰	75.36秒
LB484BW	発生	75.67秒
LB484BW	復帰	75.82秒
LB484BW	発生	76.13秒
LB484BW	復帰	76.28秒
LB484BW	発生	76.60秒
LB484BW	復帰	76.74秒
LB484BW	発生	77.06秒
LB484BW	復帰	77.20秒
LB484BW	発生	77.51秒
LB484BW	復帰	77.67秒
LB484BW	発生	77.98秒
LB484BW	復帰	78.13秒
LB484BW	発生	78.44秒
LB484BW	復帰	78.59秒
LB484BW	発生	78.89秒
LB484BW	復帰	79.04秒
LB484BW	発生	79.36秒
LB484BW	復帰	79.50秒
LB484BW	発生	79.81秒

Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ

04/08/09 15:29:32　シーケンスイベント記録開始

ファーストイベント発生時刻			15時 28分 05.84秒
	LB484BW	復帰	79.95秒
	LB484BW	発生	80.27秒
	LB484BW	復帰	80.40秒
	LB484BW	発生	80.72秒
	LB484BW	復帰	80.86秒
	LB484BW	発生	81.18秒
	LB484BW	復帰	81.30秒
	LB484BW	発生	81.63秒
	LB484BW	復帰	81.75秒
	LB484BW	発生	82.07秒
	LB484BW	復帰	82.20秒
	LB484BW	発生	82.52秒
	LB484BW	復帰	82.65秒
	LB484BW	発生	82.97秒
	LB484BW	復帰	83.08秒
	LB484BW	発生	83.42秒
	LB484BW	復帰	83.54秒
	LB484BW	発生	83.87秒
	LB484BW	復帰	83.98秒
	LB484BW	発生	84.31秒
	LB484BW	復帰	84.44秒
	LB484BW	発生	84.76秒
	LB484BW	復帰	84.88秒
	LB484BW	発生	85.21秒
	LB484BW	復帰	85.33秒
	LB484BW	発生	85.67秒
	LB484BW	復帰	85.78秒
	LB484BW	発生	86.11秒
	LB484BW	復帰	86.22秒
	LB484BW	発生	86.55秒
	LB484BW	復帰	86.67秒
	LB484BW	発生	87.00秒
	LB484BW	復帰	87.12秒

Ｂ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致トリップ

04/08/09 15:29:39　シーケンスイベント記録開始

ファーストイベント発生時刻		15時 28分 05.84秒
LB484BW	発生	87.45秒
LB484BW	復帰	87.56秒
LB484BW	発生	87.89秒
LB484BW	復帰	88.01秒
LB484BW	発生	88.34秒
LB484BW	復帰	88.46秒
LB484BW	発生	88.79秒
LB484BW	復帰	88.90秒
LB484BW	発生	89.23秒
LB484BW	復帰	89.35秒
LB484BW	発生	89.68秒
LB484BW	復帰	89.79秒
LB484BW	発生	90.13秒
LB484BW	復帰	90.24秒
LB484BW	発生	90.58秒
LB484BW	復帰	90.68秒
LB484BW	発生	91.02秒
LB484BW	復帰	91.13秒
LB484BW	発生	91.47秒
LB484BW	復帰	91.58秒
LB484BW	発生	91.91秒
LB484BW	復帰	92.02秒
LB484BW	発生	92.35秒
LB484BW	復帰	92.46秒
LB484BW	発生	92.80秒
LB484BW	復帰	92.91秒
LB484BW	発生	93.25秒
LB484BW	復帰	93.35秒
LB484BW	発生	93.70秒
LB484BW	復帰	93.79秒
LB484BW	発生	94.14秒
LB484BW	復帰	94.24秒
LB484BW	発生	94.59秒

BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
BーSG給水＜蒸気流量不一致トリップ
シーケンスイベント記録終了

04/08/09 15:30:42	シーケンスイベント記録開始
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	B－SG給水<蒸気流量不一致トリップ
	シーケンスイベント記録終了
04/08/09 15:32:49	シーケンスイベント記録開始
	タービン非常しゃ断油圧低トリップ
	タービン主蒸気止め弁閉トリップ
	シーケンスイベント記録終了
04/08/09 16:23:41	シーケンスイベント記録開始
	B－SG水位異常低トリップ
	シーケンスイベント記録終了
04/08/09 16:25:28	シーケンスイベント記録開始
	A－SG水位異常低トリップ
	シーケンスイベント記録終了
04/08/09 16:34:42	シーケンスイベント記録開始
	C－SG水位異常低トリップ
	電動補助給水ポンプ自動起動信号
	シーケンスイベント記録終了

ファーストイベント発生時刻		15時 28分 05.84秒
LB484BW	復帰	94.69秒
LB484BW	発生	95.03秒
LB484BW	復帰	95.13秒
LB484BW	発生	95.48秒
LB484BW	復帰	95.57秒
LB484BW	発生	95.93秒
LB484BW	復帰	96.01秒
LB484BW	発生	96.38秒
LB484BW	復帰	96.46秒
LB484BW	発生	96.83秒
LB484BW	復帰	96.90秒
LB484BW	発生	97.28秒
LB484BW	復帰	97.34秒
ファーストイベント発生時刻		15時 31分 50.24秒
XYESTW	復帰	0.00秒
XYTSVW	復帰	0.01秒
ファーストイベント発生時刻		16時 22分 41.53秒
LB484AW	復帰	0.00秒
ファーストイベント発生時刻		16時 24分 28.52秒
LB474AW	復帰	0.00秒
ファーストイベント発生時刻		16時 33分 43.34秒
LB494AW	復帰	0.00秒
XYMDAFWPS	復帰	0.05秒

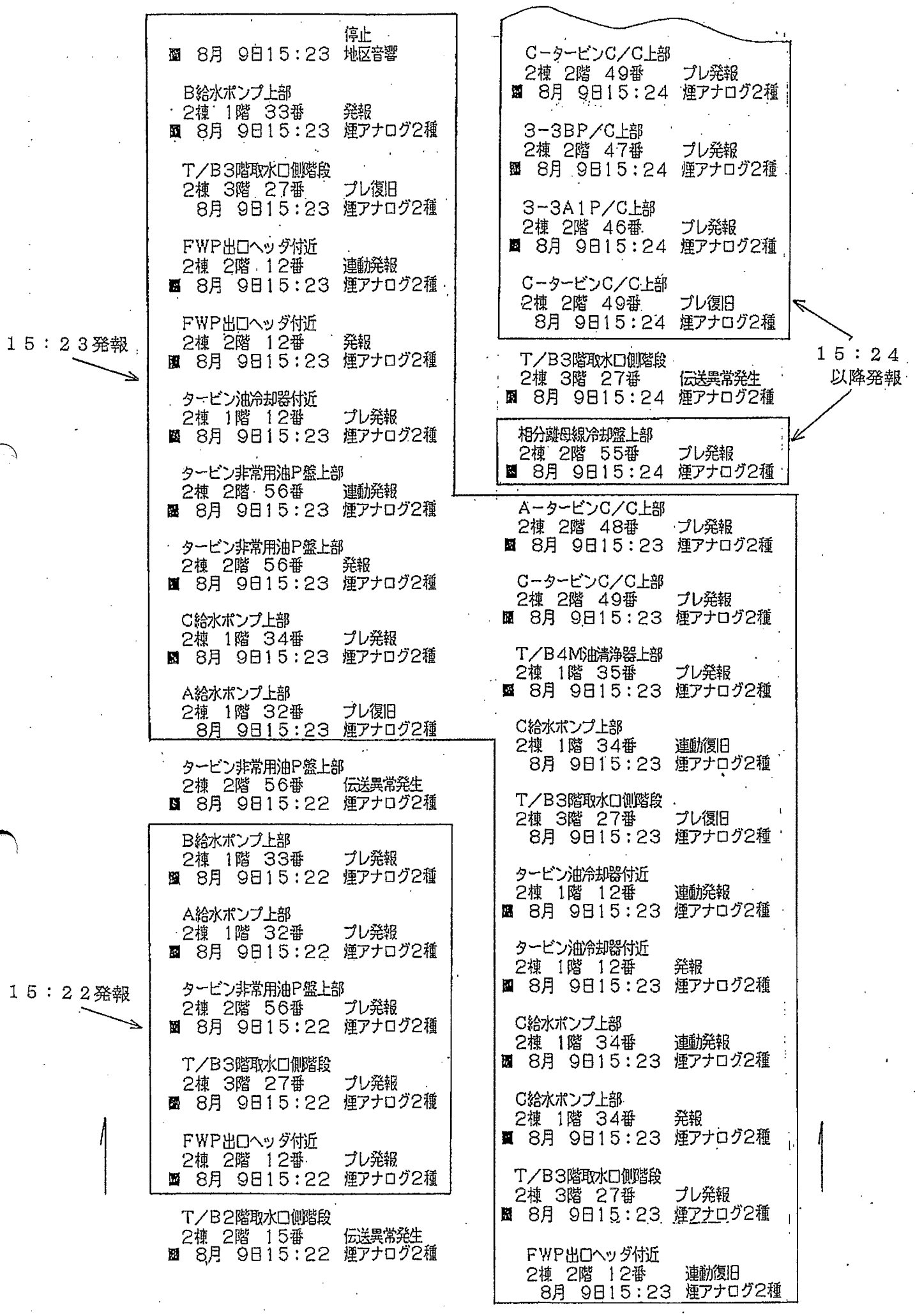
プラントパラメータ安定による復帰

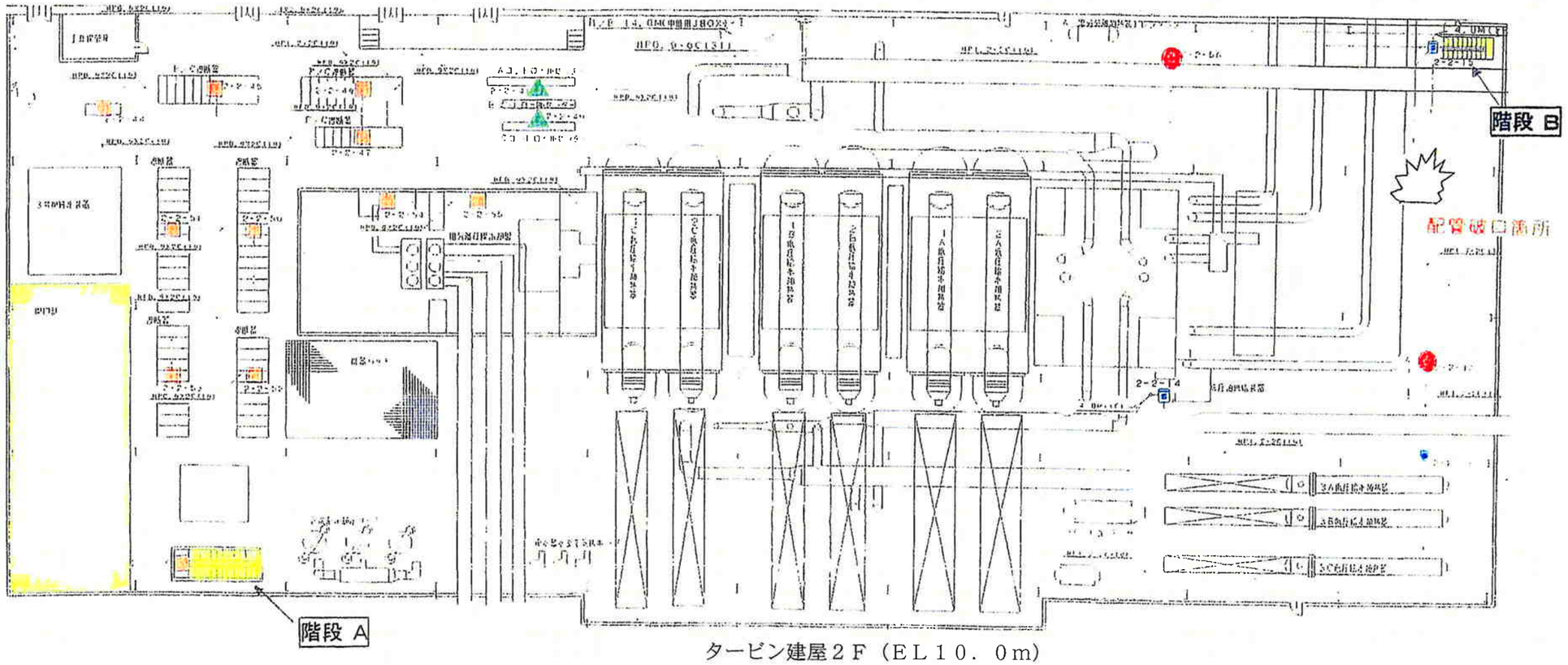
美浜3号機 2次系配管破損事故時の火災報知器の発報状況

	[動作数／全台数]
中間建屋 4F (EL.24.0m)	2台／53台
中間建屋・タービン建屋 3F(EL.17.0m)	10台／36台
中間建屋・タービン建屋 2F(EL.10.0m)	20台／56台
中間建屋・タービン建屋 1F(EL. 4.0m)	6台／39台
復水処理建屋 3F(EL.14.0m)	0台／ 2台
補助ボイラー 2F(EL.12.4m)	0台／10台
タービン発電機ハロン消火装置用感知器 3F(EL.17.0m)	2グループ／3グループ

時　刻	設置階数	設置場所
15 : 22	2	主給水ポンプ出口ヘッダ付近(2－2－12)
	3	タービン建屋3階取水口側階段(2－3－27)
	2	タービン非常用油ポンプ盤上部(2－2－56)
	1	A主給水ポンプ(2－1－32)
	1	B主給水ポンプ(2－1－33)
15 : 23	1	C主給水ポンプ上部(2－1－34)
	1	タービン油冷却器付近(2－1－12)
	1	タービン建屋1階油清浄器上部(2－1－35)
	2	Cタービンコントロールセンター上部(2－2－49)
	2	Aタービンコントロールセンター上部(2－2－48)
15 : 24 以降＊	2	相分離母線冷却盤上部(2－2－55)
	2	3－3A1パワーセンター上部(2－2－46)
	2	3－3Bパワーセンター上部(2－2－47)

＊これ以降も建屋内各エリアで発報している。


停止
8月 9日15：23 地区音響
B給水ポンプ上部
2棟 1階 33番 発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
T/B3階取水口側階段
2棟 3階 27番 プレ復旧
8月 9日15：23 煙アナログ2種
FWP出口ヘッダ付近
2棟 2階 12番 連動発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
FWP出口ヘッダ付近
2棟 2階 12番 発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
タービン油冷却器付近
2棟 1階 12番 プレ発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
タービン非常用油P盤上部
2棟 2階 56番 連動発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
タービン非常用油P盤上部
2棟 2階 56番 発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
C給水ポンプ上部
2棟 1階 34番 プレ発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
A給水ポンプ上部
2棟 1階 32番 プレ復旧
8月 9日15：23 煙アナログ2種
タービン非常用油P盤上部
2棟 2階 56番 伝送異常発生
8月 9日15：22 煙アナログ2種
B給水ポンプ上部
2棟 1階 33番 プレ発報
8月 9日15：22 煙アナログ2種
A給水ポンプ上部
2棟 1階 32番 プレ発報
8月 9日15：22 煙アナログ2種
タービン非常用油P盤上部
2棟 2階 56番 プレ発報
8月 9日15：22 煙アナログ2種
T/B3階取水口側階段
2棟 3階 27番 プレ発報
8月 9日15：22 煙アナログ2種
FWP出口ヘッダ付近
2棟 2階 12番 プレ発報
8月 9日15：22 煙アナログ2種
T/B2階取水口側階段
2棟 2階 15番 伝送異常発生
8月 9日15：22 煙アナログ2種
C-タービンC/C上部
2棟 2階 49番 プレ発報
8月 9日15：24 煙アナログ2種
3-3BP/C上部
2棟 2階 47番 プレ発報
8月 9日15：24 煙アナログ2種
3-3A1P/C上部
2棟 2階 46番 プレ発報
8月 9日15：24 煙アナログ2種
C-タービンC/C上部
2棟 2階 49番 プレ復旧
8月 9日15：24 煙アナログ2種
T/B3階取水口側階段
2棟 3階 27番 伝送異常発生
8月 9日15：24 煙アナログ2種
相分離母線冷却盤上部
2棟 2階 55番 プレ発報
8月 9日15：24 煙アナログ2種
A-タービンC/C上部
2棟 2階 48番 プレ発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
C-タービンC/C上部
2棟 2階 49番 プレ発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
T/B4M油清浄器上部
2棟 1階 35番 プレ発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
C給水ポンプ上部
2棟 1階 34番 連動復旧
8月 9日15：23 煙アナログ2種
T/B3階取水口側階段
2棟 3階 27番 プレ復旧
8月 9日15：23 煙アナログ2種
タービン油冷却器付近
2棟 1階 12番 連動発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
タービン油冷却器付近
2棟 1階 12番 発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
C給水ポンプ上部
2棟 1階 34番 連動発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
C給水ポンプ上部
2棟 1階 34番 発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
T/B3階取水口側階段
2棟 3階 27番 プレ発報
8月 9日15：23 煙アナログ2種
FWP出口ヘッダ付近
2棟 2階 12番 連動復旧
8月 9日15：23 煙アナログ2種
15：23発報
15：22発報
15：24
以降発報



タービン建屋２Ｆ（ＥＬ１０．０ｍ）

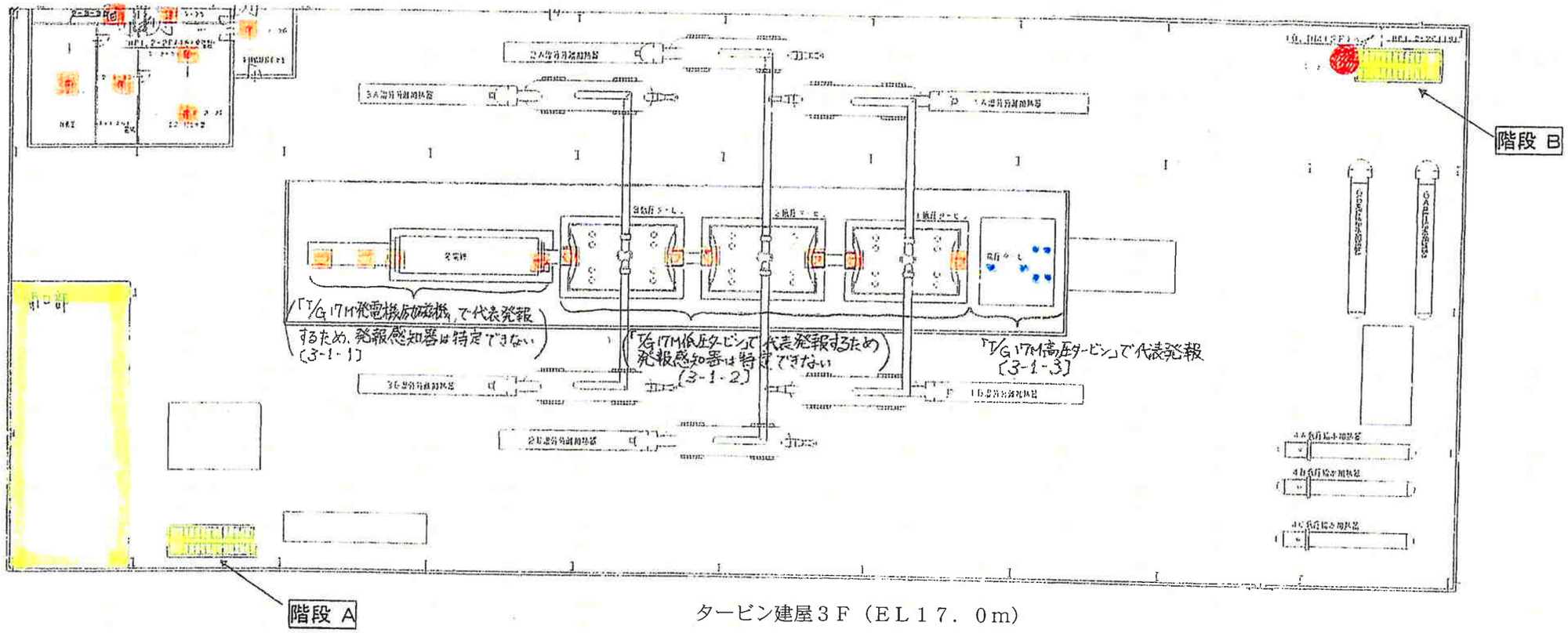
凡例

煙感知器	15:22 発報	発報せず
差動式熱感知器	15:23 発報	
定温式熱感知器	15:24 以降発報	

＊注意

「伝送異常発生」は火災の可能性を示すものではないので（入出力信号の異常により発生するもの）発報したこととはしない。

「プレ発報」は火災の可能性を示すものであることから発報したこととする。



タービン建屋３Ｆ（ＥＬ１７．０m）

凡例

煙感知器	15:22 発報	発報せず
差動式熱感知器	15:23 発報	
定温式熱感知器	15:24 以降発報	

＊注意

「伝送異常発生」は火災の可能性を示すものではないので（入出力信号の異常により発生するもの）発報したこととはしない。

「プレ発報」は火災の可能性を示すものであることから発報したこととする。

タービン建屋４Ｆ（ＥＬ２４．０m）

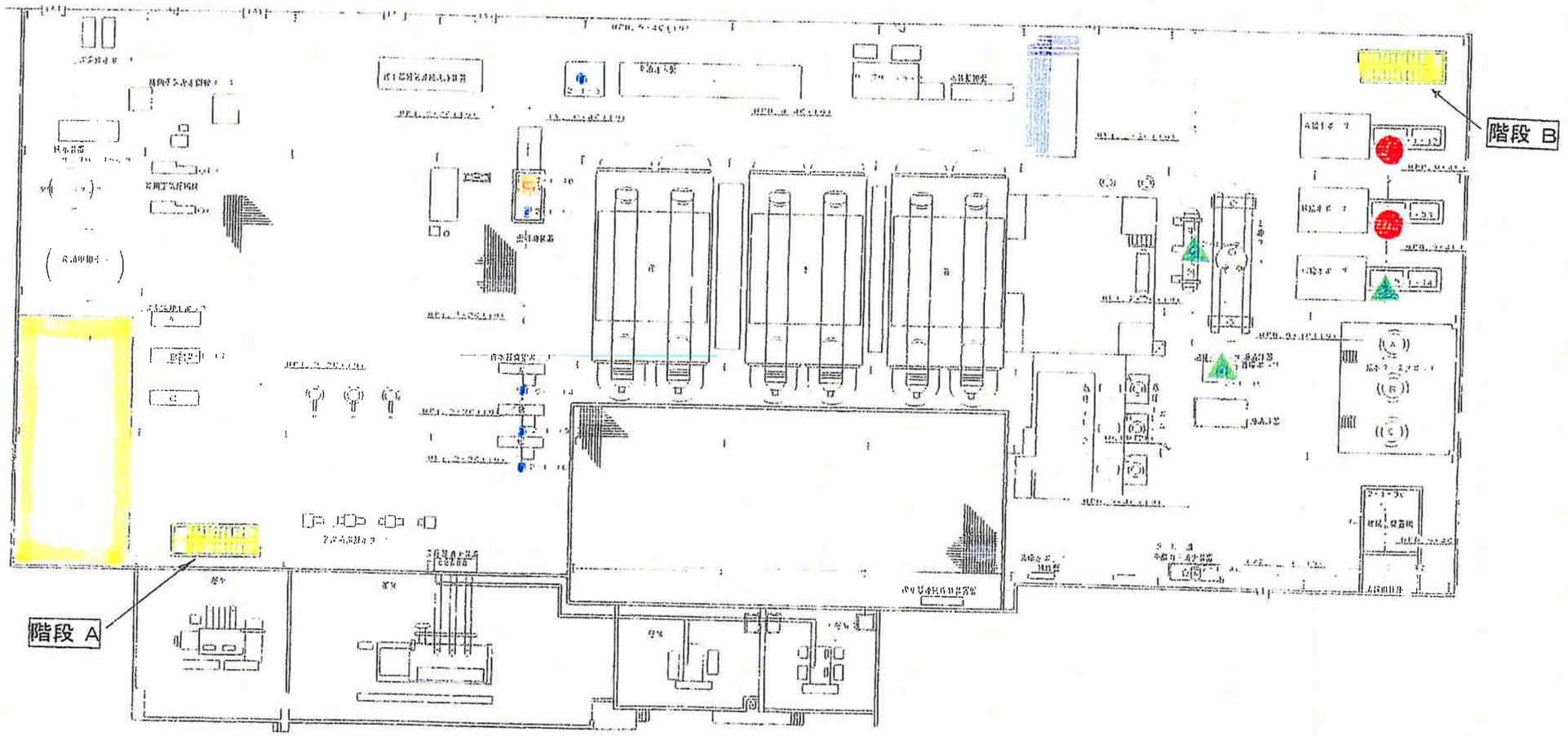
凡例

S 煙感知器	15:22 発報	発報せず
差動式熱感知器	15:23 発報	
定温式熱感知器	15:24 以降発報	

＊注意

「伝送異常発生」は火災の可能性を示すものではないので（入出力信号の異常により発生するもの）発報したこととはしない。

「プレ発報」は火災の可能性を示すものであることから発報したこととする。



タービン建屋１Ｆ（ＥＬ４．０ｍ）

凡例
S 煙感知器
差動式熱感知器
定温式熱感知器
15:22 発報
15:23 発報
15:24 以降発報
発報せず

＊注意

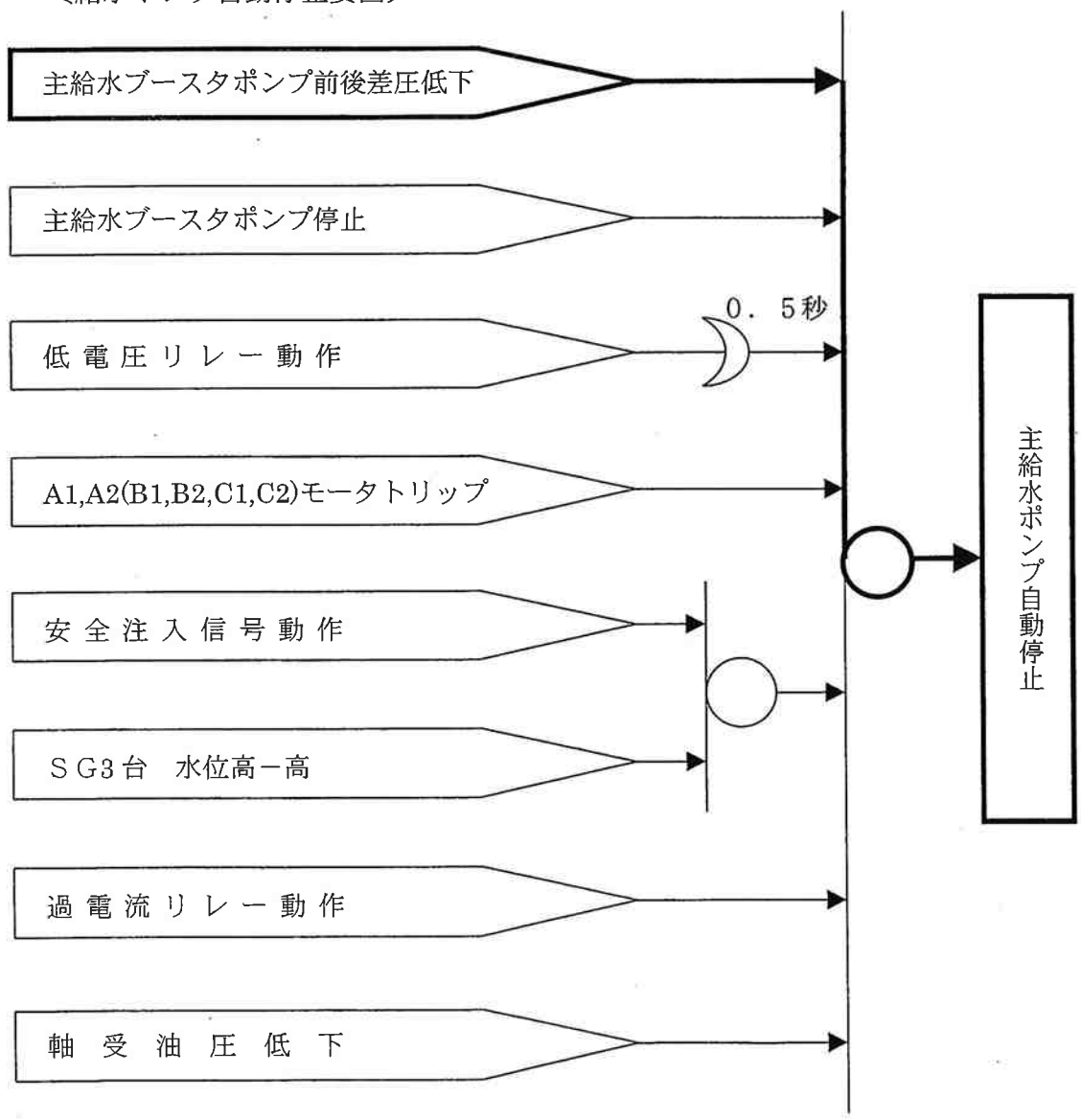
「伝送異常発生」は火災の可能性を示すものではないので（入出力信号の異常により発生するもの）発報したこととはしない。

「プレ発報」は火災の可能性を示すものであることから発報したこととする。

美浜３号機 主給水ポンプ自動停止について

主給水ポンプの停止要因には、次の８要素がある。運転中であった２台（A・B）のポンプがほぼ同時期に自動停止していることから主給水ポンプ軸受油圧低下、過電流リレー動作、低電圧リレー動作とは考えられない。また、安全注入信号の発信はなく、ＳＧ水位も高い状態ではなく警報は発信していなかった。「主給水ブースタポンプ前後差圧低下」は脱気器水位が大幅に低下すると水源としている主給水ブースタポンプ（主給水ポンプと脱気器の間）の入口圧力の低下により発信することから、「主給水ブースタポンプ前後差圧低下」要因により主給水ポンプが自動停止したものと推定される。

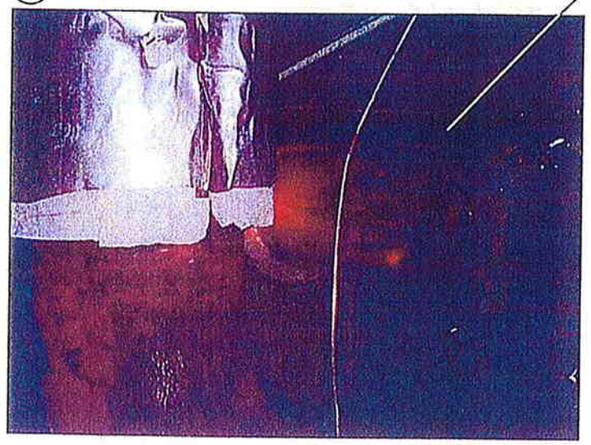
＜給水ポンプ自動停止要因＞



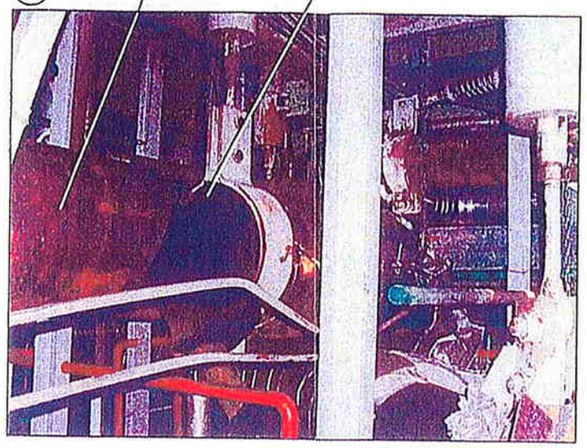
美浜3号機　第4低圧給水ヒータから脱気器への配管損傷に係る周辺状況写真

（H16. 8. 10　02:00頃撮影）

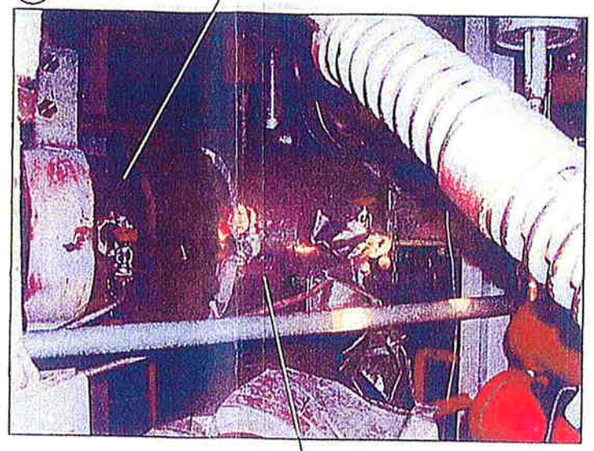
①



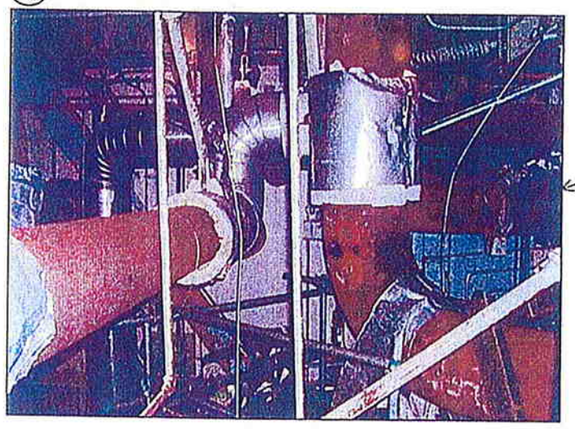
②

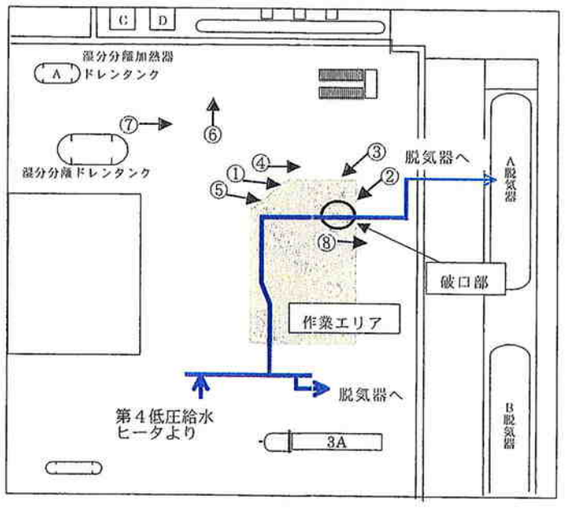


③

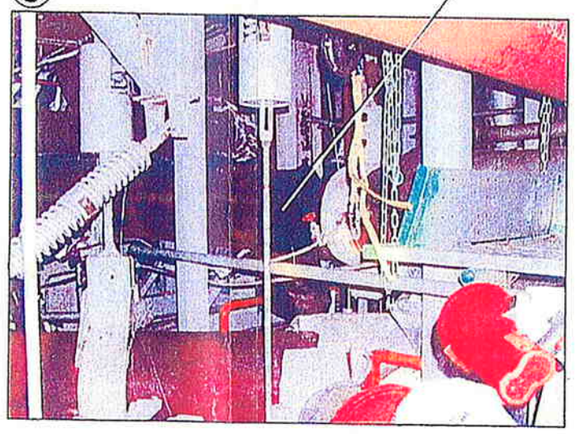


④

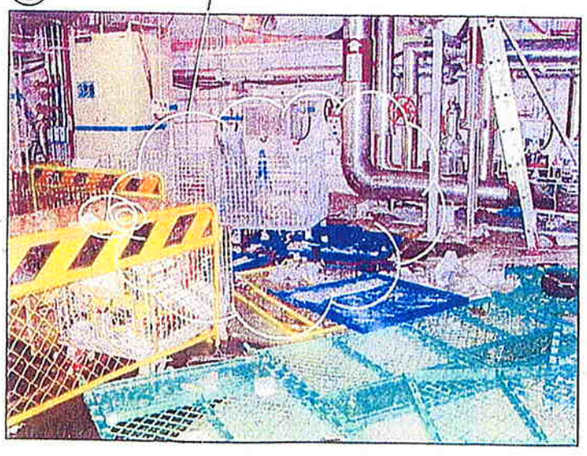




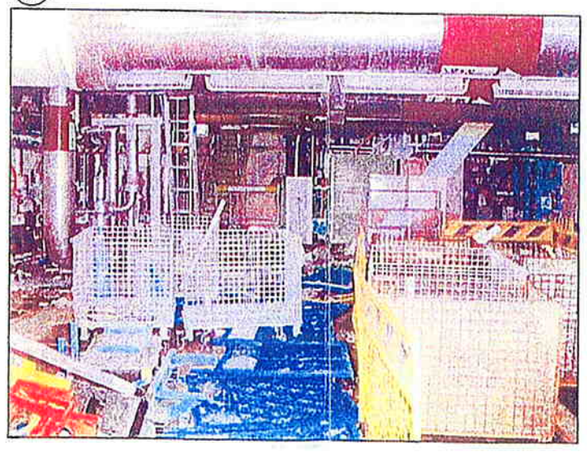
⑤



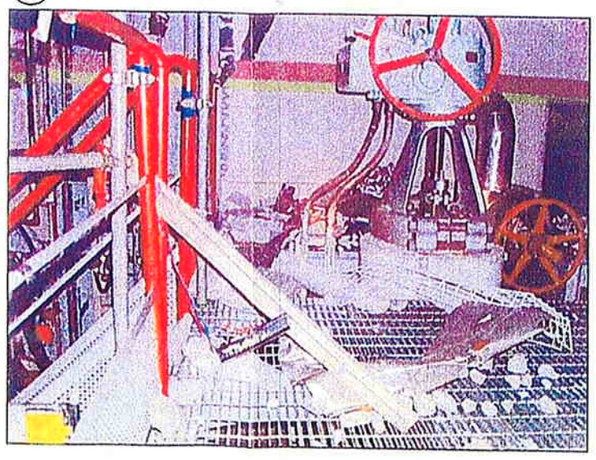
⑥ 被災者が倒れていた位置



⑦

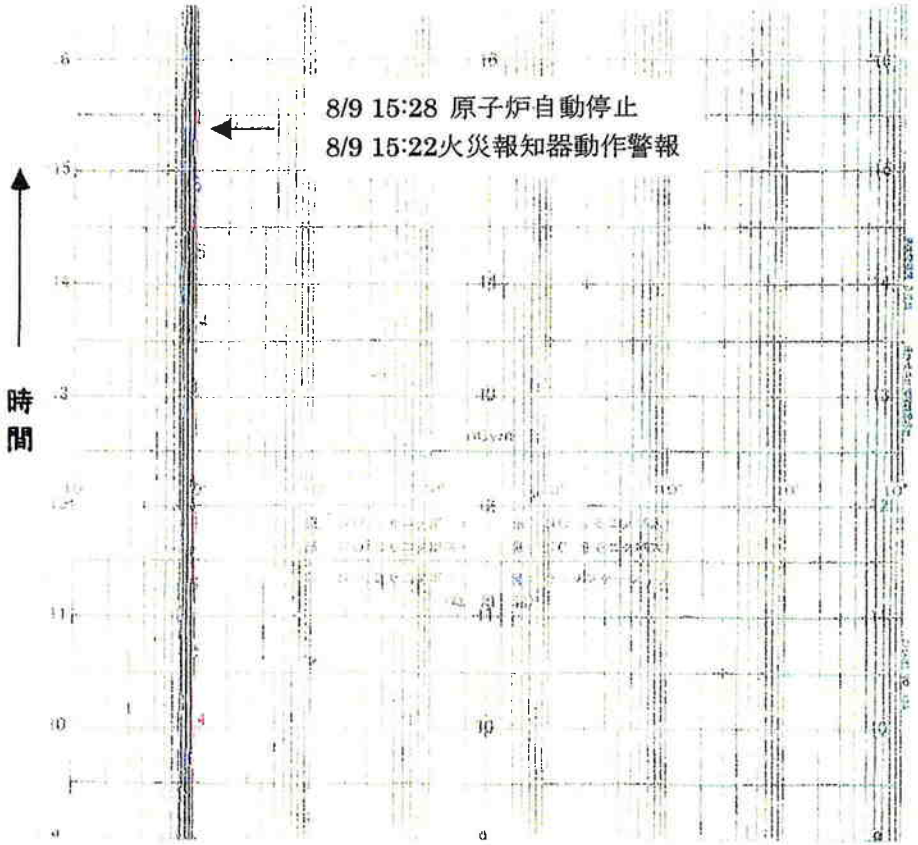


⑧ 復水管（損傷配管）下部

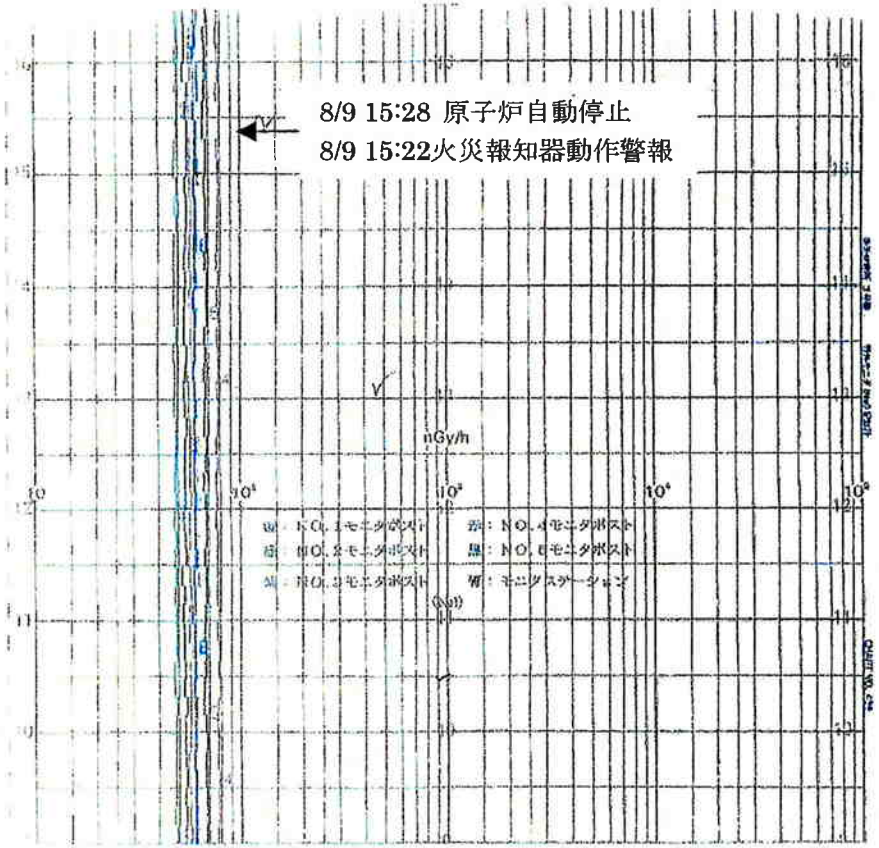


注：記録計時間は赤ペンを基準で調整する。

野外モニタ（電離箱）



野外モニタ（NaI）



2次系復水には放射性物質は含まれていないため、野外モニタの指示値は変化なし

橙：NO．１モニタポスト　　赤：NO．４モニタポスト
緑：NO．２モニタポスト　　黒：NO．５モニタポスト
紫：NO．３モニタポスト　　青：モニタステーション
（電　離　箱）

橙：NO．１モニタポスト　　赤：NO．４モニタポスト
緑：NO．２モニタポスト　　黒：NO．５モニタポスト
紫：NO．３モニタポスト　　青：モニタステーション
（ＮａＩ）

美浜３号機　２次系水中に含まれるトリチウムについて

１．結　果

破口部から流出した水に含まれていたトリチウム濃度は検出限界値未満であり、有意な量のトリチウムはなかった。（検出限界値：0.1Bq/cm^3）

２．２次系復水中のトリチウム濃度*

(1)定期測定結果

今回の運転サイクル中において測定した２次系復水中のトリチウムの濃度は、全て検出限界値未満であった（別紙：表－１）。

(2) 臨時測定結果

事故後（８月１３日）に復水ポンプ出口で２次系復水をサンプリングし測定した結果、トリチウム濃度は検出限界値未満であった（別紙：表－２）。

＊：ＰＷＲの１次冷却水中では、原子炉の制御のために１次冷却水中に添加されているホウ素等からトリチウムが生成される。このトリチウムは、ＳＧの伝熱管を拡散・透過して、２次系に移行するため、２次系水中にトリチウムが極微量存在する。

別　紙

（表－１）今運転サイクル中の測定結果

試料採取日	測定結果	試料採取日	測定結果
Ｈ１５．　６．２３	ＮＤ	Ｈ１６．１．１４	ＮＤ
Ｈ１５．　７．１４	ＮＤ	Ｈ１６．２．２０	ＮＤ
Ｈ１５．　８．１２	ＮＤ	Ｈ１６．３．１８	ＮＤ
Ｈ１５．　９．１０	ＮＤ	Ｈ１６．４．１３	ＮＤ
Ｈ１５．１０．１６	ＮＤ	Ｈ１６．５．１１	ＮＤ
Ｈ１５．１１．２０	ＮＤ	Ｈ１６．６．１５	ＮＤ
Ｈ１５．１２．１２	ＮＤ	Ｈ１６．７．１３	ＮＤ

（表－２）臨時測定結果

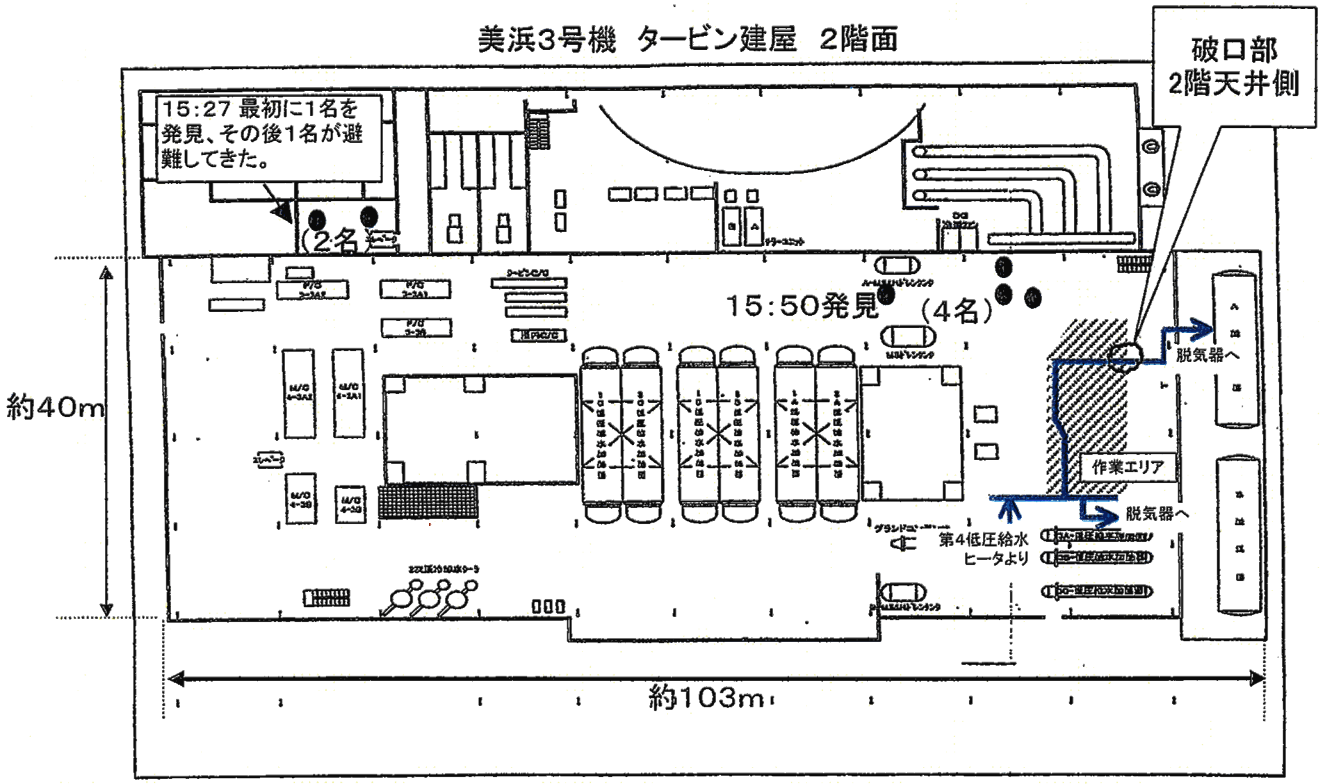
試料採取日	測定結果
Ｈ１６．８．１３	ＮＤ

ＮＤ：検出限界値未満
検出限界値：0.1Bq/cm^3

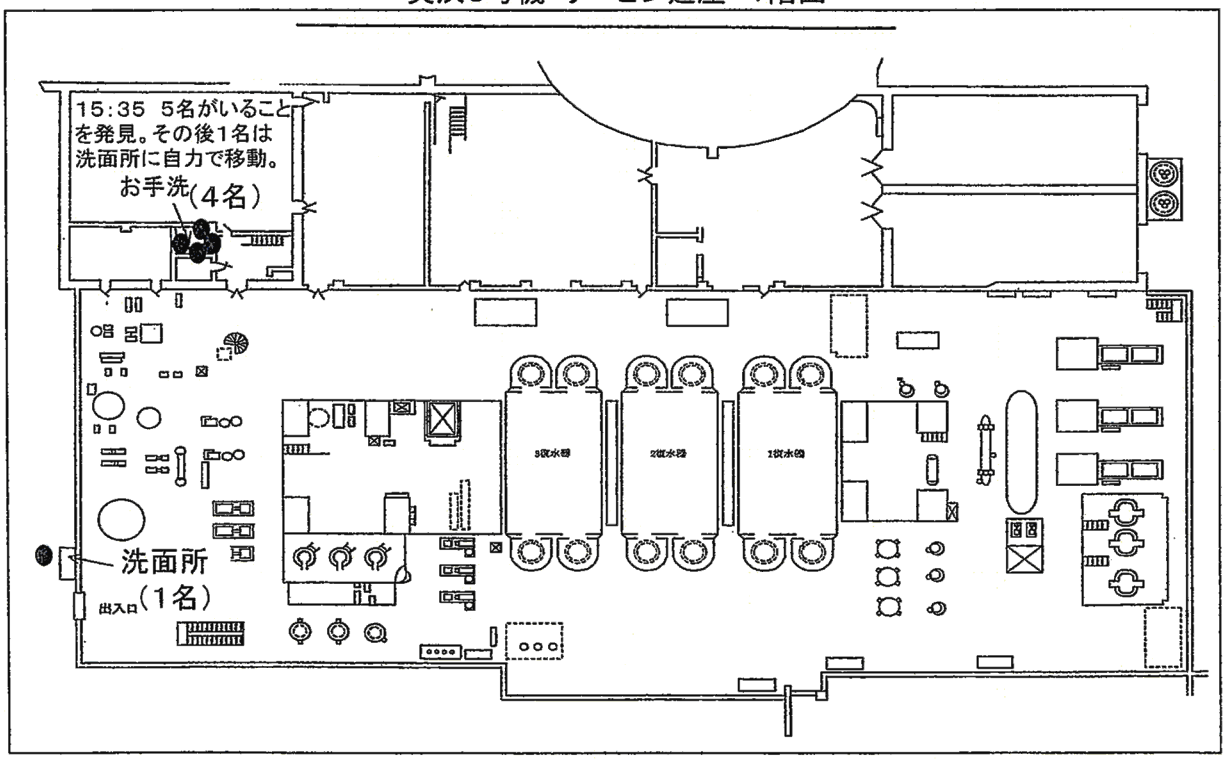
被災者の発見場所

●：発見場所

美浜3号機　タービン建屋　2階面



美浜3号機　タービン建屋　1階面



2次系配管破損事故における被災者救出に係る人の動き

日　時	被災者救出の経緯	発電室の対応状況		所長室の対応状況		発電所各課(室)の対応状況		発電所事故対策本部の対応状況	その他
平成16年8月9日									
15:22	「火災報知器動作」警報発信								
15:22	「タービン建屋火災発生」の一斉ページング放送を実施	当直主任	「タービン建屋火災発生」の一斉ページング放送を実施						
15:27	発電室運転員がタービン建屋2階のエレベータ前で被災者1名を発見	補機員	タービン建屋2階のエレベータ前で被災者を発見し制御員に連絡						
		制御員	被災者発見の情報を当直課長に報告						
		当直課長	被災者発見の情報を発電室長に報告						
15:28	発電室長から所次長および所長室長に被災者の報告	発電室長	被災者発見の情報を所次長および所長室長に報告					所次長が確認	※これ以降事故対策本部を設置
				所長室長	ページングによる避難放送と救急車の要請を指示				
15:30～35	119救急通報(第一報)			人活係長・係員	119に救急通報し、救急車の出動を数台要請(初めに2台の出動が決定)				※敦賀美方消防本部通信指令室に対して、タービン建屋における災害であり被災者には被ばく(汚染を含む)が無い旨2回説明を実施した
15:30～45	タービン建屋からの避難指示ページングを断続的に放送			庶務係長・係員	タービン建屋からの避難放送を実施				
			発電室長の指示により、救出要員が事務所から現地に急行	所長室長	被災者救出のため、健康管理室看護師2名を含む所長室員に対し、現地への出動を指示		各所属長の指示により、各課救出要員が事務所から現地に急行		
15:30頃	各課から救出要員が現地へ急行	発電室員	初めに9名が現地へ急行(途中で中央制御室応援要員と救出要員の二手に分かれ、4名が救出にあたった)	所長室	初めに5名が事務所から現地に急行 ※患者輸送車、看護師2名含む	機械保修課員 保全計画課員 電気保修課員	初めに6名が現場へ急行 初めに7名が現場へ急行 初めに4名が現場へ急行		※これ以降、毛布、タオルケット、氷、ホースなど、現地からの要請に基づく必要物資を搬送し、順次救出要員が急行
15:35	現地救出要員が被災者の救出を開始			所長室長	ページングによる避難放送、救急車の出動要請、現地への救出要員の出動について、事故対策本部に報告			事故対策本部	※現地にいた当社社員および協力会社社員も救出にあたる
15:35	保全計画係長他がタービン建屋1階お手洗に被災者5名がいることを発見	発電室員1名	発見後、発電室員他が救護						(注)救出要員を「他」と記載しているのは、具体的には不明であるが、協力会社員を含むため

2次系配管破損事故における被災者救出に係る人の動き

日　時	被災者救出の経緯	発電室の対応状況		所長室の対応状況		発電所各課(室)の対応状況		発電所事故対策本部の対応状況	その他
15:35	保全計画係長他がタービン建屋2階のエレベータ前で2名を発見、階段に最も近い1名を3号機休憩室にタンカにて救出	発電室員 3名	階段に最も近い1名を3号機休憩室にタンカにて救出	人活係長	現地にいる人活係員からの救出状況報告を所長室長に順次報告 ↓	保全計画係長 機械保修課員 1名 他	階段に最も近い1名を3号機休憩室にタンカにて救出		★被災者救助　1人目 (タービン建屋2階階段踊り場 2人中1人目) ※救出にあたっては、建屋内の温度視界などの状況を踏まえ救助を行う
				所長室長	事故対策本部に順次報告 →			事故対策本部	※これ以降、現地からの救出状況は現地人活係員→人活係長→所長室長を経由し、事故対策本部へ順次報告
				所長室長	了解 ←			被災者の救出に全力をあげるよう指示	
15:40	電気保修課員他がタービン建屋2階エレベータ前の2人目を3号機休憩室にタンカにて救出	発電室員 2名	エレベータ前の2人目を3号機休憩室にタンカにて救出			電気保修課員 2名 他	階段踊り場の2人目を3号機休憩室にタンカにて救出し、その後は休憩室にて被災者救護にあたる		★被災者救助　2人目 (タービン建屋2階階段踊り場 2人中2人目)
15:43	119救急通報(第二報)			人活係長 ・係員	現地にいる人活係員からの救出状況報告を受け、救急車の追加を要請、所長室長へ報告 ↓				
				所長室長	事故対策本部に報告 →			事故対策本部	
15:45	タービン建屋1階お手洗の1人目は、タービン建屋外の洗面所に自力で行き、3号機休憩室に移動した								★被災者救助　3人目 (タービン建屋1階お手洗 5人中1人目)
15:45	タービン建屋1階お手洗の2人目は自力で動くことができ、3号機休憩室に移動した								★被災者救助　4人目 (タービン建屋1階お手洗 5人中2人目)
15:45	機械保修課員他がタービン建屋1階お手洗の3人目を3号機休憩室にタンカにて救出	発電室員 2名	タービン建屋1階お手洗の3人目を3号機休憩室にタンカにて救出			機械保修課員 2名 他	タービン建屋1階お手洗の3人目を3号機休憩室にタンカにて救出 その後は休憩室にて被災者救護にあたる		★被災者救助　5人目 (タービン建屋1階お手洗 5人中3人目)
15:47	119救急通報(第三報)			人活係長 ・係員	消防本部より確認のあった被災原因について、現地にいる人活係員からの報告を受け、蒸気の可能性が高いと報告				※これ以降、119救急通報による到着時間の確認等を随時行う
15:50	協力会社社員から2階にまだ人がいるとの情報を聞き、機械保修課係長他がタービン建屋2階当該破損配管付近で被災者1人目を3号機休憩室にタンカにて救出					機械保修課係長 機械保修課員 1名 保全計画課員 2名 他	タービン建屋2階当該破損配管付近で被災者1人目を3号機休憩室にタンカにて救出		★被災者救助　6人目 (タービン建屋2階当該破損配管付近 4人中1人目)
15:58	消防車(救急隊員)到着								
16:00 頃	対策本部からタービン建屋内の捜索要員を急行させる (耐熱服着用)			所長室長	技術系社員4名(2人1組)に消防署救急隊と協力し、タービン建屋の被災者捜索のため、耐熱服を持って現地へ急行するよう指示 現地到着後は消防署救急隊と合流 ←			タービン建屋内の捜索を指示	(注)現地捜索要員の耐熱服も持参

２次系配管破損事故における被災者救出に係る人の動き

日　時	被災者救出の経緯	発電室の対応状況		所長室の対応状況		発電所各課(室)の対応状況		発電所事故対策本部の対応状況	その他
16:00	保全計画係長他がタービン建屋2階当該破損配管付近で被災者2人目を3号機休憩室にタンカにて救出					保全計画係長 保全計画課員 1名 機械保修課員 2名 他	タービン建屋2階当該破損配管付近で被災者2人目を3号機休憩室にタンカにて救出		★被災者救助　7人目 (タービン建屋2階当該破損配管付近 4人中2人目)
16:00	救急車1台目出発(1名搬送)			人活係長 ↓ 所長室長	現地にいる人活係長員からの報告により、救急車1台目の出発を所長室長に報告 事故対策本部に報告			事故対策本部	
16:05	タービン係長他がタービン建屋2階当該破損配管付近で被災者3人目を3号機休憩室にタンカにて救出					タービン係長 他	タービン建屋2階当該破損配管付近で被災者3人目を3号機休憩室にタンカにて救出 (2階エレベーター前で引継)		★被災者救助　8人目 (タービン建屋2階当該破損配管付近 4人中3人目)
16:10	タービン係長他がタービン建屋2階当該破損配管付近で被災者4人目を3号機休憩室にタンカにて救出	発電室員 3名	タービン建屋2階当該破損配管付近で被災者4人目を3号機休憩室にタンカにて救出			タービン係長 機械保修課員 1名 保全計画課員 1名 他	タービン建屋2階当該破損配管付近で被災者4人目を3号機休憩室にタンカにて救出		★被災者救助　9人目 (タービン建屋2階当該破損配管付近 4人中4人目)
16:10	消防署救急隊がタービン建屋1階お手洗の4人目を3号機休憩室にタンカにて救出								★被災者救助　10人目 (タービン建屋1階お手洗 5人中4人目)
16:13	救急車2台目出発(3名搬送)			人活係長 ↓ 所長室長	現地にいる人活係長員からの報告により、救急車2台目の出発を所長室長に報告 事故対策本部に報告			事故対策本部	
						発電所課長 タービン係長	消防署救急隊と協議し、現地の当社側窓口となる		※その後事故対策本部の指示により、事故対策本部から保全計画課長が合流
16:18	所長室員が被災者が11名であることを確認			人活係長 ↓ 所長室長	現地にいる人活係長員からの情報により、被災者が11名であることを所長室長に報告 事故対策本部に報告			事故対策本部	
16:20	救急車3台目出発(2名搬送)			人活係長 ↓ 所長室長	現地にいる人活係長員からの報告により、救急車3台目の出発を所長室長に報告 事故対策本部に報告			事故対策本部	

２次系配管破損事故における被災者救出に係る人の動き

日　時	被災者救出の経緯	発電室の対応状況		所長室の対応状況		発電所各課(室)の対応状況		発電所事故対策本部の対応状況	その他
16:25	原子炉係長が 被災者11名が木内計測の社員であることを確認					原子炉係長	現地にて、被災者11人全員が木内計測の社員であることを木内計測所長に確認のうえ報告し、全員の氏名を聞き取り事故対策本部へ持参	→事故対策本部	
16:27	消防署救急隊8名と機械保修課員2名がタービン建屋3階の捜索を開始 (耐熱服着用)					発電所課長 タービン係長	消防署救急隊8名と協力し、タービン建屋3階の被災者捜索を指示 ↓		※これ以降、順次タービン建屋内全域の被災者捜索を行い、事故対策本部へ報告
						機械保修課員 2名	消防署救急隊8名と協力し、タービン建屋3階の被災者捜索を行う		
16:30	発電室員他がタービン建屋1階お手洗の5人目を3号機休憩室にタンカにて救出	発電室員 1名 他	タービン建屋1階お手洗の5人目を3号機休憩室にタンカにて救出						★被災者救助　11人目 (タービン建屋1階お手洗 5人中5人目) ※確認された11名の救助が完了
16:38	救急車4台目出発(2名搬送)			人活係長	現地にいる人活係員からの報告により、救急車4台目の出発を所長室長に報告 ↓	電気保修課員 1名	被災者に付き添い救急車に同乗 →市立敦賀病院へ		
				所長室長	事故対策本部に報告	→	→	事故対策本部	
16:46	救急車5台目(2名搬送) および消防署の車(1名搬送) 出発			人活係長	現地にいる人活係員からの報告により、救急車5台目と消防車が出発し、確認された11名の搬送が完了したことを所長室長に報告 ↓				※確認された11名の搬送が完了 搬送先病院:市立敦賀病院　8名 :国立福井病院　3名
				所長室長	事故対策本部に報告	→	→	事故対策本部	
17:00	敦賀美方消防本部通信指令室からの要請により放射線管理課員が市立敦賀病院へ出発					放射線管理課長 ↓ 放射線管理課員 2名	事故対策本部の指示により課員2名に指示 正門に配備してある放管用器材を持ち市立敦賀病院へ出発	←事故対策本部	※敦賀美方消防本部通信指令室から管理区域外とは聞いているが、念のため放射線管理課員を派遣してくれるよう要請を受け、病院側の不安を払拭する目的で放射線管理課員を派遣した (持参器材) ・警報付デジタル線量計　15台 ・GM汚染サーベイメータ　2台 ・γ線用シンチレーションサーベイメータ　1台 ・ダストサンプラー　1台
17:25	放射線管理課員が市立敦賀病院に到着 サーベイの実施					放射線管理課員 2名	診療放射線技師の指示により被災者2名のサーベイおよび救急室等2室ならびに医療器材のサーベイを実施		※手当を受けた被災者2名に対して病院側からサーベイの実施依頼を受け、サーベイを実施した。他の被災者6名についてのサーベイは病院にて実施済み ・18:24　サーベイ完了(汚染無し) ・その後、1名は19:30、もう1名は20:00まで市立敦賀病院にて待機

２次系配管破損事故における被災者救出に係る人の動き

日　時	被災者救出の経緯	発電室の対応状況		所長室の対応状況		発電所各課(室)の対応状況		発電所事故対策本部の対応状況	その他
17:50	捜索の結果、タービン建屋1階2階、3階に被災者がいないことを確認					タービン係長	捜索の結果、タービン建屋1階、2階、3階に被災者がいないことを事故対策本部に報告 →	事故対策本部	
17:53	チェッカーで待機していた管理区域内作業員132名が退出			所長室長 庶務係長 ・係員	管理区域内作業員の退出について、放射線管理課長へ連絡	放射線管理課長	当社放射線管理課員に管理区域内作業員の退出を当社放管室員に指示 →	事故対策本部	
18:27	消防署救急隊と機械保修課員他が主蒸気ヘッダ室に被災者がいないことを確認 (耐熱服着用)	発電室員 2名	主蒸気ヘッダ室に被災者がいないことを確認			機械保修課員 3名	主蒸気ヘッダ室に被災者がいないことを確認		
						タービン係長	主蒸気ヘッダ室に被災者がいないことを事故対策本部へ報告 →	事故対策本部	
18:30 頃	市立敦賀病院に派遣していた若狭支社人活Gr員からの情報により、4名の死亡を確認			人活係長	市立敦賀病院に派遣していた若狭支社人活Gr員からの情報により、4名が亡くなられたことを所長室長に報告 ↓				
				所長室長	事故対策本部に報告 →			事故対策本部	
18:32	タービン建屋立入制限解除 (消防署による判断)					タービン係長	タービン建屋立入制限解除を事故対策本部へ報告 →	事故対策本部	
19:00	現地の消防隊および当社捜索要員が、タービン建屋全域の捜索を終了 その他に負傷者がいないことを確認し、消防本部へ連絡			庶務係長 ・係員	現地にいる庶務係員からの報告により、捜索終了を所長室長に報告 ↓	タービン係長	捜索終了を事故対策本部へ報告 ↓		
				所長室長	事故対策本部に報告 →			事故対策本部	

被災者の状況時系列

８／９　　タービン建屋立入者　１０５名

１５：２２　「火災報知器動作」警報発信
１５：２２　「タービン建屋火災発生」の一斉ページング放送を実施
１５：２７　発電室運転員がタービン建屋２階エレベータ前で被災者１名を発見
１５：２８　発見した運転員（補機員）→制御員→当直課長→発電室長→所次長および所長室に被災者の報告あり
１５：３０　所長室員が１１９救急通報、救急車を数台要請
　～３５　消防署から始めに救急車２台を出動すると回答あり
１５：３０　所長室員はタービン建屋からの避難指示ページングを断続的に放送
　～４５
１５：３０頃　各課から救出要員が現地へ急行（看護師２名を含む）
１５：３５　現地救出要員が被災者の救出を開始
１５：３５　保全計画係長他がタービン建屋１階お手洗に５名がいることを発見
１５：３５　保全計画係長他がタービン建屋２階エレベータ前で２名を発見
　階段に最も近い１名を３号機休憩室にタンカにて救出
１５：４０　電気保修課員他がタービン建屋２階エレベータ前の２人目を３号機休憩室にタンカにて救出
１５：４３　所長室員が１１９救急通報（救急車の追加要請）
１５：４５　タービン建屋１階お手洗の１人目はタービン建屋外の洗面所に自力で行き、３号機休憩室に移動した
１５：４５　タービン建屋１階お手洗の２人目は自力で動くことができ、３号機休憩室に移動した
１５：４５　機械保修課員他がタービン建屋１階お手洗の３人目を３号機休憩室にタンカにて救出
１５：４７　所長室員が１１９救急通報（消防本部より確認のあった被災原因について、蒸気の可能性が高いことを報告）
１５：５０　協力会社社員から２階にまだ人がいるとの情報を聞き、機械保修課係長他がタービン建屋２階当該破損配管付近で被災者１人目を３号機休憩室にタンカにて救出
１５：５８　消防車（救急隊員）到着
１６：００頃　対策本部からタービン建屋内の捜索要員を急行させる
１６：００　保全計画係長他がタービン建屋２階当該破損配管付近で被災者２人目を３号機休憩室にタンカにて救出
１６：００　救急車１台目が被災者１名を乗せ発電所を出発（１名搬送）
１６：０５　タービン係長他がタービン建屋２階当該破損配管付近で被災者３人目を３号機休憩室にタンカにて救出

１６：１０　タービン係長他がタービン建屋２階当該破損配管付近で被災者４人目を３号機休憩室にタンカにて救出

１６：１０　消防署救急隊がタービン建屋１階お手洗の４人目を３号機休憩室にタンカにて救出

１６：１３　救急車２台目が被災者３名を乗せ発電所を出発（３名搬送）

１６：１８　所長室員が被災者が１１名であることを確認

１６：２０　救急車３台目が被災者２名を乗せ発電所を出発（２名搬送）

１６：２５　原子炉係長が被災者１１名全てが株式会社木内計測の社員であることを確認

１６：２７　消防署救急隊８名と機械保修課員２名がタービン建屋３階の捜索を開始(耐火服着用)

１６：３０　発電室員他がタービン建屋１階お手洗の５人目を３号機休憩室にタンカにて救出

１６：３８　救急車４台目が被災者２名を乗せ発電所を出発（２名搬送）

１６：４６　救急車５台目が被災者２名を乗せ発電所を出発（２名搬送）および消防署の車が被災者１名を乗せ発電所を出発（１名搬送）
＊確認された１１名の搬送が完了
（搬送先病院：市立敦賀病院８名、国立福井病院３名）

１７：００　敦賀美方消防本部通信指令室からの要請により放射線管理課員が市立敦賀病院へ出発

１７：２５　放射線管理課員が市立敦賀病院に到着
サーベイの実施

１７：５０　捜索の結果、タービン建屋１階、２階、３階に被災者がいないことを確認

１７：５３　チェッカーで待機をしていた管理区域内作業員１３２名が退出

１８：２７　消防署救急隊と機械保修課員他が主蒸気ヘッダ室に被災者がいないことを確認

１８：３０頃　市立敦賀病院に派遣していた若狭支社人活Ｇｒ員からの情報により、４名の死亡を確認

１８：３２　タービン建屋立入制限の解除（消防署による判断）

１９：００　現地の消防隊および当社捜索要員がタービン建屋全域の捜索を終了
その他に負傷者がいないことを確認し、消防本部へ連絡

被災者救出に係る問題点の抽出

添付資料 2－14（1／2）

日　時	対応状況						問題点
● ● ●							
15:27	補機員	タービン建屋2階のエレベータ前で被災者を発見し制御員に連絡					(1)被災者救出のための通報連絡 消防計画に定められていた通報経路は、「発見者→当直課長→所長室長→消防」であり、一部異なっている。
	制御員	被災者発見の情報を当直課長に報告					
	当直課長	被災者発見の情報を発電室長に報告					
15:28	発電室長	被災者発見の情報を所次長および所長室長に報告					
15:30 ～35	人活係長・係員	119に救急通報し、救急車の出動を数台要請 （初めに2台の出動が決定）					
15:30 頃	発電室員	初めに9名が現地へ急行 （途中で中央制御室応援要員と救出要員の二手に分かれ、4名が救出にあたった）	所長室	初めに5名が事務所から現地に急行 ※患者輸送車、看護師2名含む	機械保修課員 保全計画課員 電気保修課員	初めに6名が現場へ急行 初めに7名が現場へ急行 初めに4名が現場へ急行	(2)現場での被災者救出 人命救助という観点から必要な活動であるが、2次災害防止のため、念のための処置として救出活動にあたる際の注意事項を周知しておくべきである。
15:35			所長室長	ページングによる避難放送、救急車の出動要請、現地への救出要員の出動について、事故対策本部に報告			
● ● ● ● ● ● ●							
16:13	発電所課長 タービン係長	消防署救急隊と協議し、現地の当社側窓口となる			※その後事故対策本部の指示により、事故対策本部から保全計画課長が合流		(3)消防・救急との連携 建屋の構造設備・作業人員把握等が速やかに説明できる体制となっていなかった。
● ● ●							

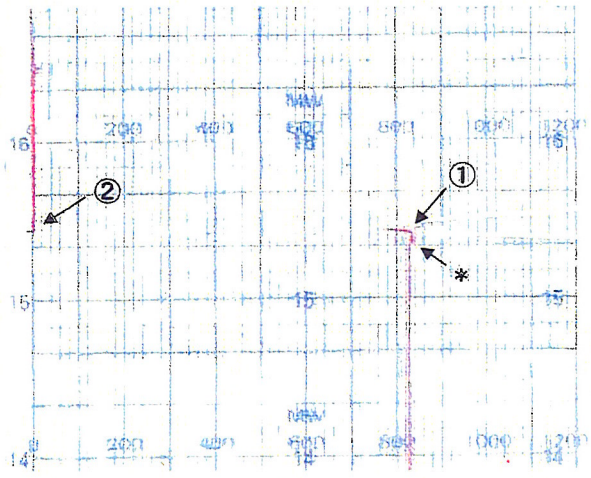
被災者救出に係る問題点の抽出

日　時	対応状況			問題点
・ ・ ・ 17:00	放射線管理課長 ↓ 放射線管理課員 2名	事故対策本部の 指示により課員2名に指示 正門に配備してある放管用器材を持ち市立敦賀病院へ出発	事故対策本部	※敦賀美方消防本部通信指令室から管理区域外とは聞いているが、念のため放射線管理課員を派遣してくれるよう要請を受け、病院側の不安を払拭する目的で放射線管理課員を派遣した （持参器材） ・警報付デジタル線量計　15台 ・GM汚染サーベイメータ　2台 ・γ線用シンチレーションサーベイメータ　1台 ・ダストサンプラー　1台	(4)医療機関への情報連絡 管理区域外での災害においても被ばくの有無に関する情報を消防だけでなく、受入先の医療機関にも連絡する仕組みとなっていなかった。
	放射線管理課員 2名	診療放射線技師の指示により被災者2名のサーベイおよび救急室等2室ならびに医療器材のサーベイを実施		※手当を受けた被災者2名に対して病院側からサーベイの実施依頼を受け、サーベイを実施した。他の被災者6名についてのサーベイは病院にて実施済み ・18:24　サーベイ完了（汚染無し） ・その後、1名は19:30、もう1名は20:00まで市立敦賀病院にて待機	
17:50 ・ ・ ・	捜索の結果、タービン建屋1階2階、3階に被災者がいないことを確認				
18:27 ・ ・ ・	消防署救急隊と機械保修課員他が主蒸気ヘッダ室に被災者がいないことを確認 （耐熱服着用）				(5)作業者の安否確認 作業者の安否確認が直ちに実施できる様な仕組みとなっていなかった。
19:00	現地の消防隊および当社捜索要員が、タービン建屋全域の捜索を終了 その他に負傷者がいないことを確認し、消防本部へ連絡				

主要パラメータ挙動の解説

注：記録計時間は赤ペンを基準で調整する。

発電機出力

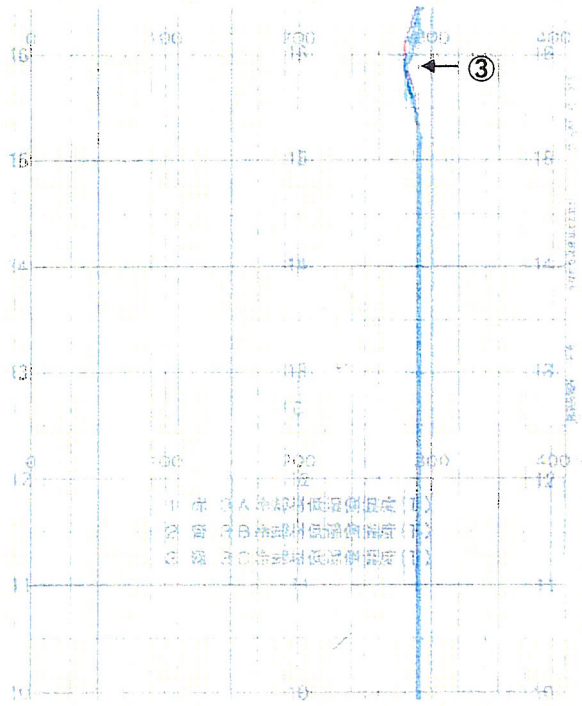


①発電機出力一定運転状態から、（火災報知器動作以降）緊急負荷降下操作を実施

②この後原子炉が自動停止、タービンおよび発電機が自動停止し、発電機出力が降下

なお、*で発電機出力が少し上昇しているのは復水管からの漏れ発生により脱気器への補給水量が減少し、脱気器保有水温度が上昇したことによるものである。

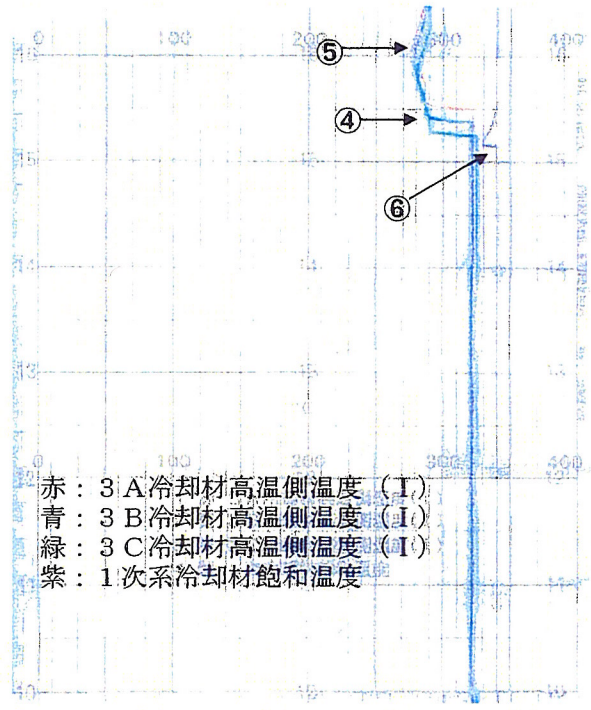
冷却材低温側温度



赤：３Ａ冷却材低温側温度（Ⅱ）
青：３Ｂ冷却材低温側温度（Ⅱ）
緑：３Ｃ冷却材低温側温度（Ⅱ）

③原子炉自動停止に伴う過渡状態で冷却材低温側温度が一時的に低下したため、主蒸気隔離弁を閉止及びタービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切り替え、その後286℃で安定

冷却材高温側温度



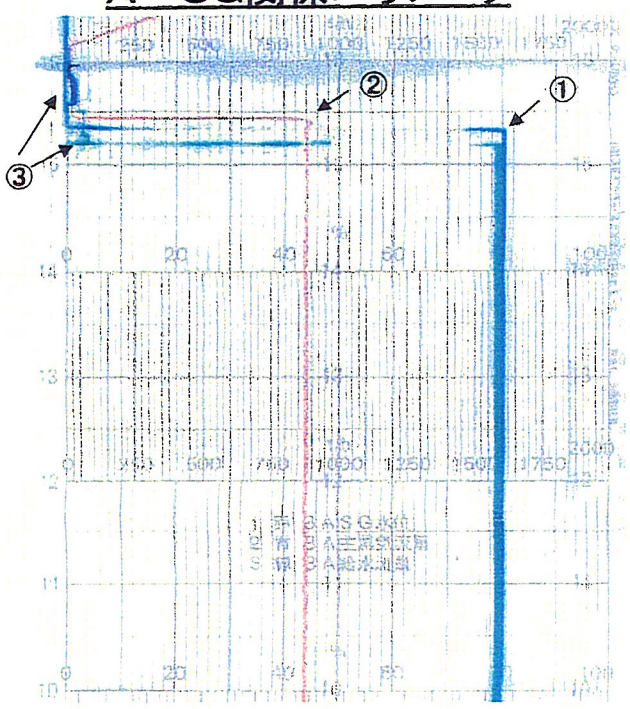
赤：３Ａ冷却材高温側温度（Ⅰ）
青：３Ｂ冷却材高温側温度（Ⅰ）
緑：３Ｃ冷却材高温側温度（Ⅰ）
紫：１次系冷却材飽和温度

④原子炉自動停止に伴い、原子炉出力が低下したため、１次冷却材高温側温度が低温側温度と同等まで低下

⑤主蒸気隔離弁閉止により、その後286℃で安定

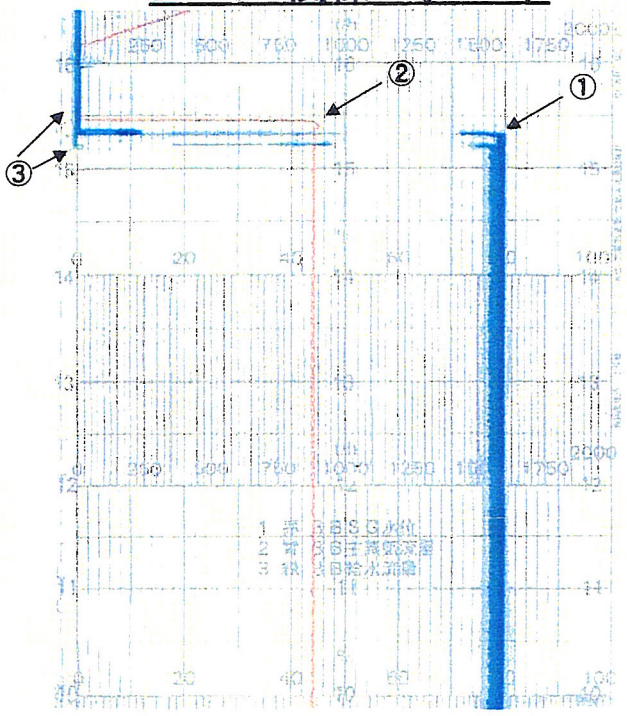
⑥原子炉自動停止に伴う過渡変化により１次冷却材圧力が低下したため、飽和温度が一時的に低下

Ａ－SG関係パラメータ



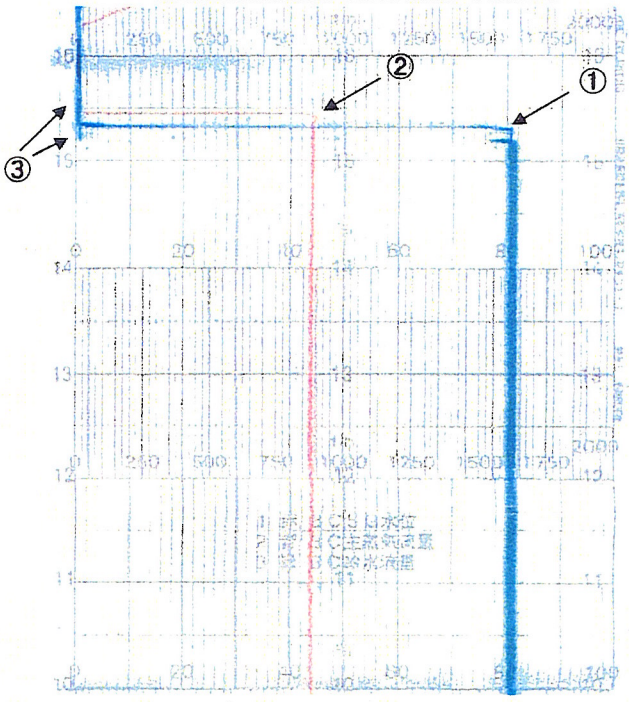
赤：３ＡＳＧ水位
青：３Ａ主蒸気流量
緑：３Ａ給水流量

Ｂ－SG関係パラメータ



赤：３ＢＳＧ水位
青：３Ｂ主蒸気流量
緑：３Ｂ給水流量

Ｃ－SG関係パラメータ



赤：３ＣＳＧ水位
青：３Ｃ主蒸気流量
緑：３Ｃ給水流量

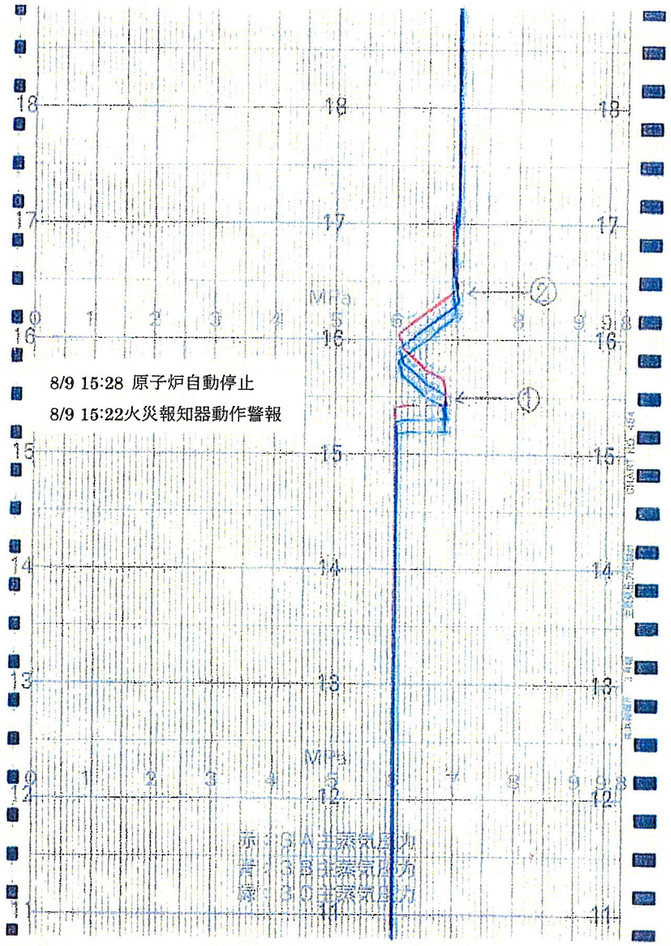
①緊急負荷降下に伴い、主蒸気・主給水流量が低下開始

②この後原子炉が自動停止、タービンおよび発電機が自動停止し、発電機出力が降下
補助給水ポンプによる補給開始

③主蒸気・主給水流量計は約60t/h以下では指示をカットするよう調整しているため、AとB,Cで指示の差が発生している。

主蒸気圧力

赤：３Ａ主蒸気圧力
青：３Ｂ主蒸気圧力
緑：３Ｃ主蒸気圧力

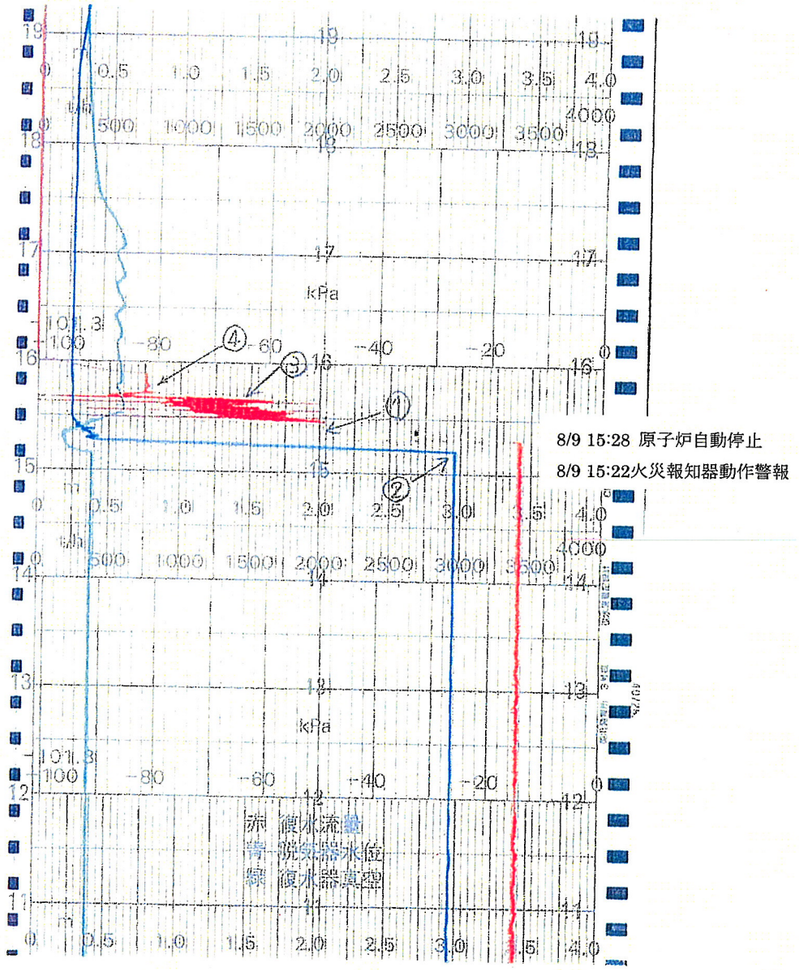


①原子炉が自動停止、タービンおよび発電機が自動停止により主蒸気圧力が上昇
その後タービンバイパス弁による原子炉の低温停止操作に伴い１次冷却材温度の飽和圧力まで一時的に低　下

②タービンバイパス弁→主蒸気逃がし弁に切替後１次冷却材温度２８６℃で安定

復水流量・脱気器水位・復水器真空

赤：復水流量
青：脱気器水位
緑：復水器真空



①復水管の破口により健全側（B 側）の流れがほぼ停止し、破口側（A 側）のみ流れとなる。（流量計は２，０００t/h が測定の上限である）

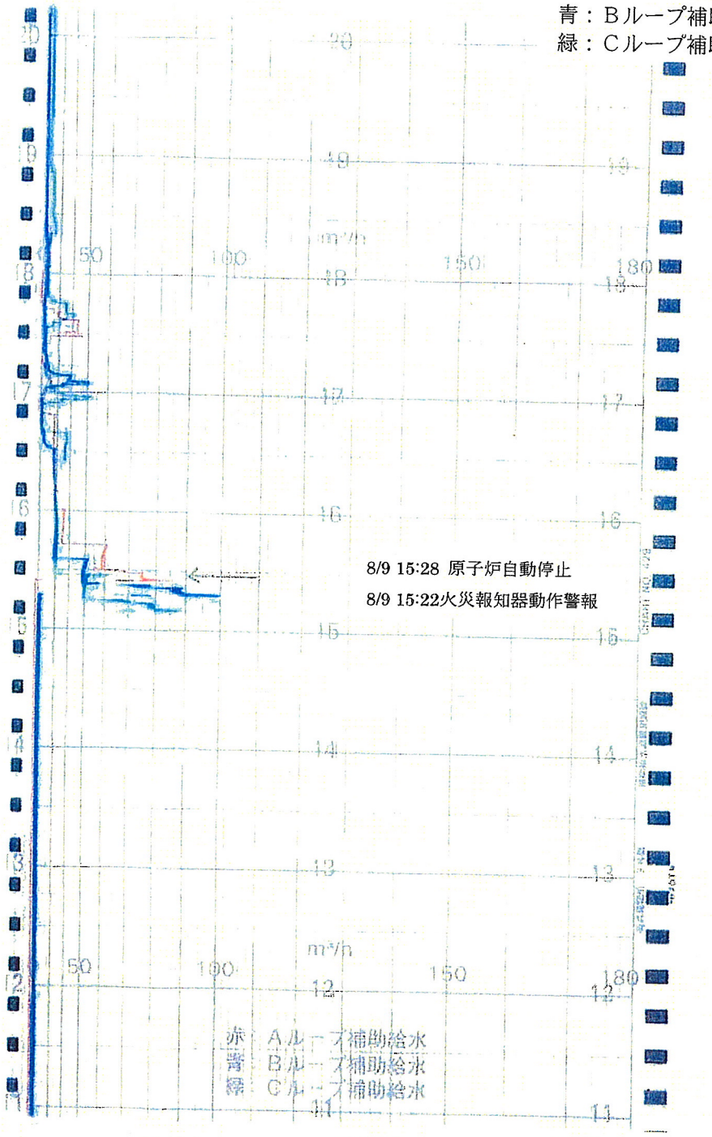
②破口部からの漏れにより脱気器に復水が供給されず脱気器水位が低下

③脱気器水位制御弁を「自動」→「手動」に切替えて調整を試みる。

④主給水ポンプ全台停止後も脱気器水位が低下するため脱気器水位制御弁を手動にて全閉とした。

Ａ・Ｂ・Ｃループ補助給水流量

赤：Ａループ補助給水
青：Ｂループ補助給水
緑：Ｃループ補助給水



原子炉が自動停止、タービンおよび発電機が自動停止し、発電機出力が降下
補助給水ポンプによる給水開始

美浜３号機プラント状況の時系列　（１／８）

（注［　］は後に判明したものを示す）

時　刻	プ　ラ　ン　ト　の　状　況	対応操作・確認等の内容	補　　足　　説　　明	参考資料
８／９ １５：２２	「火災報知器動作」警報発信	火災受信盤で タービン建屋２階 「Ｔ／Ｂ２階取水口側階段」 「ＦＷＰ(主給水ポンプ)出口ヘッダ付近」 タービン建屋３階 「Ｔ／Ｂ３階取水口側階段」 タービン建屋１階 「Ａ給水ポンプ上部」 他多数警報発信	［破口部からの噴出蒸気を感知したものと考えられる］	系統状態　① （通常状態）
１５：２２ １５：２３	「３Ｂ直流接地」警報発信 「３Ａ直流接地」警報発信	所内盤で直流接地の警報を確認	〔破口部からの蒸気が、Ｃ－主蒸気隔離弁（ＭＳ－５３７Ｃ）用電磁弁（Ａ、Ｂ直流系統から供給）に至り内部で接地した〕	
		下記内容で一斉ページング放送実施 「直流接地発生、作業関係者は中央へ連絡して下さい」 「タービン建屋火災発生」		系統状態　②
１５：２３		脱気器水位および復水流量低下、脱気器水位調節器（ＬＫ－３２０３）出力１００％を確認	［破口部からの復水放出による］ ［脱気器の水位が低下したため、調節器の出力が通常約７０％から１００％となった。］	チャート集 （パラメータ挙動の解説）
１５：２５		運転員がタービン建屋３階で蒸気が充満していることを確認	蒸気が充満し、直流接地警報が発信していること、脱気器水位の低下、復水流量変動のパラメータからプラント２次系（給水管または復水管のどちらか）での漏えいの疑いがあることからプラントの停止を判断 緊急性を考え、負荷降下率は最大レート（５％／分）	
１５：２６	緊急負荷降下	５％／分での緊急負荷降下を開始		

美浜３号機プラント状況の時系列　（２／８）

時　刻	プ　ラ　ン　ト　の　状　況	対応操作・確認等の内容	補　　足　　説　　明	参考資料
１５：２８	Ａ・Ｂ－主給水ポンプ自動停止 トリップ要素：主給水ブースタポンプ前後差圧低下（推定） （設定値：≦0.393MPa10 秒継続）	Ａ・Ｂ－主給水ポンプ自動停止を確認	脱気器水位が低下し、主給水ブースタポンプキャビテーションにより主給水ブースタポンプ前後差圧低下で、給水ポンプ自動停止に至った	系統状態　③
	Ａ・Ｂ－電動補助給水ポンプ自動起動	Ａ・Ｂ－電動補助給水ポンプの自動起動を確認	Ａ・Ｂ－主給水ポンプ自動停止による自動起動	
	Ｃ－主給水ポンプ自動起動	Ｃ－主給水ポンプの自動起動確認は出来ていない	［Ｂ－主給水ポンプ自動停止による自動起動］ ほぼ同時に原子炉が自動停止し、その対応に当たっていた	
１５：２８	Ａ－ＳＧ給水＜蒸気流量不一致による原子炉自動停止 自動停止設定値：ＳＧ狭域水位低（25％）と給水＜蒸気流量（312t/h）の一致	プラント自動停止状態良好確認 原 子 炉：原子炉トリップしゃ断器開 全制御棒挿入 炉外核計装出力低下 タービン：タービン各弁閉止 発 電 機：主変しゃ断器開	［給水ポンプ自動停止により、給水流量が減少し、蒸気発生器（以下「ＳＧ」という）水位が低下した］	
		給水制御弁（ＦＣＶ－４７８，４８８，４９８）全閉確認 原子炉トリップしゃ断器開と冷却材平均温度低（290℃）の一致で閉止	正常動作　過剰給水によるＲＣＳ過冷却防止	
	タービン動補助給水ポンプ自動起動	タービン動補助給水ポンプの自動起動を確認	ＳＧ狭域水位異常低（１３％（２／３チャンネルの一致））による自動起動	
１５：３１	Ｃ－主給水ポンプ自動停止 自動停止要素：給水ブースタポンプ前後差圧低下 （設定値：≦0.393MPa10 秒継続）	Ｃ－主給水ポンプの自動停止確認は出来ていない	［一旦自動起動したが、主給水ブースタポンプ前後差圧低下で自動停止した］ 原子炉自動停止後の対応にあたっていたため	
１５：３２		タービン動補助給水ライン流量制御弁（ＨＣＶ－３１２０，３１２１，３１２２）を閉止	１次冷却材温度低下防止のための補助給水流量調整 Ａ：　約７５　→　約６０m^3／h Ｂ：　約８５　→　約５０m^3／h Ｃ：　約８０　→　約５０m^3／h	

美浜３号機プラント状況の時系列　（３／８）

時　刻	プ　ラ　ン　ト　の　状　況	対応操作・確認等の内容	補　　足　　説　　明	参考資料
１５：３５	原子炉高温停止状態	以下のプラントパラメータにより原子炉の高温停止状態安定を確認 ＲＣＳ圧力：１４MPa（回復中） １次冷却材温度：２８６℃ 加圧器水位：２２％ 主蒸気圧力：６．８MPa Ｓ　Ｇ　水　位：狭域Ａ・Ｂ・Ｃ共０％以下 広域Ａ４８％　Ｂ・Ｃ５３％	補助給水流量が確保されており、全ＳＧの広域水位が上昇傾向であった	系統状態　④
１５：４４		脱気器水位制御弁（ＬＣＶ－３２０２）閉止	脱気器水位低下、復水流量の激しい変動から、復水系統水が沸騰しているのではないかと懸念し閉止した	系統状態　⑤ チャート集 （パラメータ挙動の解説）
１５：４５	脱気器の水位がほぼ０％ １次冷却材温度が緩やかな低下傾向	１次冷却材温度約２８６℃から緩やかに低下しているのを確認		チャート集 （パラメータ挙動の解説）
１５：４９		復水器真空調整操作による Ａ・Ｂ－復水器真空ポンプ自動起動を確認 設定値：復水器真空88kPa	復水器真空調整時の通常確認行為	
１５：５３	タービン建屋２、３階に充満している蒸気量減少	運転員がタービン建屋２、３階の蒸気量が減少していることを確認	２次系の漏えいが減少していることを認識した	
１５：５８		脱気器加熱蒸気弁（ＰＣＶ－３３０１）閉止	脱気器加熱蒸気弁（ＰＣＶ－３３０１）は負荷急減により自動開となる正常動作であるが、１次冷却材温度が低下傾向であるため、主蒸気管より蒸気を取り出している同弁閉止操作を実施	
		原子炉運転モード５（１次冷却材温度９３℃以下の低温停止）のほう素濃度９９０ｐｐｍ以上を目標に、１次冷却材ほう素濃縮開始	通常操作　原子炉停止余裕の確保	
１６：００		ＲＣＳ脱ガス開始 （体積制御タンクカバーガス　H_2→N_2切替）	通常操作　ＲＣＳ溶存水素低減	
１６：０５	主蒸気隔離	Ａ・Ｂ・Ｃ－主蒸気隔離弁（ＭＳ－５３７Ａ，Ｂ，Ｃ）を閉止	脱気器加熱蒸気弁（ＰＣＶ－３３０１）閉止により１次冷却材温度の低下は止まったが、１次冷却材温度上昇が見られなかったことにより実施 （１次冷却材温度チャートから　約２８０℃）	系統状態　⑥ （パラメータ挙動の解説）
		タービンバイパス弁（ＴＣＶ－４０８Ａ，ＢＣ，Ｄ）から主蒸気逃がし弁（ＰＣＶ－３０１３，３０１４，３０１５）に切替	通常操作　主蒸気隔離時のＳＧの蒸気放出経路の切替	

美浜３号機プラント状況の時系列　（４／８）

時　刻	プ　ラ　ン　ト　の　状　況	対応操作・確認等の内容	補　　足　　説　　明	参考資料
１６：２０		タービングランド蒸気を主蒸気から補助蒸気へ切替	通常操作 タービングランド蒸気源を確保するための切替	
１６：２６	主給水隔離弁閉止	Ａ・Ｂ・Ｃ－主給水隔離弁（ＦＷ－５２０Ａ，Ｂ，Ｃ）を閉止	主給水ラインのバウンダリ強化 （補助給水系・ＳＧからの漏えい箇所への逆流防止）	系統状態　⑦
１６：５５	ＳＧ狭域水位が通常無負荷水位 設定値：３３％	ＳＧ狭域水位が、ほぼ通常無負荷水位に回復を確認		
１７：００		Ａ・Ｂ・Ｃ－ＳＧブロー再開	電動補助給水ポンプ自動起動により停止していたものをＳＧ器内水水質調整のため再開	
１７：１２		タービン動補助給水ポンプ停止	ＳＧ水位が回復し、電動補助給水ポンプで原子炉残留熱除去が十分可能となったため （ＳＧ水位チャートから　Ａ：３０％、　Ｂ：３９％、Ｃ：３１％）	系統状態　⑧
		Ａ・Ｂ・Ｃ－補助給水流量制御弁（ＨＣＶ－３１２０，３１２１，３１２２）を全閉から約６０％まで開操作	タービン動補助給水ポンプ自動待機状態確立のため	
１７：１３	Ａ・Ｃ－補助給水流量制御弁（ＨＣＶ－３１２０，３１２２）開操作するも開放せず			
１７：３０	破口箇所の確認	運転員の現地点検結果、４低圧給水ヒータから脱気器への復水配管に破口部を確認		
１７：４５		Ａ－復水器真空ポンプ停止	復水器真空調整終了による停止	
１７：５４		Ｂ－復水器真空ポンプ停止	復水器真空調整終了による停止	
１７：５７ ～ １８：１１		復水脱塩塔バイパス操作	復水脱塩塔を使用しないためバイパス操作を実施	
１８：０４		４Ａ・Ｂ・Ｃ低圧給水ヒータ出口弁（ＣＷ－０１６Ａ，Ｂ，Ｃ）閉止	バウンダリの強化による破口部からの漏えい防止	系統状態　⑧
１８：０５		１Ａ・Ｂ・Ｃ低圧給水ヒータ入口弁（ＣＷ－０１５Ａ，Ｂ，Ｃ）閉止		

美浜３号機プラント状況の時系列　（５／８）

時　刻	プ　ラ　ン　ト　の　状　況	対応操作・確認等の内容	補　　足　　説　　明	参考資料
１８：３０		機械保修課員立会のもと開閉確認実施 Ａ・Ｃ－補助給水流量制御弁（ＨＣＶ－３１２０，３１２２）開動作不能確認	保安規定第６６条　運転上の制限を満足していないと判断（１８：３８） Ａ・Ｃ－補助給水流量制御弁（ＨＣＶ－３１２０、３１２２）開動作不能から、モード１、２および３において、補助給水系３系統運転可能要求にに対して、タービン動補助給水ポンプ１系統が動作不能であると判断	
１９：００ ～ １９：３０		Ａ・Ｂ－電動補助給水ポンプ運転状態確認	保安規定第６６条に基づき要求される措置 残りの２系統のポンプ（電動補助給水ポンプ）が動作可能であることの確認要求により、運転中のＡ・Ｂ－電動補助給水ポンプの運転状態に異常のないことを確認	
１９：２０		原子炉停止後の点検（格納容器内を除く１次系）完了		
２１：１５		１次冷却材ほう素濃度測定のためサンプリング	通常操作　原子炉停止余裕の確認 分析結果　１，３３６ｐｐｍ	
２１：３０		加圧器ほう素濃度測定のためサンプリング	通常操作　原子炉停止余裕の確認 分析結果　１，１１４ｐｐｍ	
２１：３５	原子炉運転モード５（１次冷却材温度９３℃以下の低温停止）ほう素濃度　９９０ｐｐｍ以上を満足	技術課通知文書で指定された冷却可能なほう素濃度になったことを確認	通常操作　原子炉停止余裕の確認	
２２：５６	原子炉リセット	原子炉トリップしゃ断器の投入	通常操作　停止用および制御用制御棒を引抜く	
２３：００ ～ ２３：０９		停止用および制御用制御棒引抜 停止用：０ステップ　→　２２８ステップ 制御用：０ステップ　→　５ステップ	通常操作　停止余裕確保と、ＲＣＳ冷却による温度変化で生じる制御棒駆動軸とラッチアームとの干渉による拘束を防ぐ	
２３：３０	ＲＣＳ冷却開始（１次冷却材温度２８６℃、ＲＣＳ圧力１５．４MPaより）	Ｂ－１次冷却材ポンプ停止	通常操作　ＲＣＳの加熱源を減少させる	
２３：５３	主蒸気ライン安全注入動作阻止 設定値：１次冷却材温度２８４℃	主蒸気ライン安全注入動作阻止スイッチを「ブロック」	通常操作　ＲＣＳ冷却に伴う安全注入の動作阻止	

美浜３号機プラント状況の時系列　（６／８）

時　刻	プ　ラ　ン　ト　の　状　況	対応操作・確認等の内容	補　　足　　説　　明	参考資料
８／１０ ００：２３	加圧器安全注入動作阻止 設定値：ＲＣＳ圧力１３．７９ＭＰａ	加圧器安全注入動作阻止スイッチを「ブロック」	通常操作　ＲＣＳ冷却に伴う安全注入の動作阻止	
００：２５ ～ ００：５６		ほう酸タンク切替　Ｂ→Ａ	通常操作　１次冷却材ほう素濃縮操作用水確保	
０１：０４	格納容器パージ開始 開始条件 ・原子炉停止後２時間以上経過 ・原子炉運転モード３（１次冷却材温度１７７℃未満）ほう素濃度以上にほう素濃縮が完了している ・放射線管理課長による格納容器パージ（以下「Ｃ／Ｖパージ」という）許可が出ている ・中央監視型モニタポストが監視可能である ・気象条件（風向、風速）	格納容器送気隔離弁（Ｖ－６６１５、６６１６）・排気隔離弁（Ｖ－６６０４、６７０６）の開・閉確認	通常操作　原子炉停止後の格納容器内点検	
０１：３０		原子炉停止後の点検（２次系）完了	破口部からの漏えいが停止し、２次災害発生の可能性がなくなったことから点検実施	
０１：３４		Ａ－格納容器送・排気ファン起動	通常操作　Ｃ／Ｖパージ操作	
０１：４２		Ｂ－格納容器送・排気ファン起動		
０２：００ ～ ０２：２０		Ａ・Ｂ－電動補助給水ポンプ運転状態確認	保安規定第６６条に基づき要求される措置 残りの２系統のポンプ（電動補助給水ポンプ）が動作可能であることの確認要求により、運転中のＡ・Ｂ－電動補助給水ポンプの運転状態に異常のないことを確認	
０３：１７	アキュムレータ出口電動弁閉止 ＲＣＳ圧力６．８ＭＰａ	Ａ・Ｂ・Ｃ－アキュムレータ出口電動弁（ＭＯＶ－８８０８Ａ、Ｂ、Ｃ）閉止	通常操作　ＲＣＳ冷却に伴うＲＣＳへのアキュムレータ水注入防止	
０４：０１		抽出水オリフィス隔離弁（ＡＯＶ－８１４９Ｃ）開放	通常操作　ＲＣＳ冷却に伴うＲＣＳ圧力低下による抽出水流量確保	
０４：０７		Ｂ－１次系冷却水ポンプ追加起動	通常操作　ＲＣＳ冷却に伴う余熱除去系（以下「ＲＨＲＳ」という）使用準備	
		１次冷却材ほう素濃縮操作終了	１次冷却材ほう素濃縮は燃料取替ほう素濃度（２，２００ｐｐｍ以上）を目標に実施	

美浜３号機プラント状況の時系列　（７／８）

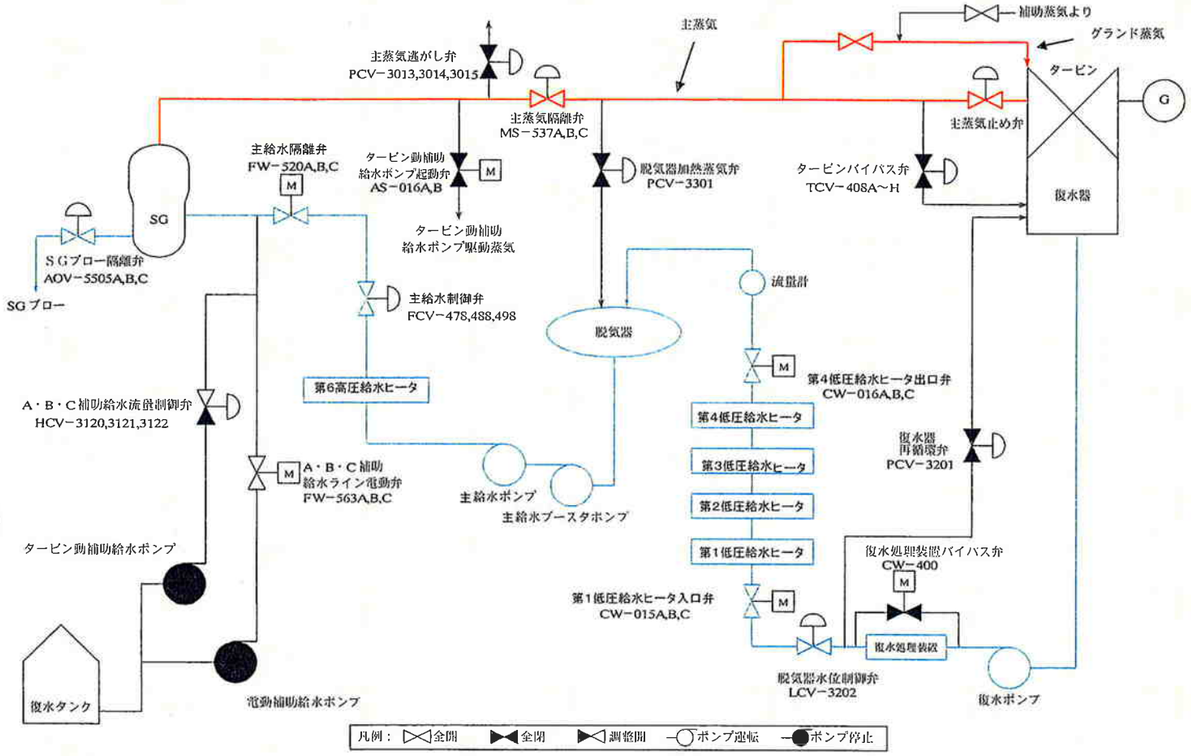
時　刻	プ　ラ　ン　ト　の　状　況	対応操作・確認等の内容	補　　足　　説　　明	参考資料
０４：３０		ＲＣＳループほう素濃度測定のためサンプリング	通常操作　燃料取替ほう素濃度（２，２００ｐｐｍ以上）の確認 分析結果　２，６６５ｐｐｍ	
０４：４２	Ｃ／Ｖパージ完了 判断目安 格納容器ガス濃度が７×１０$^{-2}$Bq/cm^{3}以下		パージ開始前の格納容器ガス濃度が７×１０$^{-2}$Bq/cm^{3}以下であったため、３時間実施で完了と判断	
０４：５５		加圧器ほう素濃度測定のためサンプリング	通常操作　燃料取替ほう素濃度（２，２００ｐｐｍ以上）の確認 分析結果　２，５６６ｐｐｍ	
０５：５５	原子炉運転モード３（１次冷却材温度１７７℃以上） →４（１次冷却材温度９３℃超１７７℃未満） １次冷却材温度１７６℃	１次冷却材温度１７６℃を確認	保安規定第６６条（補助給水系）運転上の制限は適用モード外に移行 モード４に移行したので、このモードでの運転上の制限は、電動補助給水ポンプ１系統以上が動作可能要求なので、タービン動補助給水ポンプは運転上の制限の適用除外になった	
０６：３２	タービン動補助給水ポンプ待機除外	タービン動補助給水ポンプ蒸気取出し弁（ＡＳ－０１１Ａ、Ｂ）を閉止	通常操作　自動起動による１次冷却材温度低下防止	
０６：３６	Ｂ・Ｃ－充てん／高圧注入ポンプ待機除外	Ｂ・Ｃ－充てん／高圧注入ポンプコントロールスイッチ「プルアウト」	通常操作　ＲＣＳ冷却に伴うＲＣＳ低温過加圧防止	
０９：５０		原子炉停止後の点検（格納容器内）完了		
１１：０２	Ｂ－ＲＨＲＳウォーミング １次冷却材温度１６５℃	Ｂ－ＲＨＲＰ吸込切替 燃料取替用水タンク→ＲＣＳループ Ｂ－ＲＨＲＰ起動 Ｂ－ＲＨＲＳのウォーミング	通常操作　Ｂ－ＲＨＲＳ使用準備（熱応力発生防止）	
１２：４０	Ｂ－ＲＨＲＳ使用開始 １次冷却材温度１６０℃	Ｂ－ＲＨＲＰ出口をＲＣＳループと接続	通常操作　ＲＨＲＳでの冷却開始、これ以降ＲＨＲＳでの冷却	
１２：４１		Ｂ－電動補助給水ポンプ停止	通常操作　ＲＨＲＳ使用開始によるＲＣＳ冷却手段が確保できたため停止	
１３：００		加圧器満水操作開始	通常操作　加圧器の冷却	
１３：１１	Ａ－ＲＨＲＳウォーミング １次冷却材温度１６２℃	Ａ－ＲＨＲＰ吸込切替 燃料取替用水タンク→ＲＣＳループ Ａ－ＲＨＲＰ起動 Ａ－ＲＨＲＳのウォーミング	通常操作　Ａ－ＲＨＲＳ使用準備（熱応力発生防止）	

美浜３号機プラント状況の時系列　（８／８）

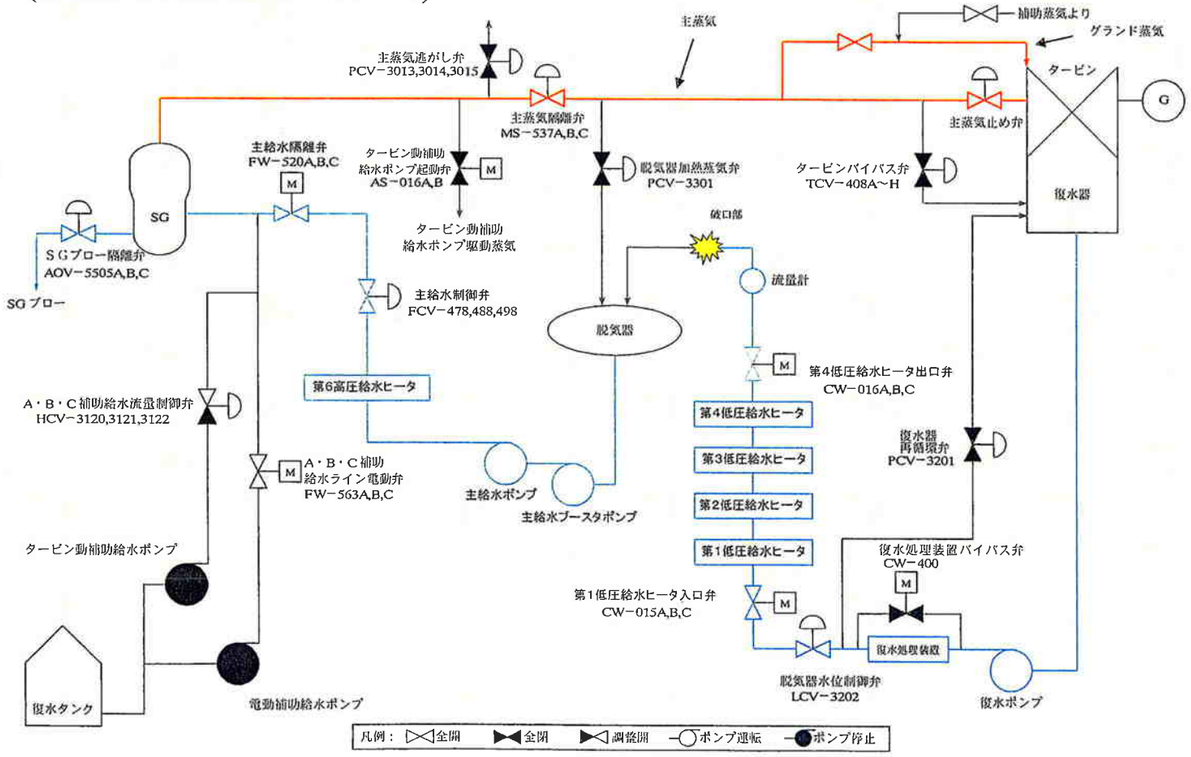
時　刻	プ　ラ　ン　ト　の　状　況	対応操作・確認等の内容	補　　足　　説　　明	参考資料
１４：１５	Ａ－ＲＨＲＳ使用開始 １次冷却材温度１６１℃	Ａ－ＲＨＲＰ出口をＲＣＳループと接続	通常操作　Ｂ－ＲＨＲＳと併用しての冷却	
１４：５５	加圧器満水		加圧器の気相部が消滅	
１６：３４	１次冷却材温度１４０℃	１次冷却材温度１４０℃を確認		
１６：３４ ～ １６：３５		低温時過加圧防止設備ＲＣＳ温度低ＰＣＶ－４４５、４４４Ａモード選択スイッチ「通常」→「低圧」	通常操作　ＲＣＳ冷却に伴うＲＣＳ低温過加圧防止	
１８：０８	１次冷却材温度１１５℃	原子炉トリップしゃ断器開放	通常操作　制御棒全挿入	
１８：１５		Ｃ－１次冷却材ポンプ停止 （Ａ－１次冷却材ポンプのみ運転継続）	通常操作　ＲＣＳの加熱源を減少させる	
１９：０５	低温停止状態 原子炉運転モード　４（１次冷却材温度９３℃超１７７℃未満）→５（１次冷却材温度９３℃以下）	１次冷却材温度９２℃を確認		
１９：２７ ～ １９：３０		安全注入、内部スプレ信号ブロック	通常操作　誤信号発信防止	
２０：００ ～ ２０：１０	内部スプレポンプ待機除外	Ａ・Ｂ・Ｃ・Ｄ－内部スプレポンプコントロールスイッチ「プルアウト」	通常操作　内部スプレポンプの誤起動防止	
２３：４５	１次冷却材温度　６０℃到達 ＲＣＳ圧力２．７Mpa	ＲＨＲＳで１次冷却材温度を６０℃で保持		

美浜３号機　２次系配管破損事故時のプラント系統状態

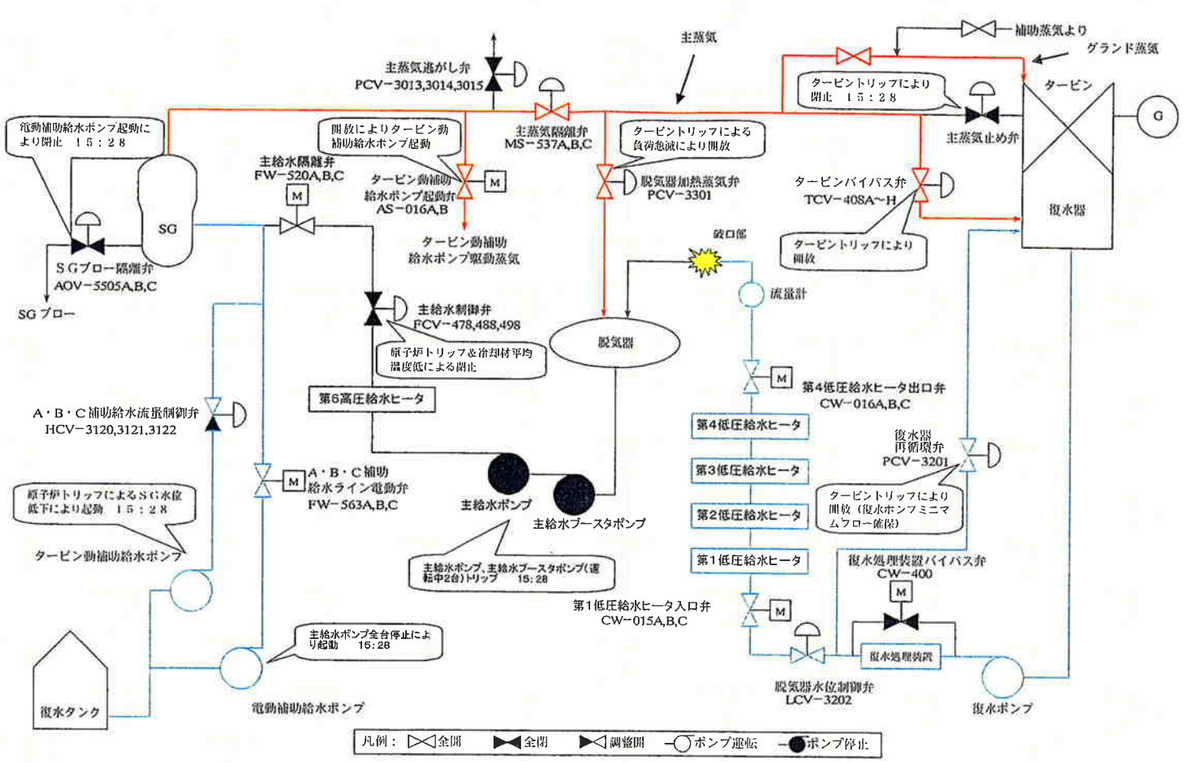
① 通常運転状態



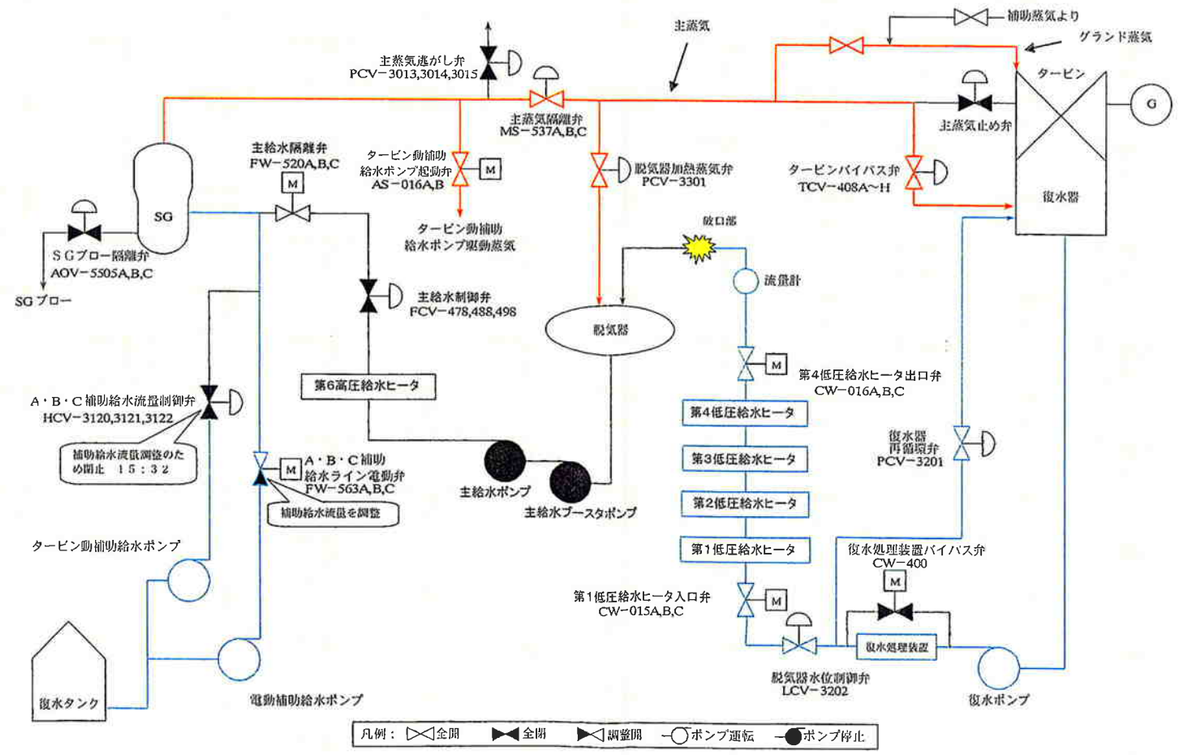
② 「配管破損発生」
(15：22 火災報知器動作警報発信時)



③ 15：28「原子炉自動停止」および「給水ポンプ自動停止」

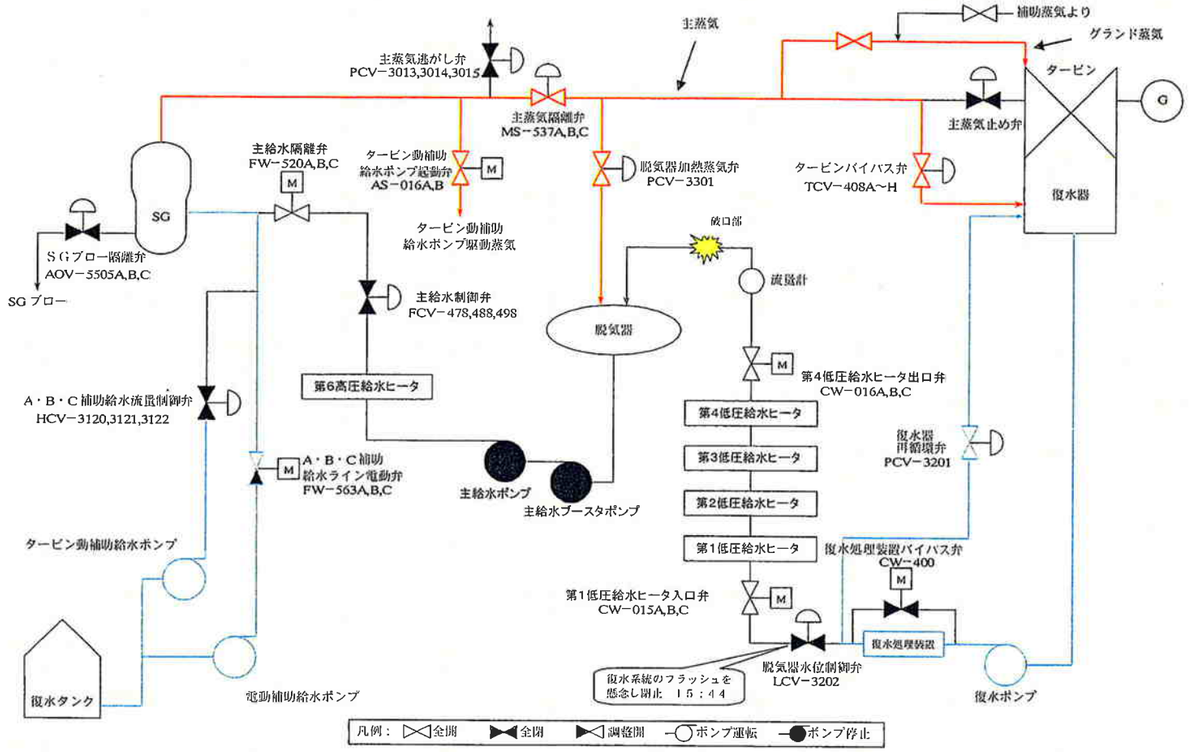


④ 15：35「原子炉高温停止状態」

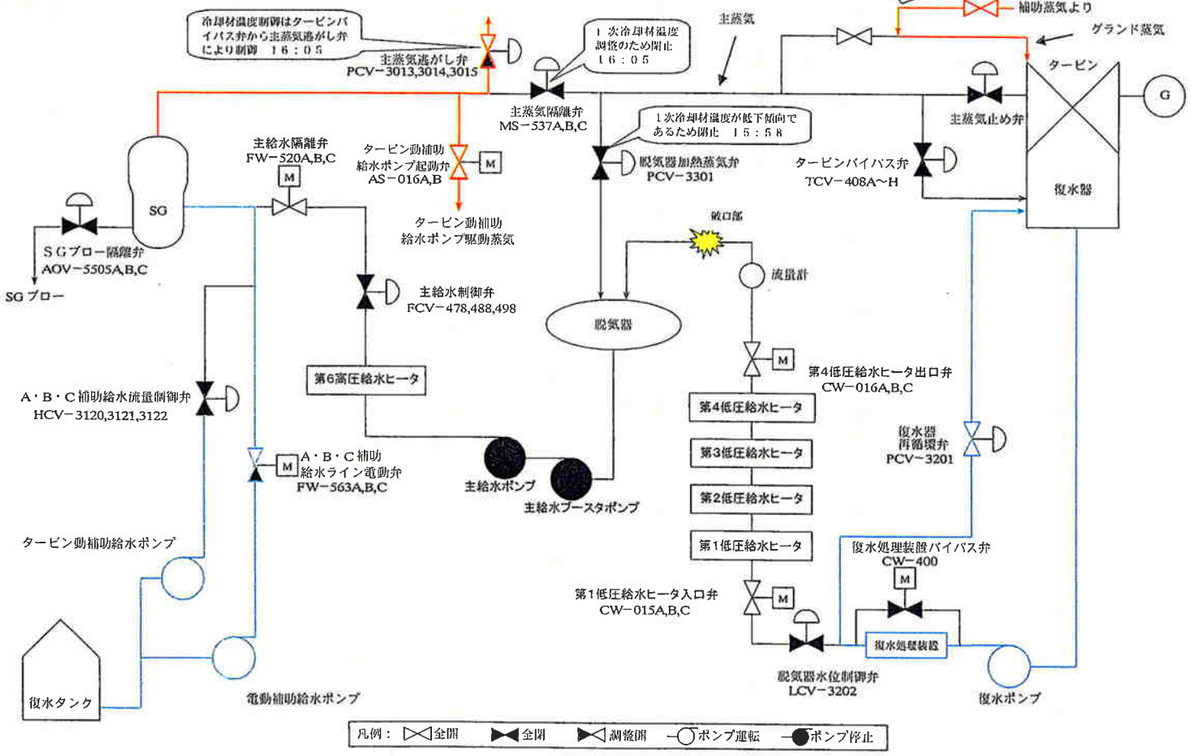


美浜３号機　２次系配管破損事故時のプラント系統状態

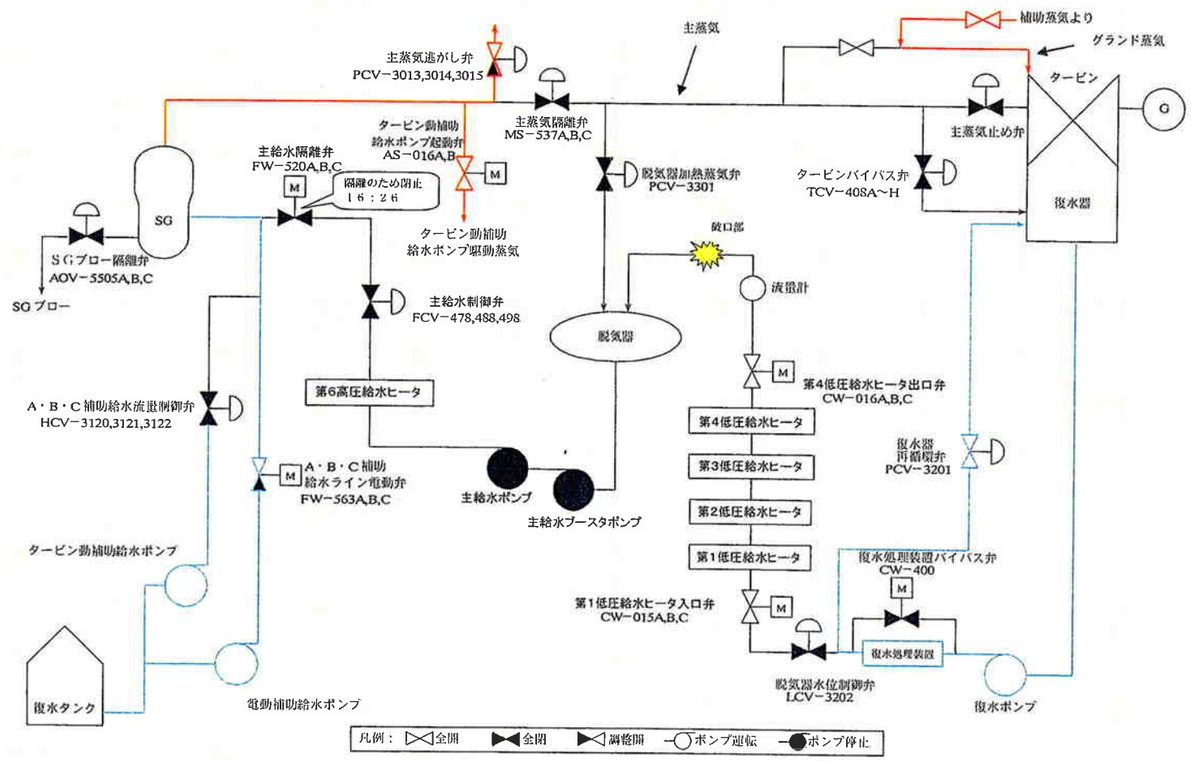
⑤ 15：44「脱気器水位制御弁閉止」



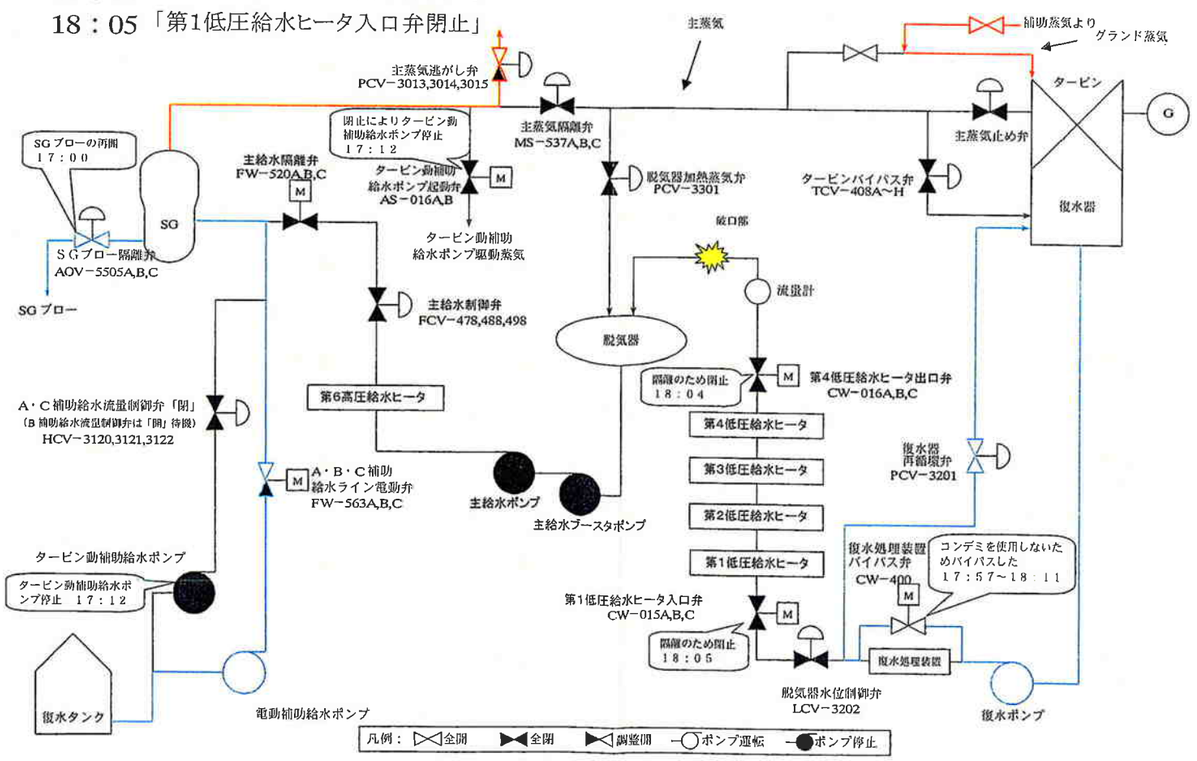
⑥ 16：05「主蒸気隔離」
(タービンバイパス弁→主蒸気逃がし弁切替)



⑦ 16：26「給水隔離弁閉止」



⑧ 17：12「タービン動補助給水ポンプ停止」
18：04「第4低圧給水ヒータ出口弁閉止」
18：05「第1低圧給水ヒータ入口弁閉止」



美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き （1／7）

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員（A、B、C）	日勤直員	教育直員	備考
8月9日	事故前	3号中央制御室	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	事務所別館 執務室	事務所別館 執務室	別　図
15:22	「火災報知器動作」警報発信	口頭 了解		火災受信盤で動作箇所を確認し報告 ・タービン建屋2階取水口側階段 ・FWP（主給水ポンプ）出口ヘッダ付近 他多数警報発信		口頭	補機員（A） 了解 火災報知器警報発信原因確認のため現場へ向かう			
		口頭 了解 現場確認を指示	火災受信盤の警報箇所が多数であることを確認し報告 口頭 了解	現場確認を指示						
15:22	「3B直流接地」警報発信	口頭 了解	「3B直流接地」警報発信を確認し報告 一斉ページング放送実施 ・「直流接地発生、作業関係者は中央へ連絡して下さい」 ・「タービン建屋火災発生」 タービン建屋3階へ確認に向かう							当直主任の「タービン建屋火災発生」一斉ページング放送については、火災受信盤の警報箇所印字プリンタの打出しが多いことから異常であると判断し、ページング放送した
15:23	「3A直流接地」警報発信	了解	口頭	「3A直流接地」警報発信を確認し報告		「脱気器水位および復水流量低下、脱気器水位調節器出力100％開」を確認し報告				主機員は、各パラメータから脱気器水位制御に異常が発生したと思った
		了解 脱気器の水位・圧力および復水流量監視を指示		口頭		了解 脱気器水位・圧力および復水流量を監視				

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き （2／7）

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員（A、B、C）	日勤直員	教育直員	備考
15:25				口頭			補機員（A） 中央制御室からタービン建屋3階面に出たところ、高圧タービン付近が白煙で充満しているのを確認 中央制御室へ戻り状況を報告 （タービン建屋脱気器側に行くのは危険と判断） 再確認したいと考え現場に向かう			
		了解 了解 口頭	タービン建屋3階蒸気充満を確認 中央に戻り報告							
		蒸気充満・直流接地・脱気器関連パラメータからプラント停止を判断			主機員の脱気器関連パラメータの監視状況から、脱気器水位制御弁の現場確認が必要と判断し指示	PHS	補機員（A） 了解 脱気器水位制御弁の現場確認に向かう			
		緊急負荷降下（5%／分）を指示	口頭	了解						当直課長は、蒸気が充満し、直流接地警報が発信していること、脱気器水位、復水流量のパラメータからプラント2次系（給水管または復水管のどちらか）での漏えいの疑いがあることから、プラントの停止を判断緊急性を考え、負荷降下率は最大レート（5%／分）
		発電室長に以下を報告 ・火災報知器動作 タービン建屋に蒸気充満 ・直流接地 ・脱気器関連パラメータ ・2次系での漏えいの疑いで緊急負荷降下				補助ボイラー起動を指示 口頭	補機員（B） 了解 補助ボイラー起動に向かう			
15:26	緊急負荷降下	了解 口頭	緊急負荷降下を開始し報告			脱気器関連パラメータを適宜報告	補機員（A） 脱気器水位制御弁の確認をしようとしたが、蒸気が迫ってきたので、制御弁の確認はできなかった タービン建屋3階の白煙は蒸気であることを確認し報告			運営係員は事務所執務室
		了解 口頭				PHS				
				了解	補機員（A）の報告内容を報告			ページング放送を聞いて、日勤直7名は中央制御室へ応援に向かった 別　図	ページング放送を聞いて、教育直3名は中央制御室へ応援に向かった 別　図	運営係員9名は中央制御室へ応援に向かった 別　図
		了解 パラメータ変化（復水流量変化および脱気器水位が低下）によりプラント自動停止に備えるよう中央全員に指示			補助ボイラー起動を指示		補機員（A） 了解 補助ボイラー起動に向かう			
		口頭	了解	了解	了解	PHS 了解				

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き （3／7）

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員（A、B、C）	日勤直員	教育直員	備考
15:27	タービン建屋内の負傷者発見						補機員（A） 補助ボイラー起動のためタービン建屋3階から2階へ降りたところエレベータ前で協力会社作業員１名が倒れているのを発見した 救急車手配を依頼 補助ボイラー室に向かう			
					PHS 了解 補機員（A）の報告内容を報告					
		了解	口頭							
15:28	A・B主給水ポンプ自動停止（主給水ポンプ全台停止）					給水ポンプの全台停止確認 A・Bー電動補助給水ポンプの自動起動確認				
15:28	原子炉自動停止				Aー SG給水＜蒸気流量不一致で原子炉が自動停止したことを報告					
15:28	事故対策本部開設						補機員（A）（B） 補助ボイラーの起動およびスチームコンバータの停止操作を実施			
		了解 原子炉自動停止によるプラント自動停止の確認を中央全員に指示	口頭							
			了解	了解 発電機自動停止状態確認 ・主変しゃ断器開	了解 原子炉自動停止状態確認 ・原子炉トリップしゃ断器開 ・全制御棒挿入 ・炉外核計装出力低下	了解 タービン自動停止状態確認 ・タービン各弁閉止				日勤直員、教育直員および運営係員は、プラント自動停止の一斉放送を聞き操作応援のため3号中央制御室へ急行するが、途中負傷者の救援活動が必要と判断し、当直操作応援と二手にわかれた
		発電室長にプラント自動停止を報告するとともに救急車の手配を依頼 （発電室長は救急車手配を所長室長へ連絡）	プラント自動停止状況を確認							
				発電機自動停止状態異常なしを報告	原子炉自動停止状態異常なしを報告	タービン自動停止状態異常なしを報告		日勤直当直主任および日勤直員4名は現場負傷者の救援を実施	教育直員2名は現場負傷者の救援を実施	運営係員4名は現場負傷者の救援を実施
			プラント自動停止状況異常なしを報告							
		了解 発電室長にプラント自動停止状態に異常のないことを報告	口頭			タービン動補助給水ポンプ自動起動確認 給水制御弁の全閉確認		日勤直当直班長および日勤直員1名は中央制御室にて当直操作応援実施	教育直当直主任は中央制御室にて当直操作応援実施	運営係員5名は中央制御室にて当直操作応援実施
15:32	タービン動補助給水ライン流量制御弁閉止				タービン動補助給水ライン流量制御弁（HCV－3120，3121，3122）を閉止					

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き （4／7）

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員（A、B、C）	日勤直員	教育直員	備考
15:35	原子炉高温停止状態確立	了解 発電室長に原子炉高温停止状態確立を報告	口頭		原子炉の高温停止状態確立を確認し報告					
15:44	脱気器水位制御弁閉止	了解 脱気器水位制御弁の閉止を指示 了解	口頭	口頭 口頭		主給水ポンプ全台停止後も脱気器水位が低下および復水流量の変動が激しいことから脱気器水位制御弁の閉止を具申 了解 脱気器水位制御弁を閉止し報告				当直課長は、脱気器水位低下、復水流量の激しい変動から、復水系統水が沸騰しているのではないかと思った
15:45	脱気器水位ほぼ0%	了解		口頭		脱気器水位がほぼ0%であることを確認し報告				
15:53	タービン建屋2階、3階に充満している蒸気量が減少	了解 発電室長にタービン建屋内の状況を報告		口頭				（日勤直当直主任） タービン建屋2階、3階の蒸気量が減少していることを確認し報告		当直課長は、2次系での漏えいが減少していることを認識した
15:58	脱気器加熱蒸気弁閉止	了解 脱気器加熱蒸気弁の閉止を指示 了解	口頭	口頭 口頭		1次冷却材温度の低下傾向が続くため、脱気器加熱蒸気弁の閉止を具申 了解 脱気器加熱蒸気弁を閉止し報告				

美浜３号機２次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き　（５／７）

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員（A、B、C）	日勤直員	教育直員	備考
15:58	1次冷却材ほう素濃縮開始	原子炉運転モード5（1次冷却材温度93℃以下の低温停止）のほう素濃度990ppm以上を目標に、1次冷却材ほう素濃縮開始を指示		口頭	了解 1次冷却材ほう素濃縮を開始し報告					
		了解		口頭						
16:00	1直→2直への直引継ぎ開始									
16:05	主蒸気隔離	了解 脱気器加熱蒸気弁を閉止しても1次冷却材温度が回復しないため、主蒸気隔離を指示 （1直当直課長が指示）		口頭				（日勤直当直班長） 1次冷却材温度上昇が見られないことを報告		
		了解 1次冷却材温度調整をタービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替えるよう指示		口頭	了解 タービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替えて報告			（日勤直当直班長） 了解 主蒸気隔離を実施し報告		
16:10 16:15	1直→2直への直引継ぎ終了 非常災害対策本部設置	1直→2直への直引継ぎ終了 当直員は交代するが、体制は変更なし								
16:20	タービングランド蒸気切替	タービングランド蒸気の切替の確認を指示		口頭	了解 タービングランド蒸気を主蒸気から補助蒸気に切替えを行い報告					
		了解		口頭						

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き （6／7）

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員（A、B、C）	日勤直員	教育直員	備考
16:26	主給水隔離弁閉止	主給水ラインのバウンダリ強化のため、主給水隔離弁閉止を指示	口頭	了解 主給水隔離弁を閉止し報告						
		了解	口頭							
16:41	タービンターニング開始	了解	口頭		タービンの自動ターニング開始を確認し報告					
16:55	SG水位回復			SG水位が通常水位に回復したことを報告						
		了解	口頭							
17:12～ 17:13	タービン動補助給水ポンプ停止	タービン動補助給水ポンプの停止を指示	口頭	了解 タービン動補助給水ポンプ停止 タービン動補助給水ポンプを自動待機状態にすべく補助給水流量制御弁を「開」操作するも3台のうち2台（A、C）が開放できないことを確認し報告						
		了解 補助給水流量制御弁3台のうち2台（A、C）が「開」不能を発電室長に報告	口頭							
17:30	破口箇所確認							（日勤直当直主任） タービン建屋2階の第4低圧給水ヒータ出口配管が破口していることを確認し報告		
		了解 タービン建屋2階の第4低圧給水ヒータ出口配管が破口していることを発電室長へ報告	口頭							

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き （7／7）

日時	内容	当直課長	当直主任	当直班長	制御員	主機員	補機員（A、B、C）	日勤直員	教育直員	備考
18:04～ 18:05	低圧給水ヒータ入口、出口弁閉止	了解 第1低圧給水ヒータ入口弁、第4低圧給水ヒータ出口弁の閉止を指示 了解		口頭 口頭		口頭		（日勤直員（A）） バウンダリ強化のため、第1低圧給水ヒータ入口弁、第4低圧給水ヒータ出口弁の閉止を具申 （日勤直員（A）） 了解 補機員（A）とともに、第1低圧給水ヒータ入口弁、第4低圧給水ヒータ出口弁を閉止し報告		

添付資料３－４

美浜3号機2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る当日の体制

別　図

当　直

（３号中央制御室）

- 当直課長
- 当直主任
- 当直班長
- 制御員
- 主機員
- 補機員（C）
- 補機員（A）
- 補機員（B）

8 名

当直の１直→2 直引継　16:00～16:10

日勤直

（事務所別館執務室）

事務所別館は３号タービン建屋から約５０ｍ離れた所にある

- 当直課長
- 当直主任
- 当直班長
- 制御員
- 制御員
- 制御員
- 主機員
- 補機員

7 名

（主に定期点検業務を実施）

教育直

（事務所別館執務室）

事務所別館は３号タービン建屋から約５０ｍ離れた所にある

- 当直課長
- 当直主任
- 当直班長
- 制御員
- 制御員
- 主機員
- 主機員
- 主機員

3 名

（主に教育を実施）

運営係

（事務所執務室）

事務所は３号タービン建屋から約３００m離れた所にある

運営係員９名

（総員２１名）

日勤直・教育直については ▭ 当日の出勤

美浜３号機　通常停止操作と今回停止操作の相違

【１次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
プラント高温停止状態安定確認後、１次冷却材ほう素濃縮を開始する	８／９ １５：３５ １５：５８	プラント高温停止状態安定確認 （ＲＣＳ圧力、１次冷却材高温・低温側温度、主蒸気圧力、ＳＧ水位） １次冷却材ほう素濃縮開始	通常の運転操作である
ＲＣＳ脱ガス運転	１６：００	ＲＣＳ脱ガス開始	通常の運転操作である
ＳＧ水位の調整 （ＳＧ水張りポンプによる補給）	１６：５５	ＳＧ水位　各約３３％：無負荷通常水位（電動／タービン動補助給水ポンプによる補給）	脱気器使用不能のため、補助給水ポンプを使用してＳＧ水位調整を行った
原子炉停止後の点検	１９：２０	原子炉停止後の点検(格納容器内を除く１次系)	通常の運転操作である

【２次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
脱気器を水源としてＳＧ水張りポンプによるＳＧ給水の継続	１５：４４ １５：４５ １５：４９	脱気器水位制御弁閉止 脱気器の水位低下が継続していることを確認 Ａ・Ｂ－復水器真空ポンプ自動起動	脱気器水位低下、復水流量の激しい変動から、復水系統がフラッシュしているのではないかと懸念し閉止した 破口からの流出による脱気器補給量低下による復水器真空調整実施中に自動動作した （通常の運転動作）
タービンバイパス弁による１次系冷却	１６：０５	主蒸気隔離 タービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替	ＲＣＳ温度低下抑制操作として実施した
タービングランド蒸気供給源の切替	１６：２０	タービングランド蒸気を主蒸気から補助蒸気に切替	通常の運転操作である
ＳＧ水位の調整 （ＳＧ水張りポンプによる補給）	１６：２６	主給水隔離弁閉止	主給水ラインのバウンダリ強化（補助給水系・ＳＧからの漏えい箇所への逆流防止）
タービン回転数低下後のターニング	１６：４１	タービンターニング開始	通常の運転操作である
－	１７：００	Ａ・Ｂ・Ｃ－ＳＧブロー再開	停止時の水質調整操作として実施した
脱気器を水源としてＳＧ水張りポンプによるＳＧ給水の継続	１７：１２	タービン動補助給水ポンプ停止	不要となったため、停止した
－	１７：４５ １７：５４	Ａ－復水器真空ポンプ停止 Ｂ－復水器真空ポンプ停止	復水器真空回復に伴い停止した 復水器真空回復に伴い停止した
停止時の水質調整操作 ・復水処理装置通水流量の調整 ・補給、ブロー流量の調整	１７：５７ ～ １８：１１	復水処理装置バイパス操作	復水処理装置使用不要のため、バイパス操作を実施した
	１８：０４	第４低圧給水ヒータ出口弁（ＣＷ－０１６Ａ・Ｂ・Ｃ）閉止	破口部の隔離操作として実施した
	１８：０５	第１低圧給水ヒータ入口弁（ＣＷ－０１５Ａ・Ｂ・Ｃ）閉止	破口部の隔離操作として実施した

【１次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
１次冷却材ほう素濃縮結果を分析結果で確認の上、原子炉運転モード５（低温停止）ほう素濃度以上であることを確認	２１：１５	サンプリング結果　ほう素濃度　１，３３６ｐｐｍ	
	２１：３０	サンプリング結果　加圧器ほう素濃度　１，１１４ｐｐｍ	通常の運転操作である
	２１：３５	原子炉運転モード５（低温停止）ほう素濃度　９９０ｐｐｍ以上（技術課通知文書により確認）	
ＲＣＳ冷却操作	２２：５６	原子炉リセット	ＲＣＳ冷却に伴う制御棒引き抜き操作のため実施した（原子炉自動停止したことに伴う自動停止信号のリセット）
	２３：００ ～ ２３：０９	停止用および制御用制御棒を引抜き 停止用：０→２２８ステップ 制御用：０→５ステップ	ＲＣＳ冷却のため、制御棒引き抜き操作を実施
	２３：３０	ＲＣＳ冷却開始 Ｂ－ＲＣＰ停止	通常の運転操作である
	２３：５３	主蒸気ライン安全注入動作阻止	通常の運転操作である
	８／１０ ００：２３	加圧器安全注入動作阻止	通常の運転操作である
	００：２５ ～ ００：５６	ほう酸タンク使用切替　Ｂ→Ａ	通常の運転操作である
格納容器パージ（以下「Ｃ／Ｖパージ」という）開始	０１：０４	Ｃ／Ｖパージ開始	
	０１：３４	Ａ－Ｃ／Ｖ送・排気ファン起動	通常の運転操作である
	０１：４２	Ｂ－Ｃ／Ｖ送・排気ファン起動	

【２次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
原子炉停止後の点検	０１：３０	原子炉停止後の点検（２次系）	通常の運転操作である

【１次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
ＲＣＳ冷却操作	０３：１７	Ａ・Ｂ・Ｃ－アキュムレータ出口電動弁閉止	通常の運転操作である
	０４：０１	抽出水オリフィス切替　Ａ・Ｂ→Ａ・Ｂ・Ｃ	
	０４：０７	Ｂ－１次冷却水ポンプ追加起動 ＲＣＳボレーション終了	
	０４：３０	サンプリング結果　ＲＣＳループほう素濃度 ２６６５ｐｐｍ	
Ｃ／Ｖパージ完了	０４：４２	Ｃ／Ｖパージ完了	通常の運転操作である
１次冷却材ほう素濃縮分析	０４：５５	サンプリング結果　加圧器ほう素濃度 ２，５６６ｐｐｍ	通常の運転操作である
	０５：５５	原子炉運転モード　３→４（ＲＣＳ温度１７７℃未満） 保安規定第６６条（補助給水系）のタービン動補助給水ポンプに関する運転上の制限は適用モード外に移行	
ＲＣＳ冷却操作	０６：３２	タービン動補助給水ポンプ待機除外	通常の運転操作である
	０６：３６	Ｂ・Ｃ－充てん／高圧注入ポンプ　自動→待機除外（ＣＳプルアウト）	
原子炉停止後の点検	０９：５０	原子炉停止後の点検(格納容器内)	通常の運転操作である
ＲＣＳ冷却操作	１１：０２	Ｂ－余熱除去系統（以下「ＲＨＲＳ」という）ウォーミング開始	通常の運転操作である
	１２：４０	Ｂ－ＲＨＲＳ使用開始	
	１３：００	加圧器満水操作開始	
	１３：１１	Ａ－ＲＨＲＳウォーミング開始	

【２次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
―	１２：４１	Ｂ－電動補助給水ポンプ停止	ＲＨＲＳ使用開始によるＲＣＳ冷却手段が確保できたため停止した

【１次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点
ＲＣＳ冷却操作	１４：１５	Ａ－ＲＨＲＳ使用開始	通常の運転操作である
	１４：５５	加圧器満水	
	１６：３４	１次冷却材温度１４０℃到達	
	１６：３４～１６：３５	低温時過加圧防止設備ＲＣＳ温度低ＰＣＶ－４４５、４４４Ａモード選択スイッチ「通常」→「低圧」	
	１８：０８	原子炉トリップしゃ断器開放	
	１８：１５	Ｃ－１次系冷却材ポンプ（以下「ＲＣＰ」という）停止（Ａ－ＲＣＰのみ運転継続）	
	１９：０５	原子炉運転モード　４（１次冷却材温度１７７℃未満）→５（１次冷却材温度９３℃以下）	
	１９：２７～１９：３０	安全注入、内部スプレ信号ブロック	
	２０：００～２０：１０	内部スプレポンプ待機除外	
	２３：００～２３：４５	１次冷却材温度　６０℃到達（ＲＣＳ冷却完了）	

【２次系操作】

通常操作	時刻	今回操作	留意点

美浜３号機　２次系配管破損事故時の運転操作について

１．目的

今回の事故時における運転操作の妥当性について検討を行うとともに、今後の運転操作に反映すべき事項について検討する。

２．運転操作について

(１)今回の運転操作について(詳細は、添付資料３－２参照)

① 緊急負荷降下の判断

発電室業務マニュアル『事故時対応業務』に基づき今回は、蒸気が充満し、直流接地警報が発信していること、脱気器水位の低下、復水流量変動のパラメータからプラント２次系（給水管または復水管のどちらか）での漏えいの疑いがあることからプラントの停止を判断（15:25）し、緊急性を考え、負荷降下率は最大レート（５％／分）を実施した。(15:26)

② 原子炉トリップ後の対応

緊急負荷降下開始直後、原子炉が自動トリップ（15:28）したことにより事故時マニュアル『原子炉トリップ』の確認項目について以下のとおり対応した。

ａ．原子炉トリップしゃ断器開、全制御棒挿入、炉外核計装出力低下により原子炉トリップ確認(15:28)

ｂ．タービン各弁閉止により、タービントリップ確認(15:28)

ｃ．主変しゃ断器開により発電機トリップ確認(15:28)

ｄ．タービン動補助給水ポンプの自動起動を確認することで蒸気発生器への給水状態を確認(15:28)

ｅ．以下のパラメータにより原子炉高温停止状態確立・保持確認(15:35)

・ＲＣＳ圧力：１４MPa（回復中）
・ＲＣＳ温度：２８６℃
・加圧器水位：２２％
・主蒸気圧力：６．８MPa
・Ｓ　Ｇ　水　位：狭域Ａ・Ｂ・Ｃ共０％以下
　　広域Ａ４８％　Ｂ・Ｃ５３％

ｆ．原子炉停止後の点検(１次系　19:20、２次系　8/10　01:30)

③ 脱気器水位制御弁の閉止

プラント停止状態の確認後、脱気器水位低下、復水流量の激しい変動から、復水系統水が沸騰しているのではないかと懸念し脱気器水位制御弁を閉止した。(15:44)

④ 原子炉高温停止～低温停止移行操作

通常時運転マニュアル　『原子炉停止』に基づき原子炉高温停止～原子炉低温停止の操作を実施した。(23:30~8月10日　23:45)

(2)まとめ

今回の事故時における原子炉停止操作については、運転マニュアルに基づき実施したことを確認した。

しかしながら、従来の運転マニュアルは１次系への影響の観点から整備しているが、今回のような脱気器水位制御弁の閉止操作等の２次系配管破損事故時に流出量を低減する具体的な対応操作を記載した運転マニュアルがないことから、事故に備えた運転マニュアルの充実等について以下に検討する。

３．運転マニュアルの充実等について

(1)検討内容

今回の事故時においては、１５：４４に脱気器水位制御弁を閉止しているが、流出量の低減に有効な手段は流出箇所を断定し、脱気器水位制御弁をいかに早く閉止するかである。

このため、脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について運転マニュアルの変更および設備対応をも考慮し、以下のとおりケーススタディを実施した。(詳細は、別紙－１参照)

これらの検討結果から原子炉トリップを早く実施し、さらにタービントリップ信号(原子炉手動トリップにより発信)による脱気器水位制御弁自動閉止(設備対応)により今回の事故時より最大で約５６０ｔの流出量の低減が可能であることがわかった。

ケーススタディの結果

ケース	結　　果
A (今回)	15:44：破口発生から 22 分後(脱気器水位制御弁を閉止したケース) ・ 流出量　約 885t
B	15:35：破口発生から 13 分後(高温停止状態確認後、直ちに脱気器水位制御弁を閉止したケース) ・ 流出量　約 685t ・ ケースＡの今回の対応に比べ流出量が約 200t 低減できる。
C	15:32：破口発生から 10 分後(原子炉トリップ後、タービン動補助給水ポンプ流量調整を実施した時点で脱気器水位制御弁を閉止したケース) ・ 流出量　約 605t ・ ケースＡの今回の対応に比べ流出量が約 280t 低減できる。
D	15:30：破口発生から 8 分後(15:26 に原子炉を手動トリップ、原子炉トリップ４分後に脱気器水位制御弁を閉止したケース) ・ 流出量　約 525t ・ ケースＡの今回の対応に比べ流出量が約 360t 低減できる。

ケース	結　　果
E	15:26:30：破口発生から４分 30 秒後(原子炉手動トリップに加えタービントリップ信号(原子炉手動トリップにより発信)により脱気器水位制御弁を自動閉止したケース) ・ 流出量　約 325t ・ ケースＡの今回の対応に比べ流出量が約 560t 低減できる。

(2)まとめ

今回の事故で得られた教訓を活かすべく、２次系配管破損事故時における運転マニュアルの充実等について以下の対策を実施する。

①２次系配管破損事故時の原子炉手動トリップの実施について

a. 以下の内容を発電室業務所則　『事故時対応業務』に記載する。

・ 当直課長は、２次系配管破損事故(ＣＶ外)においてプラントの運転が維持できないと判断した場合、速やかに原子炉を手動停止する。

②２次系配管破損事故時における２次冷却材(復･給水系)の流出量減少操作について

a. 以下の内容を事故時マニュアル『原子炉トリップ』に記載する。

・原子炉トリップに至った理由が２次系配管破損の場合は、流出量低減の観点から脱気器水位制御弁の閉止と事象に応じて復給水系ポンプを停止する。

b．より確実な対応のためタービントリップ信号により脱気器水位制御弁を自動的に閉止するよう設備対応を検討する。

・設備対応完了後は、事故時マニュアル『原子炉トリップ』の記載を以下のとおりとする。

『脱気器水位制御弁の閉止』を『脱気器水位制御弁の閉止確認』に変更する。

③２次系配管破損事故時対応シミュレータ訓練について

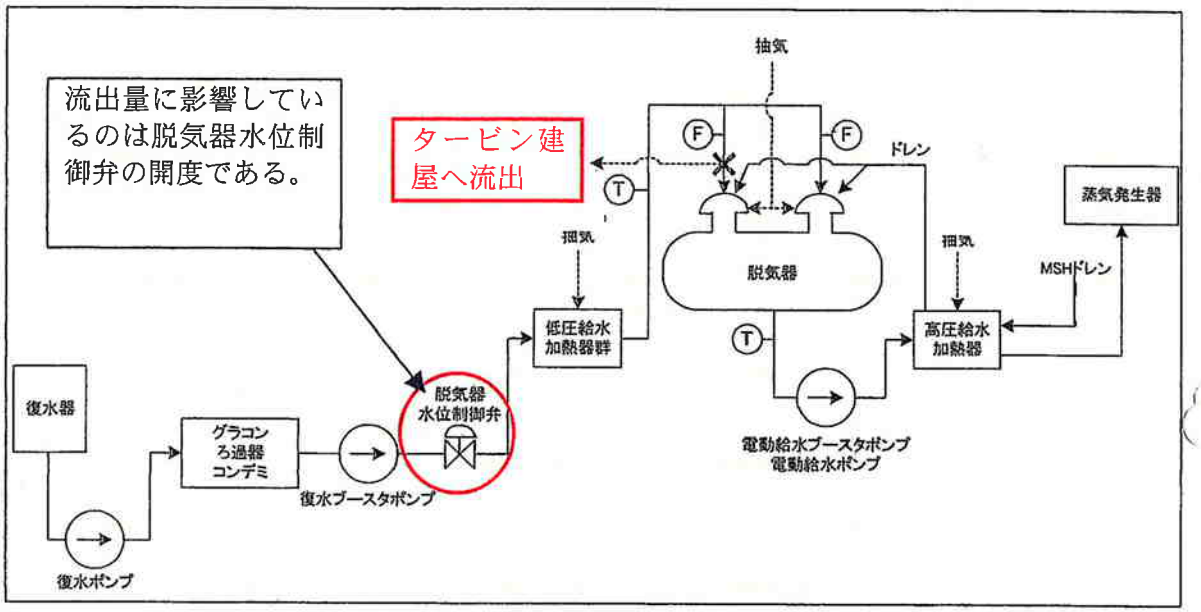
・改訂した運転マニュアルを用い、今回の事故を模擬した運転訓練シミュレータ訓練を実施し２次系配管破損事故の対応能力を高めることとする。
訓練実施頻度等：直員連携訓練により１回／年の頻度で継続的に実施する。

以　上

別紙－１

脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について

【概略系統図】



脱気器水位制御弁の閉止時期が流出量に与える影響について以下のとおり検討した。

ａ．検討条件等について

検討にあたっては、実機データ及び２次系のプラント挙動再現解析結果を用いた。

【再現解析の時系列】

・２次系配管破損の発生状況等

項　　目	内　　容
破損発生時刻	１５：２２
破損発生箇所	脱気器入口配管Ａ系統
破口面積	今回の事故実績より仮定：０．４３m^2
緊急負荷降下開始	１５：２６

【脱気器水位制御弁の閉止時期】

脱気器水位制御弁の閉止時期を以下の３ケースについて設定し流出量を評価した。

ケース	内　　容
A	15:44：破口発生から 22 分後 脱気器水位制御弁を閉止する今回の時系列どおりとした。
B	15:35：破口発生から 13 分後 高温停止状態確認後、直ちに脱気器水位制御弁を閉止したと仮定 『時期設定理由』 プラントトリップ後の一連の確認を行い、原子炉の安全停止状態が確認できた時点とした。

ケース	内　　容
C	15:32：破口発生から１０分後 原子炉トリップ後、タービン動補助給水ポンプ流量調整を実施した時点で脱気器水位制御弁を閉止した仮定 『時期設定理由』 原子炉トリップ後、一連のトリップ状態の確認段階においてタービン動補助給水ポンプ流量調整を実施していることから、この時点から運転操作が可能と判断しこの時期を設定した。

b．ケーススタディの結果

ケースＢ、Ｃについては、破口初期の高温水の流出量低減には寄与しないがその後の流出量の低減には効果があることがわかった。また、流出量が低減することにより、救出のアクセス等がしやすくなるものと判断する。

ケース	結　　果
A	15:44：破口発生から 22 分後に脱気器水位制御弁を閉止する今回の対応のケース ・トータルで約 885t の流出が発生する。
B	15:35：破口発生から 13 分後に脱気器水位制御弁を閉止するケース ・トータルで約 685t の流出が発生する。 ・ケースＡの今回の対応に比べ流出量が約 200t 低減できる。
C	15:32：破口発生から 10 分後に脱気器水位制御弁を閉止するケース ・温度約 140℃、約 400t の高温水と温度の低下(約 140→約 60℃)した約 205t の流出が発生する。(ﾄｰﾀﾙ約 605t) ・ケースＡの今回の対応に比べ流出量が約 280t 低減できる。

上記から流出量の低減に効果の高いケースＣをベースとして対策案を検討した。

c．原子炉トリップ時期のケーススタディについて

上記ケーススタディからわかるように原子炉トリップを早く実施することで流出量の低減、流出水温度の早期低下が可能となる。

以上から、今回の事故においてプラント停止を判断し、緊急負荷降下を開始した時点(15:26)に原子炉を手動トリップしたと仮定しケーススタディすると流出量は約 525t となりケースＡと比べ約 360t、ケースＣと比較しても約 80t の低減が可能となる。(詳細は、ケースＤ参照)

これらから、美浜３号機２次系配管破損事故を踏まえ、プラントの運転不能(大規模な蒸気確認、火災報知器動作、プラントパラメータ変化等)と当直課長が判断した場合は、原子炉を手動でトリップさせることとする。

本対策について発電室業務マニュアルに反映する。

また、流出量の低減のポイントとなる脱気器水位制御弁については、タービントリップにより自動閉止するよう設備対応を行い、操作が輻輳するプラントトリップ時の対応においても確実に閉止できるよう検討する。

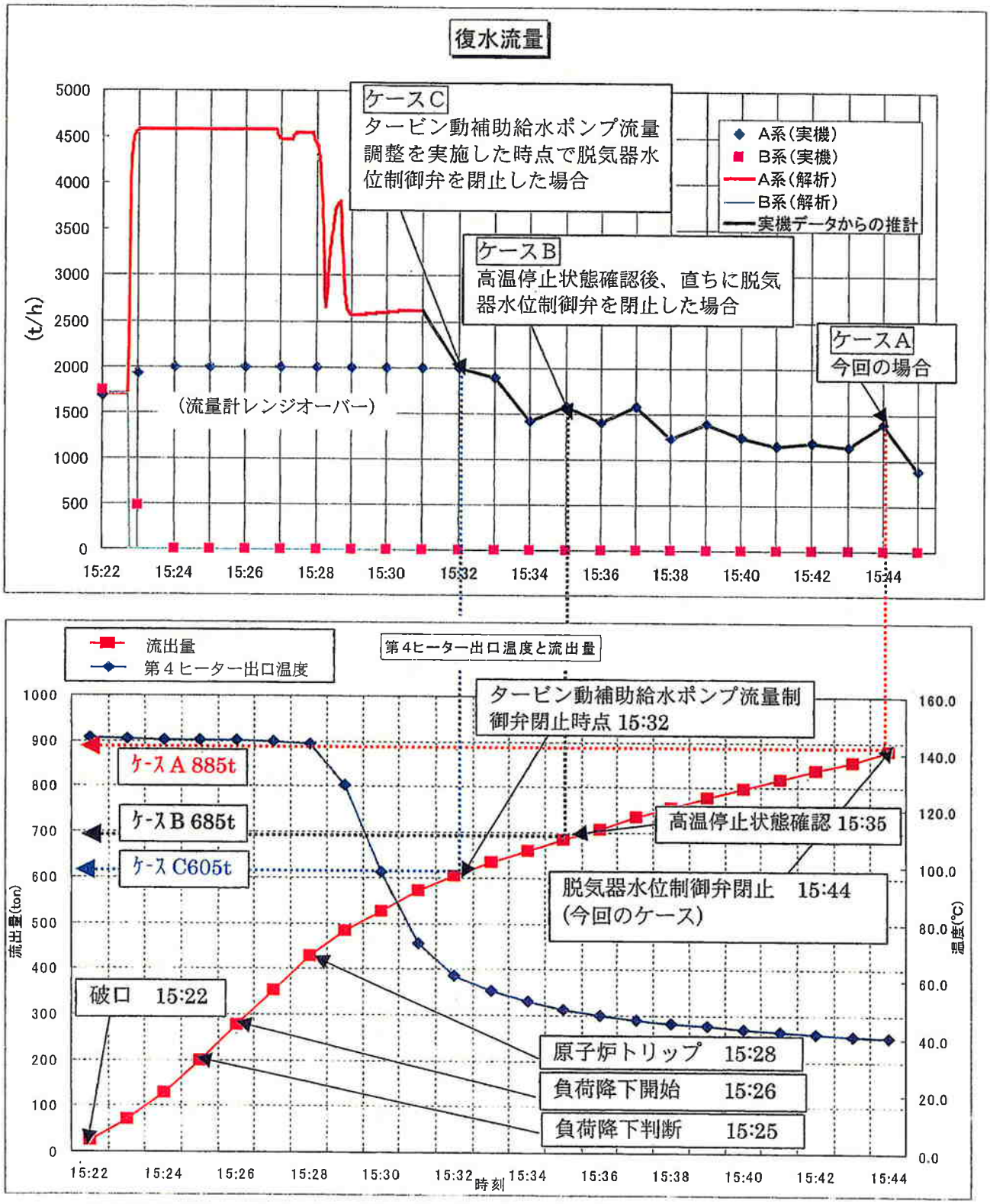
設備対応を行いタービントリップにより自動閉止したケースについてケーススタディした結果、ケースＤと本対策を実施することにより流出量は、ケースＡと比べ約 560t、ケースＣと比較しても約 280t の低減が可能である。(詳細は、

ケースＥ参照)
設備対応完了までの間については、運転操作で対応することとする。

ｄ．シミュレータ訓練の充実
今回の対策を確実なものとするため、改訂した運転マニュアルを用い、今回の事故を模擬した運転訓練シミュレータ訓練を実施し２次系配管破損事故の対応能力を高めることとする。
訓練実施頻度については、直員連携訓練により１回／年の頻度で継続的に実施することとする。

以　上

脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について

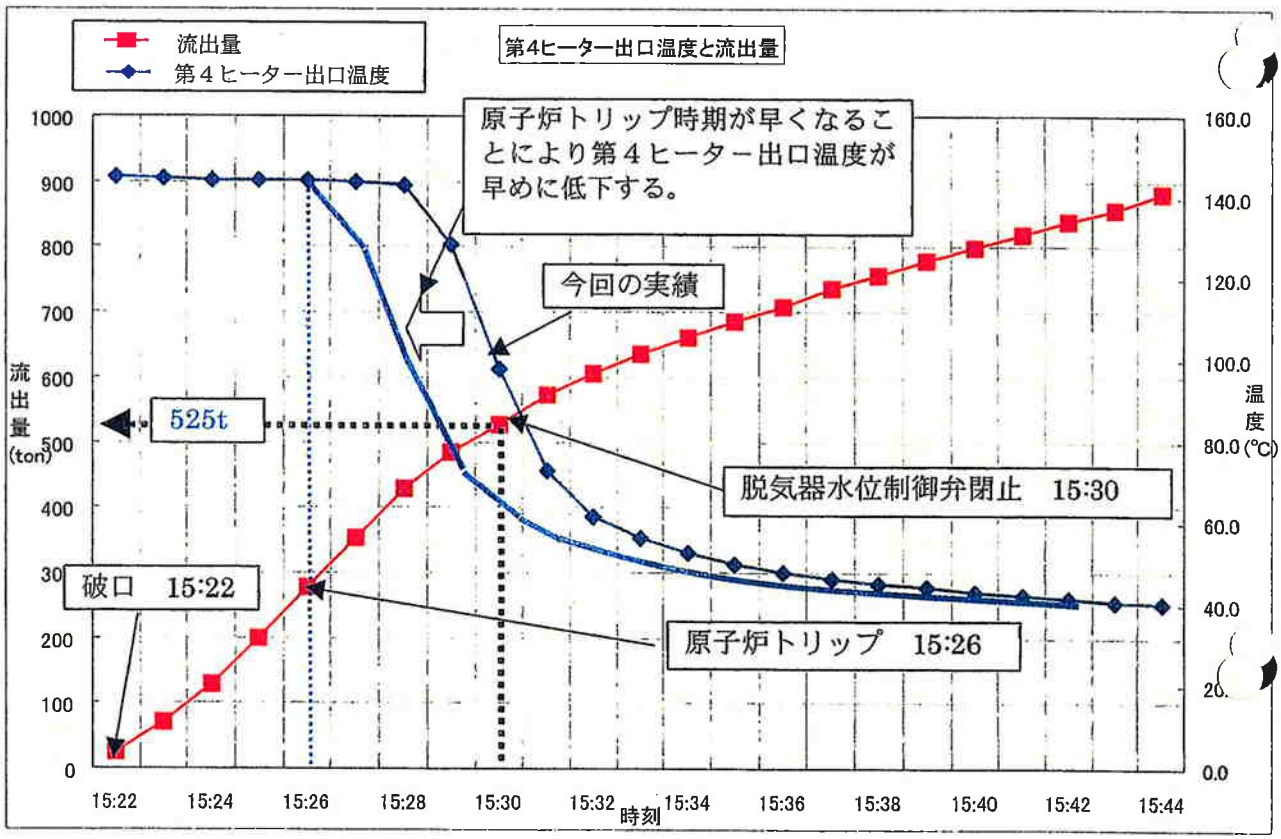


(注)流出量には、脱気器水位制御弁閉止後の破口部から流出する配管保有水等約 25t を含む。

【ケースD】

ケース	内　　容
D	15:30：破口発生から８分後 タービン建屋で蒸気充満を確認した時点でプラント停止を判断し、15:26 に原子炉を手動トリップ、原子炉トリップ４分後の時点で脱気器水位制御弁閉止を仮定 『時期設定理由』 原子炉トリップ後、一連のトリップ状態の確認段階においてタービン動補助給水ポンプ流量調整を実施していることから、この時点から運転操作が可能と判断しこの時期(原子炉トリップ４分後)を設定した。

脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について



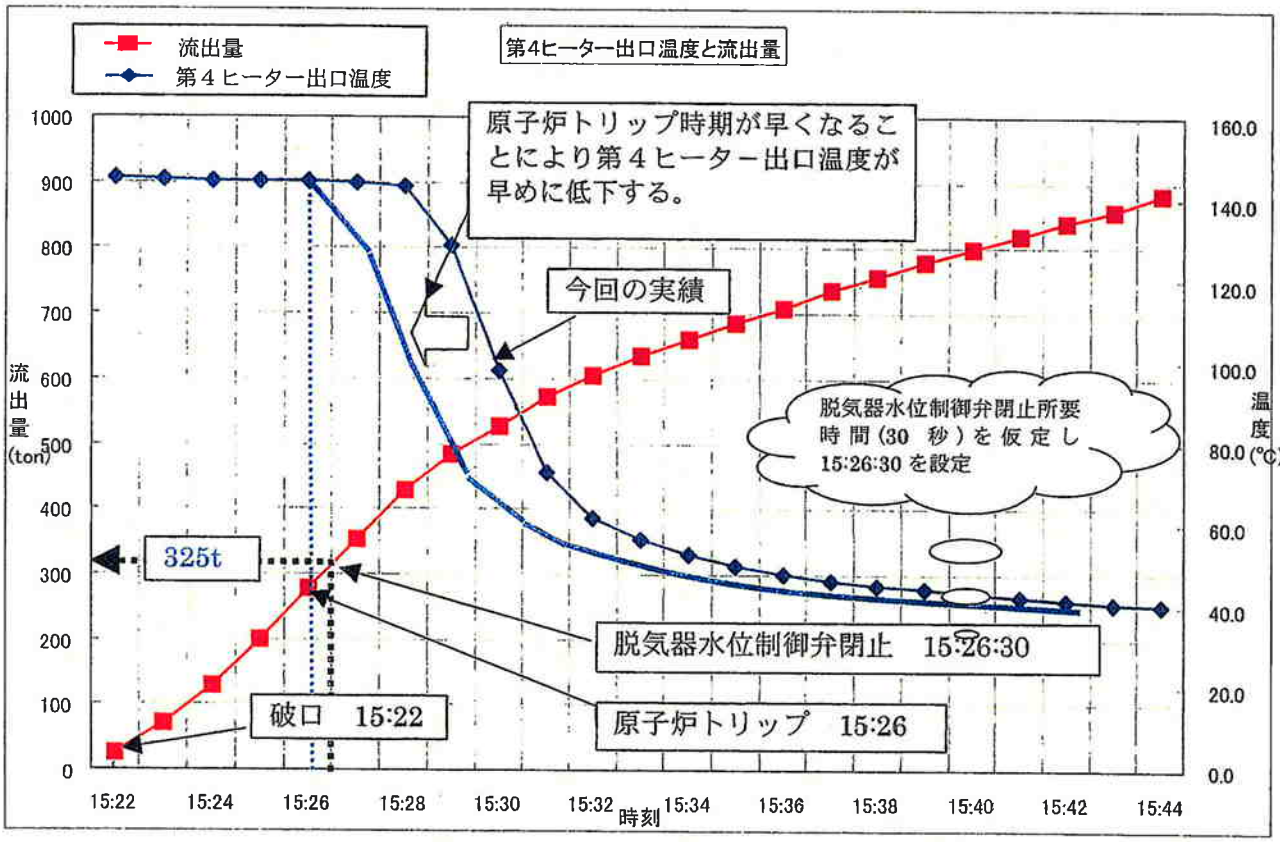
(注)流出量には、脱気器水位制御弁閉止後の破口部から流出する配管保有水等約 25t を含む。

ケース	結　　果
D	15:30：破口発生から８分後に脱気器水位制御弁を閉止するケース 前項のケースＡより約 360t の流出量の低減が可能となる。 また、ケースＣに比べ約 80t の低減が可能となる。

【ケースＥ】

ケース	内　　容
E	15:26:30：破口発生から４分 30 秒後 ・タービン建屋で蒸気充満を確認した時点でプラント停止を判断し、15:26 に原子炉を手動トリップするとともに、タービントリップ信号による脱気器水位制御弁自動閉止(設備対応)を仮定

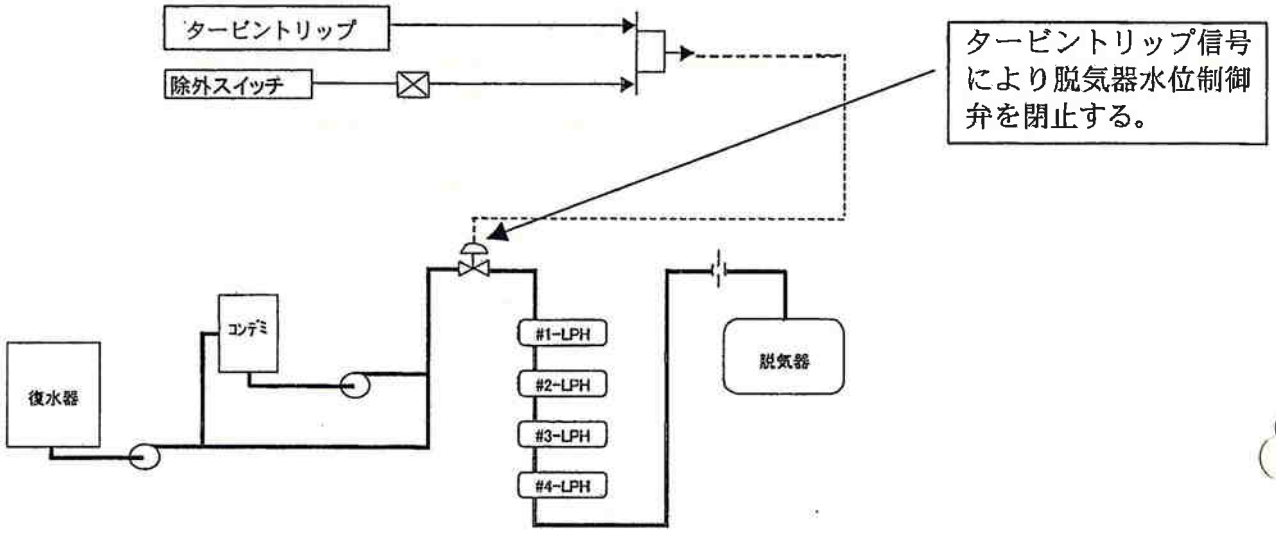
脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について



(注)流出量には、脱気器水位制御弁閉止後の破口部から流出する配管保有水等約 25t を含む。

ケース	結　　果
E	15:26:30：破口発生から４分 30 秒後に脱気器水位制御弁自動閉止するケース ・タービントリップ信号(原子炉手動トリップにより発信)により脱気器水位制御弁自動閉止(設備対応)することで前項のケースＡより約 560t の流出量の低減が可能となる。 また、ケースＣに比べ約 280t の低減が可能となる。

【設備改造の例】


タービントリップ
除外スイッチ
タービントリップ信号により脱気器水位制御弁を閉止する。
復水器
ｺﾝﾃﾞﾐ
#1-LPH
#2-LPH
#3-LPH
#4-LPH
脱気器

美浜３号機　２次系配管破損事故と「主給水管破断」事故との比較

「主給水管破断」と今回の事故のプラントパラメータを比較して表１に示す。

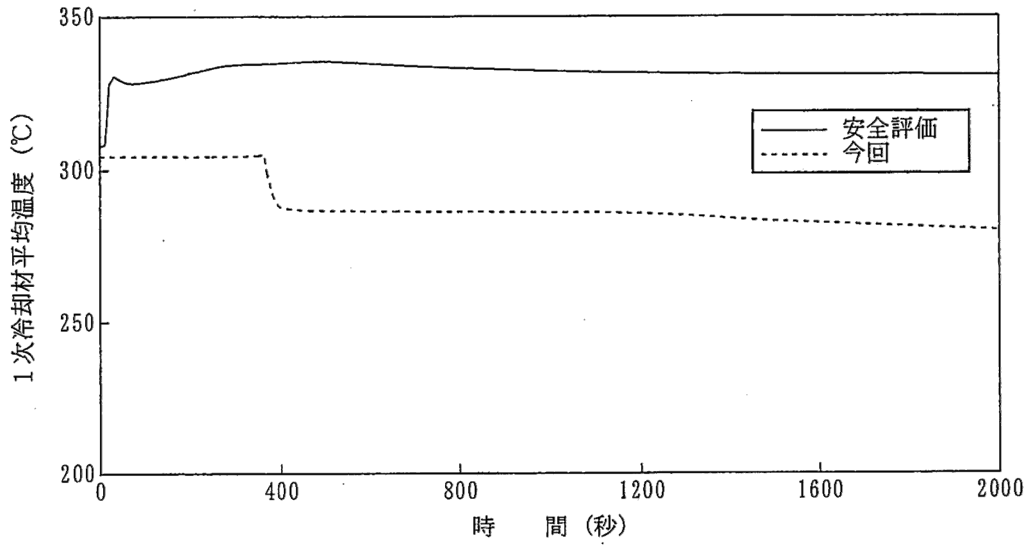
表１のとおり、「主給水管破断」では、破断口を通してのＳＧ内水の放出、外部電源喪失による RCP の停止等を仮定しており、今回の事故に比べて炉心の冷却性に対して厳しい評価を行っている。この場合でも最小 DNBR は約１．３５となり、許容限界値１．１７を十分に上回っており、燃料健全性に問題はない。

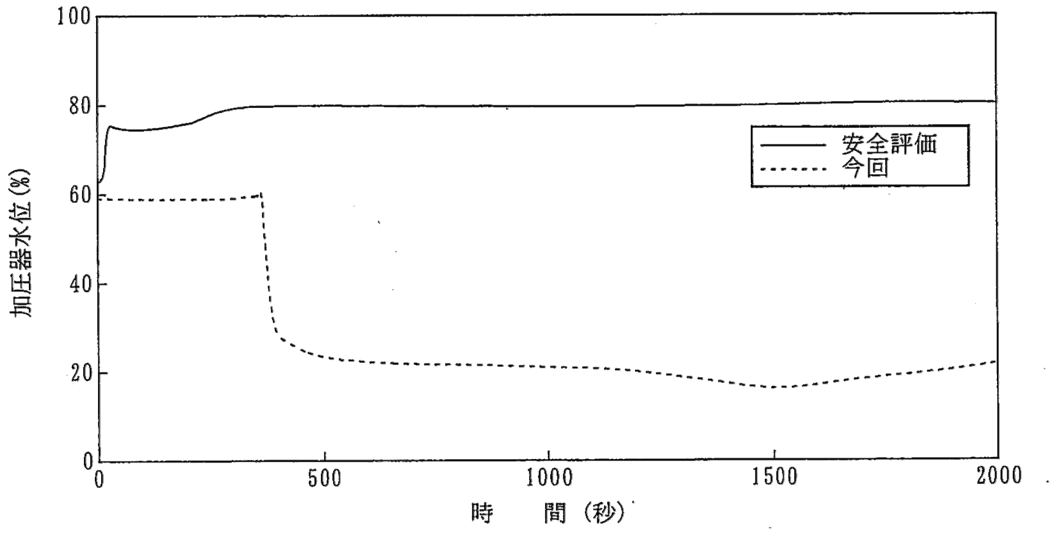
一方、今回の事故においては、ＳＧ器内水の放出はなく、RCP も停止しなかったことから、炉心の冷却状態は「主給水管破断」よりも悪化することはない。結果として今回の事故時の最小 DNBR は「主給水管破断」の結果を上回ることとなり、燃料健全性に問題はなかったといえる（図１参照）。

表１　安全解析（主給水管破断）と美浜３号機２次系配管破損の比較

項目		安全解析（主給水管破断）※	美浜３号機２次系配管破損	
事故条件	起因事象（図２参照）	主給水管両端破断（主給水逆止弁・隔離弁～蒸気発生器の間（隔離不可能箇所）の破断を想定しており、ＳＧ器内水の系外流出有り）	復水管破損（主給水逆止弁・隔離弁よりも上流の脱気器入口（隔離可能箇所）付近の破損であり、ＳＧ器内水の系外流出無し）	備考
	原子炉出力％	100	定格熱出力一定運転中（約100%）から、緊急負荷降下操作（(負荷降下率５％／分）中に出力約 94%で原子炉トリップ	事故発生時
	１次冷却材平均温度℃	305.7	約 304.4	事故発生時
	原子炉圧力 MPa[gage]	15.41	約 15.41	事故発生時
	外部電源	無（RCP 停止）	有（RCP 運転）	実績
	単一故障	タービン動補助給水ポンプ 1 台故障	故障無し（補助給水ポンプ全台起動）	実績
	補助給水開始	事故検知後 10 分から破損 SG 隔離操作開始、隔離操作完了後健全 SG へ給水	補助給水ポンプ起動後直ちに全ての SG へ給水	実績
原子炉トリップ信号		蒸気発生器水位異常低（狭域水位の０％）	Ａ ＳＧ水位低（狭域水位の２５％）＋Ａ ＳＧ給水＜蒸気流量不一致で警報発信	実績
解析結果	原子炉圧力 MPa[gage]（事故中最高）	約 17.7（原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力約 18.2）原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力 ≦最高使用圧力×1.2 倍（＝20.59）	約 15.6 トリップに伴い一時的に圧力が低下したが、それ以降、原子炉圧力はほぼ定格運転時圧力となり、以降、クールダウン開始まで大きく変動することはなかった	実績
	１次冷却材平均温度（事故中最高）	約 335℃	トリップ直後に定格運転時温度から約２０℃低下して以降、大きく上昇することはなく、定格運転時温度以下の状態で推移した	実績
	最小ＤＮＢＲ	約 1.35（≧1.17）	安全解析結果を上回る（上記の初期状態、事故進展からの推定）	

※：48,000MWd/t 燃料での安全解析結果





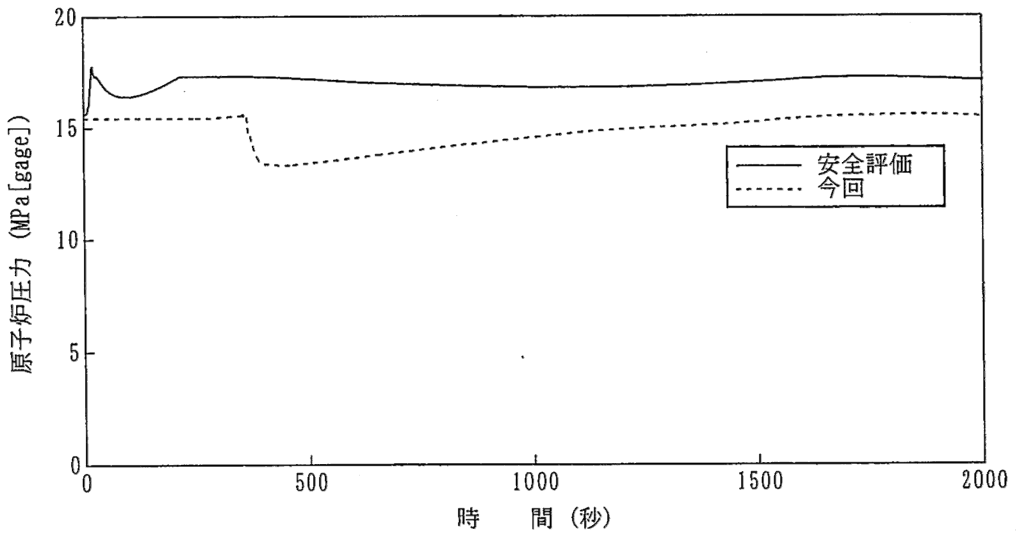


図１　２次系配管破損事故と「主給水管破断」事故とのプラントパラメータ推移の比較

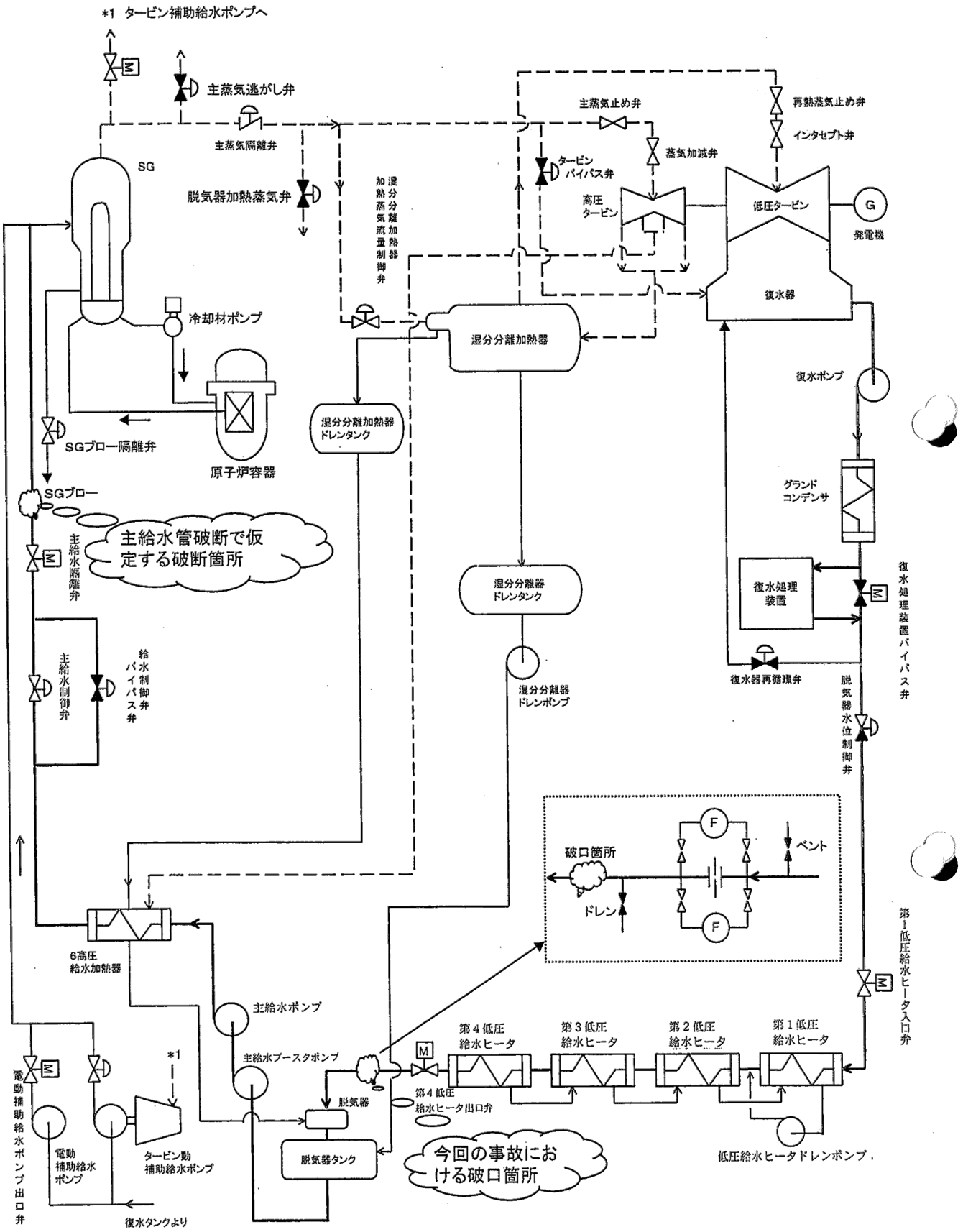


図2　美浜3号機概略系統

美浜３号機２次系配管破損事故の再現解析および炉心の健全性評価結果について

今回の事故の経過およびプラント挙動を踏まえ、事故の再現解析、炉心の健全性を評価した結果を以下に示す。

１．事故の再現解析および炉心健全性評価

（１） 解析の目的

今回の事故における１次系および２次系の圧力、温度等のプラント挙動の計測値を解析により再現する。解析は、①２次系のプラント挙動再現解析、②１次系のプラント挙動再現解析および③炉心健全性評価の解析を実施した。それぞれの解析目的を以下に示す。

①2 次系のプラント挙動再現解析

・主給水流量、復水器温度・圧力等の実機データを入力として今回の事故時の挙動を再現することにより、脱気器水位制御弁等の作動状況、各部における流量等を評価する。

・実機計測ではレンジオーバーにより計測できていない破口部からの流出流量を評価し、配管の受ける衝撃力の評価の入力条件に用いる。

②１次系のプラント挙動再現解析

・主給水流量、主蒸気流量等の実機データを入力として今回の事故時の挙動を再現することにより、中性子束、１次冷却材温度等の主要パラメータを評価する。

・炉心部の１次冷却材温度等の過渡変化を評価し、③の炉心健全性評価の入力条件に用いる。

③炉心健全性評価

事故直前の炉心データおよび②で得られたプラントパラメータを入力として、最小ＤＮＢＲを評価し、今回の事故期間中において燃料の健全性が保たれていたことを確認する。

（２） 解析に用いた計算コード

① ２次系のプラント挙動再現解析

国内ＰＷＲの運転訓練シミュレータで使用実績のあるシミュレーションコードを使用した。今回の評価では、復水器からＳＧまでの２次系部分をモデル化し、境界条件としては、復水器温度・圧力、発電機出力から決まるタービン抽気圧力・流量および主給水流量の実機データを用いた。

② １次系のプラント挙動再現解析

原子炉設置変更許可時の原子炉施設の安全評価のための解析で用いられているMARVEL コードを使用した。MARVEL コードでは、１次冷却系全体およびＳ

Ｇを含む主蒸気・主給水系までを対象としており、境界条件としては、主給水流量および主蒸気流量の実機データを用いた。

③　炉心健全性評価

最小 DNBR の解析には THINC-Ⅲコード（DNB 相関式は MIRC-1 相関式を適用）を、燃料の熱流束の解析には、FACTRAN コードを使用した。これらのコードおよび相関式は、原子炉設置変更許可時の原子炉施設の安全評価のための解析において用いられている。

（３）　解析条件

解析条件は、表-1.1-(1)～(2)のとおりである。

なお、１次系、２次系の再現解析ともに実機の主給水流量データを境界条件として用いており、１次系のプラント挙動再現解析と２次系のプラント挙動再現解析の間で、データの受け渡しは無い。

（４）　解析結果

①2 次系のプラント挙動再現解析

・解析結果と計測値の比較は図-1.1-(1)～(2)のとおりである。

破口部からの流出流量を示す復水流量は、復水流量の低下（実機プラントデータでは破損した A 系統は計測最大値の 2,000t/h、B 系統は 0t/h となり、トータルの復水流量は事故発生前の約 3,400t/h から約 2,000t/h に瞬時に低下している）に伴い脱気器水位制御弁*が全開になったことにより最大で約 4,600t/h となり、その後主給水ポンプ停止等による主給水流量の変化に伴い変動している。

脱気器水位は事象発生直後から水位が徐々に減少していっている。これは、破口発生により復水の供給が無くなるが、主給水ポンプが作動している間は脱気器から主給水ポンプに水を供給するためである。

＊：脱気器水位制御弁は脱気器水位、復水流量、主給水流量の３要素により制御される。脱気器水位が低下すると水位を回復させるために弁は開方向に動作し、主給水流量が復水流量より少なくなると流量をバランスさせるために弁は閉方向に動作する。

②１次系のプラント挙動再現解析

解析結果と計測値の比較は図-1.1-(3)～(7)のとおりである。

破口発生後、運転員操作による負荷降下が行われ、その後「Ａ　ＳＧ水位低（狭域水位の２５％）＋Ａ　ＳＧ給水＜蒸気流量不一致」原子炉トリップによる出力低下に伴い、ＮＩＳ出力、１次冷却材平均温度（Tavg）、加圧器水位、加圧器圧力が低下しているが、いずれのパラメータも解析結果と実機のプラント挙動とが

良く一致しており、解析により今回の事故挙動を再現することができた。
また、ＳＧ水位については、主給水ポンプトリップに伴う主給水流量の低下、およびその後の原子炉トリップによる２次系水中のボイド減少により低下している。

③炉心健全性評価

図-1.1-(8)に最小 DNBR の再現解析結果を示す。
事故発生前の最小 DNBR は、約 2.03 であった。事故発生後は、緊急負荷降下および原子炉トリップにより原子炉出力が低下したため、炉心の冷却状態が悪化することはなく、最小 DNBR は事故発生前の値を下回ることはなかった。
従って、今回の事故においては、最小 DNBR は、事故期間中を通して、許容限界値 1.17 を下回ることはなく、炉心の健全性が問題となることはなかった。

注：ＤＮＢＲは限界熱流束と実際の熱流束の比（ＤＮＢＲ＝限界熱流束／実際の熱流束）として定義されており、この値が大きいほど安全裕度は大きい。限界熱流束は、燃料被覆管から１次冷却材への熱伝達が低下し、燃料被覆管温度が急上昇し始める熱流束。

表-1.1-(1)　今回の事故の再現解析の条件

項　　目	解　析　条　件	解　析　条　件　設　定　の　根　拠
1．解析期間 　解析開始 　解析完了	 時刻　１５：２２：００ 時刻　１５：３１：００	 事象発生以前 ＳＧへの給水がほぼ停止する C-主給水ポンプトリップ時点まで
2．2次系配管破損の発生状況等 　破損発生時刻 　破損発生箇所 　破口面積	 時刻　１５：２２ 脱気器入口配管Ａ系統 0.43m^2	 今回の事故実績 今回の事故実績 今回の事故実績より仮定 （破損部の実測値に基づき面積を計算）
3．初期条件 　発電機出力 　復水流量 　原子炉出力 　１次冷却材平均温度 　ＳＧ水位	 827.2MW 3,425t/h 99.6% 304.4℃ 44%	 事故発生前のプラント状態 （プラント計算機出力データに基づく） 〃 〃 〃 〃
4．過渡条件 　主給水流量 　主蒸気流量 　発電機出力 　復水器真空度	 実機プラントデータ 〃 〃 〃	 事故発生中のプラント状態 （プラント計算機出力データに基づく） 〃 〃 〃
5．炉心データ 　減速材温度係数 　トリップ時の添加反応度価値 　核的エンタルピ上昇熱水路係数($F_{\Delta H}^N$) 　軸方向出力分布(F_Z)	 -52.3pcm/℃ 8.4%Δk/k 1.474 1.149	 実炉心測定データに基づく事故発生時の燃焼度 14,123MWd/t 時点での解析値

表-1.1-(2)　今回の事故進展と再現解析のクロノロジ比較

項　　目	今回の事故	再現解析	備考
緊急負荷降下開始 （５％／分）	１５：２６：５０	１５：２６：５０（入力値）	今回の事故実績より設定 （プラント計算機出力データに基づく）
主給水ポンプトリップ	１５：２８：０６	１５：２８：０６（入力値）	今回の事故実績より設定 （プラント計算機出力データに基づく）
補助給水ポンプ起動	１５：２８：０６	１５：２８：０６（入力値）	今回の事故実績より設定 （プラント計算機出力データに基づく）
原子炉トリップ	１５：２８：１３	１５：２８：１３（評価値）	事故実績と再現解析による原子炉トリップ時間は一致した

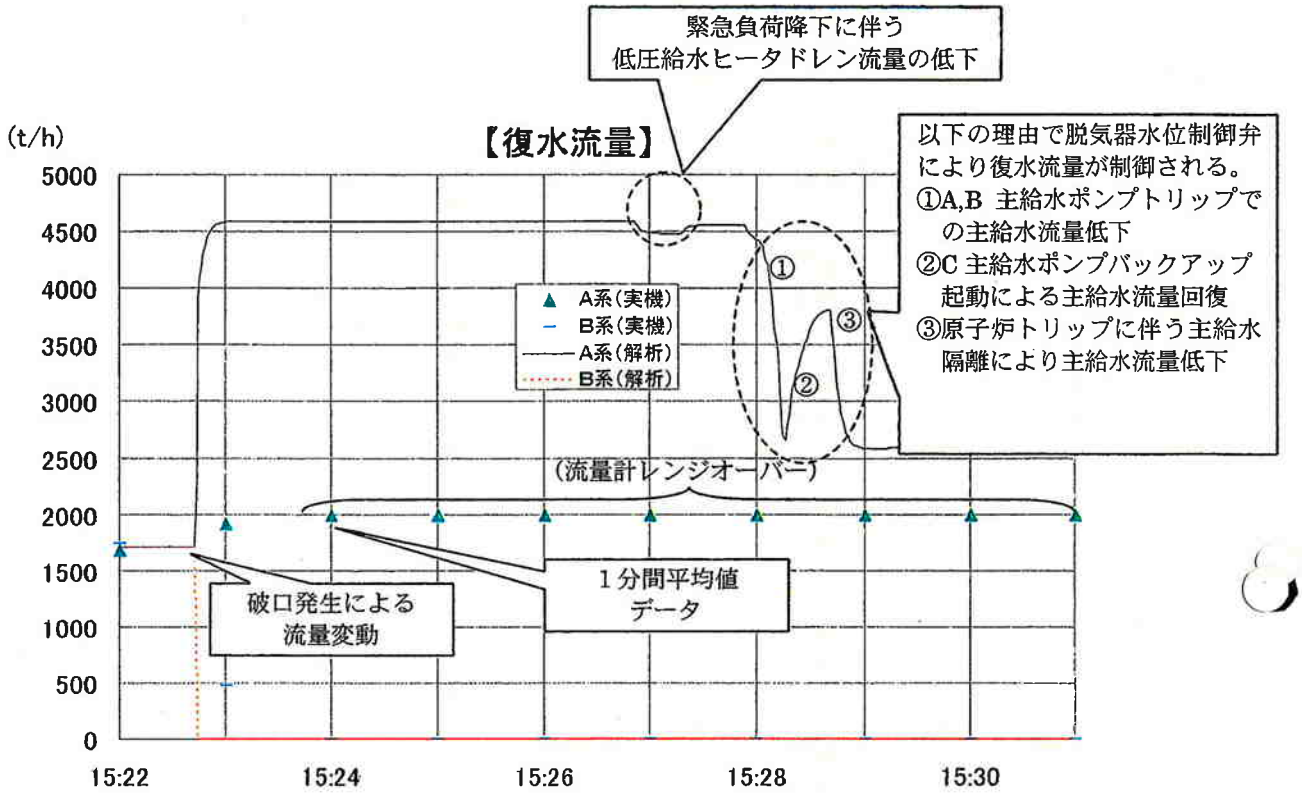


図-1.1-(1)　復水（オリフィス通過）流量

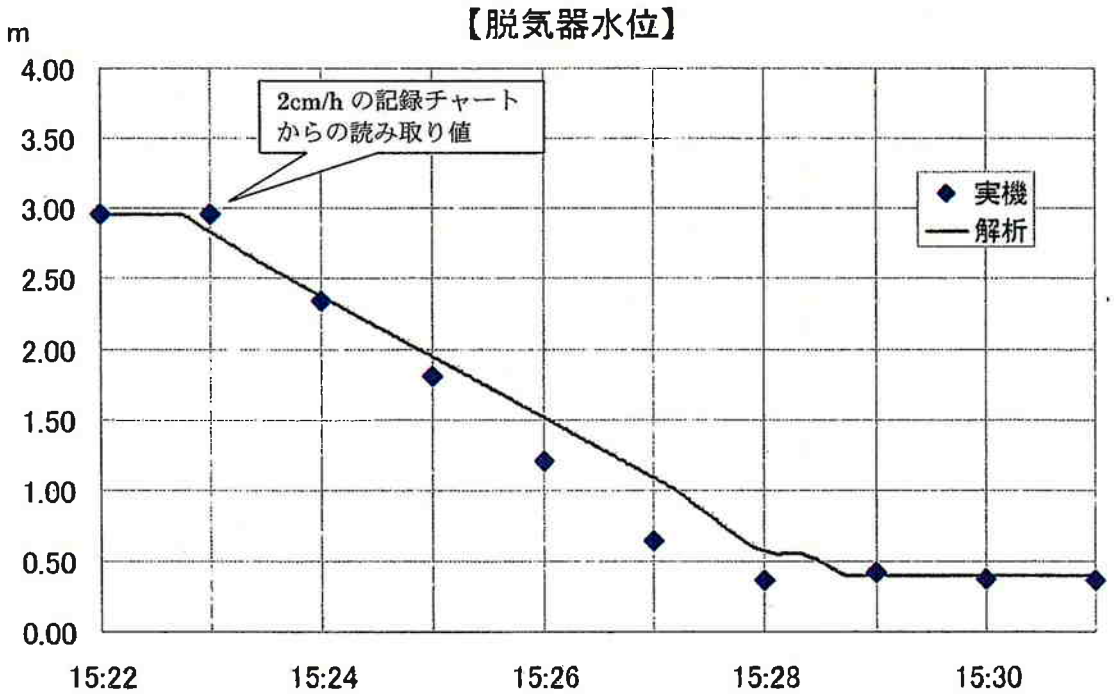


図-1.1-(2)　脱気器水位

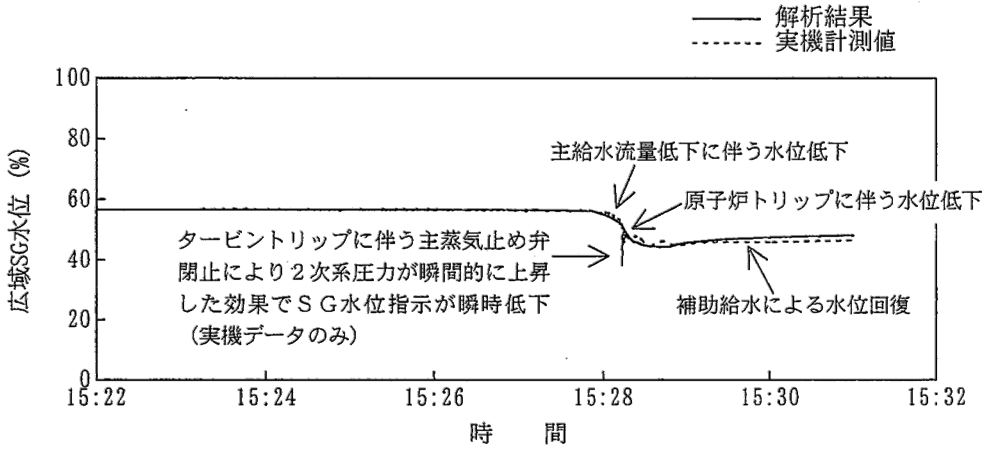


図-1.1-(3)　ＳＧ水位の解析・実績比較図

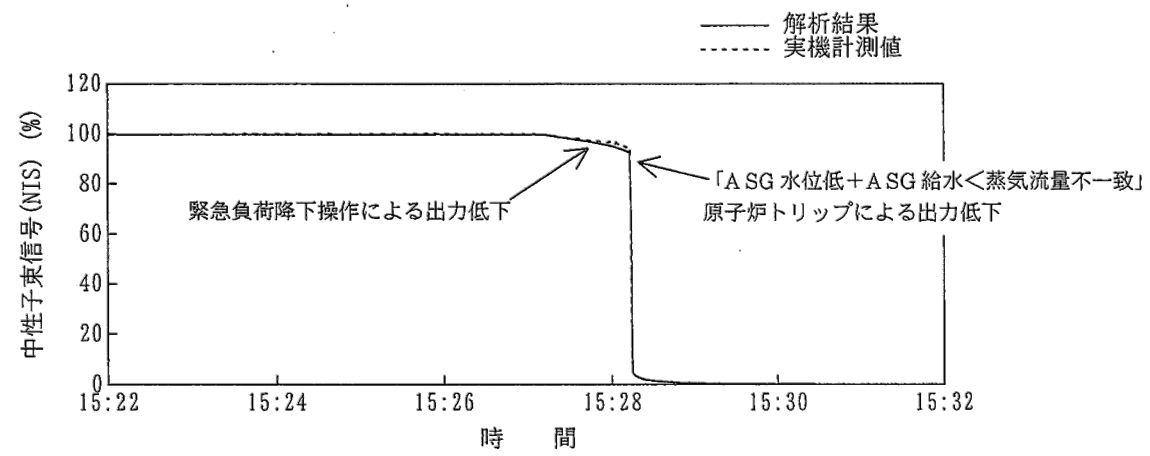


図-1.1-(4)　NIS 出力の解析・実績比較図

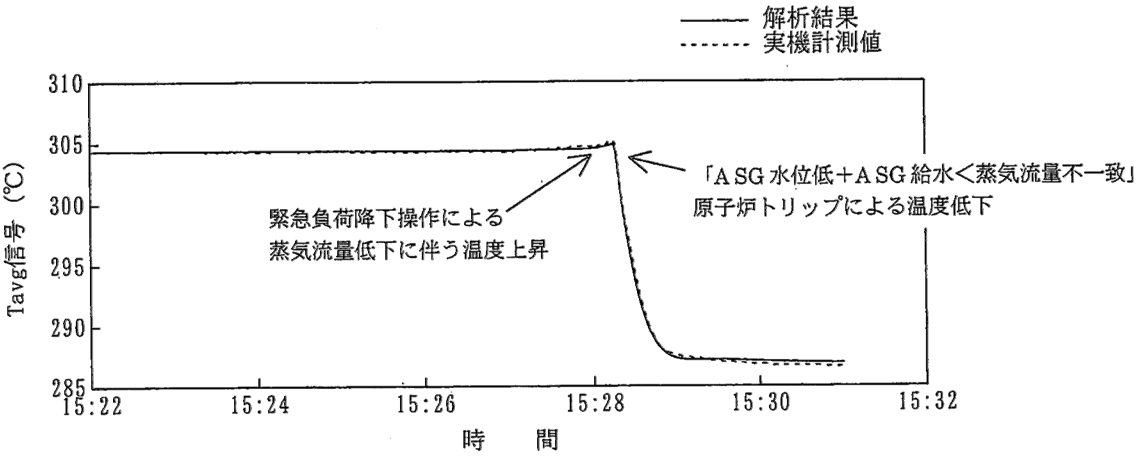


図-1.1-(5)　１次冷却材平均温度の解析・実績比較図

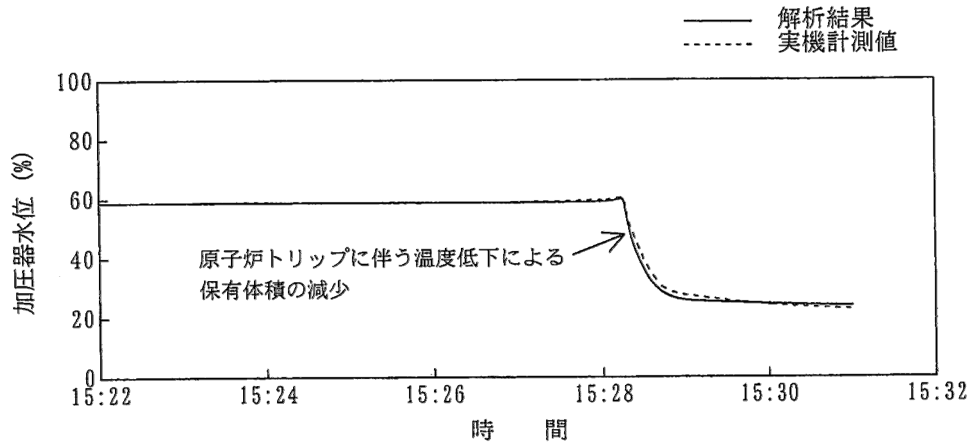


図-1.1-(6)　加圧器水位の解析・実績比較図

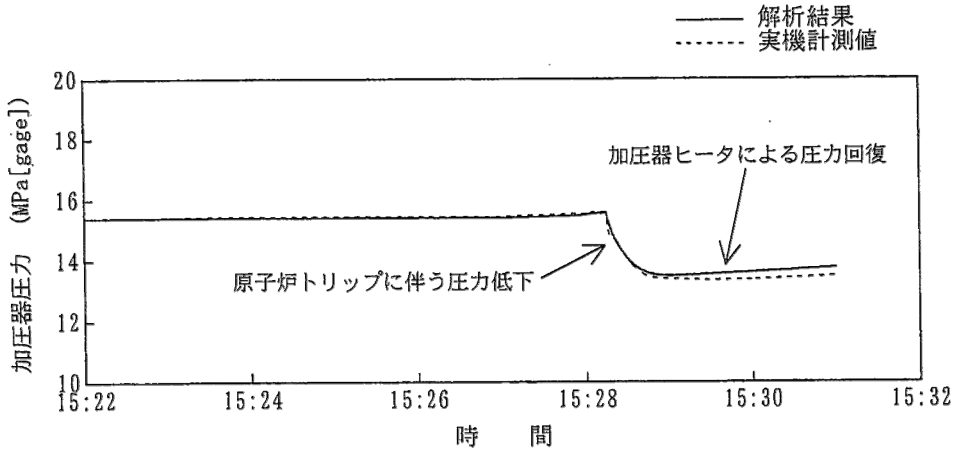


図-1.1-(7)　加圧器圧力の解析・実績比較図

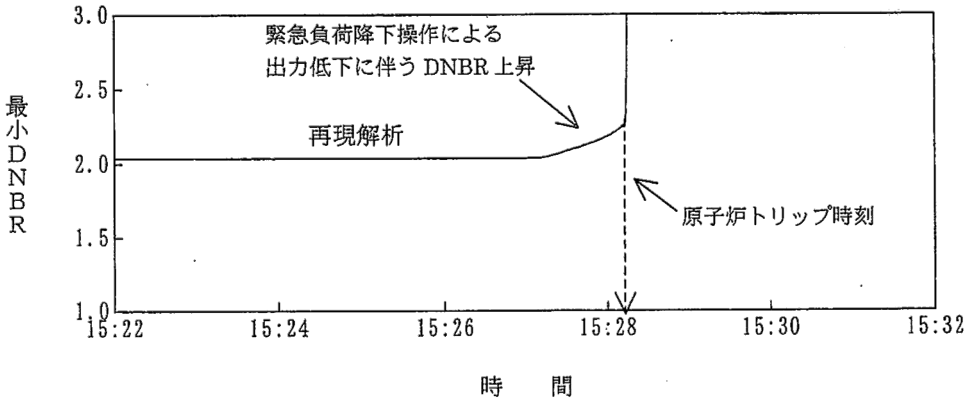
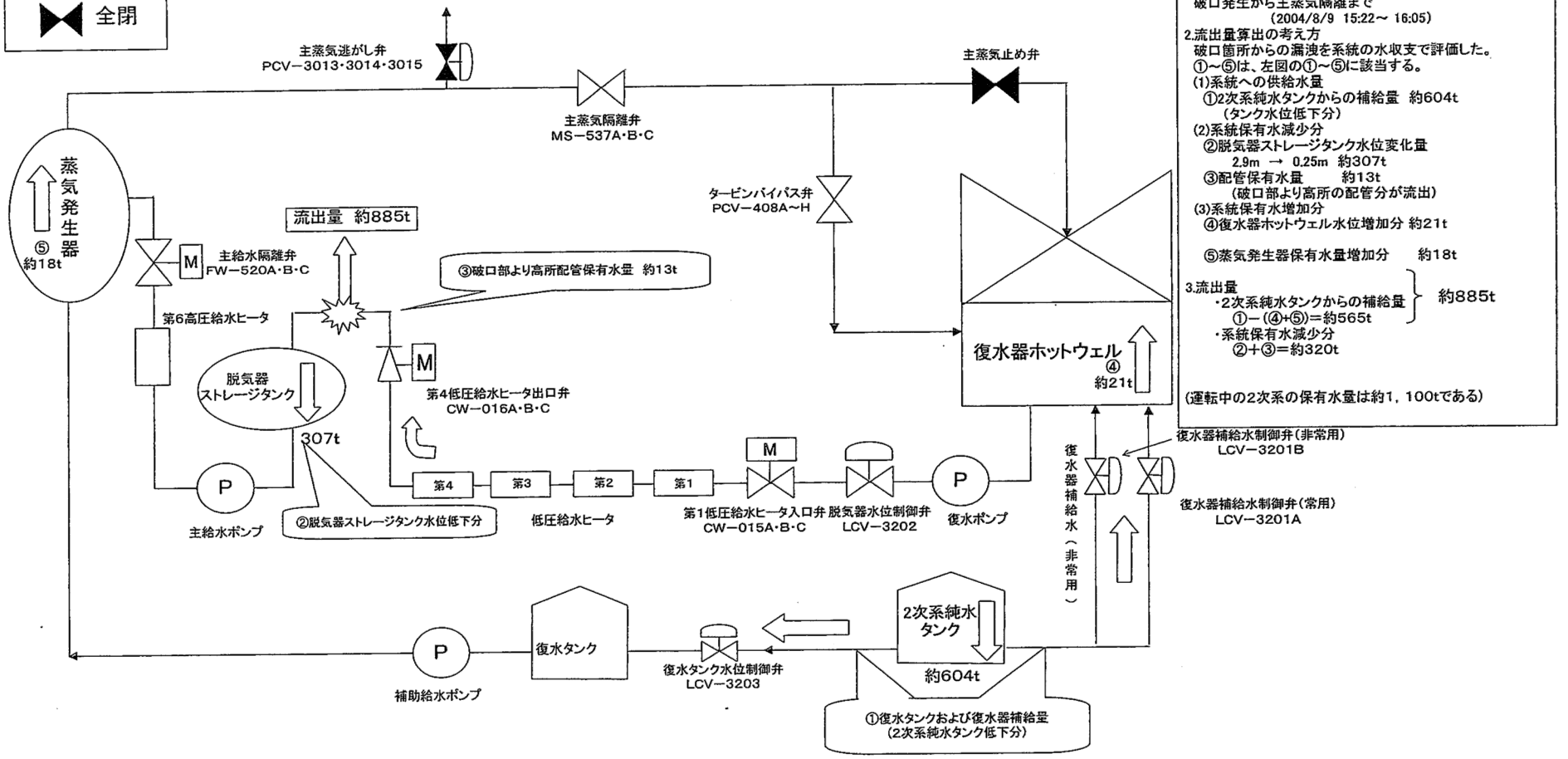


図-1.1-(8)　最小 DNBR の再現解析結果

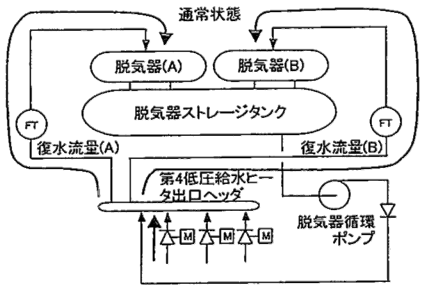
美浜3号機　破口部からの流出経路および流出量について

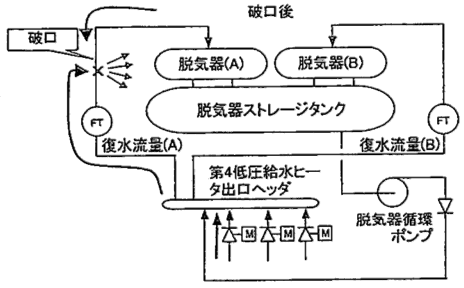
凡例
- 全開
- 全閉



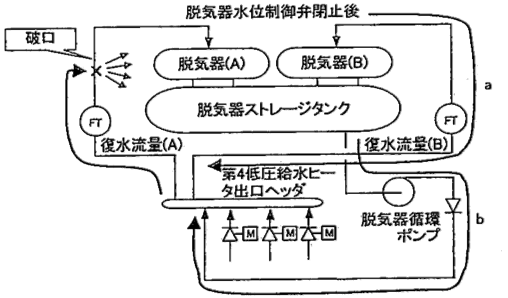
流出量算出条件
1.時間
破口発生から主蒸気隔離まで
（2004/8/9 15:22〜 16:05）
2.流出量算出の考え方
破口箇所からの漏洩を系統の水収支で評価した。
①〜⑤は、左図の①〜⑤に該当する。
(1)系統への供給水量
①2次系純水タンクからの補給量 約604t
（タンク水位低下分）
(2)系統保有水減少分
②脱気器ストレージタンク水位変化量
2.9m → 0.25m 約307t
③配管保有水量 約13t
（破口部より高所の配管分が流出）
(3)系統保有水増加分
④復水器ホットウェル水位増加分 約21t
⑤蒸気発生器保有水量増加分 約18t
3.流出量
・2次系純水タンクからの補給量 ①−(④+⑤)=約565t
・系統保有水減少分 ②+③=約320t
} 約885t

（運転中の2次系の保有水量は約1，100tである）





殆どの復水が破口より流出
（B系の流量が0となり全ての復水がA系から流出）

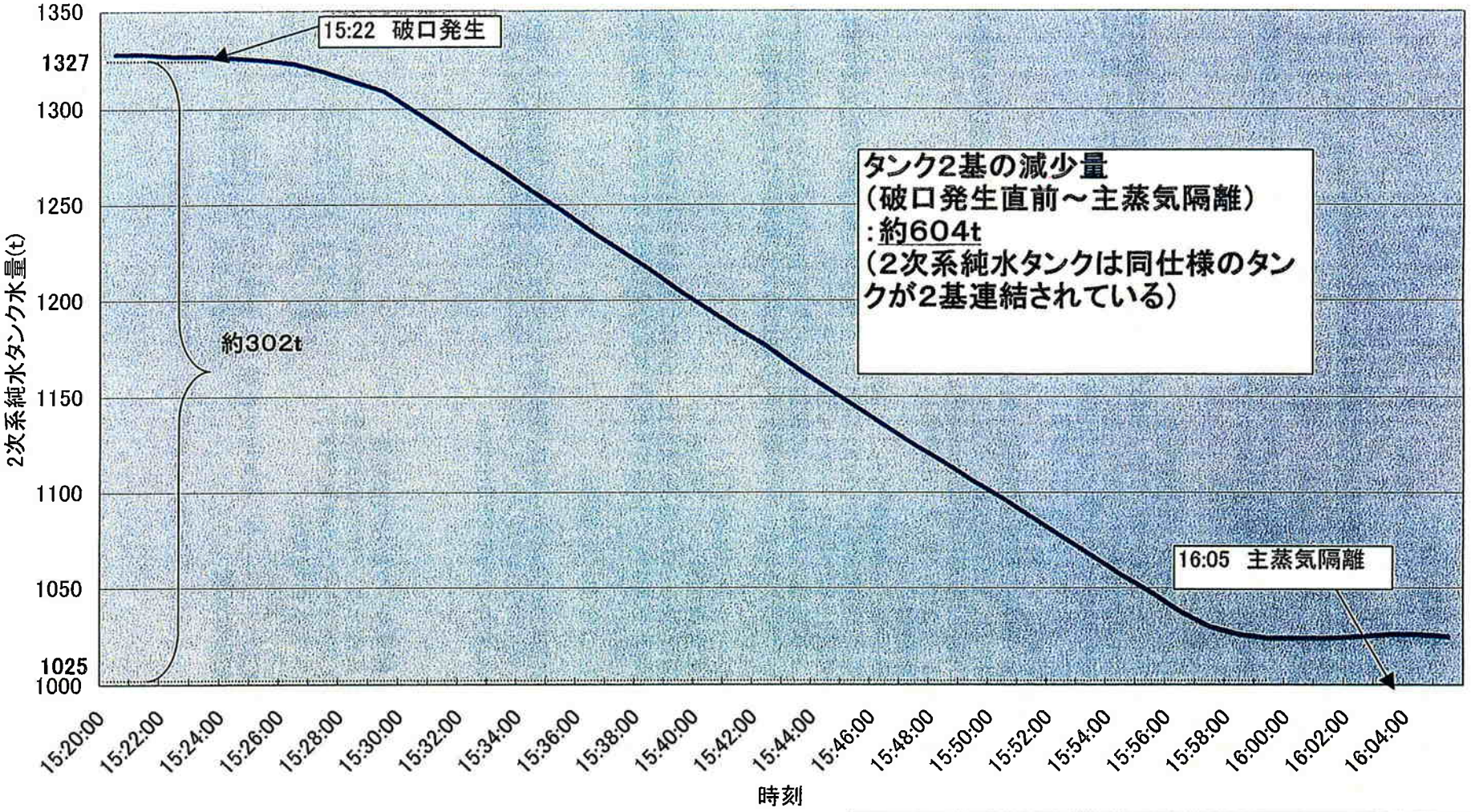


復水の流入が停止
a. 脱気器(B)行復水ラインの残水が逆流し流出
b. 脱気器循環ポンプを通り脱気器水が流出

【流出量算出条件】
1.時間
破口発生から主蒸気隔離まで
（2004/8/9 15:22～ 16:05）
2.流出量算出の考え方
破口箇所からの漏えいを系統の水収支で評価した。
(1)系統への供給水量
①2次系純水タンクからの補給量　約604t
破口発生～主蒸気隔離までに2次系純水タンクから復水器ホットウェルおよび蒸気発生器に供給された補給量は約604tである。
（添付資料－18（3／9）参照）
(2)系統保有水減少分
②脱気器ストレージタンク水位変化量　約307t
脱気器ストレージタンク水位は、破口発生により2.9m → 0.25mに急激に低下しておりその水量は約307tであり、主にSGを介し復水器ホットウェルへ流入し脱気器水位制御弁閉止までの間に破口箇所より流出した。
（添付資料－18（4／9、5／9）参照）
③配管保有水量　約13t
破口部より高所の配管の容量約13tが流出した。
この容量には、破口発生後、蒸気として放出されたものと脱気器水位制御弁閉止後、破口箇所より高所の復水が流出したものである。
（添付資料－18（6／9、7／9）参照）
(3)系統保有水増加分
④復水器ホットウェル水位増加分　約21t
破口発生により復水器ホットウェル水は、脱気器水位制御弁閉止までの間、破口箇所より流出し復水器ホットウェル水位は低下する。
その後、2次系純水タンクからの補給により事故発生前の水位より約55mm(21t)高い水位で保持された。(事故発生前の水位以上に補給されたものは漏えいには寄与していない。)
（添付資料－18（8／9）参照）
⑤SG保有水量増加分　約18t
主蒸気隔離時のSG水位(狭域水位－5%)に相当する保有水量と破口前のSG水位(狭域水位44%)に相当する保有水量の差は約18tでありこの増加分は、漏えいに寄与していない。
（添付資料－18（9／9）参照）
3.流出量
流出量は、2次系純水タンクから系統(復水器ホットウェル、SG)に補給された量から漏えいに寄与していないものを差し引いたもの(①－(④＋⑤))と系統保有水の減少分(②＋③)とをたし合わせた約885tとなる。

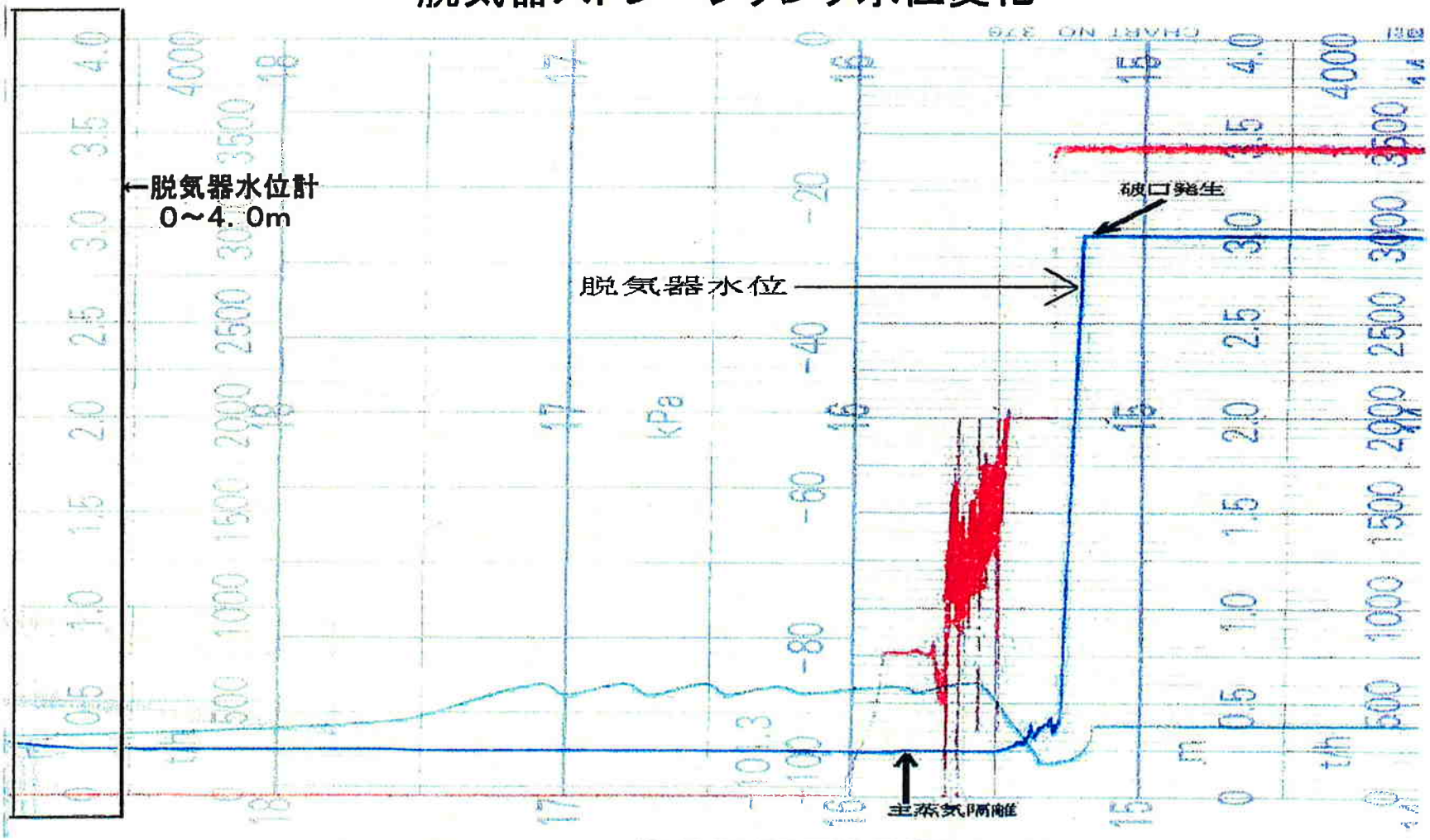
・2次系純水タンクからの補給量
①2次系純水タンクからの補給量　約604t
④復水器ホットウェル水位増加分　約 21t
⑤SG保有水量増加分　約 18t
→ 565t
・系統保有水減少分
②脱気器ストレージタンク水位変化量　約307t
③配管保有水量　約 13t
→ 320t
→ 885t

2次系純水タンク（1基）水量変化(運転状態管理システムより作成)



運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置

脱気器ストレージタンク水位変化



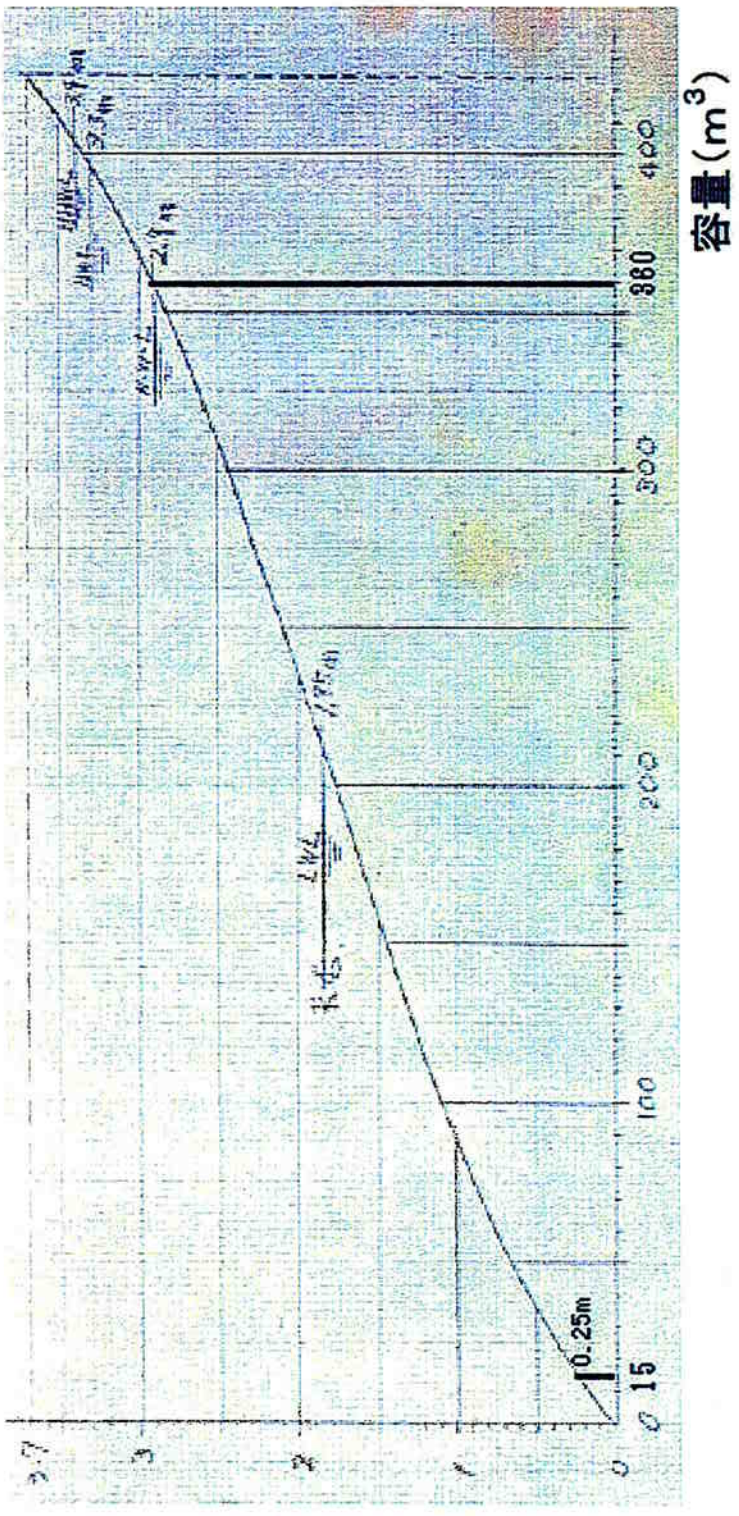
脱気器ストレージタンク水位低下量（破口発生直前～主蒸気隔離）：2.65m（2.9m～0.25m）

脱気器ストレージタンク水量減少量（破口発生直前～主蒸気隔離）：
(360－15)(m^3)×0.89(t／m^3)＝約307t

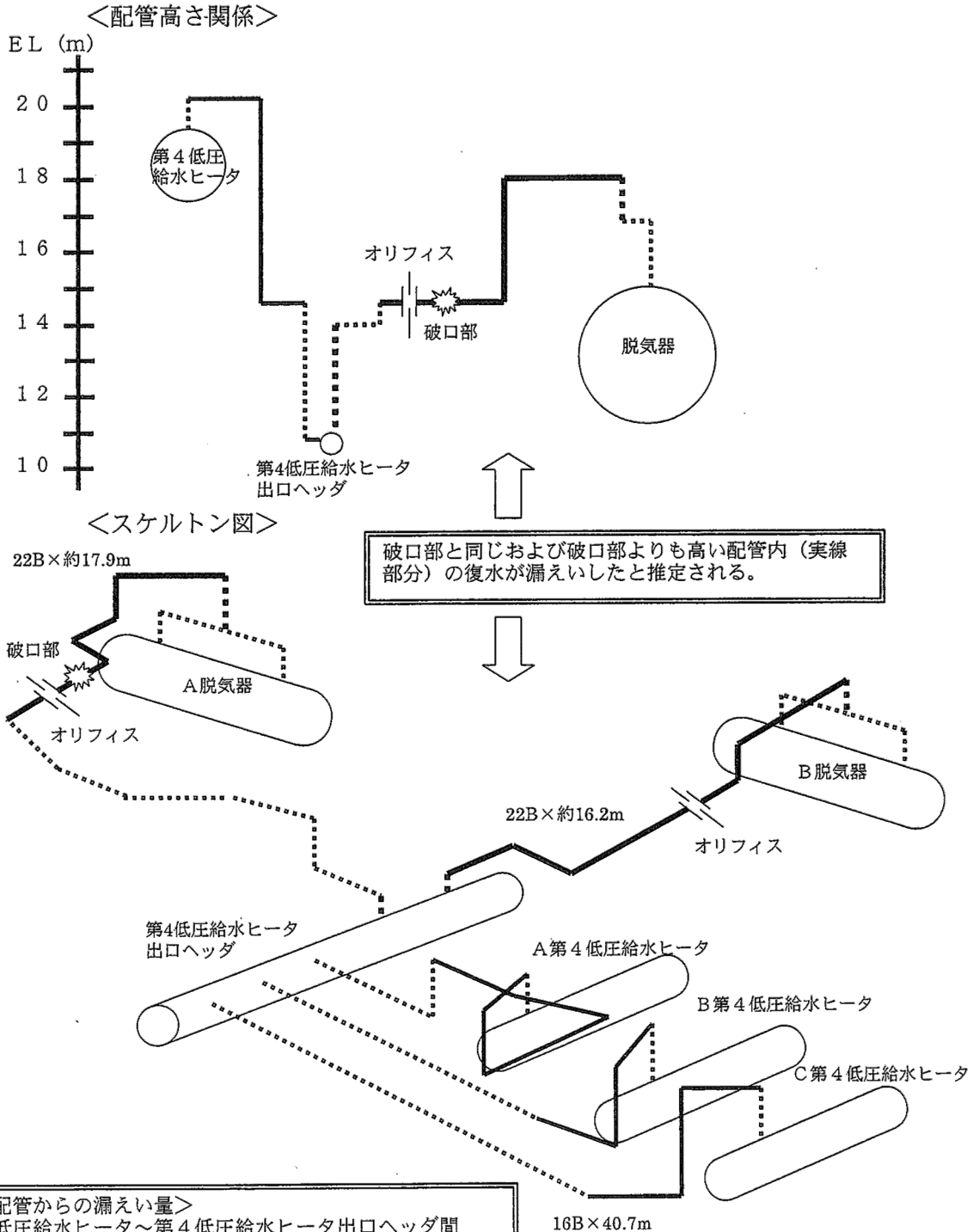
添付資料－18（5／9）より

通常運転温度（180℃）で密度補正

脱気器ストレージタンク水位容量曲線



美浜３号機　２次系配管破損時における漏えい量（配管容量分）



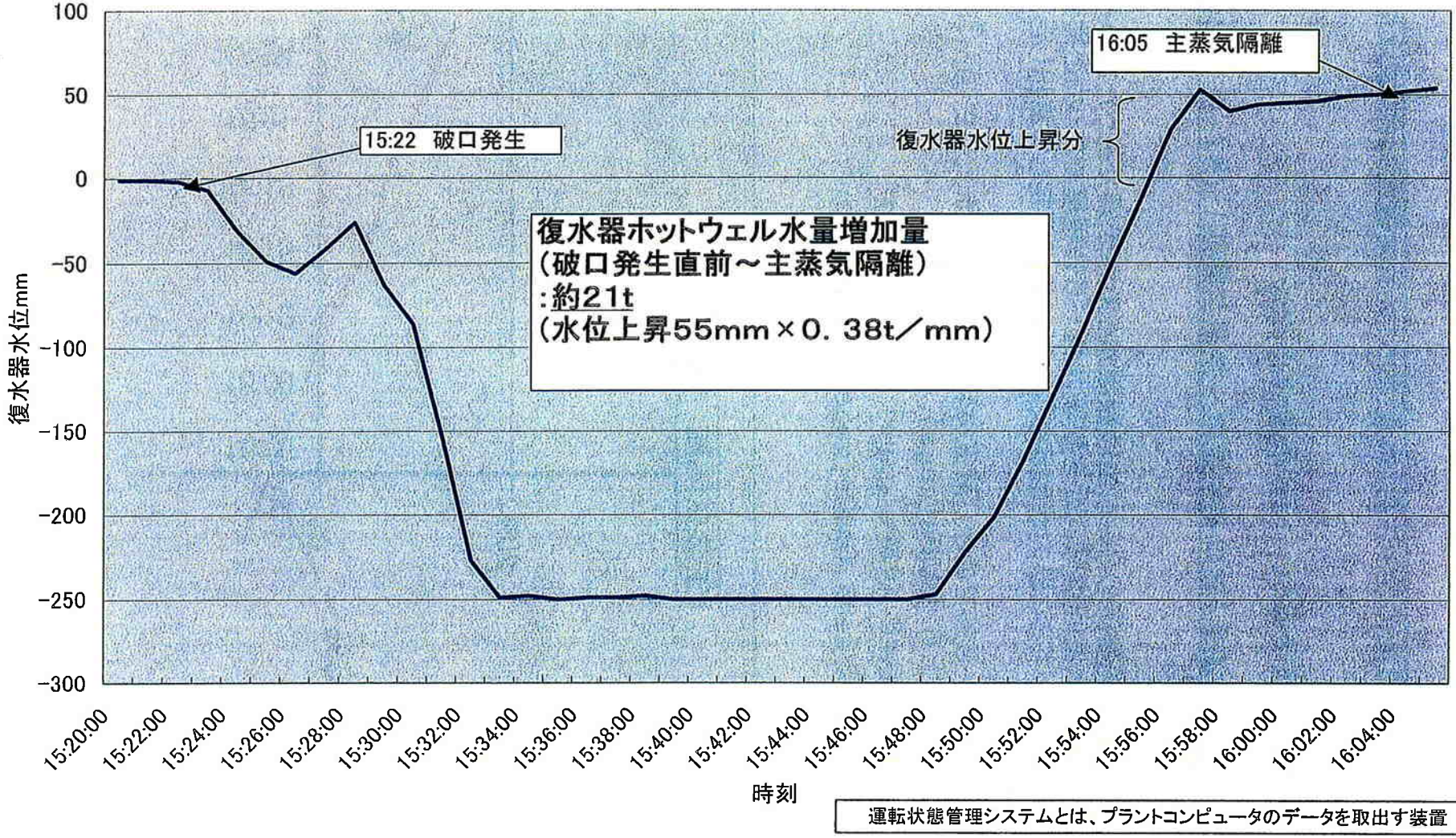
＜復水配管からの漏えい量＞
●第４低圧給水ヒータ～第４低圧給水ヒータ出口ヘッダ間（16B）
$(0.406/2)^2 \times \pi \times 40.7 \fallingdotseq 5m3$
●第４低圧給水ヒータ出口ヘッダ～A・B脱気器間（22B）
$(0.559/2)^2 \times \pi \times (17.9+16.2) \fallingdotseq 8\,m3$
合計：5＋8＝13m3

第4低圧給水ヒータ出口温度変化（運転状態管理システムより作成）

測定箇所 / アドレス / 時刻	1ヒータ入口 T3210	1Aヒータ出口 T3211	2Aヒータ出口 T3217	3Aヒータ出口 T3220	4Aヒータ出口 T3223	4Bヒータ出口 T3224	4Cヒータ出口 T3225	
2004/8/9 15:21	46.4	71.9	99.9	122.5	144.5	145.2	144.9	
2004/8/9 15:22	46.4	71.9	99.9	122.6	144.5	145.2	144.9	←破口発生
2004/8/9 15:23	46.4	71.8	99.8	122.3	144.4	145.0	144.7	(火報警報発信時刻)
2004/8/9 15:24	46.3	71.3	99.2	121.7	144.1	144.7	144.4	
2004/8/9 15:25	46.3	71.1	98.9	121.4	143.8	144.3	144.2	
2004/8/9 15:26	46.3	71.0	98.8	121.2	143.6	144.2	144.1	
2004/8/9 15:27	46.3	70.9	98.7	121.2	143.5	144.1	144.0	
2004/8/9 15:28	46.3	70.3	97.7	120.2	142.6	143.4	143.1	15:28
2004/8/9 15:29	46.3	59.1	74.2	104.1	128.2	128.0	128.5	原子炉トリップ
2004/8/9 15:30	46.3	50.9	53.4	71.9	96.5	96.4	97.8	
2004/8/9 15:31	45.8	48.8	49.0	57.4	70.9	71.5	73.1	
2004/8/9 15:32	44.0	46.7	46.6	51.7	59.7	60.6	61.8	
2004/8/9 15:33	42.9	45.0	44.6	48.3	54.4	55.3	56.3	
2004/8/9 15:34	41.8	43.9	43.6	45.9	51.1	51.9	52.7	
2004/8/9 15:35	41.0	42.9	42.9	44.2	48.5	49.2	50.0	
2004/8/9 15:36	40.1	41.8	42.1	43.1	46.5	47.2	47.9	
2004/8/9 15:37	39.2	40.8	41.3	42.3	45.2	45.8	46.3	
2004/8/9 15:38	38.4	40.0	40.5	41.6	44.0	44.6	45.2	
2004/8/9 15:39	37.8	39.2	39.8	40.9	43.0	43.7	44.2	
2004/8/9 15:40	37.2	38.4	39.0	40.3	42.3	42.8	43.3	
2004/8/9 15:41	36.7	37.8	38.3	39.6	41.5	41.9	42.4	
2004/8/9 15:42	36.2	37.3	38.2	39.0	40.8	41.2	41.6	
2004/8/9 15:43	35.9	36.9	38.9	38.6	40.2	40.5	40.9	
2004/8/9 15:44	35.6	36.5	39.0	38.6	39.6	39.9	40.3	15:44
2004/8/9 15:45	35.3	36.2	38.8	39.0	39.3	39.5	39.8	脱気器水位制御弁閉止
2004/8/9 15:46	35.3	37.0	38.7	39.0	39.2	39.2	39.5	
2004/8/9 15:47	35.3	37.2	38.7	39.0	39.1	39.0	39.4	
2004/8/9 15:48	35.3	37.2	38.7	39.0	39.1	39.0	39.2	
2004/8/9 15:49	35.4	37.5	38.7	39.1	39.1	38.9	39.2	
2004/8/9 15:50	35.6	38.0	38.8	39.3	39.0	38.9	39.1	
2004/8/9 15:51	35.7	38.1	38.6	39.3	38.9	38.8	39.1	
2004/8/9 15:52	36.0	38.5	38.7	39.4	39.0	38.8	39.0	
2004/8/9 15:53	36.1	38.8	38.7	39.5	39.3	38.8	39.0	
2004/8/9 15:54	36.4	39.0	38.7	39.8	39.3	38.8	39.0	
2004/8/9 15:55	36.6	39.2	38.6	39.8	39.3	38.8	39.0	
2004/8/9 15:56	36.8	39.4	38.6	39.9	39.4	38.8	39.1	
2004/8/9 15:57	37.0	39.7	38.7	40.0	39.5	38.8	39.2	
2004/8/9 15:58	37.0	39.8	38.7	40.0	39.7	38.9	39.2	
2004/8/9 15:59	37.1	40.0	38.7	40.1	39.9	38.8	39.2	
2004/8/9 16:00	37.2	40.3	38.7	40.0	40.0	38.9	39.2	
2004/8/9 16:01	37.3	40.6	38.8	40.0	40.1	38.9	39.2	
2004/8/9 16:02	37.4	41.0	38.9	40.1	40.2	38.9	39.3	
2004/8/9 16:03	37.5	41.3	39.0	40.2	40.3	38.9	39.2	
2004/8/9 16:04	37.6	41.7	39.0	40.2	40.3	38.9	39.2	
2004/8/9 16:05	37.6	41.8	39.0	40.3	40.5	38.9	39.3	16:05 主蒸気隔離
2004/8/9 16:06	37.6	41.9	39.0	40.3	40.6	38.9	39.2	ダンプ→主蒸気逃がし弁
2004/8/9 16:07	37.8	42.1	39.0	40.2	40.7	38.9	39.2	
2004/8/9 16:08	37.8	42.4	39.1	40.3	40.8	38.9	39.3	
2004/8/9 16:09	37.9	42.6	39.2	40.4	41.0	39.0	39.2	
2004/8/9 16:10	38.0	42.7	39.3	40.4	41.0	39.0	39.4	
2004/8/9 16:20	38.7	43.7	39.9	40.7	41.9	39.1	39.5	
2004/8/9 16:30	39.1	43.8	40.7	40.9	42.9	39.5	39.7	
2004/8/9 16:40	39.4	43.8	41.4	41.0	43.3	39.9	39.9	
2004/8/9 16:50	39.7	43.5	42.1	41.2	44.1	40.1	40.2	
2004/8/9 17:00	39.9	43.2	42.6	41.2	44.5	40.7	40.4	
2004/8/9 17:10	40.1	42.8	43.0	41.5	45.7	41.0	40.9	
2004/8/9 17:20	40.4	42.5	43.3	41.5	47.2	41.6	41.3	
2004/8/9 17:30	40.5	42.1	43.5	41.6	49.6	42.0	41.6	
2004/8/9 17:40	40.7	41.9	43.8	41.6	51.7	42.7	42.1	
2004/8/9 17:50	44.4	43.9	39.5	44.6	54.9	44.4	46.9	
2004/8/9 18:00	44.3	43.8	39.9	44.5	56.6	44.8	47.0	
2004/8/9 18:04	44.4	43.8	40.2	44.6	57.1	45.0	47.1	18:04
2004/8/9 18:05	44.4	43.7	40.1	44.6	57.0	45.1	47.1	第4低圧給水ヒータ出口弁閉止

運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置

復水器ホットウェル水位変化(運転状態管理システムより作成)



運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置

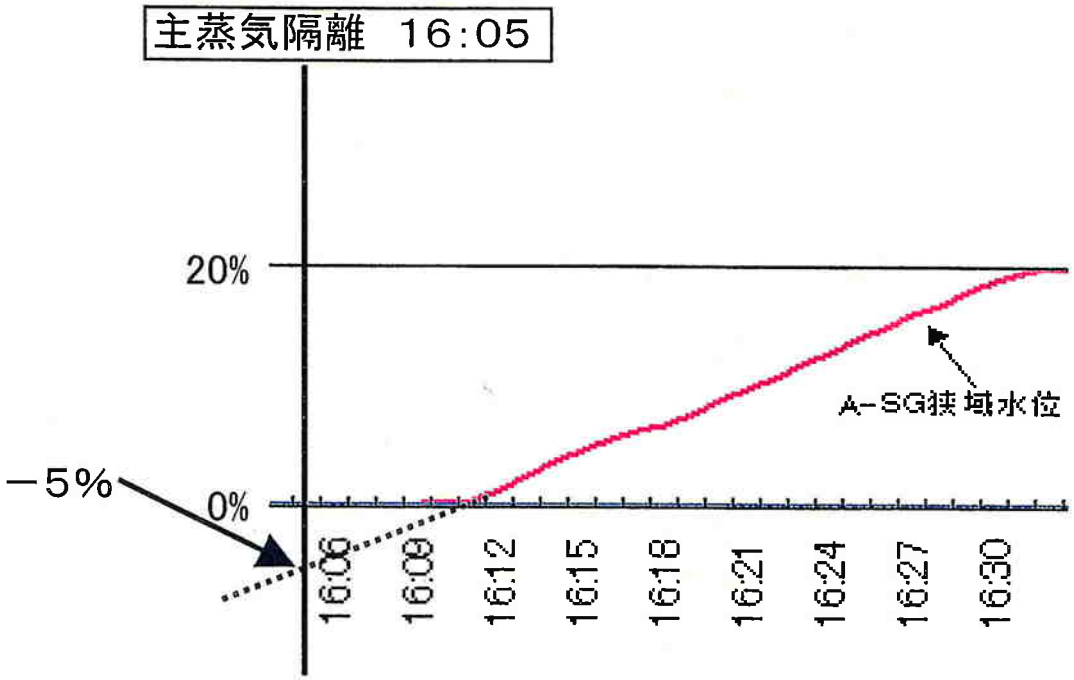
SG保有水量増加量

破口発生直前のSG（1基）水量：約51t（通常運転時（狭域水位44%）の設計値）

主蒸気隔離時のSG（1基）水量：約57t※

SG水量増加量（破口発生直前～主蒸気隔離）：（57－51）t×3基＝約18t

※主蒸気隔離時のSG水位は狭域水位0%未満であったため不明であるが、その後の水位回復傾向から狭域水位－5%程度であったと推定される。その時点においてSG器内が飽和状態であったと仮定して算出した。
（算出根拠）
狭域水位－5%での水、蒸気体積：71．7m^3（水）、92．9m^3（蒸気）
主蒸気圧力：6．0MPa[gage]
飽和水密度at6．0MPa[gage]：755．8kg／m^3
飽和蒸気密度at6．0MPa[gage]：31．6kg／m^3



添付資料３－１０

美浜発電所３号機

補助給水流量制御弁の一時的な動作不具合について

関西電力株式会社

平成１７年　３月

1．件　名

美浜発電所３号機　補助給水流量制御弁の一時的な動作不具合について

2．事象発生の日時

平成 16 年 8 月 9 日　17 時 13 分（A、C補助給水流量制御弁開動作せず）

3．事象発生の電気工作物

タービン付属設備　A、C補助給水流量制御弁

4．事象発生前の状況

定格熱出力一定運転中

5．事象発生の状況

平成 16 年 8 月 9 日に発生した美浜発電所３号機２次系配管破損事故時において、同日 15 時 28 分、電動補助給水ポンプが自動起動した後、蒸気発生器水位異常低（狭域水位の 13%）によりタービン動補助給水ポンプが自動起動した。その後、補助給水流量が必要流量確保できていることから、15 時 32 分に１次冷却材温度低下防止のため、タービン動補助給水ラインのA、B、C補助給水流量制御弁（3HCV-3120(以下「A弁」という)、3HCV-3121(以下「B弁」という)、3HCV-3122(以下「C弁」という)）３台を閉止した。

その後、蒸気発生器の水位が回復し安定していることから、17 時 12 分にタービン動補助給水ポンプを停止し、引き続き同ポンプを自動待機状態とするため、17 時 13 分にA～C弁 3 台の開操作を中央制御室の手動操作器により実施したところ、A、C弁２台が閉止したまま開動作しなかった。

【時系列】

平成 16 年 8 月 9 日

15 時 28 分　A、B電動補助給水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ自動起動
15 時 32 分　A、B、C弁３台閉止
17 時 12 分　タービン動補助給水ポンプ停止
17 時 13 分　A、B、C弁３台を開操作するもA、C弁２台が開動作せず
18 時 30 分　A、C弁について、弁グランドを緩めた後、前回同様に弁の開操作を実施したが、弁駆動用ダイヤフラム圧力は弁開度 100%相当であるにもかかわらず、弁開度は 0%で開動作せず
18 時 38 分　運転上の制限を満足していないと判断（保安規定第 66 条）

平成 16 年 8 月 10 日

01 時 20 分　A、C弁について、再度前回同様に弁の開操作を実施したところ、弁が正常に開閉動作した
05 時 55 分　運転上の制限を満足している状態に復帰（原子炉運転モード 4 への移行により運転上の制限が適用除外となった）

6．点検調査結果　（添付－3、4）

A、C弁の一時的な動作不具合について、ＦＴ図により要因の洗い出しを行い、A、C弁について次の点検を実施した。なお、B弁についても、比較のために同様の点検を実施した。

（1）動作確認結果

A～C弁について、分解点検前に次の動作確認を実施した。なお、A、C弁については、動作確認によるケージ（弁座）、プラグ（弁体）の状態変化を最小限に留めるために、弁の開閉動作回数を必要最小限となるように計画、実施した。

a．手動操作器動作確認　（添付－5）

A、C弁については、中央制御室の手動操作器ダイヤルを操作して、各ダイヤル操作値に対する手動操作器出力信号（弁開度制御信号）を確認した結果、判定基準内であり異常はなかった。

b．手動操作器操作による弁動作確認　（添付－5）

B弁については、中央制御室の手動操作器ダイヤルを操作して、弁の動作状況の確認（開閉確認）を実施した結果、異常はなく正常に開閉動作した。また、手動操作器の各ダイヤル操作値に対する出力信号（弁開度制御信号）を確認した結果、判定基準内であり異常はなかった。

c．模擬信号入力による弁動作確認（開閉確認）　（添付－6）

A～C弁について、現地の電空(I/P)変換器にランプ状の模擬信号を入力し、弁の動作確認を実施した結果、異常はなく開閉動作すること、及び同変換器からの信号を受けたポジショナ出力が適正であることを確認した。

なお、B弁については、さらに現地の電空(I/P)変換器にステップ状の模擬信号を入力し、弁の動作確認を実施した結果、異常はなく正常に動作すること、及び同変換器からの信号を受けたポジショナ出力が適正であることを確認した。

d．電空(I/P)変換器の単体動作確認

A～C弁について、現地の電空(I/P)変換器にステップ状の模擬信号を入力して、同変換器の単体動作確認を実施した結果、判定基準内であり異常はなかった。

（2）減圧弁圧力設定値確認結果　（添付－7）

A～C弁について、電空(I/P)変換器及びポジショナへ空気を供給する減圧弁の圧力設定値を確認した結果、判定基準内で適正な設定値となっていることを確認した。

（3）外観点検結果　（添付－8）

A～C弁の制御系構成品（電空(I/P)変換器、減圧弁、ポジショナ）、弁本体及び弁駆動部について、外観目視点検を実施した結果、異常（水分の付着、変形）は認められなかった。

（4）弁駆動用及び制御用空気漏えい確認結果　（添付－9）

A～C弁の空気系統（弁駆動部、制御系構成品）について、石鹸水による漏えい

確認を実施した結果、動作機能に影響する空気の漏えいはなかった。

＜漏えい確認結果＞

A弁：漏えいはなかった。

B弁：駆動空気系でカニ泡程度の極く微量な漏えいが認められたが、動作機能に影響を及ぼすものではなかった。

C弁：漏えいはなかった。

（5）補助給水流量制御弁分解点検結果　（添付－10、11）

A～C弁について（1）～（4）項の点検を実施した後、次の分解点検を実施した。

a．弁本体分解点検

(a) 弁グランド部

弁グランド部について、取付寸法計測や分解点検を実施した結果、グランド押さえの片締め・閉め過ぎ、パッキン金属成分の露出、ランタンリングの焼き付き・変形及びパッキン止めの変形等の異常はなかった。

(b) 弁棒

弁棒について、外観目視確認を実施した結果、曲がり、焼き付き、傷・バリの発生、腐食及びヨークとの連結不良等の異常はなかった。

(c) ガスケット

ガスケットについて、外観目視確認を実施した結果、ボンネットガスケット及び弁座ガスケットともに、食い込みによる偏り等の異常はなかった。

(d) 弁体、弁座

弁体及び弁座について、外観目視確認を実施した結果、弁体の噛み込み、異物の噛み込み及び腐食等の異常はなかった。ただし、B弁については、弁体及び弁座のシート面に、A、C弁では見られなかった肌荒れやピット状のくぼみが確認された。

b．弁駆動部分解点検

(a) バネ

バネについて、外観目視確認を実施した結果、噛み込み、曲がり及び変形等の異常はなかった。

(b) ヨーク及びボンネット

ヨーク及びボンネットについて、外観目視確認を実施した結果、変形、ひずみ及びフレームとの擦り傷等の異常はなかった。

(c) ダイヤフラム部

ダイヤフラム部について、外観目視確認を実施した結果、ダイヤフラムの破損、ダイヤフラムケースとヨークの焼き付き及び異物の噛み込み等の異常はなかった。

（6）補助給水ライン逆止弁分解点検結果　（添付－12）

A～C弁の出口側（蒸気発生器側）にある逆止弁について、分解点検を実施した結果、弁体、弁棒及び弁座等にシート不良や動作不良等の異常はなかった。

（7）弁の設計確認　（添付－13,14,15）

A～C弁について、弁の開放力に影響を及ぼす可能性のある弁棒、弁体、弁座、グランドパッキン及びバネについて、設計通りであることの確認を実施した結果、弁棒、弁体、弁座の寸法、グランドパッキンの仕様及びバネ定数は設計通りであった。また、上記の各部品に経年的な変化が発生していないか設計との比較確認を実施した結果、異常はなかった。

なお、当該弁に対する設計条件として、プラント異常収束のための要求機能は満足しているが、通常運転時の「開待機」運用に対する設計条件には、当該事象発生時の系統状態が反映されていないことをプラントメーカから確認した。

（8）系統圧力と弁開放力に係る調査結果

事故当時のタービン動補助給水系統圧力や各弁の開放力について、A、C弁の動作機能に影響を及ぼすような挙動や変動がなかったか、次の通り調査を実施した。

a．系統圧力の確認　（添付－16～19）

(a) A～C弁出口圧力

A、C弁が開動作しなかった時のA～C弁の出口側圧力（以下「背圧」という）は、主蒸気圧力、配管圧力損失、静水頭（水）及び静水頭（蒸気）から推定すると、A、B弁は約 6.29MPa、C弁は約 6.28MPa であった。

また、主蒸気隔離弁閉止による主蒸気圧力の上昇時点から、１次冷却材系統のクールダウンによる主蒸気圧力降下途中までの間（主蒸気圧力≧背圧の関係が保持されている間）、背圧は、A～C弁からその下流側にある逆止弁までの配管内に閉じ込められた状態にあったと考えられる。（ただし、B弁については、後述するように、弁シートリークの発生が想定され、タービン動補助給水ポンプの停止に伴い、背圧が低下していたと考えられる。）

さらに、A、C弁が開動作した８月 10 日 01 時 20 分の時点では、背圧は、約 4.1MPa まで低下していた。

(b) A～C弁入口圧力

A～C弁の入口圧力は、タービン動補助給水ポンプの運転中は約 7～8MPa であったが、同ポンプ停止後は約 0.2MPa まで低下していた。

b．弁開放力の確認　（添付－20）

A～C弁のポンプ停止中の弁開放力は、弁全閉時のバネ荷重、弁入口圧力による弁体の押上力及びグランドパッキン摺動抵抗等から推定した結果、A弁は約 5.79MPa、B弁は約 5.88MPa、C弁は約 6.23MPa であり、いずれの弁開放力もA、C弁が開動作しなかった時の背圧（A、B弁：約 6.29MPa、C弁：約 6.28MPa）を下回っていることを確認した。

（9）過去事象の調査

過去 3 回のプラント自動停止時にタービン動補助給水ポンプが自動起動した際のA～C弁の動作状況について、当時の当直員への聞き取りや記録により調査した結

果、今回と同様な事象の発生は確認できなかった。しかし、過去のプラント自動停止時においても、タービン動補助給水ポンプ停止前にA～C弁を閉止する基本操作は実施していたと考えられることから、過去に同様の不具合が発生しなかったのは、弁の開操作を背圧が弁開放力を下回っている時期（タービン動補助給水ポンプ停止直後でポンプが慣性により回転している間の弁入口側に残圧があって弁開放力が大きい時期、又は主蒸気圧力が降下して背圧が低下した時期）に行っていた、あるいは、弁のシートリークによりポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が加わらなかったためと考えられる。

7．要因の評価

ＦＴ図に基づく点検調査結果を踏まえて、今回のA、C弁の一時的な動作不具合の要因評価を、次のとおり実施した。

（1）制御系について

制御系構成機器の特性確認、設定値確認及び動作確認等を実施した結果、異常はなかったことから、制御系に要因となる不良はなかった。また、B弁の点検結果と比較しても同様な状況であり、問題なかった。

（2）弁本体について

分解点検及び外観点検等を実施した結果、異常はなかったことから、弁本体に要因となる不良はなかった。また、B弁の点検結果と比較しても同様な状況であり、問題なかった。

（3）駆動部について

駆動部の分解点検、漏えい確認等を実施した結果、異常はなかったことから、駆動部に要因となる不良はなかった。また、B弁の点検結果と比較しても同様な状況であり、問題なかった。

（4）配管系統圧力と弁開放力について

当該弁は、ポンプ停止中の弁開放力が系統設計上想定される背圧を上回る設計となっていなかったこと、また、ポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧がA～C弁と逆止弁の間に閉じ込められた状態にあったと考えられることから、今回のA、C弁の一時的な動作不具合の要因は、背圧と弁開放力の関係によることが考えられる。

（5）配管破損事故との関係

上記（1）～（3）の点検調査において機械的な動作不良等の異常はなく、また、水滴跡等も認められなかったことから、配管破損事故による蒸気や熱水等による影響はなかったと考えられる。

8．確認試験　　（添付－21）

今回のA、C弁の一時的な動作不具合の要因として、背圧が弁の開動作に影響を及ぼしていた可能性があることから、背圧の大きさと弁の開動作の関係を調べるために、分解していた弁を再度組立てて、C弁を代表に実機を用いて確認試験を実施した。

なお、比較のために、開動作したB弁についても同様の試験を実施した。

（1）弁動作確認試験結果

試験系統に加える背圧を、ポンプ停止中の弁開放力前後の各圧力で一定に保ち、各々の背圧において弁が開動作するか否かを試験した結果、C、B弁の両弁ともに背圧が弁開放力を上回る状態では開動作せず、背圧が弁開放力の近く若しくは下回る状態では開動作することを確認した。

（2）試験系統の圧力保持状況確認結果

試験系統の準備段階（試験前日）において、構成された試験系統に所定の背圧を加えて、その圧力が保持できるか否かの確認を実施したところ、B弁の試験系統では、C弁の試験系統に比べて約3倍の圧力降下があることを確認した。

（3）考　察

確認試験の結果から、背圧と弁開放力の関係を明確にすることができた。

また、試験系統の圧力保持状況において確認された圧力降下は、弁シートリークが原因と考えられる。その後、有意な圧力降下はない状態となったが、これはシート面の状態が改善されたためと考えられる。

なお、B弁については、当初からシートリークが発生していた可能性が考えられる。

9．推定原因　　（添付－22、23）

事故当時にA、C弁が開動作しなかったのは、背圧がポンプ停止中の弁開放力を上回っていたためであり、その翌日に弁が正常に開動作したのは、1次冷却材系統の冷却操作による主蒸気圧力の低下に伴い、背圧がポンプ停止中の弁開放力を下回ったためと推定される。また、ポンプ停止中の弁開放力が事故発生時の背圧と比較して小さかったのは、当該弁の設計条件に背圧がポンプ停止中の弁開放力を上回るような系統状態を想定していなかったためと推定される。

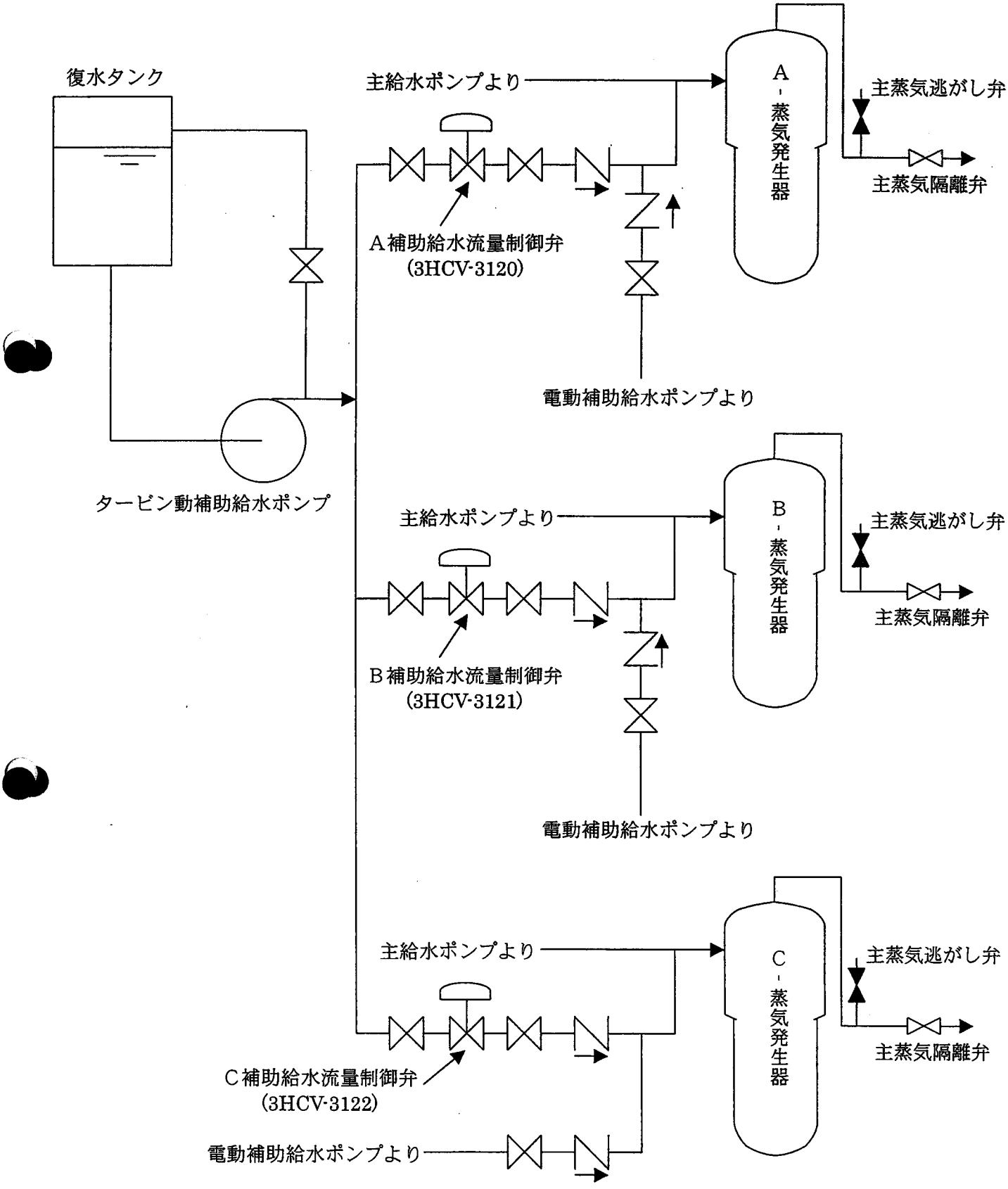
なお、B弁については、弁のシートリークによりポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が閉じ込められなかったため、正常に開動作したものと推定される。

10．対　策

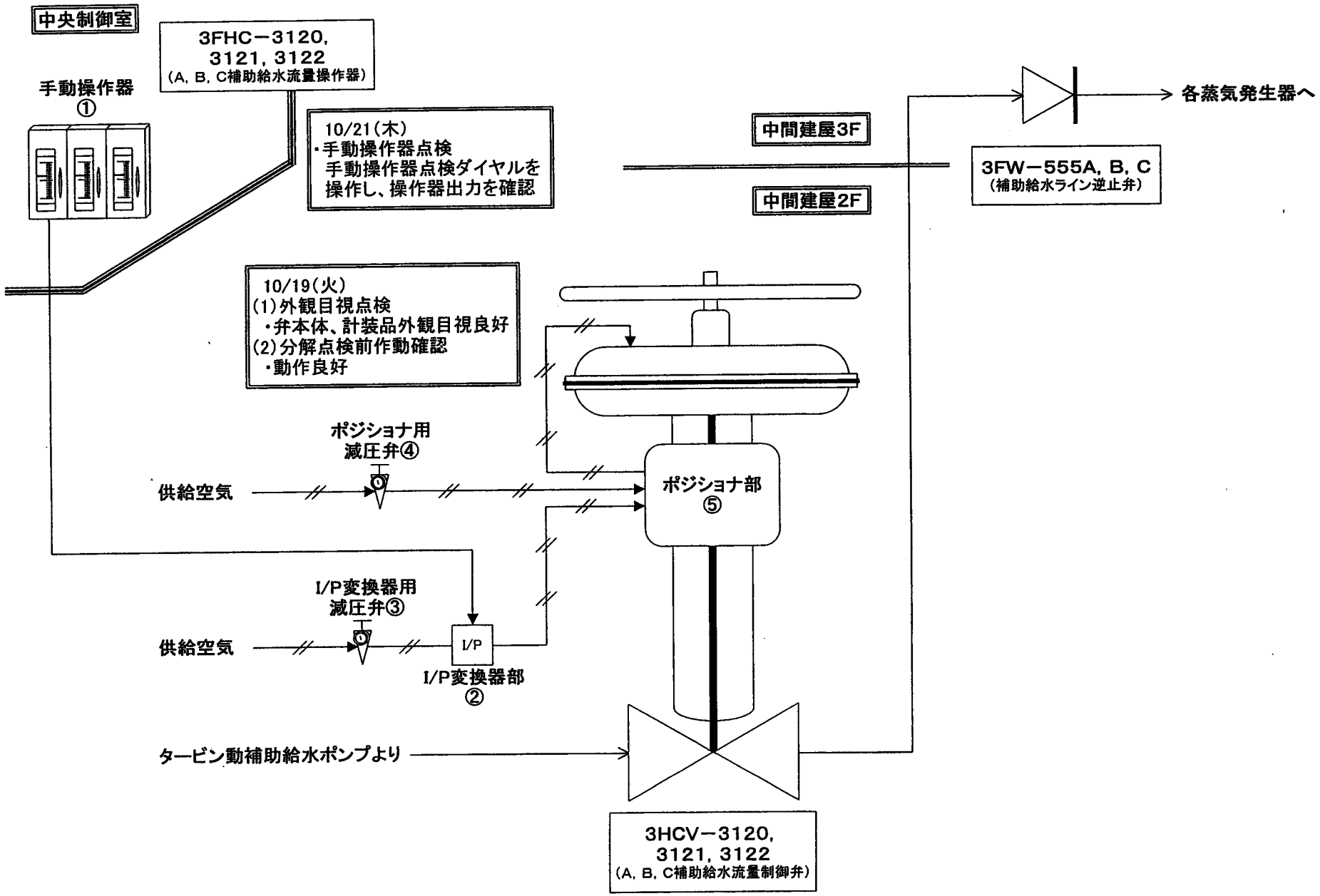
当該弁について、設計上想定される最大背圧よりも大きな弁開放力を持たせるために、弁駆動用バネをバネ定数の大きなものに取え替える。

添付－１：タービン動補助給水系統概要図
２：補助給水流量制御弁構成図
３：Ａ、Ｃ補助給水流量制御弁動作不良要因分析図
４：補助給水流量制御弁点検箇所図
５：手動操作器動作確認結果
６：模擬信号入力による弁動作確認結果
７：減圧弁設定値確認結果
８：外観点検結果
９：弁駆動用及び制御用空気漏えい確認結果
１０：補助給水流量制御弁分解点検結果
１１：弁駆動部分解点検結果
１２：補助給水ライン逆止弁分解点検結果
１３：補助給水流量制御弁駆動部バネ定数計測結果
１４：Ａ～Ｃ弁の弁棒、弁体（プラグ）、弁座（ケージ）の寸法測定結果
１５：補助給水流量制御弁の設計について
１６：補助給水流量制御弁の事故時動作不調時の時系列挙動
１７：タービン動補助給水系統他圧力変動状況と系統状態
１８：美浜３号機補助給水系統スケルトン図
１９：補助給水流量制御弁と逆止弁間に閉じ込められた系統水圧力の評価
２０：補助給水流量制御弁の弁開放力と開放抑止力との比較
２１：確認試験結果
２２：推定メカニズム
２３：Ｂ弁開動作の検討

タービン動補助給水系統概要図



補助給水流量制御弁構成図



添付－2

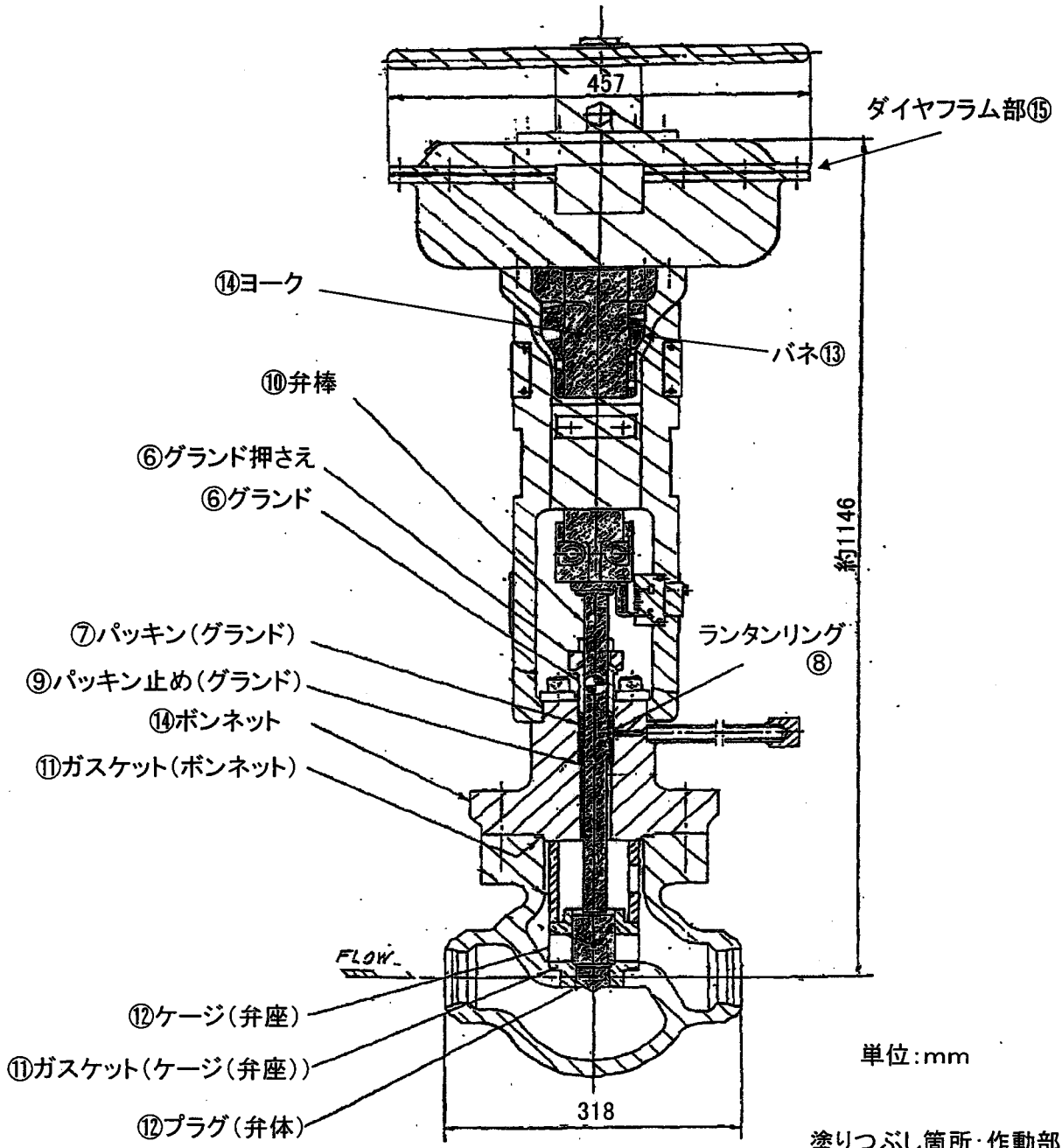
A、C補助給水流量制御弁動作不良要因分析図

凡例　×：問題なし、○：問題あり

				調査項目・及び判定基準	A, C弁の結果	判定	参考(B弁の結果)
補助給水流量制御弁動作不良（開放しない）	制御系不良	①	手動操作器	特性不良	手動操作にて操作器の出力信号を変化させ、その時のI／P変換器の入力（電圧）を確認 ・手動操作に対して入力（電圧：100～500mV）が健全であることを確認する。 （判定基準：標準値±2mV）	・入力（電圧：100～500mV）が健全であることを確認した。 （B弁と同様の結果であった）	×	・入力（電圧：100～500mV）が健全であることを確認した。
		②	I／P変換器部	特性不良	模擬信号入力にて弁開閉を行い、弁の動作を確認するとともにI／P変換器の出力（圧力）を確認 ・弁の開閉動作が正常であること。また、模擬信号入力に対して出力（圧力：20.0～100.0kPa）が健全であることを確認する。（判定基準：標準値±0.8kPa）	・弁がひっかかり等の異常がなく正常に動作すること及び出力（圧力：20.0～100.0kPa）が健全であることを確認した。（B弁と同様の結果であった）	×	・弁がひっかかり等の異常がなく正常に動作すること及び出力（圧力：20.0～100.0kPa）が健全であることを確認した。
			減圧弁	③ I／P変換器用減圧弁不良	減圧弁の健全性を確認 ・減圧弁の圧力設定を確認する。（設定圧力：0.140MPa　判定基準：0.100MPa以上）	・付属圧力計にて測定結果異常なし（A：0.140MPa，C：0.142MPa） （B弁と同様な結果であった）	×	・付属圧力計にて測定結果異常なし（0.140MPa）
				④ ポジショナー用減圧弁不良	減圧弁の健全性を確認 ・減圧弁の圧力設定を確認する。（設定圧力：0.45MPa　判定基準：0.44MPa以上）	・付属圧力計にて測定結果異常なし（A：0.45MPa，C：0.45MPa） （B弁と同様な結果であった）	×	・付属圧力計にて測定結果異常なし（0.45MPa）
				③④ 空気の漏えい	弁駆動用および制御用空気の漏えい確認 ・石鹸水により弁駆動用および制御用空気の漏えいの有無を確認する。	・漏えいなし	×	・漏えいなし
		⑤	ポジショナ部	特性不良	模擬信号入力にて弁開閉を行い、弁の動作を確認するとともにポジショナの出力（ダイヤフラム圧力）を確認 ・弁の開閉動作が正常であること。また、模擬信号入力に対して出力（圧力：0～0.44MPa）を確認する。	・弁がひっかかり等の異常がなく正常に動作すること及び出力（圧力：0～0.44MPa）を確認した。（B弁と同様な結果であった）	×	・弁がひっかかり等の異常がなく正常に動作すること及び出力（圧力：0～0.44MPa）を確認した。
				空気の漏えい	弁駆動用および制御用空気の漏えい確認 ・石鹸水により弁駆動用および制御用空気の漏えいの有無を確認する。	・漏えいなし	×	・駆動用空気系でカニ泡程度の極く微量な漏えいが認められたが、動作機能に影響があるものではなかった。
	弁本体不良	⑥	グランド押さえグランド	片締め	片締め確認 ・グランド押さえボルトの寸法を測定し確認する。	・異常なし（B弁と同様な結果であった）	×	・異常なし
				締め過ぎ	締め付け確認 ・過剰な締め付けでないことを確認する。 （初期締付トルク基準値：11～15N・m）	・異常なし（A：4.0／0.5N・m，C：5.0／5.0N・m） （B弁と同様な結果であった）	×	・異常なし（10.0／7.0N・m）
		⑦	パッキン（グランド）	摺動抵抗増加	外観目視確認 ・パッキン（グランド）に含まれる金属成分が内面に露出していないことを確認する。	・金属成分の露出なし （B弁と同様な結果であった）	×	・金属成分の露出なし
		⑧	ランタンリング	焼きつき	外観目視確認 ・分解時、ランタンリングに焼きつきがないことを確認する。	・ランタンリングに焼き付きなし （B弁と同様な結果であった）	×	・ランタンリングに焼き付きなし
				変形	外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形がないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形なし （B弁と同様な結果であった）	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形なし
		⑨	パッキン止め（グランド）	変形	外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形がないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形なし （B弁と同様な結果であった）	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある変形なし
		⑩	弁棒	曲がり	偏心確認 ・分解時、弁棒に曲がりがないことを、偏心測定により確認する。（許容値：10／100mm以下）	・異常なし（A：①4／100mm ②1／100mm　①プラグ （C：①1／100mm ②1／100mm）　②弁棒 （B弁と同様な結果であった）	×	・異常なし （①：2／100mm　②：1／100mm）
				焼き付き	外観目視確認 ・分解時、摺動部に焼き付き跡がないことを確認する。	・摺動部に焼き付き跡なし （B弁と同様な結果であった）	×	・摺動部に焼き付き跡なし
				傷・バリの発生	外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある傷・バリがないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある傷・バリなし （B弁と同様な結果であった）	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある傷・バリなし
				腐食	外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食がないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食なし （B弁と同様な結果であった）	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食なし
				弁棒・ヨークの連結不良	外観目視確認 ・分解時、連結部に緩み、がたつきがないことを確認する。	・連結部に緩み、がたつきなし （B弁と同様な結果であった）	×	・連結部に緩み、がたつきなし
		⑪	ガスケット	食い込み	外観目視確認 ・分解時、ボンネットガスケット及び、ケージ（弁座）ガスケットに食い込みによる偏りがないことを確認する。	・ボンネットガスケット及び、ケージ（弁座）ガスケットに食い込みによる偏りなし（B弁と同様な結果であった）	×	・ボンネットガスケット及び、ケージ（弁座）ガスケットに食い込みによる偏りなし
		⑫	プラグ（弁体）ケージ（弁座）	弁体噛み込み	外観目視確認 ・分解時、プラグ（弁体）とケージ（弁座）に噛み込み傷がないことを確認する。 クリアランスが許容範囲（12.0/100～21.0/100mm）以内であること。	・プラグ（弁体）とケージ（弁座）に噛み込み傷なし クリアランス　A：13.0／100mm，C：12.5／100mm （B弁と同様な結果であった）	×	・プラグ（弁体）とケージ（弁座）に噛み込み傷なし クリアランス　13.5～14.0／100mm
				異物噛み込み	外観目視確認 ・分解時、プラグ（弁体）とケージ（弁座）に異物がないことを確認する。	・プラグ（弁体）とケージ（弁座）に異物なし （弁シート面には、肌荒れやピット状のくぼみはなかった）	×	・プラグ（弁体）とケージ（弁座）に異物なし （なお、弁シート面に肌荒れやピット状のくぼみが確認された）
				腐食	外観目視確認 ・分解時、機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食がないことを確認する。	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食なし （B弁と同様な結果であった）	×	・機能、性能に影響を及ぼすおそれのある腐食なし
	弁駆動部不良	⑬	駆動用バネ	バネ噛み込み	外観目視確認 ・弁開閉動作にて、健全性（異音、振動のないこと）を確認する。 ・分解を行いバネの噛み込みがないことを確認する。	・異音、振動なし ・バネの噛み込みなし （B弁と同様な結果であった）	×	・異音、振動なし ・バネの噛み込みなし
				バネ曲り、変形	外観目視確認 ・弁開閉動作にて、健全性（異音、振動のないこと）を確認する。 ・分解を行いバネが駆動部内面に接触してないことを確認する。	・異音、振動なし ・バネと駆動部内面の接触なし （B弁と同様な結果であった）	×	・異音、振動なし ・バネと駆動部内面の接触なし
		⑭	ヨーク・ボンネット	噛み込み・擦れ	現地弁動作状況 ・弁開閉動作にて、健全性（異音、振動のないこと）を確認する。 ・分解を行いヨークがフレームに接触してないことを確認する。	・異音、振動なし ・ヨークとフレームの接触なし （B弁と同様な結果であった）	×	・異音、振動なし ・ヨークとフレームの接触なし
				変形・曲がり	外観目視確認 ・各部目視にて確認し、変形・ひずみがないことを確認する。	・変形・ひずみなし（B弁と同様な結果であった）	×	・変形・ひずみなし
		⑮	ダイヤフラム部	噛み込み焼き付き	外観目視確認 ・弁開閉動作にて、健全性（異音、振動のないこと）を確認する。 ・異物の噛み込みや焼き付きがないことを確認する。	・異音、振動なし ・異物の噛み込みや焼き付きなし （B弁と同様な結果であった）	×	・異音、振動なし ・異物の噛み込みや焼き付きなし
				空気の漏えい	弁駆動用空気の漏えい確認 ・石鹸水により弁駆動用空気の漏えいの有無を確認する。	・漏えいなし	×	・カニ泡程度の極く微量な漏えいが認められたが、動作機能に影響があるものではなかった。
	制御系（手動操作器除く）、弁本体、弁駆動部の不良	②～⑮	制御系（手動操作器除く）、弁本体、弁駆動部	水分の付着衝撃による変形	外観目視確認 ・水分の付着または付着した痕跡、衝撃による変形がないことを確認する。 ・弁開閉動作時、水分の付着及び衝撃による変形が要因となる動作不良がないことを確認する。	・水分の付着または付着した痕跡、衝撃による変形なし ・開閉動作良好 （B弁と同様な結果であった）	×	・水分の付着または付着した痕跡、衝撃による変形なし ・開閉動作良好
	配管系統の不良		逆止弁	動作不良	外観目視確認 ・分解時、逆止弁の弁体がスムーズに作動することを確認する。	・動作良好 （B弁と同様な結果であった）	×	・動作良好
				シート不良	外観目視確認 ・分解時、逆止弁のシート当たりが得られていることを確認する。	・異常なし （B弁と同様な結果であった）	×	・異常なし
			系統圧力	事故時の圧力変動	パラメータ確認 ・事故時のパラメータにより補助給水系統に異常な圧力変動がないことを確認する。	・異常な圧力変動はなかったが、弁出口側に開放力を上回る系統圧力が加わっていた可能性が考えられる。	○	

補助給水流量制御弁点検箇所図

3HCV－3120　A補助給水流量制御弁
3HCV－3122　C補助給水流量制御弁



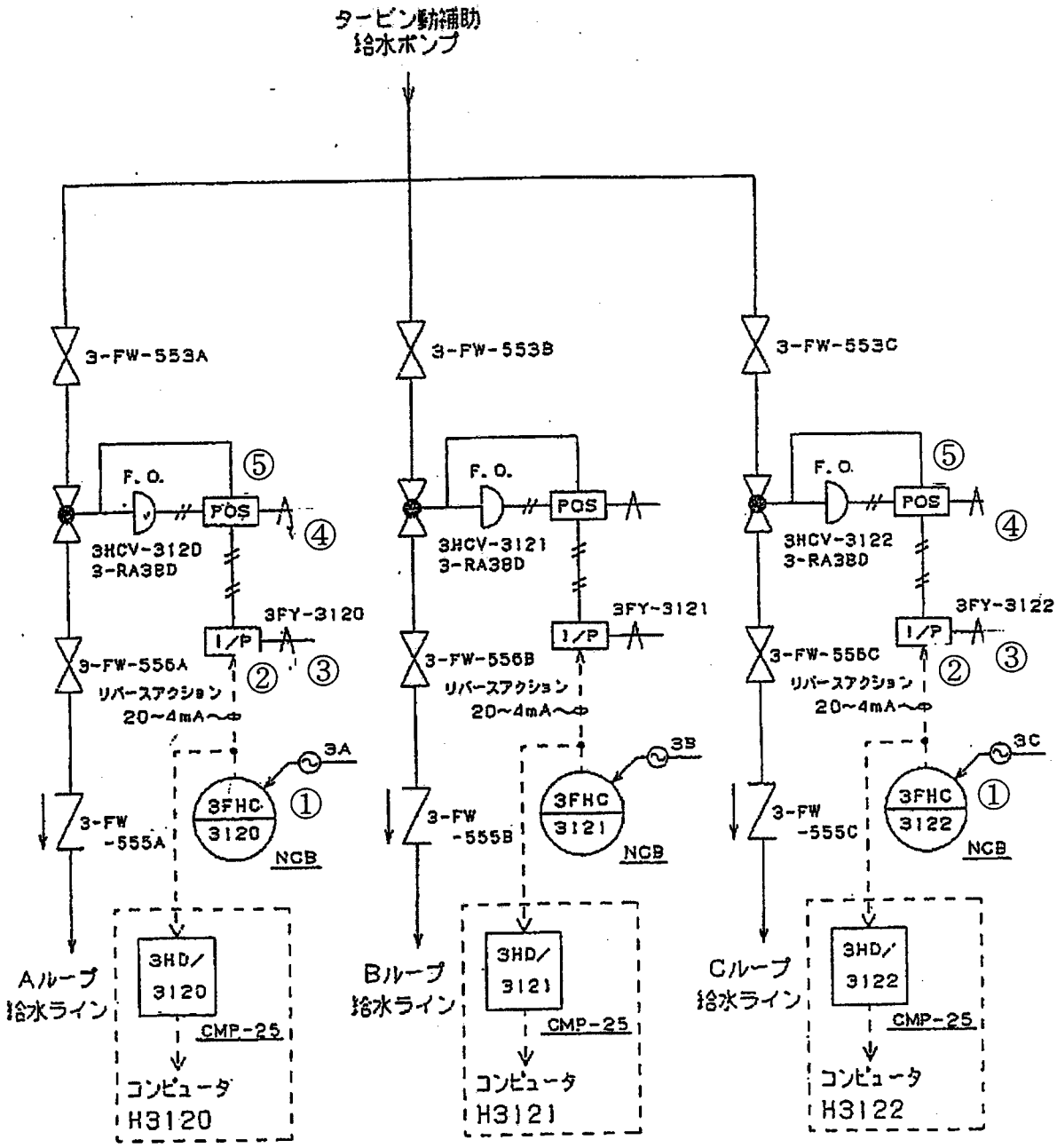
単位:mm

塗りつぶし箇所:作動部
斜　線　箇　所:固定部

概略図
(全閉状態)

	主要部位の材質		
	HCV－3120	HCV－3122	HCV－3121(参考)
プラグ(弁体)	SUS440C	A276, 440C	SUS440C
ケージ(弁座)	SUS420J2	SUS420J2	SUS420J2
弁棒	SUS630	A276, 440C	SUS630
ボディー	A217, WC－6	A217, WC－6	A217, WC－6

補助給水流量制御弁点検箇所図



３Ａループ補助給水流量制御
３Ｂループ補助給水流量制御
３Ｃループ補助給水流量制御

手動操作器動作確認結果

(1)手動操作器作動確認

<table>
<tr><th>点検対象機器</th><th>点　検　内　容　及　び　判　定　基　準</th><th>結　果</th></tr>
<tr><td rowspan="3">3HCV－3120
A補助給水流量制御弁
用 手動操作器</td><td>手動操作器のダイヤルを操作し、操作器の出力信号を 0～100％までステップ状に変化させ、上げ下げの 6 点、合計 12 点について出力を記録する。</td><td rowspan="3">異常なし</td></tr>
<tr><td>（判定基準）　　標準値±2mV</td></tr>
<tr><td>点検データ　（最大誤差　+1.5mV，-1.6mV）
<table>
<tr><th rowspan="2">ポイント</th><th colspan="2">標準出力</th><th>標準値</th><th>UP</th><th>DOWN</th></tr>
<tr><th>(mA)</th><th>目盛</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>4.00</td><td>100.0</td><td>100.0</td><td>100.0</td><td>100.1</td></tr>
<tr><td>2</td><td>7.20</td><td>80.0</td><td>180.0</td><td>179.2</td><td>179.3</td></tr>
<tr><td>3</td><td>10.40</td><td>60.0</td><td>260.0</td><td>258.4</td><td>259.8</td></tr>
<tr><td>4</td><td>13.60</td><td>40.0</td><td>340.0</td><td>339.7</td><td>340.2</td></tr>
<tr><td>5</td><td>16.80</td><td>20.0</td><td>420.0</td><td>421.5</td><td>421.5</td></tr>
<tr><td>6</td><td>20.00</td><td>0.0</td><td>500.0</td><td>500.3</td><td>499.9</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td rowspan="3">3HCV－3122
C補助給水流量制御弁
用 手動操作器</td><td>手動操作器のダイヤルを操作し、操作器の出力信号を 0～100％までステップ状に変化させ、上げ下げの 6 点、合計 12 点について出力を記録する。</td><td rowspan="3">異常なし</td></tr>
<tr><td>（判定基準）　　標準値±2mV</td></tr>
<tr><td>点検データ　（最大誤差　+1.5mV，-1.5mV）
<table>
<tr><th rowspan="2">ポイント</th><th colspan="2">標準出力</th><th>標準値</th><th>UP</th><th>DOWN</th></tr>
<tr><th>(mA)</th><th>目盛</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>4.00</td><td>100.0</td><td>100.0</td><td>99.6</td><td>99.2</td></tr>
<tr><td>2</td><td>7.20</td><td>80.0</td><td>180.0</td><td>178.6</td><td>179.6</td></tr>
<tr><td>3</td><td>10.40</td><td>60.0</td><td>260.0</td><td>258.5</td><td>259.8</td></tr>
<tr><td>4</td><td>13.60</td><td>40.0</td><td>340.0</td><td>340.3</td><td>340.0</td></tr>
<tr><td>5</td><td>16.80</td><td>20.0</td><td>420.0</td><td>421.2</td><td>421.5</td></tr>
<tr><td>6</td><td>20.00</td><td>0.0</td><td>500.0</td><td>500.8</td><td>500.7</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

手動操作器動作確認結果

(2)手動操作器操作による弁作動確認

<table>
<tr><th>点検対象機器</th><th>点　検　内　容　及　び　判　定　基　準</th><th>結　果</th></tr>
<tr><td rowspan="4">3HCV－3121
B補助給水流量
制御弁</td><td>手動操作器により開閉操作を実施し、弁の全開・全閉動作が正常であることを確認する。
<table>
<tr><th rowspan="2">操作器出力</th><th colspan="2">弁開度</th><th rowspan="2">判定基準</th></tr>
<tr><th>標準値</th><th>指示値</th></tr>
<tr><td rowspan="3">全閉
↓
全開
↓
全閉</td><td rowspan="3">全閉
↓
全開
↓
全閉</td><td>全閉</td><td rowspan="3">ひっかかり等がなくスムーズに作動すること</td></tr>
<tr><td>全開</td></tr>
<tr><td>全閉</td></tr>
</table></td><td>異常なし</td></tr>
<tr><td>手動操作器のダイヤルを操作し、操作器の出力信号を 0～100％までステップ状に変化させ、上げ下げの 6 点、合計 12 点について出力を記録する。</td><td rowspan="3">異常なし</td></tr>
<tr><td>（判定基準）　標準値±2mV</td></tr>
<tr><td>点検データ　（最大誤差　+1.5mV，-0.6mV）
<table>
<tr><th rowspan="2">ポイント</th><th colspan="2">標準出力</th><th>標準値</th><th>UP</th><th>DOWN</th></tr>
<tr><th>(mA)</th><th>目盛</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th><th>(mV)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>4.00</td><td>100.0</td><td>100.0</td><td>99.8</td><td>99.4</td></tr>
<tr><td>2</td><td>7.20</td><td>80.0</td><td>180.0</td><td>179.9</td><td>180.0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>10.40</td><td>60.0</td><td>260.0</td><td>259.6</td><td>260.2</td></tr>
<tr><td>4</td><td>13.60</td><td>40.0</td><td>340.0</td><td>339.5</td><td>340.6</td></tr>
<tr><td>5</td><td>16.80</td><td>20.0</td><td>420.0</td><td>421.2</td><td>421.5</td></tr>
<tr><td>6</td><td>20.00</td><td>0.0</td><td>500.0</td><td>500.8</td><td>501.3</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

模擬信号入力による弁動作確認結果

1．A，C弁動作確認

（1）模擬入力信号（現地）による弁動作確認

点検対象機器	点検内容及び判定基準	結果
3HCV－3120 A補助給水流量制御弁	基準入力を 0～100％までランプ状に変化させ、弁の開閉動作を行い、応答性を記録する。	異常なし
	（判定基準） ・ひっかかり等がなくスムーズに作動すること ・ポジショナ出力が 0～0.44MＰａまで変化すること	
3HCV－3122 C補助給水流量制御弁	基準入力を 0～100％までランプ状に変化させ、弁の開閉動作を行い、応答性を記録する。	異常なし
	（判定基準） ・ひっかかり等がなくスムーズに作動すること ・ポジショナ出力が 0～0.44MＰａまで変化すること	

模擬信号入力による弁動作確認結果

（2）Ｉ／Ｐ変換器単体動作確認

<table>
<tr><th>点検対象機器</th><th>点　検　内　容　及　び　判　定　基　準</th><th>結　果</th></tr>
<tr><td rowspan="3">３ＨＣＶ－３１２０
Ａ補助給水流量制御弁用　Ｉ／Ｐ変換器</td><td>基準入力を 0～100％までステップ状に変化させ、上げ下げの５点、合計 10 点について出力を記録する。</td><td rowspan="3">異常なし</td></tr>
<tr><td>（判定基準）標準値±0.80ｋＰａ以下であること</td></tr>
<tr><td>点検データ　（最大誤差　+0.47kPa，-0.56kPa）
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">基準入力</th><th colspan="3">I／P変換器出力</th></tr>
<tr><th>標準</th><th>上げ</th><th>下げ</th></tr>
<tr><th>%</th><th>mA</th><th>kPa</th><th>kPa</th><th>kPa</th></tr>
<tr><td>0</td><td>4</td><td>20.0</td><td>20.47</td><td>20.47</td></tr>
<tr><td>25</td><td>8</td><td>40.0</td><td>39.96</td><td>40.27</td></tr>
<tr><td>50</td><td>12</td><td>60.0</td><td>59.73</td><td>60.07</td></tr>
<tr><td>75</td><td>16</td><td>80.0</td><td>79.60</td><td>79.86</td></tr>
<tr><td>100</td><td>20</td><td>100.0</td><td>99.44</td><td>99.54</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td rowspan="3">３ＨＣＶ－３１２２
Ｃ補助給水流量制御弁用　Ｉ／Ｐ変換器</td><td>基準入力を 0～100％までステップ状に変化させ、上げ下げの５点、合計 10 点について出力を記録する。</td><td rowspan="3">異常なし</td></tr>
<tr><td>（判定基準）標準値±0.80ｋＰａ以下であること</td></tr>
<tr><td>点検データ　（最大誤差　+0.29kPa，-0.07kPa）
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">基準入力</th><th colspan="3">I／P変換器出力</th></tr>
<tr><th>標準</th><th>上げ</th><th>下げ</th></tr>
<tr><th>%</th><th>mA</th><th>kPa</th><th>kPa</th><th>kPa</th></tr>
<tr><td>0</td><td>4</td><td>20.0</td><td>20.16</td><td>20.29</td></tr>
<tr><td>25</td><td>8</td><td>40.0</td><td>39.95</td><td>40.21</td></tr>
<tr><td>50</td><td>12</td><td>60.0</td><td>59.93</td><td>60.17</td></tr>
<tr><td>75</td><td>16</td><td>80.0</td><td>79.95</td><td>80.14</td></tr>
<tr><td>100</td><td>20</td><td>100.0</td><td>99.99</td><td>100.02</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

模擬信号入力による弁動作確認結果

2．B弁動作確認

（1）模擬入力信号（現地）による弁動作確認

a．ランプ応答試験

点検対象機器	点検内容及び判定基準	結果
3HCV－3121 B補助給水流量 制御弁	基準入力を 0～100％までランプ状に変化させ、弁の開閉動作を行い、応答性を記録する。 （判定基準） ・ひっかかり等がなくスムーズに作動すること ・ポジショナ出力が 0～0.44MPａまで変化すること	異常なし

b．２５％ステップ応答試験

点検対象機器	点検内容及び判定基準	結果
3HCV－3121 B補助給水流量 制御弁	基準入力を 0～100％の範囲で 25％ステップ状に変化させ、弁の開閉動作を行い、応答性を記録する。 （判定基準） ・ひっかかり等がなくスムーズに作動すること ・ポジショナ出力が 0～0.44MPａまで変化すること	異常なし

（2）Ｉ／Ｐ変換器単体動作確認

点検対象機器	点検内容及び判定基準	結果
3HCV－3121 B補助給水流量制御弁 用 Ｉ／Ｐ変換器	基準入力を 0～100％までステップ状に変化させ、上げ下げの５点、合計 10 点について出力を記録する。 （判定基準）標準値±0.80ｋＰａ以下であること 点検データ　（最大誤差　+0.31kPa，-0.03kPa）	異常なし

基準入力		Ｉ／Ｐ変換器出力		
		標準	上げ	下げ
%	mA	kPa	kPa	kPa
0	4	20.0	20.16	20.31
25	8	40.0	39.97	40.20
50	12	60.0	59.99	60.20
75	16	80.0	80.05	80.25
100	20	100.0	100.06	100.09

減圧弁設定値確認結果

点検対象機器	点検内容及び判定基準	結果
3HCV－3120 A補助給水流量制御弁用 減圧弁	Ⅰ／P変換器用　設定値0.140MPa（0.100MPa以上） 付属圧力計による読取値　0.140（MPa）	異常なし
	ポジショナー用　設定値0.45MPa（0.44MPa以上） 付属圧力計による読取値　0.45（MPa）	
3HCV－3121 B補助給水流量制御弁用 減圧弁	Ⅰ／P変換器用　設定値0.140MPa（0.100MPa以上） 付属圧力計による読取値　0.140（MPa）	異常なし
	ポジショナー用　設定値0.45MPa（0.44MPa以上） 付属圧力計による読取値　0.45（MPa）	
3HCV－3122 C補助給水流量制御弁用 減圧弁	Ⅰ／P変換器用　設定値0.140MPa（0.100MPa以上） 付属圧力計による読取値　0.142（MPa）	異常なし
	ポジショナー用　設定値0.45MPa（0.44MPa以上） 付属圧力計による読取値　0.45（MPa）	

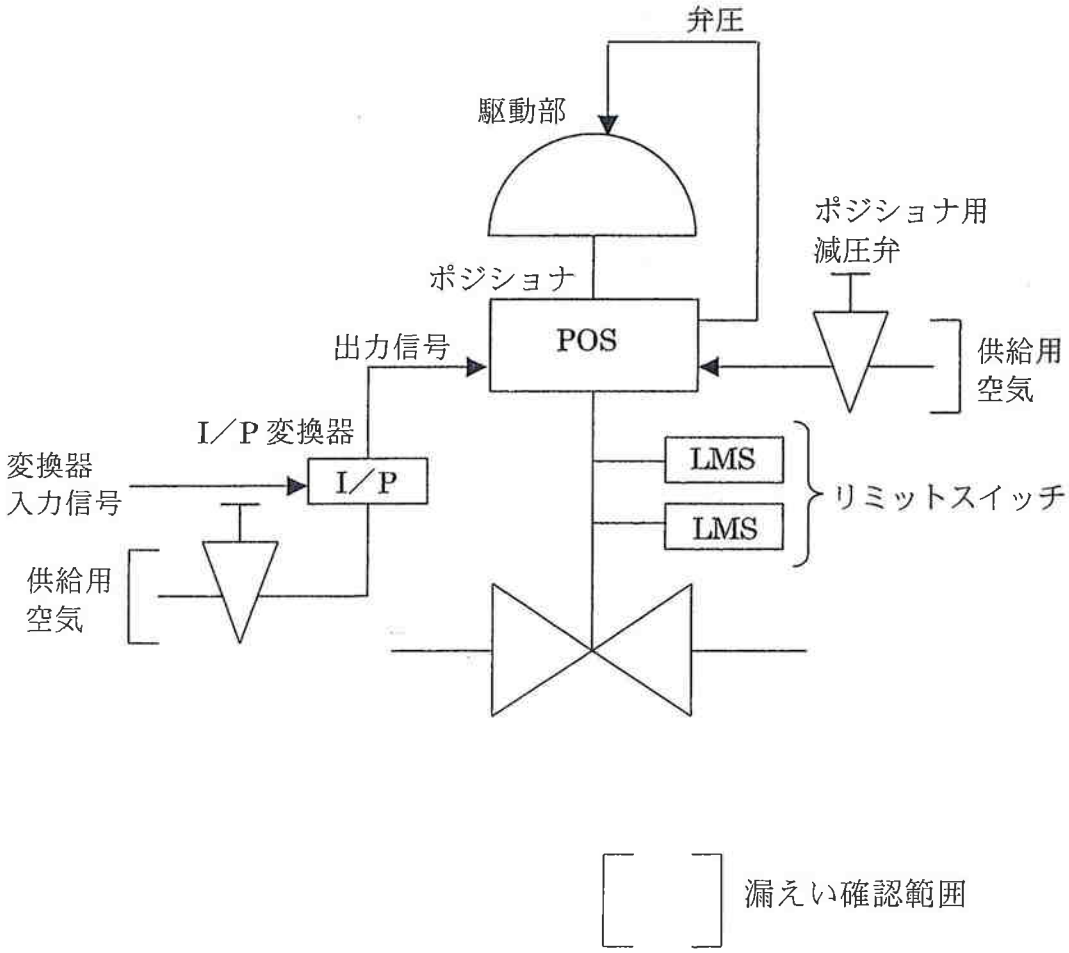
外観点検結果

点検対象機器	点検内容及び判定基準	結果
3HCV－3120 A補助給水流量 制御弁	水分の付着又は付着した痕跡、衝撃による変形がないことを確認する。	
	・電空変換器	異常なし
	・減圧弁	異常なし
	・ポジショナ	異常なし
	・弁駆動部	異常なし
3HCV－3121 B補助給水流量 制御弁	水分の付着又は付着した痕跡、衝撃による変形がないことを確認する。	
	・電空変換器	異常なし
	・減圧弁	異常なし
	・ポジショナ	異常なし
	・弁駆動部	異常なし
3HCV－3122 C補助給水流量 制御弁	水分の付着又は付着した痕跡、衝撃による変形がないことを確認する。	
	・電空変換器	異常なし
	・減圧弁	異常なし
	・ポジショナ	異常なし
	・弁駆動部	異常なし

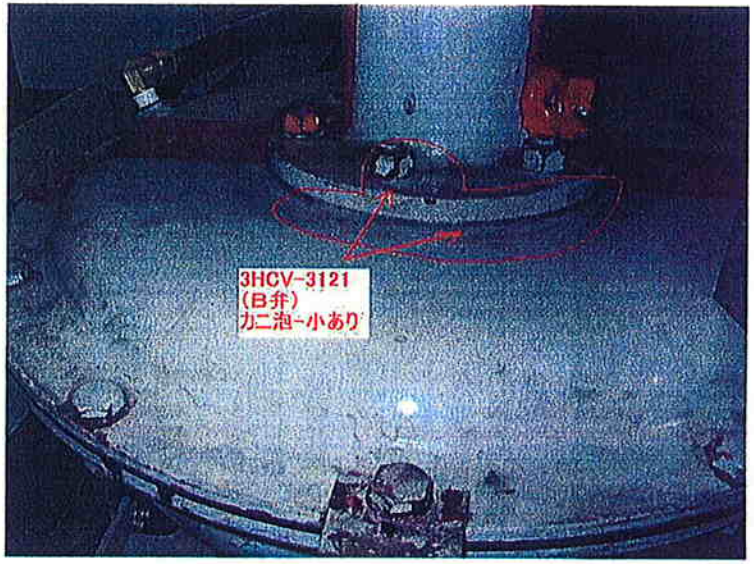
弁駆動用及び制御用空気漏えい確認結果

点検対象機器	点検内容及び判定基準	結果
3HCV－3120 A補助給水流量 制御弁	・弁駆動部、ポジショナ他制御系機器及びそれらを接続する計装配管継手部等に石鹸水をかけ漏えいのないことを確認する。	異常なし
3HCV－3121 B補助給水流量 制御弁	・弁駆動部、ポジショナ他制御系機器及びそれらを接続する計装配管継手部等に石鹸水をかけ漏えいのないことを確認する。	駆動空気系でカニ泡程度の極微量な漏えいが認められたが、動作機能に影響があるものではなかった。
3HCV－3122 C補助給水流量 制御弁	・弁駆動部、ポジショナ他制御系機器及びそれらを接続する計装配管継手部等に石鹸水をかけ漏えいのないことを確認する。	異常なし

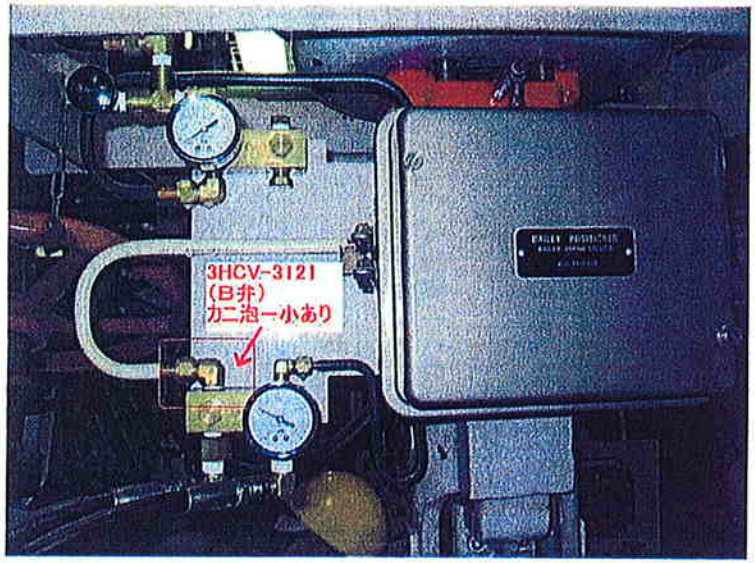
弁駆動用及び制御用空気漏えい確認結果



B弁駆動部上部の手動ハンドル付け根部付近で極く僅かな漏えいを確認



B弁ポジショナ供給空気配管継ぎ手部（ブロック部）で極く僅かな漏えいを確認



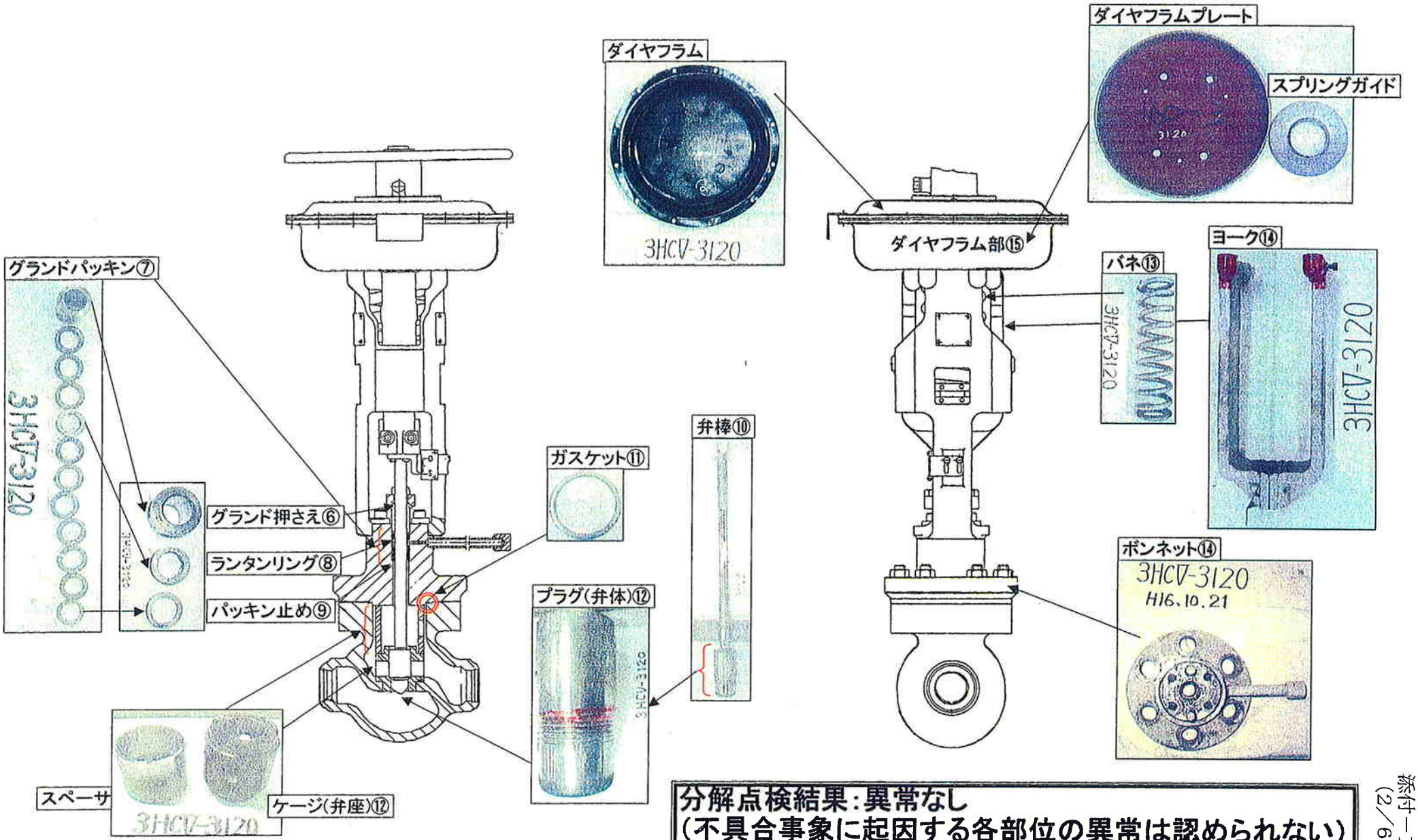
補助給水流量制御弁分解点検結果

１．弁本体分解点検

３ＨＣＶ－３１２０　Ａ補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結　果	備　考
グランド押さえ	片締め	異常なし	
	締め過ぎ	測定値：4.0/0.5 N·m ·グランド緩めており参考値	初期締付けトルク基準値 11.0～15.0N·m
パッキン （グランド）	摺動抵抗増加	異常なし	
ランタンリング	焼きつき	異常なし	
	変形	異常なし	
パッキン止め （グランド）	変形	異常なし	
弁棒	曲がり	異常なし 測定値 ①プラグ：　4/100 mm ②弁 棒　：　1/100 mm	許容値 10/100mm 以下
	焼きつき	異常なし	
	傷・バリの発生	異常なし	
	腐食	異常なし	
	弁棒・ヨークの連結 不良	異常なし	
ガスケット	食い込み	異常なし	
プラグ（弁体） ケージ（弁座）	弁体噛み込み	異常なし 測定値：　13.0/100 mm	許容範囲（クリアランス） 12.0/100 ～21.0/100mm 以内
	異物噛み込み	異常なし	
	腐食	異常なし	

A補助給水流量制御弁分解点検結果（3HCV-3120）



分解点検結果：異常なし
（不具合事象に起因する各部位の異常は認められない）

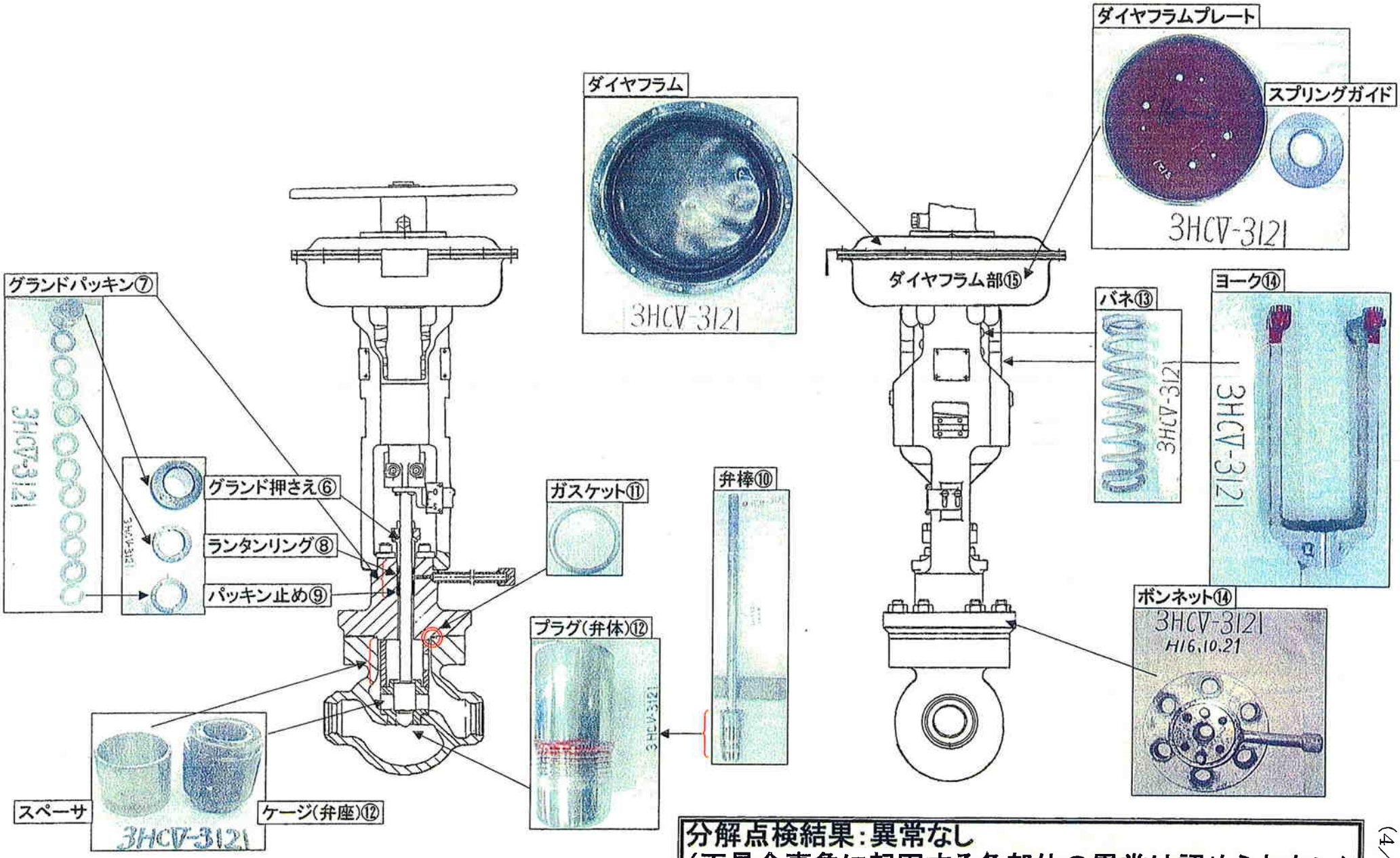
補助給水流量制御弁分解点検結果

２．弁本体分解点検

３ＨＣＶ－３１２１　Ｂ補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結　果	備　考
グランド押さえ	片締め	異常なし	
	締め過ぎ	異常なし 測定値：10.0/7.0 N·m	初期締付けトルク基準値 11.0～15.0N·m
パッキン （グランド）	摺動抵抗増加	異常なし	
ランタンリング	焼きつき	異常なし	
	変形	異常なし	
パッキン止め （グランド）	変形	異常なし	
弁棒	曲がり	異常なし 測定値 ①プラグ：　2/100 mm ②弁 棒 ：　1/100 mm	許容値 10/100mm 以下
	焼きつき	異常なし	
	傷・バリの発生	異常なし	
	腐食	異常なし	
	弁棒・ヨークの連結不良	異常なし	
ガスケット	食い込み	異常なし	
プラグ（弁体） ケージ（弁座）	弁体噛み込み	異常なし 測定値：13.5～14/100 mm	許容範囲（クリアランス） 12.0/100 ～21.0/100mm以内
	異物噛み込み	異常なし	
	腐食	異常なし	

B補助給水流量制御弁分解点検結果（3HCV-3121）



分解点検結果：異常なし
（不具合事象に起因する各部位の異常は認められない）

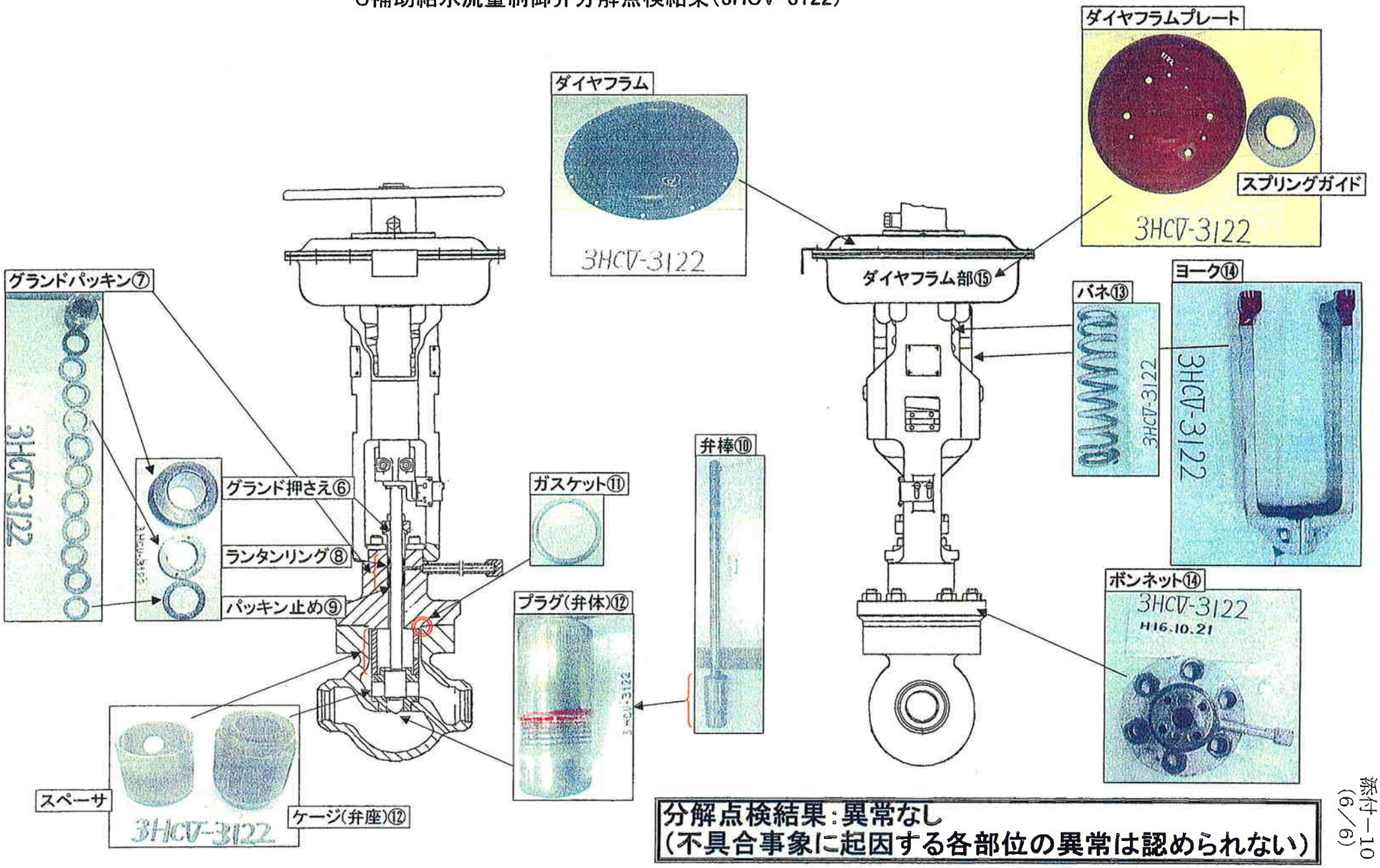
補助給水流量制御弁分解点検結果

３．弁本体分解点検

３ＨＣＶ－３１２２　Ｃ補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結　果	備　考
グランド押さえ	片締め	異常なし	
	締め過ぎ	測定値：5.0/5.0 N·m ·グランド緩めており参考値	初期締付けトルク基準値 11.0～15.0N·m
パッキン （グランド）	摺動抵抗増加	異常なし	
ランタンリング	焼きつき	異常なし	
	変形	異常なし	
パッキン止め （グランド）	変形	異常なし	
弁棒	曲がり	異常なし 測定値 ①プラグ：1/100 mm ②弁 棒 ：1/100 mm	許容値 10/100mm 以下
	焼きつき	異常なし	
	傷・バリの発生	異常なし	
	腐食	異常なし	
	弁棒・ヨークの連結不良	異常なし	
ガスケット	食い込み	異常なし	
プラグ（弁体） ケージ（弁座）	弁体噛み込み	異常なし 測定値： 12.5/100	許容範囲（クリアランス） 12.0/100 ～21.0/100mm 以内
	異物噛み込み	異常なし	
	腐食	異常なし	

C補助給水流量制御弁分解点検結果(3HCV-3122)



分解点検結果：異常なし
(不具合事象に起因する各部位の異常は認められない)

弁駆動部分解点検結果

４．弁駆動部分解点検

(1) ３ＨＣＶ－３１２０　Ａ補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結　果
バネ	バネ噛み込み	異常なし
	バネ曲り、変形	異常なし
ヨーク・ボンネット	変形	異常なし
ダイヤフラム部	ダイヤフラム破損	異常なし
	焼きつき	異常なし

(2) ３ＨＣＶ－３１２１　Ｂ補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結　果
バネ	バネ噛み込み	異常なし
	バネ曲り、変形	異常なし
ヨーク・ボンネット	変形	異常なし
ダイヤフラム部	ダイヤフラム破損	異常なし
	焼きつき	異常なし

(3) ３ＨＣＶ－３１２２　Ｃ補助給水流量制御弁

点検対象部位	調査項目	結　果
バネ	バネ噛み込み	異常なし
	バネ曲り、変形	異常なし
ヨーク・ボンネット	変形	異常なし
ダイヤフラム部	ダイヤフラム破損	異常なし
	焼きつき	異常なし

補助給水ライン逆止弁分解点検結果

５．補助給水ライン逆止弁分解点検

(1) ３ＦＷ－５５５Ａ

点検対象部位	調査項目	結　果
弁　　体	シート不良	異常なし
弁　　棒	動作不良	異常なし
弁体アーム	動作不良	異常なし
弁　　座	シート不良	異常なし

(2) ３ＦＷ－５５５Ｂ

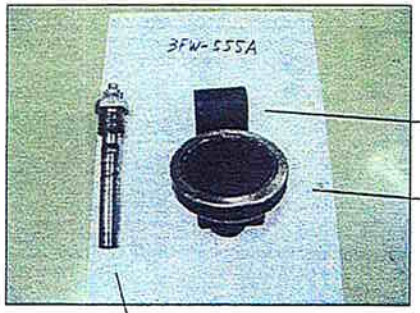
点検対象部位	調査項目	結　果
弁　　体	シート不良	異常なし
弁　　棒	動作不良	異常なし
弁体アーム	動作不良	異常なし
弁　　座	シート不良	異常なし

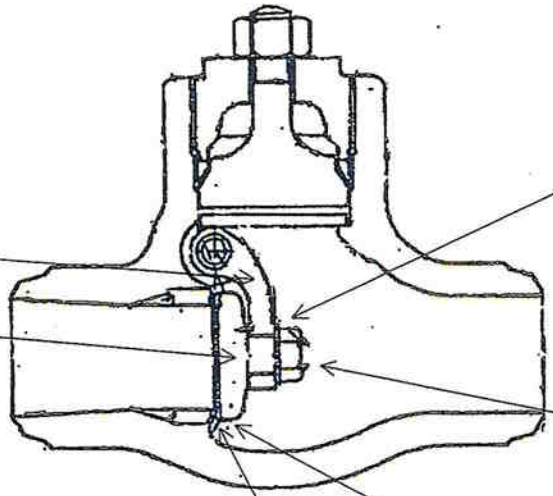
(3) ３ＦＷ－５５５Ｃ

点検対象部位	調査項目	結　果
弁　　体	シート不良	異常なし
弁　　棒	動作不良	異常なし
弁体アーム	動作不良	異常なし
弁　　座	シート不良	異常なし

補助給水ライン逆止弁分解点検結果
（3FW－555A）

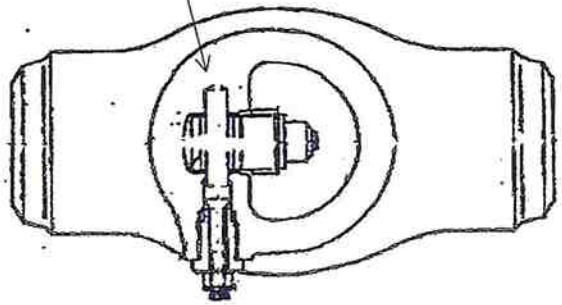
弁体、弁体アーム弁棒





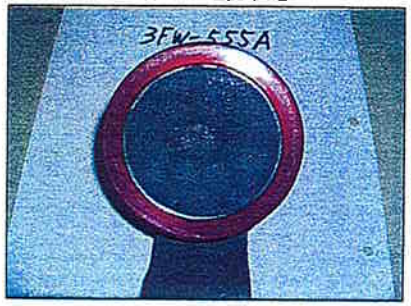
座金とアームの隙間確認状態

弁体作動確認状態



弁座当り確認状態

弁体当り確認状態



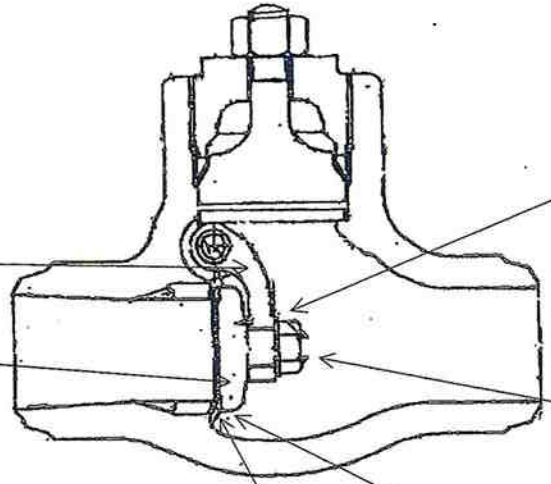
分解点検結果：異常なし

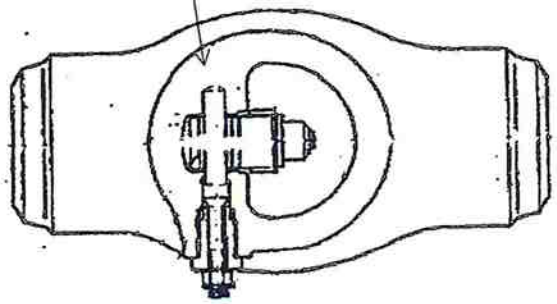
（不具合事象に起因する各部位の異常は認められない）

添付－12
（2／4）

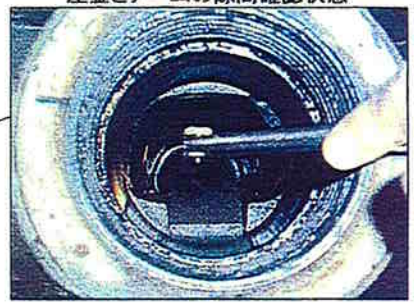
補助給水ライン逆止弁分解点検結果
（3FW－555B）

弁体、弁体アーム、弁棒

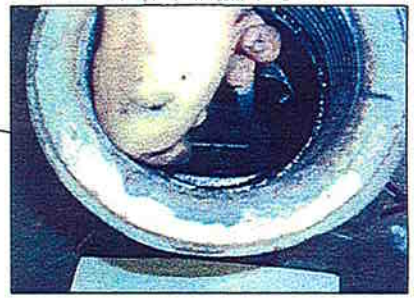




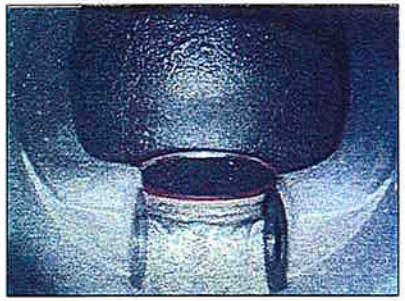
座金とアームの隙間確認状態



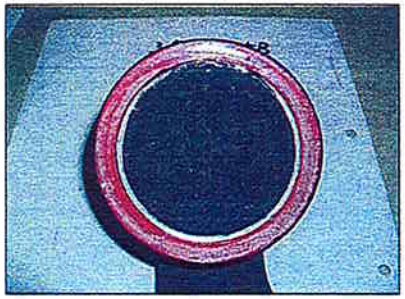
弁体作動確認状態



弁座当り確認状態



弁体当り確認状態

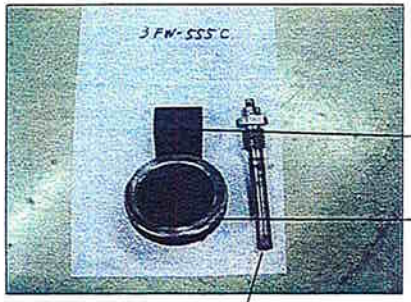


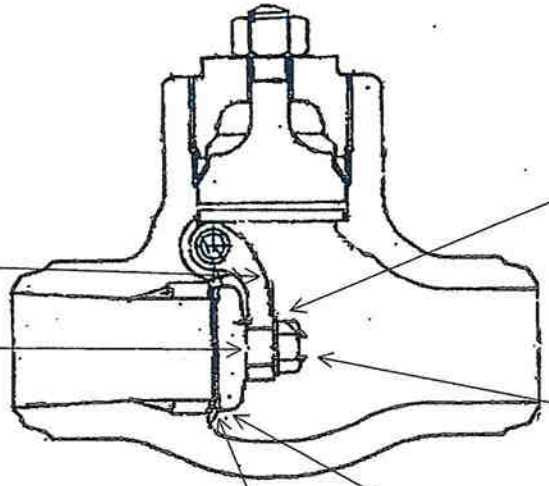
分解点検結果：異常なし

（不具合事象に起因する各部位の異常は認められない）

補助給水ライン逆止弁分解点検結果
（3FW－555C）

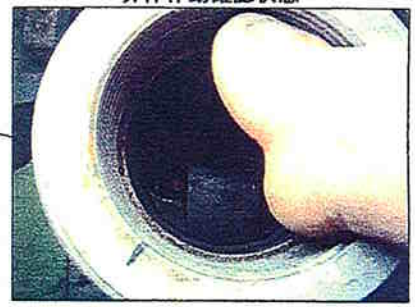
弁体、弁体アーム、弁棒

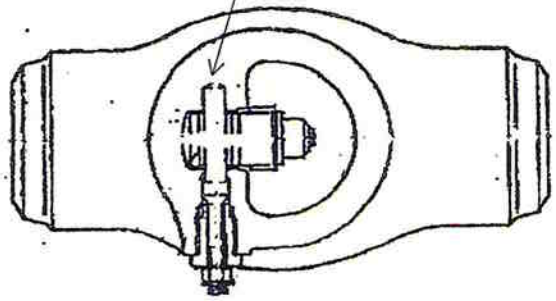




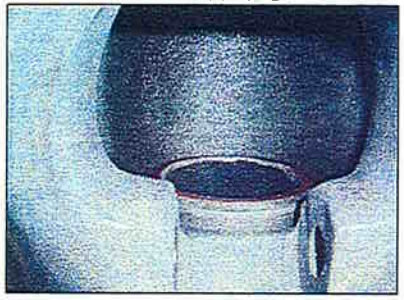
座金とアームの隙間確認状態

弁体作動確認状態





弁座当り確認状態



弁体当り確認状態

分解点検結果：異常なし

（不具合事象に起因する各部位の異常は認められない）

補助給水流量制御弁駆動部バネ定数計測結果

点検対象機器	バネ定数		計測値					結果
	規格値（kg／mm）	許容範囲（規格値の±5%以内）（kg／mm）	荷重点１		荷重点２		バネ定数（kg／mm）※	
			荷重 g1（kg）	高さ h1（mm）	荷重 g2（kg）	高さ h2（mm）		
A弁（３ＨＣＶ－３１２０）	16.15	15.3425 ～ 16.9575	165.3	460.25	984.0	409.27	16.06 [157.495N/mm]	異常なし
B弁（３ＨＣＶ－３１２１）			194.7	460.25	1020.0	409.27	16.19 [158.77N/mm]	異常なし
C弁（３ＨＣＶ－３１２２）			193.8	460.25	1043.0	409.27	16.66 [163.379N/mm]	異常なし

※バネ定数計算式

バネ定数＝（荷重点１における荷重－荷重点２における荷重）の絶対値／（荷重点１における高さ－荷重点２における高さ）の絶対値

＝（｜g1－g2｜）／（｜h1－h2｜）　（kg／mm）

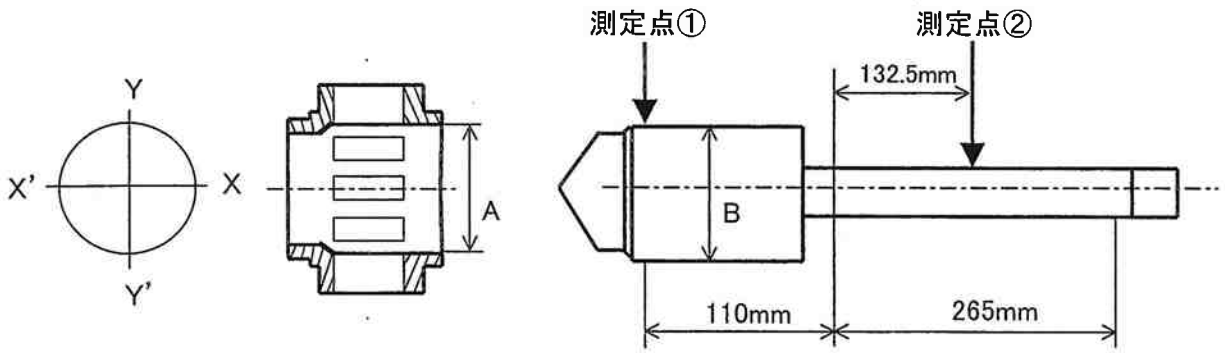
Ａ～Ｃ弁の弁棒、弁体（プラグ）、弁座（ケージ）の寸法測定結果

ガイドクリアランス測定　　単位：mm

	ケージ内径寸法 A（基準値：53.2mm）		プラグ径寸法 B（基準値：53.08mm）		クリアランス（基準値：0.12～0.21mm）	
	X－X'	Y－Y'	X－X'	Y－Y'	X－X'	Y－Y'
A弁（3HCV-3120）	53.20	53.20	53.07	53.07	0.13	0.13
B弁（3HCV-3121）	53.195	53.20	53.06	53.06	0.135	0.14
C弁（3HCV-3122）	53.20	53.20	53.075	53.075	0.125	0.125

偏芯測定　　単位：mm

	計測点①（許容値：0.1mm以下）	計測点②（許容値：0.1mm以下）
A弁（3HCV-3120）	0.04	0.01
B弁（3HCV-3121）	0.02	0.01
C弁（3HCV-3122）	0.01	0.01



弁座（ケージ）　弁体（プラグ）　弁棒

補助給水流量制御弁の設計について

1．プラント異常の影響緩和に対する補助給水流量制御弁の要求機能と弁仕様の確認

補助給水流量制御弁は、下表に示す通り、プラント異常が発生した時の影響緩和機能を要求されており、その機能が要求される時の系統状態に基づく弁の使用条件を設定して、これらを満足する弁仕様を決定している。

［要求機能］

機　能	概　要	系統上の設計条件	弁に対する要求事項
流量調整機能	タービン動補助給水ポンプによる給水流量を調整し、健全蒸気発生器による冷却を確保する	タービン動補助給水ポンプが運転していること	・左記の系統状態で給水（流量調整）が可能なこと ・左記の系統状態で駆動用空気源喪失した時にも、給水が可能なこと
破損蒸気発生器の切り離し機能	タービン動補助給水ポンプから破損蒸気発生器への給水を停止する	タービン動補助給水ポンプが運転していること	・タービン動補助給水ポンプが運転されている状態で、弁閉止が可能なこと

（備考）・プラント異常時に上記機能を果たすため、通常運転時は「開待機」を運用条件としている。

［設計条件および弁仕様］

弁に対する要求事項	弁使用条件	弁仕様
タービン動補助給水ポンプが運転している状態で、給水（流量調整）が可能なこと	流量:49.3t/h 入口圧力：95.0kg/cm^2 出口圧力：88.5kg/cm^2	・弁使用条件に基づき Cv 値 40 の弁を選定 ・駆動用空気源喪失時開（F.O：フェイルオープン）の型式の弁を選定
タービン動補助給水ポンプが運転している状態で、弁閉止が可能なこと	最大差圧：125kg/cm^2	・保守的に最高使用圧力を設定 ・差圧は順流方向に作用。順流方向の最大差圧に対して閉止可能な駆動力を選定
一般的な基本機能を満足すること ・開閉機能	最高使用圧力：125kg/cm^2 最高使用温度：40℃	・開閉機能は、要求機能に基づく弁使用条件の範囲で開閉できること

プラント異常の影響を緩和するための要求機能に対する設計条件については、前述のとおり検討されており、弁仕様に適正に反映されていることを確認した。

2．「開待機」状態の確立に対する弁仕様設計条件の確認

補助給水流量制御弁を「開待機」状態にする時の各系統状態が、設計条件に反映されているかを確認するために、以下の通り調査・確認を実施した。

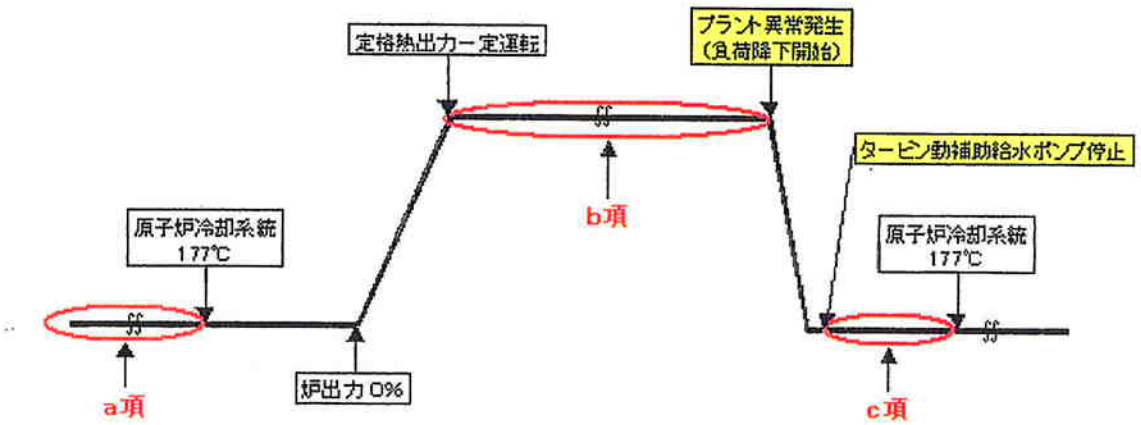
《補助給水流量制御弁に「開待機」を要求する系統条件》
補助給水系統は、原子炉冷却系統温度が 177℃以上の状態で自動待機状態が確立されていることが要求されていることから、補助給水流量制御弁としては、その系統状態で「開待機」状態が要求されている。

《系統条件による弁仕様設計条件》
弁仕様設計条件：「弁入口圧力≧弁出口圧力」を想定
（補助給水流量制御弁には、タービン動補助給水ポンプが起動状態で、補助給水の流量制御ならびに破損ＳＧの切り離しが出来ることが要求されていることから、弁使用中は順流方向の差圧が作用する。）

なお、補助給水流量制御弁の出口には逆止弁があり系統水が逆流しないことから、前述の機能要求範囲では、弁には順流方向にしか差圧が作用しないため、逆流方向に対する差圧を設計条件とはしていない。

（1）弁仕様設計条件に対する反映項目の有無確認
プラントの起動、運転、停止、異常緩和等の各系統状態において、当該弁を「開待機」とする操作時期としては、次の３パターンがあげられる。

［操作時期］ａ．プラント起動前の自動待機状態の確立操作時
ｂ．タービン動補助給水ポンプ定期試験完了後の復旧操作時
ｃ．補助給水系統によるプラント異常影響緩和後の復旧操作時

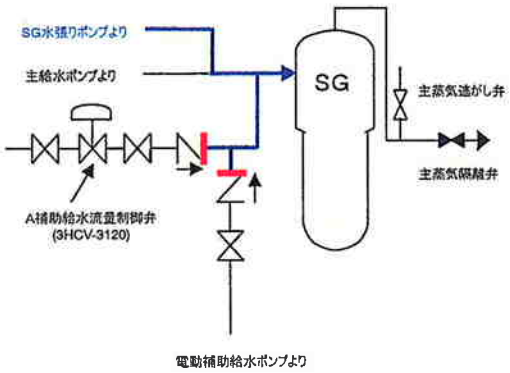


これらの操作時の系統状態について、当該弁の設計条件への反映状況を次の通り確認した。

ａ．プラント起動前の自動待機状態の確立操作時

この時期は、原子炉冷却系統温度が 177℃未満の状態で当該弁の「開待機」操作を行うが、このときの系統状態は、蒸気発生器の水張り系統による給水操作中であり、当該弁下流の逆止弁出口には水張り系統からの給水圧力が加わるが、当該弁の出口には逆止弁の働きにより圧力が加わらない状態である。。（弁入口圧力＝弁出口圧力）

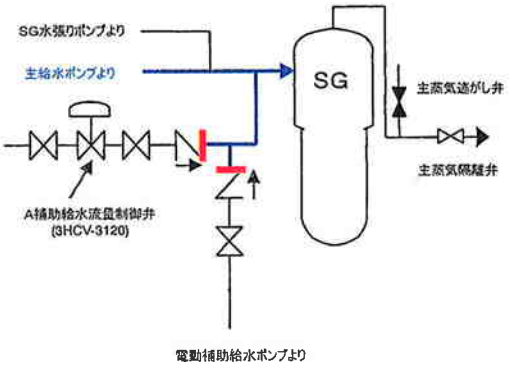
したがって、この系統状態は当該弁の設計条件内であることを確認した。



ｂ．タービン動補助給水ポンプ定期試験完了後の復旧操作時

タービン動補助給水ポンプは、プラント運転中に健全性確認のための定期試験を実施しており、これに伴い当該弁の閉止操作を行っている。このときの系統状態は、主給水系統による給水中であり、当該弁下流の逆止弁出口には主給水系統からの給水圧力が加わるが、当該弁の出口には逆止弁の働きにより圧力が加わらない状態である。
（弁入口圧力＝弁出口圧力）

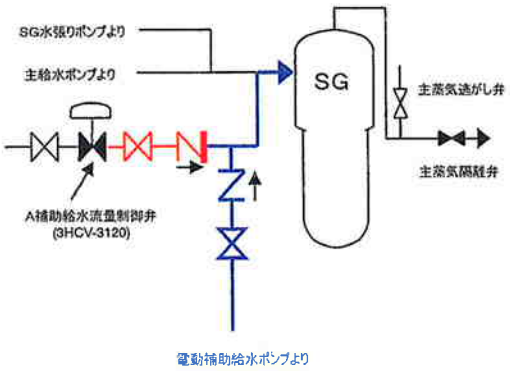
したがって、この系統状態は当該弁の設計条件内であることを確認した。



ｃ．補助給水系統によるプラント異常の影響緩和後の復旧操作時

原子炉トリップにより補助給水系が正常に機能して、１次系の除熱が適切に行われた場合、当該弁が閉止された後タービン動補助給水ポンプが停止され、その後同ポンプ系統を自動待機状態にするために当該弁の「開待機」操作が行なわれる。

このときの系統状態は今回の動作不具合発生時と同様に、当該弁が閉止され、続いて主蒸気隔離弁の閉止により主蒸気圧力が上昇し、逆止弁が閉止することから、当該弁と下流の逆止弁との間に高圧給水が背圧として封じ込められ、さらにポンプの停止により「弁入口圧力＜弁出口圧力」となる。



この状態で弁出口圧力が当該弁の弁開放力を上回ると、弁の開操作ができなくなるが、特にポンプが停止中の弁開放力は、ポンプ吐出圧力分だけポンプ起動中の弁開放力より小さくなることから、当該弁を開操作できなくなる可能性が高くなる。

したがって、この系統状態は当該弁の設計条件外であることを確認した。

（2）確認結果

今回の確認により、補助給水流量制御弁を「開待機」とする時の系統状態の内、当該弁の設計条件に改めて反映すべき系統状態は、「ｃ．補助給水系統によるプラント異常の影響緩和後の復旧操作時」の系統状態であることが確認された。

なお、当該弁の現状の弁仕様を確認したところ、この系統状態が弁仕様に反映されていないことを確認したことから、今回の一時的な動作不具合は、前述のｃ項の系統状態が補助給水流量制御弁の設計条件に反映されていなかったことによるものと推定される。

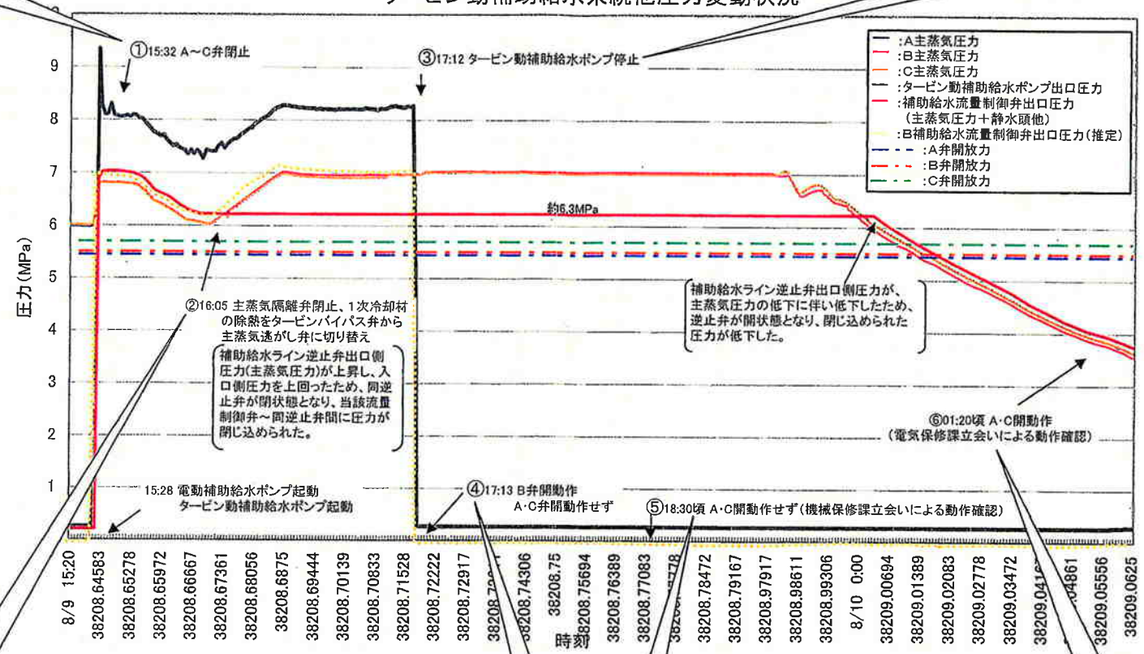
補助給水流量制御弁の事故時動作不調時の時系列挙動

時系列		当該弁及び関係するプラントの状態	主蒸気圧力（MPa）			タービン動補助給水ポンプ出口圧力（MPa）	弁前後差圧に関する挙動
時刻	操作		A	B	C		
15:28	タービン動補助給水ポンプ自動起動 電動補助給水ポンプ自動起動	A，B，C弁とも開待機状態より、通水を開始した。	6.314	6.333	6.335	(15:27) 0.26 (15:28) 1.33 (15:29) 9.35	－
15:31	－	主蒸気圧力はプラント自動停止(15:28)により、右欄の圧力まで上昇後、減少した。	最高値 6.811	最高値 6.819	最高値 6.810	8.11	ポンプ運転中は、弁入口側圧力が高い状態（順圧）にあった。
15:32	A，B，C弁閉止 （順番A⇒B⇒C）	A，B，C弁とも閉止状態となった。	6.809	6.813	6.805	8.12	弁閉止により、弁出口側圧力は逆止弁出口側圧力（主蒸気圧力）と均等となるまで、低下し始めた。
16:05	主蒸気隔離弁閉止、１次冷却材の除熱をタービンバイパスから主蒸気逃がし弁に切り替え	主蒸気圧力は、上昇に転じた。	最小値 6.032	最小値 6.035	最小値 6.028	7.42	弁出口から逆止弁間に主蒸気圧力の最小値同等の圧力（約6.3MPa）が、閉じ込められた状態となった。
17:12	タービン動補助給水ポンプ停止	－	6.978	6.968	6.971	8.28 → 0.27	タービン動補助給水ポンプの停止により弁入口側圧力が低下し始めた。 その後、同ポンプは完全に停止し弁前後差圧が高い状態となった。
17:13	A，B，C弁開放操作 （順番A⇒B⇒C）	B弁のみ開動作	6.974	6.968	6.968	0.27	－
18:30	A，C弁のグランドを緩め、開放操作を実施	A，C弁とも、開動作せず	6.991	7.023	6.982	0.27	弁前後差圧は、依然高い状態にあった。
01:20	A，C弁の開放操作を実施	A，C弁とも開動作	3.859	3.786	3.860	0.27	弁前後差圧は、低い状態となった。

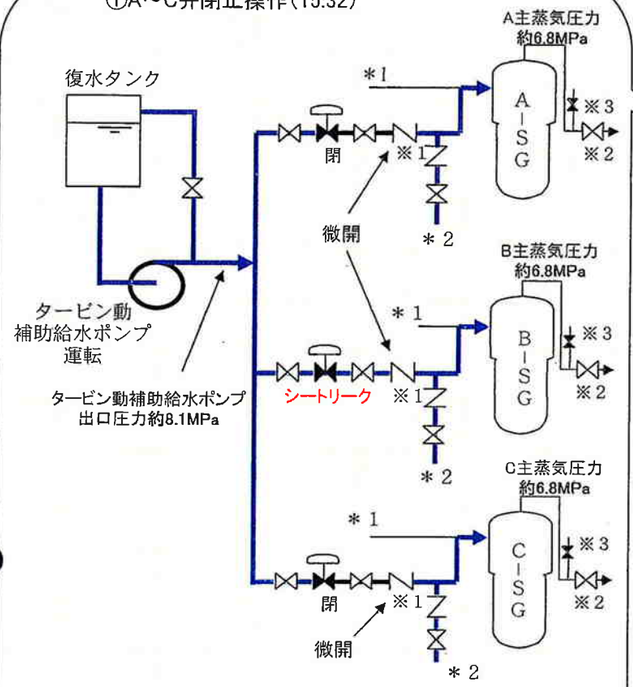
タービン動補助給水系統他圧力変動状況と系統状態

＊1：主給水ポンプより
＊2：電動補助給水ポンプ
※1：タービン動補助給水ラインの逆止弁
※2：主蒸気隔離弁
※3：主蒸気逃がし弁

タービン動補助給水系統他圧力変動状況

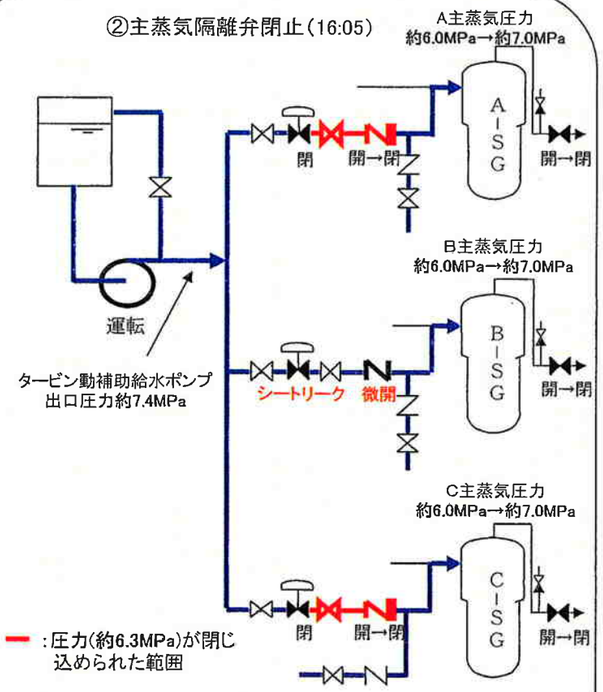


①A～C弁閉止操作（15:32）



・A～C弁閉止により、A、C弁出口側圧力は、逆止弁出口側圧力(主蒸気圧力)と均等となるまで低下した。ただし、B弁については、シートリークにより給水中と同様の圧力挙動であった。
・逆止弁は、出入口圧力差がなくなるまでの間、微開状態であった。

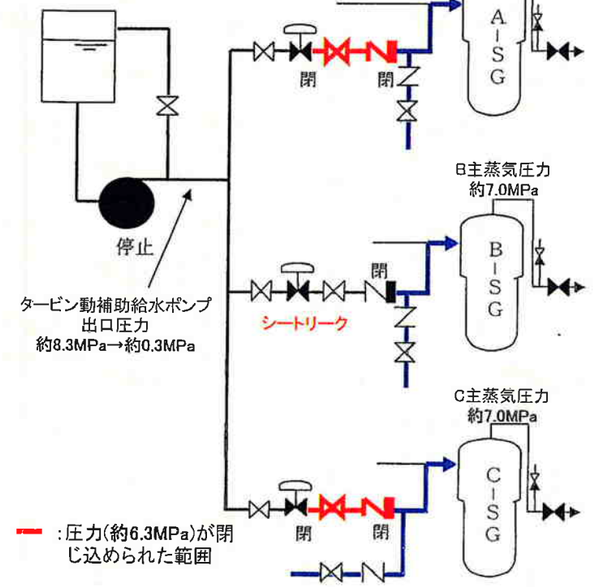
②主蒸気隔離弁閉止（16:05）



：圧力(約6.3MPa)が閉じ込められた範囲

・主蒸気隔離弁の閉止により主蒸気圧力が上昇に転じ、A、C弁ラインの逆止弁は出口側圧力(主蒸気圧力)の上昇により閉状態となった。
・逆止弁の閉状態により、A、C弁出口から逆止弁間に約6.3MPa(主蒸気圧力の最小値に静水頭等を考慮した圧力)の圧力が閉じ込められた状態となった。
・B弁はシートリークにより、圧力の閉じ込めは発生していない。

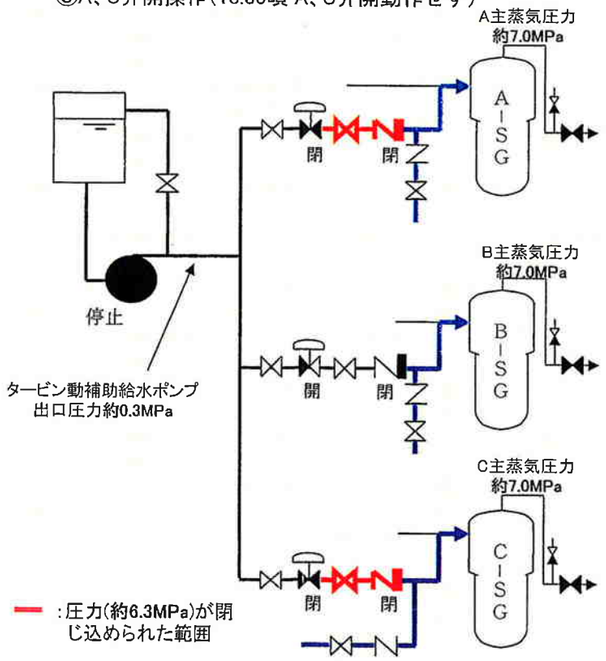
③タービン動補助給水ポンプ停止（17:12）



：圧力(約6.3MPa)が閉じ込められた範囲

・タービン動補助給水ポンプの停止により、A～C弁入口側圧力は復水タンクの水頭圧(約0.3MPa)まで低下し始める。A、C弁ラインの逆止弁は閉止状態であり、A、C弁出口から逆止弁間の圧力は閉じ込められた状態のままである。
・B弁はシートリークにより、弁出口側の圧力が弁入口側に逃げた。

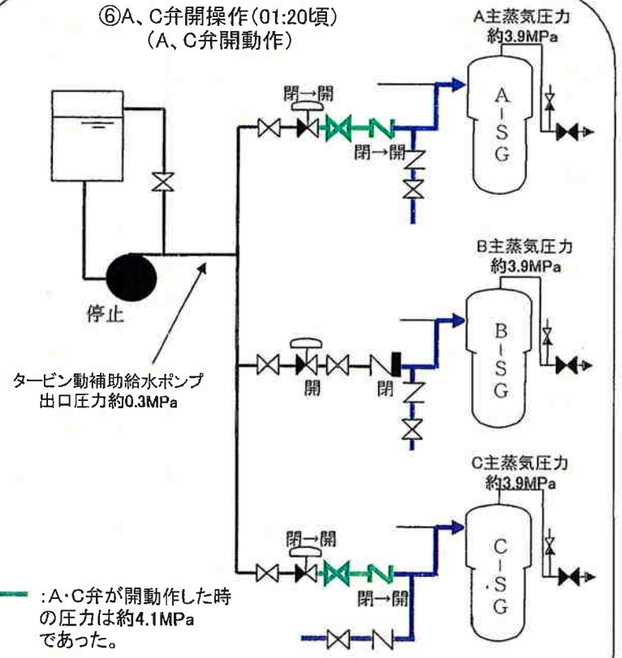
④A～C弁開操作(17:13 A、C弁開動作せず、B弁開動作)
⑤A、C弁開操作（18:30頃 A、C弁開動作せず）



：圧力(約6.3MPa)が閉じ込められた範囲

・17:13 A～C弁を開操作した結果、B弁は開操作したが、A、C弁は開動作せず。
・18:30 A、C弁開動作せず。
・逆止弁は閉止状態であり、A、C弁出口から逆止弁間に圧力は閉じ込められた状態のままである。
・B弁はシートリークにより、圧力の閉じ込めは発生していない。

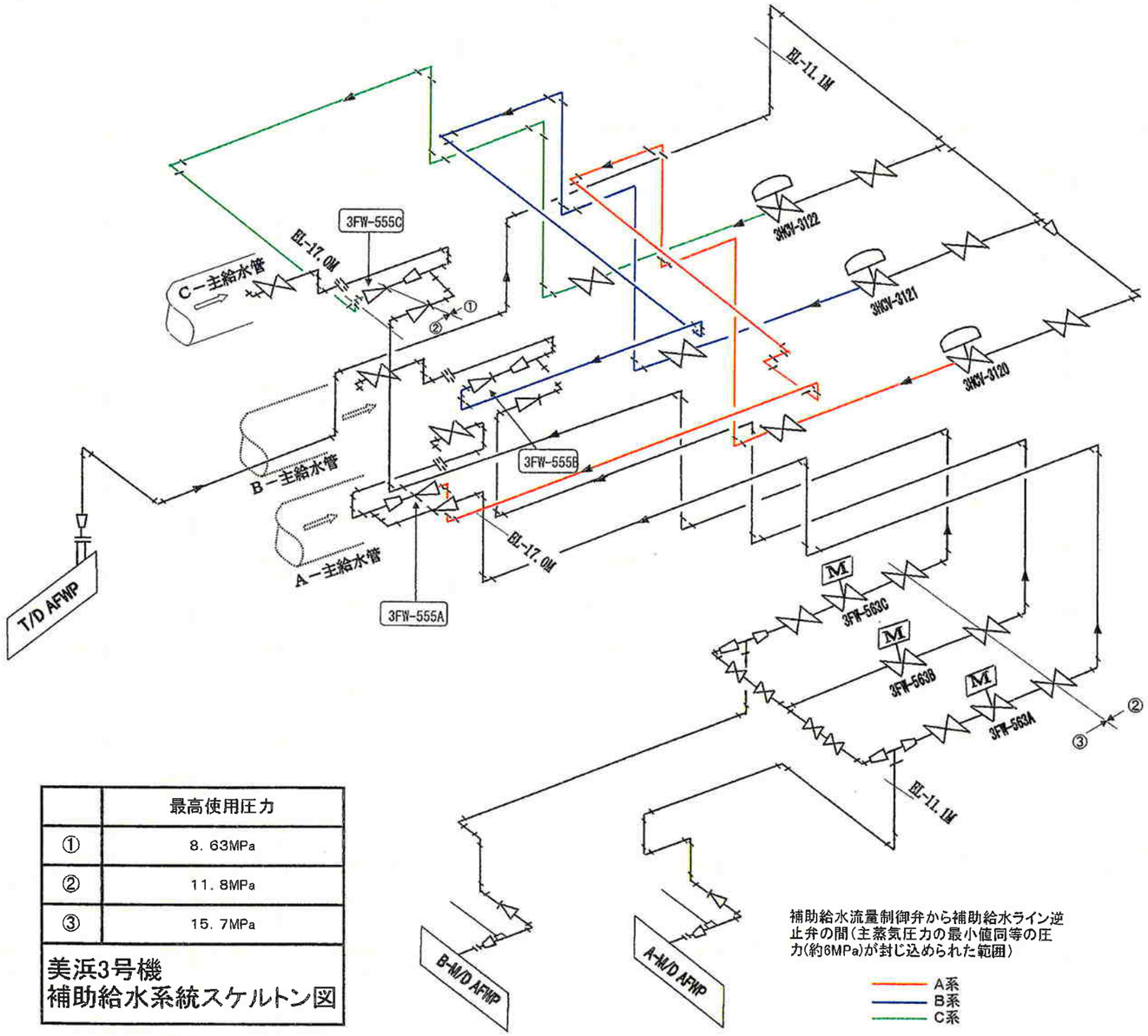
⑥A、C弁開操作（01:20頃）（A、C弁開動作）



：A・C弁が開動作した時の圧力は約4.1MPaであった。

・A、C弁出口から逆止弁間に閉じ込められた圧力は、1次冷却材の冷却操作による主蒸気圧力の低下に伴い逆止弁が開状態となり、主蒸気圧力の低下に同調して低下していた。
・なお、A、C弁が動作した時のA、C弁出口側圧力は、約4.1MPa(主蒸気圧力に静水頭等を考慮した圧力)まで低下していた。

美浜３号機　補助給水系統スケルトン図

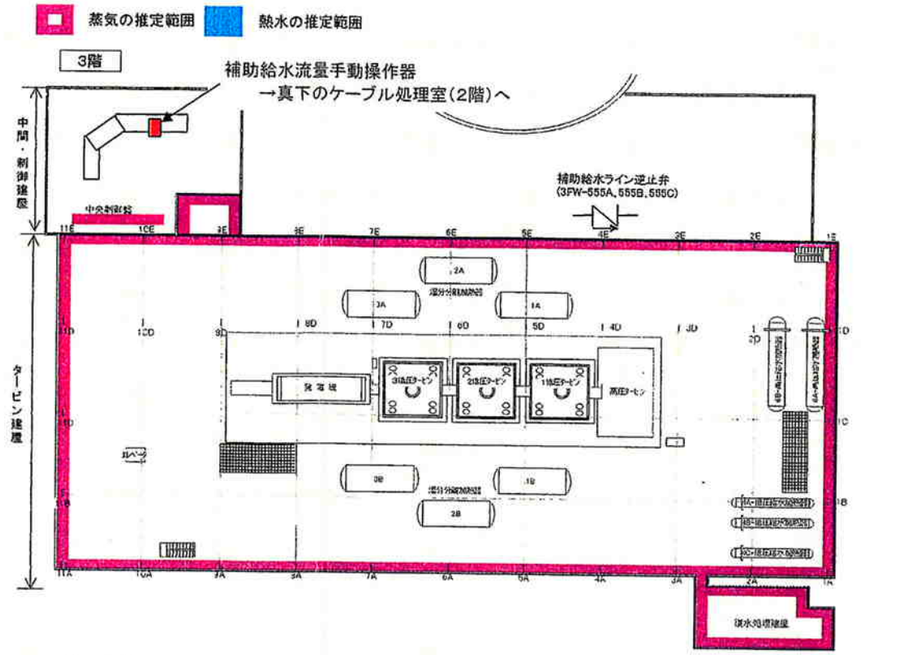


	最高使用圧力
①	8．63MPa
②	11．8MPa
③	15．7MPa

美浜3号機
補助給水系統スケルトン図

補助給水流量制御弁から補助給水ライン逆止弁の間（主蒸気圧力の最小値同等の圧力(約6MPa)が封じ込められた範囲）

A系
B系
C系



補助給水流量制御弁と逆止弁間に閉じ込められた系統水圧力の評価

8月9日16時05分時点

	閉じ込められた系統水圧力 Pout (MPa[gage])	蒸気発生器圧力[主蒸気圧力] Psg (MPa[gage])	補助給水配管圧力損失 ΔP_L (MPa)	静水頭 H (MPa)	静水頭(蒸気) Hs (MPa)
A弁 (3HCV-3120)	約6.29	6.032	0.0065	0.252	0.0047
B弁 (3HCV-3121)	約6.29	6.035	0.0060	0.252	0.0047
C弁 (3HCV-3122)	約6.28	6.028	0.0060	0.252	0.0047

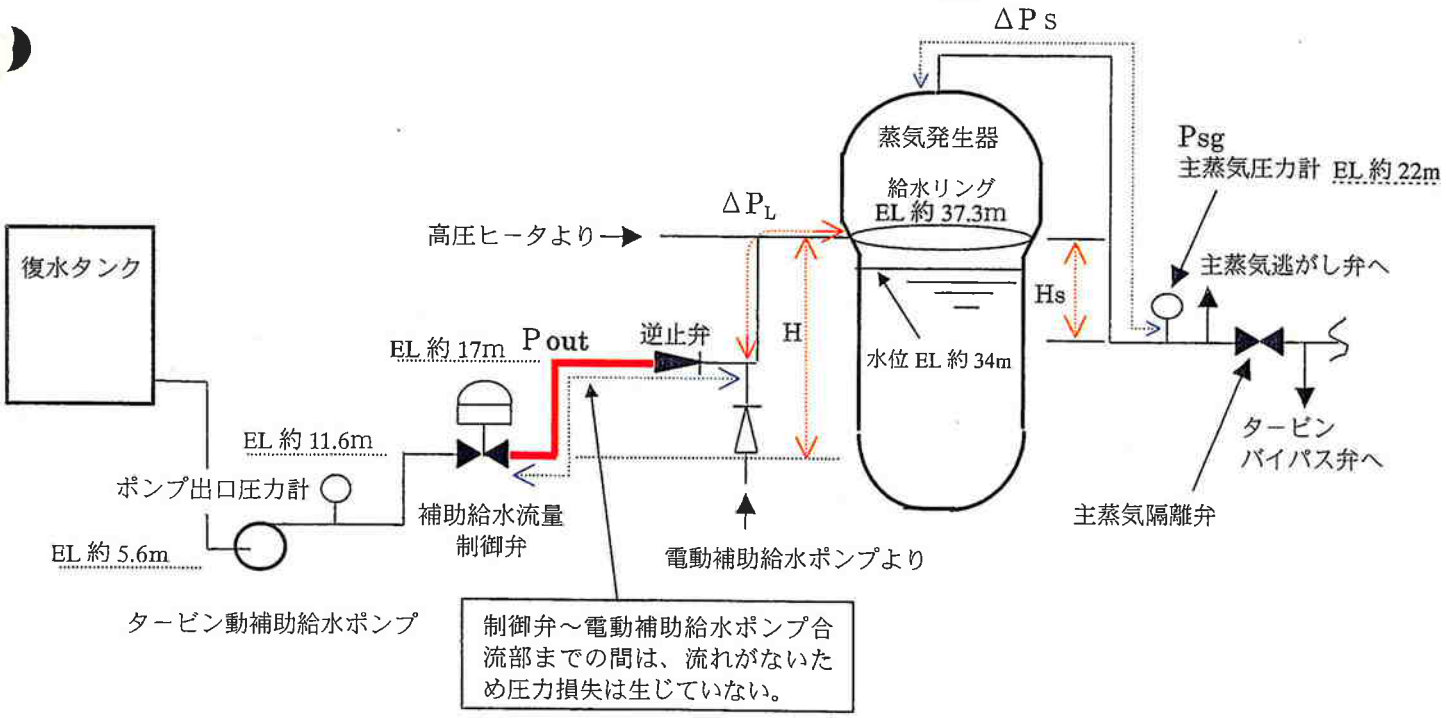
注：数値は、8月9日16時05分（逆止弁により系統水が閉じ込められたと考えられる時点）の運転パラメータ（主蒸気圧力、補助給水流量、蒸気発生器水位）を用いて算出している。

＜計算式＞

$$Pout=(Psg-Hs+\Delta Ps)+\Delta P_L+H$$

・ΔPs(主蒸気ライン圧力損失)は、蒸気の流れがほとんどないことから考慮しない。
・制御弁から電動補助給水ポンプ合流部までの配管圧力損失は、流れがなく圧力損失は生じていないため、考慮しない。
・給水リング部の圧力損失は、小さいため考慮しない。

タービン動補助給水ライン系統概略図



補助給水流量制御弁の弁開放力と開放抑止力との比較

弁の開動作は、弁開放力が弁出口側から逆止弁間に閉じ込められた系統水圧力による開放抑止力を上回ることにより行なわれる。弁開放力は次式により求まり、今回の補助給水流量制御弁のポンプ停止中の弁開放力を下表のとおり算出し、弁出口側から逆止弁間に閉じ込められた系統水圧力による開放抑止力との比較を行なった。

＜計算式＞

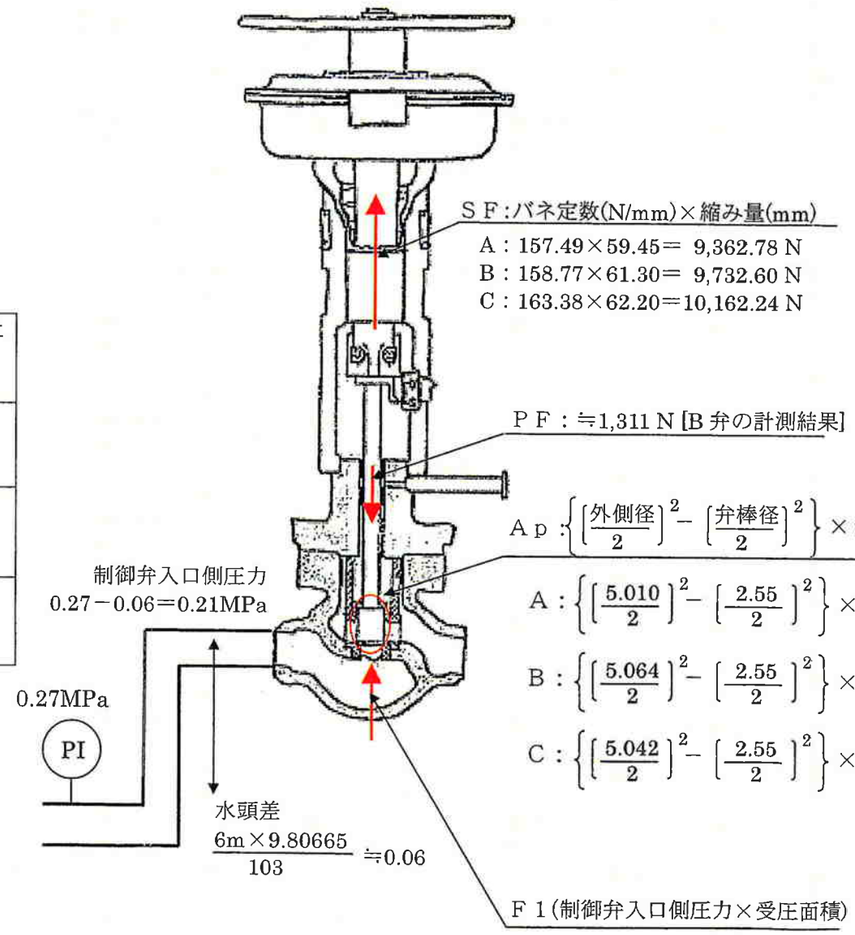
$$弁開放力=\frac{SF+F1-PF}{A_P}\ (MPa)$$

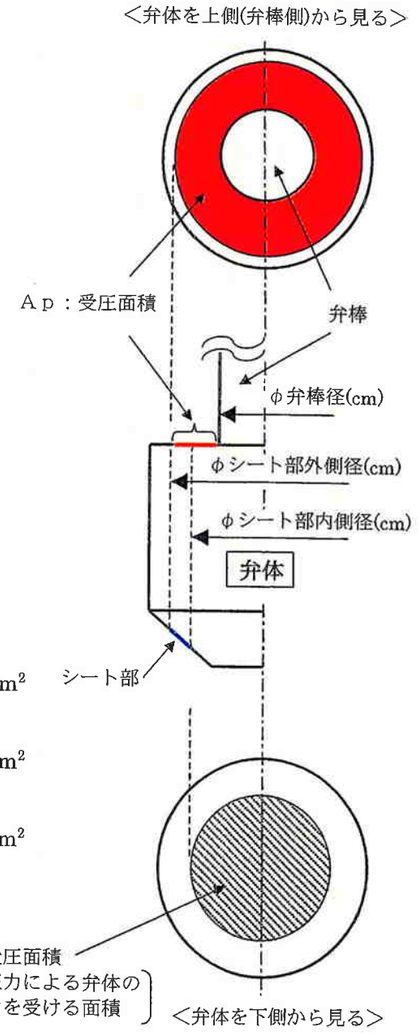
ここに　ＳＦ：弁全閉時のバネ荷重（N）
Ｆ１：入口側圧力による弁体の押上力（N）[シート径はシート部内側の値を使用]
ＰＦ：グランドパッキン摺動抵抗≒1,311N[B 弁の計測結果]
A_P：弁体に押付力を生じる受圧面積（cm^2）[シート径はシート部外側の値を使用]

	シート径 (cm)	ＳＦ (N)	Ｆ１ (N)	ＰＦ (N)	A_P (cm^2)	弁開放力 (MPa)	閉じ込められた系統水圧力 (MPa)
Ａ弁 (3HCV-3120)	内 4.996～外 5.010	9,363	412	1,311	14.61	5.79	約 6.29
Ｂ弁 (3HCV-3121)	内 4.993～外 5.064	9,733	411	1,311	15.03	5.88	約 6.29
Ｃ弁 (3HCV-3122)	内 4.965～外 5.042	10,162	407	1,311	14.86	6.23	約 6.28

［結果］
上表のとおり、ポンプ停止中の弁開放力が、閉じ込められた系統水圧力による開放抑止力を上回っている弁はなかった。

（各圧力等の作用部及び計算過程）





確 認 試 験 結 果

1．試験内容

今回のＡ・Ｃ弁の一時的な不動作について、弁の背圧が開放動作に及ぼす影響を、Ｃ弁を再組立てし、実機を用いて背圧を加えた状態で開動作する圧力確認を行い、背圧と開動作の関係を確認した。（試験系統等は別紙参照）

なお、開動作したＢ弁も比較のために実施した。

2．試験結果

（1）背圧降下時の開動作試験

背圧について、推定した弁開放力*1を上回る圧力まで加圧し、開動作信号を入れたまま系統水をブローすることにより徐々に背圧を降下させて、弁が開動作した時の背圧を確認した。

その結果、Ｃ、Ｂ弁ともに推定した弁開放力を上回る背圧が加わっている状態では開動作せず、弁開放力を下回る背圧で開動作した。

＊１：タービン動補助給水ポンプが停止中の弁開放力

	推定弁開放力（＊２）（MPa）	回数	試験開始時の背圧（開信号入力時）（MPa）	開動作時の背圧（MPa）
Ｃ弁	6.36～6.38（試験前：6.36 試験後：6.38）	1	6.56	6.13
		2	6.56	6.12
		3	6.54	6.19
Ｂ弁	5.92～5.97（試験前：5.92 試験後：5.97）	1	6.36	5.73
		2	6.32	5.67
		3	6.32	5.84

＊２：今回計測したグランドパッキン摺動抵抗値および復水タンク水頭による弁入口圧力等からの推定値

（2）各背圧での開動作試験

背圧を推定した弁開放力前後に調整し、各背圧においてそれぞれ開動作信号を入れて弁の動作を確認した。

その結果、C、B弁ともに推定した弁開放力を上回る背圧が加わっている状態では開動作せず、弁開放力の近くもしくは下回る背圧で開動作した。

	推定弁開放力（＊2） (MPa)	背圧と開動作の有無
C弁	6.36～6.38 （試験前：6.36 試験後：6.38）	6.60 MPa：×
		6.50 MPa：×
		6.38 MPa：○
		6.32 MPa：○
		6.23 MPa：○
		4.16 MPa：○
B弁	5.92～5.97 （試験前：5.92 試験後：5.97）	6.41 MPa：×
		6.30 MPa：×
		6.20 MPa：×
		6.10 MPa：×
		6.00 MPa：×
		5.90 MPa：○
		4.11 MPa：○

注　×：開動作せず、○：開動作した

＊2：今回計測したグランドパッキン摺動抵抗値および復水タンク水頭による弁入口圧力等からの推定値

3．考察

試験結果から、A、C弁に一時的に不動作が認められた原因は、推定した弁開放力を上回る背圧が当該弁に加わっていたためと考えられる。

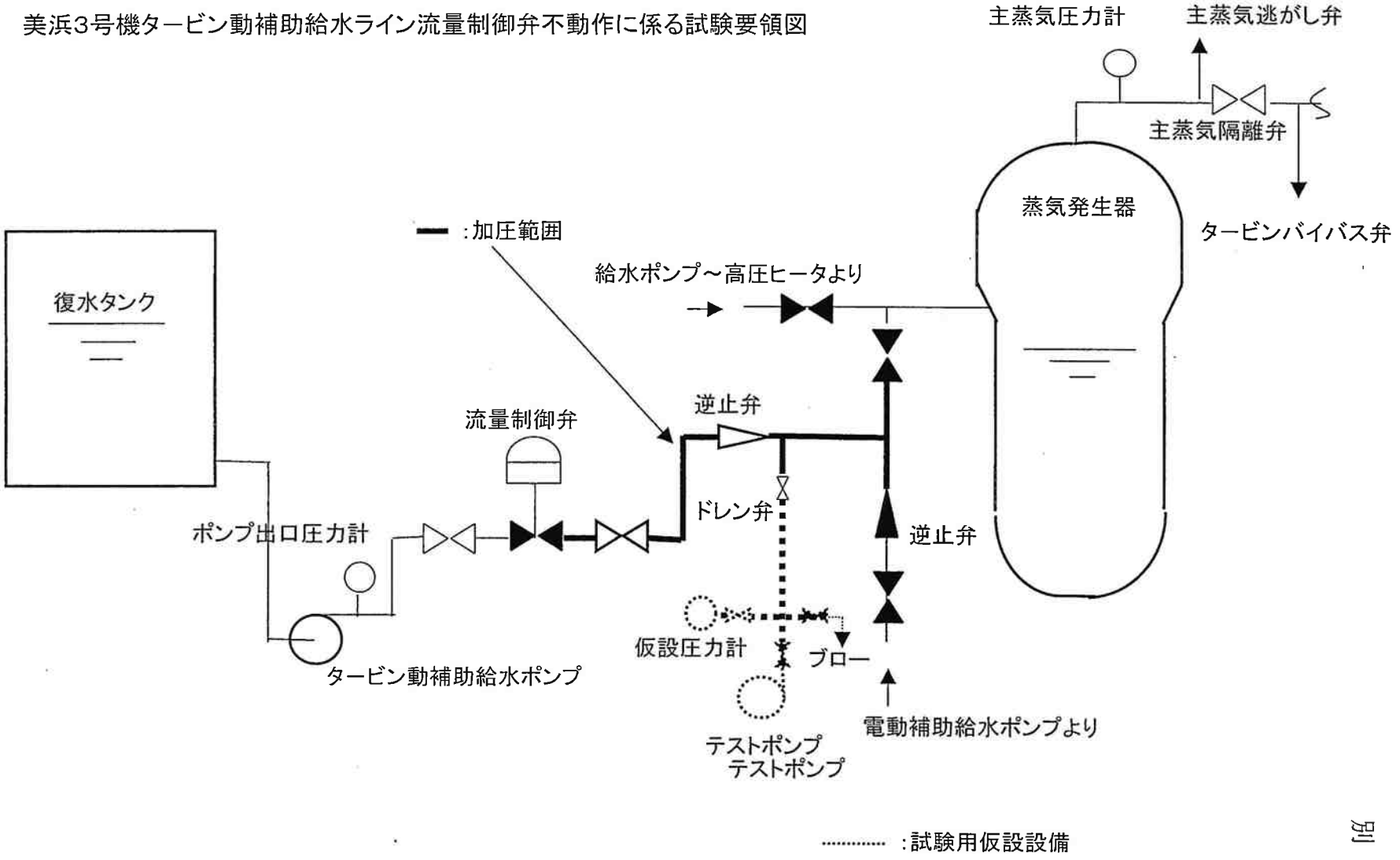
なお、今回の試験結果ではB弁についても推定した弁開放力を上回る背圧が加わっていた状態では開動作しなかったことから、B弁については事故当時に弁シートリークにより僅かな系統水が逃げたことにより、推定した弁開放力を上回る背圧が加わらなかったため開動作したものと推定される。

以　上

別紙－1：美浜3号機タービン動補助給水ライン流量制御弁不動作に係る試験要領図

－2：組立後のB、C弁の弁開放力評価

美浜3号機タービン動補助給水ライン流量制御弁不動作に係る試験要領図



別紙－1

組立後のＢ、Ｃ弁の弁開放力評価

今回の試験のためにＢ、Ｃ弁の再組立を実施し、各弁の弁開放力を次により評価した。

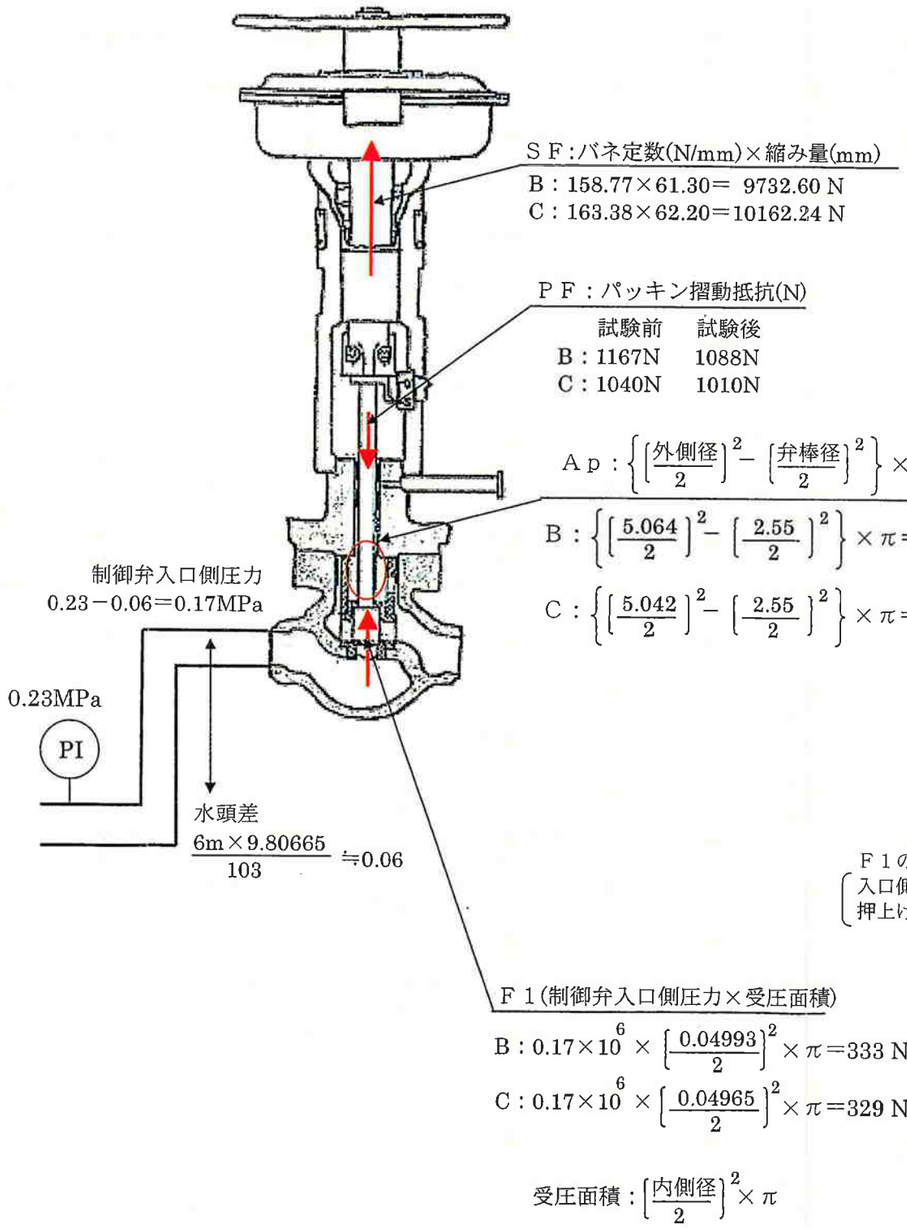
＜計算式＞

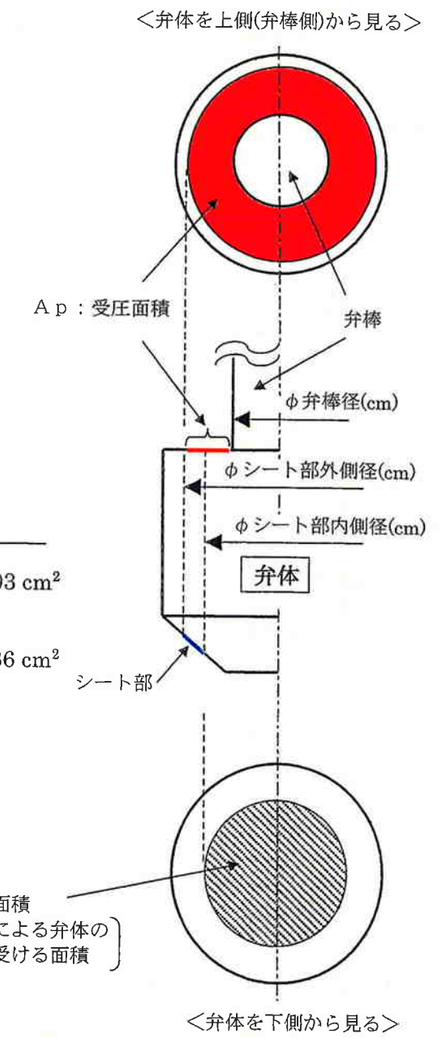
$$弁開放力＝\frac{SF+F1-PF}{A_P}\ (MPa)$$

ここに　ＳＦ：弁全閉時のバネ荷重（N）
Ｆ１：入口側圧力による弁体の押上力（N）[シート径はシート部内側の値を使用]
ＰＦ：グランドパッキン摺動抵抗
A_P：弁体に押付力を生じる受圧面積（cm^2）[シート径はシート部外側の値を使用]

	シート径 (cm)	ＳＦ (N)	Ｆ１ (N)	ＰＦ (N)	A_P (cm^2)	開放力 (MPa)
Ｂ弁 (3HCV-3121)	内 4.993～外 5.064	9733	333	試験前 1167 試験後 1088	15.03	試験前 5.92 試験後 5.97
Ｃ弁 (3HCV-3122)	内 4.965～外 5.042	10162	329	試験前 1040 試験後 1010	14.86	試験前 6.36 試験後 6.38

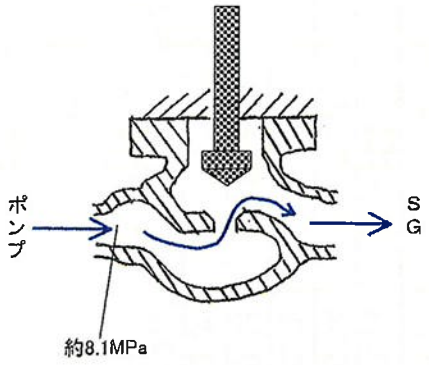
（各圧力等の作用部及び計算過程）



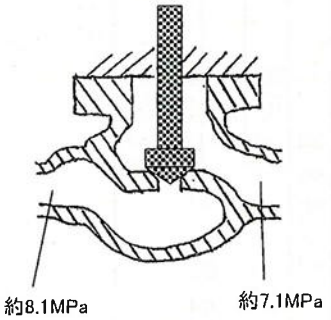


推定メカニズム

①弁開放中（給水中）
タービン動補助給水ポンプ運転中
（15:31）



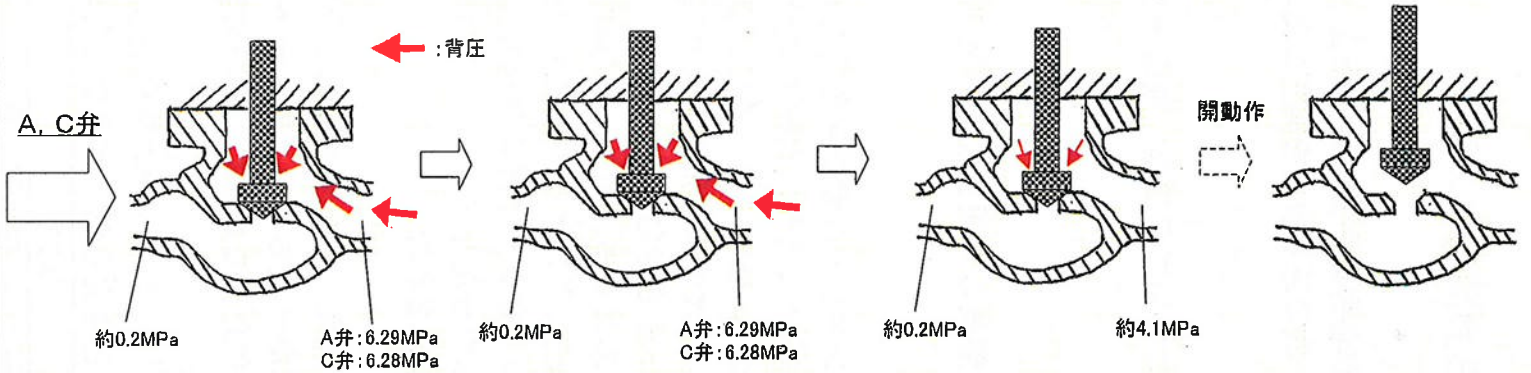
②弁閉止時（15:32）



③弁開操作時
（17:13）

④弁開放操作時
（18:30）

⑤弁開放操作時
（8/10　01:20）



弁の開放力（A弁：5.79MPa、C弁：6.23MPa）より、背圧（A弁：6.29MPa、C弁：6.28MPa）が上回っているため開動作しなかった。

弁の開放力（A弁：5.79MPa、C弁：6.23MPa）より、背圧（約4.1MPa）が下回ったため開動作した。

B弁開動作の検討

系統状態として、弁出口の背圧が各弁の弁開放力を上回っていたにもかかわらず、B弁のみが開動作した要因について、次の通り検討を実施した。

1．点検結果

B弁のみが開動作した要因についてＦＴ図（別紙－1）により洗い出しを行い、次の通り点検を実施した。

（1）制御弁本体の点検結果

制御弁本体について、分解後の外観目視確認及び組立後の耐圧漏えい確認を実施した。

ａ．外観目視確認　（別紙－2,3）

（ａ）弁グランド部（弁グランドリークオフ管を含む）

弁グランド部からの系統水漏えい痕跡の有無を確認した結果、漏えいの痕跡はなく異常はなかった。また、分解前にグランドの締付トルクを計測した結果、初期値と比較して大きな変化はなく異常はなかった。

（ｂ）弁体及び弁座（弁シート面を含む）

弁体と弁座の噛み込みの有無、弁シート面の異物の有無、弁シート面の傷やリークパスの有無及び、ガスケットの取付状態等の確認を実施した結果、異常はなかった。ただし、弁シート面の状態を拡大観察した結果、有意な傷や明確なリークパスはなかったものの、Ａ、Ｃ弁では見られなかった肌荒れやピット状のくぼみが確認された。

ｂ．耐圧漏えい確認

制御弁本体各部からの漏えいの有無を確認した結果、グランド部やガスケット部からの漏えいはなかったものの、弁シートリークが原因と考えられる有意な圧力降下が確認された。これはＣ弁の圧力降下率と比較して約 3 倍であった。

なお、この弁のシートリークは、弁の開閉を数回行ったことにより弁シート面の状態が改善されたと考えられ、有意な圧力の降下はない状態となった。

		B弁		C弁	
		加圧圧力（MPa）	圧力降下率（MPa/5分）	加圧圧力（MPa）	圧力降下率（MPa/5分）
12月2日		7.28	0.17	7.34	0.05
12月3日		6.68	0.02	6.70	0.03
12月7日	1回目	7.33	0.04	7.35	0.02
	2回目	6.73	0.02	6.75	0.01
	3回目	7.32	0.03	7.36	0.02
	4回目	6.72	0.02	6.74	0.01

（注：12月7日は2回目と3回目の間に弁の開閉を実施）

（２）配管、手動弁及び逆止弁の点検結果

Ｂ弁の出口から逆止弁までの間の配管、手動弁及び逆止弁について、外観目視確認及び耐圧漏えい確認を実施した。

ａ．外観目視確認

配管、手動弁グランド部及び逆止弁ガスケット部について、系統水漏えいの痕跡の有無を確認した結果、漏えいの痕跡はなく異常はなかった。

ｂ．耐圧漏えい確認

配管、手動弁及び逆止弁の各部からの漏えいの有無を確認した結果、漏えいはなく異常はなかった。

（３）弁駆動用バネの点検結果　（添付資料－18）

外観目視確認にて、駆動用バネの噛み込みや変形の有無の確認を実施した結果、異常はなかった。また、バネ定数に変化がないか確認した結果、規格値の許容範囲内であり異常はなかった。

（４）タービン動補助給水ポンプ運転状況及び弁入口側圧力の確認

事故当時のタービン動補助給水ポンプの運転状況や弁入口側圧力について、アナウンスメントタイプライタの記録や運転パラメータ記録等により、確認を実施した。

ａ．タービン動補助給水ポンプの慣性による回転時間の確認

タービン動補助給水ポンプは、停止操作後ある一定の時間は慣性により回転しているが、この慣性による回転時間について過去の定期試験時の記録により確認を実施した結果、停止操作後平均約 50 秒間は慣性で回転していることを確認した。

なお、ポンプが慣性で回転している間は、ポンプの回転状況に応じた吐出圧力が発生しているものと推定される。

ｂ．弁入口側圧力の確認

事故当日の弁入口側圧力について、運転パラメータ等により確認を実施した結果、タービン動補助給水ポンプが運転中は、弁入口側圧力が 7～8MPa で推移しており、停止後は 0.21MPa まで低下していたことを確認した。

（５）弁開閉操作状況の確認結果

事故当時の弁の開閉操作状況について、開閉操作を実施した発電室員への聞き取り調査やアナウンスメントタイプライタの記録により、確認を実施した。

ａ．弁の閉止操作状況確認　（別紙－4）

弁閉止操作状況について、発電室員への聞き取り確認とアナウンスメントタイプライタの記録による確認を実施した結果、Ａ～Ｃ弁の閉止操作は、中央制御室の手動操作器によりＡ→Ｂ→Ｃの順番で確実に実施されており、アナウンスメントタイプライタの記録からも、各弁の手動操作器の弁開度制御信号が「0%」であったことから、Ｂ弁が全閉状態であったことを確認した。

b．弁の開放操作状況確認

弁開放操作状況について、発電室員への聞き取り確認とアナウンスメントタイプライタの記録の確認を実施した結果、Ａ～Ｃ弁の開放操作は、中央制御室の手動操作器によりＡ→Ｂ→Ｃの順番で実施しており、各弁ともに同じ開放操作方法で実施していたことを確認した。

また、Ｂ弁の開放操作は、タービン動補助給水ポンプの停止操作の約 65 秒後に実施されており、その時点ではポンプの慣性による回転が停止していたと考えられ、弁の入口側には同ポンプの慣性回転による残圧はない状態であったと考えられる。

（6）弁開放力の相違

Ａ～Ｃ弁のポンプ停止中の弁開放力を、弁全閉時のバネ荷重、弁入口側圧力による弁体の押上力及びグランドパッキン摺動抵抗等から推定した結果、Ａ弁は約 5.79MPa、Ｂ弁は約 5.88MPa、Ｃ弁は約 6.23MPa であり、Ｂ弁が他弁よりも突出して大きいものではなかった。

（7）制御弁の設計要求事項の確認　（添付資料－15）

当該弁は流量制御弁であり、設計要求としては、流量を弁の開閉により制御できること、および破損蒸気発生器への給水を停止し切り離すことが求められているが、隔離機能については特に要求されていないことを確認した。

2．要因の評価

前述の点検結果を踏まえて、今回のＢ弁の開動作について要因評価を次の通り実施した。

（1）制御弁本体について

各部の構造及び取付状態等には異常がなかったが、耐圧漏えい確認にて弁シートリークが要因と考えられる有意な圧力降下が確認されたことから、事故当時のＢ弁にも弁シートリークが発生していた可能性が考えられる。

なお、Ｂ弁の弁体・弁座のシート面に認められた肌荒れやピット状のくぼみが、事故当時のＢ弁の弁シートリークに影響していた可能性は否定できない。

（2）配管、手動弁及び逆止弁について

外観目視確認や耐圧漏えい確認により、系統水の漏えいがなく異常がないことが確認されたことから、Ｂ弁の開動作の要因としては考えられない。

（3）駆動用バネについて

外観目視確認やバネ定数の評価により、異常がないことが確認されたことから、Ｂ弁の開動作の要因としては考えられない。

（4）弁の開閉操作について

弁の開閉操作については、Ｂ弁に限った特異な操作は実施されておらず問題

なかったことから、Ｂ弁の開動作の要因としては考えられない。また、弁開操作時の弁入口側圧力についても、Ｂ弁に限った特別な状態にはなかったことから、これについてもＢ弁の開動作の要因としては考えられない。

（５）弁開放力の相違

Ｂ弁のポンプ停止中の弁開放力は他弁と同等であり、特異性がないことが確認されたことから、Ｂ弁の開動作の要因としては考えられない。

以上の評価結果から、Ｂ弁のみが開動作した要因は、Ａ～Ｃ弁を閉止操作した時点でＢ弁はシートリーク状態となっており、弁出口側に閉じ込められるはずの背圧が弁入口側へ逃げたことから、ポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が加わらなかったためと考えられる。

なお、Ｂ弁のシートリークの原因として、弁体・弁座のシート面に認められた肌荒れやピット状のくぼみの影響は否定できない。

また、シートリークによる系統水のリーク量については、Ｂ弁に加わる最大背圧（約 7.22MPa）とＢ弁のポンプ停止中の弁開放力（約 5.88MPa）との差圧（約 1.34MPa）をなくすためには、約 40cc 程度の僅かなリーク量と評価され、これにより背圧がポンプ停止中の弁開放力を下回り、弁の開操作が可能となることを確認した。

（H16.8.9　17 時 12 分）

	最大背圧 (MPa)	主蒸気圧力 (MPa)	補助給水配管圧力損失 (MPa)	静水頭 (MPa)	静水頭(蒸気) (MPa)
Ｂ弁	約 7.22	6.968	0.0015	0.252	0.0055

（注：数値はタービン動補助給水ポンプ停止直後の運転パラメータを用いて算出している）

３．推定原因　（別紙－5）

事故当時にＢ弁が開動作したのは、弁シートリークにより、弁出口側に閉じ込められるはずの背圧が弁入口側へ逃げたことから、Ｂ弁の背圧がポンプ停止中の弁開放力を下回ったためと推定される。

以　上

別紙－１：Ｂ補助給水流量制御弁の開動作に係る要因分析図
－２：シート部拡大観察結果
－３：グランド部内面観察結果
－４（1/4～3/4）：アナウンスメント出力
（4/4）：手動操作器出力信号と弁開度の確認結果
－５：Ｂ弁の開動作推定メカニズム

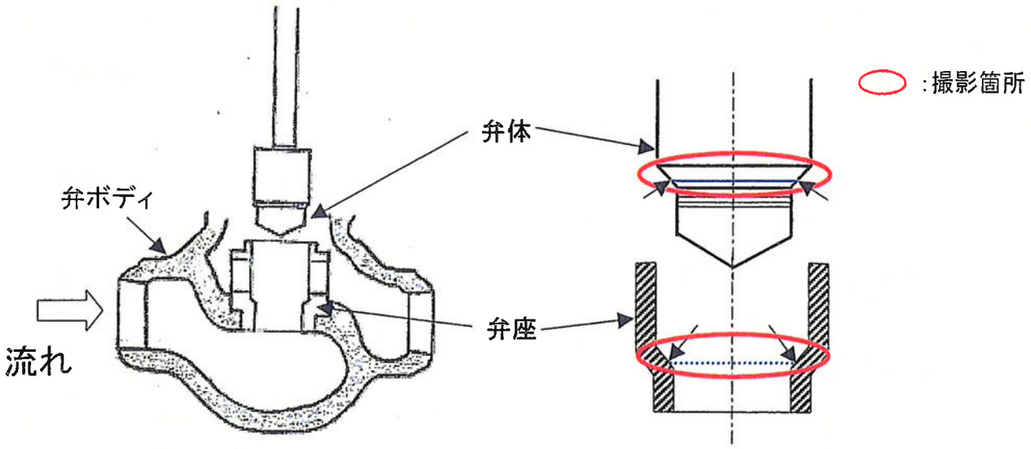
B補助給水流量制御弁の開動作に係る要因分析図

凡例　×：問題なし、△：可能性は否定できない、○：問題あり

					調査項目及び判定基準	調査結果	判定
背圧が弁開放力を上回っている系統状況でB弁が開動作した	背圧の低下	制御弁本体	弁グランド部	グランド漏えい	外観目視確認および耐圧漏えい確認 ・目視により、B弁のグランド部について系統水漏えいの痕跡の有無を確認する。 ・圧力保持試験にて、弁グランド部から漏えいがないか確認する。	・弁グランド部に系統水漏えいの痕跡なし。 ・圧力保持試験時の弁グランド部からの系統水の漏えいなし。	×
			プラグ（弁体）ケージ（弁座）	弁体噛み込み	外観目視確認 ・分解時、プラグ（弁体）とケージ（弁座）に噛み込み傷がないことを確認する。クリアランスが許容範囲（12.0/100～21.0/100mm）以内であること。	・プラグ（弁体）とケージ（弁座）に噛み込み傷なし。 クリアランス　B：13.5～14.0／100mm	×
				異物噛み込み	外観目視確認 ・分解時、プラグ（弁体）とケージ（弁座）に異物がないことを確認する。	・プラグ（弁体）とケージ（弁座）に異物なし。	×
				弁シート不良	外観目視確認および耐圧漏えい確認 ・分解時、プラグ（弁体）とケージ（弁座）のシート面に有意な傷やリークパスがないことを確認する。 ・圧力保持試験にて、弁シート面のリークがなく圧力が保持できることを確認する。	・弁シート面に、有意な傷やリークパスなし。（なお、A、C弁では見られなかった、弁シート面の肌荒れやピット状のくぼみを確認。） ・確認試験時の圧力降下保持状態でC弁と比較して約3倍の圧力降下が確認された。	△
				ガスケット不良	外観目視確認および耐圧漏えい確認 ・分解時、食い込み、シール面の有意な傷およびリークパスの有無を確認する。 ・圧力保持試験にて、ガスケット部から漏えいがないか確認する。	・食い込み、シール面の傷およびリークパスの痕跡なし。 ・耐圧保持試験時のガスケット部からの系統水の漏えいなし。	×
				弁構造体の弾性変形によるシート面変形	耐圧漏えい確認 ・圧力保持試験時に、弁シート部に弾性変形が発生していないことを、圧力降下データにて確認する。	・C弁と比較して約3倍の圧力降下が確認されたが、再試験により、有意な圧力降下がなくなったことから、弾性変形によるものではないことを確認。	×
		配管、手動弁他	配管・継手部	配管・継手部漏えい	外観目視確認および耐圧漏えい確認 ・B弁出口から逆止弁までの間の配管について、目視により系統水漏えいの痕跡の有無を確認する。 ・圧力保持試験にて、配管や継手部から漏えいがないか確認する。	・系統水漏えいの痕跡なし。 ・圧力保持試験時の配管・継手部からの系統水の漏えいなし。	×
			弁グランド部	グランド漏えい	外観目視確認および耐圧漏えい確認 ・B弁出口から逆止弁までの間の弁について、目視により系統水漏えいの痕跡の有無を確認する。 ・圧力保持試験にて、弁グランド部から漏えいがないか確認する。	・系統水漏えいの痕跡なし。 ・圧力保持試験時の弁グランド部からの系統水の漏えいなし。	×
		弁閉止操作		閉止操作不良	弁閉止操作状況の聞き取り確認および記録の確認 ・事故当日のB弁の閉止状態を確認する。（全閉状態であること） ・B弁の操作と他弁の操作に違いがあったか確認する。	・B弁の閉止操作には問題はなく、全閉状態であったことを確認。 ・各弁の開操作には違いがなかったことを確認。	×
	弁開放力の増加	制御弁本体	弁グランド部	摺動抵抗低下	締付けトルク計測 ・グランドの締付けトルクを確認する。 （初期締付トルク基準値：11～15N・m）	・初期の締付トルクより小さくなっているが、系統水の漏えいもなく異常なし。（10.0/7.0N・m） ・バネ定数を確認した結果、規格値内で異常なし。（16.19kg/mm）	×
			駆動用バネ	バネ定数の増加	外観目視確認 ・分解時、バネの噛み込みや変形等で、バネ定数が増加していないか確認する。 （規格値：16.15kg/mm±5%）	・バネの噛み込み、変形などの異常なし。	×
		弁入口側圧力		ポンプ吐出圧力の残圧	ポンプ運転状態およびB弁開操作の実施タイミングの確認 ・弁開操作当時のポンプ運転状態と弁入口側圧力を確認する。 ・ポンプの運転状態とB弁を開操作した時間のタイミングを確認する。	・弁操作時はポンプは停止状態であり、弁入口側圧力は約0.21MPaと小さく、ポンプの吐出残圧がかかっていなかった。	×

シート部拡大観察結果

B弁（3HCV－3121）



弁体
拡大　×170

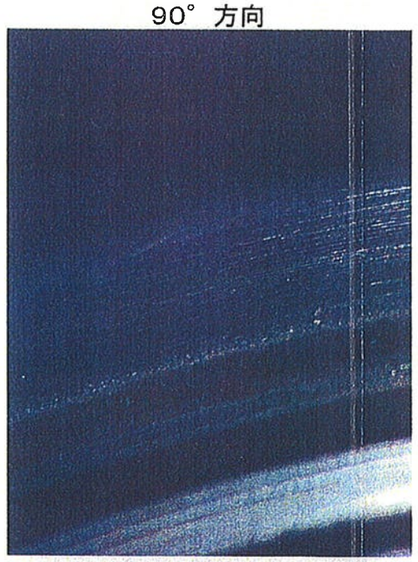
シート当たり部

弁体シート当たり部拡大し観察したところ肌荒れが確認された。

弁体
拡大　×40

0°方向

90°方向

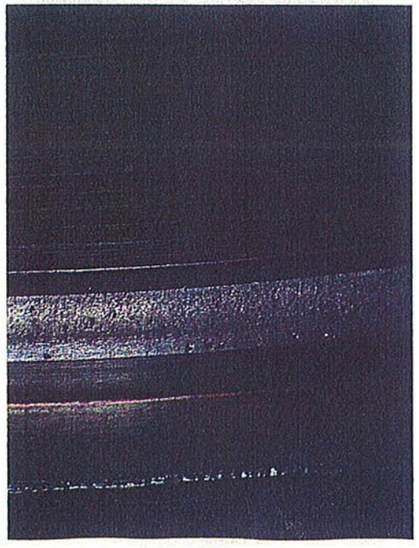


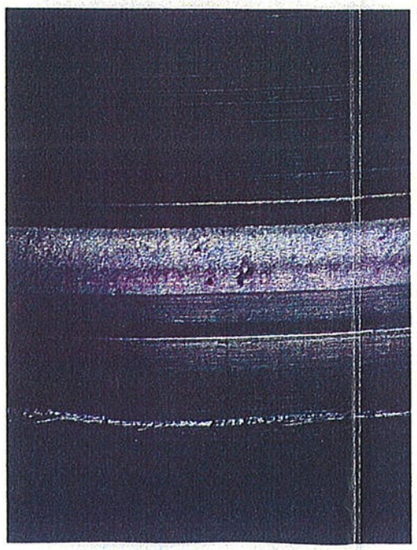
180°方向

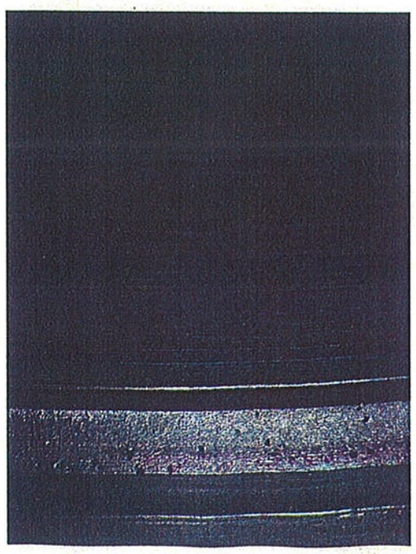
270°方向

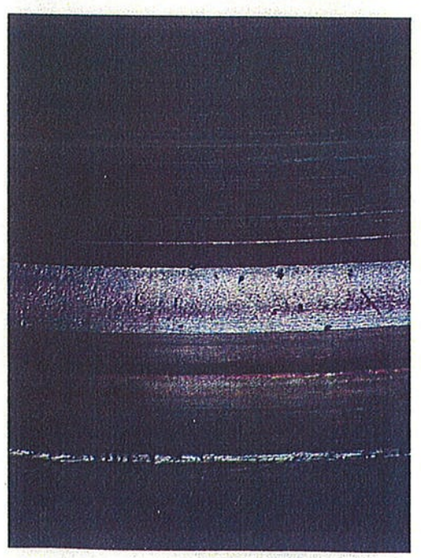
シート当たり部

弁座
拡大　×40









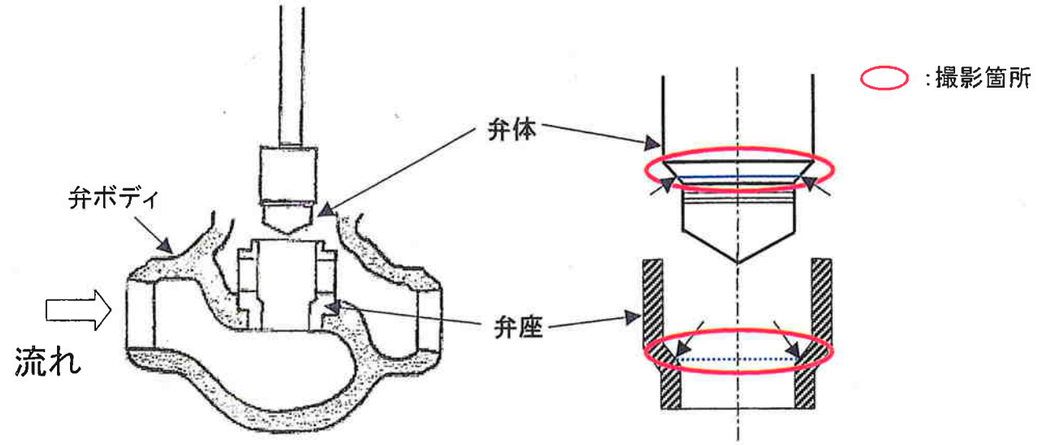
シート当たり部

○シート当たり部はA、C弁に比べ広かった。
また、ピット状のくぼみが認められた。
これらが初期のシートリーク性に影響していた可能性は否定できない。

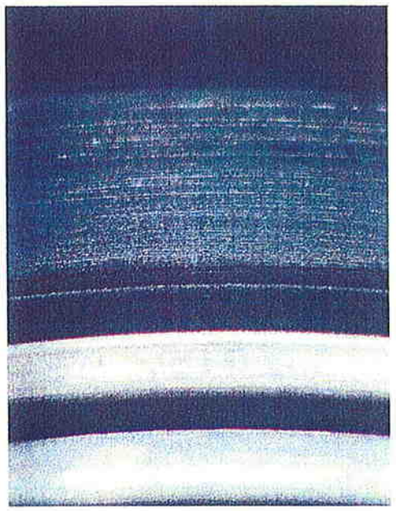
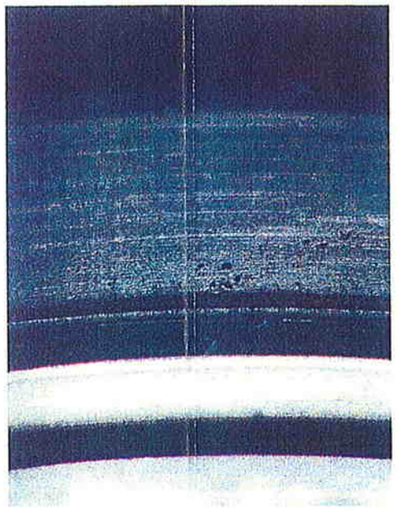
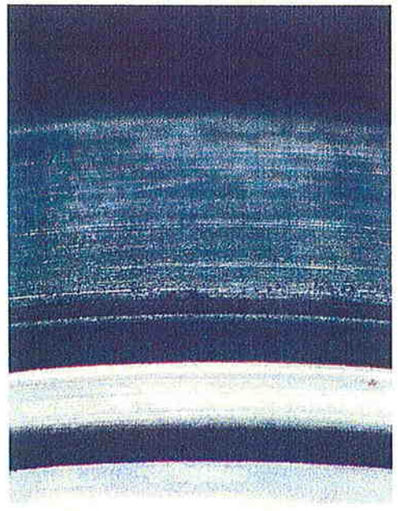
1mm

シート部拡大観察結果

A弁（3HCV－3120）



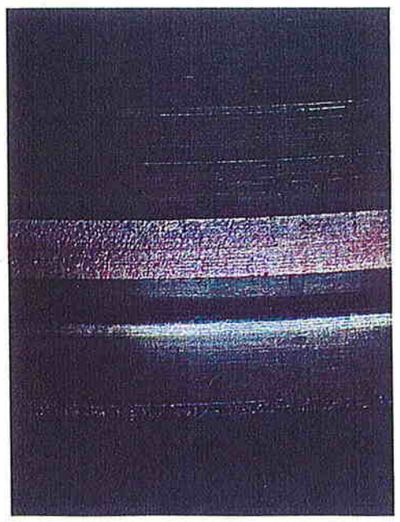
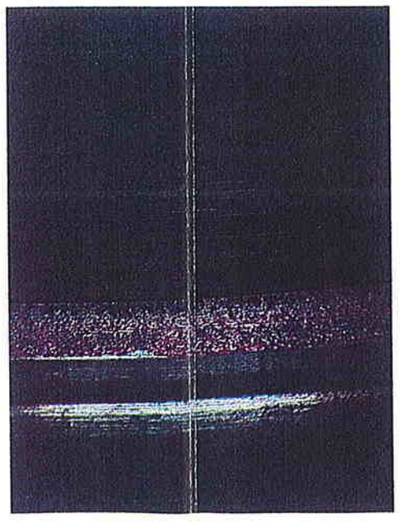
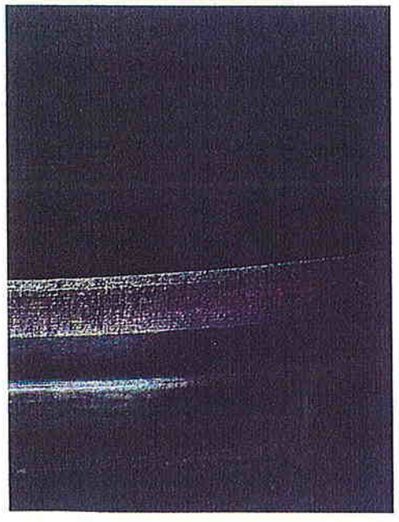
弁体
拡大　×40

0° 方向	90° 方向	180° 方向	270° 方向
			

シート当たり部

○シート当たり部に顕著な肌荒れは認められなかった。

弁座
拡大　×40

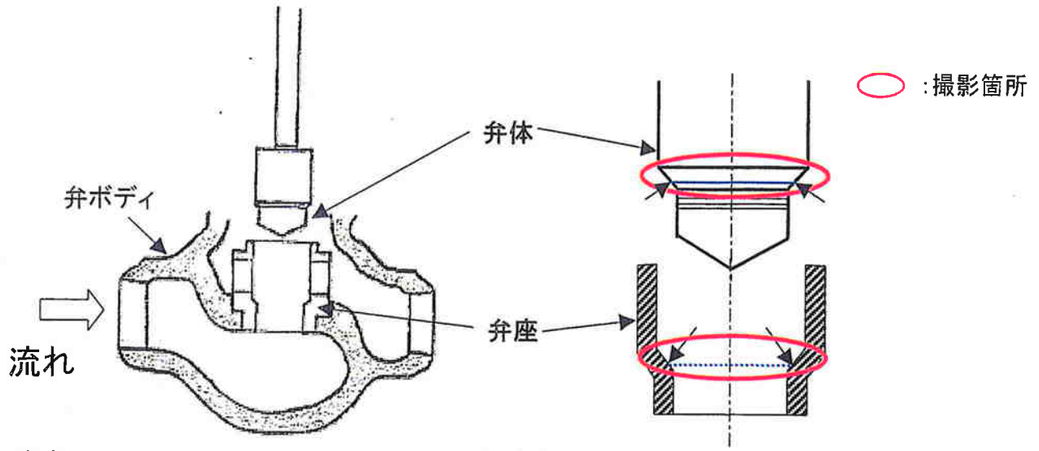
シート当たり部

○シート当たり部に顕著な肌荒れは認められなかった。

1mm

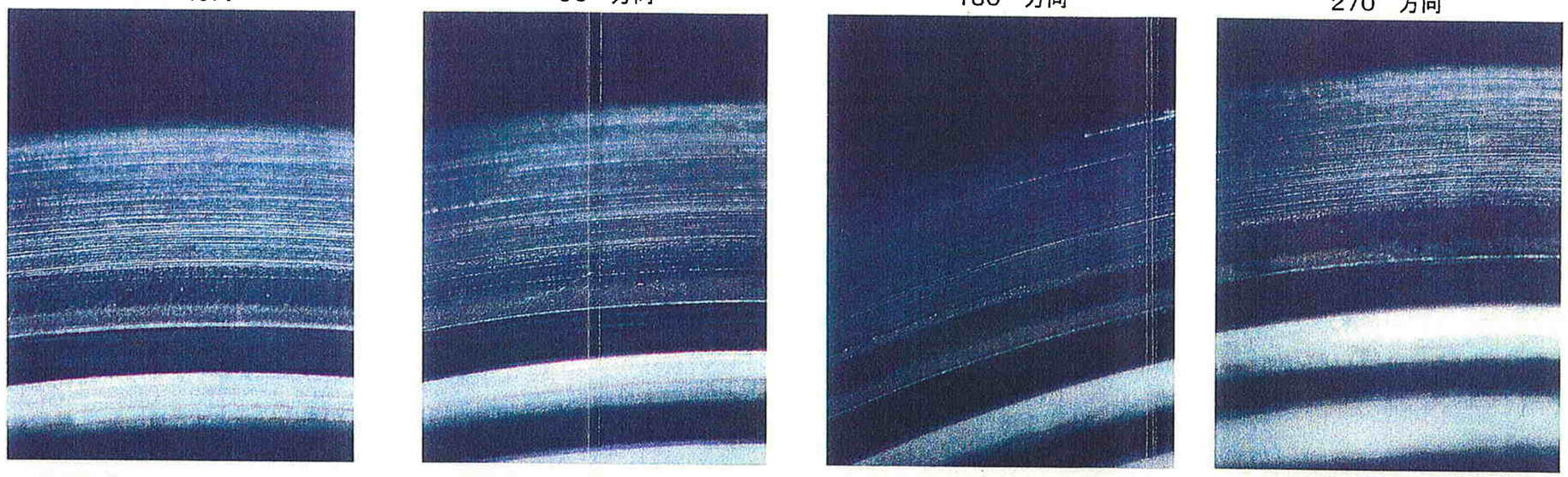
シート部拡大観察結果

C弁（3HCV－3122）



弁体
拡大　×40

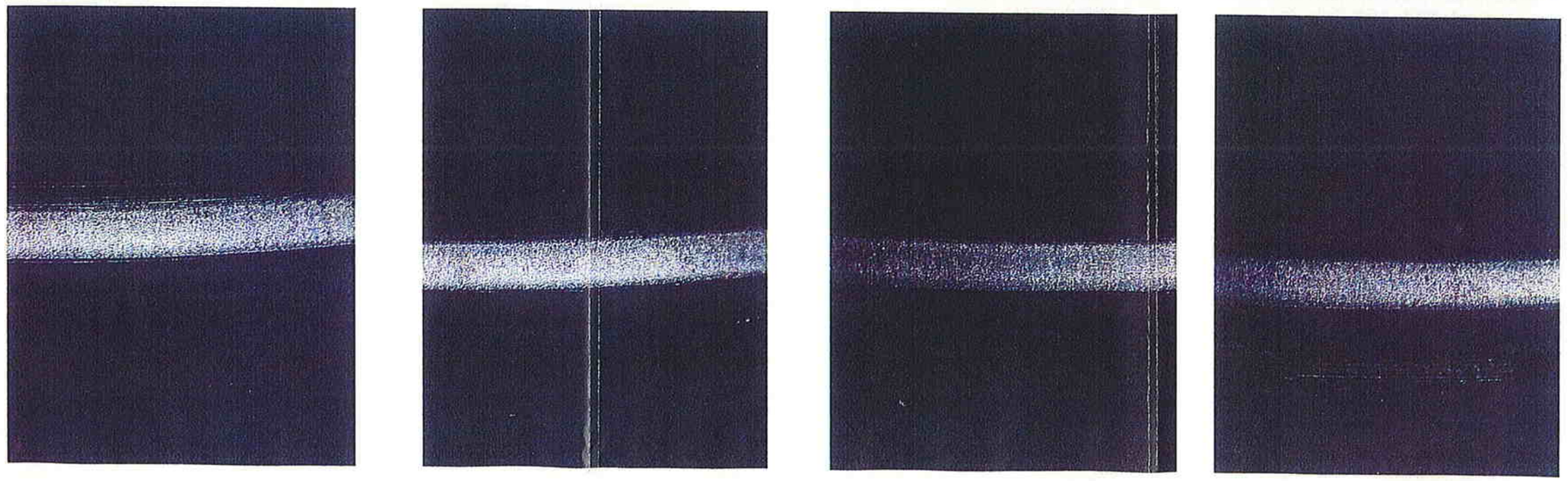
0°方向　90°方向　180°方向　270°方向



シート当たり部

○シート当たり部に顕著な肌荒れは認められなかった。

弁座
拡大　×40

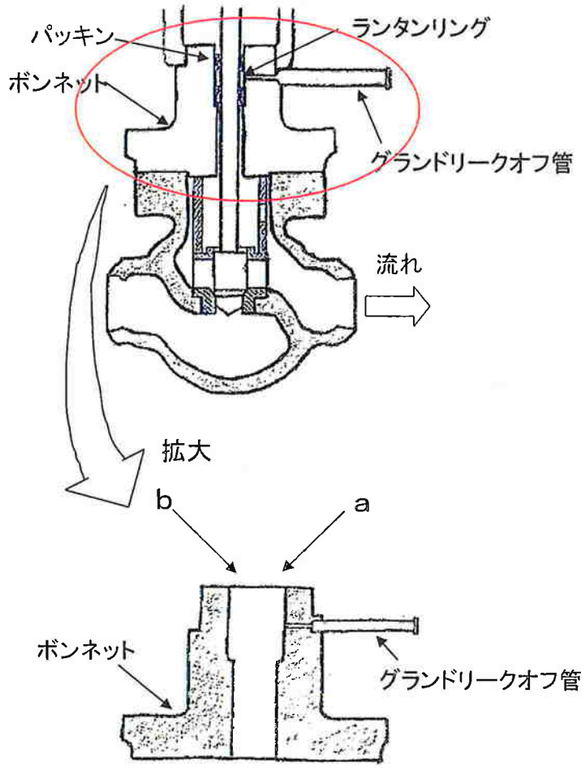


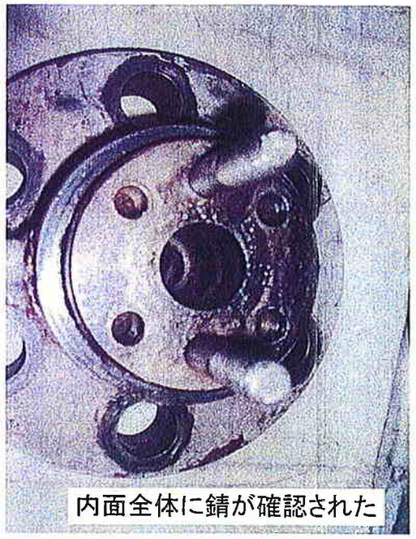
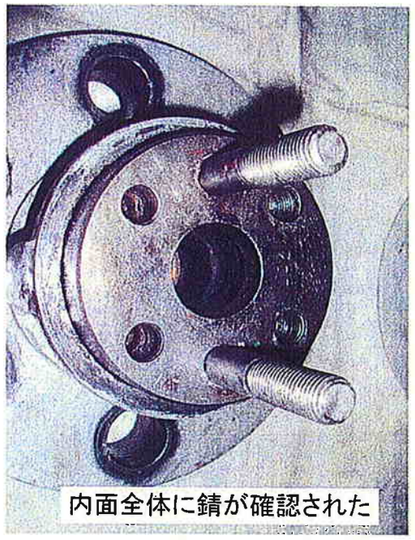
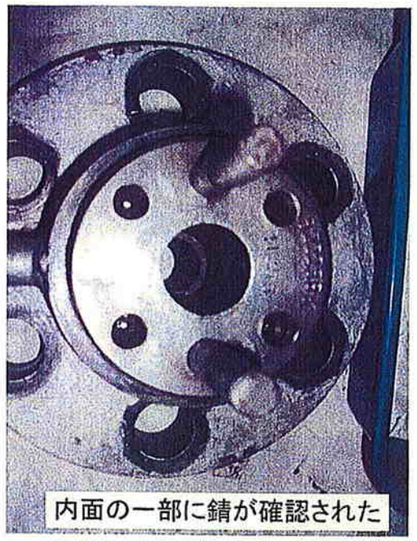
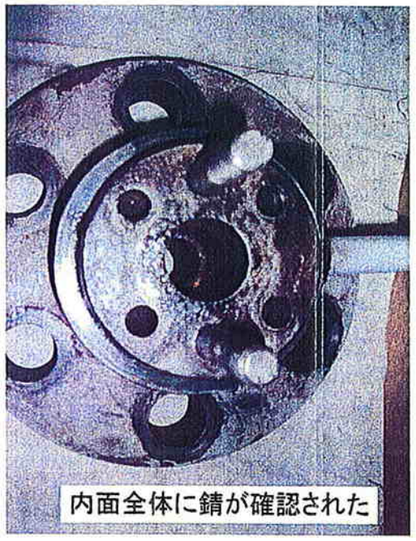
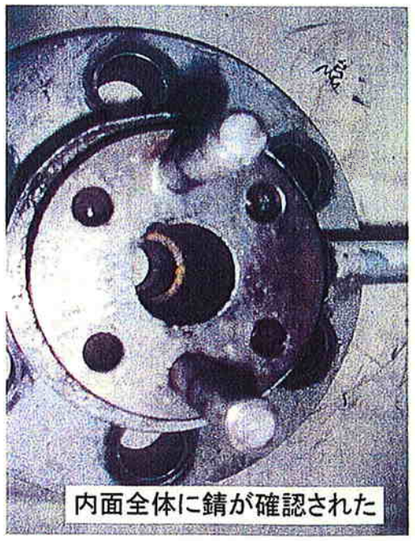
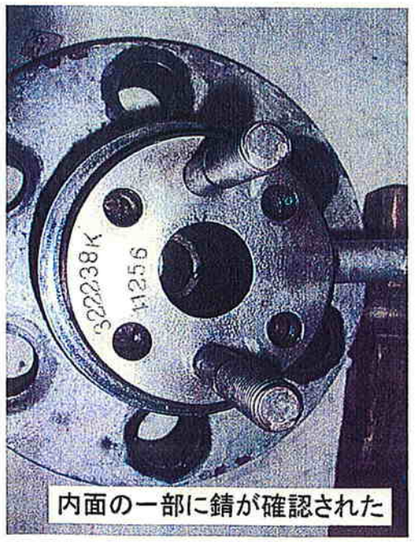
シート当たり部

○きれいであり、肌荒れは認められなかった。

1mm

グランド部内面観察結果



項目	A弁（3HCV－3120）	B弁（3HCV－3121）	C弁（3HCV－3122）
ボンネット部 内面観察結果 a 方向より見る	 内面全体に錆が確認された	 内面全体に錆が確認された	 内面の一部に錆が確認された
b 方向より見る	 内面全体に錆が確認された	 内面全体に錆が確認された	 内面の一部に錆が確認された
グランドリーク オフ管 内面観察結果	水の溜まりは認められなかった。 内面に錆は認められなかった。	水の溜まりは認められなかった。 内面に錆は認められなかった。	プラグ取り外し時に、数cc程度の水の滴下が認められた。 なお、内面には水の溜りや錆は認められなかった。

アナウンスメント出力（弁閉止操作）

別紙－4
（1／4）

美浜３号機　　アナウンスメント出力（04/08/09分データ）

		[ｱﾗｰﾑ状態]	[設定値]	[実ﾊﾟﾗﾒｰﾀ]	
08/09 15:32:24	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	T3301	高ブ	186.0	164.4 ℃
08/09 15:32:24	Ｄスクリーン水位差	T3301	低ブ	179.0	164.4 ℃
08/09 15:32:25	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	L3705B	高ブ	250	254 ｍｍ
08/09 15:32:25	Ａ補助給水流量制御器出力	T3301	低ブ	179.0	187.2 ℃
08/09 15:32:26	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	T3301	高ブ	186.0	187.2 ℃
08/09 15:32:27	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	H3120	低ブ	50.0	49.4 ％
08/09 15:32:27	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	T3301	高ブ	186.0	157.4 ℃
08/09 15:32:28	Ｂ補助給水流量制御器出力	T3301	低ブ	179.0	157.4 ℃
08/09 15:32:28	Ｃ主給水ブースタポンプ入口給水温度	T3301	低低ブ	161.0	157.4 ℃
08/09 15:32:29	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	H3121	低ブ	50.0	48.8 ％
08/09 15:32:30	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	T32036	低低ブ	155.0	154.9 ℃
08/09 15:32:34	充てん流量	LCV3311L	全閉		
08/09 15:32:35	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	開		
08/09 15:32:36	Ｃ冷却材低温側温度（狭域）	F122	低ブ	22.00	21.65 ｍ３／ｈ
08/09 15:32:36	Ｃ補助給水流量制御器出力	LCV3311L	全開		
08/09 15:32:36	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	T431D	低ブ	286.0	286.0 ℃
08/09 15:32:38	復水流量（Ａ）	H3122	低ブ	50.0	48.3 ％
08/09 15:32:39	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	開		
08/09 15:32:39	加圧器温度変化率	F3201A	高高ブ	1950	1847 ｔ／ｈ
08/09 15:32:39	加圧器温度変化率	LCV3311L	全開		
08/09 15:32:40	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	U0176	低低ブ	-9.0	-6.2 ℃／ｈ
08/09 15:32:40	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	U0176	低ブ	-8.0	-6.2 ℃／ｈ
08/09 15:32:40	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	T3301	低低ブ	161.0	181.7 ℃
08/09 15:32:41	復水流量（Ａ）	T3301	低ブ	179.0	181.7 ℃
08/09 15:32:41	Ｄスクリーン水位差	LCV3311L	開		
08/09 15:32:41	２Ｂ湿分分離加熱器出口蒸気温度変化率	F3201A	高高ブ	1950	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:32:42	充てん流量	L3705B	高ブ	250	232 ｍｍ
08/09 15:32:43	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	U6302	高高ブ	56.0	48.5 ℃／ｈ
08/09 15:32:43	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	F122	低ブ	22.00	22.74 ｍ３／ｈ
08/09 15:32:44	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	T3301	低ブ	179.0	135.1 ℃
08/09 15:32:44	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	T3301	低低ブ	161.0	135.1 ℃
08/09 15:32:44	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	T3301	低低ブ	161.0	183.6 ℃
08/09 15:32:45	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	T3301	低ブ	179.0	183.6 ℃
08/09 15:32:46	復水流量（Ａ）	LCV3311L	全閉		
08/09 15:32:46	復水流量（Ａ）	LCV3311L	開		
08/09 15:32:46	Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）	F3201A	高高ブ	1950	1682 ｔ／ｈ
08/09 15:32:47	復水流量（Ａ）	F3201A	高ブ	1770	1682 ｔ／ｈ
08/09 15:32:48	Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）	V419D	低ブ	6.0	5.2 μｍ
08/09 15:32:49	復水流量（Ａ）	F3201A	高ブ	1770	1679 ｔ／ｈ
08/09 15:32:49	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	V419D	低ブ	6.0	8.6 μｍ
08/09 15:32:51	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	F3201A	高高ブ	1950	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:32:51	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	LCV3311L	全閉		
08/09 15:32:51	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	T3301	低ブ	179.0	99.7 ℃
08/09 15:32:52	再生クーラ出口抽出水温度	T3301	低低ブ	161.0	99.7 ℃
08/09 15:32:52	Ａ補助給水流量制御弁	LCV3311L	開		
08/09 15:32:53	Ａ補助給水流量制御器出力	T140	低ブ	123.0	123.0 ℃
08/09 15:32:53	Ｂ補助給水流量制御器出力	HCV3120L	全閉		
08/09 15:32:53	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	H3120	低低ブ	0.0	0.0 ％
08/09 15:32:53	Ｂ補助給水流量制御弁	H3121	低低ブ	0.0	0.0 ％
~~08/09 15:32:55~~	~~復水流量（Ａ）~~	LCV3311L	全閉		
08/09 15:32:55	Ｂ主給水ブースタポンプ入口給水温度	HCV3121L	全閉		
08/09 15:32:55	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	~~F3201A~~	~~高高ブ~~	~~1950~~	~~1812 ｔ／ｈ~~
		T32035	低低ブ	155.0	154.9 ℃
		LCV3311L	開		

A弁閉止操作

B弁閉止操作

手動操作器出力

美浜３号機　　アナウンスメント出力（04/08/09分データ）

C弁閉止操作

			[ｱﾗｰﾑ状態]	[設定値]	[実ﾊﾟﾗﾒｰﾀ]
08/09 15:32:56		復水流量（Ａ）	F3201A	高ﾌﾟ	1770	1745 ｔ／ｈ
08/09 15:32:56		Ｃ冷却材低温側温度ＣＨ２	T430	高ﾌﾟ	289.0	286.0 ℃
08/09 15:32:56	Ｃ冷却材低温側温度ＣＨ２		T430	低ﾌﾟ	286.0	286.0 ℃
08/09 15:32:57	Ｃ補助給水流量制御器出力		H3122	低低ﾌﾟ	0.0	0.0 %
08/09 15:32:57		Ｃ補助給水流量制御弁	HCV3122L	全開		
08/09 15:32:58	復水流量（Ａ）		F3201A	高ﾌﾟ	1770	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:32:58	復水流量（Ａ）		F3201A	高高ﾌﾟ	1950	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:32:58		高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度	T3301	低低ﾌﾟ	161.0	180.9 ℃
08/09 15:32:59		復水流量（Ａ）	F3201A	高高ﾌﾟ	1950	1812 ｔ／ｈ
08/09 15:33:00	＃４軸振動		X3502A4	低ﾌﾟ	0.0100	0.0100 ｍｍ
08/09 15:33:00		復水流量（Ａ）	F3201A	高ﾌﾟ	1770	1673 ｔ／ｈ
08/09 15:33:00	Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）		V419D	低ﾌﾟ	6.0	5.2 μｍ
08/09 15:33:00		湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	全開		
08/09 15:33:01	復水流量（Ａ）		F3201A	高ﾌﾟ	1770	1851 ｔ／ｈ
08/09 15:33:01	Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｘ方向）		V419C	高ﾌﾟ	20.0	20.2 μｍ
08/09 15:33:01		Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）	V419D	低ﾌﾟ	6.0	9.5 μｍ
08/09 15:33:01		１次冷却材飽和温度偏差	U0911	低低ﾌﾟ	2.1	2.2 ℃
08/09 15:33:03	復水流量（Ａ）		F3201A	高高ﾌﾟ	1950	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:33:03	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁		LCV3311L	開		
08/09 15:33:03	１次冷却材飽和温度偏差		U0911	低低ﾌﾟ	2.1	2.0 ℃
08/09 15:33:04		復水流量（Ａ）	F3201A	高高ﾌﾟ	1950	1746 ｔ／ｈ
08/09 15:33:04		復水流量（Ａ）	F3201A	高ﾌﾟ	1770	1746 ｔ／ｈ
08/09 15:33:05	格納容器入口エリアモニタ		R2	低ﾌﾟ	2.50E+00	2.50E+00 μＳｖ／ｈ
08/09 15:33:06		湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	全開		
08/09 15:33:07	復水流量（Ａ）		F3201A	高ﾌﾟ	1770	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:33:07	復水流量（Ａ）		F3201A	高高ﾌﾟ	1950	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:33:07	充てん流量		F122	低ﾌﾟ	22.00	22.00 ｍ３／ｈ
08/09 15:33:08		復水流量（Ａ）	F3201A	高高ﾌﾟ	1950	1661 ｔ／ｈ
08/09 15:33:08		復水流量（Ａ）	F3201A	高ﾌﾟ	1770	1661 ｔ／ｈ
08/09 15:33:08		充てん流量	F122	低ﾌﾟ	22.00	22.58 ｍ３／ｈ
08/09 15:33:09		Ｂ冷却材低温側温度ＣＨ２	T420	高ﾌﾟ	289.0	286.0 ℃
08/09 15:33:09	Ｂ冷却材低温側温度ＣＨ２		T420	低ﾌﾟ	286.0	286.0 ℃
08/09 15:33:09	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁		LCV3311L	開		
08/09 15:33:10	高圧第６Ａ給水加熱器ドレン温度		T3301	低低ﾌﾟ	161.0	97.9 ℃
08/09 15:33:11	復水流量（Ａ）		F3201A	高ﾌﾟ	1770	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:33:11	復水流量（Ａ）		F3201A	高高ﾌﾟ	1950	1999 ｔ／ｈ
08/09 15:33:11	スラスト軸受メタル温度（後－Ａ－２）		T3605	低ﾌﾟ	53.0	52.9 ℃
08/09 15:33:11		湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁	LCV3311L	全閉		
08/09 15:33:11		２Ｂ湿分分離加熱器出口蒸気温度変化率	U6302	高ﾌﾟ	28.0	17.0 ℃／ｈ
08/09 15:33:13		加圧器圧力Ｐ－１１以下ＣＨ３	PB457B	復帰		
08/09 15:33:14		１次冷却材飽和温度偏差	U0911	低低ﾌﾟ	2.1	2.1 ℃
08/09 15:33:14	Ａ主給水ブースタポンプ入口給水温度		T32034	低低ﾌﾟ	153.0	152.8 ℃
08/09 15:33:14		復水流量（Ａ）	F3201A	高高ﾌﾟ	1950	1880 ｔ／ｈ
08/09 15:33:14	充てん流量		F122	低ﾌﾟ	22.00	21.97 ｍ３／ｈ
08/09 15:33:14		＃３軸振動	X3502A3	高ﾌﾟ	0.0270	0.0225 ｍｍ
08/09 15:33:15		充てん流量	F122	低ﾌﾟ	22.00	22.81 ｍ３／ｈ
08/09 15:33:15	発電機密封油圧力（水素側）		P3597A	低ﾌﾟ	485.0	484.7 ｋＰａ
08/09 15:33:15		Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｘ方向）	V419C	高ﾌﾟ	20.0	17.5 μｍ
08/09 15:33:15	湿分分離器ドレンタンク非常用水位制御弁		LCV3311L	開		
08/09 15:33:16	工安設備ラインナップ注意		(VFW563AH |) M/D AFW	[現状態] 閉	[正常状態] 全開
08/09 15:33:16	工安設備ラインナップ注意		(VFW563CH |) M/D AFW	[現状態] 閉	[正常状態] 全開
~~08/09 15:33:16~~		~~復水流量（Ａ）~~	~~F3201A~~	~~高ﾌﾟ~~	~~1770~~	~~1845 ｔ／ｈ~~
08/09 15:33:16		加圧器圧力Ｐ－１１以下ＣＨ２	PB456B	復帰		
08/09 15:33:16		Ａ補助給水ライン電動弁	VFW563AH	閉		

手動操作器出力

アナウンスメント出力（弁閉止操作）

別紙－４（２／４）

アナウンスメント出力（弁開操作）

美浜３号機　　アナウンスメント出力（04/08/09分データ）　　［ｱﾗｰﾑ状態］／［設定値］［実ﾊﾟﾗﾒｰﾀ］

08/09 17:12:03	充てん・抽出アンバランス流量		U0198	高高ブ	2.3	2.8 m3／h	・○
08/09 17:12:12		Dスクリーン水位差	L3705B	高ブ	250	232 mm	・●
08/09 17:12:14	中性子源領域起動率ＣＨ１		N37A	高ブ	0.60	0.99 dpm	・○
08/09 17:12:15		中性子源領域起動率ＣＨ１	N37A	高ブ	0.60	-0.08 dpm	・○
08/09 17:12:22	Dスクリーン水位差		L3705B	高ブ	250	250 mm	・●
08/09 17:12:28		Dスクリーン水位差	L3705B	高ブ	250	228 mm	・●
08/09 17:12:31	Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）		V419D	低ブ	6.0	5.8 μm	・○
08/09 17:12:32		Ｂタービン動補助給水ポンプ起動弁	VAS0158H	開			・○B－T／DAFWP起動弁閉止
08/09 17:12:33	中性子源領域起動率ＣＨ２		N37C	高ブ	0.60	0.73 dpm	・○
08/09 17:12:34		中性子源領域起動率ＣＨ２	N37C	高ブ	0.60	-0.24 dpm	・○
08/09 17:12:38	中性子源領域起動率ＣＨ２		N37C	高ブ	0.60	0.63 dpm	・○
08/09 17:12:39		中性子源領域起動率ＣＨ２	N37C	高ブ	0.60	-0.36 dpm	・○
08/09 17:12:41	中性子源領域起動率ＣＨ２		N37C	高ブ	0.60	0.63 dpm	・○
08/09 17:12:42		中性子源領域起動率ＣＨ２	N37C	高ブ	0.60	-0.02 dpm	・○
08/09 17:12:43		Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）	V419D	低ブ	6.0	6.7 μm	・○
08/09 17:12:43	中性子源領域起動率ＣＨ１		N37A	高ブ	0.60	0.74 dpm	・○
08/09 17:12:44		中性子源領域起動率ＣＨ１	N37A	高ブ	0.60	0.44 dpm	・○
08/09 17:12:56	Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）		V419D	低ブ	6.0	5.9 μm	・○
08/09 17:12:58	充てんポンプ弁操作室エリアモニタ		R4	低ブ	4.50E+00	4.49E+00 μSv／h	・○
08/09 17:13:01		Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）	V419D	低ブ	6.0	8.7 μm	・○
08/09 17:13:24		Ａ補助給水流量制御器出力	H3120	低低ブ	0.0	3.3 %	・○制御器出力開操作
08/09 17:13:29	高圧準室上部メタル温度		T32019A	低ブ	242.0	241.9 ℃	・○
08/09 17:13:33	Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）		V419D	低ブ	6.0	5.6 μm	・○
08/09 17:13:35		Ｂ補助給水流量制御器出力	H3121	低低ブ	0.0	1.5 %	・○制御器出力開操作
08/09 17:13:38		Ｃ補助給水流量制御器出力	H3122	低低ブ	0.0	4.8 %	・○制御器出力開操作
08/09 17:13:40		Ａ補助給水流量制御器出力	H3120	低ブ	50.0	53.6 %	・○制御器出力開操作
08/09 17:13:40	中性子源領域起動率ＣＨ１		N37A	高ブ	0.60	0.89 dpm	・○
08/09 17:13:41	Ａ補助給水流量制御器出力		H3120	高ブ	58.0	58.5 %	・○制御器出力開操作
08/09 17:13:41		中性子源領域起動率ＣＨ１	N37A	高ブ	0.60	0.00 dpm	・○
08/09 17:13:42		Ａ補助給水流量制御器出力	H3120	高ブ	58.0	56.9 %	・○制御器出力開操作
08/09 17:13:43		充てん・抽出アンバランス流量	U0198	高高ブ	2.3	2.2 m3／h	・○
08/09 17:13:44		Ｂ補助給水流量制御器出力	H3121	低ブ	50.0	55.3 %	・○制御器出力開操作
08/09 17:13:44		Ａ－ＲＣＰフレーム振動（Ｙ方向）	V419D	低ブ	6.0	9.1 μm	・○
08/09 17:13:47	充てん・抽出アンバランス流量		U0198	高高ブ	2.3	3.1 m3／h	・○
08/09 17:13:50	中性子源領域起動率ＣＨ２		N37C	高ブ	0.60	0.62 dpm	・○
08/09 17:13:51		Ｃ補助給水流量制御器出力	H3122	低ブ	50.0	51.9 %	・○制御器出力開操作
08/09 17:13:51		中性子源領域起動率ＣＨ２	N37C	高ブ	0.60	-0.23 dpm	・○
08/09 17:13:55	中性子源領域起動率ＣＨ２		N37C	高ブ	0.60	0.63 dpm	・○
08/09 17:13:56		中性子源領域起動率ＣＨ２	N37C	高ブ	0.60	-0.36 dpm	・○
08/09 17:13:58	Ａ高感度型主蒸気管モニタ（Ｌ）		R65B	低ブ	2.00E+01	2.00E+01 nSv／h	・○
08/09 17:13:59	中性子源領域起動率ＣＨ２		N37C	高ブ	0.60	0.70 dpm	・○
08/09 17:14:00		中性子源領域起動率ＣＨ２	N37C	高ブ	0.60	-0.50 dpm	・○
08/09 17:14:07	中性子源領域起動率ＣＨ２		N37C	高ブ	0.60	0.75 dpm	・○
08/09 17:14:08		Ａ高感度型主蒸気管モニタ（Ｌ）	R65B	低ブ	2.00E+01	2.19E+01 nSv／h	・○
08/09 17:14:08		中性子源領域起動率ＣＨ２	N37C	高ブ	0.60	-0.50 dpm	・○
08/09 17:14:15	Ｂ補助給水流量		F3124	高ブ	34.0	34.2 m3／h	・○
08/09 17:14:15	Ｂ補助給水流量制御弁		HCV3121L	開			・○B補助給水流量制御弁開（A・C開かず）
08/09 17:14:16	体積制御タンクベント弁		V8101L	開			・○
08/09 17:14:18		体積制御タンクベント弁	V8101L	全開			・○
08/09 17:14:21	体積制御タンクベント弁		V8101L	開			・○
08/09 17:14:26		体積制御タンクベント弁	V8101L	全開			・○
08/09 17:14:34	体積制御タンクベント弁		V8101L	開			・○
08/09 17:14:41	第１段抽気温度変化率		U6300	低ブ	-7.5	-7.5 ℃／h	・○
08/09 17:14:42		体積制御タンクベント弁	V8101L	全開			・○

手動操作器出力＊

A弁開操作

B弁開操作

C弁開操作

＊：当直員の開操作により、制御器出力信号が低低プレアラーム状態を復帰したことを示す。
プラント計算機のデータ収集周期及び各操作器の操作スピードにより制御器出値に差が発生した。
（プラント計算機データ収集周期：１秒）

手動操作器出力信号と弁開度の確認試験結果

【 確認対象：B補助給水流量制御弁 】

【 試験方法 】

弁制御信号系統については、アナウンスメントタイプライタが「0.0%」を印字するための手動操作器出力を確認したところ、最大で「0.06%」であった。
このことから、手動操作器出力を「0.06%」開度信号として入力した際のB弁ダイヤフラム圧力を確認する。

3FHC－3121 手動操作器出力			プラント計算機		I／P変換器入力		I／P変換器出力	ダイヤフラム圧力	3HCV－3121 弁開度
手動操作器指示値（弁開度要求信号）	出力値		内部演算値	指示値					
[%] ( )内は出力電流値より換算した値	[mA] ( )内は計測値	[V]	[カウント] ( )内は計測値	[%] ( )内は指示結果	[mA]	[mV] ( )内は計測値	[kPa] ( )内は計測値	[MPa] ( )内は計測値	[%] ( )内は計測値
100.0	4.00	1.0000	400	100.0	4.00	100.00	20.00	—	—
75.0	8.00	2.0000	800	75.0	8.00	200.00	40.00	—	—
50.0	12.00	3.0000	1,200	50.0	12.00	300.00	60.00	—	—
25.0	16.00	4.0000	1,600	25.0	16.00	400.00	80.00	—	—
0.0 (0.0625)	19.99 (19.9900)	4.9975	1,999 (1,999)	0.1 (0.1)	19.99	499.75 (500.3)	99.94 (99.835)	(0.40)	(0)
0.0 (0.0600)	19.99 (19.9904)	4.9976	2,000 (2,000)	0.0 (0.0)	19.99	499.76 (500.3)	99.95 (99.835)	(0.40)	(0)
0.0	20.00	5.0000	2,000	0.0	20.00	500.00	100.00	—	—

【 確認結果 】

・手動操作器出力　19.9904mA（弁開度0.06%相当）を印加し、ダイヤフラム圧力及び弁開度を確認した結果ダイヤフラム圧力は弁全閉圧力（設計値）の0.38MPaを上回る0.40MPaであり、また、弁開度は0%（全閉状態）であった。

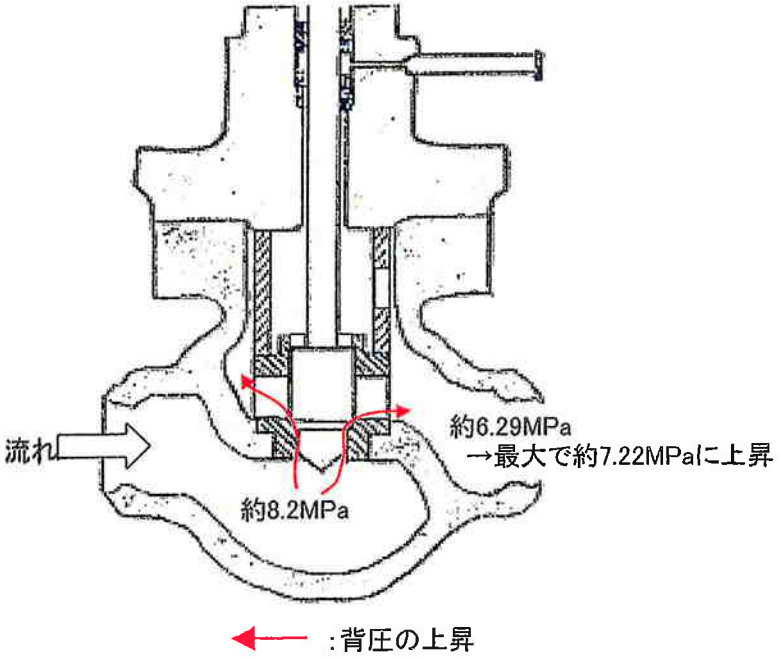
【 補足説明 】

・プラント計算機印字0～100%は、計算機の内部演算（400～2,000カウント）の結果による。
・計算機の内部演算値1カウントの重みは、0.0625%（電圧値に換算すると0.0025V）である。
・2,000カウントから1カウントダウン（1,999カウント）すれば、プラント計算機出力は0.1%と印字する。

別紙－4（4／4）

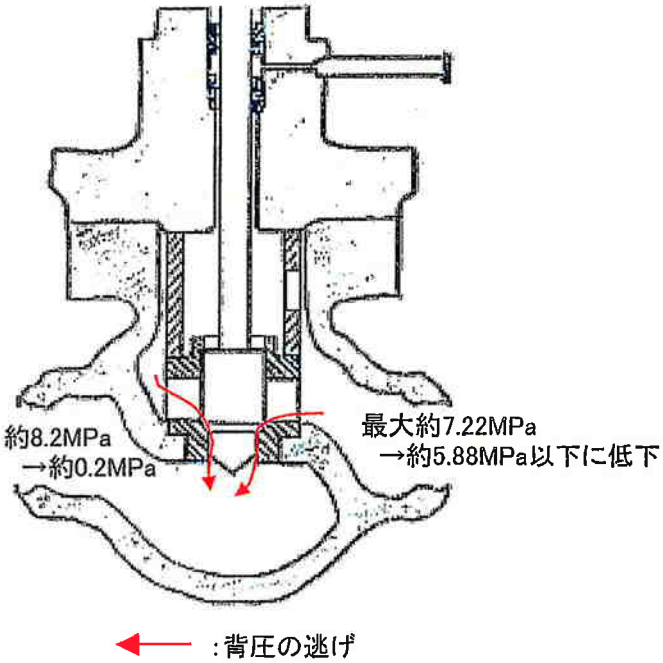
B弁の開動作推定メカニズム

タービン動補助給水ポンプ運転中（ポンプ停止直前）



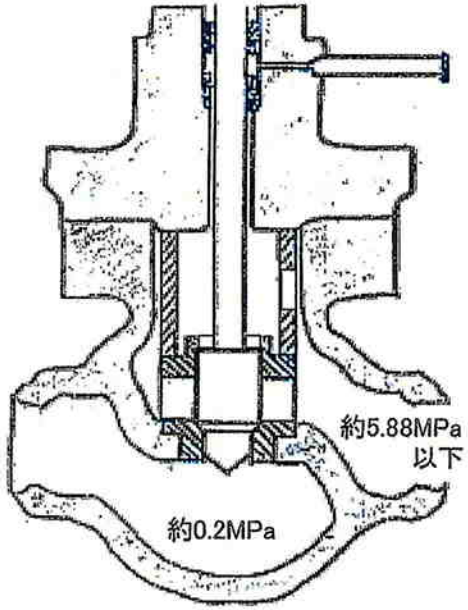
弁閉止後もシート部からタービン動補助給水ポンプの吐出圧力（約8.2MPa）が弁出口側へ加わり、背圧が最大で7.22MPaまで上昇した。

タービン動補助給水ポンプ停止時（17：12）



タービン動補助給水ポンプ停止時に弁入口側の圧力低下とともに背圧となる系統水が逃げた。

弁開放操作時（17：13）



背圧が弁の開放力（5.88MPa）を下回っていた為開動作した。

別紙－5

「美浜発電所３号機２次系配管破損事故調査委員会（第４回）資料４－１－１－１（別添１）」より引用

美浜発電所3号機2次系配管破損事故に係る現地調査データ

平成16年9月6日

美浜発電所3号機2次系配管破損事故に係る現地調査データ

目　次

１．　現地における損傷配管（Ａ系配管）及びＢ系配管の肉厚測定結果について

２．　現地における損傷配管（Ａ系配管）及びＢ系配管の外径計測結果について

３．　現地における損傷配管（Ａ系配管）のオリフィス関係調査結果について

４．　配管破損部写真集

現地における損傷配管（A系配管）及びB系配管の肉厚測定結果について

1．調査目的

美浜3号機の損傷配管（A系配管）およびB系配管の減肉状況を確認するため、現地において超音波肉厚測定器にて肉厚測定を実施する。

2．調査内容

損傷配管（A系配管）及びB系配管の肉厚測定範囲を別紙1に示す。

（1） 損傷配管（A系配管）

・オリフィス上流

範囲：オリフィス上流端面から－10D付近（オリフィス上流エルボ出口からオリフィスまで）

測定：軸方向D間隔程度、円周方向8等分

・オリフィス下流

範囲：オリフィス下流端面から＋4D付近（オリフィスから下流第1エルボ入口まで）

測定：軸方向20mm 間隔、円周方向20mm 間隔

・オリフィス下流第1エルボ

範囲：オリフィス下流第1エルボ部

測定：エルボ入口部、出口部、中央部と中間（2点）の5箇所

・オリフィス下流エルボ後直管

範囲：オリフィス下流エルボ後直管部（オリフィス下流第1エルボ出口から第2エルボ入口まで）

測定：軸方向D間隔程度、円周方向8等分

（2） B系配管

・オリフィスの上流

範囲：オリフィス上流端面から－10D付近（オリフィス上流エルボ出口からオリフィスまで）

測定：軸方向D間隔程度、円周方向8等分

・オリフィス下流

範囲：オリフィス下流端面から＋4D付近（オリフィスから下流エルボ入口まで）

測定：軸方向20mm 間隔、円周方向20mm 間隔

3．調査結果

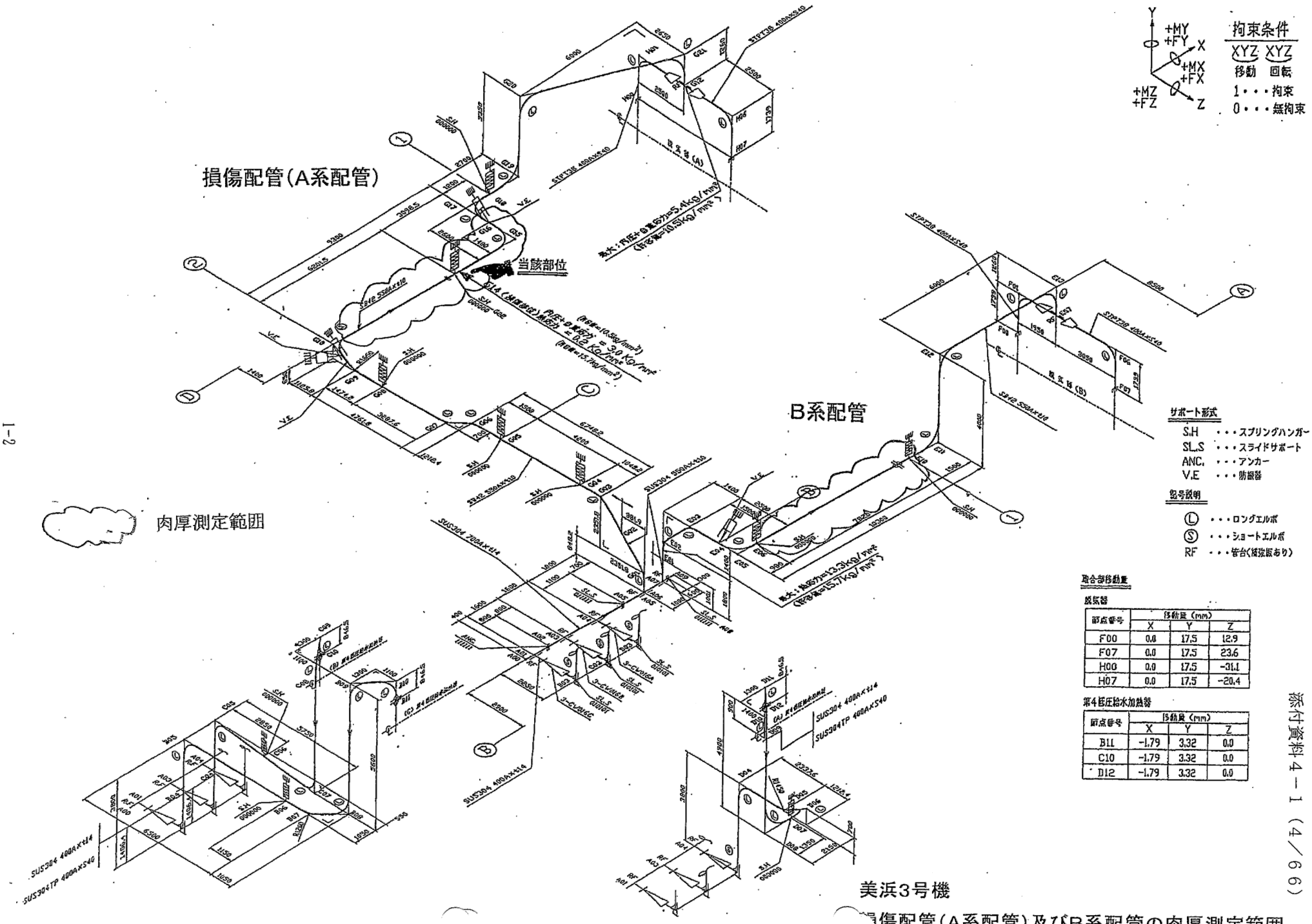
（1） 損傷配管（A系配管）

損傷配管（A系配管）の肉厚測定結果を別紙2、3に示す。また、周方向の減肉状況分布を別紙4～8及び軸方向の減肉状況分布を別紙9、10に示す。測定の結果、オリフィス下流の697mm 付近の破口先端部において、肉厚が0．4mm の箇所が認められた。

（2） B系配管

B系配管の肉厚測定結果を別紙11に示す。また、周方向の減肉状況分布を別紙12～16、軸方向の減肉状況分布を別紙17、18に示す。測定の結果、オリフィス下流734 mm 付近において、肉厚1．8mm の箇所が認められた。

以　上



拘合部移動量

脱気器

節点番号	移動量 (mm)		
	X	Y	Z
F00	0.0	17.5	12.9
F07	0.0	17.5	23.6
H00	0.0	17.5	-31.1
H07	0.0	17.5	-20.4

第4低圧給水加熱器

節点番号	移動量 (mm)		
	X	Y	Z
B11	-1.79	3.32	0.0
C10	-1.79	3.32	0.0
D12	-1.79	3.32	0.0

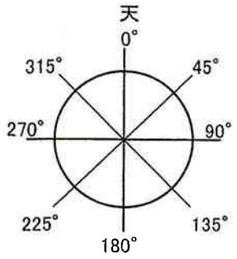
美浜3号機

損傷配管(A系配管)及びB系配管の肉厚測定範囲

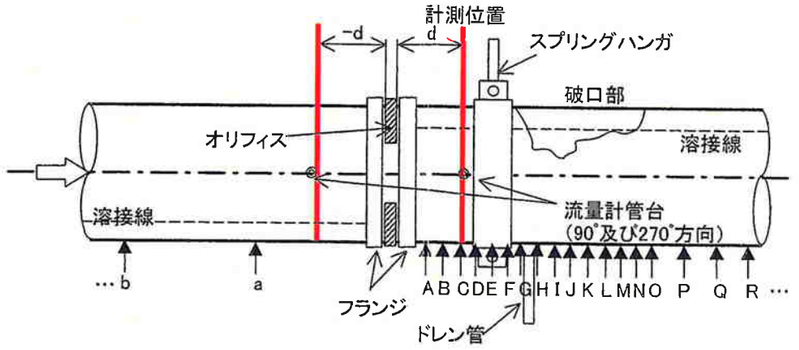
美浜3号機　A-主復水管オリフィス前後の直管部の肉厚測定結果

（単位:mm）

オリフィス端面からの距離(d) ＼ 角度	オリフィス上流側									
	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
	-5238 (-10D付近)	-4688 (-9D付近)	-4138 (-8D付近)	-3588 (-7D付近)	-3038 (-6D付近)	-2488 (-5D付近)	-1938 (-4D付近)	-1389 (-3D付近)	-839 (-2D付近)	-289 (-D付近)
0°	9.4	10.3	10.0	10.3	10.2	10.2	10.1	10.2	10.4	10.6
45°	9.8	9.2	9.9	10.3	10.3	10.2	10.2	10.4	10.4	10.5
90°	10.2	8.8	9.9	10.3	10.3	10.2	10.2	10.6	10.4	10.4
135°	9.5	12.5	14.2	14.5	14.3	13.6	13.6	13.7	14.9	14.7
180°	9.4	9.9	10.6	10.6	10.6	10.1	10.4	10.1	10.5	10.5
225°	9.3	10.0	10.6	10.6	10.4	10.1	10.3	10.6	10.7	10.6
270°	9.5	10.2	10.4	10.6	10.3	10.2	10.2	10.6	10.5	10.4
315°	9.5	10.2	10.5	10.3	10.4	10.2	10.1	10.6	10.6	10.4



上流側から見て



：破口部

（単位:mm）

オリフィス端面からの距離(d) ＼ 角度	オリフィス下流側																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	137 (1/4D付近)	197 (3/8D付近)	277 (1/2D付近)	337 (5/8D付近)	417 (3/4D付近)	477 (7/8D付近)	537 (D付近)	617 (1･1/8D付近)	697 (1･1/4D付近)	757 (1･3/8D付近)	817 (1･1/2D付近)	897 (1･5/8D付近)	957 (1･3/4D付近)	1037 (1･7/8D付近)	1097 (2D付近)	1237 (2･1/4D付近)	1377 (2･1/2D付近)	1516 (2･3/4D付近)	1577 (3D付近)	1797 (3･1/4D付近)	1916 (3･1/2D付近)	2056 (3･3/4D付近)	2197 (4D付近)
0°	5.5	5.5	5.7	4.4		1.4	0.9	0.6	*0.5	0.6	0.6	0.8	1.2	1.3	1.6	1.9	2.6	2.9	3.0	3.7	4.3	4.7	5.1
22.5°	5.4	5.4	5.5				0.8	0.7	0.7	0.9	1.1	1.1	1.3	1.5	1.7	2.2	2.6	2.9	3.1	3.9	4.3	4.8	5.2
45°	10.2	10.2	10.4				5.7	5.7	5.9	5.7	6.1	6.2	6.3	7.1	6.8	7.1	7.6	8.1	8.1	9.2	9.7	9.9	10.1
67.5°	7.0	6.6	6.2				2.1	1.8	1.7	2.0	2.0	2.2	2.4	2.6	2.7	3.1	3.4	3.7	3.9	4.8	5.0	5.6	5.6
90°	7.4						3.1	2.6	2.4	2.4	2.6	2.9	3.0	3.2	3.1	3.4	3.7	4.0	4.2				
112.5°	7.5		7.1				3.8	3.4	3.2	3.1	3.2	3.5	3.6	3.7	3.7	3.9	4.1	4.4	4.6	5.8	6.7	6.4	6.2
135°	8.4		7.9				5.2	5.4	5.2	5.1	5.0	5.1	5.2	5.0	4.8	4.7	4.9	5.4	5.6	6.9	8.0	7.8	6.9
157.5°	10.5	10.5	10.4				8.6	8.7	8.8	8.5	8.7	8.7	8.6	8.4	7.7	6.9	6.7	7.2	7.3	8.9	9.9	8.9	7.7
180°	10.4	10.6	10.4						4.5	5.5	7.8	10.3	10.4	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2
202.5°	10.3	10.3	10.4				8.8	8.2	9.3	9.3	9.1	8.9	8.7	8.3	8.0		6.6	7.2	7.4	8.4	9.0	9.1	9.8
225°	8.4	8.3	7.9					5.0	5.0	4.7	4.4	4.3	4.1	4.0	3.8		4.0	4.8	5.1	5.9	6.6	6.8	7.1
247.5°	7.6	7.4	7.0					3.5	3.5	3.0	2.5	3.3	3.0	2.8	2.5		3.3	3.8	3.9	4.8	5.2	5.7	6.0
270°	6.7	6.3						1.8	1.6	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	2.0		2.6	3.1	3.1	4.0	4.4	5.0	5.3
292.5°	6.2	5.8	5.8				1.5	1.3	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.6	2.0	2.4	2.7	2.9	3.7	4.1	4.6	5.0
315°	5.8	5.6	5.4				1.2	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.6	1.9	2.3	2.8	3.0	3.7	4.1	4.7	5.0
337.5°	5.4	5.3	5.6				0.7	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0	1.3	1.5	1.9	2.3	2.8	3.0	3.6	3.9	4.5	4.9

スプリングハンガの上部合わせ面の隙間部より測定

流量計管台部測定不可

現場保護のため測定不可

スプリングハンガのため測定不可

ドレン管台部のため測定不可

破口部のため測定不可

現場保護のため測定不可

現場保護のため測定不可

干渉物のため測定不可

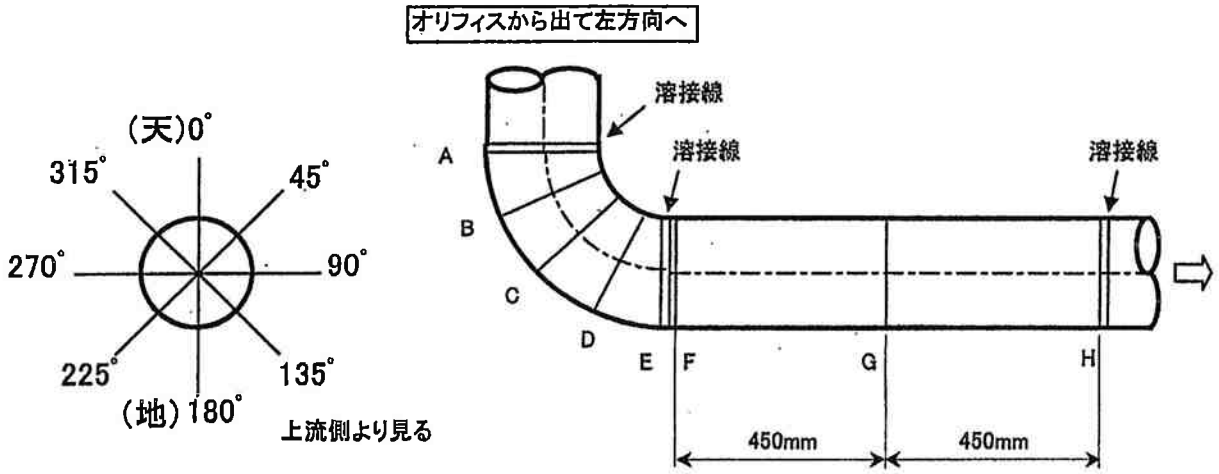
*:0°～22.5° の間に全データの最小値0.4mm

美浜3号機　A-主復水管オリフィス後のエルボ他の肉厚測定結果

（単位:mm）

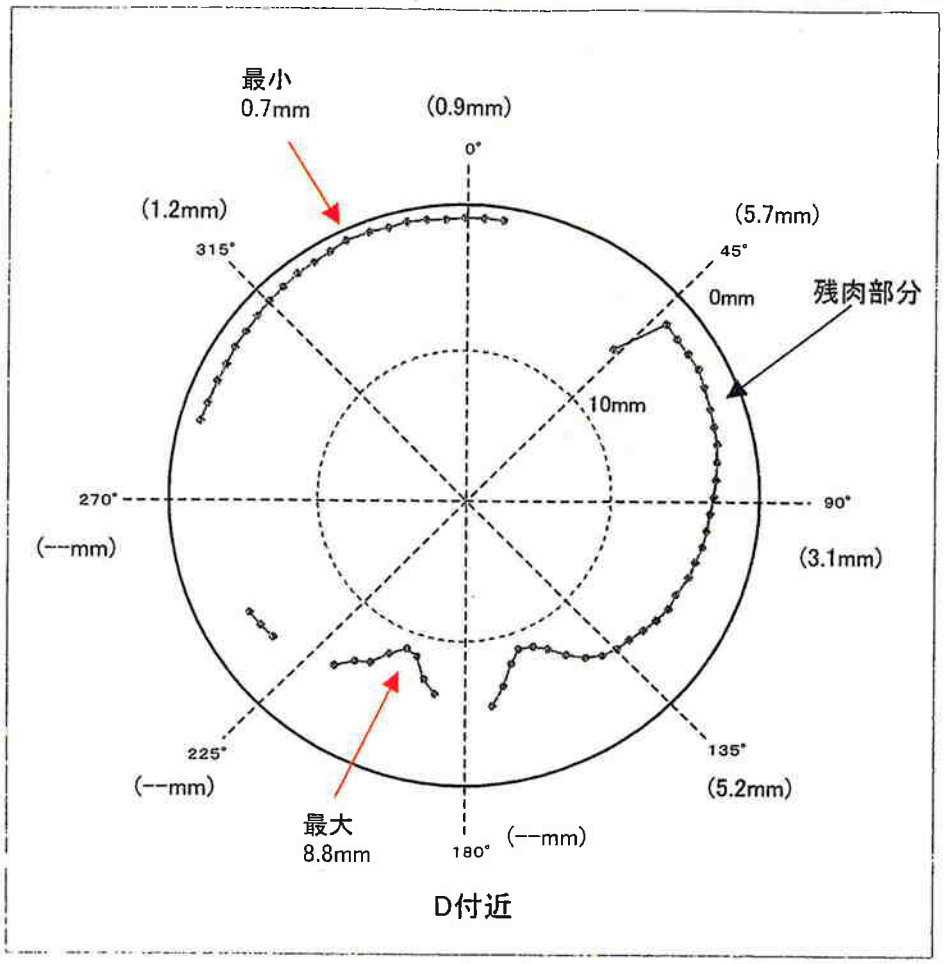
	オリフィス下流エルボ					直管		
計測位置 / 角度	A	B	C	D	E	F	G	H
0°	9.0	10.6	10.5	10.1	9.4	8.7	9.1	9.7
45°	9.2	10.2	10.4	10.1	9.7	8.9	9.1	9.5
90°	9.1	10.5	10.5	10.5	9.8	9.1	9.4	9.7
135°	9.6	10.1	10.4	10.5	10.6	10.1	9.6	10.5
180°	10.6	10.5	10.5	10.6	10.4	10.5	10.7	10.6
225°	10.2	10.9	10.9	10.0	9.5	9.2	9.6	9.9
270°	8.7	10.3	9.8	9.0	9.0	9.0	9.3	9.9
315°	9.0	10.7	10.8	10.0	9.2	7.9	10.5	9.5

最小:7．9mm

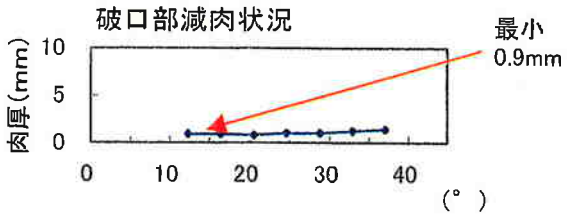


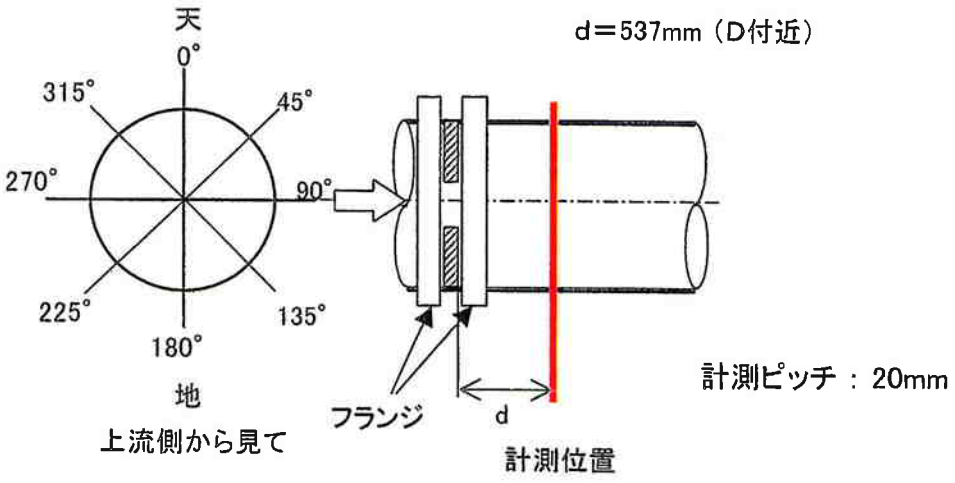
別紙４

美浜3号機　A－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）



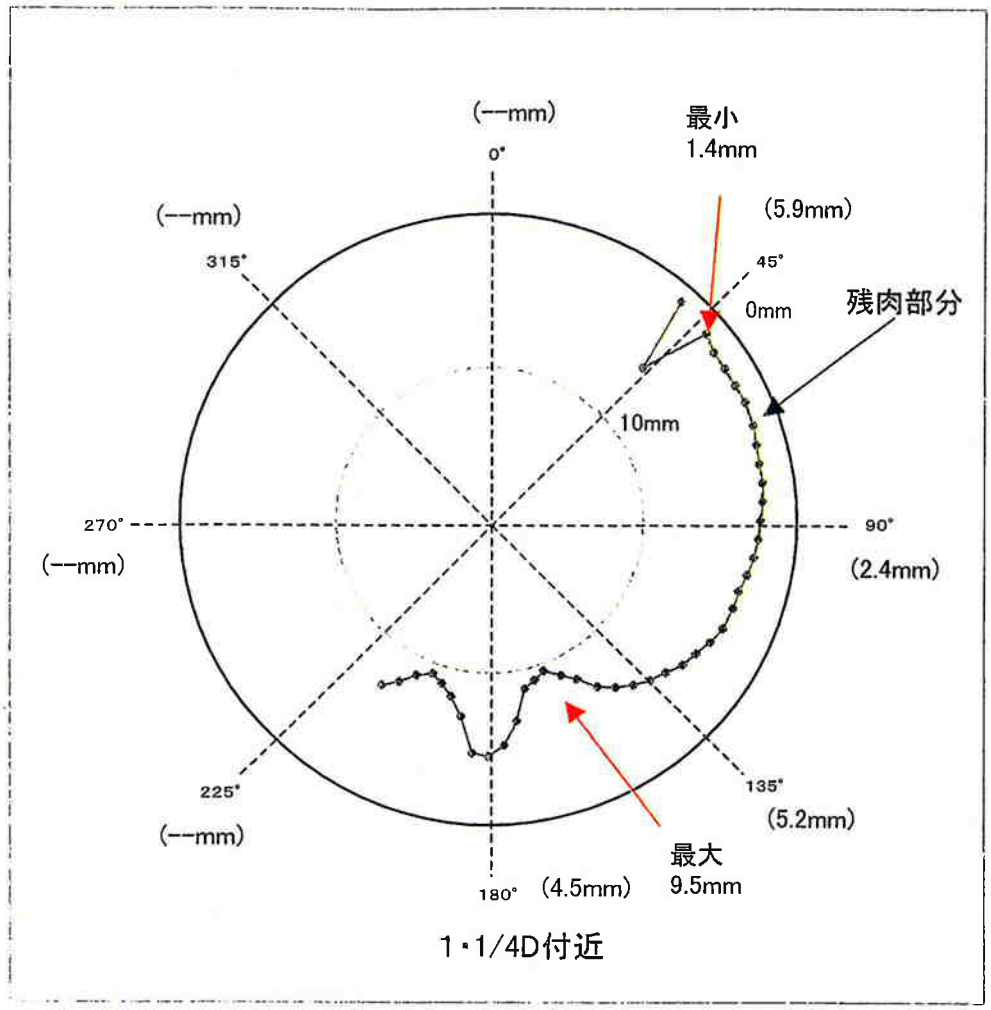
D付近

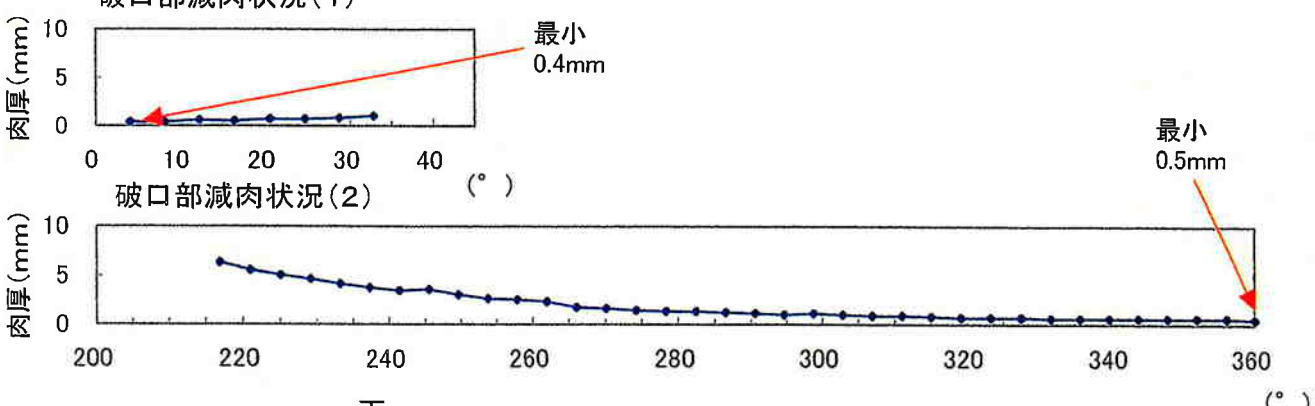


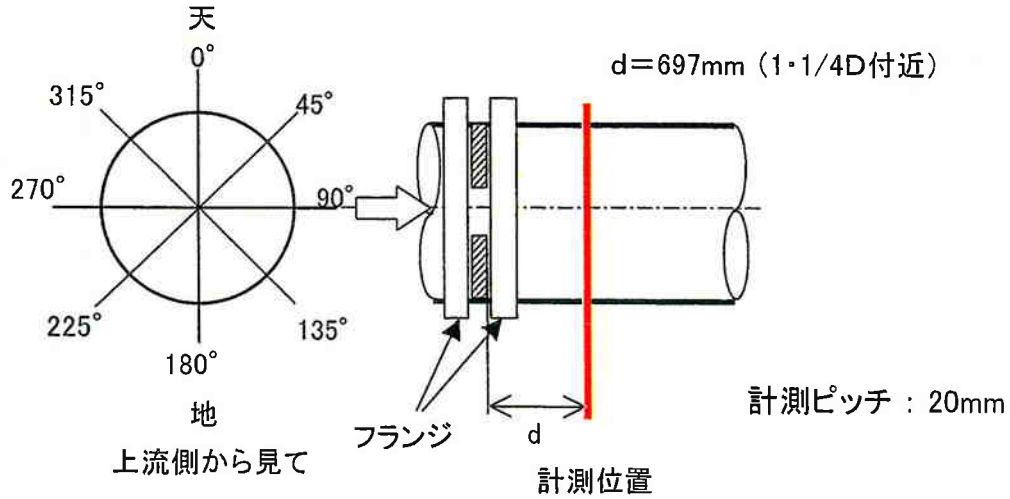


別紙５

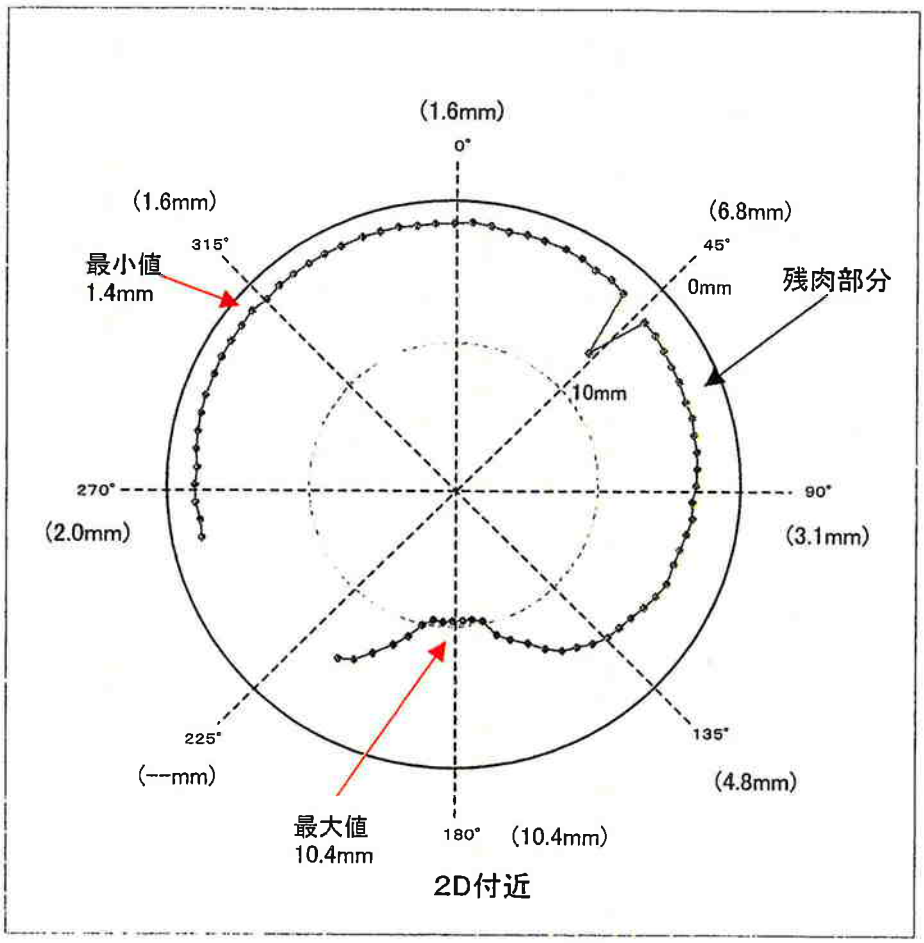
美浜3号機　A－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）



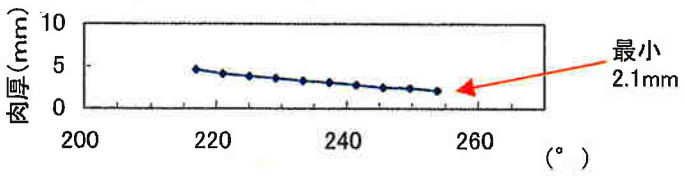


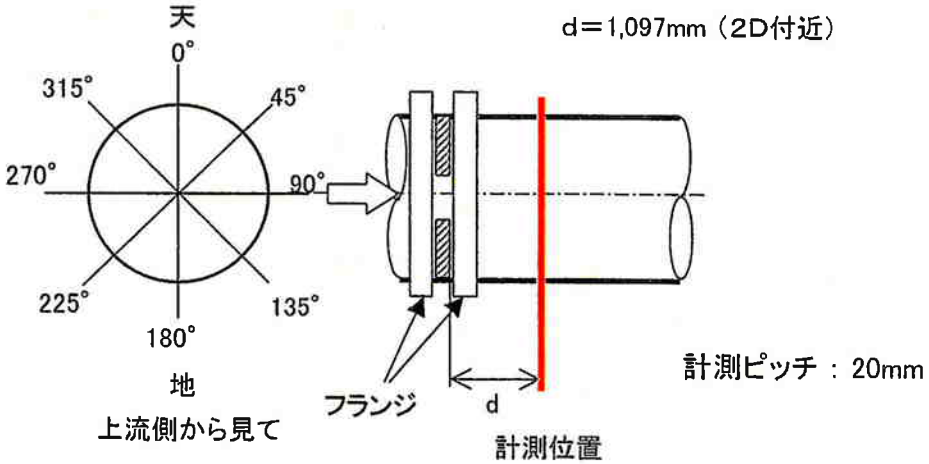


美浜3号機　A－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）

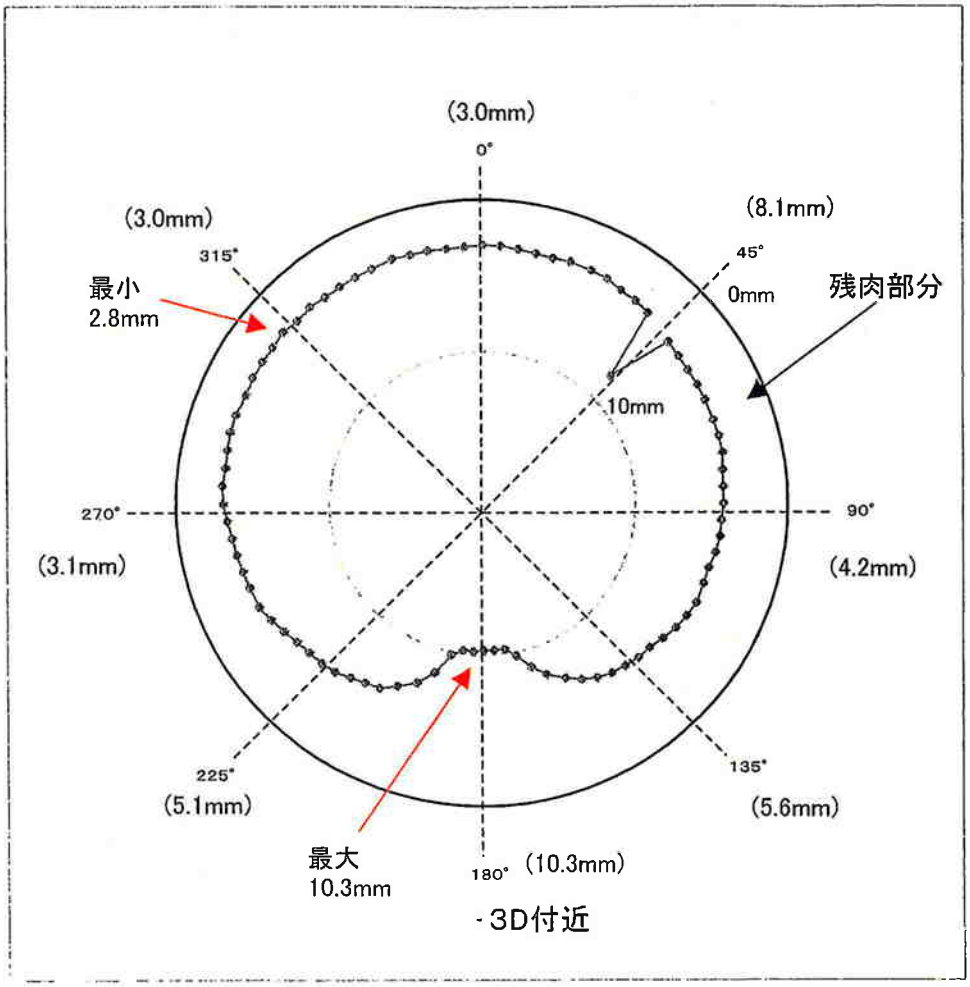


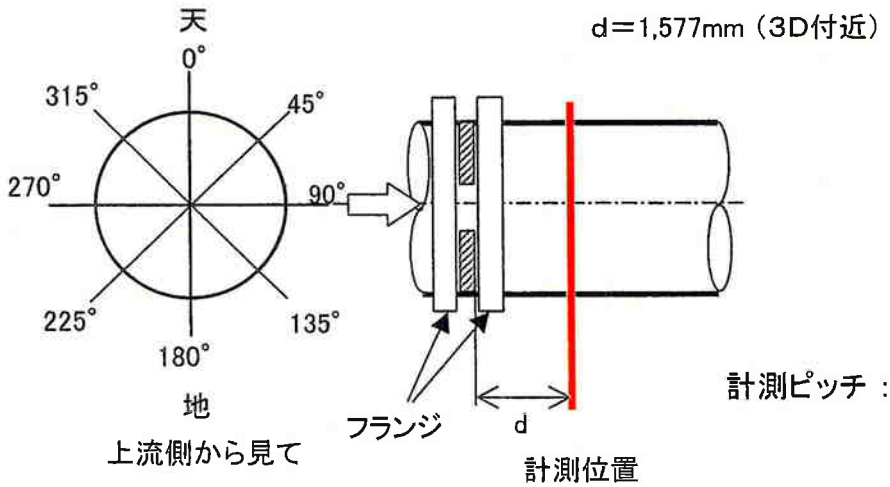
破口部減肉状況



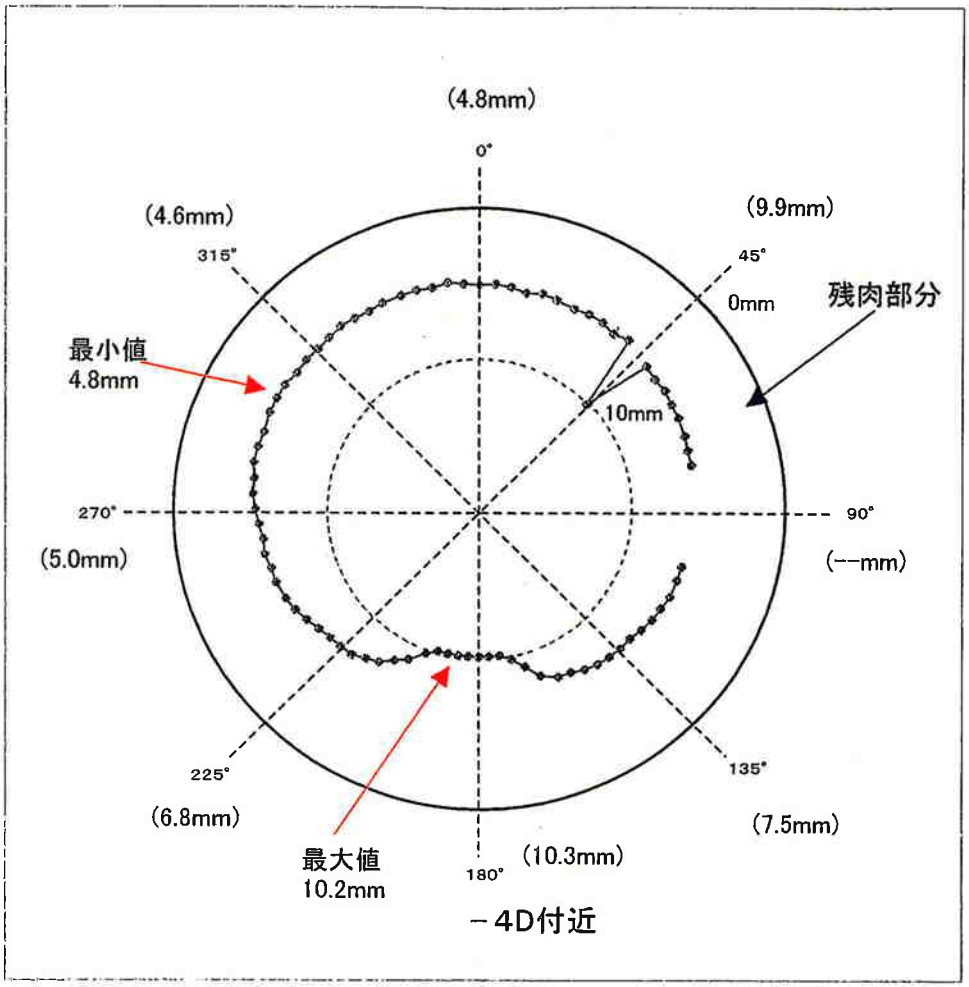


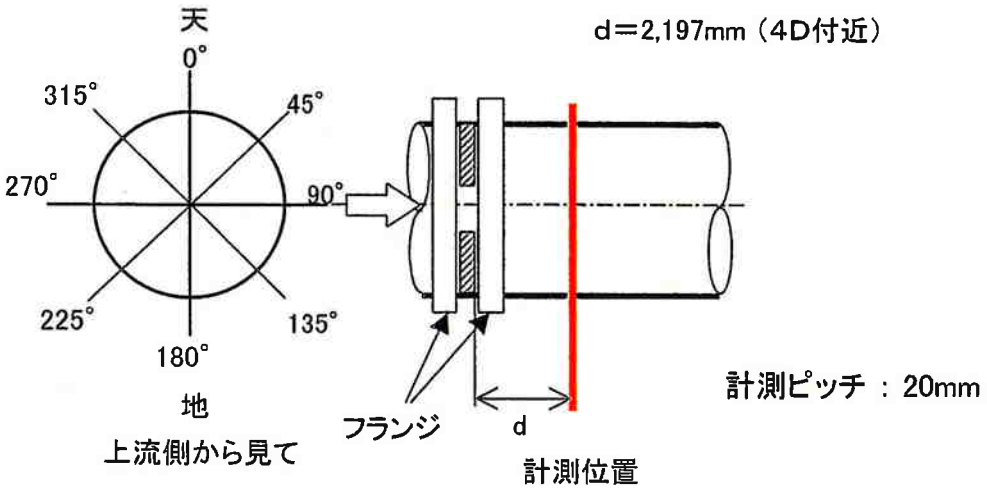
美浜3号機　A－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）



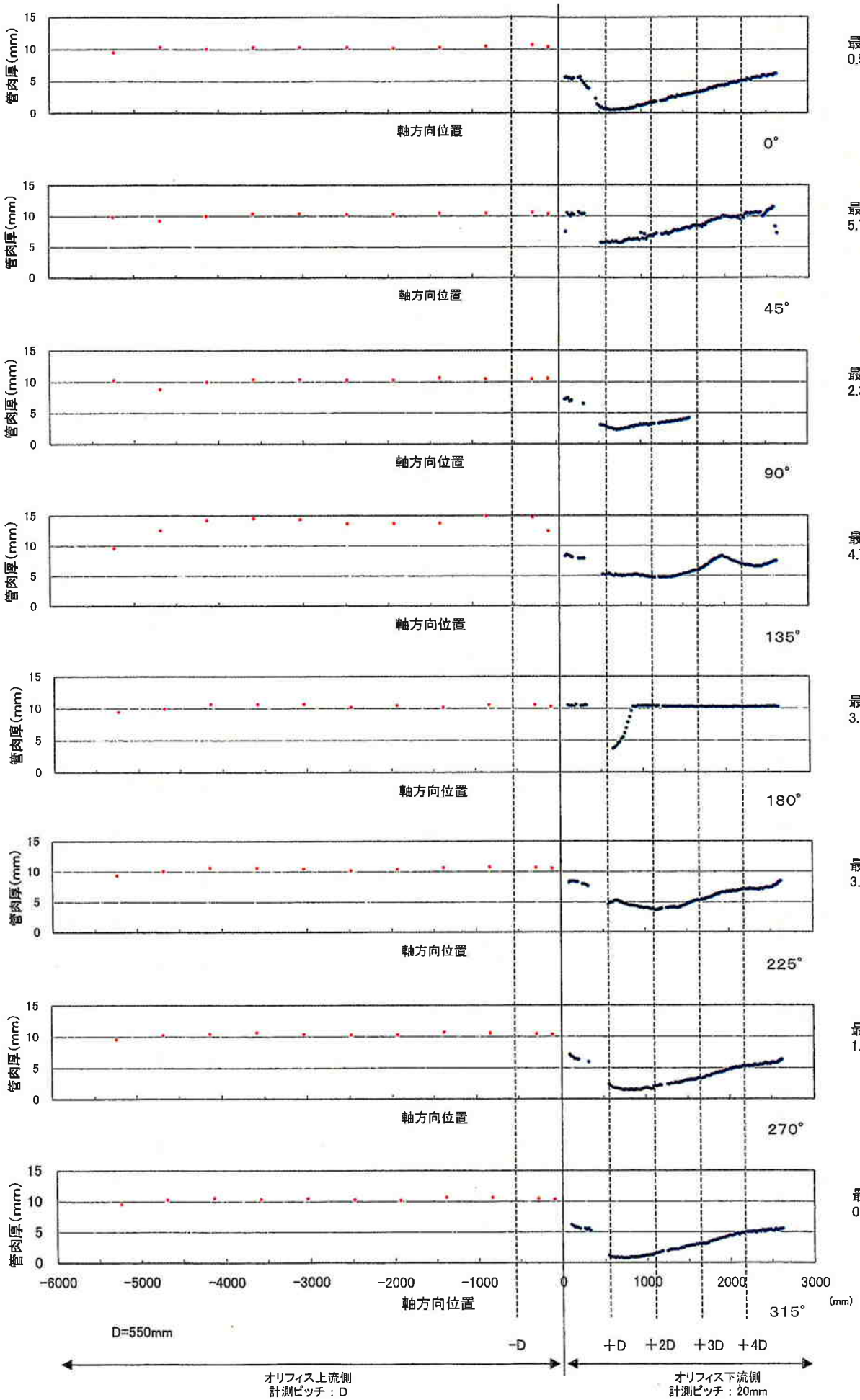


美浜3号機　A－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）



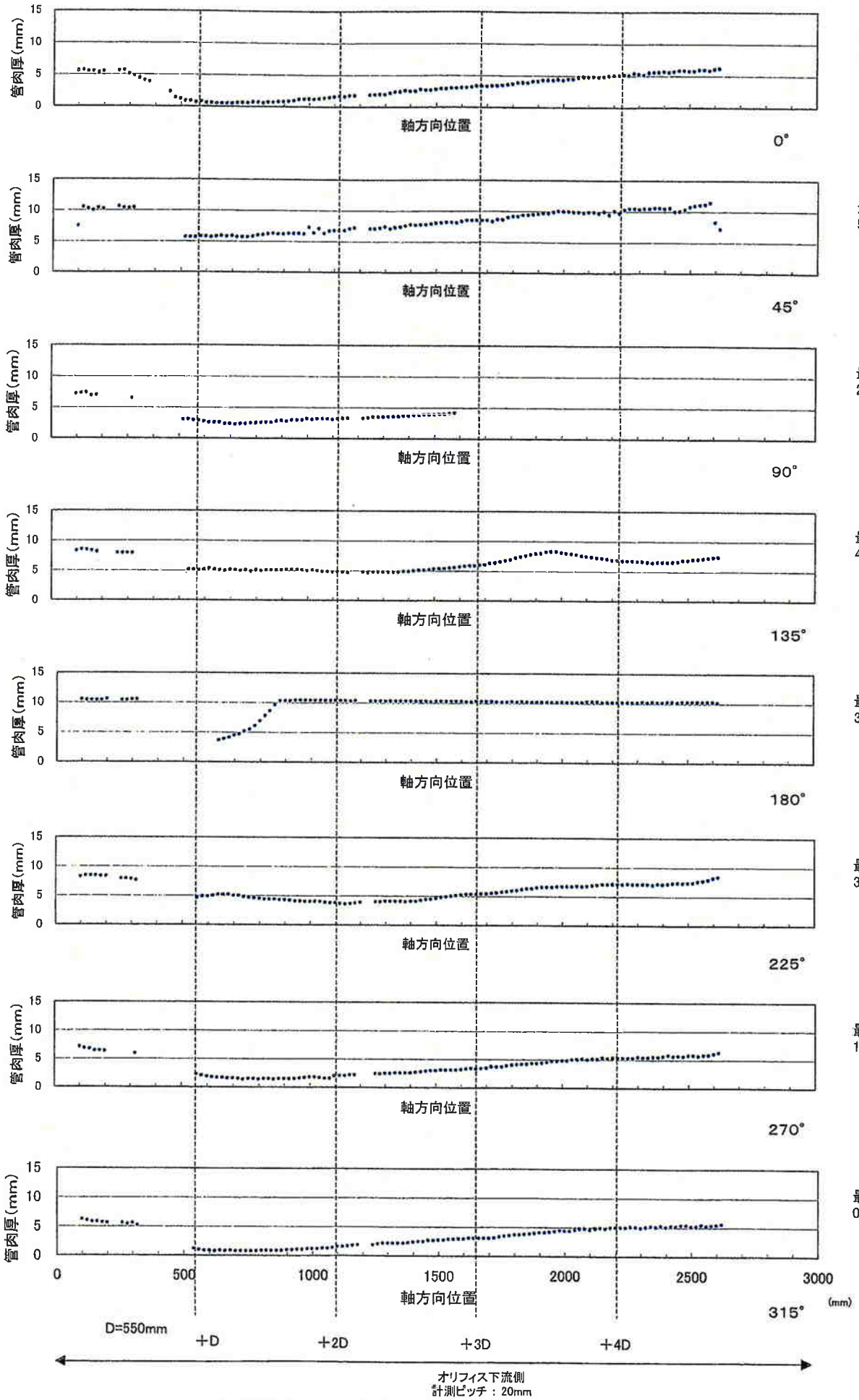


美浜3号機　A－主復水管オリフィス前後の直管部減肉状況（軸方向分布）　別紙９



＊軸方向位置は上下流側の各オリフィス端面を0として下流側を正としている

美浜3号機　A－主復水管オリフィス後の直管部減肉状況（軸方向分布）　別紙１０

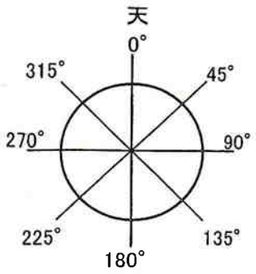


＊軸方向位置は上下流側の各オリフィス端面を0として下流側を正としている

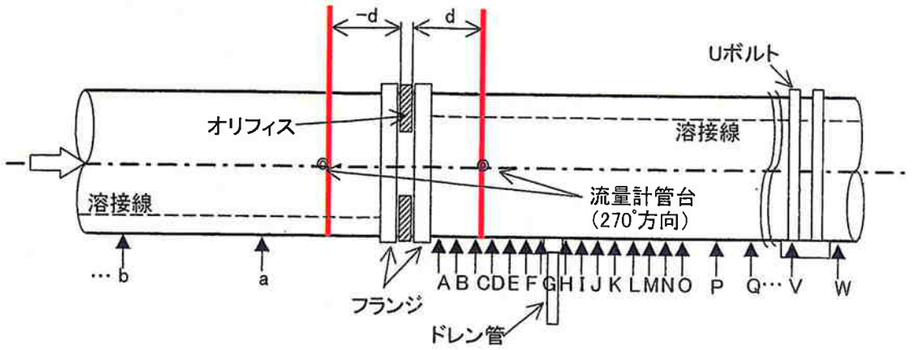
美浜3号機　B-主復水管オリフィス前後の直管部の肉厚測定結果

（単位:mm）

オリフィス端面からの距離(d) ＼ 角度	オリフィス上流側									
	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
	-5299 (-10D付近)	-4749 (-9D付近)	-4199 (-8D付近)	-3649 (-7D付近)	-3099 (-6D付近)	2549 (-5D付近)	-1999 (-4D付近)	-1449 (-3D付近)	-899 (-2D付近)	-349 (-D付近)
0°	10.2	10.1	10.3	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.5	10.5
45°	10.2	10.3	10.4	10.4	10.3	10.4	10.5	10.5	10.5	10.5
90°	10.2	10.3	10.4	10.4	10.3	10.4	10.5	10.5	10.5	10.5
135°	11.1	11.4	11.5	11.9	11.9	11.8	11.8	12.1	11.8	12.2
180°	10.1	10.1	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.3	10.3	10.4
225°	10.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.3	10.4	10.4	10.4	10.5
270°	10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.4	10.5
315°	10.2	10.2	10.4	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.4	10.5



上流側から見て

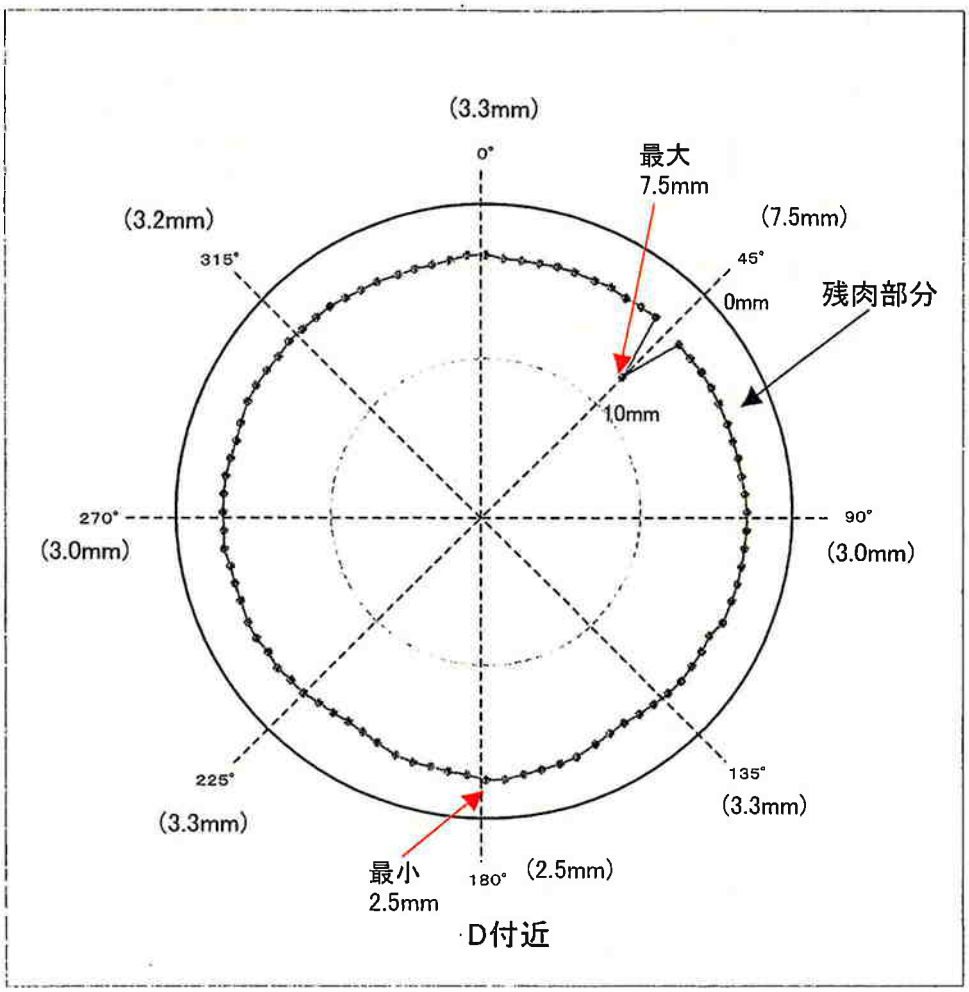


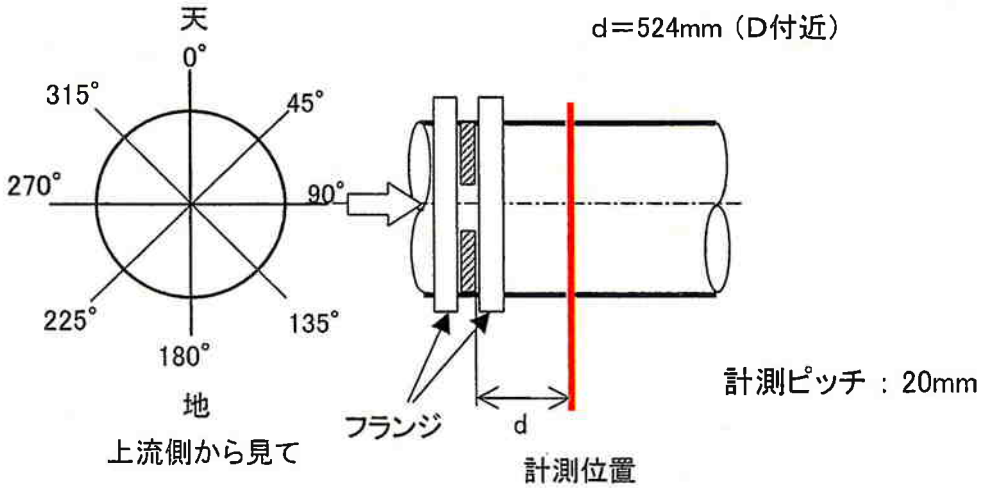
（単位:mm）

オリフィス端面からの距離(d) ＼ 角度	オリフィス下流側																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	143 (1/4D付近)	184 (3/8D付近)	284 (1/2D付近)	344 (5/8D付近)	404 (3/4D付近)	484 (7/8D付近)	524 (D付近)	624 (1・1/8D付近)	734 (1・1/4D付近)	754 (1・3/8D付近)	834 (1・1/2D付近)	894 (1・5/8D付近)	954 (1・3/4D付近)	1034 (1・7/8D付近)	1094 (2D付近)	1244 (2・1/4D付近)	1384 (2・1/2D付近)	1523 (2・3/4D付近)	1644 (3D付近)	1724 (3・1/4D付近)	1934 (3・1/2D付近)	2054 (3・3/4D付近)	2254 (4D付近)
0°	6.5	6.7	7.6	6.3	5.2	3.9	3.3	4.0	3.9	4.1	3.8	3.0	4.0	3.7	3.9	3.5	3.3	3.5	3.6	3.7	4.0		4.7
22.5°	6.4	6.7	7.0	6.2	5.1	3.8	3.4	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.1	3.1	3.3	3.4	3.5	3.8	Uボルトのため測定不可	4.6
45°	10.8	11.2	11.2	10.7	9.3	7.6	7.5	6.7	6.7	7.0	7.0	6.8	6.8	7.4	7.5	7.5	7.8	7.9	8.2	8.3	8.7		8.2
67.5°	7.1	7.3	7.3	6.5	5.3	3.7	3.3	2.7	2.6	2.7	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.5	3.4	3.9	3.9	4.1	4.4		5.1
90°	7.4	7.3	7.1	6.2	4.8	3.5	3.0	2.7	2.8	2.9	2.9	3.1	3.1	3.2	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.4	4.6		5.2
112.5°	7.0	6.9	6.6	5.7	4.6	3.3	3.0	2.6	2.7	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.4	3.8	4.1	4.4	4.6	4.7	5.0	5.4	5.6
135°	7.0	7.0	6.6	5.7	4.7	3.7	3.3	2.7	3.0	3.0	3.1	3.3	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	4.8	5.1	5.2	5.5	5.7	5.9
157.5°	6.8	6.9	6.4	5.5	4.6	3.5	3.3	3.2	2.7	2.6	2.7	2.8	3.1	3.2	3.4	3.9	4.5	4.4	4.6	4.7	5.7		5.7
180°	6.5	6.5	6.1	5.9	4.0	2.9	2.5	2.1	1.9	2.0	2.1	2.3	2.5	2.7	2.7	3.0	3.6	3.8	4.1	4.3	4.9	Uボルトのため測定不可	5.7
202.5°	6.5	6.6	6.4	5.4	4.4	3.3	3.1	2.8	*2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3.1	3.1	3.4	3.8	4.1	4.4	4.5	4.9		5.7
225°	6.4	6.8	6.8	5.7	4.7	3.6	3.3	2.9	2.8	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.7	4.0	4.4	4.7	4.9	5.2	5.8	6.1
247.5°	6.2	6.4	6.6	5.3	4.2	3.4	3.0	2.6	2.6	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.7	4.0	4.2	4.5	4.8	5.4	6.1
270°	6.1	6.2	流量計管台部測定不可	5.3	4.2	3.2	3.0	2.7	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2	3.5	3.7	3.8	3.9	4.2		5.1
292.5°	6.0	6.2	6.6	5.3	4.2	3.4	3.1	3.0	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4.2	Uボルトのため測定不可	4.8
315°	6.3	6.3	6.8	5.7	4.6	3.5	3.2	3.2	3.3	3.1	2.6	3.3	3.5	3.6	3.5	3.4	3.4	3.6	3.7	3.9	4.1		4.7
337.5°	6.2	6.3	6.8	5.9	4.7	3.7	3.5	3.8	3.9	3.9	3.8	4.0	4.1	3.9	3.7	3.4	3.4	3.6	3.6	3.7	4.0		4.6

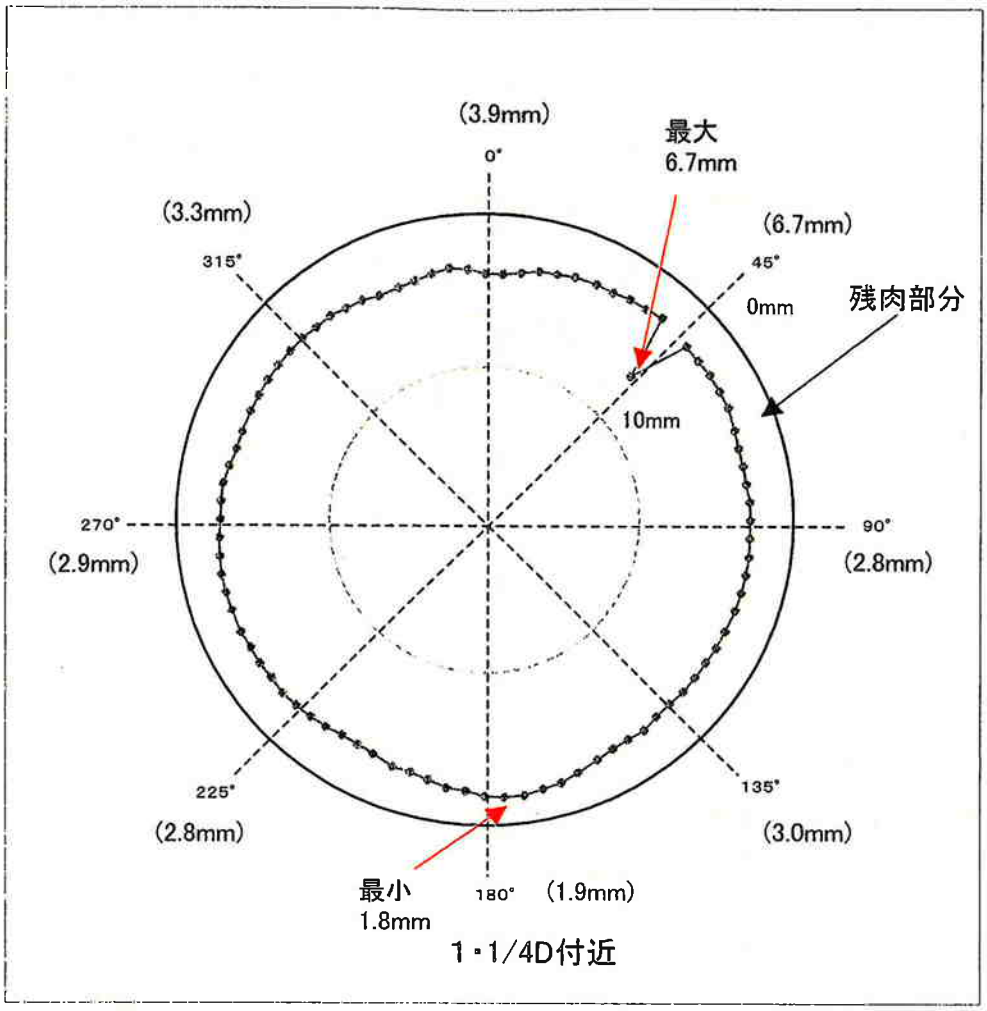
*：202.5°～225°の間に全データの最小値1.8mm

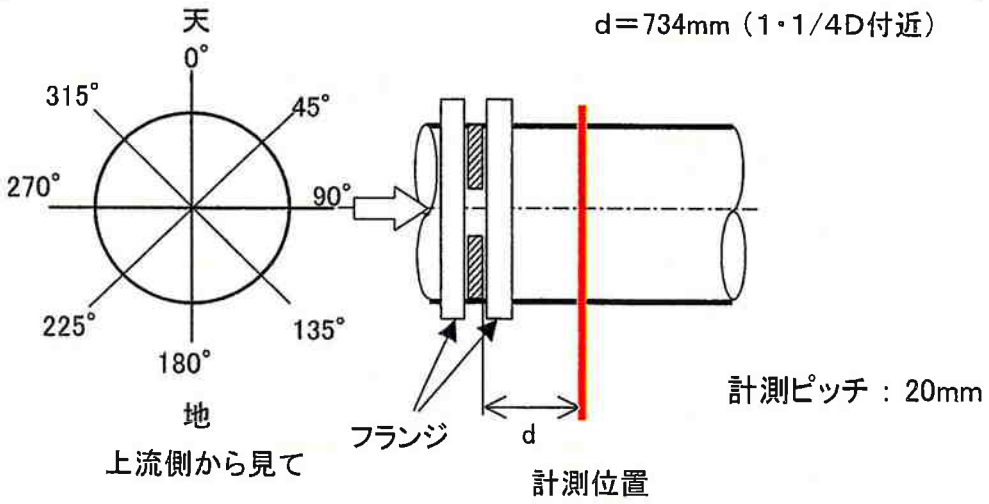
美浜3号機　B－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）



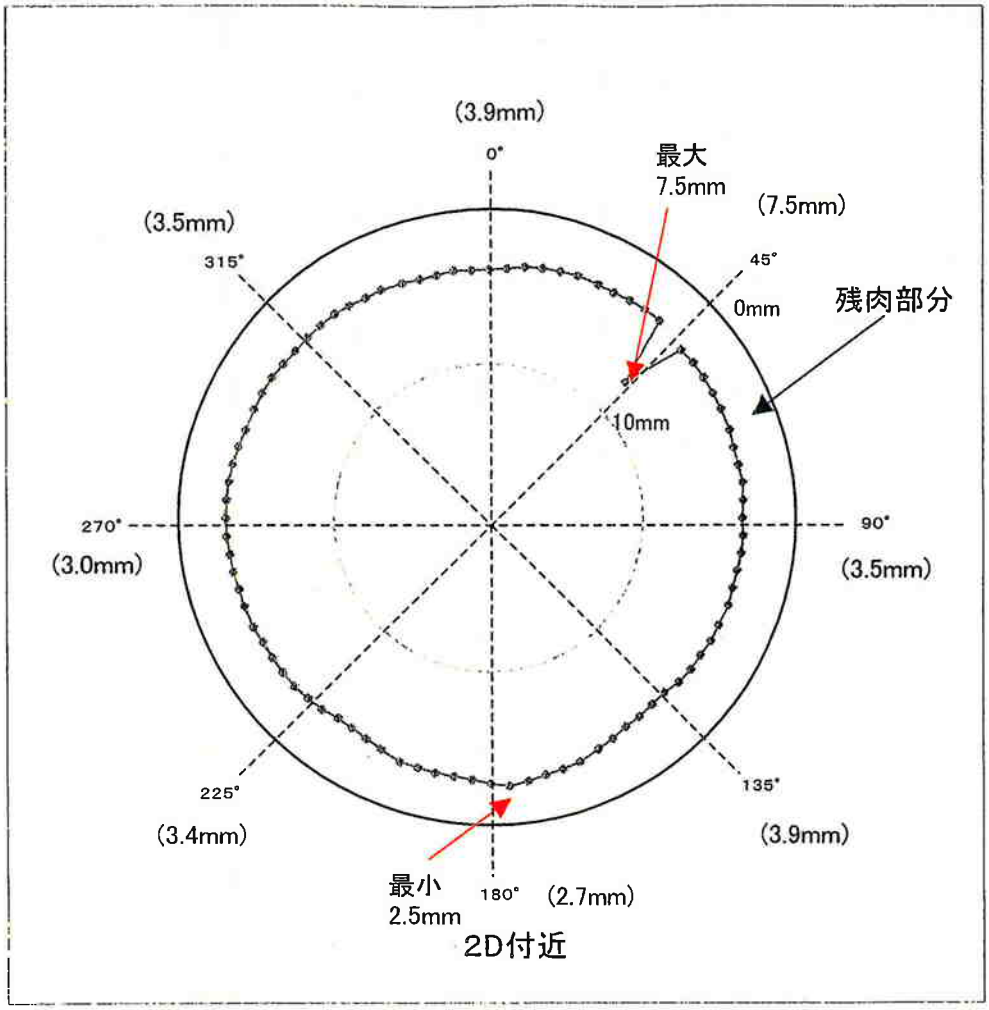


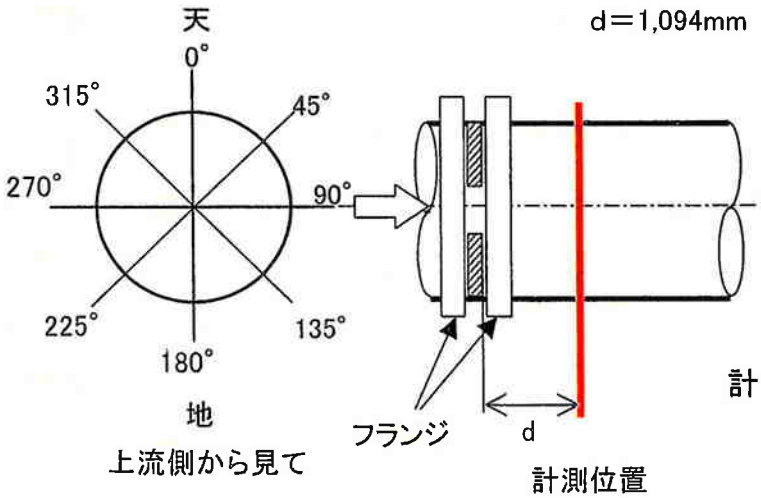
美浜3号機　B－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）





美浜3号機　Ｂ－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）

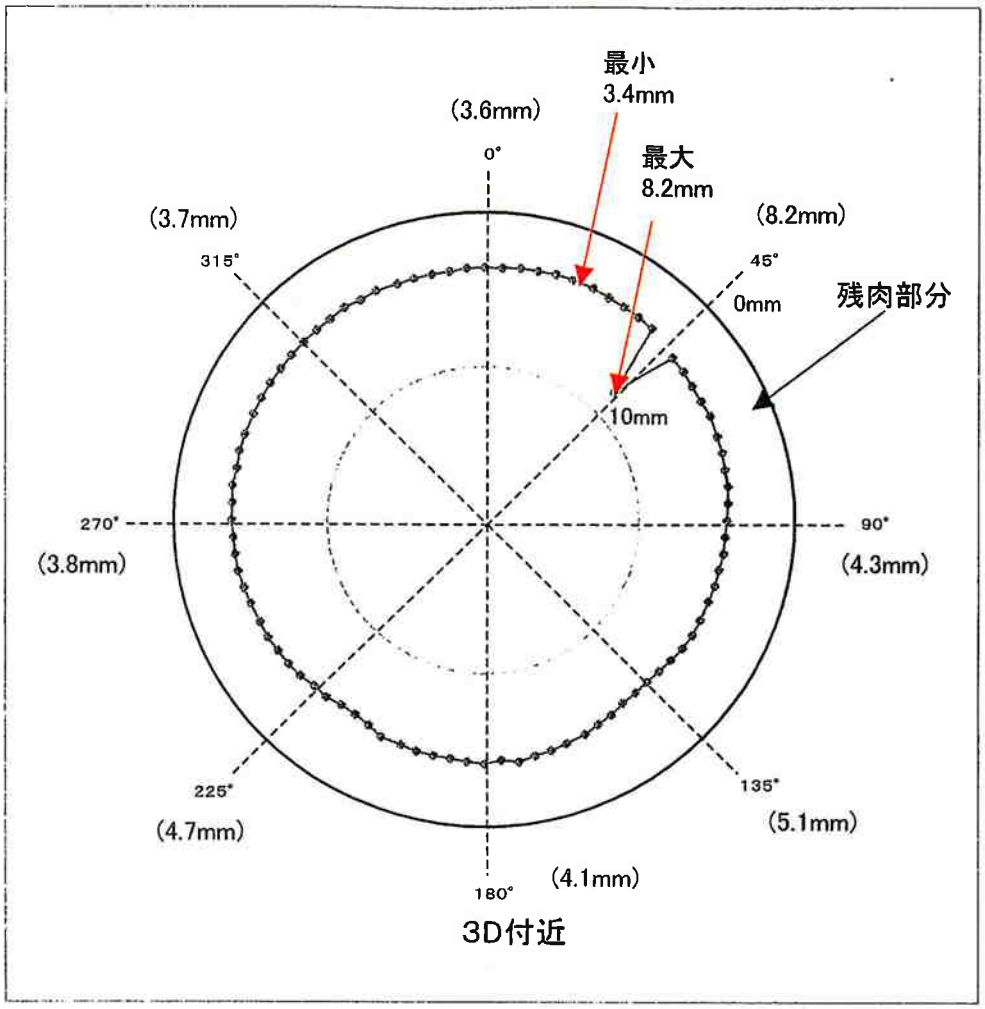


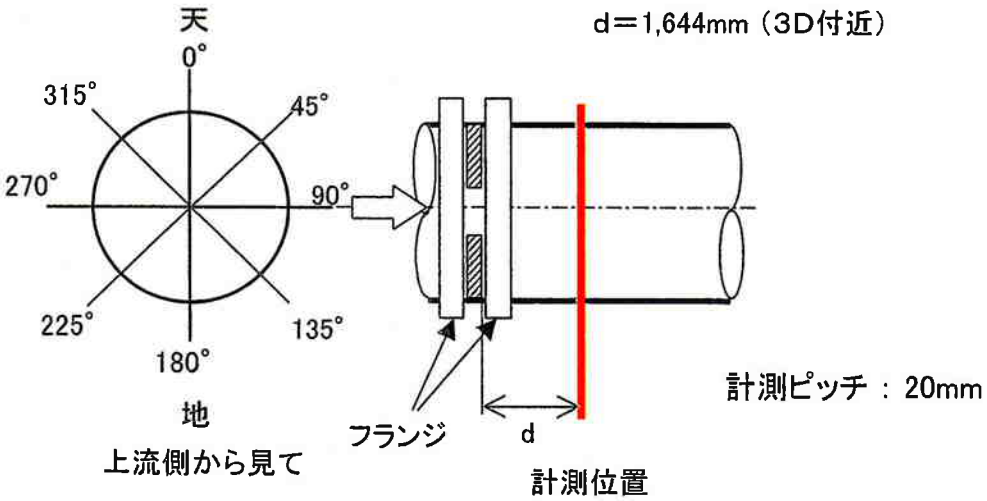


d＝1,094mm（2D付近）

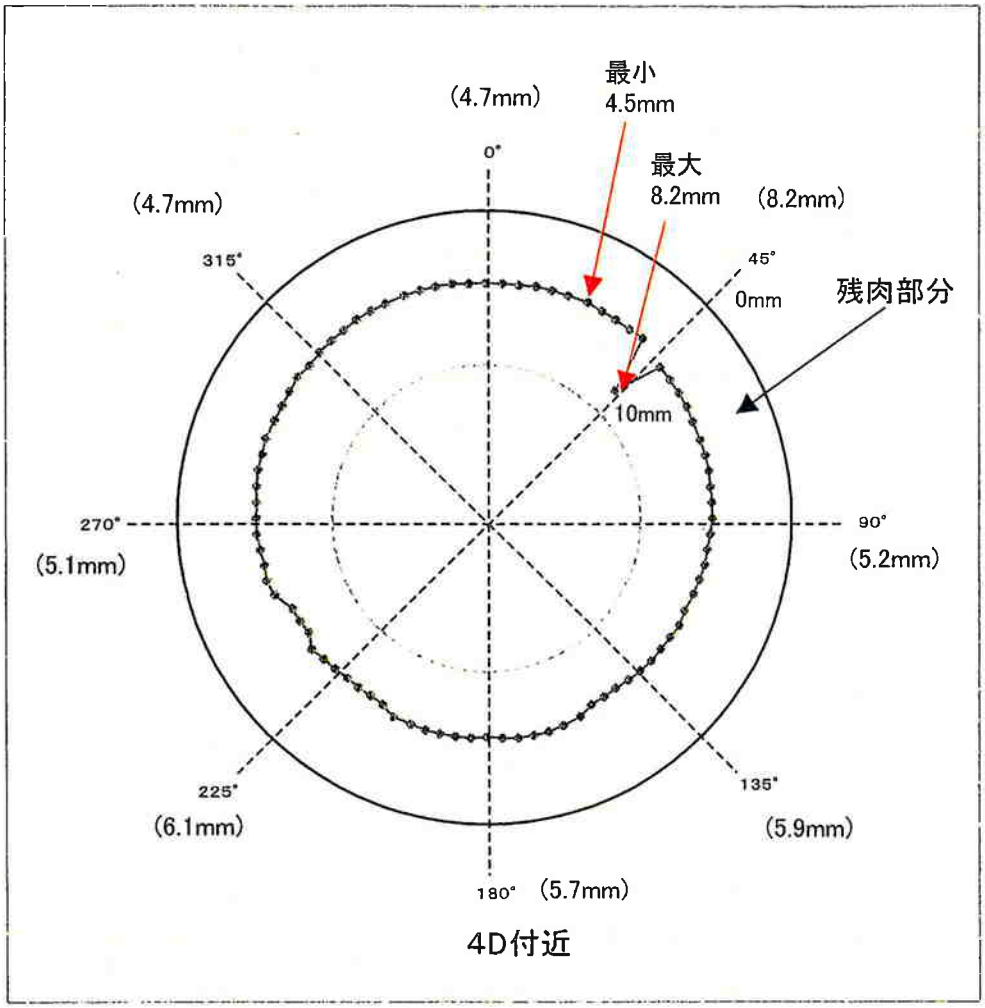
計測ピッチ：20mm

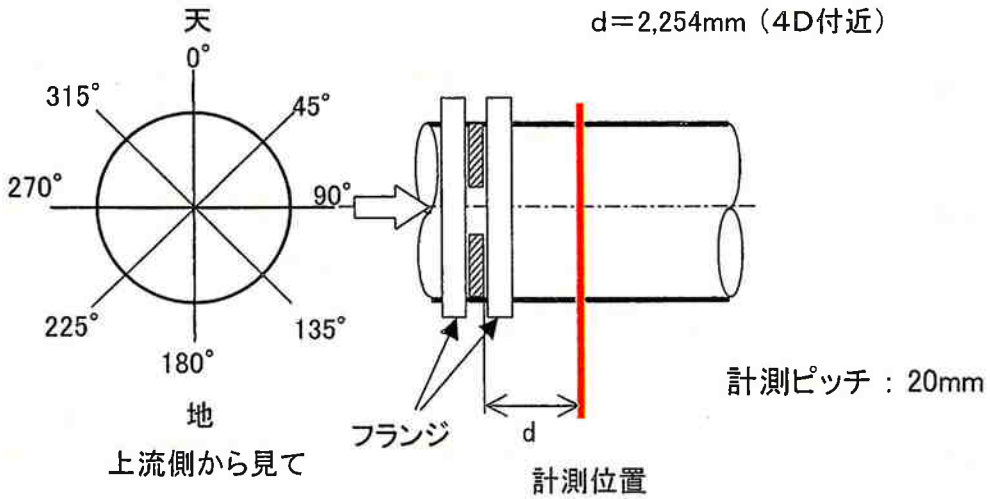
美浜3号機　Ｂ－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）





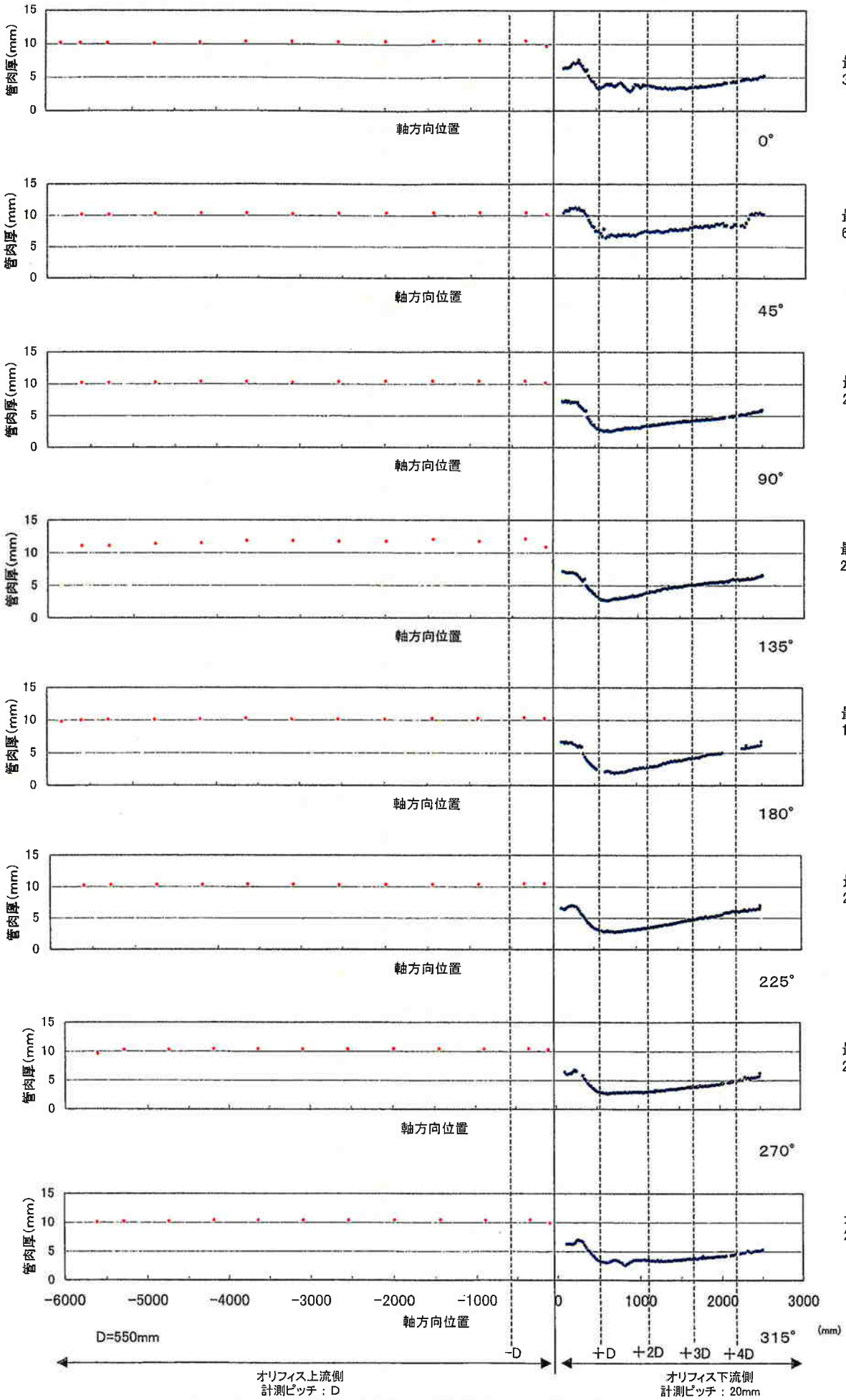
美浜3号機　B－主復水管オリフィス下流の減肉状況（周方向分布）





美浜3号機　B－主復水管オリフィス前後の直管部減肉状況（軸方向分布）

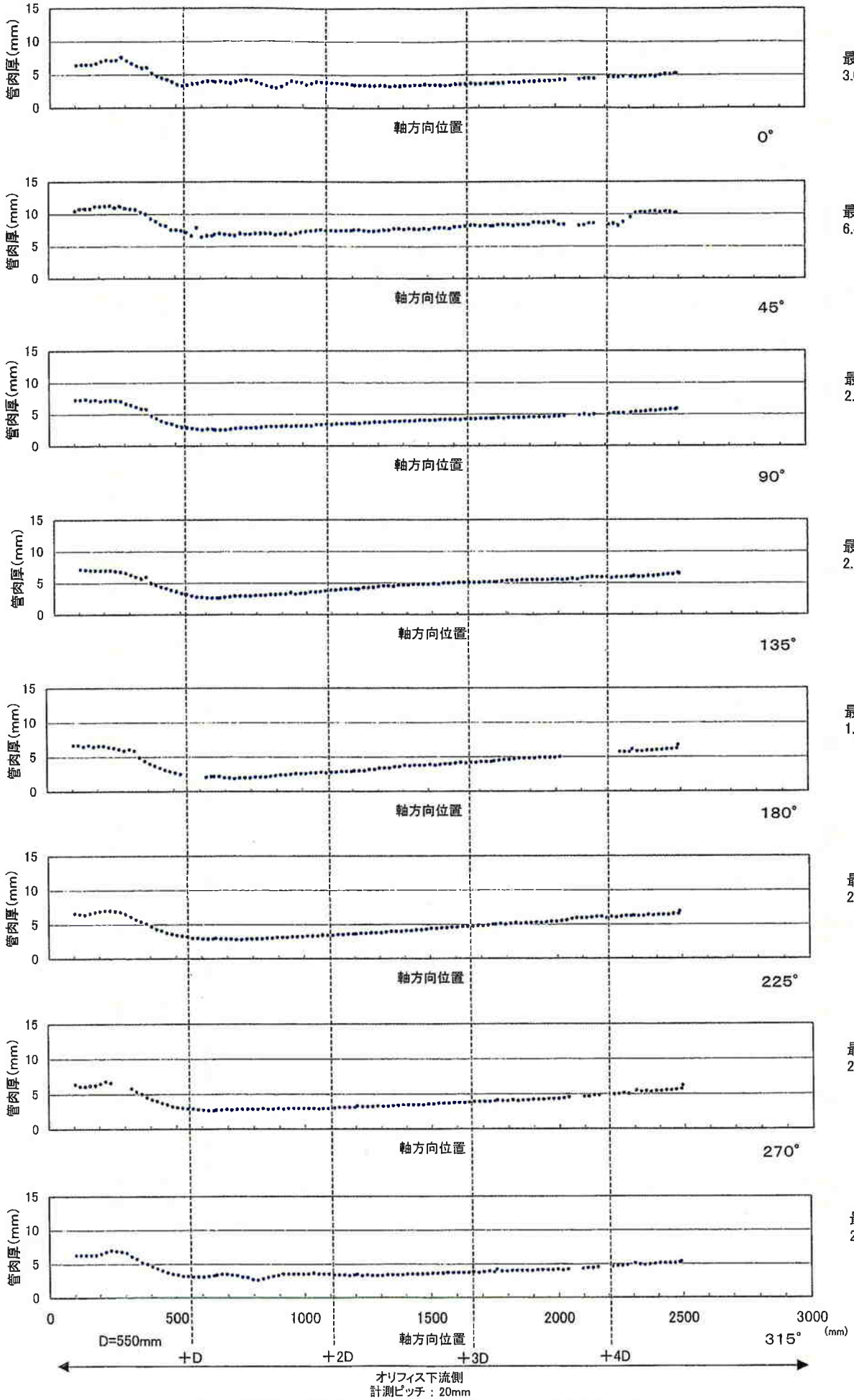
別紙１７



＊軸方向位置は上下流側の各オリフィス端面を0として下流側を正としている

美浜3号機　B－主復水管オリフィス後の直管部減肉状況（軸方向分布）

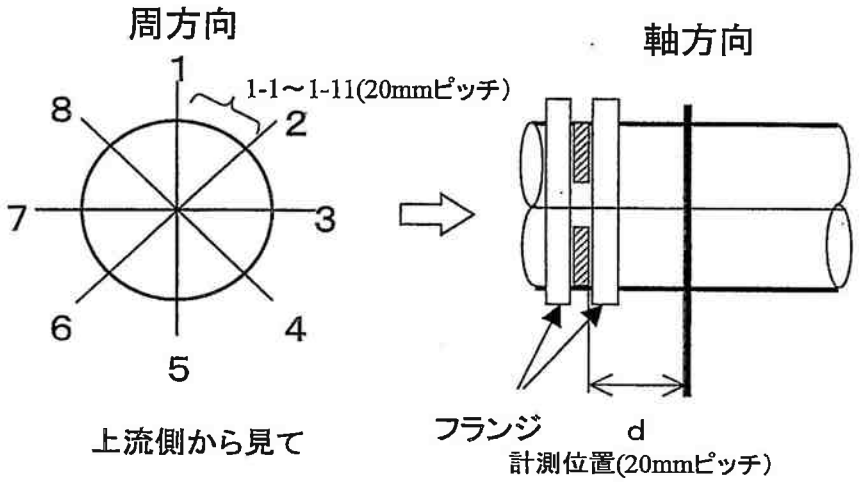
別紙１８



＊軸方向位置は上下流側の各オリフィス端面を0として下流側を正としている

A系配管オリフィス下流の肉厚測定データ

注）美浜発電所３号機２次系配管破損事故調査委員会（第４回）
資料４－１－１－１（別添１）に、第７回事故調査委員会の
資料７－１－１（別添５）の正誤表を反映



周方向＼軸方向(d)	96.7	116.7	136.7	156.7	176.7	196.7	216.7	236.7	256.7	276.7	296.7	316.7	336.7	356.7	376.7	396.7	416.7	436.7	456.7	476.7	496.7	516.7	536.7	556.7	576.7
1−1	5.6	5.7	5.5	5.5	5.3	5.5			5.6	5.7	5.1	4.8	4.4	4.1	3.9				2.3	1.4	1.2	0.9	0.9	0.7	0.8
1−2	5.5	5.9	5.3	5.2	5.6	5.4			5.4	5.3	5.1	4.7	4.6	4.0	3.7				2.0	1.4	1.3	0.9	0.9	0.7	
1−3	5.5	5.7	5.4	5.5	5.8	5.5			5.3	5.7	5.2	4.9											0.9	0.8	0.8
1−4	5.6	5.4	5.3	5.9	5.3	5.6			5.6	5.5	5.5	4.9											0.9	0.8	0.8
1−5	5.5	5.7	5.5	6.0	5.4	5.8			5.6	5.4	5.1	4.8											0.9	0.9	0.8
1−6	5.5	5.6	5.4	5.7	5.2	5.4			5.4	5.5	5.5	4.9											0.8	1.0	0.8
1−7	5.6	5.6	5.9	5.4	5.3	5.8			5.4	5.5	5.1	4.9											1.0	0.9	0.8
1−8	5.9	5.9	5.5	5.8	5.6	5.5			5.4	5.6	5.1	4.9											1.0	0.9	0.8
1−9	5.9	5.7	5.9	5.7	5.7	5.6			5.4	5.5	5.5	5.0											1.2	1.3	1.1
1−10	5.9	6.0	5.9	5.9	5.7	5.7			5.8	5.6	5.3	5.1											1.4	1.4	1.3
1−11	6.0	6.0	5.8	5.9	5.8	5.7			5.6	5.7	5.5	5.1													
2−1	7.5	10.5	10.2	10.0	10.4	10.2			10.6	10.4	10.3	10.4										5.7	5.7	5.7	5.8
2−2	7.5	6.4	6.3	6.2	6.0	6.6			6.4	6.8	5.9	5.6										1.9	1.9	1.7	1.6
2−3	7.4	7.0	6.3	6.2	6.2	6.2			6.0	6.3	6.0	5.7										2.1	2.0	1.8	1.8
2−4	7.7	6.8	6.8	6.5	6.7	6.5			6.4	6.3	6.0	5.9										2.3	2.0	1.8	1.8
2−5	7.7	6.8	6.7	6.7	6.4	6.7			6.7	6.3	6.0	5.8										2.2	1.9	1.9	1.8
2−6	7.4	6.9	7.0	6.8	6.5	6.6			6.3	6.2	6.0	5.8										2.4	2.1	2.1	2.0
2−7	7.2	7.0	6.8	7.0	6.9	6.6			6.5	6.4	6.3	6.1										2.4	2.3	2.3	2.2
2−8	7.6	7.0	7.0	6.7	6.8	6.7			6.3	6.4	6.2	6.0										2.8	2.4	2.3	2.2
2−9	7.7	7.0	7.0	6.8	6.5	6.6			6.5	6.5	6.2	6.2										2.8	2.5	2.4	2.2
2−10	7.6	7.4	7.0	7.0	6.9	6.7			6.8	6.6	6.6	6.2										2.8	2.7	2.5	2.4
2−11	7.5	7.3	7.1	6.9	6.9	6.9						6.4										2.9	2.9	2.8	2.7
3−1	7.2	7.3	7.4	6.9	7.0							6.5										3.1	3.1	3.0	2.9
3−2	7.3	7.4	7.3	7.0	7.0							6.7										3.3	3.3	3.2	3.2
3−3	7.2	7.4	7.3	7.2	7.2				7.0	6.8	6.8	6.5										3.5	3.4	3.3	3.3
3−4	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1				7.0	6.9	6.8	6.7										3.5	3.5	3.3	3.3
3−5	7.6	7.5	7.3	7.3	7.2				7.2	7.0	6.8	6.8										3.8	3.7	3.6	3.5
3−6	7.7	7.7	7.5	7.4	7.2				7.2	7.1	7.1	6.9										3.8	3.8	3.7	3.6
3−7	7.9	7.9	7.6	7.5	7.3				7.2	7.2	7.2	7.1										4.0	4.1	3.9	3.8
3−8	8.0	8.0	7.8	7.6	7.4				7.3	7.2	7.1	7.1										4.1	4.1	4.1	4.0
3−9	8.1	8.1	8.0	7.8	7.6				7.5	7.5	7.4	7.2										4.5	4.4	4.4	4.4
3−10	8.3	8.4	8.3	8.1	7.9				7.7	7.8	7.6	7.4										4.7	4.7	4.7	4.8
3−11	8.2	8.5	8.3	8.3	8.2				7.8	7.8	7.8	7.6										5.0	5.0	5.1	5.1
4−1	8.3	8.5	8.4	8.3	8.1				7.9	7.9	7.9	7.9											5.2	5.2	5.1
4−2	8.6	8.7	8.5	8.5	8.3				8.5	8.2	8.1	8.0											5.5	5.5	5.5
4−3	8.8	8.9	8.9	8.8	8.7	8.7			8.4	8.4	8.3	8.3											6.1	5.9	6.1
4−4	9.4	9.4	9.5	9.4	9.2	9.3			8.8	8.9	8.8	8.9											7.0	6.9	7.1
4−5	9.9	9.9	10.1	10.2	10.0	9.9			9.6	9.7	9.6	9.5											8.0	8.0	8.0
4−6	10.9	10.5	10.5	10.5	10.6	10.5			10.4	10.4	10.3	10.3											8.6	8.5	8.4
4−7	10.6	10.4	10.4	10.5	10.5	10.4			10.4	10.4	10.4	10.4											8.8	8.5	8.5
4−8	10.7	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.4	10.4	10.4	10.4											8.0	7.6	7.3
4−9	10.7	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.4	10.4	10.4	10.5											6.6	6.3	6.1
4−10	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.5			10.4	10.4	10.5	10.6											5.4	4.6	4.5
4−11	10.4	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4			10.5	10.5	10.4	10.5													
5−1	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.6			10.4	10.4	10.5	10.5													
5−2	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.4	10.5	10.6	10.6													
5−3	10.6	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.5	10.4	10.5	10.6											6.2	5.2	5.0
5−4	10.5	10.4	10.4	10.3	10.4	10.3			10.4	10.4	10.5	10.5											7.1	6.2	6.1
5−5	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4			10.4	10.4	10.4	10.4											8.5	8.2	7.6
5−6	10.3	10.4	10.3	10.4	10.3	10.3			10.4	10.4	10.5	10.4											8.8	8.8	8.5
5−7	10.1	10.3	10.4	10.4	10.4	10.5			10.5	10.4	10.3	10.5											8.0	8.1	8.3
5−8	9.4	9.8	9.9	9.9	9.9	9.9			9.7	9.6	9.6	9.6											6.9	7.1	7.6
5−9	9.1	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3			9.1	9.1	9.2	8.8											6.4	6.4	6.5
5−10	8.6	8.7	8.9	8.9	8.8	8.7			8.5	8.6	8.6	8.4											5.4	5.6	5.9
5−11	8.4	8.5	8.6	8.6	8.5	8.4			8.2	8.2	8.1	7.9												5.1	5.2

注）
空欄は干渉物等のため、測定不可であったものである。
：破口部を示す。

A系オリフィス下流データ

周方向＼軸方向(d)	96.7	116.7	136.7	156.7	176.7	196.7	216.7	236.7	256.7	276.7	296.7	316.7	336.7	356.7	376.7	396.7	416.7	436.7	456.7	476.7	496.7	516.7	536.7	556.7	576.7
6−1	8.2	8.4	8.4	8.4	8.3	8.3			7.9	7.9	7.8	7.6												4.6	4.9
6−2	8.2	8.2	8.3	8.3	8.0	8.1			7.8	7.7	7.7	7.9												4.3	4.7
6−3	8.3	8.2	8.2	8.1	7.9	7.8			7.5	7.5	7.4	7.4											3.8	4.0	4.1
6−4	8.1	8.1	8.0	7.8	7.7	7.7			7.4	7.4	7.3	7.1											3.6	4.0	4.0
6−5	8.0	7.8	7.8	7.7	7.6	7.6			7.2	7.1	6.9	6.8											3.4	3.5	3.7
6−6	7.8	7.7	7.6	7.5	7.5	7.4			7.0	7.0	6.8	6.6												3.2	3.2
6−7	7.6	7.8	7.5	7.3	7.2	7.1			6.8	6.9	6.7	6.4												3.0	3.0
6−8	7.6	7.5	7.3	7.2	7.0	7.0			6.7	6.7	6.6	6.3												2.9	2.8
6−9	7.3	7.4	7.1	7.0	6.8	6.7			6.7	6.5	6.4	6.1												2.6	2.5
6−10	7.1	7.2	6.9	6.8	6.6	6.5			6.6	6.4	6.4	6.0												2.4	2.4
6−11	7.2	7.1	6.7	6.7	6.5	6.5			6.5		6.3	6.1												2.3	2.3
7−1	7.1	6.8	6.7	6.4	6.4	6.3						5.9												2.3	2.1
7−2	6.8	6.7	6.6	6.2	6.2	6.2						5.8												2.0	1.9
7−3	6.8	6.6	6.3	6.2	6.2	6.2			6.1	6.0	6.0	5.6												1.8	1.8
7−4	6.6	6.4	6.2	6.2	6.0	6.2			6.0	5.9	5.8	5.5												1.6	1.7
7−5	6.5	6.2	6.3	6.0	6.0	5.9			6.0	5.9	5.7	5.5											1.4	1.5	1.5
7−6	6.2	6.3	6.2	5.9	5.9	5.8			5.8	5.8	5.7	5.3											1.5	1.4	1.5
7−7	6.2	6.3	6.0	6.0	5.8	6.0			5.9	5.8	5.6	5.4											1.5		1.4
7−8	6.4	6.2	6.0	6.0	5.8	5.7			5.8	5.7	5.6	5.3											1.5		1.3
7−9	6.1	6.1	6.0	5.7	5.6	5.7			5.7	5.7	5.4	5.1											1.4	1.3	1.3
7−10	6.0	6.0	5.8	5.6	5.7	5.5			5.6	5.4	5.3	5.1											1.4		1.2
7−11	6.0	5.8	5.8	5.7	5.4	5.5			5.6	5.5	5.3	5.1											1.3		1.1
8−1	6.2	6.0	5.8	5.8	5.7	5.6			5.6	5.4	5.6	5.2											1.2	1.0	0.9
8−2	6.1	5.9	5.7	5.8	5.6	5.6			5.6	5.6	5.4	5.0											1.1	1.0	0.9
8−3	5.9	5.6	5.8	5.6	5.4	5.4			5.7	5.4	5.4	5.2											1.0	0.8	0.8
8−4	6.0	5.8	5.9	5.5	5.5	5.6			5.6	5.4	5.3	5.0											1.0	0.9	0.7
8−5	5.8	5.7	5.5	5.4	5.2	5.4			5.6	5.5	5.4	4.9											0.9	0.8	0.6
8−6	5.8	5.4	5.4	5.5	5.4	5.3			5.4	5.6	5.5	4.9											0.7	0.7	0.5
8−7	5.4	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5			5.4	5.5	5.2	4.7											0.8	0.8	0.6
8−8	5.7	5.7	5.5	5.3	5.3	5.3			5.7	5.2	5.3	5.0											0.9		0.8
8−9	5.6	5.4	5.4	5.6	5.4	5.2			5.5	5.4	5.3	5.1											0.8		0.6
8−10	5.4	5.4	5.6	5.4	5.5	5.5			5.3	5.2	5.3	5.1											0.9	0.8	0.7
8−11	5.5	5.5	5.4	5.3	5.4	5.5			5.6	5.4	5.3	5.2	4.5	4.7	3.8				1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7

A系オリフィス下流データ

周方向＼軸方向(d)	596.7	616.7	636.7	656.7	676.7	696.7	716.7	736.7	756.7	776.7	796.7	816.7	836.7	856.7	876.7	896.7	916.7	936.7	956.7	976.7	996.7	1016.7	1036.7	1056.7	1076.7
1−1	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5
1−2						0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.6
1−3	0.6	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.3	1.2	1.4	1.3	1.4	1.6
1−4	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7	1.6
1−5	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.4	1.4	1.5	1.5	1.7
1−6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6
1−7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	1.2	1.1	1.3	1.4	1.4	1.1	1.1	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6
1−8	1.0	0.8	1.0	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.2	1.4	1.5	1.2	1.3	1.3	1.3	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8
1−9	1.0	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.3	1.1	0.9	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8
1−10	1.2	1.1	1.0				0.8	1.1	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.3	1.6	1.6	1.4	1.4	1.2	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8
1−11					1.1	1.1	1.1	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	1.5	1.5	1.2	1.6	1.7	1.8	1.7	2.0	2.0
2−1	5.8	5.7	5.8	5.9	5.8	5.9	5.7	5.7	5.7	5.8	6.0	6.1	6.2	6.3	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.2	7.3	6.4	7.1	6.3	6.7
2−2	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5
2−3	1.8	1.8	1.7	1.6	1.7	1.8	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.4	2.6	2.7
2−4	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	1.9	2.0	2.1	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.8	2.9
2−5	1.8	1.9	1.8	1.8	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2.1	2.0	2.1	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.5	2.6	2.5	2.6	2.7	2.8
2−6	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	1.7	1.8	1.9	2.0	1.9	1.8	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.8	2.9
2−7	2.1	2.1	1.9	1.9	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	2.1	2.1	2.1	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8
2−8	2.1	2.0	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.6	2.7	2.6	2.7	2.7	2.8
2−9	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	1.9	2.1	2.1	2.1	2.2	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.9	2.9	2.8	2.7	2.8
2−10	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.3	2.2	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
2−11	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.6	2.5	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0
3−1	2.8	2.6	2.6	2.6	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.8	2.9	2.8	3.0	3.0	3.0	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2
3−2	3.0	2.8	2.8	2.6	2.6	2.5	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3
3−3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8	2.6	2.6	2.7	2.8	2.7	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3
3−4	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.9	2.8	2.9	3.1	3.0	3.1	3.2	3.2	3.4	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5
3−5	3.3	3.3	3.2	3.1	3.2	3.2	3.0	3.1	3.2	3.1	3.1	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.7	3.7	3.6	3.5	3.6	3.4	3.7	3.6
3−6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.1	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.1	3.2	3.3	3.4	3.3	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.5	3.7	3.7	3.7	3.9
3−7	3.6	3.6	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.2	3.3	3.2	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8
3−8	3.9	3.9	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.6	3.7	3.7	3.6	3.8	3.8	4.0	3.9	4.0	3.9	3.9	4.0	4.1	3.9
3−9	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3	4.2	4.3	4.2	4.2	4.3	4.2	4.3
3−10	4.9	4.8	4.7	4.5	4.4	4.3	4.3	4.4	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.5	4.5	4.6	4.6
3−11	5.0	5.1	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	4.6	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	5.0	5.0	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8	4.9
4−1	5.2	5.4	5.2	5.1	5.0	5.2	5.1	5.0	5.1	4.9	5.1	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.1	5.0	5.1	5.0	4.9	4.9
4−2	5.7	5.7	5.6	5.6	5.7	5.7	5.6	5.6	5.7	5.8	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.6	5.5	5.4	5.4	5.3	5.2	5.3
4−3	6.3	6.2	6.2	6.1	6.2	6.3	6.2	6.3	6.2	6.4	6.1	6.1	6.4	6.5	6.3	6.4	6.5	6.5	6.3	6.3	6.3	6.1	5.9	5.7	5.8
4−4	7.1	8.0	6.9	7.0	7.2	7.0	7.2	7.3	7.0	7.0	6.9	7.1	7.0	7.1	7.2	7.1	7.4	7.2	7.1	7.1	7.0	6.9	6.7	6.6	6.4
4−5	7.8	8.2	8.5	8.1	7.8	8.1	7.9	8.1	7.8	7.7	7.6	7.9	7.9	7.9	8.0	7.9	8.1	8.0	7.8	7.9	7.7	7.6	7.5	7.3	7.2
4−6	8.7	8.7	8.8	8.9	8.7	8.8	8.9	8.7	8.5	8.5	8.5	8.7	8.7	8.9	8.7	8.7	8.7	8.6	8.6	8.5	8.4	8.3	8.4	8.2	8.1
4−7	8.7	8.8	9.0	9.2	9.4	9.5	9.4	9.4	9.3	9.4	9.3	9.5	9.6	9.5	9.5	9.6	9.4	9.4	9.6	9.5	9.4	9.1	8.9	9.0	9.0
4−8	7.5	8.8	9.3	8.8	8.9	9.1	9.6	9.8	9.9	10.0	10.2	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.3	9.9	9.8	9.8	9.5
4−9	6.3	7.8	7.9	8.0	8.1	8.7	8.6	8.8	9.0	9.6	10.1	10.4	10.4	10.4	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
4−10	4.9	6.1	5.8	6.3	6.4	6.7	7.3	7.7	8.2	8.7	9.4	9.5	10.4	10.4	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
4−11		4.0	4.2	4.4	4.7	5.2	5.5	5.7	6.3	6.9	7.6	8.0	9.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4
5−1			3.7	3.9	4.1	4.5	4.7	5.2	5.5	6.1	6.9	7.8	8.6	9.6	10.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
5−2			3.8	4.0	4.3	4.7	4.9	5.3	5.8	6.4	7.2	8.2	8.9	9.9	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
5−3	4.7	4.8	5.6	5.9	6.1	7.0	7.0	7.1	7.7	8.4	8.8	9.6	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
5−4	5.8	6.2	6.7	7.5	8.1	8.2	8.1	8.3	8.8	9.1	9.6	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	9.9	9.8
5−5	7.7	7.6	7.7	8.3	8.7	8.9	9.1	9.1	9.3	9.6	9.9	9.9	10.0	9.7	9.7	9.8	9.5	9.6	9.5	9.4	9.3	9.1	9.0	8.8	8.6
5−6	8.2	8.2	8.5	8.7	9.1	9.3	9.3	9.3	9.3	9.4	9.2	9.1	9.2	9.1	9.2	8.9	8.7	8.8	8.7	8.7	8.7	8.4	8.3	8.2	7.8
5−7	8.3	8.5	8.7	8.6	8.7	8.8	8.7	8.5	8.6	8.5	8.3	8.3	8.3	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8.0	7.8	7.7	7.4	7.2	7.1	7.0
5−8	7.6	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.8	7.7	7.6	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3	7.2	7.1	6.8	6.7	6.6	6.4	6.2	6.1	6.1	5.9
5−9	6.7	7.0	7.1	7.2	7.1	7.1	6.9	7.0	6.8	6.7	6.7	6.6	6.6	6.5	6.3	6.2	6.0	6.0	5.8	5.7	5.7	5.5	5.4	5.2	5.2
5−10	6.0	6.2	6.5	6.5	6.4	6.3	6.2	6.1	6.1	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.6	5.7	5.5	5.3	5.4	5.2	5.2	5.1	4.9	4.7	4.6
5−11	5.2	5.4	5.7	5.7	5.6	5.5	5.4	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	5.0	4.9	5.0	4.9	4.8	4.7	4.7	4.5	4.5	4.5	4.3	4.3	4.1

A系オリフィス下流データ

軸方向(d) / 周方向	596.7	616.7	636.7	656.7	676.7	696.7	716.7	736.7	756.7	776.7	796.7	816.7	836.7	856.7	876.7	896.7	916.7	936.7	956.7	976.7	996.7	1016.7	1036.7	1056.7	1076.7
6−1	4.9	5.0	5.2	5.2	5.2	5.0	5.0	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.8
6−2	5.1	4.8	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.5	4.4	4.2	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6
6−3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.3	4.1	4.2	4.0	4.0	3.9	3.7	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.2
6−4	4.2	4.1	4.0	3.8	3.7	3.7	3.6	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	3.2	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4
6−5	4.1	4.0	3.9	3.8	3.6	3.4	3.3	3.0	2.9	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	2.9	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.0	2.7
6−6	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.0	2.7	2.6	2.5	2.5	2.7	2.7	3.3	3.3	3.2	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5
6−7	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.8	2.9	3.0	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	2.8	2.8	2.7	2.6	2.7	2.8	2.6	2.5	2.5	2.4
6−8	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.6	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4
6−9	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.4	2.3	2.2	2.3	2.1
6−10	2.5	2.5	2.5	2.4	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.1	2.7	2.5	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.2	2.2	2.1	1.9
6−11	2.3	2.2	2.2	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.3	2.7	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	1.6
7−1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6
7−2	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6
7−3	1.7	1.6	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.4	1.6
7−4	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7
7−5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6
7−6	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6
7−7	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.6
7−8	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.4	1.4	1.5
7−9	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5	1.5
7−10	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4
7−11	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
8−1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
8−2	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5
8−3	0.9	0.8	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0		1.2	1.3	1.3	1.4
8−4	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3
8−5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.0	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4
8−6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
8−7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.2	1.3
8−8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
8−9	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
8−10	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
8−11	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3

A系オリフィス下流データ

軸方向(d) / 周方向	1096.7	1116.7	1136.7	1156.7	1176.7	1196.7	1216.7	1236.7	1256.7	1276.7	1296.7	1316.7	1336.7	1356.7	1376.7	1396.7	1416.7	1436.7	1456.7	1476.7	1496.7	1516.7	1536.7	1556.7	1576.7
1−1	1.6	1.7	1.6	1.8	1.8			1.9	1.9	2.0	2.0	2.2	2.4	2.4	2.6	2.5	2.5	2.8	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0
1−2	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7			2.0	2.0	2.0	2.1	2.3	2.2	2.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0	2.9	3.0
1−3	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9			2.1	2.0	2.0	2.2	2.2	2.4	2.4	2.5	2.4	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.9	3.1	3.1	3.1
1−4	1.8	1.7	1.8	1.8	2.0			2.0	2.0	2.1	2.4	2.3	2.3	2.3	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.8	3.0	2.9	3.0	3.1	3.2
1−5	1.7	1.6	1.8	1.8	1.9			2.2	2.1	2.2	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.5	2.6	2.7	2.7	2.9	2.9	3.0	3.1	3.1	3.2
1−6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9			2.2	2.2	2.3	2.4	2.6	2.5	2.6	2.6	2.4	2.7	2.7	2.8	3.1	3.0	2.9	3.0	3.1	3.1
1−7	1.7	1.9	1.8	1.8	2.0			2.2	2.2	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	3.0	3.1
1−8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0			2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3.2	3.1	3.0	3.1	3.1	3.1
1−9	2.0	1.9	2.0	2.2	2.1			2.4	2.3	2.4	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3
1−10	1.9	1.9	2.0	2.2	2.1			2.3	2.3	2.3	2.5	2.6	2.6	2.7	2.9	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.1	3.1	3.2	3.1	3.3
1−11	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3			2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	3.1	3.0	3.1	3.1	3.1	3.3	3.2	3.4
2−1	6.8	6.8	6.8	7.1	7.2			7.1	7.1	7.2	7.4	7.1	7.3	7.4	7.6	7.8	7.7	7.8	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.2	8.1
2−2	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6			2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8
2−3	2.5	2.6	2.7	2.7				2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9
2−4	2.6	2.7	2.8	2.9				3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9
2−5	2.7	2.7	2.8	2.8				3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.6	3.7	3.6	3.8	3.7	3.9	3.9	3.9
2−6	2.7	2.7	2.8	2.9				3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.4	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9
2−7	2.8	2.7	2.9	2.9				3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.6	3.8	3.8	3.9	3.9
2−8	2.7	2.9	2.9	2.9				3.1	3.2	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9
2−9	2.9	2.8	2.9	3.0				3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9
2−10	2.9	2.9	3.0	3.2			3.3	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1
2−11	3.0	3.0	3.1	3.2			3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.2
3−1	3.1	3.2	3.3	3.3			3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2
3−2	3.3	3.3	3.3	3.4			3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3
3−3	3.2	3.3	3.5	3.5			3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.0	4.0	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3
3−4	3.4	3.5	3.5	3.6			3.6	3.6	3.7	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4
3−5	3.6	3.7	3.8	3.8			3.8	3.9	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.6
3−6	3.7	3.8	3.8	3.8			3.9	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.6
3−7	3.6	3.8	3.8	3.8			3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5
3−8	3.9	3.9	3.9	3.9			4.0	4.0	4.0	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7
3−9	4.2	4.2	4.2	4.2			4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9
3−10	4.5	4.5	4.4	4.5			4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.2	5.2
3−11	4.7	4.8	4.7	4.7			4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5
4−1	4.8	4.8	4.8	4.7			4.8	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6
4−2	5.2	5.2	5.1	5.0			4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.1	5.1	5.3	5.3	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8
4−3	5.7	5.7	5.5	5.5			5.8	5.3	5.2	5.2	5.2	5.1	5.2	5.2	5.2	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.8	5.8	6.0
4−4	6.1	6.1	6.0	5.9			5.7	5.7	5.6	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.8	5.9	6.0	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3
4−5	6.8	6.8	6.6	6.5			6.3	6.2	6.2	6.0	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.5	6.4	6.5	6.7
4−6	7.7	7.6	7.5	7.3				6.9	6.7	6.7	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	6.8	6.8	6.9	7.2	7.2	7.2	7.0	7.1	7.3
4−7	8.4	8.4	8.4	8.2				7.8	7.7	7.7	7.5	7.3	7.4	7.4	7.5	7.7	7.8	7.6	7.8	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0
4−8	9.0	9.2	9.2	9.1				8.7	8.5	8.5	8.4	8.3	8.3	8.3	8.4	8.5	8.6	8.8	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.8
4−9	10.2	10.2	10.1	10.1				9.7	9.6	9.5	9.5	9.4	8.9	9.1	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.5	9.6	9.8	10.0	9.9	9.7
4−10	10.4	10.4	10.4	10.4				10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
4−11	10.4	10.4	10.4	10.4				10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
5−1	10.4	10.4	10.4	10.3	10.4			10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
5−2	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3			10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2
5−3	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3			10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2
5−4	9.9	9.6	9.6	9.8	9.5			9.0	9.0	8.8	8.9	8.7	8.9	8.4	8.8	8.6	8.9	9.0	9.1	9.1	9.2	9.4	9.5	9.6	9.8
5−5	8.9	8.8	8.6	8.5	8.6			8.0	8.0	7.9	8.0	8.0	7.8	7.5	7.4	7.4	7.7	7.6	7.7	7.9	8.1	8.4	8.4	8.3	8.4
5−6	8.0	7.9	7.8	7.7	7.3				6.7	6.9	6.8	6.9	6.8	6.6	6.6	6.8	6.9	6.9	6.9	7.0	7.2	7.2	7.2	7.3	7.4
5−7	6.9	6.8	6.6	6.5	6.3				6.1	6.0	6.1	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3	6.5	6.5	6.6	6.7
5−8	5.9	5.9	5.7	5.6	5.3				5.4	5.4	5.5	5.5	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.8	5.8	5.9	6.0	6.0	6.1	6.1
5−9	5.4	5.3	5.2	4.9	4.8				4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8	4.9	5.1	5.3	5.5	5.6	5.7	5.6	5.8	5.9
5−10	4.6	4.5	4.4	4.4	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.6	4.5	4.5	4.5	4.4	4.5	4.7	4.8	5.0	5.1	5.3	5.4	5.4	5.6
5−11	4.1	4.0		3.9	4.0	4.1			4.1	4.1	4.3	4.3	4.3	4.2	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.8	4.9	5.1	5.1	5.3

A系オリフィス下流データ

軸方向(d) / 周方向	1096.7	1116.7	1136.7	1156.7	1176.7	1196.7	1216.7	1236.7	1256.7	1276.7	1296.7	1316.7	1336.7	1356.7	1376.7	1396.7	1416.7	1436.7	1456.7	1476.7	1496.7	1516.7	1536.7	1556.7	1576.7
6−1	3.8	3.7	3.6	3.7	3.8	3.9			4.0	4.0	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	4.1	4.1	4.3	4.4	4.5	4.6	4.8	4.9	5.0	5.1
6−2	3.6	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8			3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.0	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.8	4.9	5.0
6−3	3.3		3.3	3.5	3.5	3.6			3.7	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
6−4	3.1		3.1	3.3	3.3	3.4			3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
6−5	2.8		2.9	3.2	3.1	3.1			3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.2
6−6	2.5	2.2	2.7	2.9	2.9	2.9			3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9
6−7	2.4	2.4	2.5	2.8	2.7	2.8			2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.8
6−8	2.1	2.2	2.8	2.7	2.7	2.7			2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7
6−9	2.1	2.4	2.6	2.6	2.6				2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6
6−10	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4				2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5
6−11	2.0	2.2	2.1	2.2	2.2				2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	3.2	3.2	3.2	3.3
7−1	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2				2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1
7−2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0				2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0
7−3	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0				2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1
7−4	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9				2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0
7−5	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9				2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.9	2.9
7−6	1.6	1.6	1.8	1.8	1.9			2.0	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9
7−7	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9			2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0
7−8	1.5	1.6	1.6	1.6	1.8			2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.7	2.8	2.8	2.7	2.8	2.9
7−9	1.5	1.5	1.6	1.6	1.8			1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9
7−10	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7			1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9
7−11	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7			1.9	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8
8−1	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9			1.9	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.5	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0
8−2	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8			1.9	2.1	2.2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.6	2.6	2.8	2.7	2.8	2.8	2.9
8−3	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8			1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	3.0
8−4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8			1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0
8−5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7			2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.8	2.8	2.9	3.0
8−6	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7			1.9	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.3	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0
8−7	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7			1.9	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9
8−8	1.5	1.5	1.7	1.8	1.7			1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.9	2.9	3.0
8−9	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7			2.0	2.0	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.8	2.7	2.8	2.9	3.0
8−10	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8			2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.1
8−11	1.6	1.6	1.8	1.9	1.9			2.1	2.1	2.1	2.1	2.3	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.1

軸方向(d) / 周方向	1596.7	1616.7	1636.7	1656.7	1676.7	1696.7	1716.7	1736.7	1756.7	1776.7	1796.7	1816.7	1836.7	1856.7	1876.7	1896.7	1916.7	1936.7	1956.7	1976.7	1996.7	2016.7	2036.7	2056.7	2076.7
1−1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.9	3.9	3.9	4.1	4.1	4.3	4.3	4.3	4.4	4.3	4.5	4.5	4.7	4.8
1−2	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4.2	4.3	4.3	4.2	4.3	4.3	4.4	4.6	4.6	4.6	4.7
1−3	3.0	3.2	3.2	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	3.9	4.1	4.0	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.5	4.6	4.4	4.6	4.6	4.7
1−4	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	4.1	4.1	4.1	4.3	4.3	4.5	4.4	4.6	4.7	4.8	4.7
1−5	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	4.2	4.1	4.1	4.2	4.4	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7
1−6	3.3	3.4	3.5	3.5	3.4	3.4	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.8	4.8	4.9
1−7	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.0	4.2	4.1	4.1	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.7	4.8	4.9	4.8
1−8	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.8	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9
1−9	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.8	3.8	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.7	4.7	4.7	4.9	4.9	4.9	4.9
1−10	3.4	3.4	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.6	4.5	4.6	4.8	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9
1−11	3.5	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8	3.9	4.0	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.4	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	4.8	4.9
2−1	8.3	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.3	8.7	8.6	9.0	9.2	9.2	9.4	9.4	9.5	9.6	9.7	9.7	9.9	10.1	10.0	10.0	9.9	9.9	9.8
2−2	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.4	4.4	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9	5.1	5.2	5.2	5.2	5.2	5.1	5.2
2−3	3.9	4.0	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	4.9	5.0	5.0	5.2	5.2	5.1	5.3	5.3	5.2
2−4	4.0	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.5	5.5	5.6	5.5	5.5
2−5	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	5.0	4.9	4.9	5.1	5.1	5.2	5.2	5.1	5.3	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6	5.6
2−6	3.9	3.9	4.1	4.1	4.2	4.2	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.0	5.0	5.0	5.3	5.5	5.6	5.5	5.5	5.6	5.6
2−7	3.9	4.1	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.6	5.7	5.5	5.7	5.8	5.7	5.6
2−8	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.6	4.8	4.9	5.1	5.0	5.0	5.1	5.2	5.3	5.3	5.3	5.5	5.7	5.9	5.8	5.7	5.9
2−9	4.0	4.0	4.2	4.2	4.4	4.5	4.5	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4	5.5	5.8	5.9	6.0	6.0	6.0
2−10																									
2−11																									
3−1																									
3−2																									
3−3																									
3−4																									
3−5	4.5	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6	5.8	5.9	6.0	6.2	6.3	6.4	6.4	6.5	6.5	6.6	6.5	6.5	6.5	6.5
3−6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	5.0	5.1	5.3	5.5	5.6	5.8	6.0	6.2	6.3	6.5	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6	6.5	6.5	6.4	6.4
3−7	4.6	4.6	4.7	4.9	4.9	5.1	5.2	5.4	5.6	5.8	5.9	6.1	6.3	6.5	6.6	6.7	6.8	6.8	7.0	7.0	6.8	6.8	6.8	6.6	6.6
3−8	4.7	4.7	4.8	5.0	5.1	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.0	6.3	6.4	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	6.9	6.9	6.7
3−9	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.3	5.5	5.8	5.9	6.1	6.4	6.5	6.6	6.9	7.0	7.2	7.3	7.4	7.5	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1	7.0
3−10	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.5	7.7	7.7	7.8	7.8	7.8	7.6	7.5	7.4	7.2
3−11	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.9	6.1	6.2	6.5	6.6	6.8	7.1	7.3	7.5	7.7	7.8	8.0	8.1	8.2	7.9	8.0	7.9	7.8	7.7	7.5
4−1	5.7	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.3	6.4	6.6	6.8	6.9	7.2	7.4	7.6	7.8	7.9	8.0	8.2	8.3	8.3	8.1	8.0	7.9	7.8	7.6
4−2	5.8	5.9	6.0	6.1	6.1	6.3	6.4	6.5	6.7	6.9	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.1	8.3	8.4	8.3	8.2	8.1	7.9	7.8	7.6
4−3	6.0	6.1	6.2	6.2	6.4	6.5	6.6	6.8	6.9	7.1	7.2	7.5	7.6	7.8	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.5	8.4	8.2	8.1	7.9	7.7
4−4	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	7.0	7.1	7.2	7.3	7.5	7.6	7.8	8.1	8.3	8.5	8.7	8.7	8.8	8.8	8.7	8.6	8.5	8.3	8.2	8.0
4−5	6.7	6.8	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	8.2	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.9	9.0	9.1	9.2	9.2	9.3	9.1	9.1	8.9	8.7	8.6	8.3
4−6	7.4	7.2	7.3	8.1	7.6	7.9	8.1	8.4	8.4	8.7	8.9	9.1	9.2	9.5	9.8	9.8	9.9	9.9	9.9	9.8	9.5	9.4	9.2	8.9	8.7
4−7	8.1	8.0	8.0	8.1	8.5	8.7	8.9	9.1	9.2	9.3	9.6	9.9	9.9	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.1	9.9	9.5	9.3
4−8	8.8	8.7	9.0	9.0	9.3	9.6	9.9	10.0	10.1	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.3	10.1
4−9	9.9	10.0	10.2	10.2	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.3
4−10	10.2	10.3	10.2	10.2	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2
4−11	10.3	10.2	10.2	10.3	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2
5−1	10.3	10.2	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
5−2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3
5−3	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
5−4	10.1	10.1	9.8	9.6	10.1	10.1	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
5−5	8.7	8.7	8.6	8.5	8.6	8.8	9.0	9.0	9.1	9.2	9.0	9.5	9.6	9.8	10.0	10.1	10.1	10.2	10.2	10.2	10.1	10.1	10.2	10.2	10.2
5−6	7.8	7.6	7.7	7.6	7.8	7.7	8.0	7.9	8.1	8.2	8.4	8.5	8.9	9.3	9.2	9.1	9.0	9.0	9.0	9.0	9.2	9.2	9.3	9.1	9.1
5−7	6.8	6.8	6.8	7.0	6.9	7.0	7.0	7.1	7.2	7.2	7.4	7.6	7.9	8.2	8.3	8.4	8.2	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.6	8.5	8.7
5−8	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.8	6.9	7.1	7.1	7.4	7.5	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.8	7.7	7.9	8.0	8.1
5−9	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.3	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.9	7.0	7.2	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4	7.5
5−10	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	6.1	6.2	6.2	6.4	6.4	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.0	7.1	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1
5−11	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.5	6.5	6.6	6.7	6.8	6.8	6.9	6.9	6.8	6.8	6.9

軸方向(d) / 周方向	1596.7	1616.7	1636.7	1656.7	1676.7	1696.7	1716.7	1736.7	1756.7	1776.7	1796.7	1816.7	1836.7	1856.7	1876.7	1896.7	1916.7	1936.7	1956.7	1976.7	1996.7	2016.7	2036.7	2056.7	2076.7
6−1	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.2	6.3	6.3	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	6.7
6−2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.3	5.3	5.4	5.5	5.6	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.6	6.6
6−3	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.4	5.5	5.5	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.5	6.4
6−4	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5.1	5.1	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2
6−5	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.8	4.8	4.8	5.1	5.2	5.2	5.3	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0
6−6	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.2	5.2	5.2	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8
6−7	4.0	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7
6−8	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.9	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.5
6−9	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.5	4.5	4.7	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2
6−10	3.6	3.6	3.7	3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	4.1	4.1	4.1	4.3	4.4	4.5	4.6	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.4	5.3
6−11	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.2	4.3	4.3	4.5	4.5	4.5	4.7	4.7	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	5.2
7−1	3.2	3.3	3.4	3.3	3.4	3.5	3.7	3.7	3.7	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.7	4.7	4.8	4.8	5.0	5.0	5.1
7−2	3.1	3.1	3.2	3.2	3.4	3.4	3.5	3.6	3.8	3.7	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9
7−3	3.1	3.2	3.3	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.7	3.8	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.6	4.5	4.7	4.9	4.8
7−4	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.7	4.7	4.6
7−5	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.5	4.6	4.6	4.7
7−6	3.0	3.1	3.1	3.1	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	3.9	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6
7−7	3.0	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.6	3.7	3.6	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.5
7−8	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.4	3.3	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.5	4.6	4.6	4.4
7−9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.7	3.7	3.7	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6
7−10	3.0	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.8	3.9	3.9	4.1	4.1	4.1	4.1	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6
7−11	2.9	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.9	3.9	3.9	4.1	4.0	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.5	4.6	4.6
8−1	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3	4.5	4.4	4.4	4.6	4.7	4.8
8−2	2.9	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.4	3.5	3.5	3.7	3.7	3.8	4.0	4.0	4.0	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.5	4.5	4.6
8−3	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.5	3.5	3.6	3.8	3.9	3.9	3.9	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6
8−4	3.1	2.9	3.0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	3.3	3.5	3.5	3.7	3.8	3.8	3.8	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6	4.6
8−5	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.5	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.8
8−6	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.5	3.5	3.6	3.8	3.7	3.8	4.0	3.9	3.9	4.0	4.3	4.2	4.3	4.3	4.5	4.5	4.6
8−7	3.0	3.0	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8	3.8	4.0	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.5	4.6	4.6	4.5
8−8	3.0	3.0	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	4.0	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.4	4.5	4.6	4.5
8−9	3.1	3.0	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.6	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4.1	4.1	4.2	4.2	4.4	4.5	4.6	4.6
8−10	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.3	3.3	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.9	4.0	4.0	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.6
8−11	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8	3.9	4.0	3.9	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6

軸方向(d) / 周方向	2096.7	2116.7	2136.7	2156.7	2176.7	2196.7	2216.7	2236.7	2256.7	2276.7	2296.7	2316.7	2336.7	2356.7	2376.7	2396.7	2416.7	2436.7	2456.7	2476.7	2496.7	2516.7	2536.7	2556.7	2576.7
1−1	4.8	4.9	4.8	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.1	5.4	5.3	5.2	5.5	5.6	5.6	5.7	5.6	5.7	5.9	5.9	5.8	5.8	6.0	6.0	5.9
1−2	4.5	4.7	4.9	4.9	4.8	5.0	5.0	5.0	5.2	5.2	5.1	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7	5.9	5.9	6.0	5.8	5.9	6.1	6.2
1−3	4.8	4.9	4.8	5.1	5.0	5.1	5.3	5.3	5.4	5.2	5.3	5.4	5.5	5.3	5.5	5.7	5.8	5.7	5.8	6.0	5.9	6.1	6.1	6.0	6.1
1−4	4.8	4.8	4.9	4.9	5.1	5.3	5.2	5.2	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.2	6.2	6.3
1−5	4.9	4.9	5.0	4.9	5.1	5.1	5.4	5.3	5.3	5.3	5.2	5.5	5.6	5.6	5.8	5.8	5.8	5.8	5.7	6.0	5.8	6.0	6.1	6.1	6.1
1−6	4.9	4.8	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.5	5.4	5.4	5.7	5.6	5.6	5.5	5.8	5.6	5.9	5.9	5.8	5.8	5.8	6.0	6.0	6.3	6.4
1−7	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.4	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.4	5.8	5.7	5.9	5.8	6.2	6.0	6.1	6.2	6.4	6.4
1−8	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.4	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.7	5.7	5.7	5.9	5.9	6.0	6.0	6.2	6.0	6.2	6.3	6.4	6.2
1−9	5.1	5.2	5.1	5.2	5.1	5.2	5.5	5.5	5.4	5.4	5.5	5.8	5.5	5.6	5.6	5.9	6.0	5.9	5.9	6.0	6.1	5.9	6.3	6.3	6.5
1−10	5.0	5.0	5.2	5.1	5.2	5.4	5.3	5.3	5.5	5.5	5.2	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.8	6.1	6.2	6.1	6.1	6.3	6.4
1−11	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.1	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.7	5.9	6.0	5.8	5.8	6.0	6.1	6.1	6.2	6.4	6.4
2−1	9.9	9.9	9.7	10.0	9.5	10.1	9.7	10.3	10.5	10.5	10.4	10.5	10.5	10.6	10.6	10.5	10.6	10.0	10.1	10.4	10.8	11.0	11.1	11.2	11.5
2−2	5.3	5.5	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.2	6.2	6.3	6.4	6.3	6.3	6.6	6.8	6.8
2−3	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.9	5.8	6.0	5.9	6.0	5.9	6.2	6.2	6.2	6.4	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9
2−4	5.5	5.6	5.7	5.5	5.5	5.5	5.7	5.8	5.7	5.9	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.1	6.2	6.2	6.4	6.4	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0
2−5	5.6	5.5	5.7	5.7	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5	6.5	6.7	6.6	6.9	6.9
2−6	5.7	5.6	5.7	5.6	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8	6.0	6.0	6.2	6.2	6.4	6.4	6.4	6.6	6.7	6.7	6.7	6.9
2−7	5.8	5.8	5.7	5.8	5.6	5.7	5.6	5.6	5.8	5.8	5.7	5.9	5.9	6.0	6.2	6.2	6.2	6.4	6.4	6.5	6.6	6.8	6.9	6.9	7.0
2−8	5.8	5.7	5.8	5.7	5.6	5.8	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	6.0	6.0	6.1	6.2	6.4	6.4	6.5	6.6	6.5	6.8	6.8	6.9
2−9	5.9	5.9	5.8	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9	5.8	5.8	5.7	5.9	6.0	6.1	6.0	6.1	6.1	6.2	6.5	6.7	6.9	6.9	6.9
2−10																									
2−11																									
3−1																									
3−2																									
3−3																									
3−4																									
3−5	6.4	6.3	6.4	6.2	6.3	6.2	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4	6.6	6.4	6.7	6.5	6.5	6.6	6.7	6.6	6.7	6.9	6.8	6.8	7.2	7.3
3−6	6.5	6.4	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.6	6.5	6.6	6.4	6.7	6.7	6.6	6.8	6.8	6.8	6.8	6.9	7.0	7.2
3−7	6.5	6.5	6.4	6.3	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	6.2	6.4	6.3	6.4	6.6	6.7	6.7	6.7	6.5	6.8	6.8	7.0	7.0	7.1	7.4
3−8	6.7	6.7	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.4	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4
3−9	6.9	6.9	6.8	6.7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	6.3	6.4	6.4	6.3	6.3	6.4	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	7.0	7.2	7.2	7.2	7.3
3−10	7.1	7.1	6.9	6.9	6.8	6.7	6.7	6.6	6.5	6.5	6.5	6.4	6.4	6.5	6.5	6.6	6.5	6.7	6.8	6.7	6.8	7.1	7.1	7.2	7.2
3−11	7.4	7.3	7.2	7.1	7.0	6.9	6.9	6.7	6.8	6.5	6.6	6.6	6.5	6.5	6.4	6.5	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3
4−1	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7	6.6	6.5	6.6	6.6	6.6	6.6	6.7	6.9	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3
4−2	7.5	7.4	7.3	7.1	7.1	7.0	6.9	6.8	6.8	6.7	6.7	6.7	6.6	6.6	6.6	6.7	6.6	6.7	6.8	6.8	6.9	7.0	7.2	7.2	7.3
4−3	7.6	7.5	7.3	7.2	7.2	7.1	7.0	6.9	6.8	6.7	6.8	6.8	6.7	6.6	6.6	6.7	6.6	6.7	6.8	6.8	7.0	7.0	7.2	7.2	7.4
4−4	7.9	7.7	7.6	7.5	7.4	7.3	7.1	7.0	7.0	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.9	7.0	7.0	7.2	7.3	7.4	7.3
4−5	8.1	8.0	7.8	7.7	7.7	7.6	7.3	7.2	7.1	7.0	6.9	6.9	6.9	6.9	6.8	6.9	7.0	7.1	7.0	7.1	7.2	7.3	7.3	7.5	7.5
4−6	8.6	8.3	8.2	8.0	7.8	7.7	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	7.1	7.1	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7
4−7	8.9	8.8	8.7	8.6	8.4	8.2	7.9	7.8	7.5	7.5	7.3	7.3	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9
4−8	9.8	9.7	9.5	9.2	9.2	9.1	8.7	8.4	8.2	8.2	8.0	8.0	8.1	8.0	7.9	7.7	7.8	7.9	8.0	7.9	8.1	8.2	8.3	8.2	8.3
4−9	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	9.8	9.7	9.6	9.2	9.2	8.9	8.9	9.2	9.1	8.9	8.8	8.5	8.7	8.8	8.9	9.1	9.2	9.2	9.3	9.1
4−10	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.3	10.1	9.9	10.0	10.0	9.7	9.7	9.6	9.6	9.7	9.8	10.2	10.1	10.2	10.2	10.1
4−11	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
5−1	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.3	10.2	10.2	10.3	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
5−2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
5−3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
5−4	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.3	10.3	10.3
5−5	10.3	10.1	10.1	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.1	10.2	10.1	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2
5−6	9.5	9.4	9.7	9.7	9.8	9.8	9.9	10.0	9.8	9.9	9.8	9.7	9.6	9.6	9.6	9.6	9.8	9.7	9.9	10.0	10.1	10.1	10.2	10.3	10.3
5−7	8.7	8.9	8.9	8.9	9.0	9.0	9.1	9.1	9.0	9.0	8.9	9.0	9.0	8.9	8.9	8.8	9.0	9.1	9.1	9.2	9.3	9.4	9.4	9.7	9.9
5−8	7.9	8.1	8.3	8.4	8.6	8.5	8.7	8.7	8.5	8.4	8.6	8.5	8.4	8.4	8.2	8.3	8.5	8.6	8.6	8.7	8.9	8.9	9.1	9.2	9.4
5−9	7.5	7.7	7.8	7.9	8.0	7.9	8.0	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.8	7.8	7.9	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.4	8.5	8.9
5−10	7.1	7.3	7.4	7.4	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.5	7.5	7.6	7.5	7.5	7.6	7.6	7.6	7.8	7.8	7.9	7.8	8.0	8.2	8.5
5−11	6.9	6.9	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.3	7.3	7.4	7.5	7.5	7.6	7.6	7.8	7.9	8.1

軸方向(d) / 周方向	2096.7	2116.7	2136.7	2156.7	2176.7	2196.7	2216.7	2236.7	2256.7	2276.7	2296.7	2316.7	2336.7	2356.7	2376.7	2396.7	2416.7	2436.7	2456.7	2476.7	2496.7	2516.7	2536.7	2556.7	2576.7
6−1	6.8	6.9	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.2	7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	7.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.3	7.4	7.4	7.6	7.7	7.9
6−2	6.6	6.8	6.8	7.0	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	6.9	7.0	6.9	7.0	7.1	7.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.7
6−3	6.5	6.6	6.6	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.9	6.8	6.9	7.0	7.0	7.2	7.3	7.4
6−4	6.2	6.3	6.4	6.5	6.5	6.5	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	6.9	7.1	7.2
6−5	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.1	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.5	6.7	6.8	6.9
6−6	5.8	5.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3	6.6	6.5	6.7	6.7
6−7	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.2	6.1	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5
6−8	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3
6−9	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.6	5.5	5.7	5.6	5.8	5.9	6.0	6.0	6.1	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.2	6.0	6.0	6.1	6.3
6−10	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.7	5.6	5.5	5.7	5.6	5.6	5.8	5.8	5.9	5.8	5.9	5.7	5.8	5.9	6.1	6.0	6.1	6.0	6.1	5.9
6−11	5.2	5.3	5.1	5.3	5.6	5.5	5.6	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.7	5.9	5.8	5.9	6.0	6.0
7−1	5.0	5.1	5.1	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.5	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.8	5.6	5.7	5.6	5.8	5.8	5.7	5.8	5.9
7−2	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.6	5.5	5.7	5.6	5.6	5.7	5.9
7−3	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.2	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.5	5.7	5.6	5.8
7−4	4.8	4.9	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.7
7−5	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2	5.4	5.4	5.6	5.4	5.4	5.4	5.6
7−6	4.8	4.8	4.7	4.9	5.0	5.0	5.1	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.3	5.2	5.4	5.3	5.3	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.4
7−7	4.7	4.7	4.5	4.8	4.8	4.8	4.9	5.0	5.0	5.2	5.1	5.1	5.2	5.1	5.2	5.4	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.7
7−8	4.5	4.7	4.7	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.2	5.4	5.2	5.1	5.3	5.4	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6
7−9	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	5.0	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.2	5.4	5.5	5.4	5.6	5.5	5.4	5.5	5.5	5.6
7−10	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.0	5.1	5.1	5.3	5.3	5.3	5.4	5.5	5.4	5.5	5.7	5.5	5.4	5.4	5.5	5.5
7−11	4.6	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.0	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5	5.5
8−1	4.6	4.8	4.9	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	4.9	5.1	5.2	5.1	5.3	5.1	5.3	5.2	5.4	5.4	5.2	5.2	5.5	5.3	5.4
8−2	4.7	4.7	5.0	4.8	4.9	4.9	4.8	4.9	5.0	5.2	5.0	5.1	5.2	5.2	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.4	5.5	5.4	5.4	5.4
8−3	4.6	4.6	4.8	4.9	4.9	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1	5.3	5.1	5.3	5.4	5.5	5.3	5.4	5.5	5.5	5.4
8−4	4.6	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.8	5.0	5.1	4.9	5.0	5.0	5.1	5.0	5.2	5.3	5.1	5.3	5.5	5.3	5.3	5.3	5.5	5.5	5.4
8−5	4.8	4.6	4.7	4.8	4.8	5.0	4.9	4.9	4.9	5.1	5.1	5.0	5.1	5.0	5.1	5.3	5.2	5.2	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5
8−6	4.8	4.7	4.8	4.9	4.8	4.9	4.7	4.9	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.3	5.2	5.2	5.3	5.4	5.2	5.3	5.5	5.4	5.6	5.7	5.7
8−7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.7	4.9	4.9	4.9	5.0	5.0	5.2	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.4	5.3	5.6	5.5	5.4	5.6	5.8	5.6
8−8	4.6	4.6	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	4.9	5.0	4.9	4.9	5.0	5.1	5.2	5.1	5.2	5.4	5.3	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.5	5.8
8−9	4.6	4.8	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.2	5.1	5.0	5.3	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.7	5.7	5.7
8−10	4.6	4.7	4.7	5.0	4.9	4.8	4.9	4.8	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.5	5.5	5.6	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
8−11	4.6	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.3	5.2	5.3	5.6	5.5	5.6	5.6	5.4	5.6	5.7	5.7	5.8

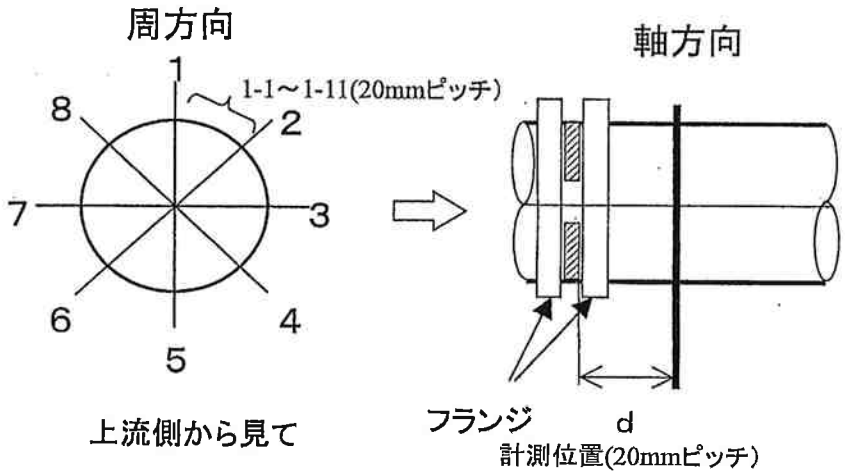
A系オリフィス下流データ

周方向＼軸方向(d)	2596.7	2616.7
1−1	6.1	6.2
1−2	6.0	6.1
1−3	5.9	6.1
1−4	6.2	6.4
1−5	6.1	6.3
1−6	6.2	6.5
1−7	6.3	6.6
1−8	6.4	6.6
1−9	6.6	6.6
1−10	6.6	6.7
1−11	6.6	6.7
2−1	8.3	7.2
2−2	7.1	7.3
2−3	7.1	7.1
2−4	7.1	7.1
2−5	7.0	7.1
2−6	7.0	7.0
2−7	7.0	7.1
2−8	7.1	7.1
2−9	7.0	7.2
2−10		
2−11		
3−1		
3−2		
3−3		
3−4		
3−5	7.3	7.5
3−6	7.4	7.4
3−7	7.4	7.5
3−8	7.4	7.4
3−9	7.3	7.4
3−10	7.4	7.5
3−11	7.5	7.5
4−1	7.4	7.5
4−2	7.5	7.6
4−3	7.5	7.5
4−4	7.8	7.8
4−5	7.7	7.9
4−6	7.7	7.8
4−7	8.0	8.2
4−8	8.4	8.6
4−9	9.2	9.4
4−10	10.2	10.3
4−11	10.3	10.2
5−1	10.3	10.2
5−2	10.3	10.1
5−3	10.3	10.3
5−4	10.3	10.2
5−5	10.2	10.2
5−6	10.3	10.2
5−7	10.2	10.2
5−8	9.7	9.8
5−9	9.2	9.4
5−10	8.7	8.9
5−11	8.4	8.6

A系オリフィス下流データ

軸方向(d) / 周方向	2596.7	2616.7
6−1	8.2	8.4
6−2	7.9	8.0
6−3	7.6	7.8
6−4	7.4	7.6
6−5	7.1	7.2
6−6	6.8	7.0
6−7	6.7	6.6
6−8	6.5	6.5
6−9	6.3	6.3
6−10	6.1	6.1
6−11	6.0	6.0
7−1	6.1	6.3
7−2	6.0	6.0
7−3	6.0	5.9
7−4	5.9	6.1
7−5	5.7	5.9
7−6	5.6	5.6
7−7	5.6	5.6
7−8	5.6	5.7
7−9	5.6	5.7
7−10	5.6	5.5
7−11	5.6	5.7
8−1	5.5	5.6
8−2	5.5	5.6
8−3	5.4	5.5
8−4	5.4	5.6
8−5	5.4	5.6
8−6	5.5	5.5
8−7	5.3	5.5
8−8	5.6	5.8
8−9	5.8	5.9
8−10	5.9	5.9
8−11	5.9	5.8

B系配管オリフィス下流の肉厚測定データ



軸方向(d) / 周方向	103.638	123.638	143.638	163.638	183.638	203.638	223.638	243.638	263.638	283.638	303.638	323.638	343.638	363.638	383.638	403.638	423.638	443.638	463.638	483.638	503.638	523.638	543.638	563.638	583.638	603.638	623.638	643.638
1−1	6.4	6.5	6.5	6.5	6.7	7	7.2	7.1	7.2	7.6	7.1	6.7	6.3	6	6.1	5.2	4.8	4.5	4.3	3.9	3.5	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4	4
1−2	6.6	6.5	6.5	6.5	6.7	7.1	7.2	7.2	7.5	7.7	7	6.6	6.5	5.8	5.5	5.3	4.8	4.4	4.1	3.9	3.6	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7
1−3	6.5	6.6	6.4	6.6	6.7	6.9	7.2	7.2	7.2	7	6.7	6.6	6.3	6.1	5.6	5.3	4.9	4.4	4.1	3.9	3.7	3.5	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4
1−4	6.7	6.5	6.4	6.5	6.6	6.8	7	7.3	7.2	7.1	7.1	6.8	6.4	6	5.5	5.2	4.9	4.6	4.2	3.8	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	3.1
1−5	6.5	6.4	6.5	6.7	6.7	6.9	7.2	7.3	7.2	7.1	6.9	7	6.6	6.2	5.5	5.2	4.8	4.5	4	3.8	3.6	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1
1−6	6.5	6.4	6.4	6.4	6.7	6.8	7	7.2	7.1	7	6.9	6.6	6.2	5.8	5.4	5.1	4.9	4.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3
1−7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.7	6.9	7.1	7.2	7.2	6.9	7	6.8	6.3	5.9	5.5	5.1	4.8	4.4	4	3.8	3.6	3.4	3.3	3.2	3.2	3	3	3
1−8	6.7	6.7	6.7	7.1	6.9	7	7.1	7.2	7.2	7.2	7	6.7	6.5	6.2	5.6	5.1	4.8	4.4	4.1	3.9	3.7	3.3	3.2	3.1	3.1	3	3	3
1−9	6.6	6.6	6.6	6.7	6.9	7.1	7.1	7.4	7.2	7.2	7	6.7	6.5	6	5.5	5.2	4.7	4.5	4.1	3.8	3.5	3.4	3.2	3.1	3	3	3	3
1−10	6.8	6.6	6.6	6.7	6.9	7	7.2	7.2	7.2	7.1	7	6.7	6.5	5.9	5.5	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	3.5	3.3	3.1	3	3	3	2.9	2.9
1−11	6.7	6.6	6.6	6.6	6.8	7	7	7.1	7.2	7.1	6.9	6.6	6.3	5.8	5.6	5	4.7	4.2	4	3.7	3.4	3.2	3	3.1	2.9	2.9	2.9	2.9
2−1	10.5	10.8	10.8	10.8	11.2	11.2	11.2	11.3	11	11.2	10.9	10.8	10.7	10.3	10	9.3	8.9	8.4	8.2	7.6	7.6	7.5	7.2	6.7	7.9	6.5	6.7	6.7
2−2	7.2	7.2	7	7.1	7.2	7.2	7.4	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1	6.7	6.5	5.7	5.3	5	4.5	4.2	3.9	3.6	3.4	3.3	3.1	3.1	3	2.9	2.9
2−3	7.2	7.1	7.1	7.1	7.2	7.3	7.5	7.5	7.5	7.4	7.3	7	6.7	6.3	5.9	5.4	4.8	4.6	4.2	3.9	3.7	3.4	3.2	3.1	2.9	2.9	3	3
2−4	7.4	7.2	7.2	7.3	7.3	7.5	7.5	7.4	7.4	7.3	7.2	7.1	6.9	6.3	5.8	5.3	5	4.5	4	3.7	3.6	3.3	3.3	3	2.9	2.9	2.9	2.9
2−5	7.5	7.3	7.2	7.2	7.3	7.3	7.4	7.5	7.5	7.5	7.4	7.2	6.8	6.3	5.8	5.3	4.8	4.5	4	3.8	3.5	3.3	3.2	3	2.9	2.9	2.8	2.8
2−6	7.1	7.3	7.1	7.1	7.3	7.4	7.4	7.4	7.4	7.3	7.2	7	6.5	5.8	5.4	5.3	4.9	4.4	4	3.7	3.5	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.8
2−7	7.3	7.5	7.4	7.3	7.3	7.3	7.4	7.5	7.4	7.4	7.3	6.9	6.1	5.8	5.4	5.2	4.8	4.3	4	3.8	3.6	3.3	3.2	3	2.9	2.8	2.8	2.9
2−8	7.3	7.5	7.4	7.3	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.2	7.2	6.7	6.1	5.7	5.4	5.1	4.6	4.4	4	3.8	3.5	3.3	3.2	3	2.8	2.8	2.8	2.8
2−9	7.3	7.5	7.3	7.3	7.3	7.6	7.3	7.5	7.3	7.3	7.3	6.6	6.2	5.8	5.3	5	4.6	4.3	4	3.7	3.5	3.2	3.1	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8
2−10	7.3	7.4	7.3	7.4	7.4	7.4	7.5	7.4	7.3	7.2	7	6.8	6.2	5.7	5.3	5	4.6	4.2	3.9	3.6	3.4	3.2	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7
2−11	7.4	7.5	7.3	7.2	7.4	7.4	7.4	7.2	7.2	7.1	6.9	6.5	6.4	5.9	5.6	5	4.5	4.1	3.8	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.8	2.8	2.7
3−1	7.3	7.3	7.4	7.2	7.3	7.1	7.2	7.2	7.2	7.1	6.7	6.5	6.2	5.9	5.8	4.8	4.4	4	3.7	3.5	3.2	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.7	2.7
3−2	7.8	7.4	7.2	7	7.1	7	7.1	7.1	7	6.9	6.8	6.5	5.9	5.4	5.3	4.7	4.3	4	3.6	3.4	3.1	3	2.8	2.8	2.6	2.6	2.7	2.6
3−3	7.9	7.7	7.2	6.9	7	7	7	6.9	6.9	6.8	6.7	6.3	5.8	5.4	5.1	4.6	4.3	3.9	3.6	3.4	3.1	3	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4
3−4	7.9	7.3	7.1	7	6.9	7	6.9	6.9	6.8	6.8	6.5	6.2	5.8	5.4	5.1	4.6	4.2	3.9	3.6	3.3	3.2	3	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7
3−5	7.1	7.1	6.9	6.8	6.9	6.9	6.8	7	6.8	6.6	6.4	6.1	5.7	5.4	5	4.7	4.2	3.9	3.6	3.4	3.2	3	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5
3−6	7.9	7	7	6.9	6.9	7	6.8	6.9	6.7	6.6	6.4	6	5.7	5.3	4.9	4.6	4.3	3.9	3.6	3.3	3.2	3	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6
3−7	7.3	6.9	6.9	6.9	6.9	7	6.9	6.8	6.8	6.6	6.3	6	5.7	5.3	4.8	4.5	4.2	3.8	3.6	3.3	3.2	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.7
3−8	7.2	7	6.9	7	6.9	6.9	6.9	6.8	6.8	6.5	6.4	5.9	5.6	5.2	4.9	4.5	4.2	3.8	3.7	3.4	3.3	3.4	3	3	2.9	2.8	2.7	2.7
3−9	7.1	7	6.8	7	6.9	7	6.9	6.7	6.7	6.5	6.3	6	5.7	5.3	4.8	4.5	4.2	3.9	3.7	3.5	3.4	3.3	3.1	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7
3−10	7.2	7	7	6.9	7	6.9	6.9	6.9	6.7	6.7	6.4	6	5.7	5.3	4.9	4.6	4.3	4	3.7	3.5	3.4	3.3	3.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7
3−11	7.1	7.1	7	7	7	6.9	7	6.9	6.7	6.6	6.3	6.1	6.2	5.3	5	4.6	4.4	4	3.9	3.5	3.4	3.2	3	2.8	2.6	2.6	2.6	2.6
4−1	7.2	7.1	7	7	7	7	7	6.9	6.8	6.6	6.3	6	5.7	6	5	4.7	4.4	4.2	3.9	3.7	3.4	3.3	3	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7
4−2	7.1	6.8	6.8	6.9	6.9	7	7	6.9	6.8	6.6	6.4	6.1	5.8	5.5	5.1	4.8	4.5	4.1	4	3.7	3.5	3.4	3.2	3	2.9	2.9	2.8	2.8
4−3	7	6.9	6.8	7	7	6.9	6.9	6.9	6.7	6.5	6.4	6	5.8	5.4	5.2	4.7	4.5	4.2	3.9	3.8	3.7	3.5	3.3	3.1	3	3	2.9	2.9
4−4	6.8	6.8	6.8	6.9	7.1	7	6.9	6.9	6.8	6.6	6.4	6	5.7	5.4	5.1	4.8	4.6	4.3	4	3.9	3.8	3.6	3.3	3.2	3.1	3.1	3.1	3
4−5	6.9	6.9	6.9	7	7	6.9	6.9	6.8	6.7	6.5	6.2	6	5.7	5.9	5.1	4.7	4.4	4.2	3.9	3.6	3.5	3.5	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.1
4−6	6.9	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.1	5.8	5.5	5.2	4.8	4.6	4.2	4	3.7	3.5	3.4	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1
4−7	6.8	6.7	6.6	6.7	6.6	6.5	6.5	6.6	6.3	6.2	6	6.2	5.9	5	4.6	4.3	4	3.6	3.4	3.2	3	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.6	2.5
4−8	6.8	6.7	6.6	6.6	6.6	6.7	6.6	6.5	6.4	6.2	5.9	5.6	5.3	4.8	4.5	4.2	3.9	3.6	3.4	3.2	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5
4−9	6.9	6.8	6.7	6.6	6.7	6.5	6.4	6.3	6.3	6.1	5.9	5.6	5.2	5	4.6	4.2	3.9	3.5	3.3	3	2.9	2.8	2.8	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4
4−10	6.9	6.7	6.6	6.6	6.7	6.7	6.5	6.4	6.3	6	5.7	5.5	5.3	4.9	4.5	4.1	3.7	3.5	3.1	2.9	2.7	2.7	2.7	2.4	2.3	2.4	2.3	2.3
4−11	6.9	6.6	6.7	6.5	6.6	6.6	6.5	6.3	6.1	6	5.7	5.5	5.9	4.9	4.4	4	3.7	3.3	3.1	3.4	2.6	2.5					2.2	2.3
5−1	6.7	6.7	6.5	6.7	6.5	6.6	6.6	6.4	6.3	6.1	5.9	6.1	5.9	4.9	4.4	4	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5					2.1	2.2
5−2	6.9	6.6	6.6	6.5	6.6	6.7	6.7	6.5	6.4	6.4	6	5.8	5.3	4.8	4.4	4.1	3.7	3.5	3.2	3.1	2.8	2.8					2.2	2.2
5−3	6.7	6.4	6.5	6.5	6.6	6.6	6.6	6.6	6.4	6.2	5.9	5.7	5.8	4.9	4.5	4.2	3.8	3.6	3.2	3.1	2.9	2.9	2.6	2.5	2.3	2.3	2.4	2.4
5−4	6.7	6.4	6.5	6.5	6.4	6.6	6.6	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	5.4	5	4.6	4.3	3.9	3.6	3.4	3.2	3	3	2.9	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5
5−5	6.7	6.5	6.4	6.4	6.5	6.5	6.8	6.6	6.6	6.3	6	5.7	5.9	5	4.6	4.3	4	3.8	3.5	3.3	3.2	3	2.9	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7
5−6	6.6	6.5	6.5	6.5	6.6	6.6	6.7	6.6	6.6	6.4	6.1	6.3	5.4	5	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.3	3.2	3.1	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8
5−7	6.7	6.6	6.7	6.6	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.5	6.2	5.9	5.6	5.1	4.9	4.6	4.2	3.9	3.8	3.6	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1
5−8	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9	7	7	7	6.9	6.7	6.4	6.1	5.7	5.5	5.1	4.8	4.5	4.3	4	3.8	3.6	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.4
5−9	6.6	6.6	6.8	6.8	6.9	7	7.1	7	7	6.9	6.6	6.2	5.9	5.6	5.3	4.9	4.7	4.4	4.2	4	3.8	3.7	3.6	3.4	3.4	3.3	3.3	3.2
5−10	6.6	6.5	6.7	6.8	6.8	7	7.1	7.1	7.1	7	6.6	6.3	6	5.7	5.3	5	4.7	4.4	4.1	3.9	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.3	3.1	3.1
5−11	6.5	6.4	6.5	6.6	6.8	7	7	7.1	7.1	6.9	6.6	6.4	5.9	5.6	5.3	4.9	4.6	4.3	4.1	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3	3

軸方向(d) / 周方向	103.638	123.638	143.638	163.638	183.638	203.638	223.638	243.638	263.638	283.638	303.638	323.638	343.638	363.638	383.638	403.638	423.638	443.638	463.638	483.638	503.638	523.638	543.638	563.638	583.638	603.638	623.638	643.638
6−1	6.6	6.5	6.4	6.6	6.8	6.9	7	7	6.9	6.8	6.5	6.1	5.7	5.4	5.1	4.7	4.3	4.1	3.8	3.6	3.4	3.3	3.2	3	3	2.9	2.9	2.9
6−2	6.6	6.5	6.4	6.4	6.6	6.9	6.9	7	6.9	6.8	6.5	6	5.6	5.3	5	4.6	4.3	4	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.9
6−3	6.5	6.4	6.4	6.4	6.6	6.7	6.9	7	6.8	6.6	6.3	6	5.6	5.2	4.8	4.6	4.2	3.9	3.7	3.5	3.4	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8
6−4	6.5	6.3	6.3	6.4	6.5	6.6	6.8	6.9	6.8	6.5	6.2	5.9	5.5	5.1	4.8	4.4	4.2	3.9	3.7	3.5	3.2	3.2	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7
6−5	6.5	6.3	6.3	6.3	6.4	6.6	6.8	6.8	6.7	6.5	6.2	5.8	5.4	5	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.2	3	3	2.9	2.9	2.7	2.8	2.8
6−6	6.4	6.2	6.2	6.3	6.4	6.6	6.7	6.6	6.6	6.6	6.1	5.7	5.3	4.9	4.6	4.2	4	3.8	3.6	3.4	3.2	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6
6−7	6.4	6.3	6.3	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.6	6.5	6.2	5.8	5.3	4.9	4.7	4.3	4	3.8	3.5	3.3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7
6−8	6.4	6.2	6.2	6.2	6.4	6.5	6.5	6.6	6.5	6.3	6.2	5.8	5.5	5	4.7	4.4	4.1	3.8	3.5	3.4	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.7	2.7
6−9	6.3	6.2	6.2	6.3	6.3	6.5	6.6	6.6	6.5	6.3	6.2	5.8	5.4	5	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6
6−10	6.3	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.5	6.4	5.8	5.6	5	4.7	4.3	4.1	3.8	3.5	3.2	3.1	2.9	3.1	3	3	2.9	2.8	2.7
6−11	6.4	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4	6.6	6.5				5.8	5.4	5	4.7	4.3	4	3.7	3.4	3.2	3.1	3	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7
7−1	6.4	6.1	6.1	6.2	6.2	6.5	6.8	6.6				5.8	5.3	5	4.5	4.2	4	3.7	3.5	3.2	3.1	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7
7−2	6.4	6.2	6.1	6.2	6.2	6.4	6.7	6.6				5.8	5.3	4.9	4.4	4.2	3.9	3.6	3.4	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
7−3	6.3	6.2	6.1	6.1	6.2	6.3	6.5	6.5	6.5	6.4	6	5.8	5.3	4.9	4.5	4.3	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9
7−4	6.3	6.2	6.1	6	6.2	6.4	6.7	6.5	6.4	6.3	6	5.8	5.4	5	4.6	4.3	4	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	3	2.9	2.9	3	3	3
7−5	6.4	6.1	6.1	6.2	6.3	6.6	6.8	6.6	6.2	6.2	6.1	5.8	5.4	5	4.6	4.3	4	3.8	3.6	3.4	3.2	3.2	3.1	3	3	3	3	3
7−6	6.3	6.2	6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.6	6.6	6.6	6.4	5.9	5.3	5	4.7	4.2	4	3.8	3.5	3.4	3.2	3.1	3.1	3	3	3	3	3
7−7	6.4	6.1	6.1	6	6.1	6.4	6.4	6.5	6.6	6.7	6.3	5.7	5.5	4.9	4.6	4.3	4	3.7	3.6	3.3	3.1	3	3	3	3	3	3.1	3.1
7−8	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.4	6.5	6.6	6.7	6.5	5.9	5.4	5	4.7	4.3	4	3.8	3.5	3.3	3.1	3	3	3	3	3	3.1	3.1
7−9	6.3	6.1	6.2	6.2	6.2	6.4	6.5	6.7	6.7	6.4	6.2	5.9	5.4	5.1	4.7	4.4	4.1	3.7	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1
7−10	6.2	6.1	6.4	6.1	6.3	6.5	6.5	6.7	6.7	6.5	6.2	6	5.6	5.2	4.7	4.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
7−11	6.4	6.1	6.2	6.2	6.2	6.5	6.6	6.8	6.8	6.6	6.2	6.1	5.6	5.3	4.9	4.5	4.1	3.9	3.6	3.3	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2
8−1	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.5	6.8	7	6.9	6.8	6.6	6.1	5.7	5.2	5	4.6	4.3	4	3.7	3.5	3.4	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3
8−2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.5	6.6	6.8	6.9	6.7	6.5	6.1	5.8	5.3	4.9	4.5	4.3	4	3.7	3.6	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3
8−3	6.3	6.1	6.1	6.1	6.3	6.4	6.7	6.8	6.8	6.7	6.5	6.2	5.7	5.3	5	4.6	4.2	4	3.8	3.6	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.4	3.5
8−4	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.4	6.6	6.8	6.7	6.7	6.4	6.1	5.7	5.6	5	4.7	4.3	4.1	3.9	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7
8−5	6.2	6.2	6.1	6.1	6.2	6.4	6.7	6.9	6.9	6.9	6.5	6.1	5.9	5.4	5	4.6	4.3	4.1	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
8−6	6.3	6.2	6.2	6.2	6.3	6.5	6.7	6.8	6.9	6.8	6.7	6.3	5.9	5.7	5	4.7	4.4	4.1	3.9	3.7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
8−7	6.4	6.2	6.1	6.2	6.3	6.5	6.7	6.8	6.9	6.8	6.6	6.4	5.9	5.6	5.1	4.8	4.5	4.1	3.9	3.7	3.6	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9
8−8	6.4	6.3	6.2	6.2	6.3	6.5	7	7	7	6.9	6.8	6.6	6.1	5.6	5.2	4.9	4.5	4.3	4	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	4
8−9	6.6	6.4	6.3	6.3	6.4	6.7	7	7.1	7	7	7.7	6.5	6.1	5.7	5.3	5	4.7	4.3	4.1	3.9	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.9	4	4
8−10	6.5	6.4	6.3	6.4	6.5	6.8	6.9	6.9	7	7	6.7	6.4	6.1	5.6	5.3	5	4.6	4.3	4	3.8	3.7	3.5	3.5	3.6	3.7	3.9	4	4.1
8−11	6.6	6.3	6.3	6.5	6.7	6.9	6.9	7	7	7	7	6.6	6.2	5.8	5.6	5.2	4.7	4.5	4.2	3.9	3.5	3.3	3.4	3.5	3.8	4	4.1	4.2

軸方向(d) / 周方向	653.638	673.638	693.638	713.638	733.638	753.638	773.638	793.638	813.638	833.638	853.638	873.638	893.638	913.638	933.638	953.638	973.638	993.638	1013.64	1033.64	1053.64	1073.64	1093.64	1113.64	1133.64	1153.64	1173.64	1193.64
1−1	3.9	4	3.8	3.7	3.9	4.1	4.2	4.1	3.8	3.6	3.3	3.1	3	3.2	3.6	4	3.9	3.8	3.5	3.7	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6
1−2	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4	3.9	3.7	3.6	3.4	3.2	2.8	2.7	3	3.4	3.8	3.9	3.8	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6
1−3	3.4	3.3	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.5	3.3	3.2	3.2	2.9	2.8	3.1	3.4	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5
1−4	3	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.3	3.2	3	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4	3.5	3.4	3.4	3.3
1−5	3	3	3	3.2	3.3	3.3	3.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3
1−6	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
1−7	3	3.1	3.1	3.1	3	3	3	3	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2
1−8	3	3	3	2.9	3	2.9	2.9	3	3	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3
1−9	3	3	3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	3	3	3.2	3.1	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3.1	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
1−10	3	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.9	3	3	3	3	2.9	2.8	2.8	2.8	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
1−11	2.9	2.8	2.8	2.7	2.5	2.6	2.6	2.6	2.9	2.9	3	2.9	2.9	2.9	2.7	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.1	3.2	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1
2−1	6.9	7	6.9	6.8	6.7	7	6.9	6.9	7	7	7	7	6.8	6.9	7	6.8	7	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.5	7.5	7.4	7.5	7.5	7.5
2−2	3	2.9	2.9	2.9	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.2	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.4	3.4
2−3	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4
2−4	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.7	2.9	3.1	3.1	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
2−5	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.7	2.9	3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
2−6	2.8	2.8	2.8	2.7	2.6	2.7	2.9	3	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4
2−7	2.8	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	3	3.1	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4
2−8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
2−9	2.7	2.7	2.7	2.9	2.9	2.9	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5
2−10	2.7	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6
2−11	2.7	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6
3−1	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	3.4	3.5	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6
3−2	2.5	2.4	2.5	2.6	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6
3−3	2.4	2.3	2.4	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6
3−4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	3	3	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7
3−5	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7
3−6	2.5	2.5	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8
3−7	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8
3−8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7
3−9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8
3−10	2.8	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8
3−11	2.7	2.7	2.9	2.8	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	4	4
4−1	2.7	2.8	2.9	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.5	3.3	3.4	3.4	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1
4−2	2.9	2.8	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.3	3.5	3.5	3.7	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.1	4	4.2
4−3	3	3	3.1	3	2.8	2.9	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.5	3.3	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	4	4	4.1	4.1	4.1
4−4	3.1	3.1	3.1	3	2.9	2.9	3	3.1	3	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4	4	4
4−5	3.1	3	3	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	2.9	3	3	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	3.8
4−6	3	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5
4−7	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.5	2.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.1	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3
4−8	2.4	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.3	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	3	3	3	3.2	3.2	3
4−9	2.4	2.2	2	2	2	2	2	1.9	2.1	2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	2.8	2.8	3	3.1	3.1
4−10	2.2	2	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	2	2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.4	2.5	2.5	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	3
4−11	2.2	2.1	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2	2	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8
5−1	2.2	2.2	2	2	1.9	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9
5−2	2.2	2.3	2.2	2.1	2.2	2.2	2.1	2.2	2.3	2.2	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.5	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.2	3.2
5−3	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2
5−4	2.4	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	3	3.1	3	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3
5−5	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3.1	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3
5−6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	3	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3
5−7	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.5
5−8	3.2	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8
5−9	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9
5−10	3.2	3.1	3.1	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9
5−11	3.1	3	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.5	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7

周方向＼軸方向(d)	653.638	673.638	693.638	713.638	733.638	753.638	773.638	793.638	813.638	833.638	853.638	873.638	893.638	913.638	933.638	953.638	973.638	993.638	1013.64	1033.64	1053.64	1073.64	1093.64	1113.64	1133.64	1153.64	1173.64	1193.64
6−1	3	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6
6−2	2.8	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5
6−3	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5
6−4	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4
6−5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4
6−6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4
6−7	2.6	2.6	2.7	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3
6−8	2.7	2.6	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	3	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3
6−9	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.2
6−10	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2
6−11	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.2
7−1	2.8	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	2.9	2.9	3	2.9	3	3	3	3	3	3	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1
7−2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	3	2.9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1
7−3	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3	2.9	3	3	3	3	3	3	3.1	3	3	3.1	3	3	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2
7−4	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
7−5	3	3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.2
7−6	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
7−7	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3
7−8	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3
7−9	3.2	3.3	3.4	3.4	3.3	3.2	3	3	2.9	3	3.1	3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4
7−10	3.2	3.3	3.4	3.4	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.9	3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
7−11	3.3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.1	3	2.7	2.6	2.7	2.9	3.1	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4
8−1	3.4	3.5	3.5	3.4	3.3	3.1	3	2.7	2.6	2.8	3	3.2	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.4
8−2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.2	3.1	3	3	3	3.1	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4
8−3	3.6	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4	3.4
8−4	3.7	3.8	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4
8−5	3.8	3.9	4	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.7	3.6	3.7	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5
8−6	3.9	4.1	4	4	3.9	3.9	3.8	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4.1	4.1	4.1	3.9	3.9	3.8	3.9	3.8	3.8	3.7	3.7	3.4	3.6	3.5	3.5
8−7	4	4.1	4	3.9	3.9	4	4	3.9	3.9	3.9	4	4	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4	4	3.9	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.5
8−8	4.1	4	3.8	3.8	3.8	4	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.1	4	4	3.9	3.8	3.9	3.8	3.9	3.8	3.6	3.6	3.6	3.5
8−9	4.1	3.9	3.5	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.3	4.2	4	3.9	3.9	4	4.1	4	4	3.8	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6	3.5
8−10	4.1	3.8	3.4	3	3.4	3.8	4.1	4.3	4.2	4	3.8	3.6	3.6	3.7	3.8	4	3.9	3.6	3.5	3.6	3.8	3.9	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6	3.5
8−11	4.1	3.9	3.6	3.3	3.6	3.9	4.2	4.2	4	3.8	3.6	3.3	3.1	3.5	3.6	3.9	3.9	3.6	3.3	3.5	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6

軸方向(d) / 周方向	1203.64	1223.64	1243.64	1263.64	1283.64	1303.64	1323.64	1343.64	1363.64	1383.64	1403.64	1423.64	1443.64	1463.64	1483.64	1503.64	1523.64	1543.64	1563.64	1583.64	1603.64	1623.64	1643.64	1663.64	1683.64	1703.64	1723.64	1743.64
1−1	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.5	3.4	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7
1−2	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7
1−3	3.4	3.3	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7
1−4	3.4	3.3	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.2	3.1	3.3	3.2	3.3	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6
1−5	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6
1−6	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
1−7	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6
1−8	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.5	3.4	3.6	3.6
1−9	3.2	3.1	3.2	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6
1−10	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6
1−11	3.2	3.1	3.2	3.2	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7
2−1	7.6	7.6	7.5	7.4	7.4	7.5	7.6	7.6	7.8	7.8	7.7	7.8	7.7	7.7	7.8	7.7	7.9	7.9	7.9	7.8	8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.2	8.3	8.2
2−2	3.5	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.8	3.9	4	4	3.9
2−3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.9
2−4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.5	3.4	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	3.9	3.9	4	4	4.1
2−5	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	3.9	4	4	4.1
2−6	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	4	3.9	4	4	4.1	4.1	4.1
2−7	3.4	3.5	3.5	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4	4.1	4.2	4.2
2−8	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4	4.1	4.2	4.2
2−9	3.6	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	4	4	4	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3
2−10	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3
2−11	3.5	3.6	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3
3−1	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4
3−2	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.2	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4
3−3	3.6	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5
3−4	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6
3−5	3.7	3.8	3.9	3.8	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3	4.5	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7
3−6	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.8
3−7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8
3−8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.4	4.6	4.6	4.5	4.6	4.7	4.7	4.6	4.8	4.8
3−9	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.3	4.5	4.5	4.6	4.5	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.7	4.8	4.9
3−10	3.9	3.9	3.9	4	3.9	4.1	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.3	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.8	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5	5
3−11	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7	4.9	4.7	4.9	4.7	4.9	5	5.1	5	5	5.1	5.1	5.2	5.2
4−1	4.1	4.3	4.3	4.3	4.5	4.6	4.6	4.5	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	5	5	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2
4−2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5	5.2	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.1	5.3
4−3	4.2	4.4	4.4	4.5	4.9	4.8	4.6	4.9	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5	4.8	4.9	5.1	5	5.1	5.1	5.2	5.1	5.1	5.2	5.2
4−4	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7	4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5	5.1	4.9	5.1
4−5	4	4.3	4.5	4.3	4.3	4.3	4.4	4.6	4.6	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.5	4.8	4.8	4.8	4.6	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	5
4−6	3.9	4.1	3.9	4	4.1	4.2	4.1	4.2	4.4	4.5	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.7	4.5	4.5	4.4	4.6	4.6	4.7	4.6	4.7	4.8
4−7	3.5	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4.3	4.3	3.9	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6	4.5	4.7	4.6	4.7
4−8	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8	4.1	3.7	3.9	4.3	4.1	3.8	3.9	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.4	4.5	4.4	4.5	4.4	4.6	4.6	4.7
4−9	3.4	3.5	3.4	3.5	3.6	3.8	3.6	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	3.8	4.1	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.3	4.4	4.4	4.3
4−10	3.2	3.1	3.2	3.2	3.7	3.9	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6	3.7	3.8	3.8	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.3	4.4
4−11	3	3.1	3	3.1	3.3	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.6	3.8	3.6	3.8	3.9	4.1	4	4	4.1	4.2	4.1	4.3	4.3	4.3	4.3	4.5	4.7	4.7
5−1	3	3	3	3.2	3.2	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.8	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	4	4	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3
5−2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.7	3.8	3.9	4	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5
5−3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4	4.1	4.3	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6
5−4	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4	4	3.9	4.1	4.1	4.2	4.1	4.3	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5
5−5	3.3	3.4	3.4	3.6	3.5	3.7	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.4	4.3	4.3	4.3	4.5	4.5	4.5	4.5
5−6	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.7	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6
5−7	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4.1	4.1	4.1	4.3	4.2	4.3	4.3	4.3	4.5	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6
5−8	3.7	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.7	4.9	4.9	5	5	5
5−9	3.9	3.9	4	4	4.1	4	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5.1	5.1	5.2
5−10	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6	4.6	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5	5.1
5−11	3.8	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	5

軸方向(d) / 周方向	1203.64	1223.64	1243.64	1263.64	1283.64	1303.64	1323.64	1343.64	1363.64	1383.64	1403.64	1423.64	1443.64	1463.64	1483.64	1503.64	1523.64	1543.64	1563.64	1583.64	1603.64	1623.64	1643.64	1663.64	1683.64	1703.64	1723.64	1743.64
6−1	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5
6−2	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9
6−3	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8
6−4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4.1	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.3	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7
6−5	3.4	3.4	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4	4.2	4	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2	4.4	4.3	4.4	4.5	4.5
6−6	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4	3.9	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5
6−7	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4.2	4.2	4.1	4.2	4.3	4.3	4.5	4.4
6−8	3.3	3.3	3.3	3.3	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4	4	4	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3
6−9	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4	4.1	3.9	4.1	4	4.2	4.2	4.3
6−10	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.7	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1
6−11	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4
7−1	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4
7−2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9
7−3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9
7−4	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9
7−5	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9
7−6	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9
7−7	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8
7−8	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
7−9	3.3	3.3	3.2	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8
7−10	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.7	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9
7−11	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
8−1	3.5	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8	3.9	3.8
8−2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8
8−3	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8
8−4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8
8−5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8
8−6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8
8−7	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.7	3.7	3.8
8−8	3.5	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8
8−9	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8
8−10	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8
8−11	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.5	3.4	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7

B系オリフィス下流データ

軸方向(d) / 周方向	1753.64	1773.64	1793.64	1813.64	1833.64	1853.64	1873.64	1893.64	1913.64	1933.64	1953.64	1973.64	1993.64	2013.64	2033.64	2053.64	2073.64	2093.64	2113.64	2133.64	2153.64	2173.64	2193.64	2213.64	2233.64	2253.64	2273.64	2293.64
1−1	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.2	4.2			4.3	4.4	4.4	4.4			4.6	4.7	4.7	4.8	
1−2	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.2	4.2			4.3	4.4	4.4	4.4			4.6	4.6	4.7	4.8	
1−3	3.7	3.7	3.8	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.2			4.3	4.2	4.3	4.4			4.6	4.6	4.7	4.7	
1−4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1			4.2	4.2	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.6	
1−5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4.1			4.2	4.2	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.6	
1−6	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4.1			4.2	4.2	4.2	4.4			4.4	4.5	4.6	4.6	
1−7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	3.9	4	4			4.2	4.3	4.2	4.3			4.4	4.5	4.5	4.6	
1−8	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4.1			4.1	4.3	4.2	4.3			4.4	4.5	4.6	4.7	
1−9	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4.1			4.2	4.3	4.2	4.3			4.5	4.5	4.6	4.6	
1−10	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4.1			4.2	4.2	4.3	4.4			4.5	4.6	4.6	4.6	
1−11	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	3.9	4	4			4.2	4.2	4.2	4.3			4.5	4.5	4.5	4.6	
2−1	8.2	8.4	8.4	8.4	8.2	8.4	8.4	8.4	8.7	8.7	8.6	8.7	8.8	8.4	8.4			8.2	8.3	8.6	8.6			8.4	8.5	8.2	8.8	
2−2	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3			4.5	4.7	4.8	4.8			4.9	4.9	5	4.9	
2−3	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.4			4.6	4.7	4.7	4.8			5	4.9	5	5	
2−4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5			4.7	4.7	4.8	4.8			5	5	5	5	
2−5	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5			4.7	4.8	4.8	4.8			5	5	5	5.1	
2−6	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5			4.7	4.8	4.7	4.8			5	5	5.1	5.1	
2−7	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5			4.7	4.8	4.8	4.9			5	5	5.1	5.2	
2−8	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.4	4.5	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.5			4.7	4.8	4.8	4.9			5.1	5.1	5.1	5.2	
2−9	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.4	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6			4.8	4.8	4.9	5			5.1	5.1	5.1	5.2	
2−10	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.4	4.4	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6			4.8	4.8	4.9	4.9			5	5.1	5.2	5.2	
2−11	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.8			4.8	4.9	4.9	5			5.1	5.2	5.2	5.2	
3−1	4.4	4.5	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8			4.9	5	4.9	5			5.1	5.2	5.2	5.2	
3−2	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8			5	5	5	5			5.2	5.2	5.3	5.3	
3−3	4.5	4.6	4.6	4.7	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	5			5.1	5.1	5.1	5			5.3	5.3	5.4	5.5	
3−4	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5.4		5.2	5.1	5.2	5.3	5.7	5.8	5.4	5.4	5.4	5.5	
3−5	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5	5	5.1	5.1	5.4	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.7	5.7	5.5	5.5	5.5	5.7	
3−6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5.1	5	5	5.1	5.1	5	5.1	5.1	5.4	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.6	5.7	5.5	5.6	5.6	5.7	
3−7	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9	5	5	5	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.6	5.6	5.5	5.7	5.7	5.7	
3−8	4.8	4.8	4.9	4.8	5	5	5	5.1	5.1	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4	5.8	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	
3−9	5	4.9	4.9	5	5.2	5.2	5.2	5.3	5.1	5.3	5.4	5.3	5.3	5.2	5.5	5.5	5.8	5.6	5.5	5.3	5.5	5.8	5.7	5.8	5.7	5.7	5.8	
3−10	5.2	4.9	5.1	5.2	5.3	5.2	5.3	5.4	5.3	5.4	5.5	5.4	5.4	5.4	5.6	5.7	5.8	5.6	5.5	5.5	5.6	5.7	5.9	5.9	5.9	5.8	5.9	
3−11	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.7	5.6	5.7	5.6	5.6	5.6	5.8	5.9	6	5.9	5.8	6	
4−1	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.5	5.6	5.7	5.6	5.8	5.9	6	5.9	5.9	6	5.8	5.9	5.9	6	6
4−2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.4	5.5	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.6	5.6	5.7	5.7										6	6	6.1
4−3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.6	5.5	5.5	5.5	5.7	5.6	5.6												6.1	6.1	6.2
4−4	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.5												6.1	6.2	6.1
4−5	5	5.1	5.2	5.2	5.2	5.9	5.4	5.3	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6	5.5												6.1	6.2	6.1
4−6	4.8	4.8	4.9	4.9	5	4.9	4.9	5	5.1	5.7	5.3	5.2	5.2	5.2												5.7	5.8	5.8
4−7	4.6	4.8	4.7	4.8	4.7	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5.1	5.1	5.1												5.6	5.7	5.5
4−8	4.6	4.8	4.7	4.8	4.8	4.8	5.1	4.9	4.9	5.1	5	5.1	5.2	5.1												5.5	5.7	5.6
4−9	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5	4.9												5.5	5.6	5.7
4−10	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.9	4.8	4.9	5	4.9	4.9	4.8	4.8												5.5	5.5	5.8
4−11	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	4.9	4.9												5.6	5.6	5.8
5−1	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5												5.7	5.7	5.7
5−2	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5												5.6	5.6	5.7
5−3	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	5	5												5.6	5.6	5.6
5−4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5.1												5.6	5.6	5.7
5−5	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.7	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	5	5	5.1												5.6	5.6	5.8
5−6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5.2	5.2												5.7	5.7	5.8
5−7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5.1	5.3	5.2												5.7	5.8	5.8
5−8	4.9	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.5	5.3												6.1	5.9	5.8
5−9	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.4	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.4												6.2	5.9	6.1
5−10	5.2	5.2	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.6	5.5												6.2	6.2	6.3
5−11	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6											6.2	6.1	6.2

軸方向(d) / 周方向	1753.64	1773.64	1793.64	1813.64	1833.64	1853.64	1873.64	1893.64	1913.64	1933.64	1953.64	1973.64	1993.64	2013.64	2033.64	2053.64	2073.64	2093.64	2113.64	2133.64	2153.64	2173.64	2193.64	2213.64	2233.64	2253.64	2273.64	2293.64
6−1	5	5.1	5	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.8	5.9	5.9	5.9	6	6.1	6.1	5.9	6.1	6	6.1	6.2	6.2
6−2	4.9	5	5	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.8	5.9	6	5.9	6	6	6.1	6	6.1	6	6	6	6.1
6−3	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5	5.1	5.2	5.1	5.2	5.3	5.2	5.4	5.4	5.9	5.8	5.8	5.2	5.5	5.7	5.7	5.9	6.1	5.8	5.8	5.9	5.9
6−4	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	5	5	5	4.9	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.3	5.4	5.7	5.8	5.6	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.7	6.3	5.8	5.8
6−5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5.1	5.3	5.1	5.6	5.6	5.8	5.4	5.4	5.7	5.7	5.7	5.8	5.7	6.2	5.8	5.7
6−6	4.6	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5.1	5.1	5.4	5.6	5.7	5.3	5.4	5.6	5.6	5.7	5.7	5.5	6.1	5.7	5.5
6−7	4.4	4.5	4.6	4.4	4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.8	4.9	5	5.1	5.3	5.5	5.4	5.2	5.3	5.5	5.5	5.6	5.5	5.4	5.4	5.6	5.4
6−8	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.8	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	5	4.8	5.3	5.4	5.5	5.1	5.2	5.4	5.4		5.5	5.3	5.2	5.4	5.5
6−9	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.6	4.7	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.9	4.9		5.3		5	5	5.4	5.3			5.3	5.3	5.5	5.4
6−10	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.6	4.3	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7	4.8				4.8	4.9	5.2	5.2			5.2	5.2	5.3	5.3
6−11	4.1	4	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.2	4.3	4.4	4.4	4.6	4.8				4.7	4.7	4.8	4.9			5.1	5.1	5.2	5.3
7−1	4.1	4	4	4.1	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5			4.6	4.6	4.8	4.8			4.9	5	5.1	5	
7−2	3.9	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.2	4.3	4.2	4.4	4.4			4.6	4.6	4.6	4.8			5	4.9	5.1	5	
7−3	4	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4			4.6	4.6	4.6	4.6			4.8	4.9	5	4.9	
7−4	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3			4.5	4.6	4.6	4.6			4.9	4.9	4.9	4.9	
7−5	3.9	4	4	4	4	4	4	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3			4.4	4.6	4.6	4.6			4.8	4.9	4.9	4.9	
7−6	3.9	3.9	4	4	4	4	4	4	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3			4.5	4.5	4.5	4.5			4.7	4.8	4.8	4.9	
7−7	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4.1	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3			4.4	4.5	4.5	4.4			4.7	4.8	4.9	4.8	
7−8	3.9	3.9	4	4	4	4	4	4.1	4	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3			4.5	4.5	4.5	4.4			4.6	4.7	4.9	4.8	
7−9	3.9	3.9	4	3.9	4	4	4.1	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3			4.4	4.5	4.4	4.5			4.7	4.7	4.8	4.9	
7−10	3.9	3.8	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3			4.4	4.4	4.4	4.5			4.7	4.7	4.7	4.8	
7−11	3.9	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2			4.4	4.4	4.5	4.4			4.6	4.8	4.8	4.8	
8−1	4.2	3.9	3.9	4	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.2			4.3	4.4	4.4	4.5			4.6	4.7	4.7	4.8	
8−2	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4	4.2	4.2	4.2			4.3	4.3	4.4	4.5			4.6	4.6	4.7	4.8	
8−3	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2			4.4	4.4	4.3	4.5			4.6	4.5	4.7	4.7	
8−4	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1			4.3	4.3	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.8	
8−5	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4	4	4.1	4	4.1	4.2	4.1			4.3	4.4	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.7	
8−6	3.8	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1	4	4	4.1	4.2			4.3	4.3	4.3	4.4			4.5	4.5	4.6	4.6	
8−7	3.8	3.9	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1			4.1	4.3	4.3	4.4			4.5	4.6	4.6	4.6	
8−8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1			4.2	4.3	4.3	4.3			4.5	4.6	4.6	4.6	
8−9	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1			4.3	4.3	4.4	4.4			4.5	4.6	4.6	4.5	
8−10	3.8	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	4	3.9	4	4	4	4	4	4			4.3	4.3	4.3	4.4			4.5	4.6	4.6	4.5	
8−11	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4	4	4	4.1			4.3	4.3	4.4	4.4			4.5	4.6	4.7	4.6	

B系オリフィス下流データ

軸方向(d) / 周方向	2303.64	2323.64	2343.64	2363.64	2383.64	2403.64	2423.64	2443.64	2463.64	2483.64	2488.64
1−1	4.8	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	5	5.1	5.1	5.2	5.2
1−2	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5.1	5.1	5.1
1−3	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5.1	5	5.1
1−4	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5
1−5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5	5	5	5
1−6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5
1−7	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5
1−8	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5
1−9	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5.1
1−10	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	5	5	5.1	5.1
1−11	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	5	4.9	5	5	5.1	5.2
2−1	9.5	10.2	10.3	10.2	10.4	10.4	10.3	10.4	10.3	10.2	10.2
2−2	4.9	5	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5
2−3	5	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6
2−4	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.4	5.4	5.6	5.6	5.6
2−5	5.1	5.2	5.2	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7
2−6	5.1	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.6
2−7	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7
2−8	5.2	5.2	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7
2−9	5.1	5.3	5.3	5.2	5.5	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7
2−10	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8	5.8	5.8
2−11	5.2	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8	5.7	5.8	5.8
3−1	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9
3−2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.9	5.8	6
3−3	5.4	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	6	6	6
3−4	5.4	5.5	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	6	6.1	6.1	6.2
3−5	5.6	5.6	5.8	5.7	5.8	5.9	6	6.1	6.2	6.2	6.2
3−6	5.7	5.8	5.9	5.8	5.9	6.1	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3
3−7	5.7	5.8	5.9	5.9	5.8	6	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4
3−8	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	6	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3
3−9	5.8	5.9	5.8	6	6	6.1	6.2	6.2	6.4	6.3	6.4
3−10	5.9	6	6	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.4	6.4	6.4
3−11	6	6.1	6	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4
4−1	6.1	6	6	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.4	6.6	6.5
4−2	6	6.1	6.3	6.2	6.2	6.3	6.5	6.6	6.6	6.8	6.8
4−3	6.1	6.2	6.2	6.4	6.5	6.5	6.5	6.5	6.6	6.5	6.7
4−4	6.1	6.2	6.2	6.4	6.4	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.9
4−5	6.2	6.1	6.1	6.3	6.4	6.5	6.5	6.7	6.8	6.9	6.9
4−6	5.9	6	5.9	5.9	5.9	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3	6.3
4−7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	6.1	6.2	6.2
4−8	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.8	6.1	6.2	6.1	6.2
4−9	5.8	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	6	6.1	6.1	6.2	6.3
4−10	5.6	5.6	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6.2	6.1	6.1
4−11	5.7	5.7	5.7	5.8	5.7	5.8	6	6	6.1	6	6.2
5−1	6.1	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6	6.1	6.1	6.2	6.7
5−2	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6	6	6.1	6.1	6.1
5−3	5.7	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	6.1	6.2	6.2	6.1
5−4	5.7	5.8	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6	6.2	6.2
5−5	5.8	5.8	5.9	5.8	5.9	6	6	6	6.1	6.1	6.2
5−6	5.8	5.8	5.9	5.8	5.9	6	6	6.1	6.1	6.2	6.3
5−7	5.7	5.8	5.9	6	5.9	6	6	6	6.1	6.2	6.2
5−8	6.1	6.1	6.3	6.2	6.2	6.4	6.4	6.4	6.6	6.6	6.7
5−9	6.2	6.3	6.3	6.4	6.5	6.5	6.5	6.6	6.7	6.7	6.8
5−10	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6	6.6	6.6	6.8	6.8	6.9	6.9
5−11	6	6.2	6.3	6.4	6.4	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8

B系オリフィス下流データ

軸方向(d) / 周方向	2303.64	2323.64	2343.64	2363.64	2383.64	2403.64	2423.64	2443.64	2463.64	2483.64	2488.64
6−1	6.3	6.2	6.2	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5	6.9
6−2	6.1	6	6.1	6.2	6.2	6.3	6.4	6.3	6.4	6.4	6.5
6−3	6	6	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3	6.4	6.3	6.5
6−4	6	6	6	6	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.4
6−5	5.8	5.8	5.9	6.1	6.1	6	6.1	6	6.2	6.2	6.3
6−6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6.1	6.1	6.2
6−7	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	6	6
6−8	5.3	5.4	5.5	5.6	5.5	5.8	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9
6−9	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8
6−10	5.3	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	6
6−11	5.3	5.3	5.3	5.5	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.9
7−1	5.5	5.3	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	6.2
7−2	5.2	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6
7−3	5.1	5.1	5.1	5.3	5.3	5.4	5.5	5.4	5.5	5.6	5.6
7−4	5	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.4	5.5	5.5	6.1	6.2
7−5	5.1	5	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5
7−6	5	5	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5
7−7	4.9	5	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4
7−8	4.9	5	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3
7−9	4.9	4.9	5	5	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2
7−10	4.8	4.9	4.9	5	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2
7−11	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3
8−1	5.1	4.9	4.8	4.9	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3
8−2	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5.1	5.1	5.1	5.2
8−3	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	5	4.9	5	5	5.1	5.1
8−4	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.8	4.9	4.9	5	5
8−5	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9	5	5	5.1	5.1
8−6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5	5
8−7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5	5	5
8−8	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	5	5	5
8−9	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5
8−10	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5
8−11	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5	5.1	5.1	5.1	5.1

現地における損傷配管（Ａ系配管）及びＢ系配管の外径計測結果について

１．調査目的

美浜３号機の損傷配管（Ａ系配管）及びＢ系配管の真円度を確認するため、現地において外径計測を実施する。

２．調査内容

損傷配管及びＢ系配管の外径について、アウトサイドマイクロメータにて４方向計測を行った。計測ポイントは、オリフィスフランジを起点に上下流とも１００，５００，１０００，２０００，２５００mmの位置とした。

Ｂ系統も４方向計測とし、計測ポイントは１００，５００，１０００，１５００，１９００mmの位置とした。

３．調査結果

損傷配管（Ａ系配管）の計測結果を別紙１、Ｂ系配管の計測結果を別紙２に示す。

計測の結果、Ａ系配管の破損部分の下流側で類似配管 JIS の外径の許容差（±０．８％）を超える一部があるが、Ａ系のそれ以外部分及びＢ系では超えるものはない。

以上

美浜３号機　主復水管当該オリフィス前後の配管直径計測（Ａ系統）

【上流側】

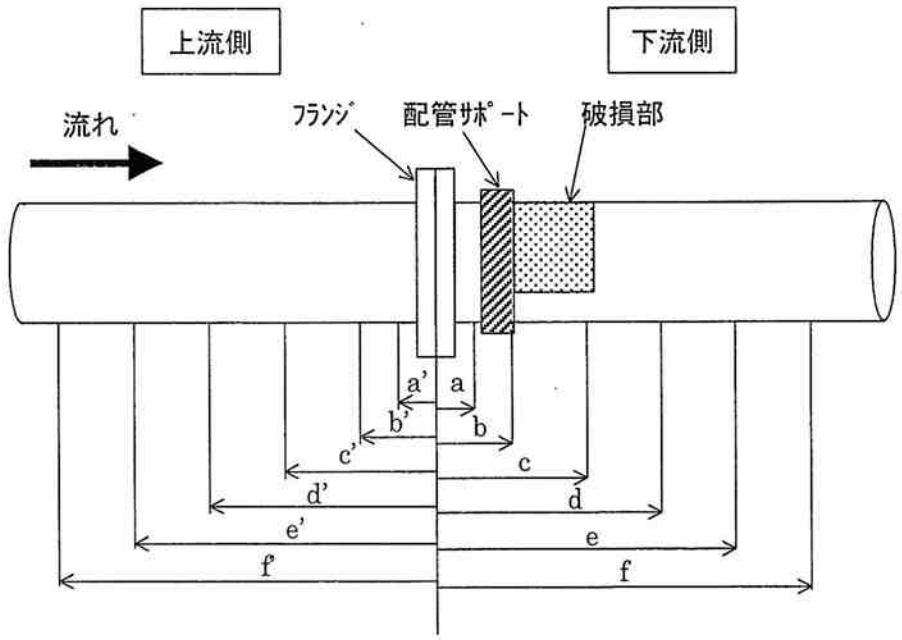
外径計測値（mm）						
計測位置	a’	b’	c’	d’	e’	f’
①－⑤	560.04 (0.22)	557.60 (－0.21)	559.50 (0.13)	558.52 (－0.05)	558.77 (－0.01)	559.31 (0.09)
②－⑥	560.22 (0.25)	561.43 (0.47)	561.36 (0.46)	560.58 (0.32)	559.30 (0.09)	559.52 (0.13)
③－⑦	560.38 (0.28)	560.36 (0.28)	561.13 (0.42)	561.30 (0.45)	561.13 (0.42)	560.18 (0.25)
④－⑧	560.48 (0.30)	558.60 (－0.04)	558.29 (－0.09)	559.52 (0.13)	561.36 (0.46)	560.17 (0.25)

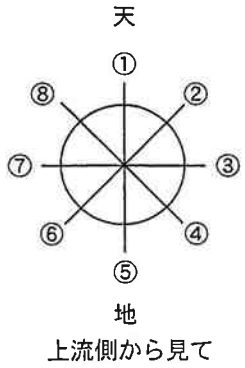
【下流側】

外径計測値（mm）						
計測位置	a	b	c	d	e	f
①－⑤	558.39 (－0.07)	ｸﾗﾝﾌﾟ干渉のため、計測不可	配管破損部のため計測不可	560.36 (0.28)	553.45 (－0.96)	555.81 (－0.54)
②－⑥	559.36 (0.10)			551.82 (－1.25)	556.78 (－0.36)	556.38 (－0.43)
③－⑦	560.00 (0.21)			561.29 (0.45)	ｻﾎﾟｰﾄ干渉のため、計測不可	
④－⑧	560.18 (0.25)			564.29 (0.98)	561.67 (0.51)	558.07 (－0.13)

（　）内は、外径 558.8mm（公称値）との差（%）

類似配管 JIS の外径の許容差：±０．８％





	a,a’	b,b’	c,c’	d,d’	e,e’	f,f’
ｵﾘﾌｨｽｾﾝﾀｰからの位置（mm）	100	500	1,000	1,500	2,000	2,500

別紙２

美浜３号機　主復水管当該オリフィス前後の配管直径計測（Ｂ系統）

【上流側】

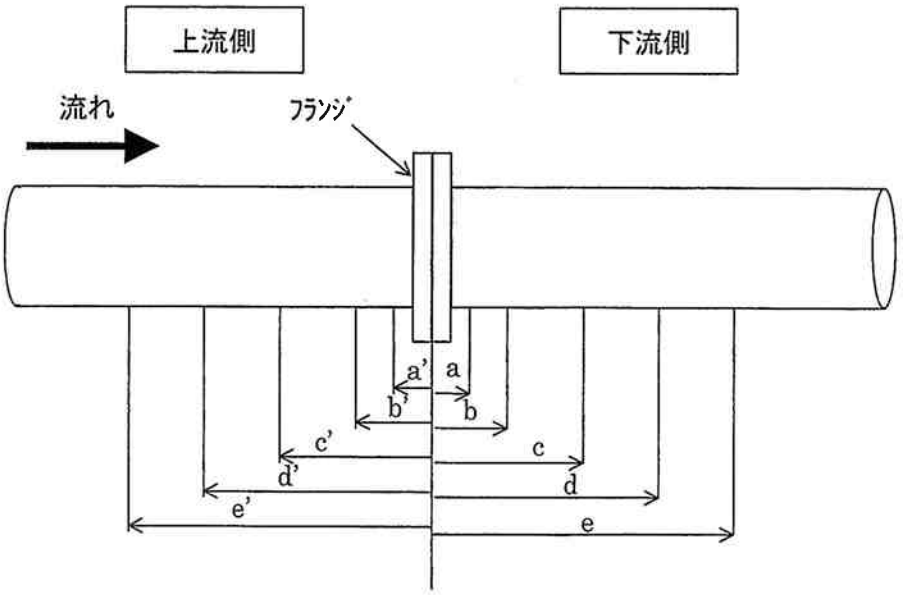
	外径計測値（mm）				
計測位置	a’	b’	c’	d’	e’
①－⑤	561.83 (0.54)	561.79 (0.54)	561.07 (0.41)	560.26 (0.26)	560.34 (0.28)
②－⑥	560.05 (0.22)	560.74 (0.35)	560.89 (0.37)	560.54 (0.31)	560.18 (0.25)
③－⑦	560.15 (0.24)	559.67 (0.16)	560.26 (0.26)	560.02 (0.22)	560.45 (0.30)
④－⑧	559.94 (0.20)	560.16 (0.24)	559.96 (0.21)	559.83 (0.18)	560.18 (0.25)

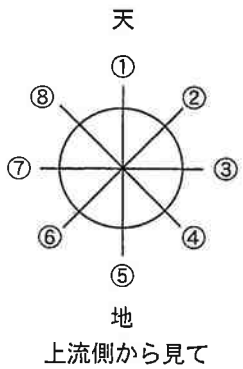
【下流側】

	外径計測値（mm）				
計測位置	a	b	c	d	e
①－⑤	560.47 (0.30)	557.91 (－0.16)	556.19 (－0.47)	555.72 (－0.55)	556.08 (－0.49)
②－⑥	559.33 (0.09)	558.76 (－0.01)	554.41 (－0.79)	554.68 (－0.74)	556.85 (－0.35)
③－⑦	560.73 (0.35)	558.19 (－0.11)	559.34 (0.10)	560.83 (0.36)	560.80 (0.36)
④－⑧	559.99 (0.21)	560.62 (0.33)	556.83 (－0.35)	562.38 (0.64)	561.62 (0.50)

（　）内は、外径 558.8mm（公称値）との差（%）

類似配管 JIS の外径の許容差：±０．８％





上流側から見て

	a ,a’	b ,b’	c ,c’	d ,d’	e ,e’
ｵﾘﾌｨｽｾﾝﾀｰからの位置（mm）	100	500	1,000	1,500	1,900

現地における損傷配管（Ａ系配管）のオリフィス関連調査結果について

１．調査目的

美浜３号機の損傷配管（Ａ系配管）のフランジ部に設置されているオリフィス等の損傷・変形や取り付け状況を確認するため、現地において、オリフィスの内径計測等を実施する。

２．調査内容

（１）オリフィス穴の端からフランジ内径との寸法及びオリフィスの厚さをそれぞれ８点、オリフィス穴径を４点計測した。また、オリフィスの損傷・変形の有無を確認した。

（２）ベント穴の位置及び穴径を計測した。

（３）フランジの外面からフランジとガスケット、オリフィスのそれぞれの寸法を８点計測し、片締め等の有無を調査した。

３．調査結果

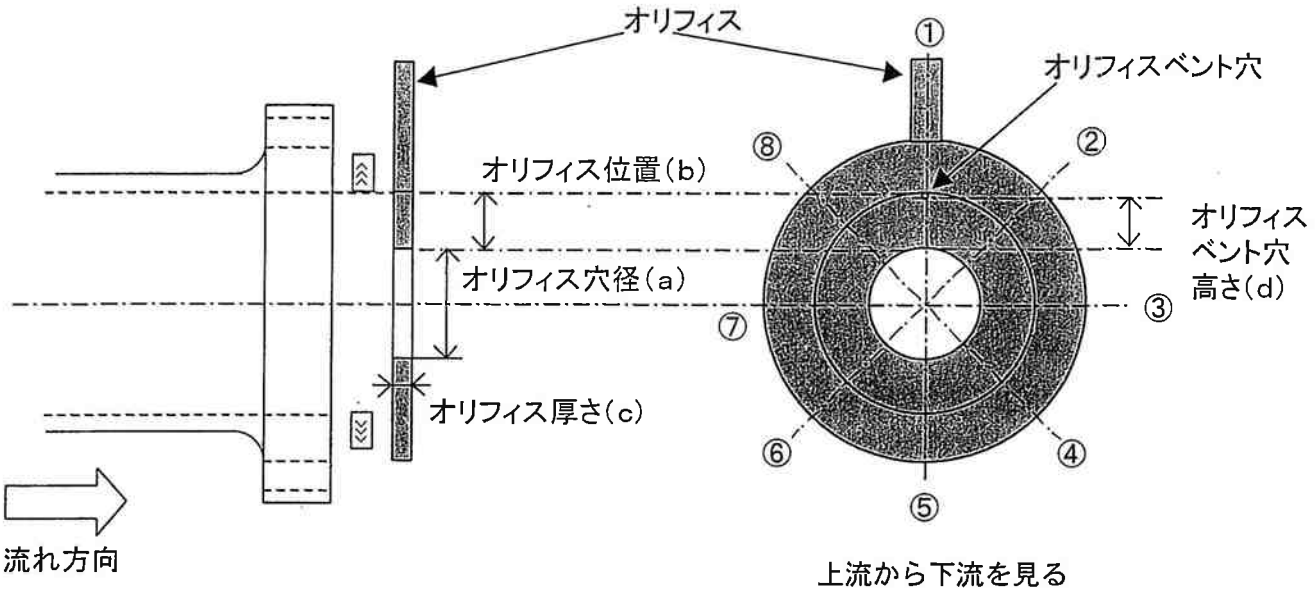
損傷配管（Ａ系配管）のオリフィス寸法計測結果を別紙１、フランジ部の外面からの寸法計測結果を別紙２に示す。

当該オリフィスは、平成５年に取替えが行われている。

また、当該オリフィスは、第２０回定検（平成１５年）にガスケットの取替えが実施されている。オリフィスを取付けた状態で計測した、配管内径中心位置に対するオリフィス穴径の中心位置のずれは、①の方向に 0.61mm、⑦の方向に 0.71mm であった。また、各フランジ端面からのオリフィスまでの距離（ガスケット厚さ）の最大値と最小値の差は、最大で 1.7mm（＝5.2mm－3.5mm）であった。

以上

美浜３号機　オリフィス関係の寸法計測（損傷配管）



単位：mm

計測位置	オリフィス穴径(a)	オリフィス位置(b)	オリフィス厚さ(c)
①	335	110.19	4.90
②	335	109.59	4.85
③	335	111.65	4.90
④	335	111.31	4.80
⑤	－	111.41	4.85
⑥	－	110.88	4.90
⑦	－	110.24	4.90
⑧	－	109.74	4.85
設計値	335.3	－	5

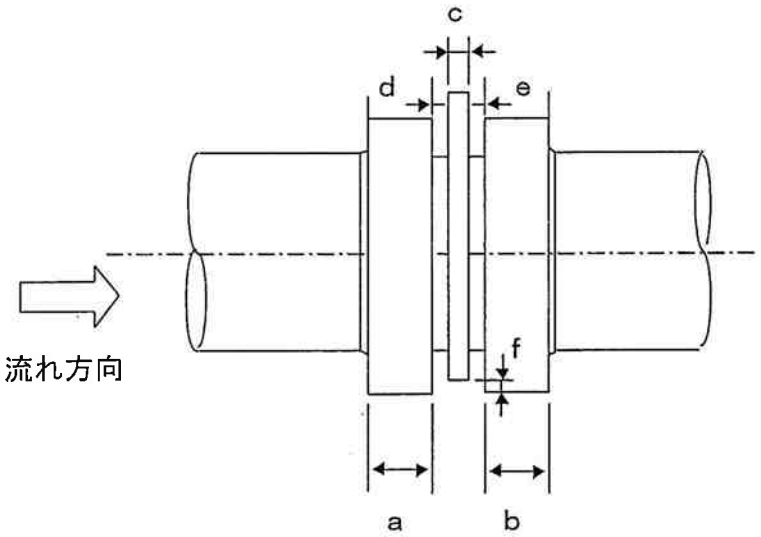
単位：mm

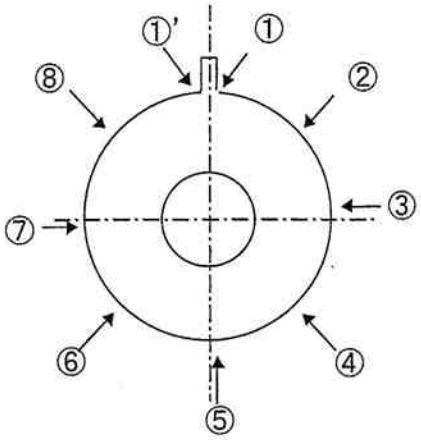
	オリフィス ベント穴高さ(d)	オリフィス ベント穴直径
測定値	100	4
設計値	－	4

配管内径中心からのオリフィス内径中心のずれ

垂直方向(①－⑤)	①方向へ0.61mm
水平方向(③－⑦)	⑦方向へ0.71mm

美浜３号機　フランジ外面の寸法計測（損傷配管）

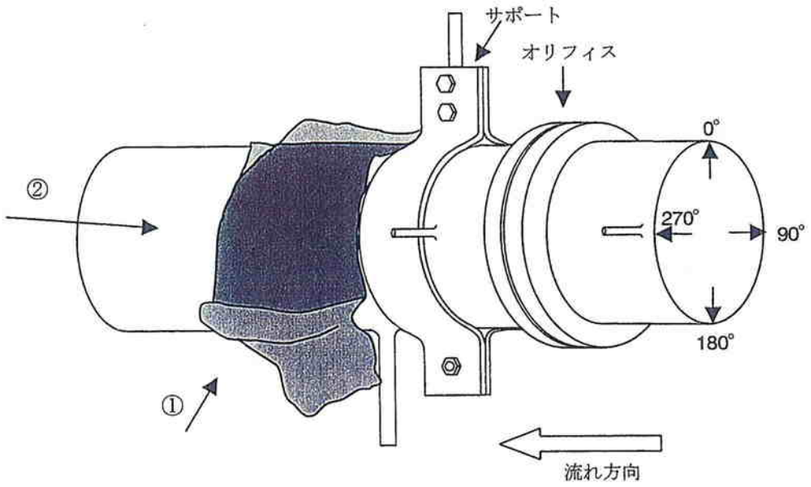




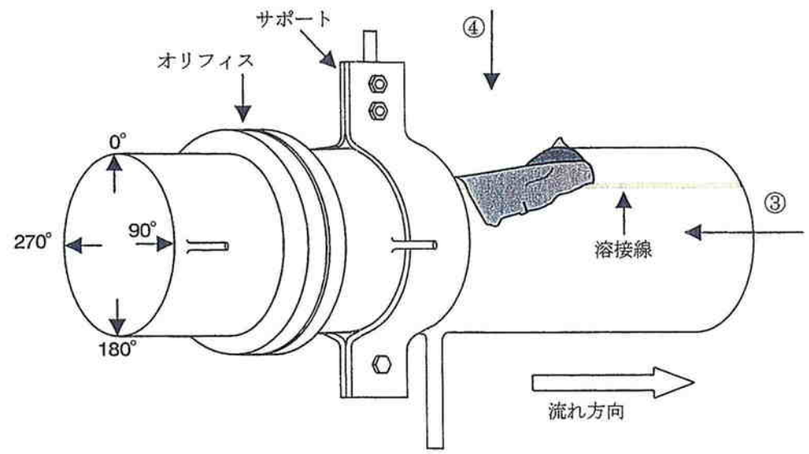
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	①'
フランジ厚さ	a	44.4	44.3	44.4	44.4	44.5	44.5	44.6	44.4	44.4
	b	44.6	44.7	44.5	44.6	44.6	44.6	44.4	44.4	44.6
オリフィス厚さ	c	4.9	–	–	–	–	–	–	–	4.9
ガスケット厚さ	d	3.6	4.7	5.2	4.6	3.8	4.7	4.6	4.6	3.5
	e	5.6	5.1	5.2	5.0	4.8	4.9	4.9	5.2	5.6
オリフィス深さ	f	56.0	56.8	56.7	56.0	54.0	56.1	55.3	55.8	56.1

配管破損部写真集

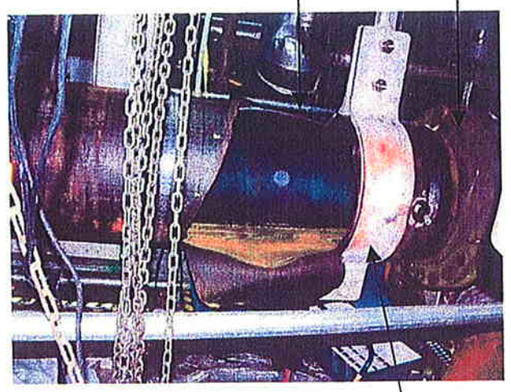
配管破損部外観



裏側

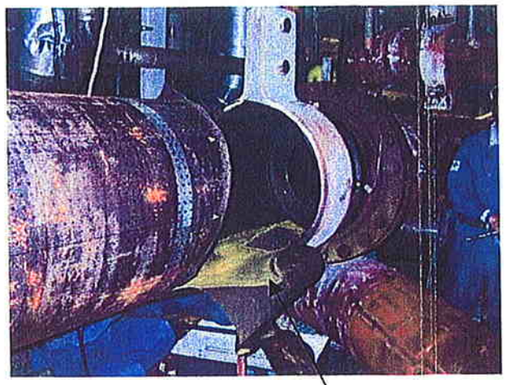


①



破損部側外面観察

②

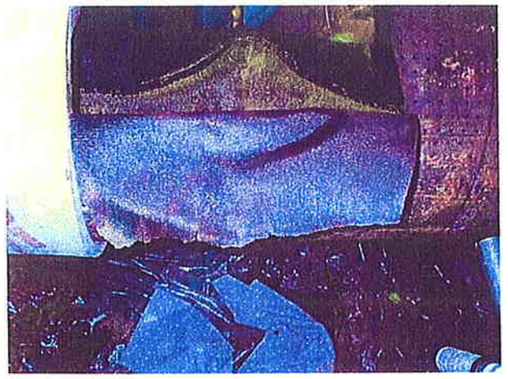


開口部外観

③

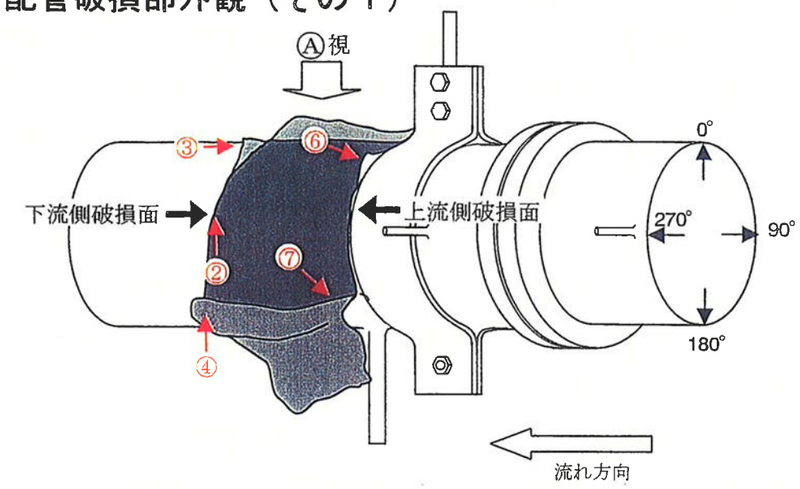
破損部側面外観

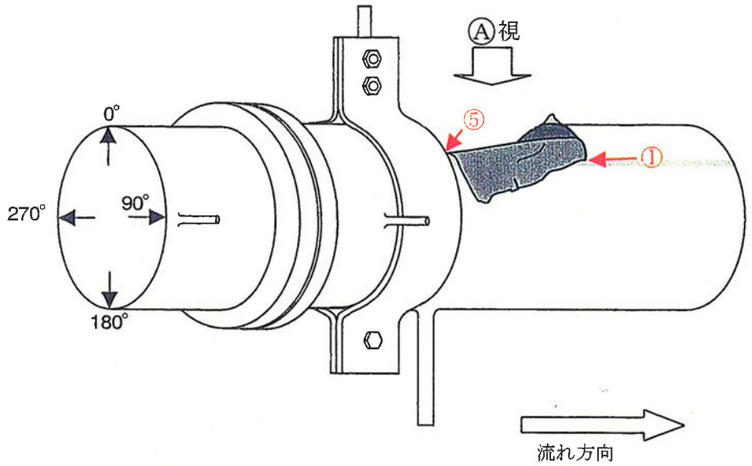
④



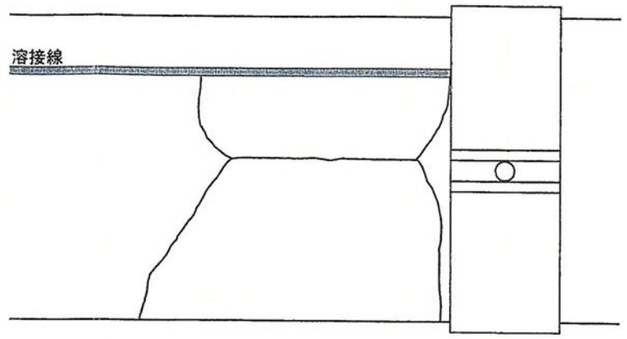
破損部側面外観

配管破損部外観（その１）



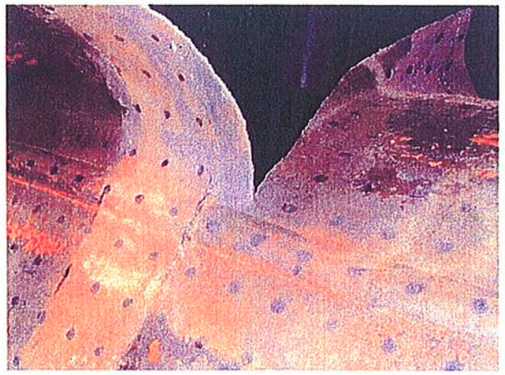


き裂開口部イメージ図

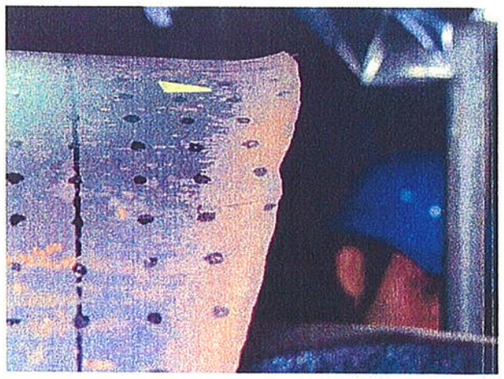


Ⓐ 配管破損部の天側からのき裂開口前のき裂位置推定図

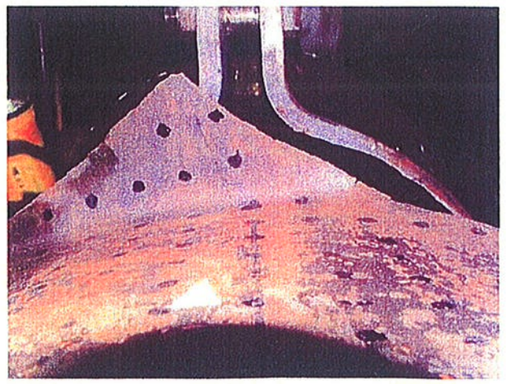
下流側破損面



① き裂停止部外観（下流側から観察）



② 配管破損部（下流側から観察）

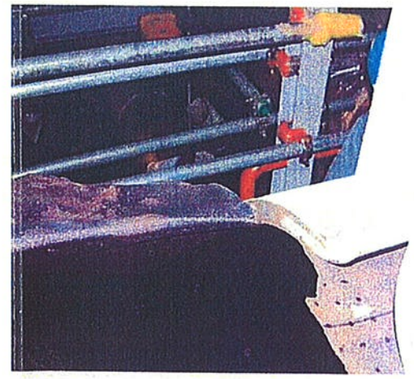


③ 開口部天側（下流側から観察）

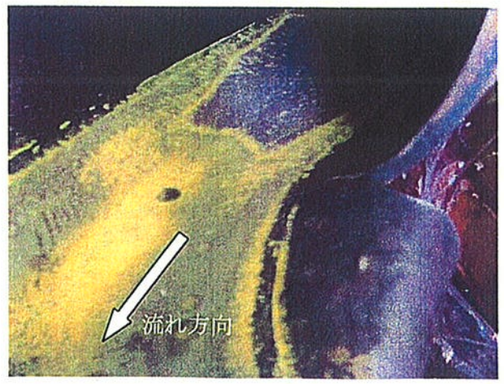
④ き裂停止部（下流側から観察）

上流側破損面

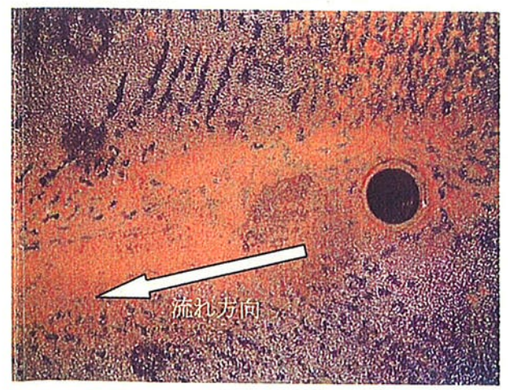
⑤ き裂停止部（上流側・内面側から観察）



⑥ サポート側０°位置外観

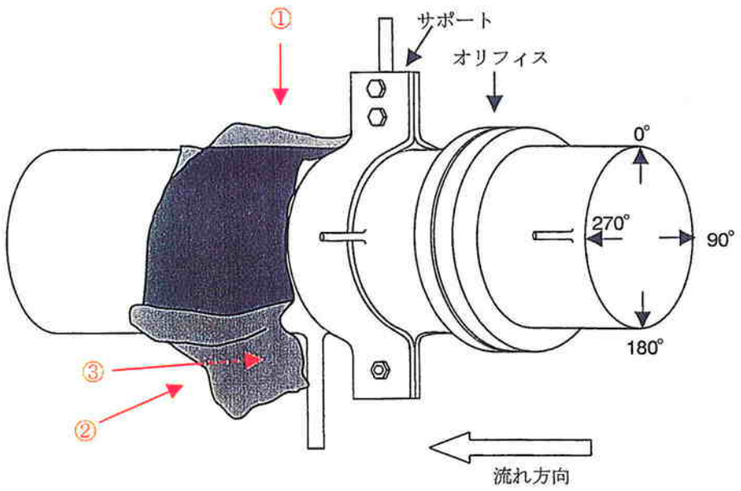


⑦－１ ドレン穴周辺

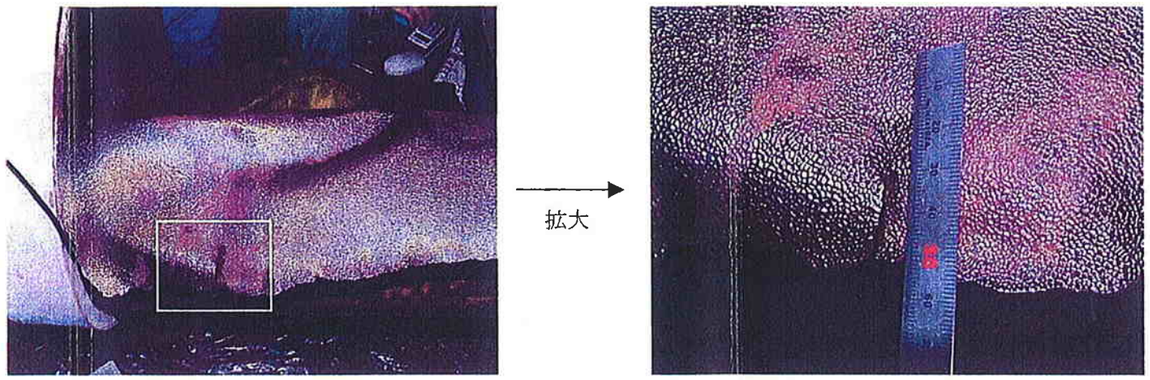


⑦－２ ドレン穴周辺

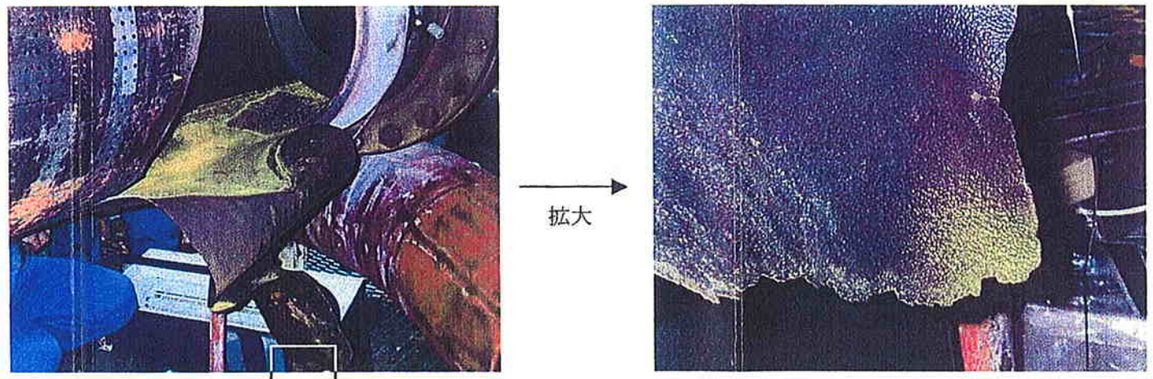
配管破損部外観（その２）



①

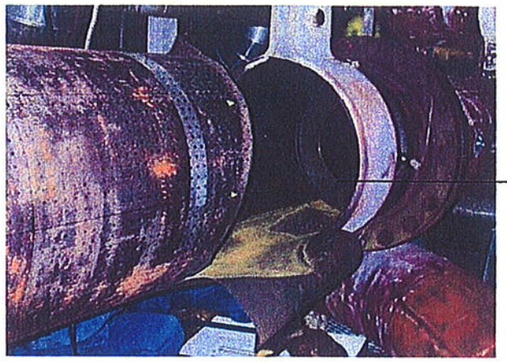


②

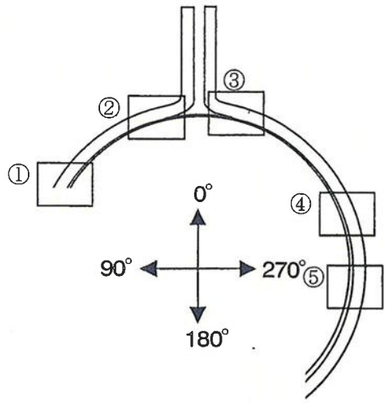


③

配管破断面観察結果（サポート部直下）

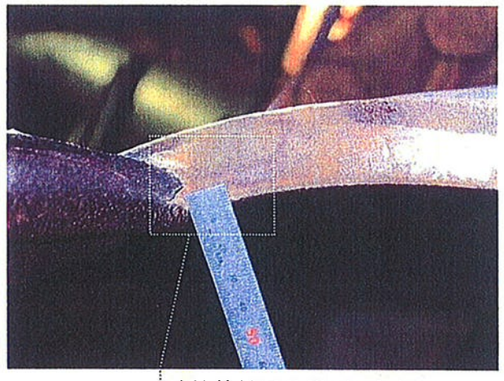


断面の模式図



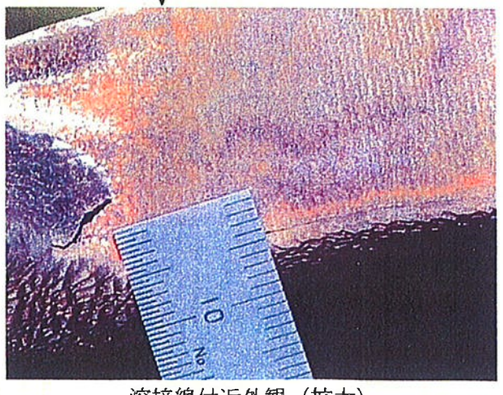
下流側からの図

①



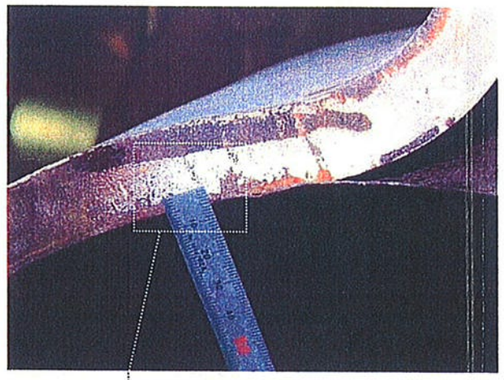
溶接線付近外観（40°）

拡大



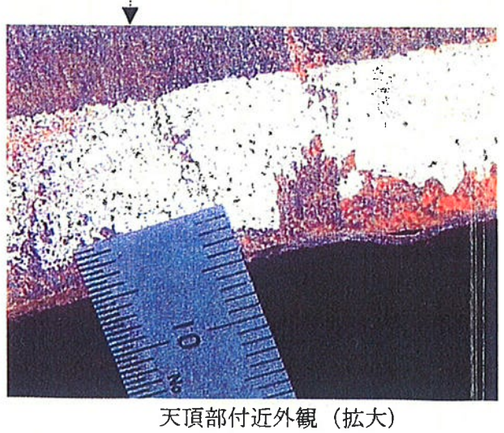
溶接線付近外観（拡大）

②



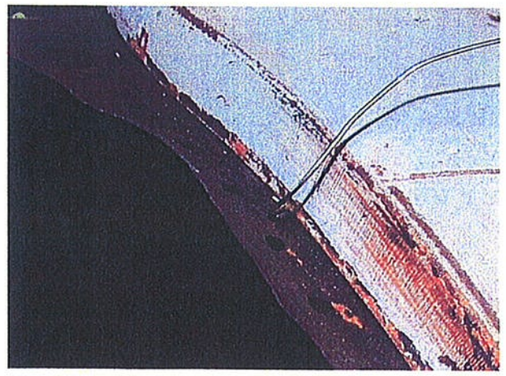
天頂部付近外観（10°）

拡大



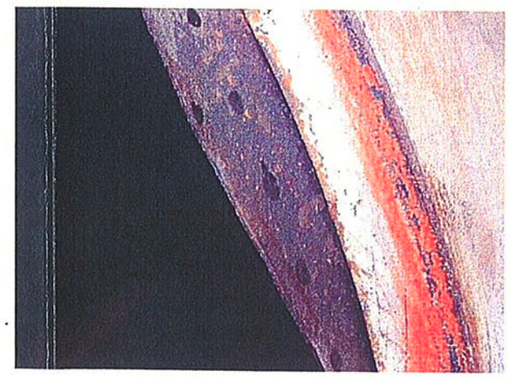
天頂部付近外観（拡大）

③



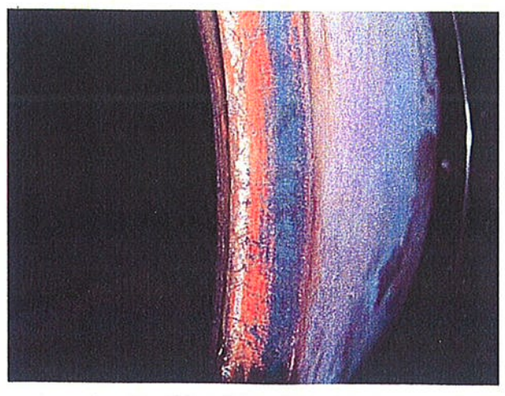
天頂部付近外観（約 320°）

④



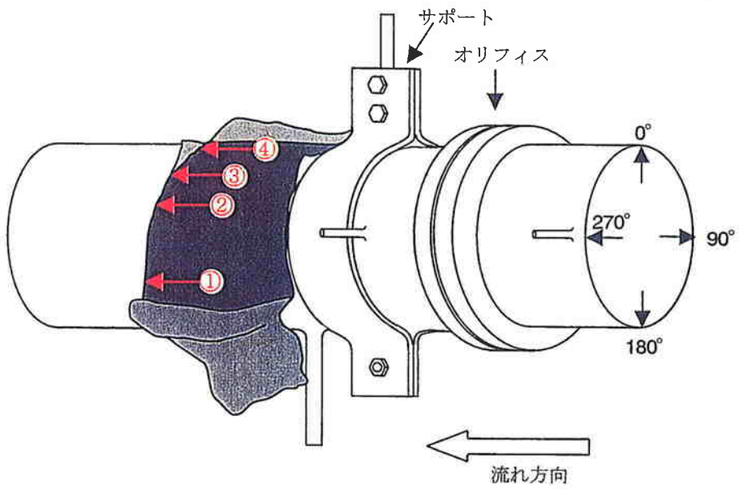
側面付近外観（約 290°）

⑤



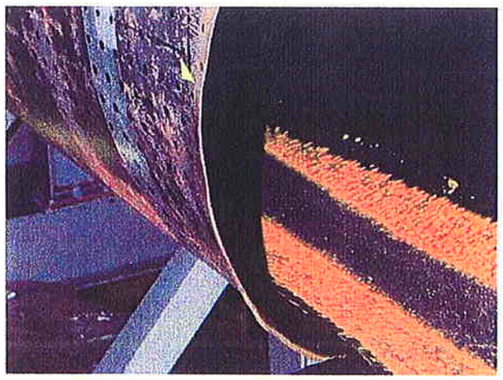
側面付近外観（約 260°）

配管破損面観察結果（下流側破損面）

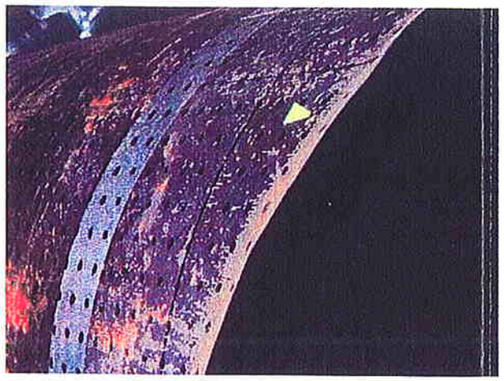


き裂開口部イメージ図

き裂開口部イメージ図

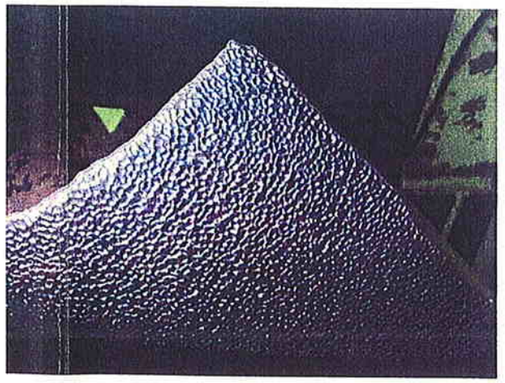


① ２７０° 付近



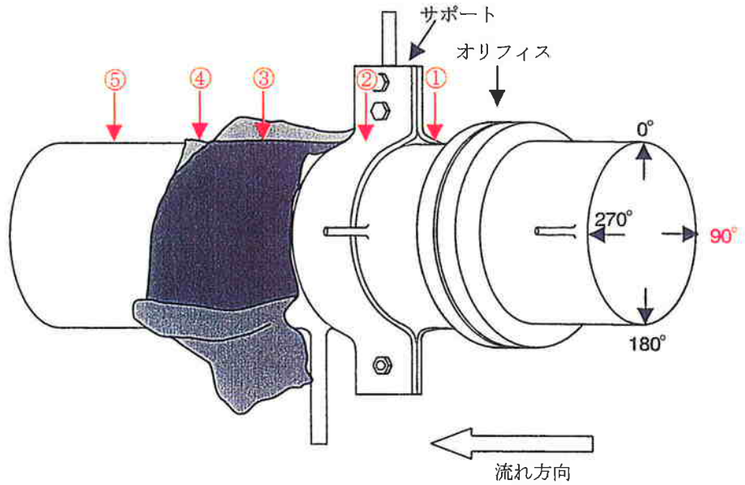
② ３００° 付近

③ 三角形めくれ上がり部根本付近

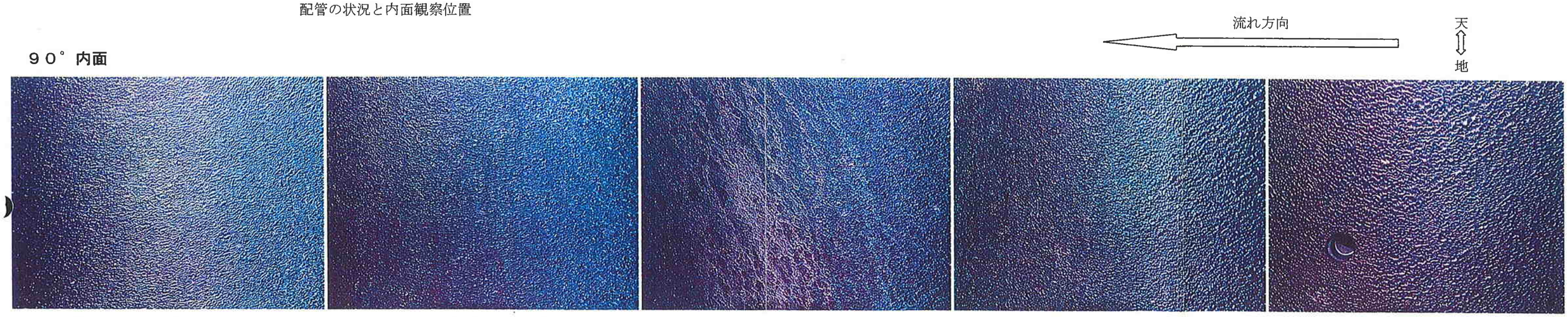


④ 三角形めくれ上がり部頂点付近

配管内面観察結果



配管の状況と内面観察位置



９０° 内面

⑤ 開口部下流側 約500mm
（オリフィスから約 1200mm）

④ 開口部直近下流側
（オリフィスから約 900mm）

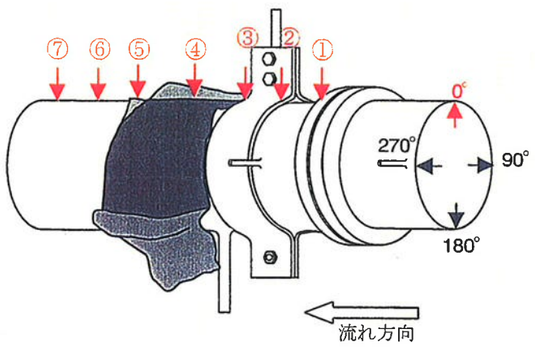
③ 開口部中央部
（オリフィスから約 700mm）

② サポート中央部
（オリフィスから約 400mm）

① オリフィス近傍（計測管付近）
（オリフィスから約 200mm

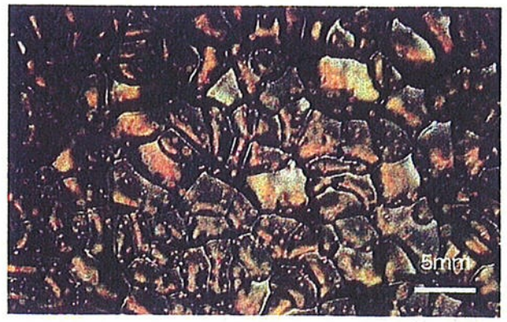
内面拡大観察結果（０°）

撮影機器：デジタルマイクロスコープ

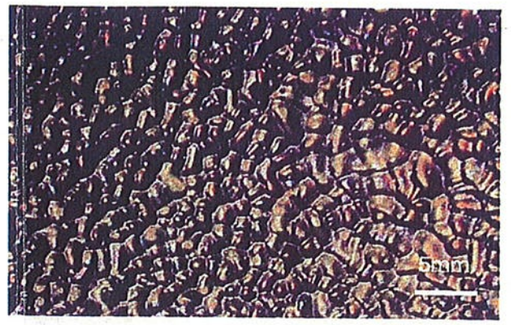


①オリフィスからの距離：30mm

②オリフィスからの距離：280mm

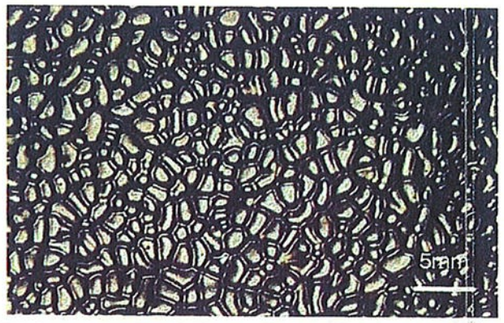


③オリフィスからの距離：490mm

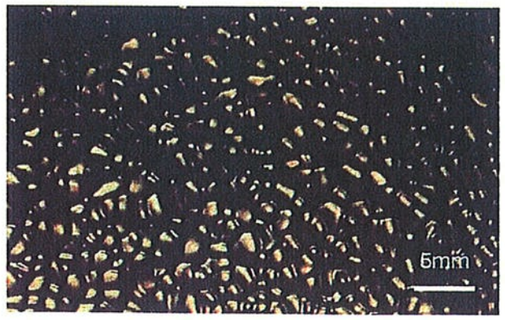


④オリフィスからの距離：730mm

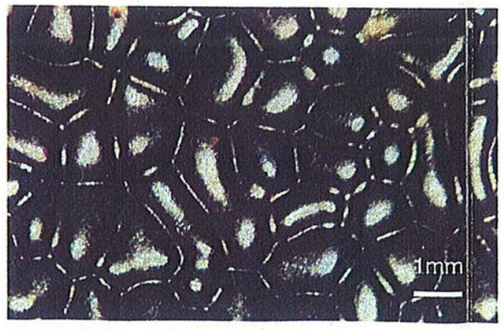
⑤オリフィスからの距離：1120mm



⑥オリフィスからの距離：1400mm

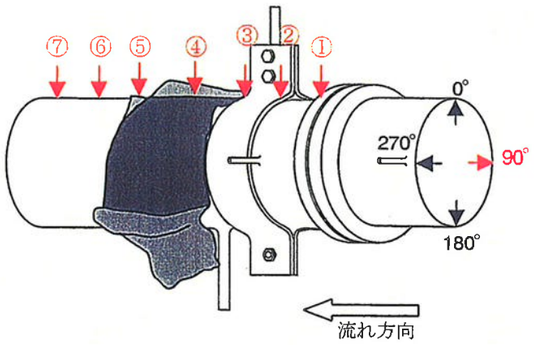


⑦オリフィスからの距離：1680mm



内面拡大観察結果（90°）

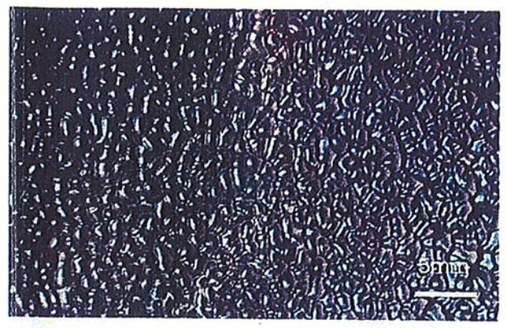
撮影機器：デジタルマイクロスコープ

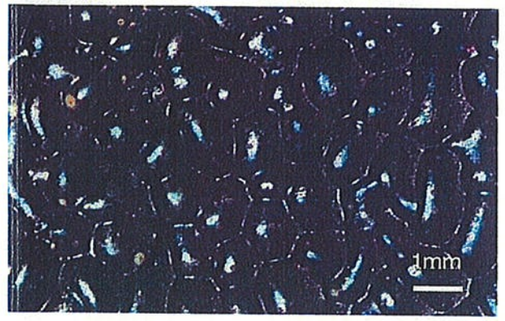


①オリフィスからの距離：30mm

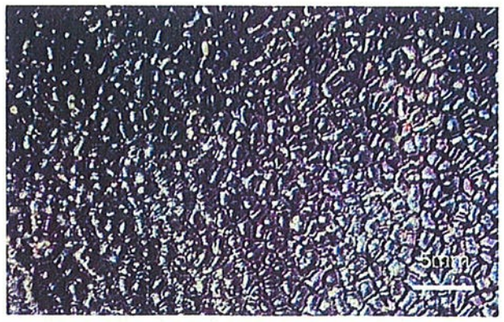
②オリフィスからの距離：280mm

③オリフィスからの距離：490mm

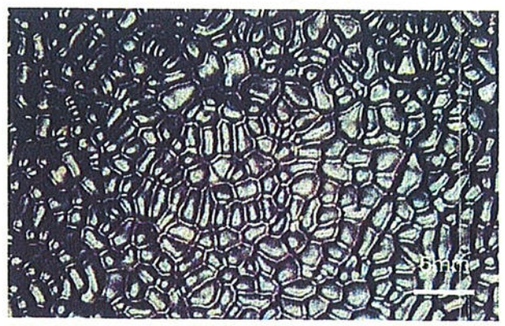


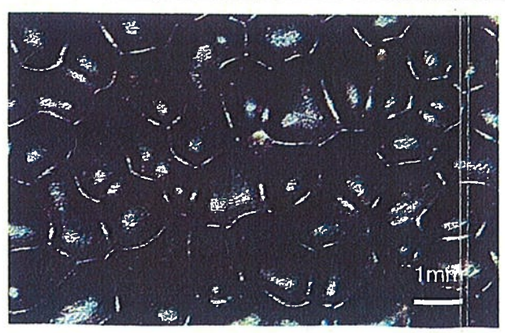


④オリフィスからの距離：730mm

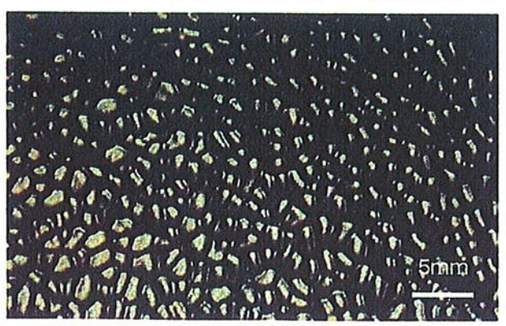


⑤オリフィスからの距離：1120mm

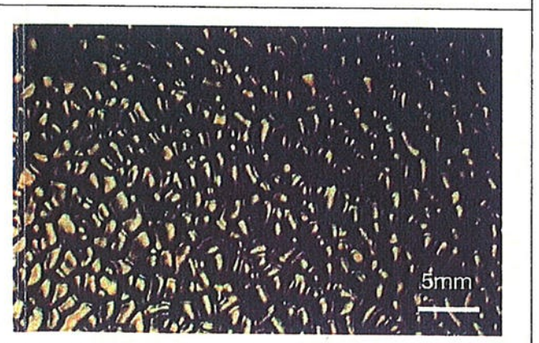




⑥オリフィスからの距離：1400mm

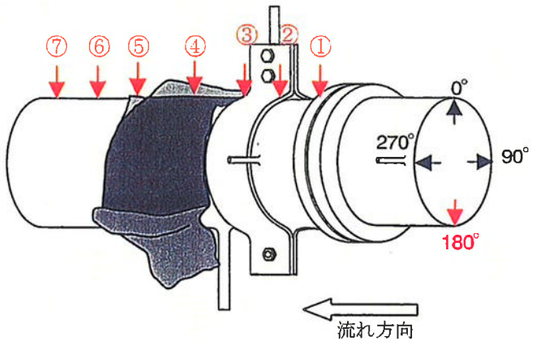


⑦オリフィスからの距離：1680mm

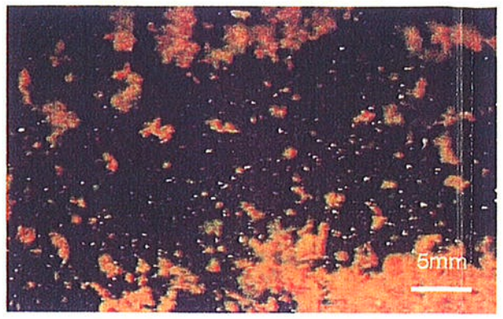


内面拡大観察結果（180°）

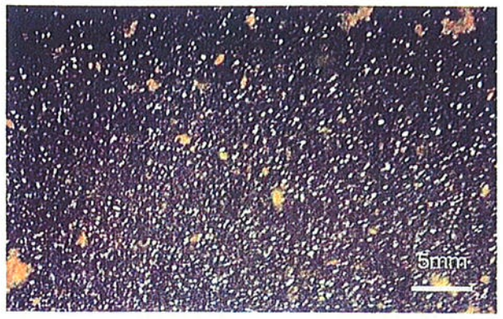
撮影機器：デジタルマイクロスコープ



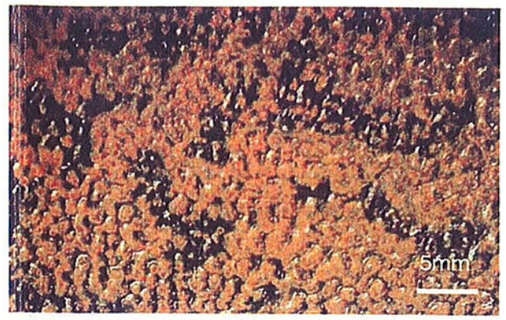
①オリフィスからの距離：30mm



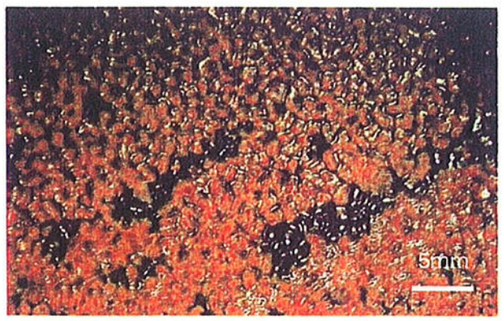
②オリフィスからの距離：280mm

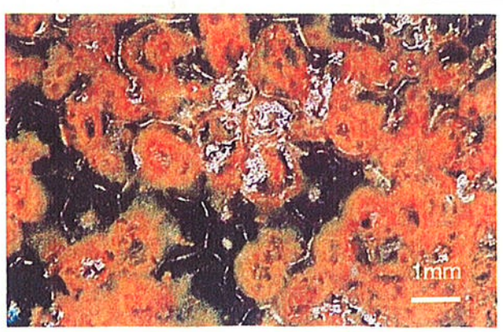


③オリフィスからの距離：490mm

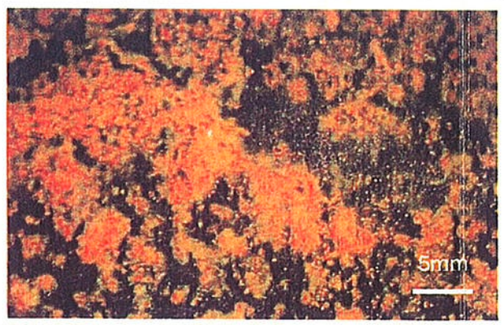


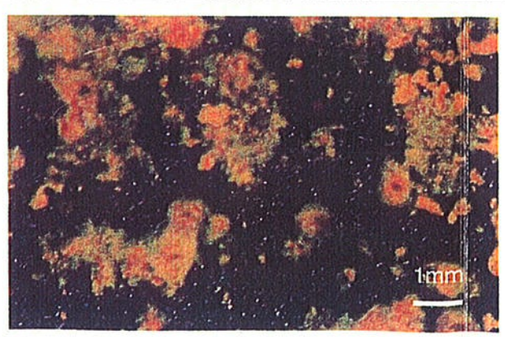
④オリフィスからの距離：730mm





⑤オリフィスからの距離：1120mm



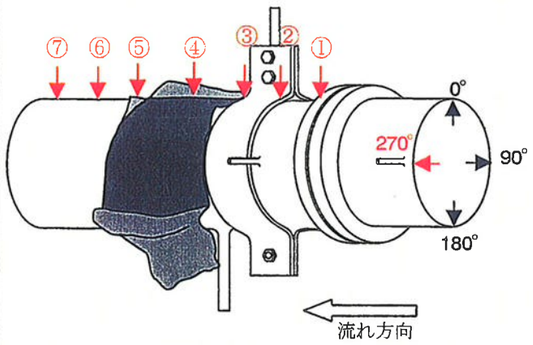


⑥オリフィスからの距離：1400mm

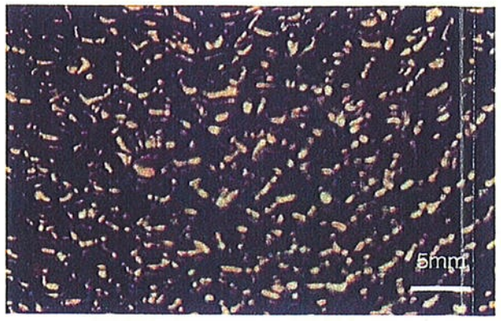
⑦オリフィスからの距離：1680mm

内面拡大観察結果（270°）

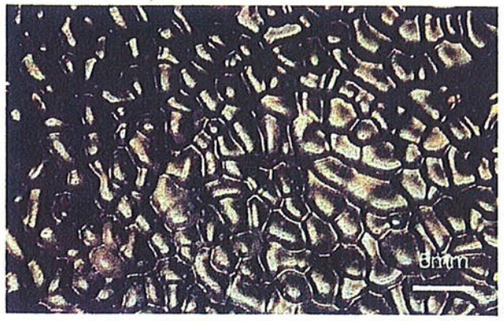
撮影機器：デジタルマイクロスコープ



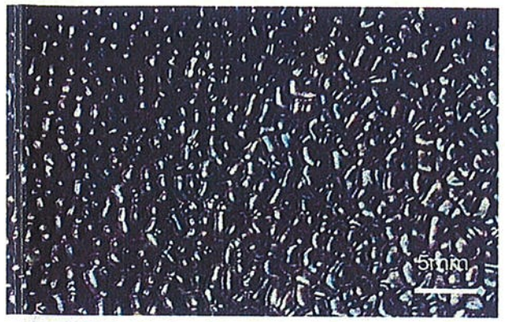
①オリフィスからの距離：30mm



②オリフィスからの距離：280mm

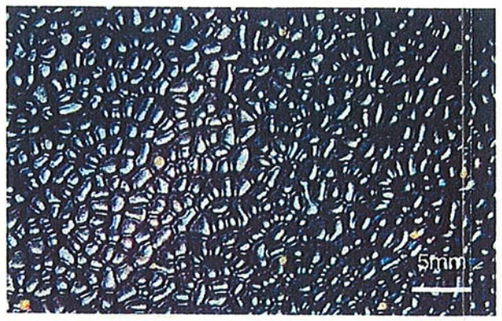


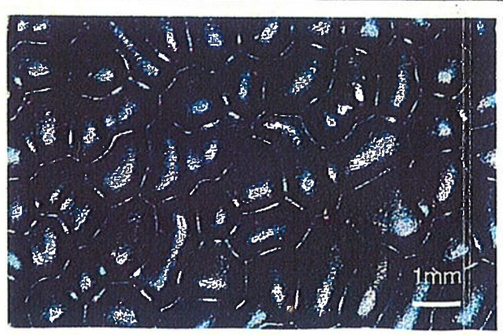
③オリフィスからの距離：490mm



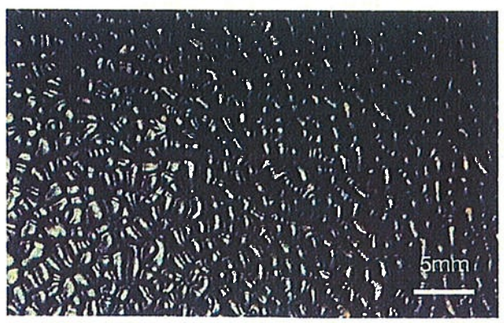
オリフィスからの距離：730mm

⑤オリフィスからの距離：1120mm





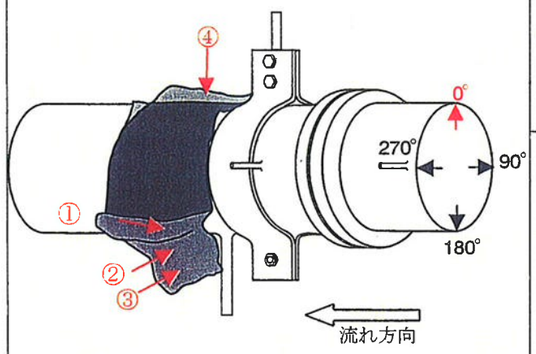
⑥オリフィスからの距離：1400mm

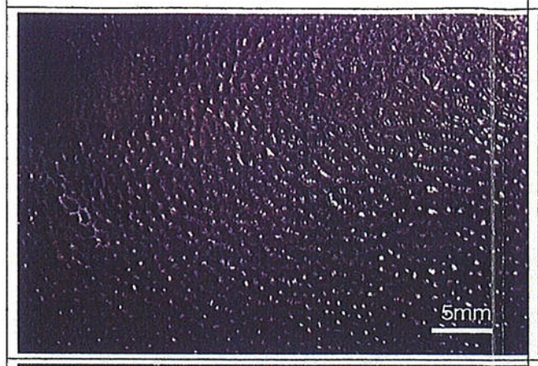
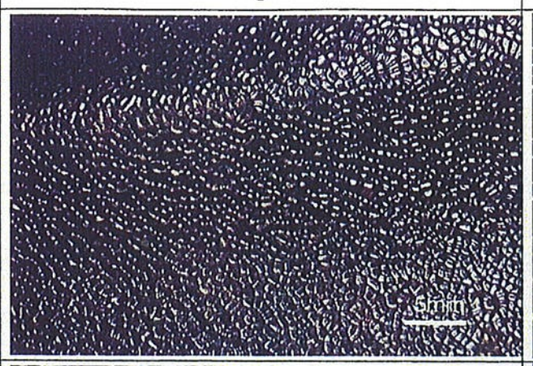
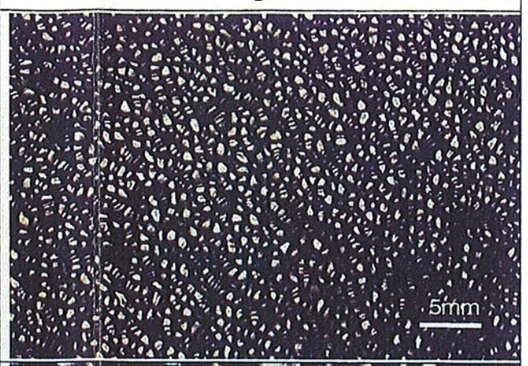
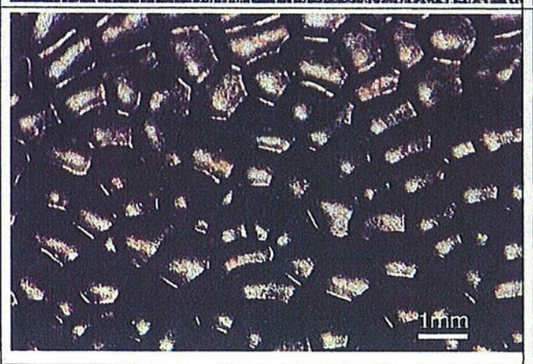
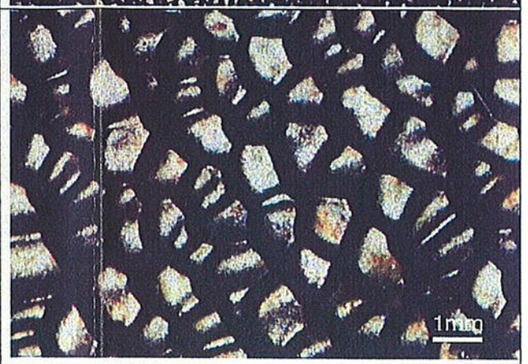


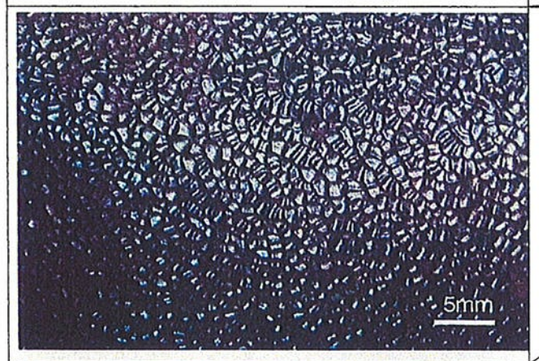
⑦オリフィスからの距離：1680mm

内面拡大観察結果（破損部）

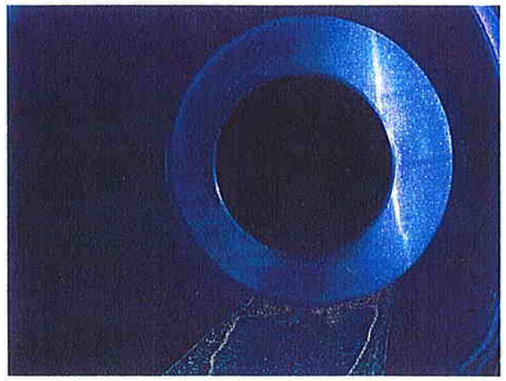
撮影機器：デジタルマイクロスコープ



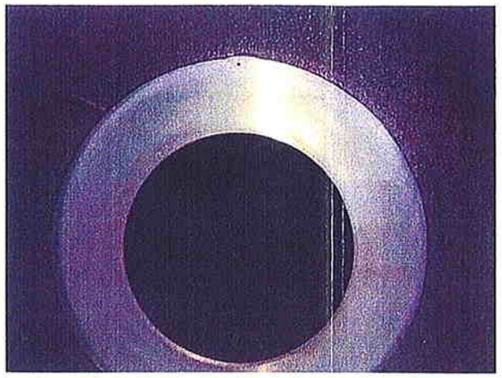
①	②	③
		
		

④		
		

オリフィス部観察結果



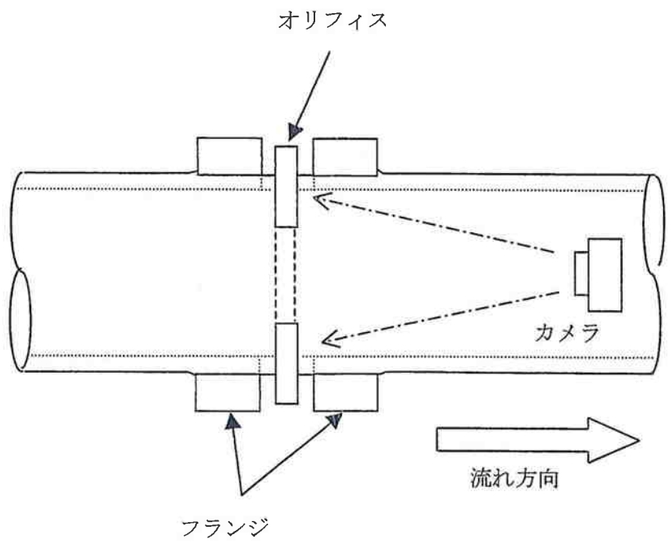
オリフィス全体像



オリフィス上部側

オリフィス上部拡大観察

オリフィス下部側



参　考

エロージョン・コロージョン損傷例

表面にはエロージョン・コロージョン特有の鱗片状模様が観察される

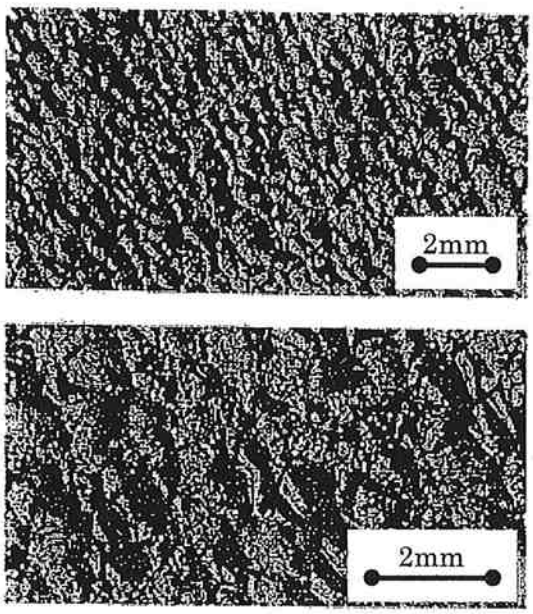


写真４　エルボ内面に生じたエロージョン/コロージョンによる凹凸(dimple)状表面[9]

○温度：193℃
○ｐＨ：8.8～9.2
○溶存酸素：4ppb
○流速：5.2 m/s

写真例１　サリー発電所2号機の破断配管エロージョン・コロージョン発生状況

宮園ら、日本原子力学会誌、Vol.29、No.11(1987)

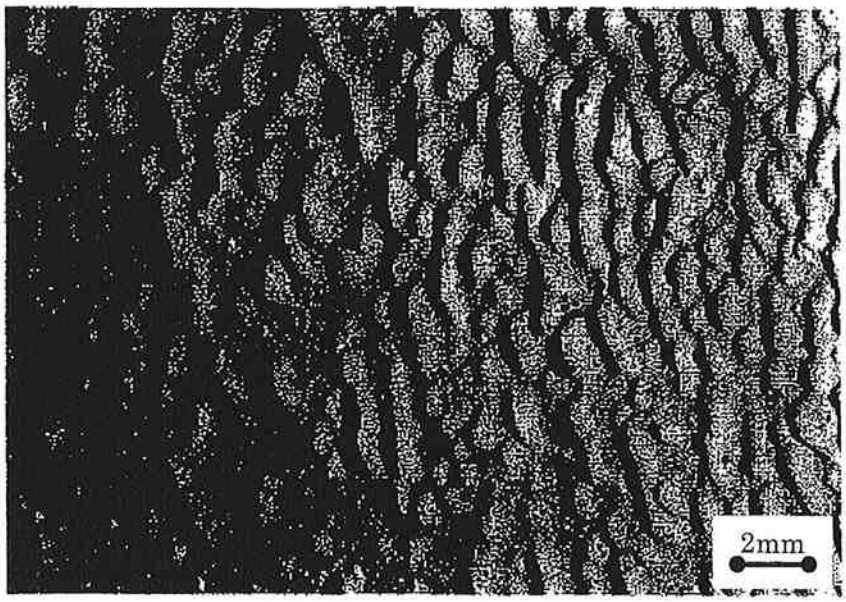


FIGURE 11 - Smooth, Wave-Like Surface Contours. Magnification: 5X

○温度：149℃
○ｐＨ：8.8～9.2
○溶存酸素：<10ppb
○流速：不明

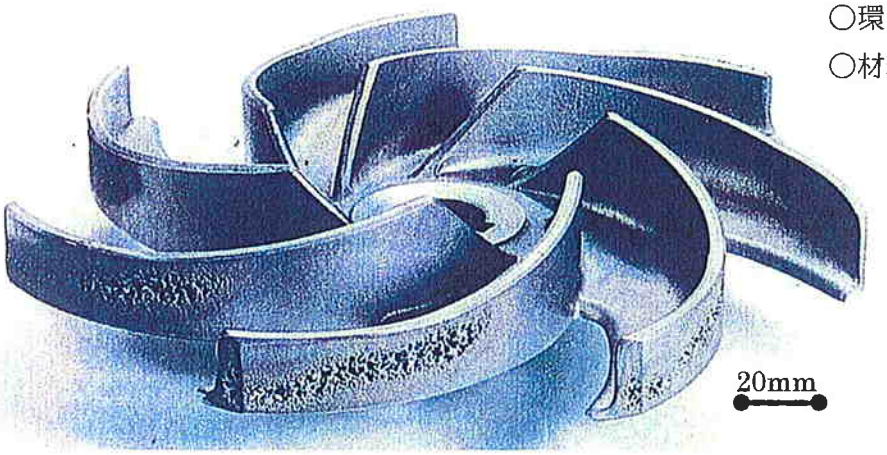
写真例２　ボイラー給水配管エロージョン・コロージョン発生状況

R.D.Port, CORROSION98, Paper-721(1998)

キャビテーションの損傷事例

損傷の初期はPit状であり、進行するとスポンジ状となり、表面は滑らかではない

○温度：70℃
○環境：牛乳
○材料：SUS316



写真例３　ポンプインペラ（SUS316 鋼）のキャビテーション発生状況

E.D.D.During, Corrosion Atlas -A collection of Illustrated Case Histories-, Elsevier, (1988).

○温度：室温
○環境：蒸留水
○材料：アルミニウム

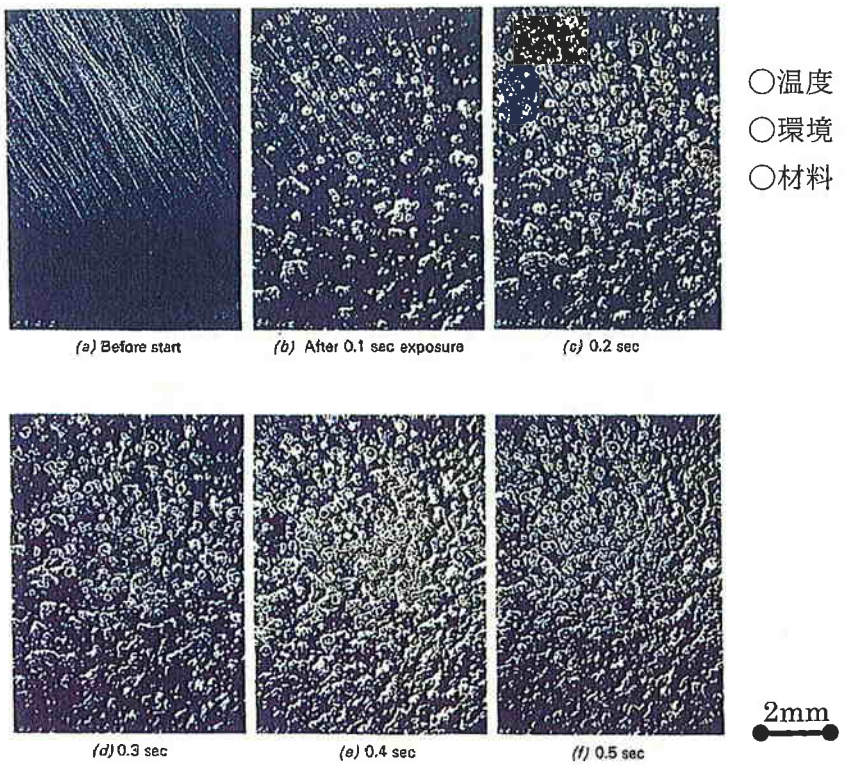


FIG. 8-16 Damage versus exposure time for soft aluminum in distilled water: CIT magnetostriction tests. 2S aluminum; ⅝-in. specimen submerged ⅛ in.; magnetostriction frequency = 7000 cps; amplitude = 0.0036 in.

写真例４　アルミウム試験片のキャビテーション発生状況

"Cavitation", McGraw-Hill (1970).

美浜発電所3号機二次系配管破損部調査報告書 (案) の概要

平成16年12月13日

於 :原子力安全 保安院

日本原子力研究所
(独)原子力安全基盤機構

目　次

1. はじめに
2. 調査の概要
3. 調査の方法及び結果
    3.1 外観観察
    3.2 配管材料調査
        3.2.1 サンプル採取
        3.2.2 材料化学成分分析
        3.2.3 引張試験
        3.2.4 金属組織観察
        3.2.5 硬さ試験
        3.2.6 分極特性測定
    3.3 配管肉厚測定
    3.4 内面観察
    3.5 酸化皮膜分析
    3.6 破口部調査
        3.6.1 破口部外観観察
        3.6.2 破口部肉厚測定
        3.6.3 破面観察
        3.6.4 破口部金属組織観察及び硬さ試験
    3.7 オリフィス及び周辺状況調査
    3.8 考察
4. 結論

1. はじめに

平成16年8月9日に発生した関西電力(株)美浜発電所3号機二次系配管の破損事故について、原子力安全・保安院(以下、「保安院」)は、文部科学省に対し、日本原子力研究所(以下、「原研」)が保安院の行う原因究明等の調査に協力するよう依頼した。これを受けて、文部科学省は、原研に対し当該調査に協力するよう依頼し、原研はこれに協力することとなった。

保安院は、(独)原子力安全基盤機構(以下、「JNES」)及び原研の協力を得て破損箇所の破壊解析、破断面調査等を実施することとし、両者の調査分担を次の通りとした。JNESは、全体を統括するとともに、国内外関連情報収集・分析、破損箇所に係わる破壊解析(シミュレーション等)及び流況解析を実施する。原研は、破損箇所に係わる原因分析として、減肉速度の解析、流況解析、破断面調査等を実施する。

本調査の結果については、その概要を「美浜発電所3号機2次系配管破損事故に関わる調査(第1次中間報告)」及び「同(第2次中間報告)」に取りまとめ、保安院の美浜発電所3号機二次系配管破損事故調査委員会に報告した。原研ではその後も調査を継続し、今回「同(第3次中間報告)」を取りまとめた。

本報告は、中間報告した調査結果を基に、当該配管で生じた減肉及び破損の原因について総合的に評価した結果を取りまとめたものである。

2 調査の概要

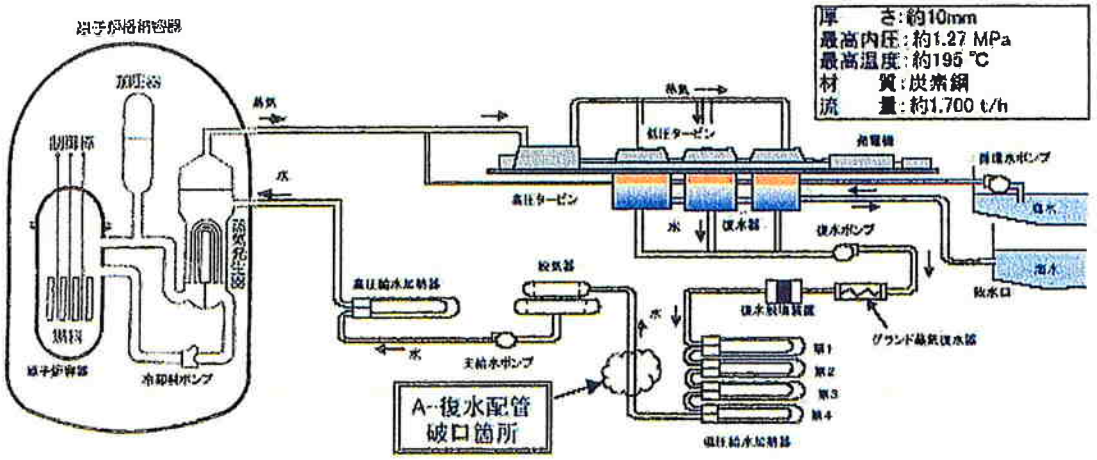


図2-1 配管系統図[1]

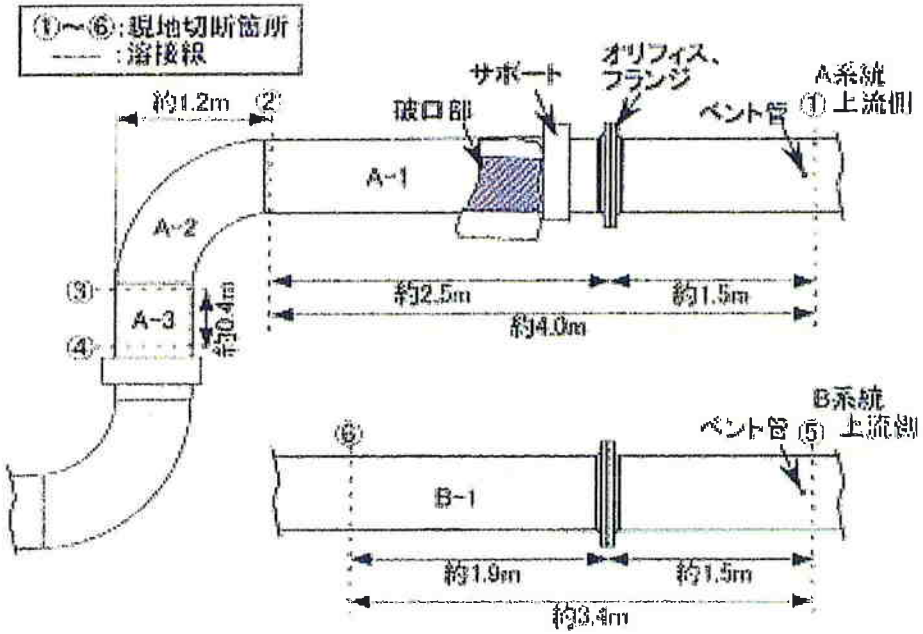
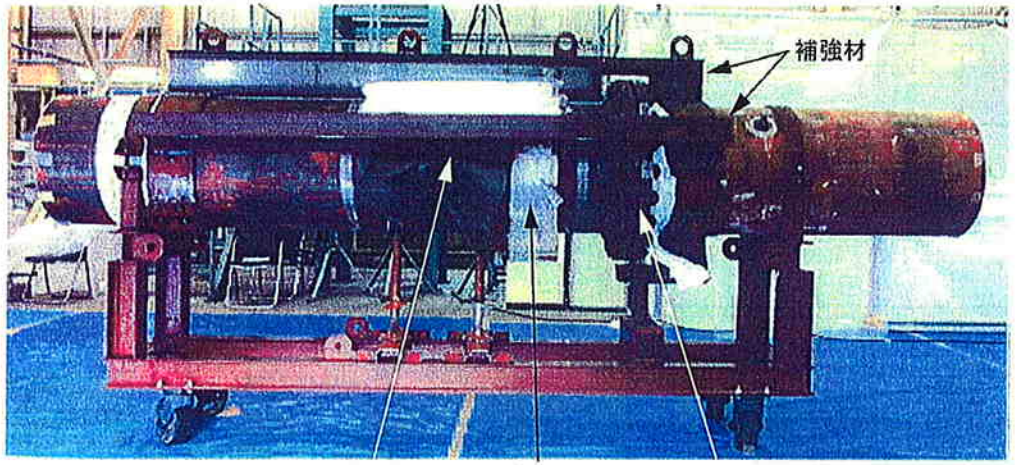


図2-2 調査配管概略図(天の位置から見た配管概略図)

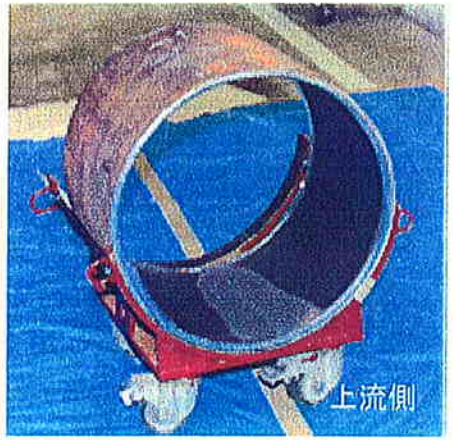
表2-1 配管の仕様と運転条件[1、3]

材料	炭素鋼(SB42)
外径	約560 mm
初期肉厚	約10 mm
最高使用温度	約195 ℃
最高使用圧力	約1.27MPa
実使用温度	142℃
実使用圧力	0.93 MPa
流量	約1,700 t/h
流速	約2.2 m/s
pH	8.6～9.3
溶存酸素濃度	5 ppb未満
運転時間	約190,000時間

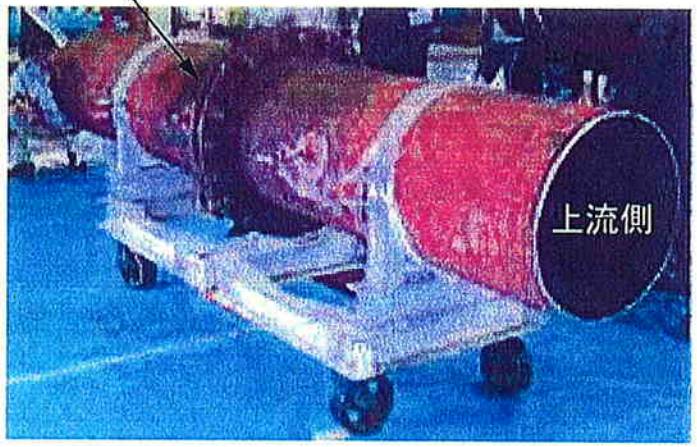
(1) A-1配管



(2) A-2配管



(3) A-3配管



(4) B-1配管

図2-3 原研に搬入された調査配管

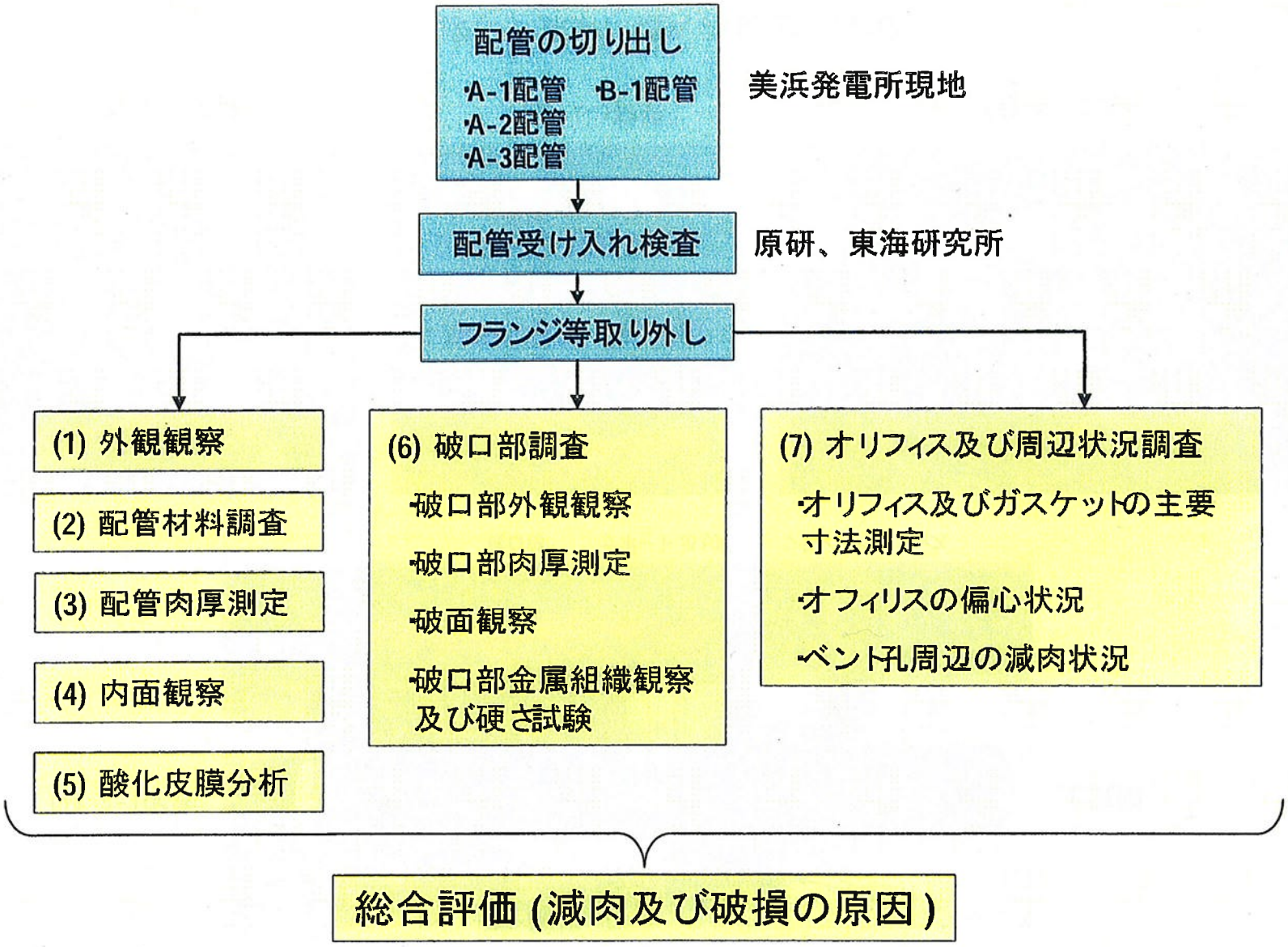

配管の切り出し
・A-1配管　・B-1配管
・A-2配管
・A-3配管
美浜発電所現地
配管受け入れ検査
原研、東海研究所
フランジ等取り外し
(1) 外観観察
(2) 配管材料調査
(3) 配管肉厚測定
(4) 内面観察
(5) 酸化皮膜分析
(6) 破口部調査
・破口部外観観察
・破口部肉厚測定
・破面観察
・破口部金属組織観察及び硬さ試験
(7) オリフィス及び周辺状況調査
・オリフィス及びガスケットの主要寸法測定
・オフィリスの偏心状況
・ベント孔周辺の減肉状況
総合評価（減肉及び破損の原因）

図2-4　調査のフロー

3. 調査の方法及び結果

3. 1外観観察

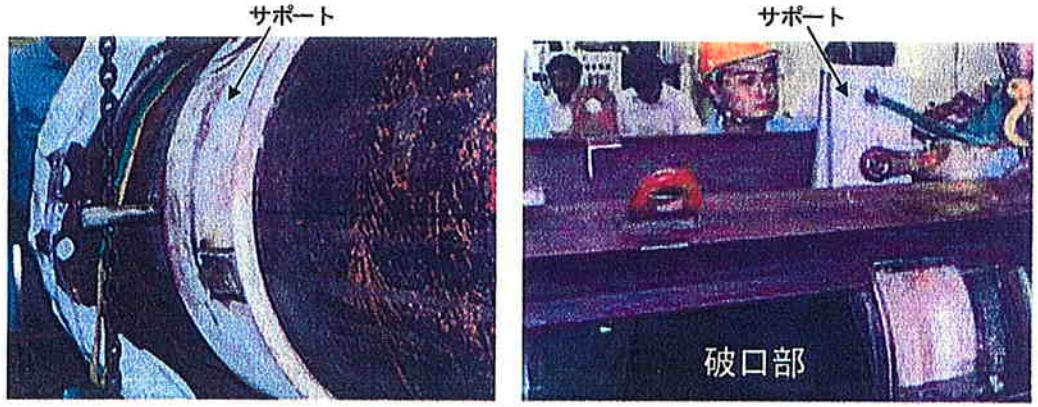


図 3.1-1　サポート(白色部)の取り外し状況

図 3.1-2　サポート取外し後の配管外面

結　果

全配管及びA-1配管破口部周辺の外面に有害な傷や割れ、著しい腐食等は認められなかった。

破口部に隣接していたサポート(炭素鋼製)を取り外し後、サポートの接触していた外面を観察し、特異な腐食が発生していなかったことを確認した。

3. 2配管材料調査

3.2.1 サンプル採取

A系配管

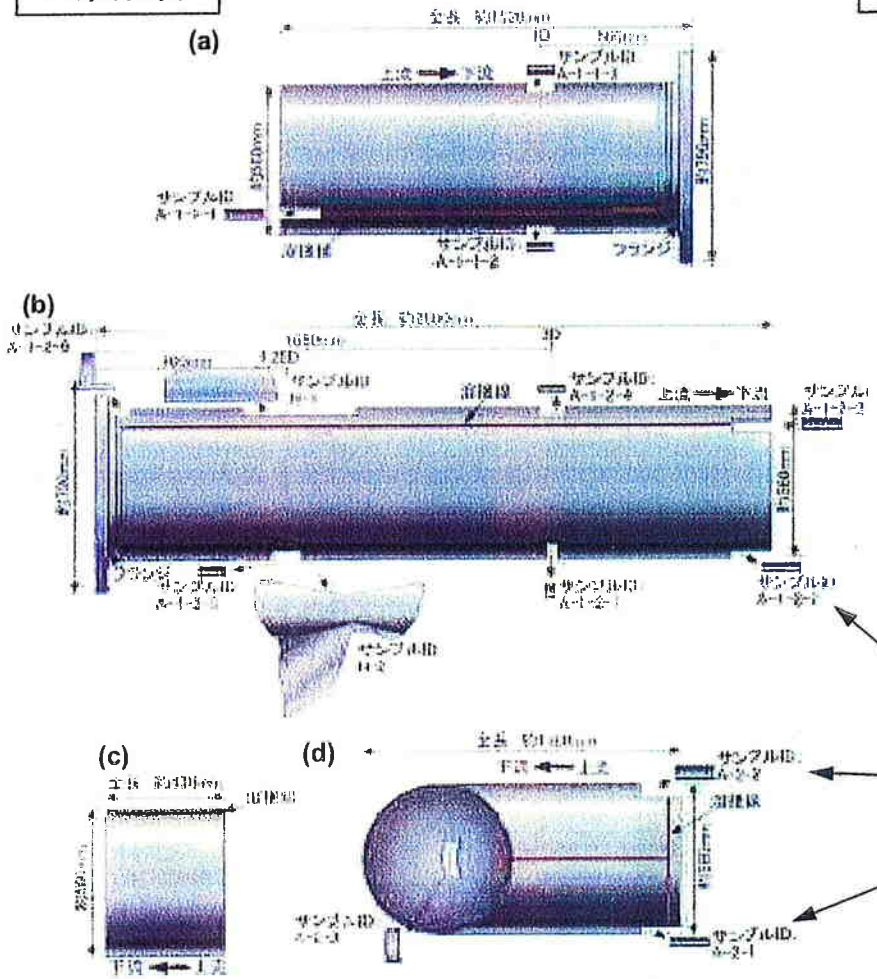


図3.2-1 搬入されたA系配管の概略形状及びサンプル採取位置
(a) A系配管オリフィス上流部(A-1-1配管)、(b)同下流部(A-1-2配管)、
(c) 同下流短管部(A-3配管)及び(d) 同下流エルボ配管部(A-2配管)

B系配管

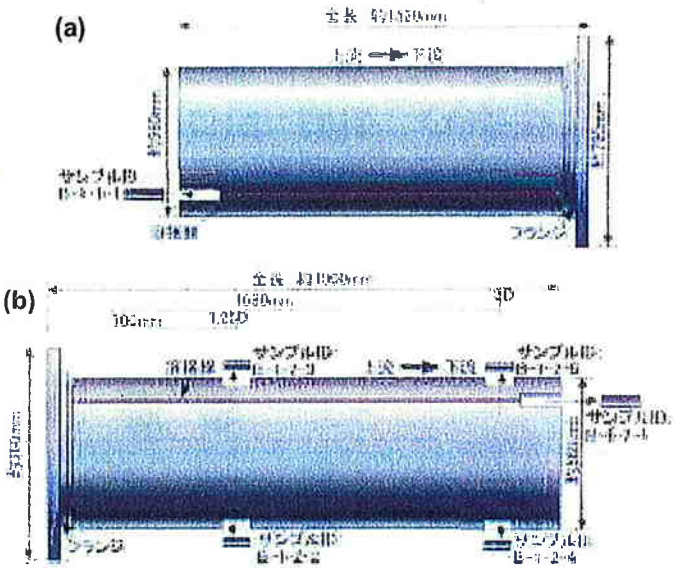


図3.2-2 搬入されたB系配管の概略形状及びサンプル採取位置
(a)B系配管オリフィス上流部(B-1-1配管)及び(b)同下流部(B-1-2配管)

3.2.2 材料化学成分分析

表3.2-1 配管材料の化学成分分析結果 (単位 :mass%)

試料名 (サンプルID)	C	Si	Mn	P	S
A系配管オリフィス下流部(A-1-2-3)	0.16	0.24	0.67	0.009	0.011
B系配管オリフィス下流部(B-1-2-1)	0.16	0.24	0.67	0.009	0.011
A系配管オリフィス下流エルボ部(A-2-1)	0.14	0.23	0.74	0.016	0.007
ミルシート値(エルボ部は除く)[4]	0.15	0.21	0.63	0.014	0.013
規格値(JIS G 3103(1977))	≦0.24	0.15～0.30	≦0.80	≦0.035	≦0.040

サンプルID	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	V	Al	Nb	Zr	O	N
A-1-2-3	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.01	<0.01	0.0045	0.0051
B-1-2-1	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	<0.01	<0.01	0.0047	0.0052
A-2-1	0.03	0.03	0.03	<0.01	<0.002	<0.01	0.007	<0.01	<0.01	0.0024	0.0050

→直管とエルボでは、僅かな違い

結　果

A系、B系配管ともに、材料規格を満足していた。また、ミルシートとほぼ同一値であった。

3.2.3 引張試験

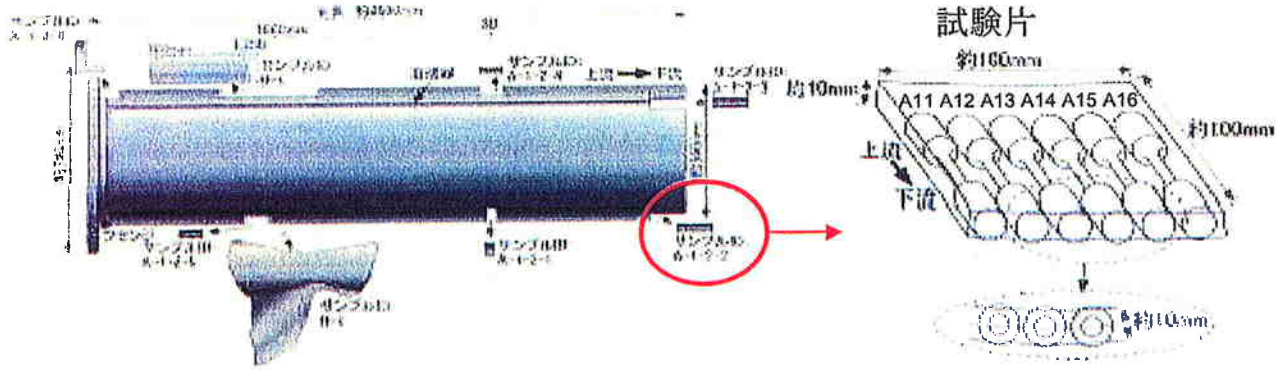


図3.2-3 引張試験片採取位置（A系オリフィス下流4D底部）

表3.2-2 引張試験結果

試験片番号	試験温度	降伏応力 (MPa)	引張強さ (MPa)	均一伸び (%)	破断伸び (%)
A12	室温	264	442	22.6	35.7
A13		263	442	22.2	33.8
ミルシート値[4]		275	441	–	28
規格値(JIS G 3103(1977))		226以上	412～549	–	23以上
A14	140℃	237	499	15.2	22.0
A15		252	509	12.7	17.3

結　果　A系、B系は同等であり、ミルシートとほぼ等しく異常は認められなかった。

3.2.4 金属組織観察

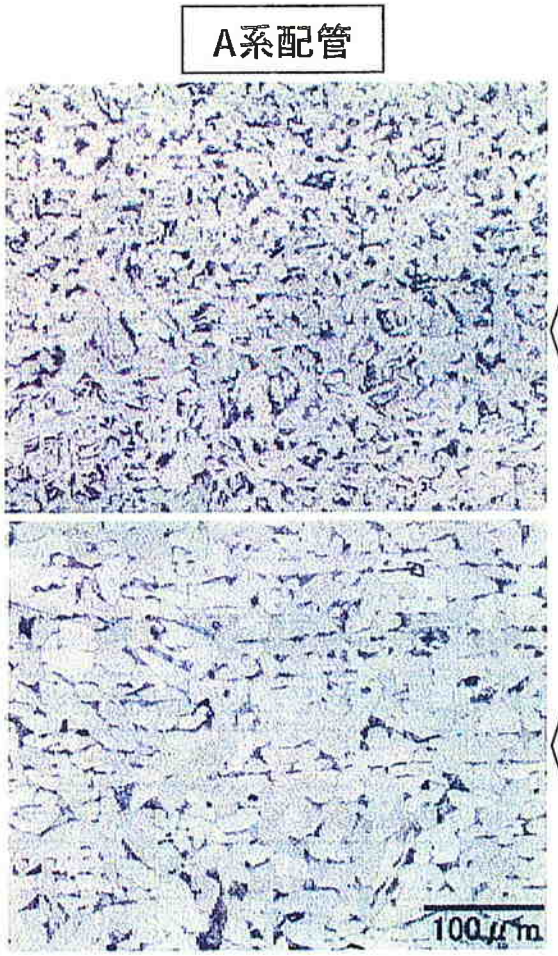


図 3.2-6　A 系配管金属組織
(a)A 系配管オリフィス上流部(A-1-1-1)及び(b)同下流部(A-1-2-3)

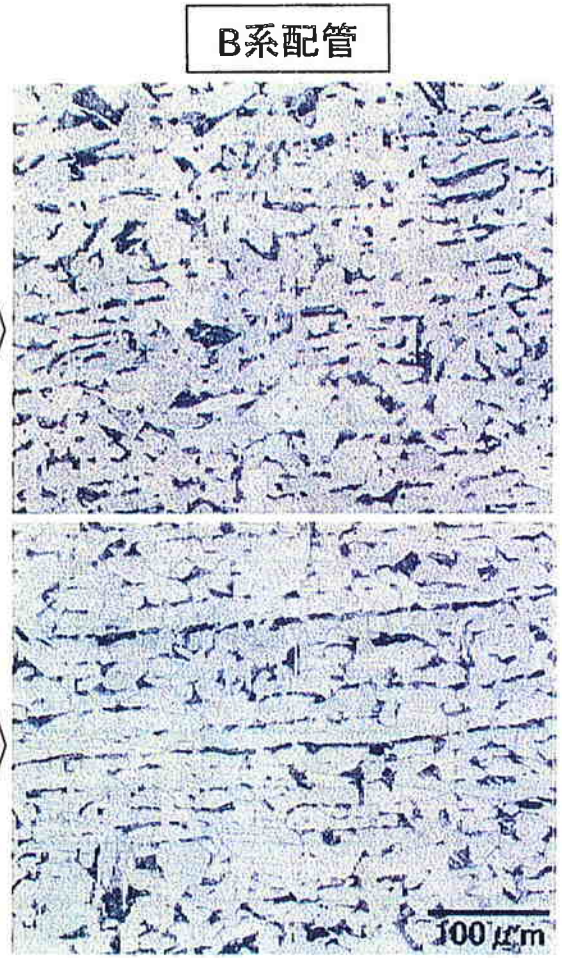


図 3.2-7　B 系配管金属組織
(a)B 系配管オリフィス上流部(B-1-1-1)及び(b)同下流部(B-1-2-1)

結　果　配管材料の化学成分からみて妥当な金属組織である。

3.2.5 硬さ試験

表3.2-3 ビッカース硬さ試験結果 試験荷重1kgf、5回測定平均値）

試料名　　(サンプルID)	硬さ(HV1)	測定部位の肉厚(mm)
A系配管オリフィス上流配管材　(A-1-1-1)	155	10.1
同 下流配管材　(A-1-2-3)	142	6.7
B系配管オリフィス上流配管材　(B-1-1-1)	147	10.7
同 下流配管材　(B-1-2-1)	151	5.0
A系配管オリフィス下流エルボ材　(A-2-1)	149	9.0

結　果　硬さはいずれも150HV1前後であり大きな相違は認められない。

3.2.6 分極特性測定

方　法

配管材料の腐食特性を電気化学的に比較するため、A系配管オリフィス下流部、同エルボ部及びB系配管オリフィス下流部の3材料について、アノード分極曲線を測定した。破損配管の運転状態でのpHに近い条件とするため、20℃での水溶液のpHを約9.22に調整した。

結　果

アノード分極曲線 (電位と電流密度の関係図)を図3.2-8に示す。3つの配管材料の曲線はほぼ同一であった。従って、室温の弱アルカリ性水溶液環境下では、これら3つの材料の電気化学的な腐食特性はほぼ同等といえる。

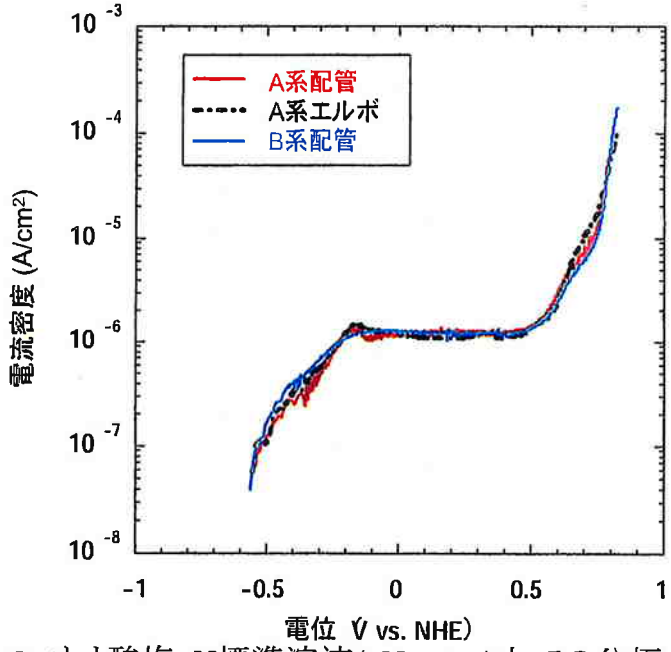


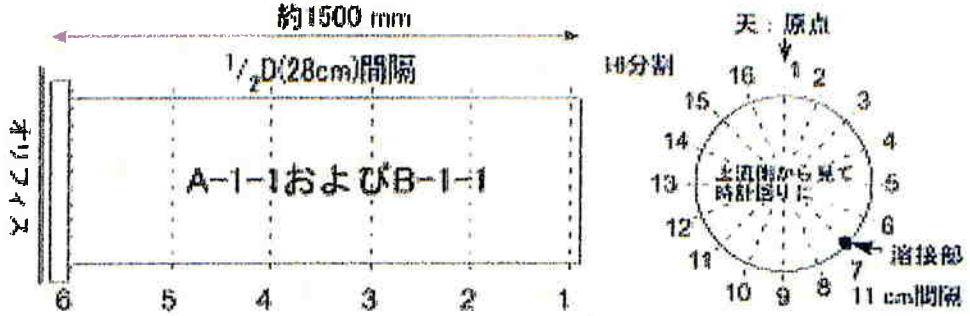
図3.2-8 ホウ酸塩pH標準溶液(pH=9.22)中での分極曲線

3. 3配管肉厚測定

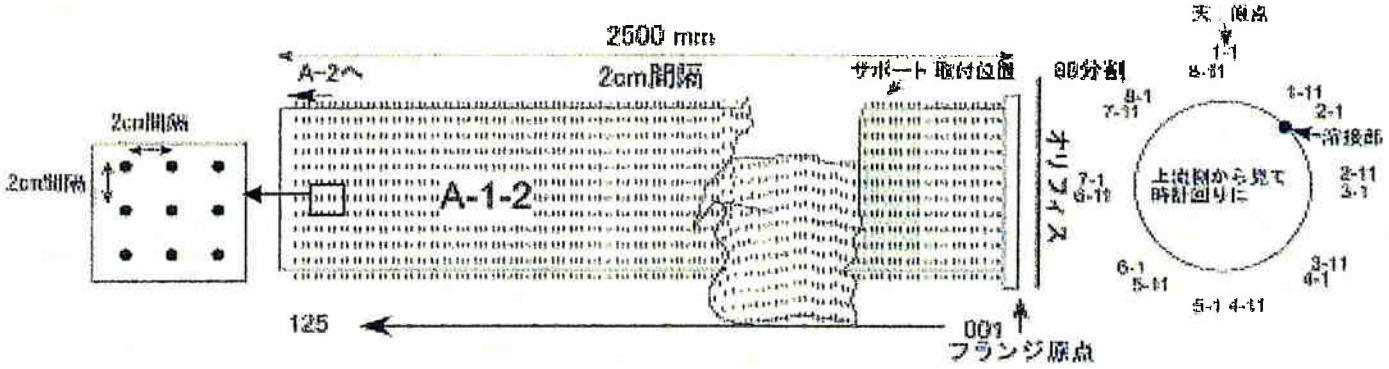
方　法

超音波パルス反射法を用いて配管肉厚を測定した(以下、「UT測定」)。測定は、JIS に準拠し、(社)日本非破壊検査協会が認定した資格者が実施した。破口部及びその近傍で配管の変形量が大きくUT測定が困難な部位は、先端球半径0.75mmのダイヤルゲージを用いて測定を行った。

A系配管

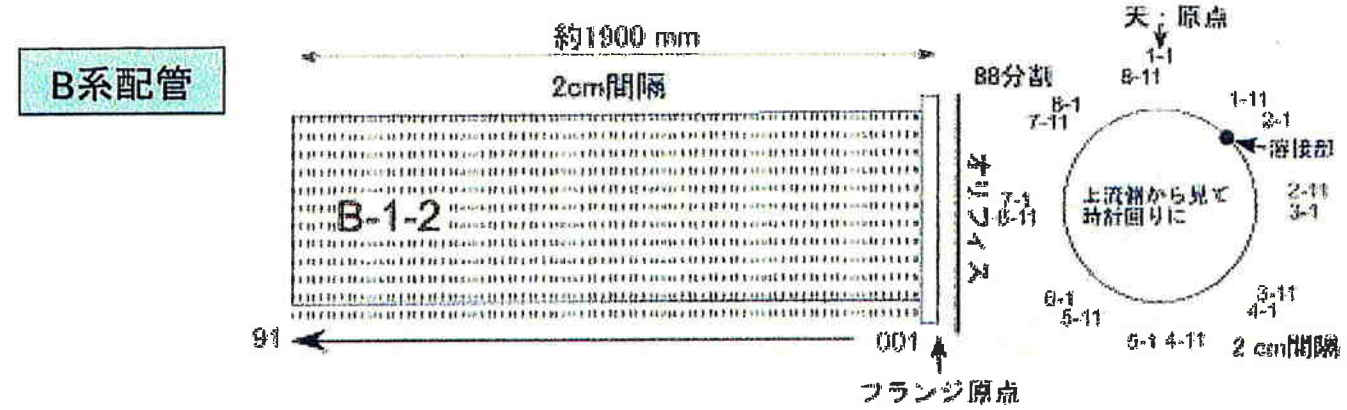


(a)A-1-1 配管及び B-1-1 配管

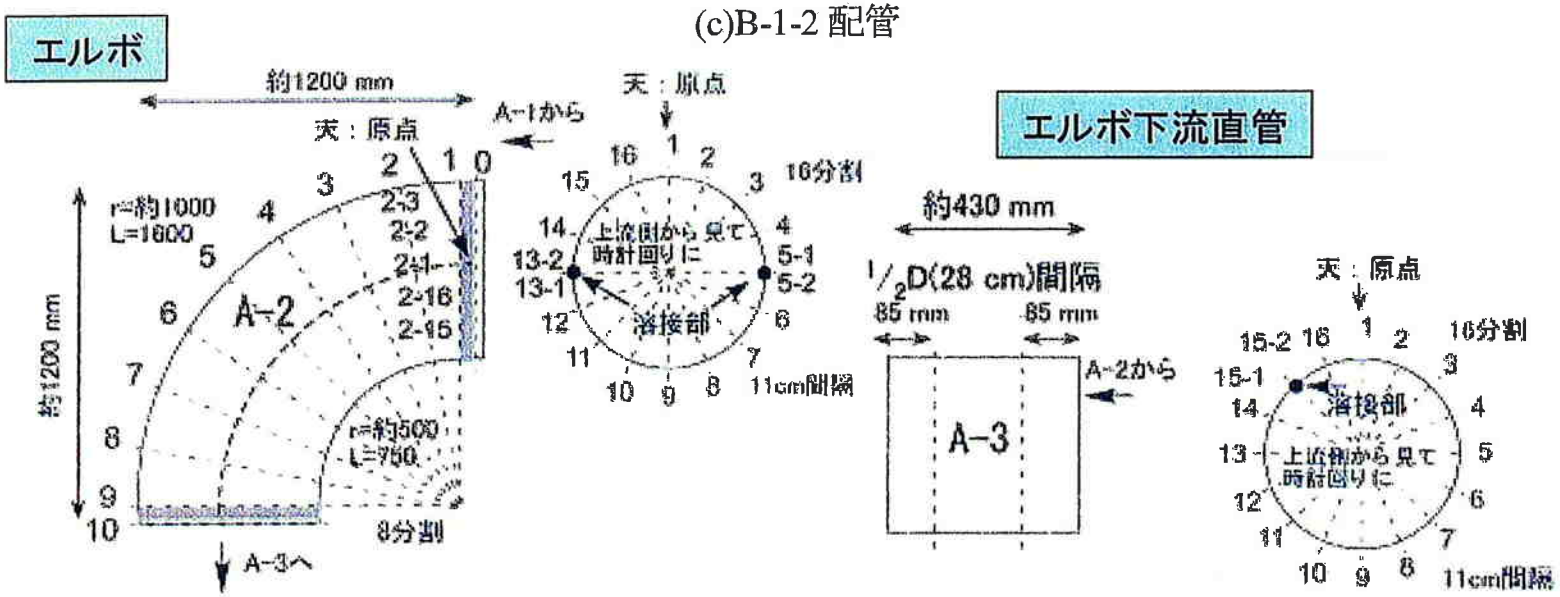


(b)A-1-2 配管

図3.3-1　肉厚測定位置



(c)B-1-2 配管



(d) A-2 配管及び A-3 配管

図3.3-1 肉厚測定位置

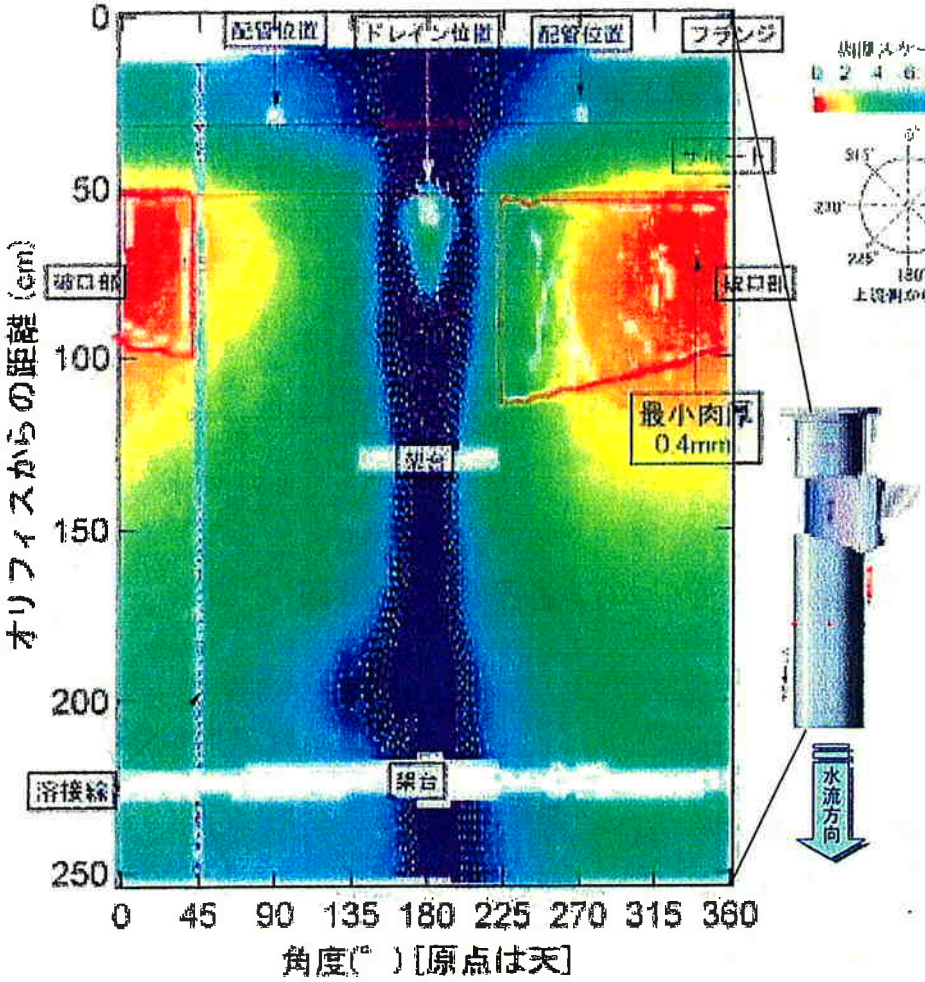


図 3.3-3　A 系配管オリフィス下流部(A-1-2 配管)の肉厚分布
(軸、 周方向ともに約 2cm 間隔)

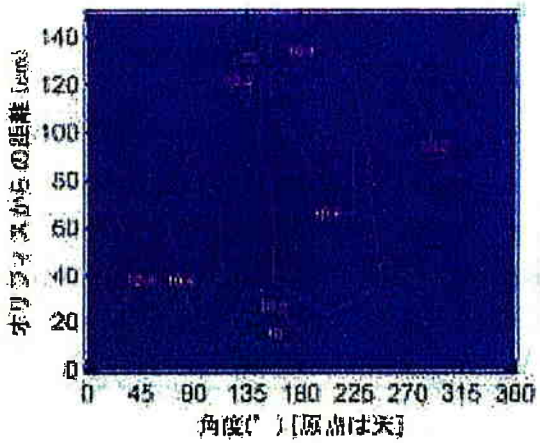


図3.3-2　A系配管オリフィス上流部(A-1-1配管)の肉厚分布
(周方向約11cm間隔、軸方向28cm間隔)

結　果

- 破口部において残存肉厚が1mm以下となっており、著しい減肉が生じている。軸方向の減肉状況に関して、オリフィス下流端から1D付近(62cm)で大きな減肉を生じており、オリフィスから遠ざかるに従い、減肉量が減少している。
- 周方向の減肉状況に関しては、肉厚分布が局在化しており、0°部位では著しい減肉が生じているのに対し、180°部位ではほとんど減肉していない。

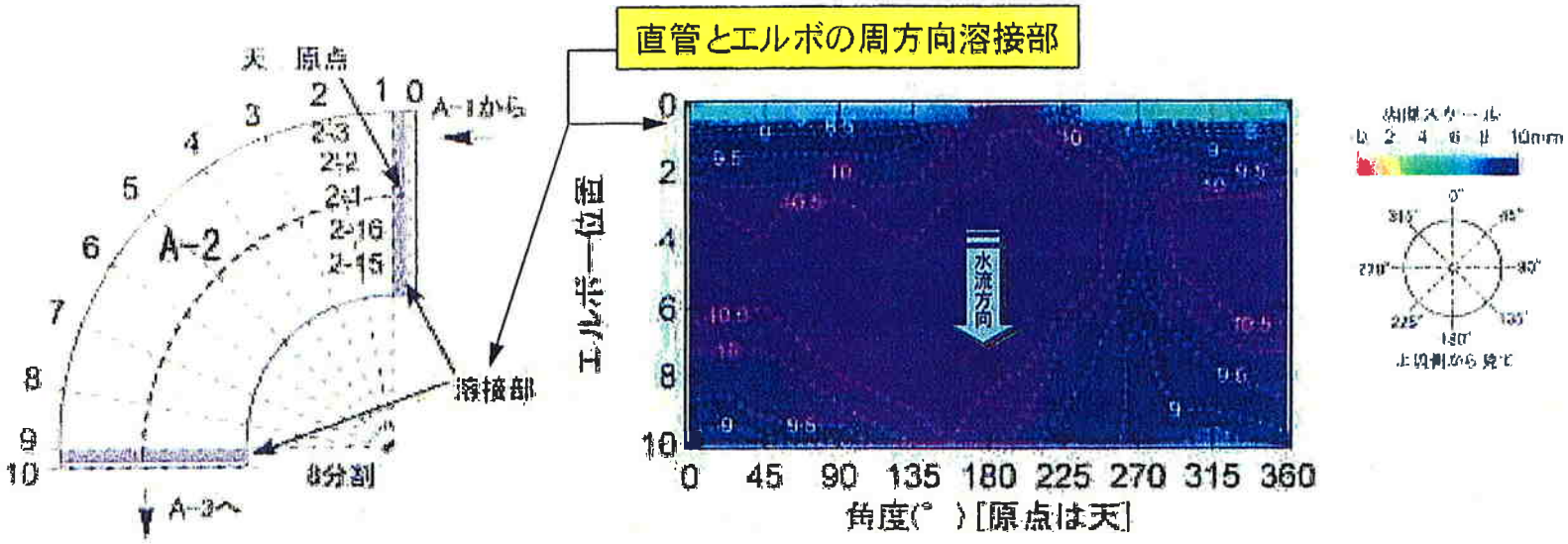


図3.3-4　A系配管オリフィス下流エルボ部(A-2配管)の肉厚分布(周方向約11cm間隔)

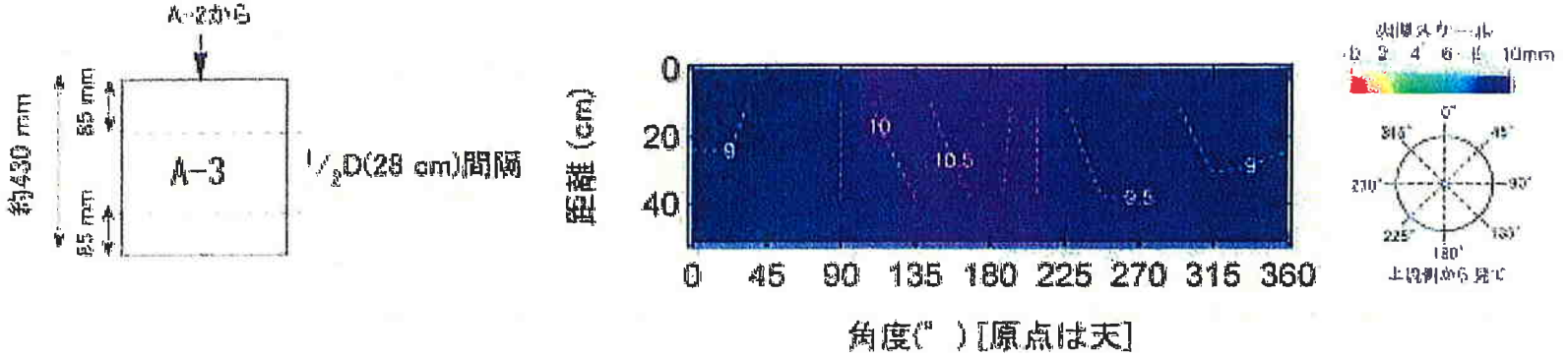


図3.3-5　A系配管オリフィス下流短管部(A-3配管)の肉厚分布
(周方向約11cm間隔、軸方向28cm間隔)

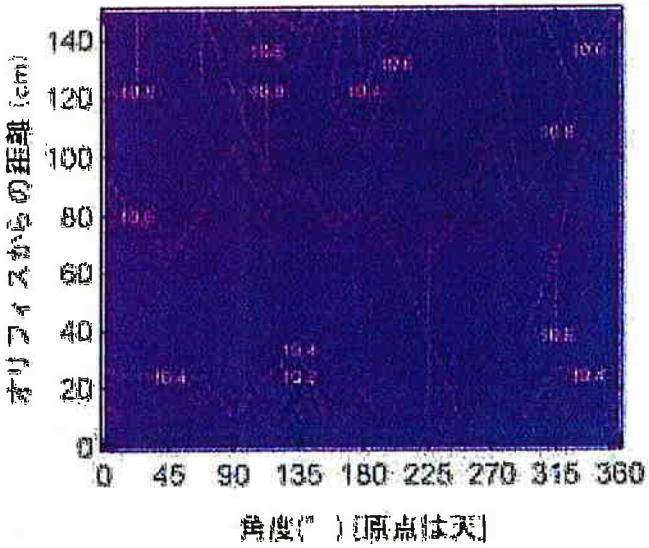


図3.3-6　B系配管オリフィス上流部(B-1-1配管)の肉厚分布
(周方向約11cm間隔、軸方向28cm間隔)

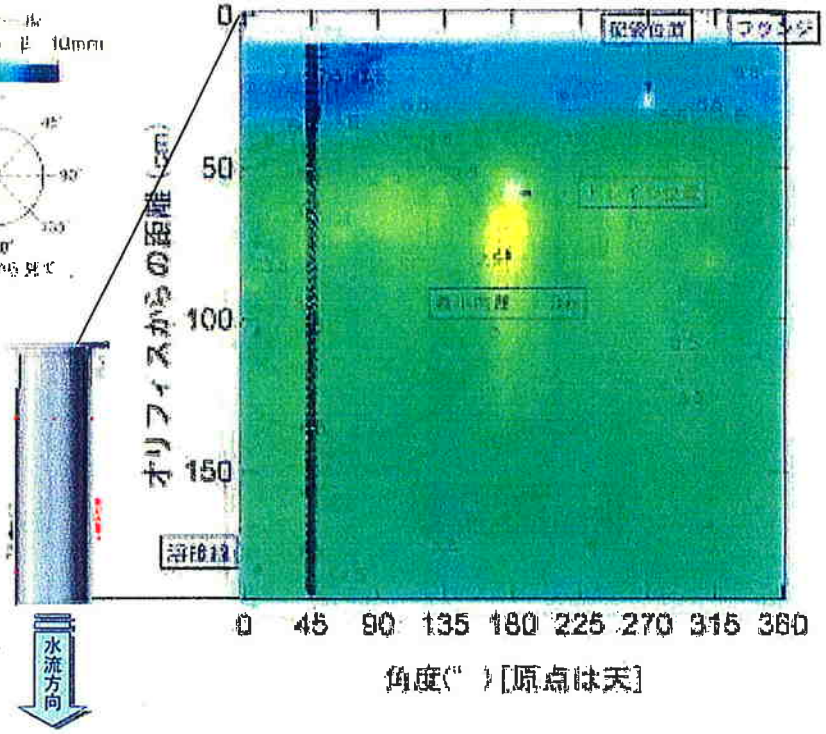


図 3.3-7　B 系配管オリフィス下流部(B-1-2 配管)の肉厚分布
(軸、周方向ともに約 2cm 間隔)

結　果

- B系配管にも、A系配管と同様にオリフィス下流側で減肉が生じている。
- 軸方向に関しては、A系配管と同様にオリフィスから遠ざかるにつれて、1D付近(62cm)までは減肉量が増加し、その後減少している。最小肉厚は1.8mmであった。
- 周方向の肉厚状況に関しては、A系配管と異なり、ほぼ均一に減肉している。
- ただし、180° のドレイン位置では、A系配管と同様、周囲と比べ僅かに減肉量が大きかった。

A系配管

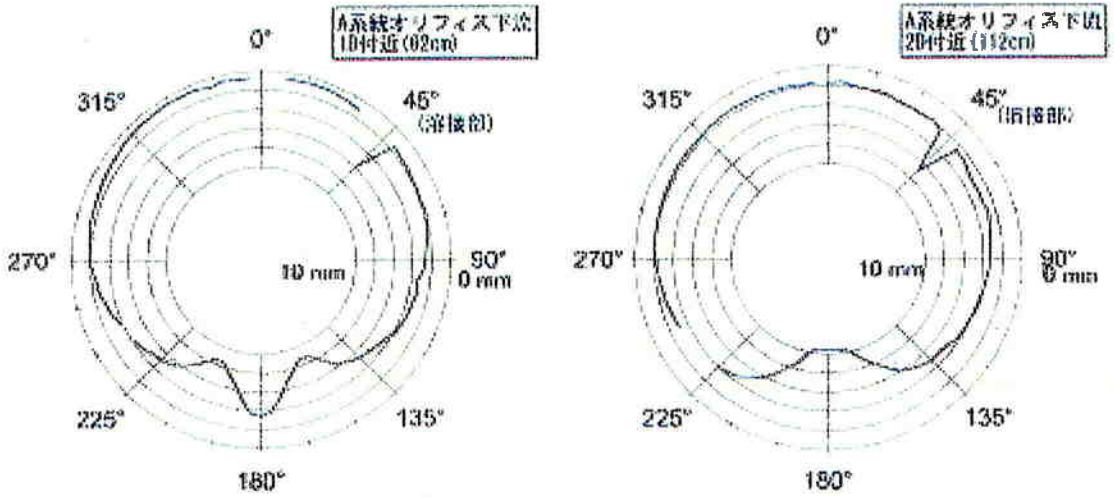


図 3.3-8　A 系配管オリフィス下流部(A-1-2 配管)の肉厚分布　(周方向に約 2cm 間隔)

B系配管

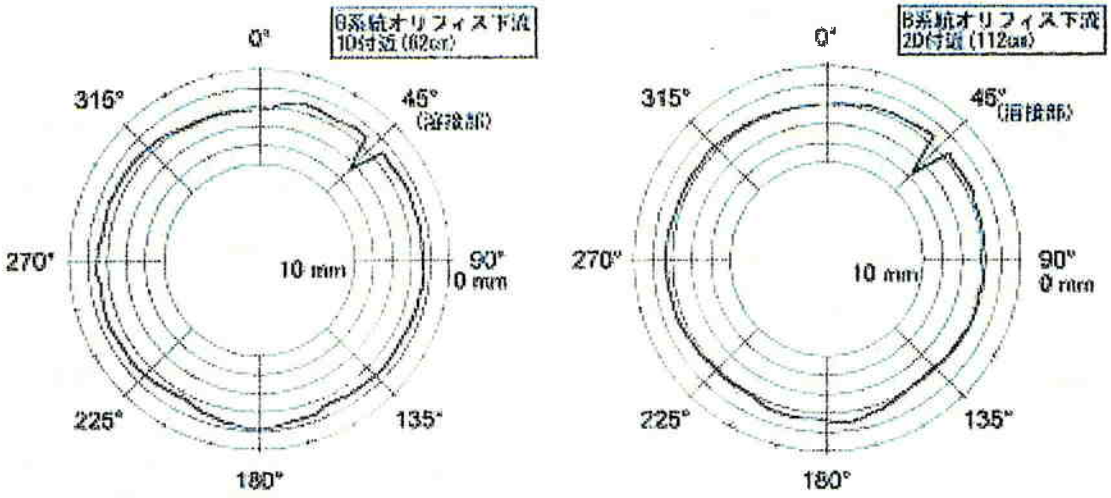


図 3.3-9　B 系配管オリフィス下流部(B-1-2 配管)の肉厚分布　(周方向に約 2cm 間隔)

3. 4内面観察

A系オリフィス下流配管

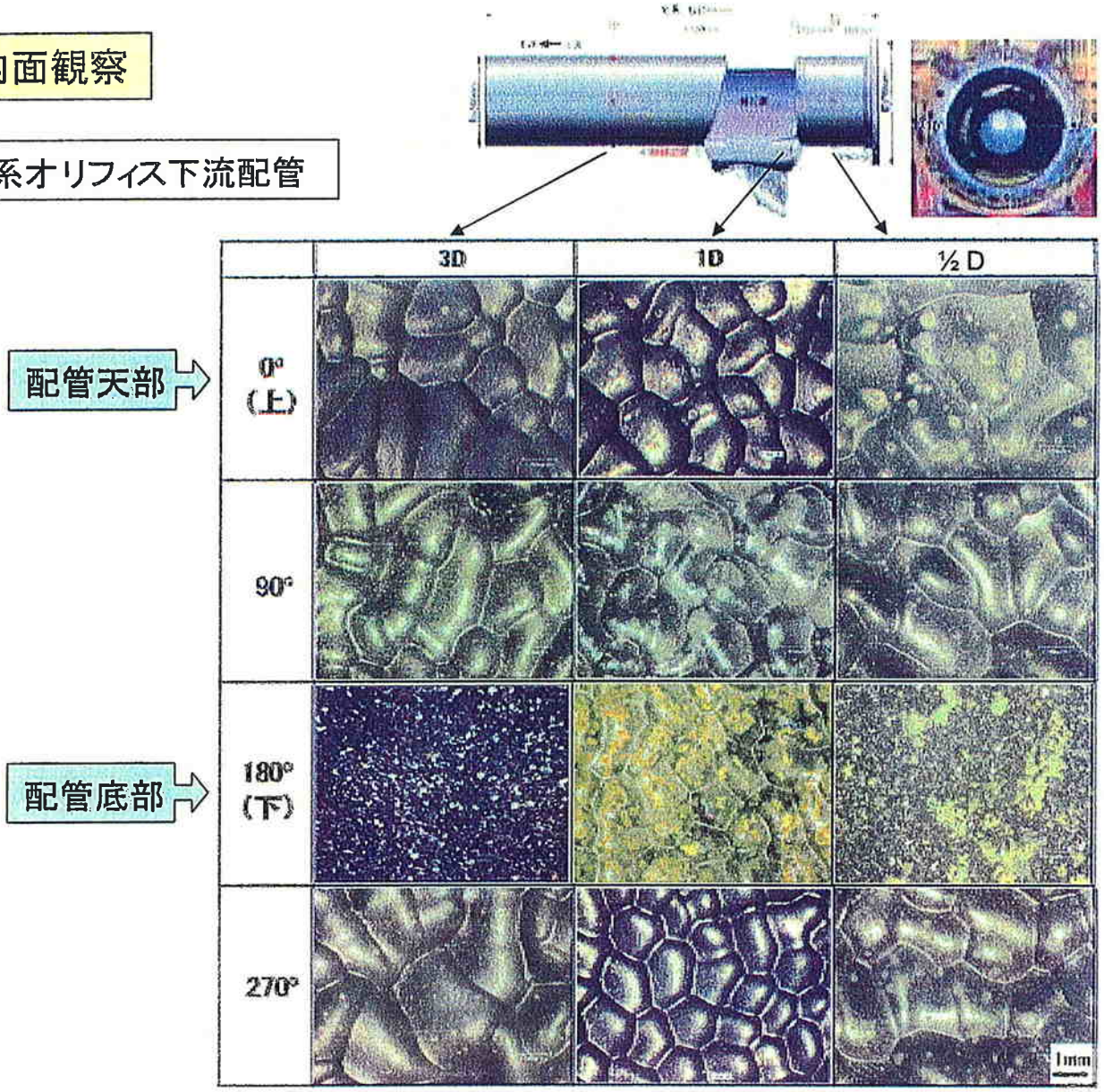


図3.4-1　A系配管オリフィス下流部(A-1-2配管)における内面の観察位置及び観察結果

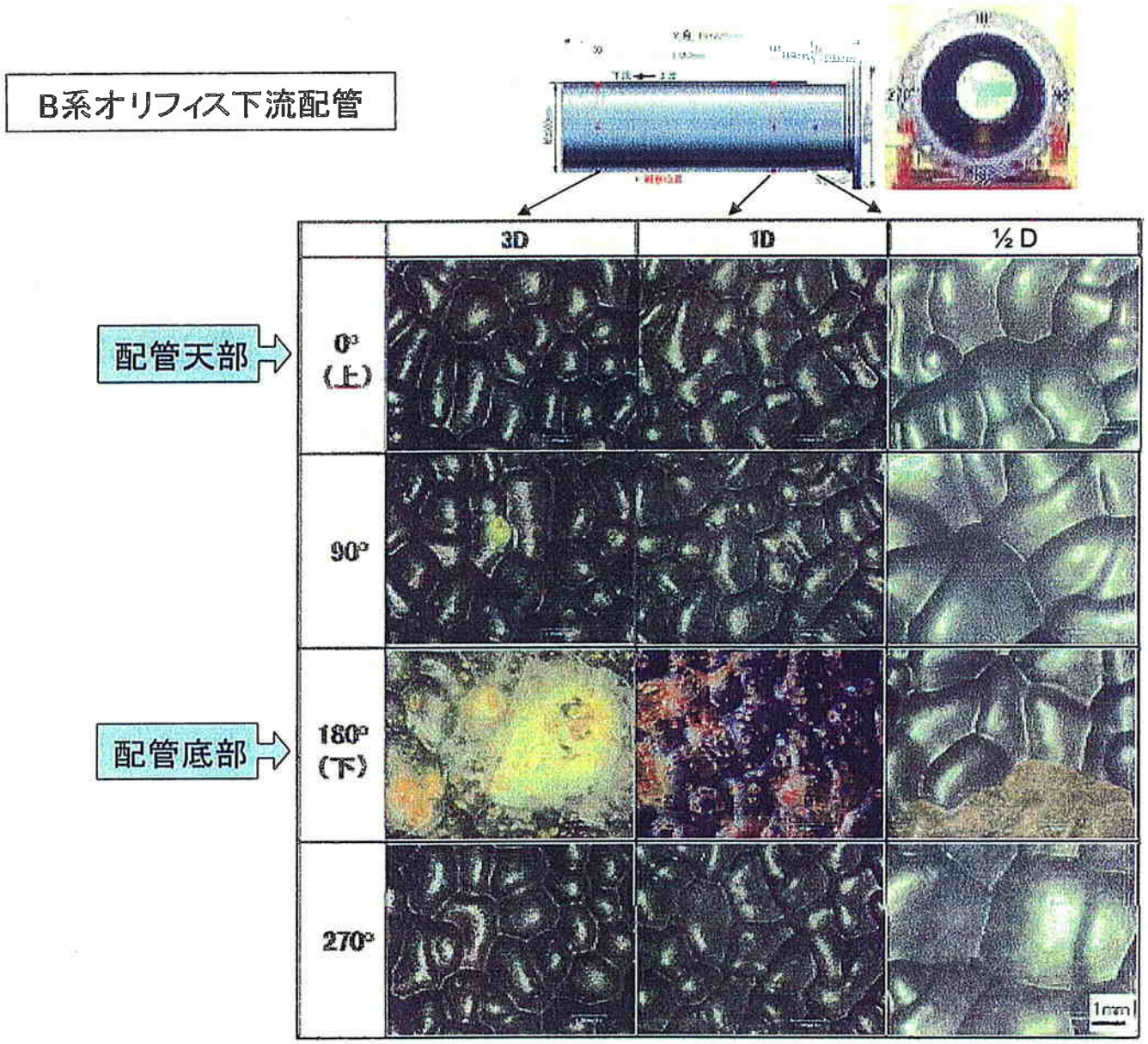


図 34-2　B 系配管オリフィス下流部(B-1-2 配管) における内面の観察位置及び観察結果

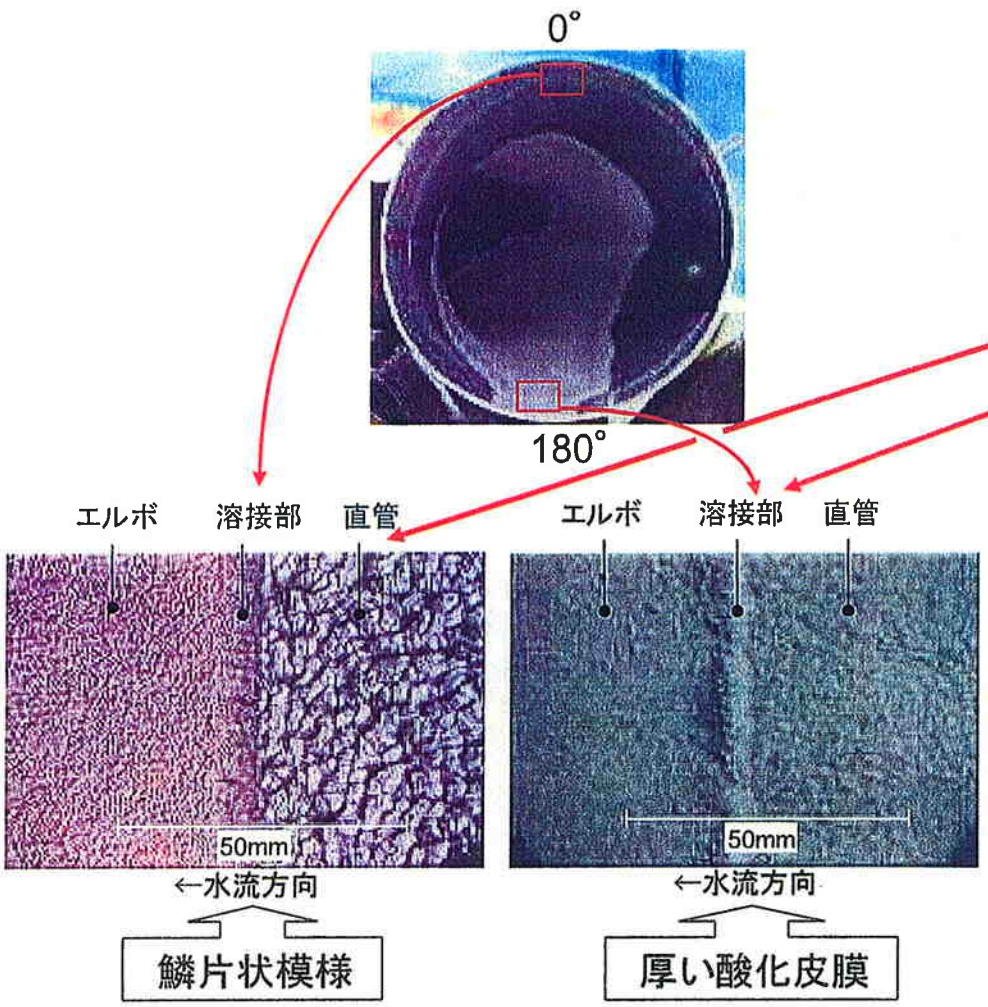


図3.4-3　A系配管オリフィス下流エルボ部(A-2配管)における
内面の観察位置及び観察結果

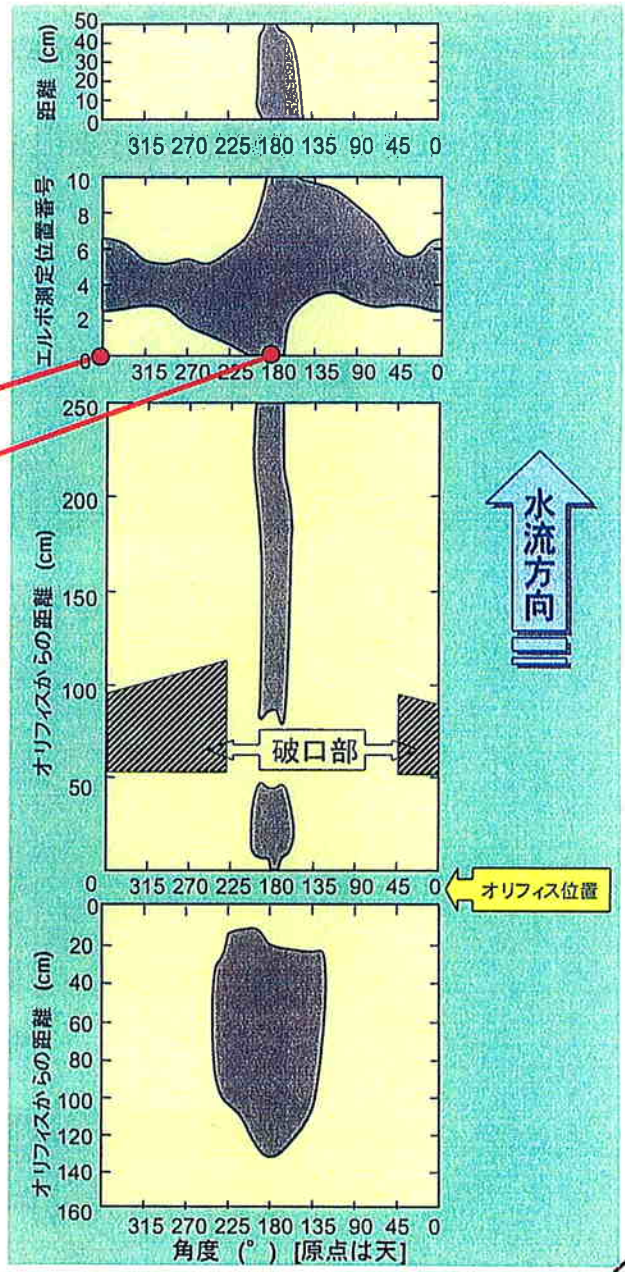


図3.4-4　A系配管における厚い酸化皮膜(グレー部分)の分布状況

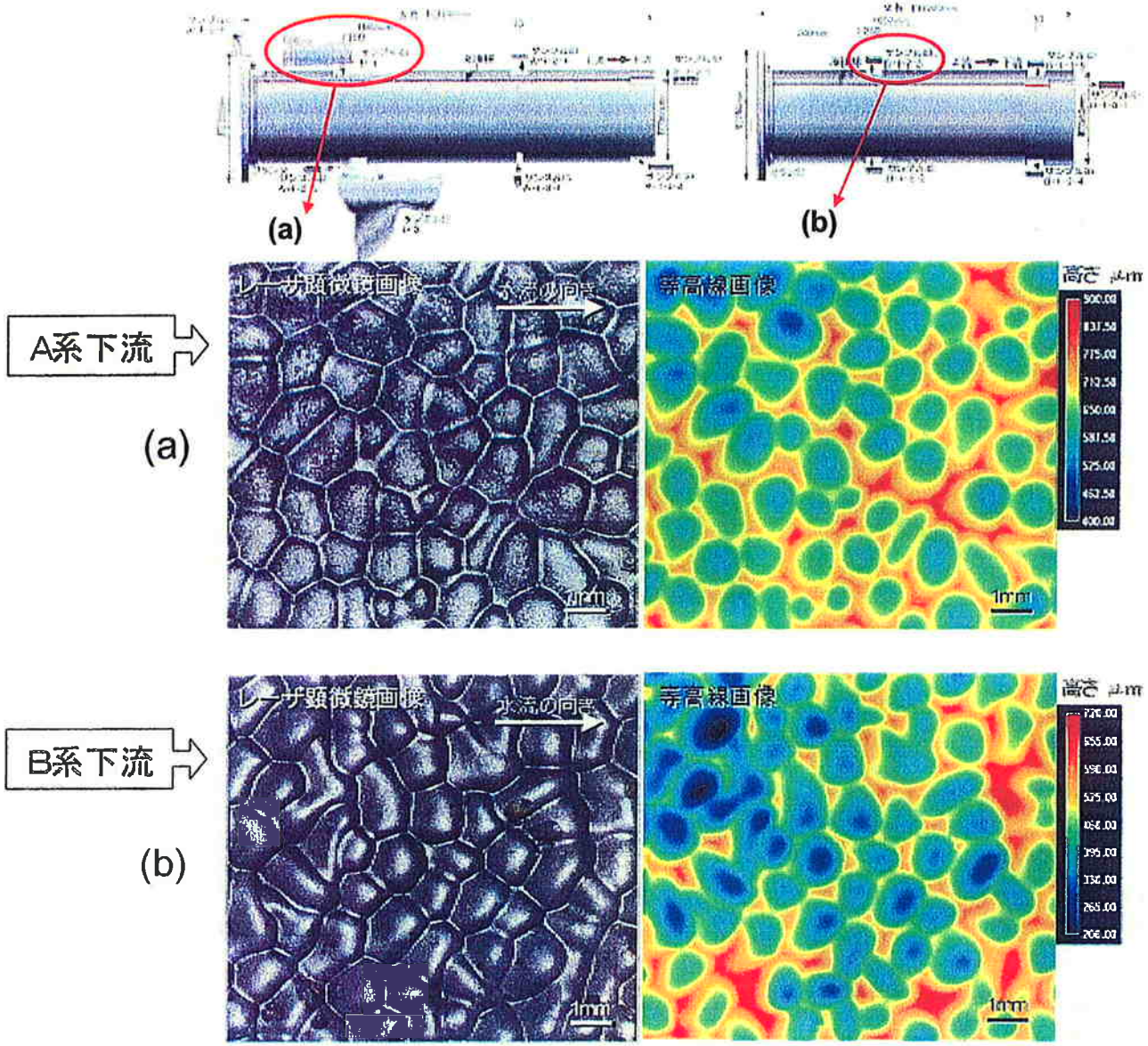
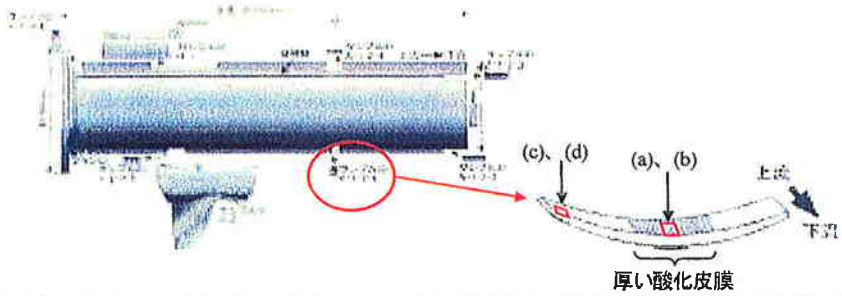


図 3.4-5　レーザ顕微鏡による内面の形態観察結果

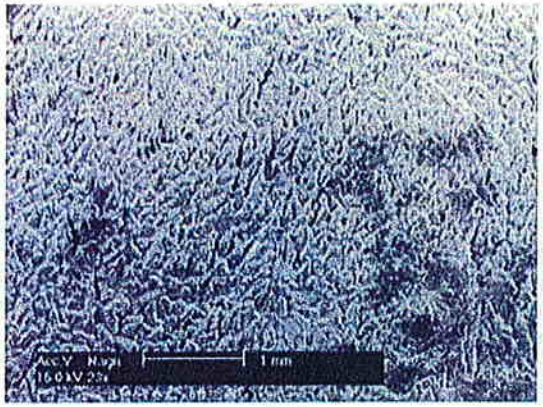
(a)A 系配管オリフィス下流部(B-1)及び(b)B 系配管オリフィス下流部(B-1-3-3)

3. 5酸化皮膜分析

走査電子顕微鏡観察



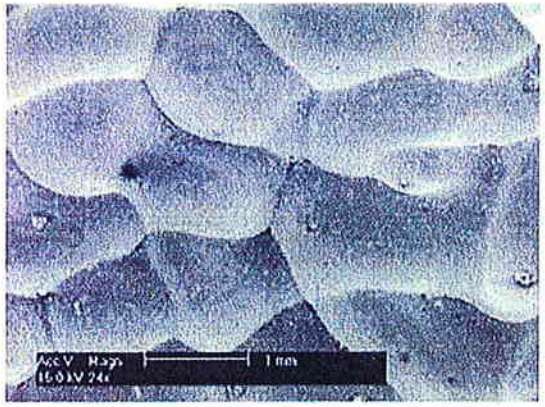
底部の厚い酸化皮膜の表面



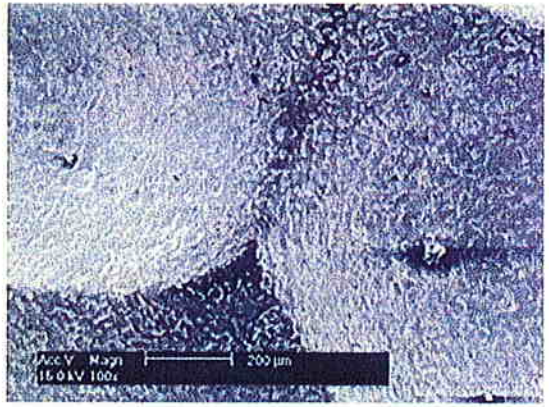
(a)　180°付近の厚い酸化皮膜の表面

(b)　(a)の拡大

鱗片状模様の表面

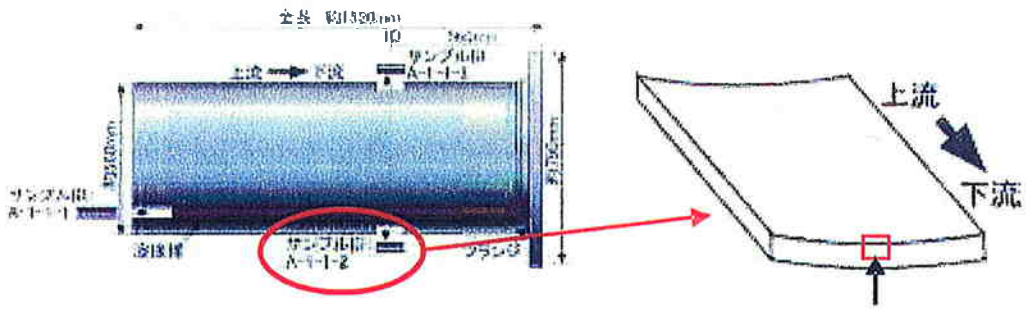


(c)　155°付近の薄い酸化皮膜の表面



(d)　(c)の拡大

図 3.5-1　A 系配管オリフィス下流部 3D 位置の底部(A-1-2-1)における酸化皮膜(表面)



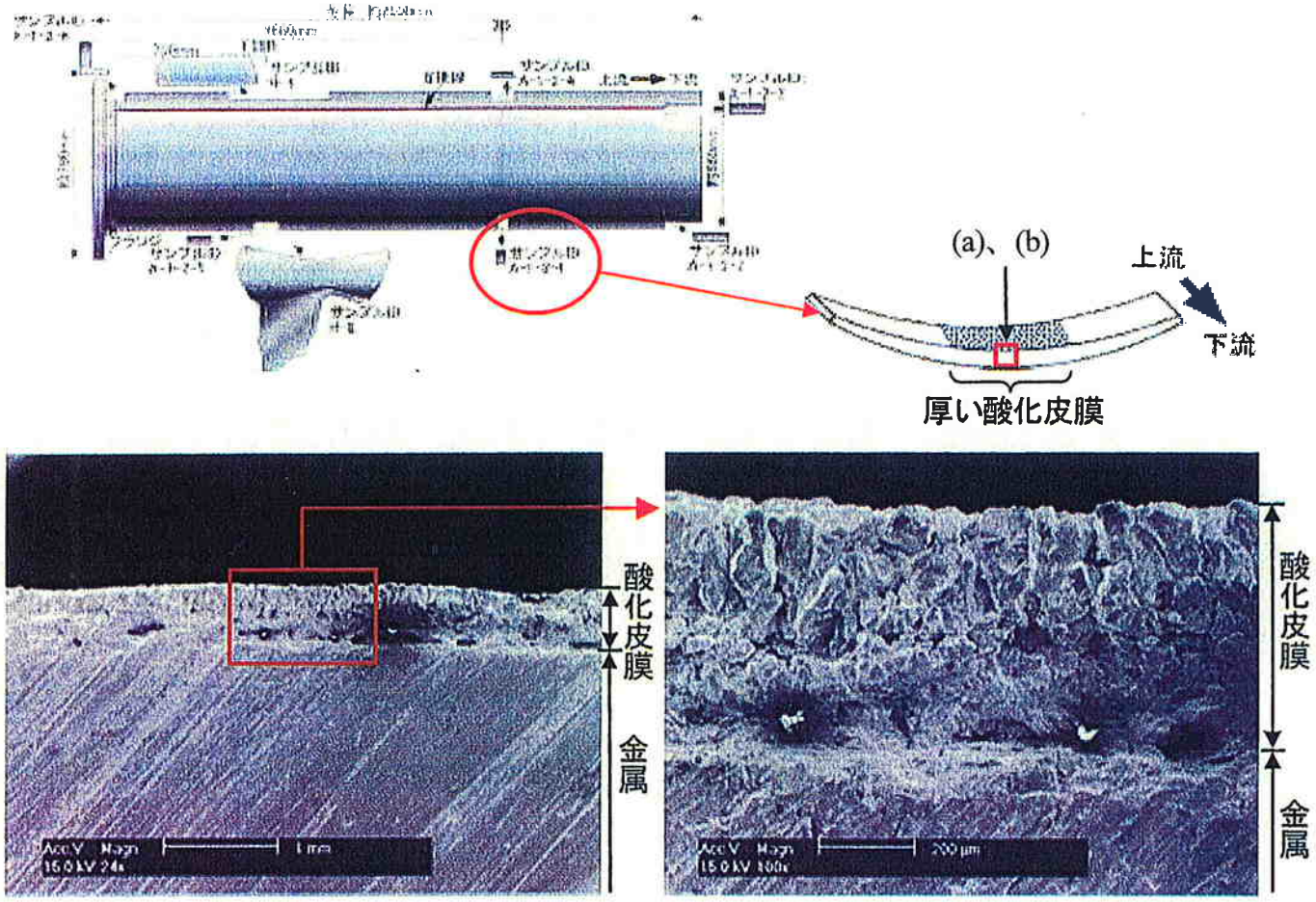
(a)、(b)

(a)　酸化皮膜の SEM 写真

(b)　(a)の反射電子像

図3.5-2　A系配管オリフィス上流部1D位置の底部(A-1-1-2)における酸化皮膜(断面)

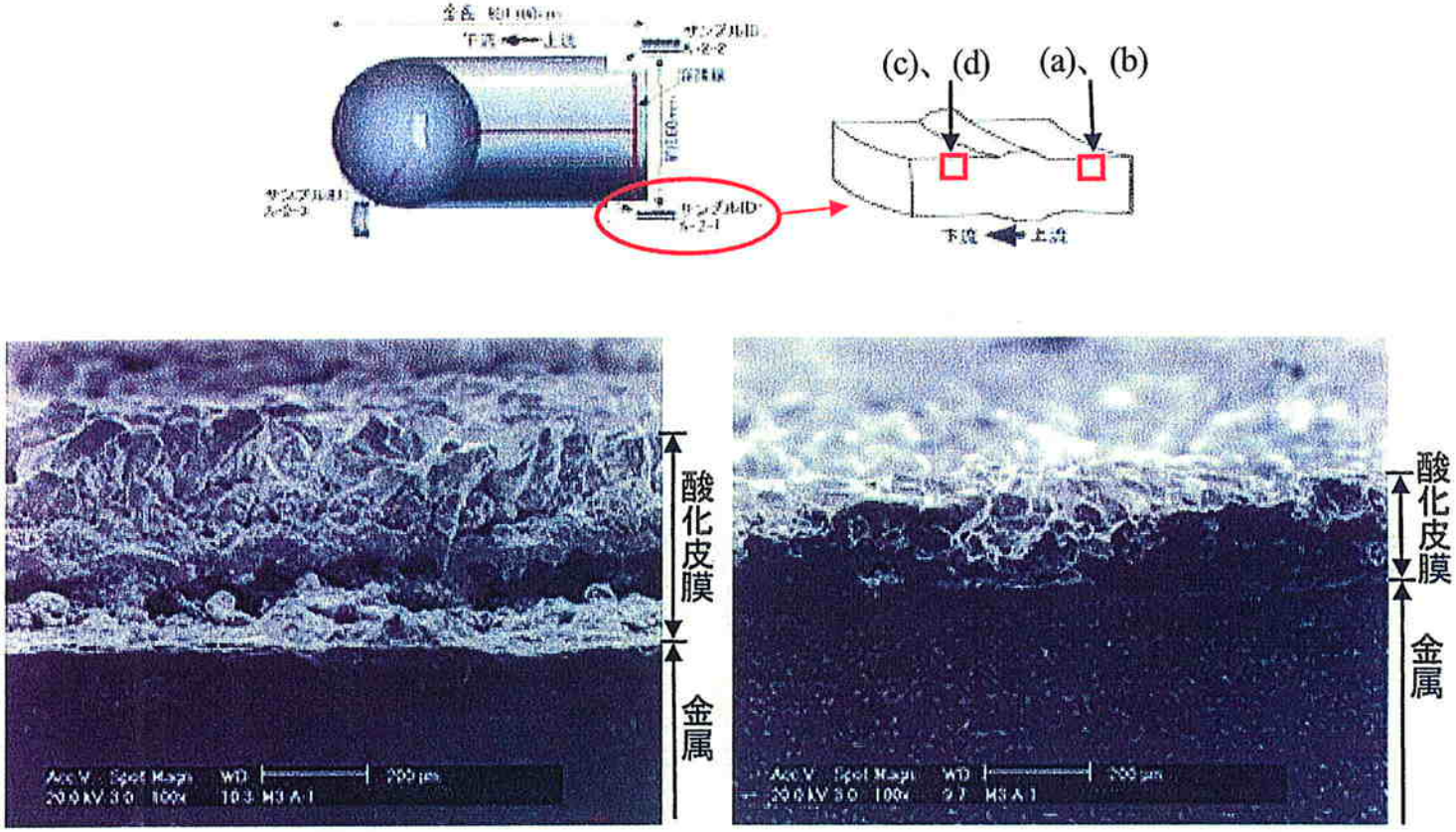
結　果　**A系配管オリフィス上流部の底部の一部に厚い酸化皮膜がある。**



(a)　酸化皮膜　　(b)　(a)の拡大

図 3.5-3　A 系配管オリフィス下流部 3D 位置の底部(A-1-2-1)における酸化皮膜(断面)

結　果　A系配管オリフィス下流部の底部の酸化皮膜厚さは約500μmある。

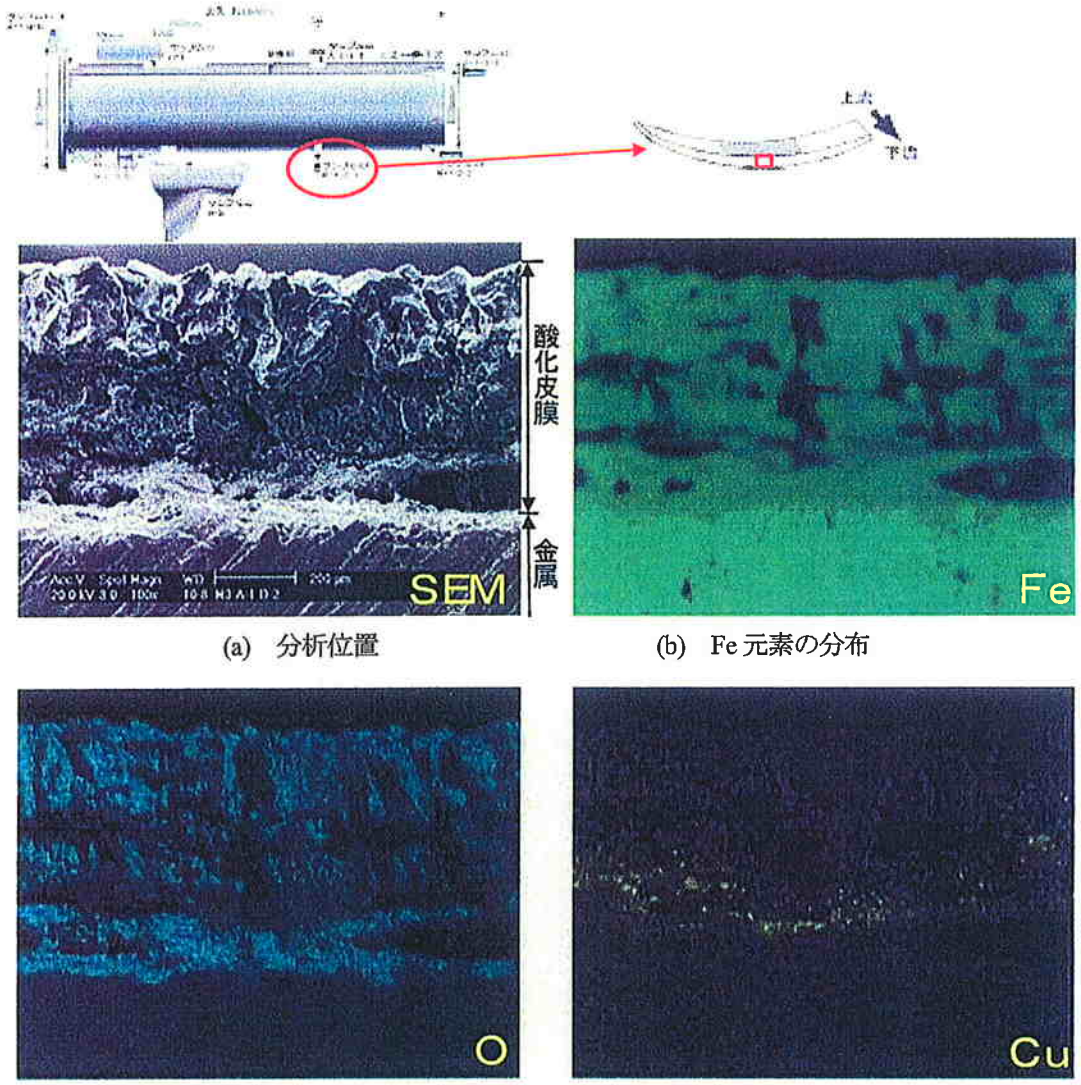


(a)　直管側　　(b)　エルボ側

図 3.5-4　A 系配管オリフィス下流部と同エルボ部の接合部の底部(A-2-1)における酸化皮膜(断面)

結　果　**エルボと直管の接合部を境として、酸化皮膜厚さが大きく異なる。**

EDX
元素分析



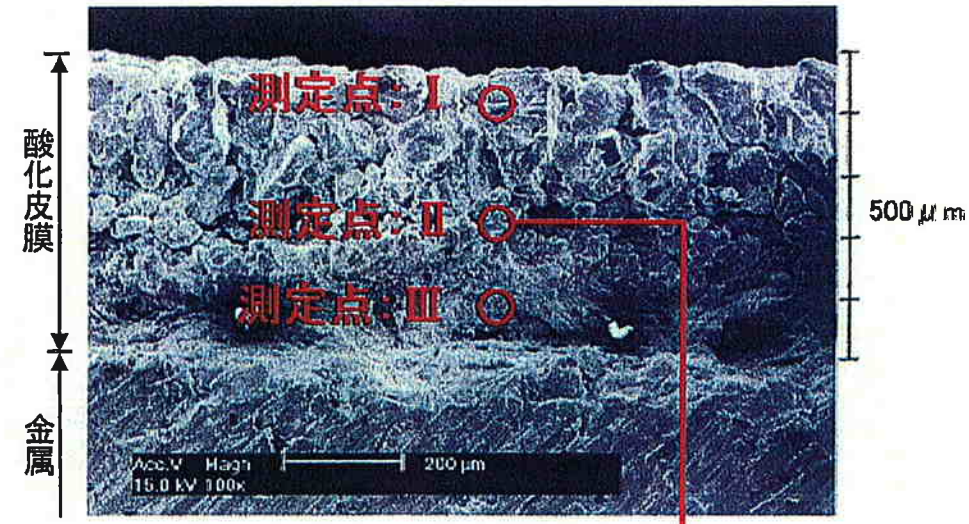
(a) 分析位置　(b) Fe 元素の分布

(c) O 元素の分布　(d) Cu 元素の分布

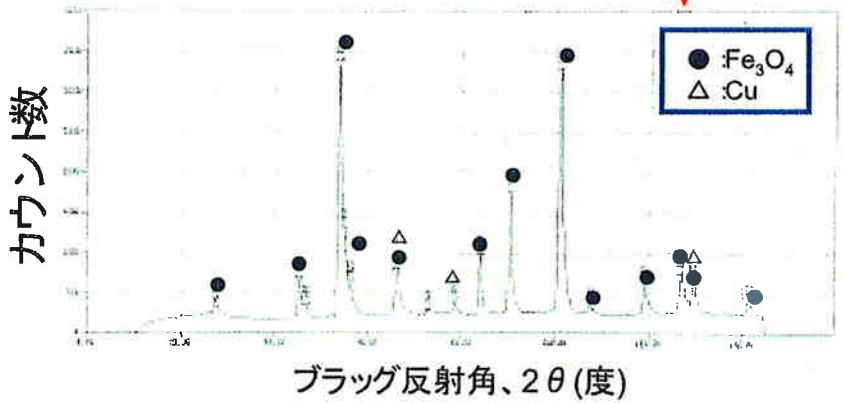
図3.5-6 A系配管オリフィス下流部3D位置の底部(A-1-2-1)における酸化皮膜の元素分布マップ

結　果 酸化皮膜中には、Fe、O及びCuが検出された。Cuは中間層に存在する。

マイクロビーム X線
回折測定



(a) 酸化物の分析位置



(b) 回折スペクトル(測定点：II)

図 3.5-8　A 系配管オリフィス下流部 3D 位置底部の酸化皮膜のマイクロ X 線回折結果

結　果　酸化皮膜はマグネタイトであり、酸化皮膜の中間層に金属Cuが存在している。

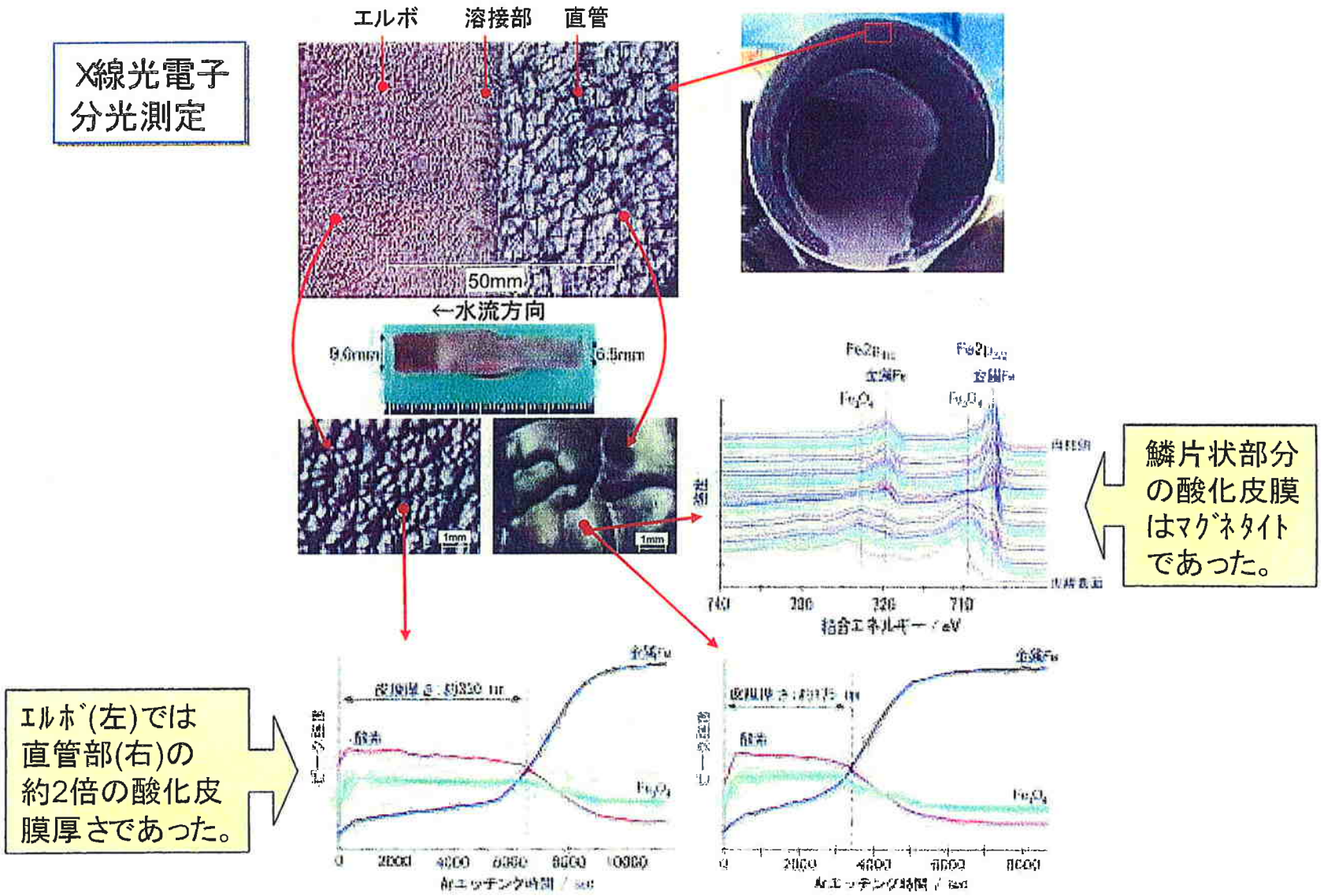


図 3.5-9　A 系配管オリフィス下流部と同エルボ部の接合部(A-2-2)の薄い酸化皮膜の
X 線光電子分光（XPS）分析結果

3. 6破口部調査

3.6.1 破口部外観観察

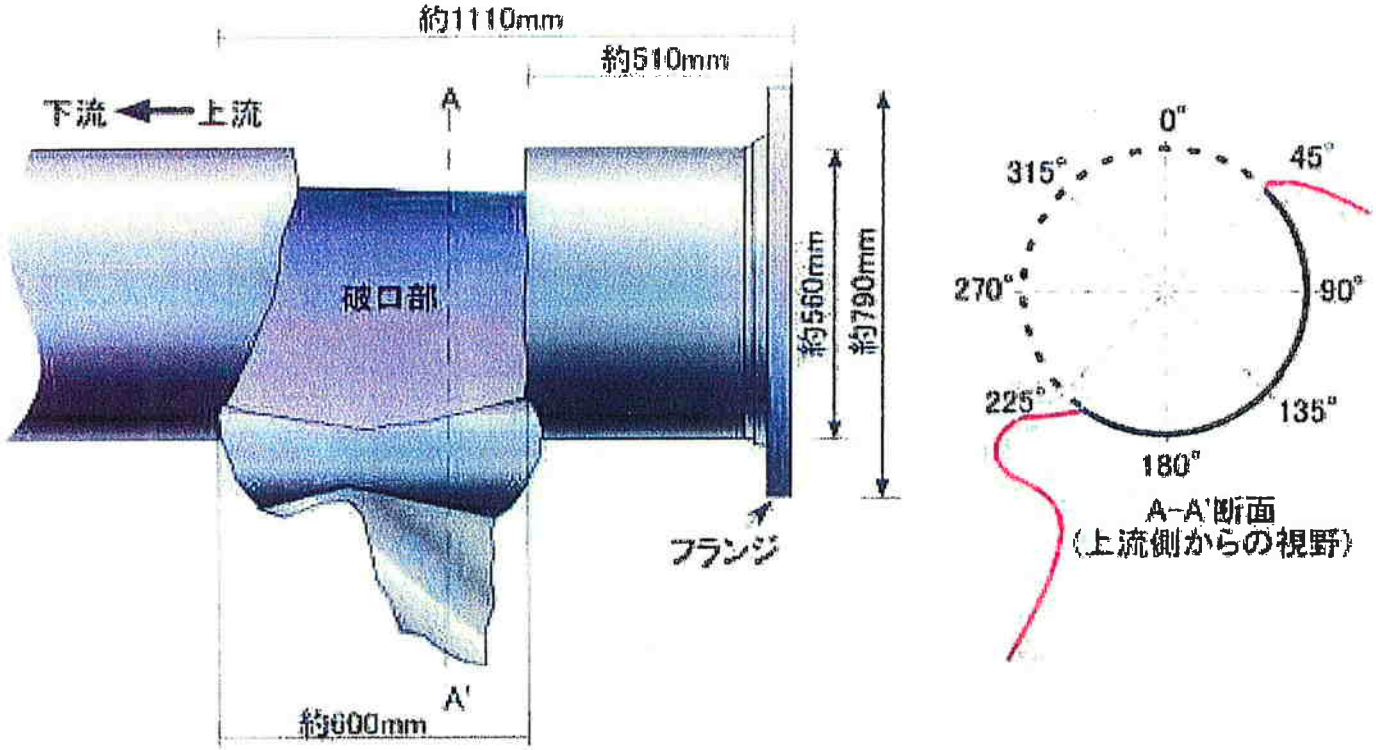


図3.6.1-1 破口部形状の概要

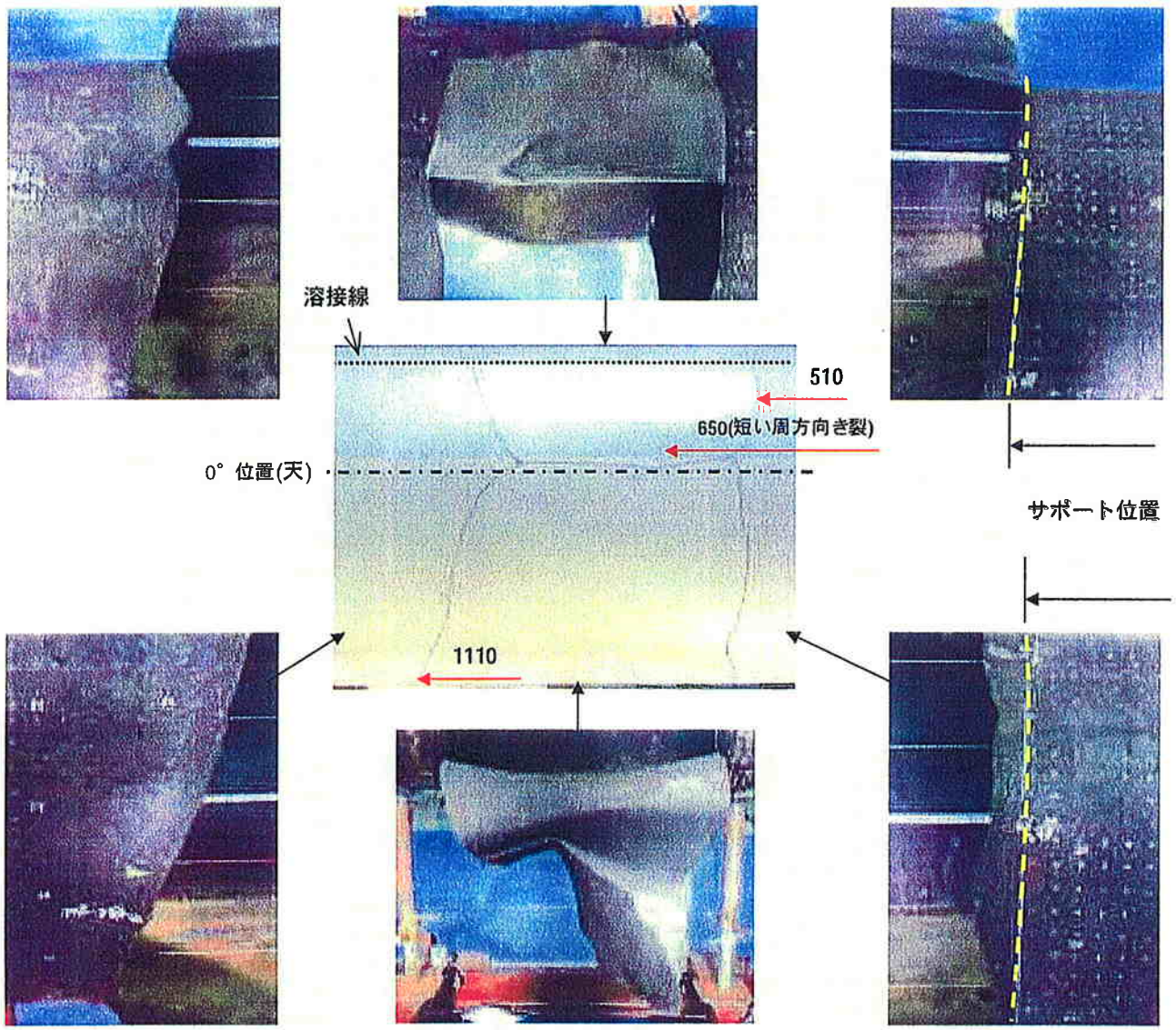


図3.6.1-2 破口部形状復元の様子(図中の数字はオリフィス下流端からの距離(mm))

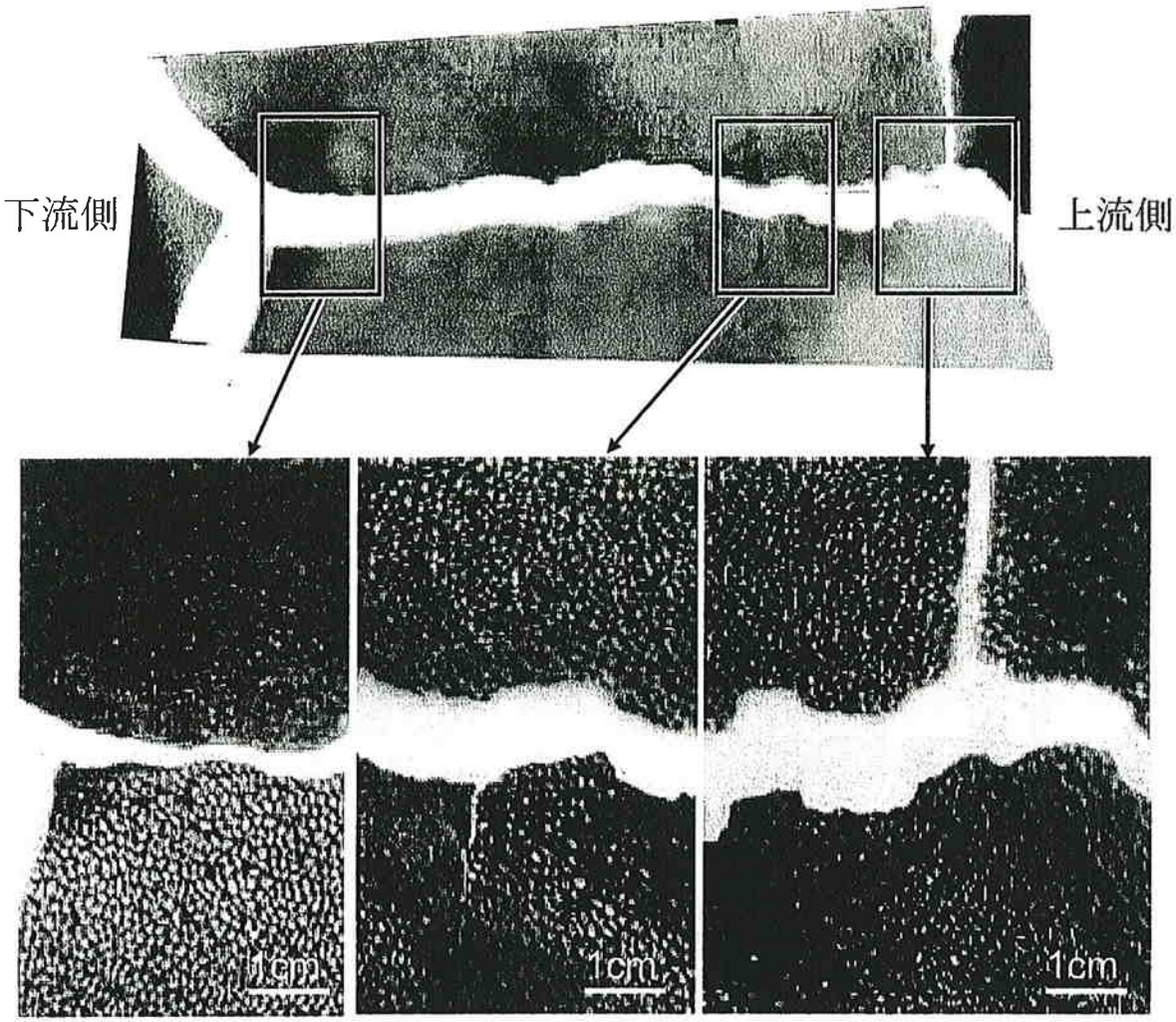


図3.6.1-3 破口部軸方向き裂のき裂周縁状況(内面から見た写真)

3.6.2 破口部肉厚測定

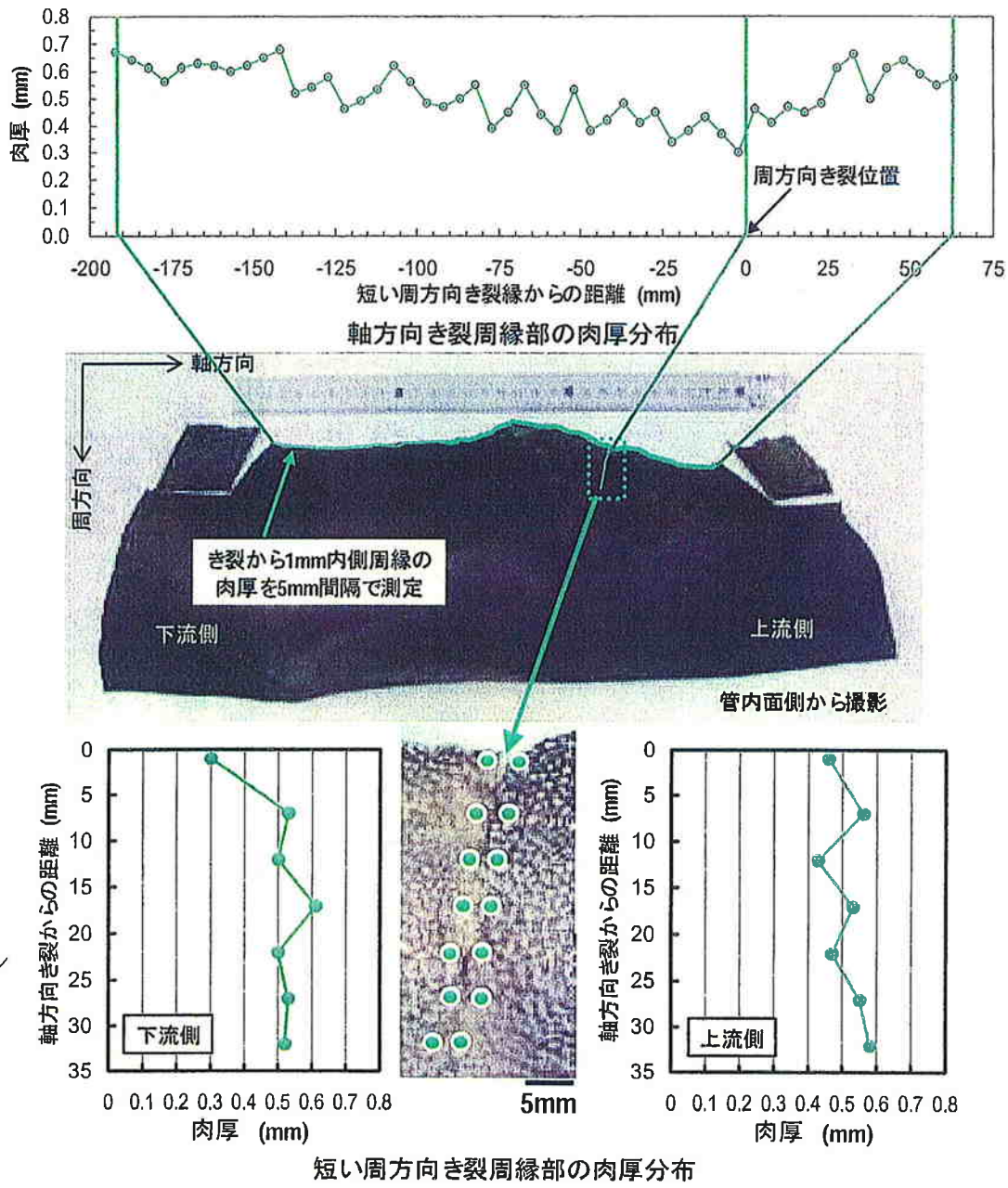
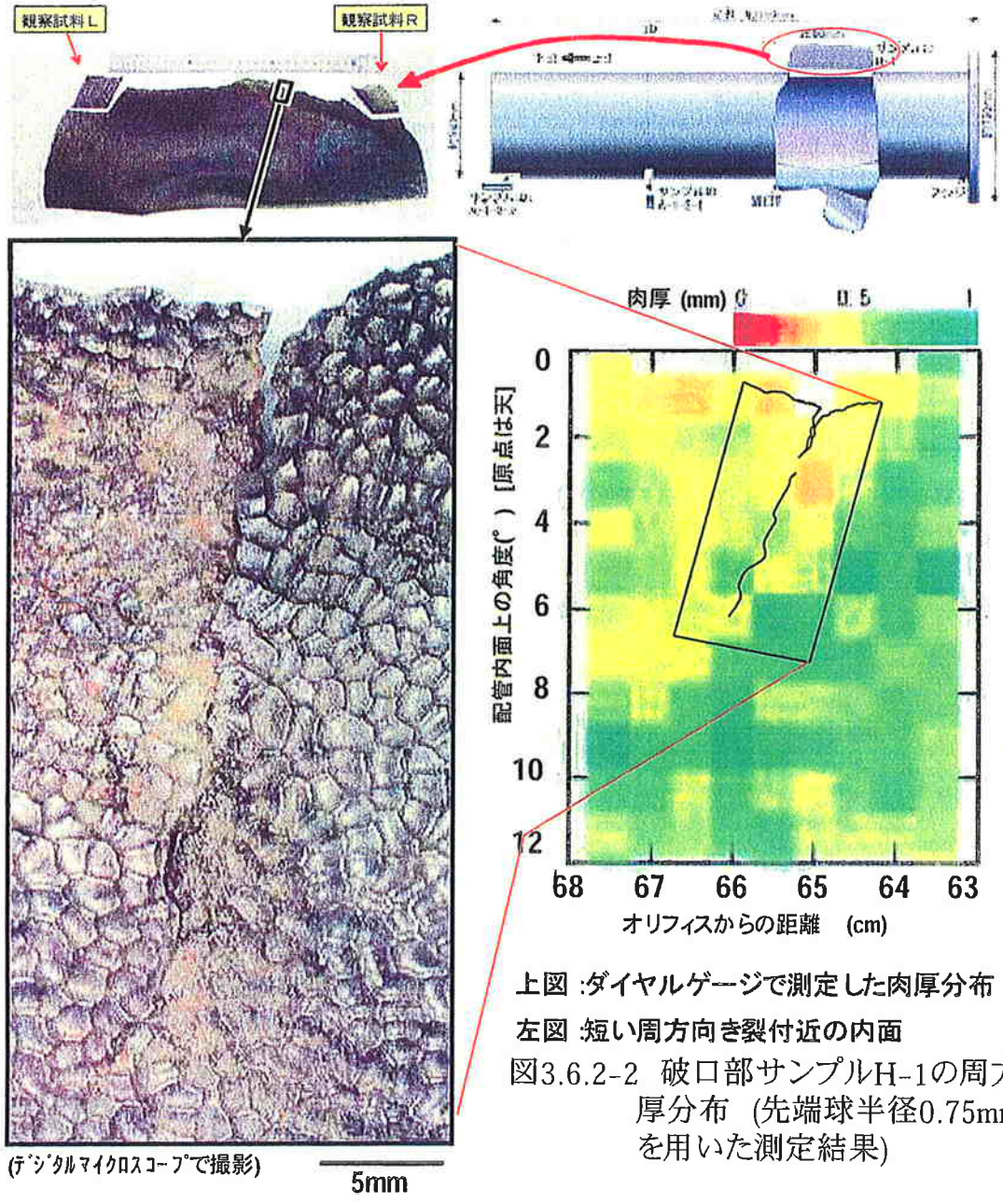


図3.6.2-1 破口部サンプルH-1の破断部き裂近傍の肉厚分布

(先端球半径0.75mm のダイヤルゲージを用いた測定結果)



上図 :ダイヤルゲージで測定した肉厚分布

左図 :短い周方向き裂付近の内面

図3.6.2-2 破口部サンプルH-1の周方向き裂周辺の肉厚分布 (先端球半径0.75mmのダイヤルゲージを用いた測定結果)

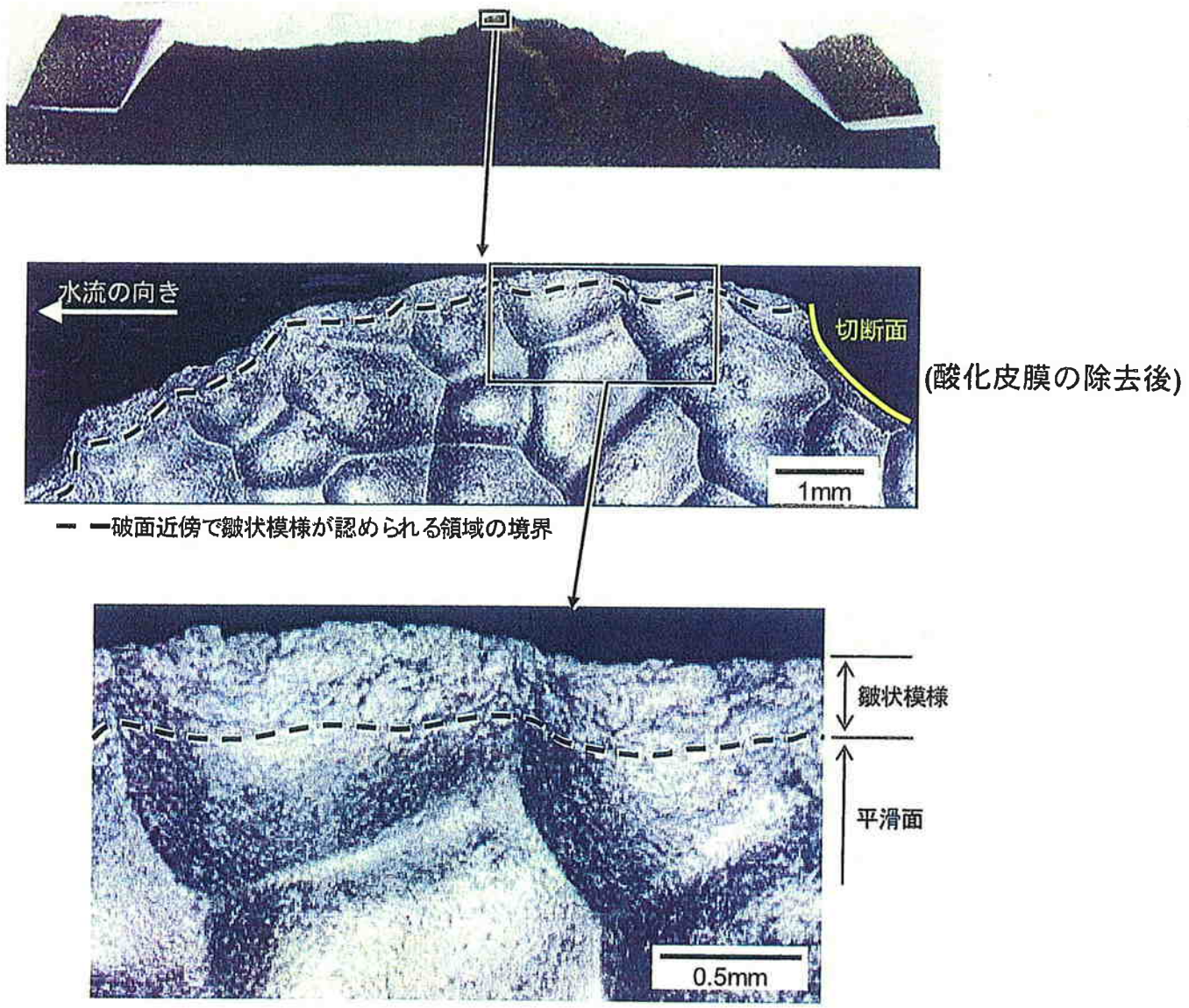


図3.6.2-3 破口部サンプルのき裂近傍における凹凸状況 (レーザ顕微鏡による観察結果)

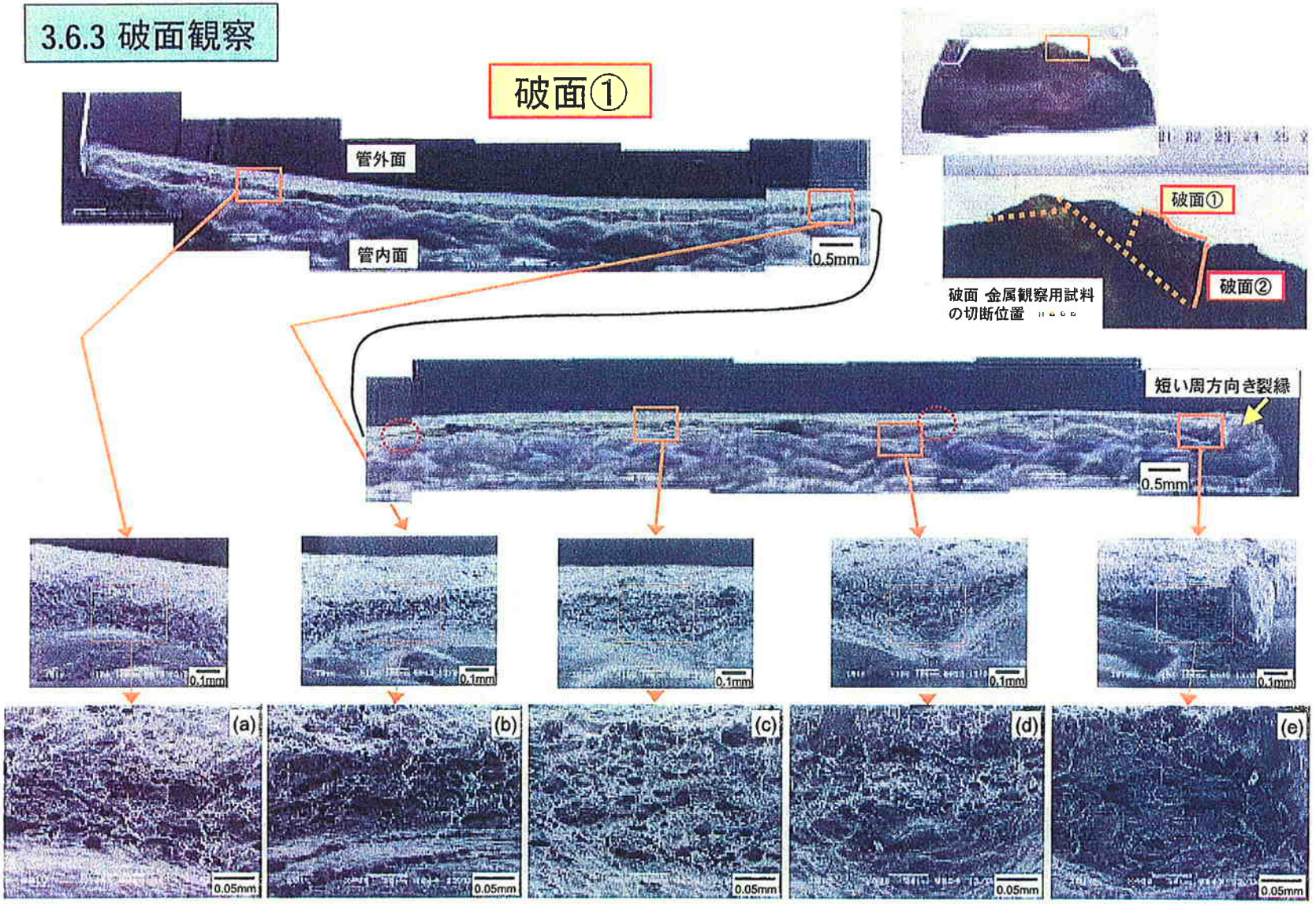


図　軸方向き裂の破面SEM写真

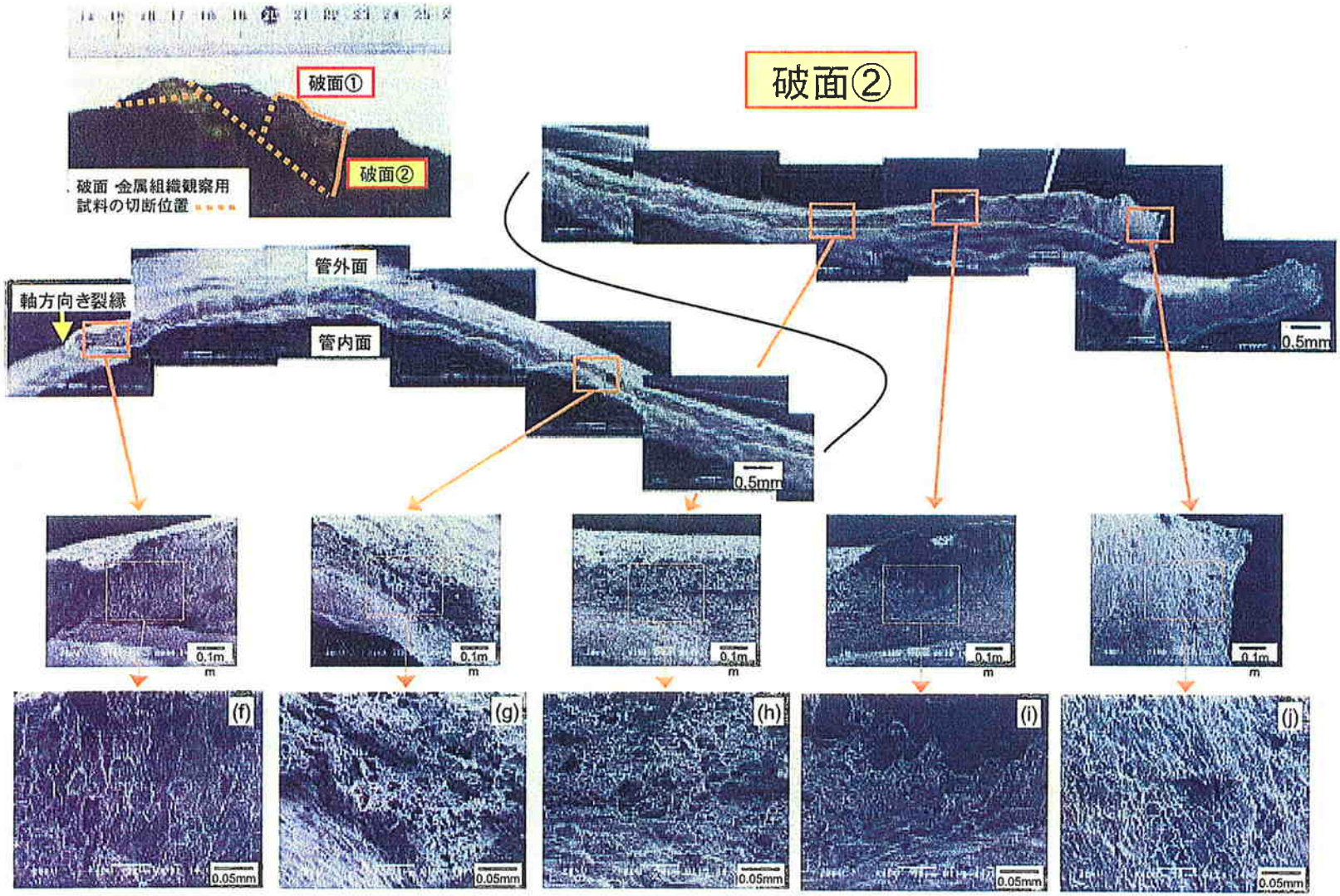


図　短い周方向き裂の破面SEM写真

3.6.4 破口部金属組織観察及び硬さ試験

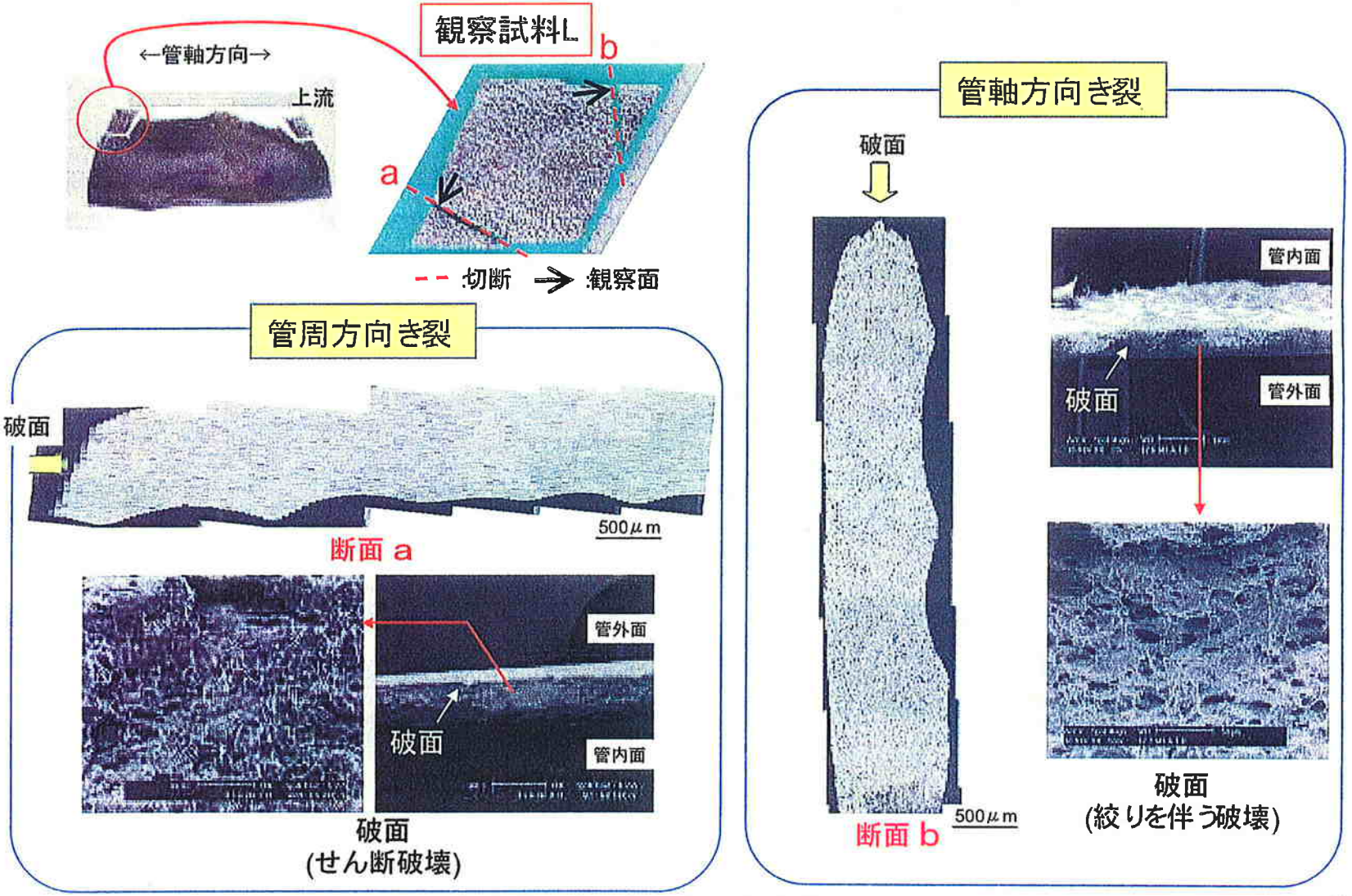


図　破面と断面金属組織の対応

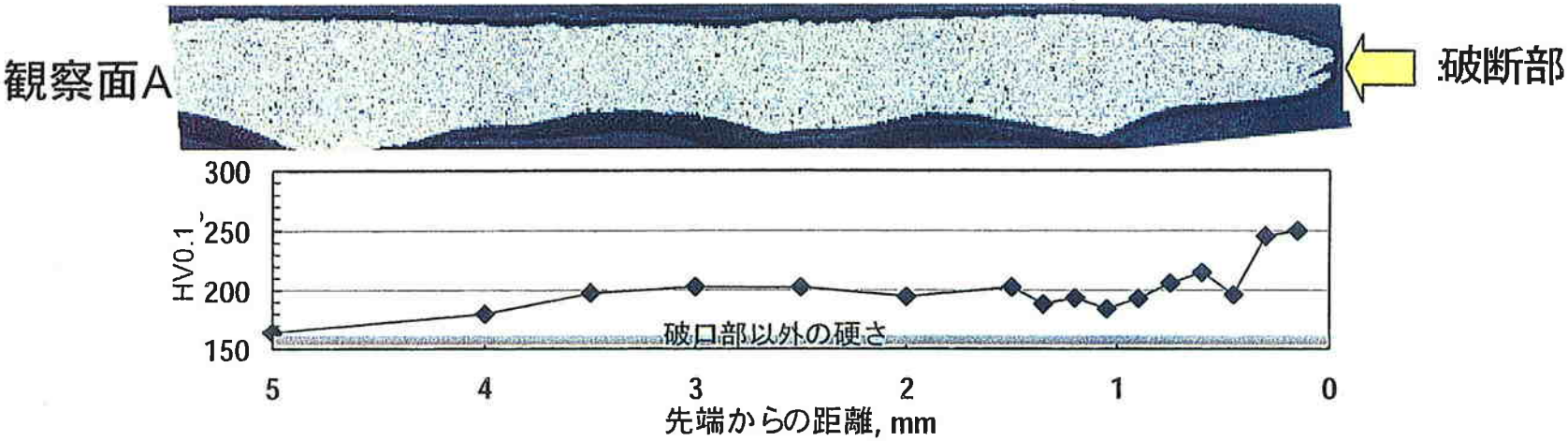
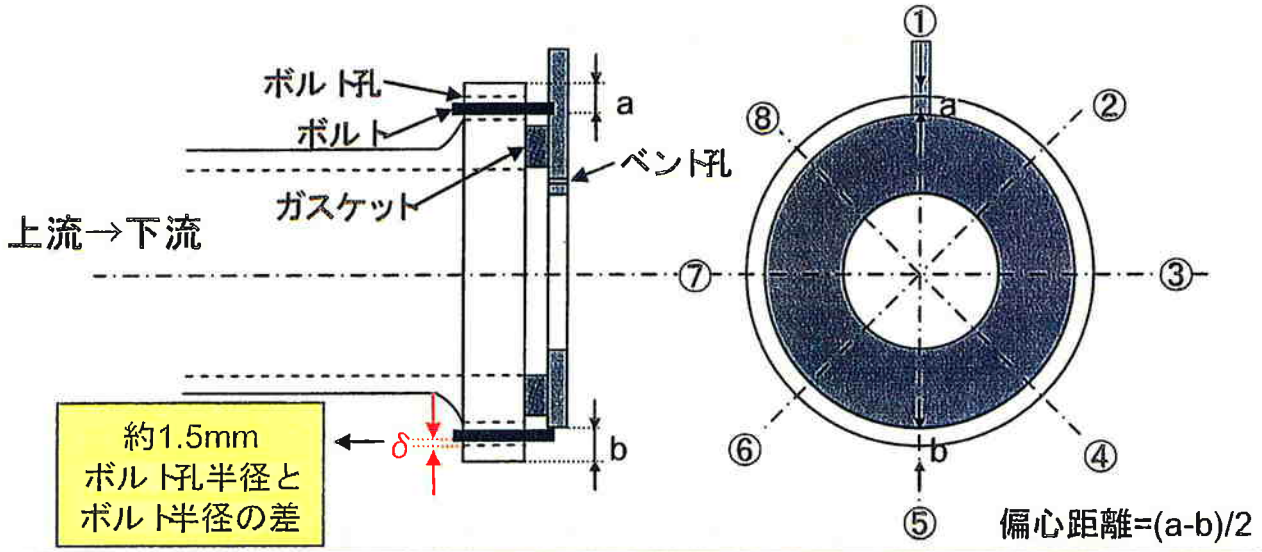


図3.6.4-3 破口部サンプルの破断部近傍の断面における硬さ分布
観察面A :短い周方向き裂)

3.7 オリフィス及び周辺状況調査



	①－⑤方向	②－⑥方向	③－⑦方向	④－⑧方向
A系	⑤へ約0.5mm	⑥へ約1.0mm	⑦へ約0.5mm	⑧へ約0.2mm
B系	⑤へ約1.2mm	⑥へ約0.2mm	③へ約0.9mm	④へ約1.1mm

図3.7-1 オリフィスの偏心状況

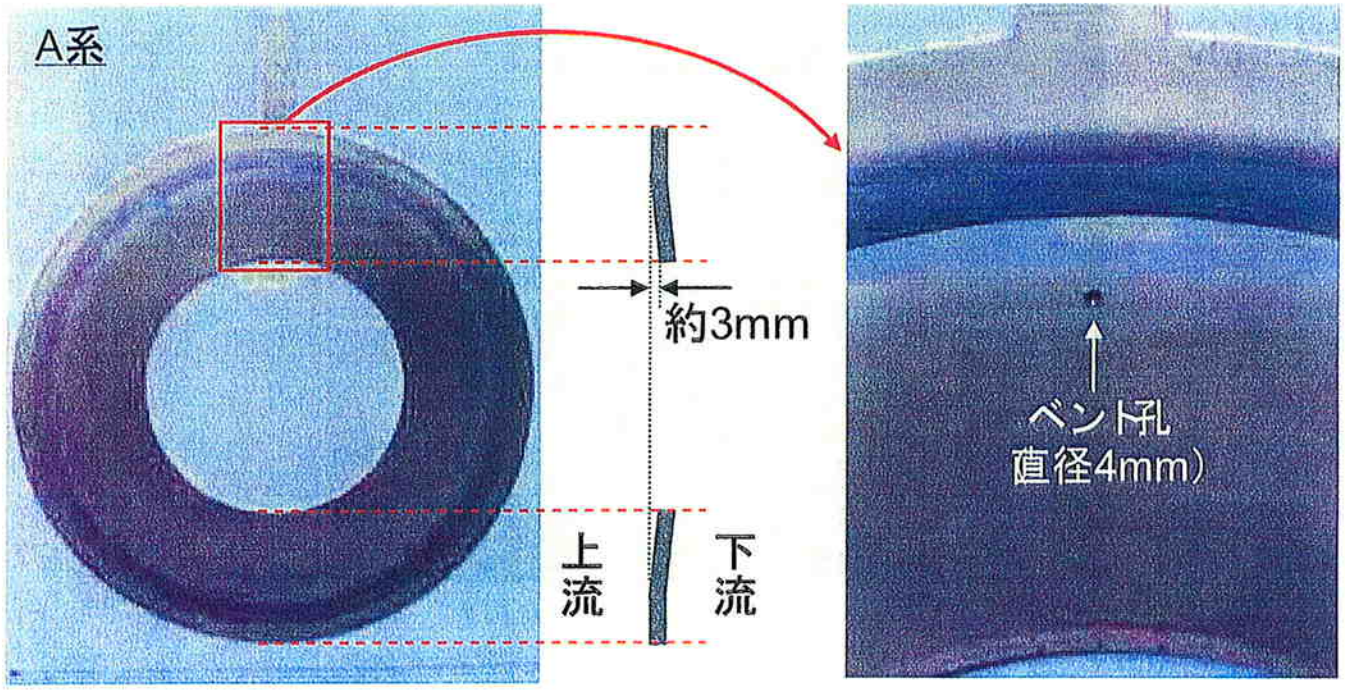


図3.7-2　A系配管オリフィスの外観及び変形状況

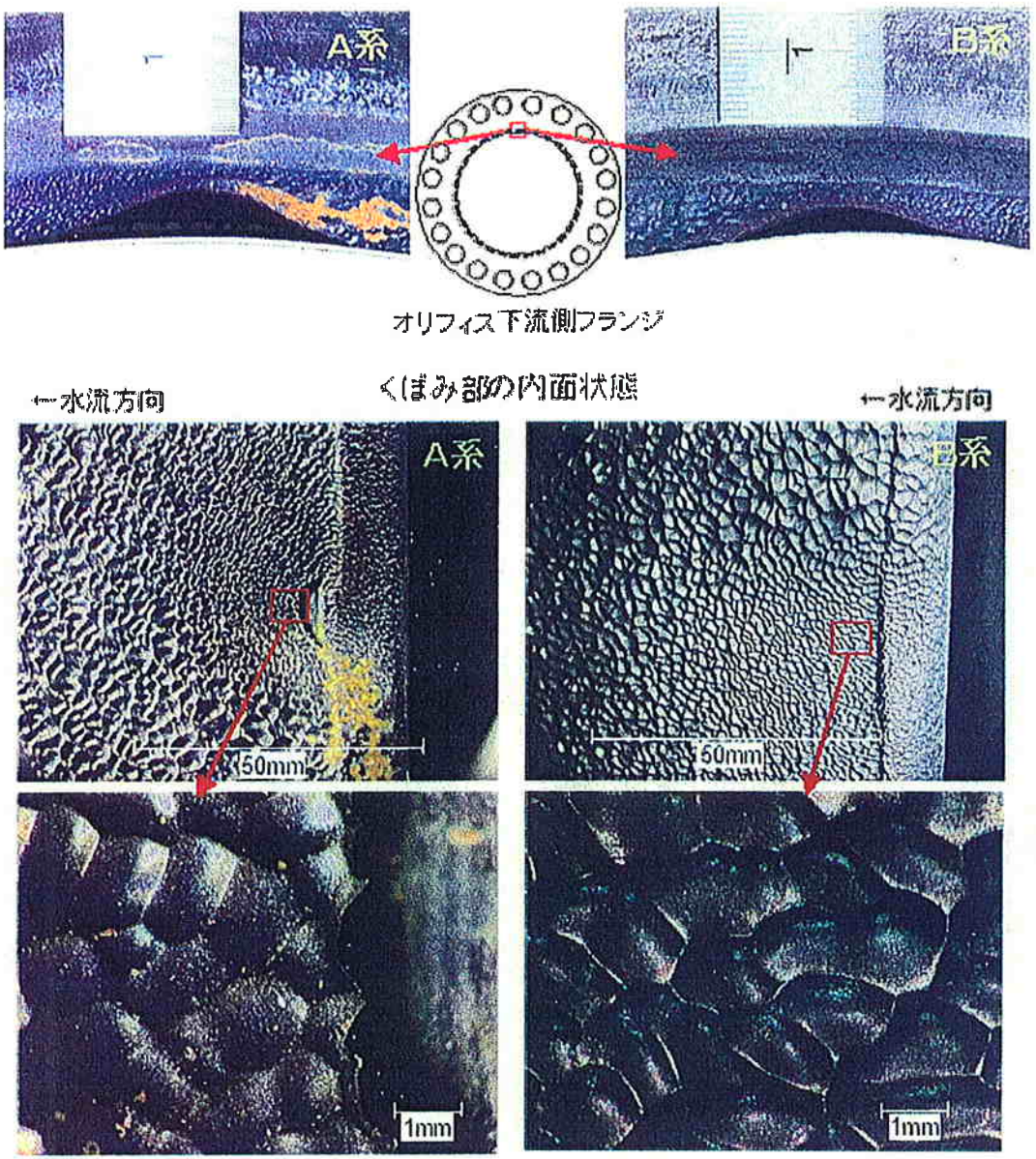


図3.7-3 A系及びB系配管のオリフィスベント孔下流部における減肉状況

3.8 考察

(1)減肉の原因に関して

1. 減肉部の内面

・表面の滑らかな鱗片状模様がほぼ全面に観察された
・管材料は炭素鋼であり、復水温度は約140℃であった
・材料検査からはA系とB系の配管材料に相違は見つからなかった
・破損箇所は流れに乱れが生じるオリフィスの下流部であった
・冷却水の未飽和度が高くキャビテーションの発生は考えられない

→ A系及びB系配管の減肉は、いわゆるエロージョン・コロージョンによる

2. 減肉の分布

・A系配管下流部は、天部付近の減肉が著しく、底部付近では減肉が少なかった
・B系配管下流部は、全周にわたってほぼ均一に減肉していた

→流況解析の結果、A系配管内ではB系に比べ大きな旋回流が生じていたため、減肉分布の違いは、流動状況の違いが原因である可能性がある

ただし、これまでの種々のプラントでの運転経験や実験データ等のばらつきが2～3倍程度あることを考慮すると、A系及びB系配管の最大減肉量は9.6mmと8.2mmであり、従来知見のばらつき範囲内であるといえる

(1) 減肉の原因に関して（つづき）

3. エルボ部の減肉

・直管との溶接部を境に、鱗片の大きさと減肉量に大きな違いがあった

→直管との化学成分や製造時の管内面状態の相違等が影響した可能性がある

・エルボ部270°付近(曲り部腹側)では減肉がやや大きかった

→流況解析における乱流エネルギー分布と一致したため、流動状況の違いが原因である可能性がある

4. その他の状況

・オリフィスベント孔の下流側には、配管の減肉と貫通が見られた

→減肉は局所的であり、破口部の減肉に影響を与えたとは考えられない

→当該個所については、局所的な減肉であり、フランジが補強部材となることからも、配管の大きな破口を引き起こす可能性はない

・サポートに接触するA系配管外面には、特異な腐食は観察されなかった

・サポート位置付近で減肉状況が変化している様子はなかった

→A系配管の減肉に対するサポートの影響はなかったと考えられる

・A系配管底部には、層状の厚い酸化皮膜(マグネタイト)が存在していた

・酸化皮膜の内部に金属Cuの析出が見られた

→Cuは、上流側の機器に用いられている銅系合金から溶出したものと推定される

(2) 破損部の状況

1. 破壊モード

・破口部の破面には延性破壊の特徴であるディンプルが観察された
・疲労き裂や応力腐食割れは観察されなかった
・破面近傍には、塑性変形に伴う硬さの上昇と変形した金属組織が観察された

→破壊モードは延性破壊である

2. き裂進展経路

・鱗片の頂部と底部の高低差は、約0.1mm～0.2mmであった
・高い部分（厚い部分）は山脈状になっていた
・き裂は鱗片状模様の底部（薄い部分）を縫うように進展した

3. 破口部の状況

・配管破損部は元通りに復元でき、破損に伴う破片の発生はなかった
・破口部周囲の寸法は、未破損部と変化無く、巨視的な配管の膨れはなかった
・0°位置の軸方向き裂と上流・下流側の両開き状の周方向き裂で形成されていた
・上流側から見て右側の破口は、肉厚の大きな溶接部で停止していた
・軸方向き裂には、等軸ディンプル及び軸方向の伸長ディンプルがあった
・周方向き裂には、肉厚方向の伸長ディンプル及び傾きを有する破断面があった

→周方向き裂はせん断破壊モードで進展した後停止したものと推定される

(3) 破損の原因 次頁図参照）

1. 破壊の発生

・破口部の軸方向き裂近傍の肉厚は、0.3mm～0.7mm。最薄部は0.3mm～0.4mm

・運転荷重により当該配管が延性破壊に至る肉厚の計算値は0.6mm～0.7mm

・サポートからの荷重の影響は小さく、内圧による周方向応力が最大である

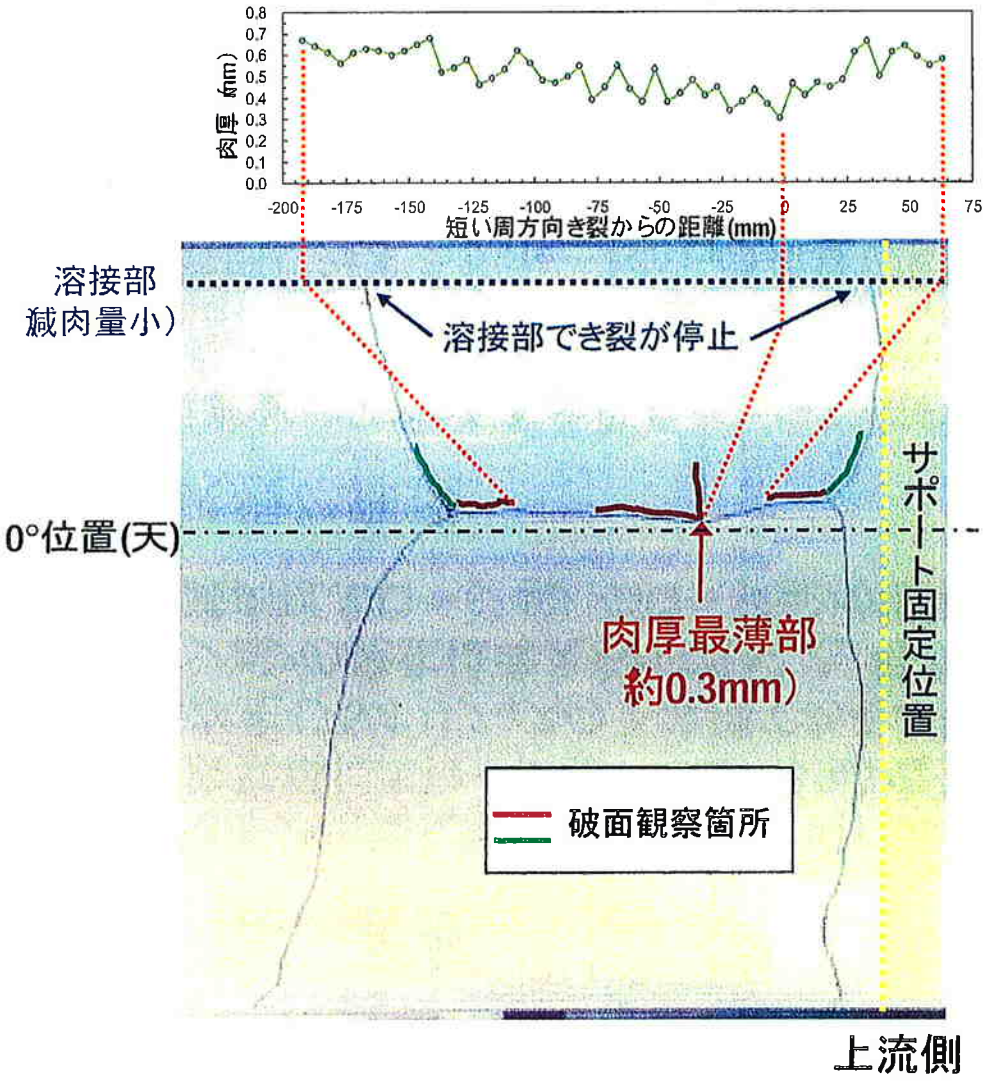
→運転荷重に耐えうる肉厚以下に達するまで減肉が進行した後、周方向応力に垂直となる軸方向き裂を起点とした延性破壊が発生したものと推定される

2. 破壊の進行過程

・破面観察からは、き裂の起点部を特定することは困難であった

・軸方向き裂に等軸ディンプル及び軸方向の伸長ディンプルが多数観察された

→最薄部を中心に発生した軸方向き裂が、上流側・下流側に進展し、応力条件の変化を受けて周方向へのき裂の枝分れに至ったと推定される



破口部き裂周縁の肉厚測定
き裂縁から約1mm内側を測定）
- 軸方向き裂周縁の肉厚は、当該配管が延性破壊する肉厚の計算値である0.6～0.7mm以下であった
- 肉厚最薄部は0.3～0.4mm

破面観察
- 破壊の起点は特定できなかった
- 軸方向き裂及び短い周方向き裂(ー)：等軸あるいは伸長型ディンプル破面
- 周方向き裂(ー)：伸長型ディンプル面及び傾きを有する破断面

破壊の発生及び進行過程
① 肉厚の最薄部を中心として延性破壊により軸方向き裂が発生
② 軸方向き裂の上流側・下流側への進展
③ 応力条件の変化*による周方向へのき裂の枝分かれ、及びせん断によるき裂の進展

* 破口部の形状変化や噴出水による流体力による二次的荷重、減圧による周方向応力の低下、破口部の肉厚変化、サポートの存在、等

図　破損の原因について

4. 結論

(1) 減肉の原因

減肉部の内面に鱗片状模様が全面に観察されたこと、復水温度の約140℃では炭素鋼にエロージョン・コロージョンを生じやすいこと、破損箇所は流れに乱れが生じるオリフィスの下流部であること、当該配管の流動条件からキャビテーションの発生は考えられないこと、等から、A系、B系配管の内面で生じていた減肉はエロージョン・コロージョンが原因である。

(2) 破損の原因

A系配管オリフィス下流部における配管破損は、ディンプル破面の状況及び軸方向き裂近傍の硬さ分布と金属組織から、延性破壊によるものである。

破損部に対するサポートからの荷重の影響は小さく、内圧による周方向応力が最大となることから、延性破壊は、運転荷重に耐えうる肉厚以下にまでに減肉が進行した結果、最薄部を中心に延性破壊による軸方向き裂が最初に発生したと推定される。この後、軸方向へき裂が進展し、周方向への枝分れに至ったと推定される。

美浜3号機　二次系配管破損事故の要因分析

（事象）	（要因）		（調査項目）	（調査結果）	（別添資料番号）	（評価）
配管破損	設計	材料不良	配管材料選定ミス	・使用条件確認 ・材料要求仕様確認	当該配管部に使用している材料は、最高使用圧力、最高使用温度を考慮し「発電用火力設備の技術基準」に基づいた材料仕様を満足していることを確認した。	4－3－1	×
			配管材料成分不良	・材料仕様（ミルシート）確認 ・材料成分分析確認	配管材料成分についてミルシートを調査した結果、要求仕様を満足していることを確認した。また、実機材料成分については、第7回事故調査委員会において「A系、B系配管ともに、材料規格を満足していた。また、ミルシートとほぼ同一値であった」ことが報告されている。	4－3－1 添付資料4－2	×
			オリフィス材料不良	・材料仕様（ミルシート）確認	オリフィス材料成分についてミルシートを調査した結果、要求仕様を満足していることを確認した。	4－3－2	×
		設計不良	配管設計不良	・配置配管設計確認	「発電用火力設備の技術基準」および「ANSI（ASME）B31．1」に基づき設計し、適切なサポート支持条件であること、また、当該配管の切断前後の切断端移動量の計測結果から算出した発生応力も許容応力に対して十分小さいことを確認した。	4－3－3 4－3－4	×
			オリフィス設計不良	・オリフィス選定根拠確認	JIS規格およびASME規格を適用した設計を行い、設計条件、運転条件を考慮した設計仕様であることを確認した。	4－3－5	×
			支持構造物設計不良	・設計図面確認	「発電用火力設備の技術基準」及び「ANSI(ASME)B31.1」に基づき設計し、適切なサポート支持条件としている。	4－3－4	×
	製作	製作不良	配管材の製作工程不良	・配管の製作及び検査フローの確認	「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。	4－3－6	×
			配管寸法・形状不良	・配管形状	A系配管およびB系配管の実機配管の寸法を測定した結果、A系配管の破損部分の下流側で類似配管に適用されるJISの外径の許容差を超えるものが一部あるが、A系配管のそれ以外の部分、および、B系では超えるものがないことを確認した。	添付資料4－1	×
			オリフィス寸法・形状不良	・主要寸法・形状確認 ・成績表	オリフィス納入時の成績書を確認し、寸法が要求仕様を満足していることを確認した。	4－3－2 添付資料4－1	×
	施工	据付不良	配管据付不良	・据付及び検査フローの確認	「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。なお、現地において刻印を確認し、計画どおり施工されていることを確認した。	4－3－6	×
			支持構造物据付不良	・据付施工要領等確認 ・据付の現地確認	当該配管の切断前後の切断端移動量の計測結果から算出した配管の発生応力が許容応力に対して十分小さいことを確認した。	4－3－4	×
	保守	保守不良	配管管理不良	・保守記録確認	当該部位はPWR管理指針において管理すべき箇所として登録されていれば適切な管理が可能であったが、登録漏れのため、PWR管理指針に則った管理が行われていなかった。	－	○
			オリフィス管理不良	・オリフィス取付状況調査	取付状況を現地調査により確認し、オリフィス穴径の中心位置のずれ想定されるずれの最大値の範囲内であることを確認した。	添付資料4－1	×
			支持構造物管理不良	・保守記録確認	保全指針に基づく点検手入れ、低温・高温停止時の確認を行っており、第20回定期検査時に当該部位を含む復水配管ヘッダから脱気器までの支持構造物の外観目視点検を実施し、異常のないことを確認した。	4－3－7	×
	運転・環境	水質管理	水質管理不良	・水質管理記録確認	2次系の水質管理履歴を調査した結果、給水、復水のpH、溶存酸素など給水処理に係わる水質データはいずれも水質管理値内に維持されていた。また、2次系給水処理は運転開始当初からAVT、最近ではETA処理等が計画的に行われているなど、各種対策により経年的に給水鉄濃度も低減してきていることから、運転開始以降当該部位の水質環境について特異な点は認められない。	4－3－8	×
		腐食	ｴﾛｰｼﾞｮﾝ/ｺﾛｰｼﾞｮﾝ	・内面観察 ・肉厚測定	A系配管（破損配管）のオリフィス下流側について、破口部からデジタルマイクロスコープで内面を観察した結果、残留水によって表面が腐食し表面状態が変化したと推定される180°位置（配管底部）を除くすべての内面に、約1mm幅の鱗片状模様が一様に認められた。オリフィス近傍では、鱗片状模様は約3～5mm幅とやや大きいものであった。 当該配管の材料は炭素鋼であり、内面に鱗片状模様が認められたことからエロージョン／コロージョンであると考えられる。	添付資料4－1	○
		機械的減肉	ｷｬﾋﾞﾃｰｼｮﾝ/ｴﾛｰｼﾞｮﾝ	・ｷｬﾋﾞﾃｰｼｮﾝ発生の可能性有無の検討 ・内面観察	当該配管の設計条件では、復水配管流量計オリフィスは流れによる減圧による蒸気泡発生条件に対して十分余裕があり、キャビテーションは発生しない。また、内面観察の結果からもキャビテーション／エロージョンは認められなかった。	添付資料4－1 4－3－10	×
			フレッティング摩耗	・フレッティング摩耗発生の可能性有無の検討	オリフィスと配管フランジの合わせ面および配管を支持しているスプリングハンガーの取付部は、すべりが生じないため、フレッティング摩耗は発生しないことを確認した。	4－3－9	×
		疲労	流体振動	・流体振動発生の可能性有無の検討	当該系統の各ポンプのNZ成分と当該配管の固有振動数とは大きくかけ離れており、共振する可能性はないことを確認した。	4－3－11	×
			機械振動	・機械振動発生の可能性有無の検討	共振の可能性のある各ポンプと当該配管の間は固定サポートにより振動が伝わらない構造になっており共振する可能性はないことを確認した。	4－3－11	×
			圧力・熱サイクル	・圧力、温度、流量確認 ・運転履歴調査 ・熱疲労発生の可能性有無の検討	当該配管に影響を及ぼした可能性のある過去事象を調査した結果、給水流量、圧力、温度の影響や過去事象の発生回数が設計の想定範囲内であることを確認した。当該配管には、温度ゆらぎやキャビティーフロー型熱成層が生じないため、熱疲労は発生しないことを確認した。	4－3－12 4－3－9	×
		延性破壊	異常昇圧	・運転パラメータ調査	当該事象発生直前の運転パラメータからは、通常運転時に認められるパラメータの変動を大きく上回る変化は認められなかった。	4－3－13	×
	破損のトリガー			・運転パラメータ調査 ・聞き取り調査他 ・周辺作業実施状況調査	運転パラメータ調査、聞き取り調査他および周辺作業実施状況調査の結果から、トリガーとなる事象は認められないことを確認した。	4－3－13	×

別添４－３－１

最高使用圧力、温度を考慮した材料仕様であるか。
計画している材料 SPEC とミルシートを調査し、SPEC を満足しているかの確認。

【検討目的】

当該配管部(第４給水加熱器～脱気器)に使用する規格に合致していることを確認し、設計条件、運転条件を考慮した材料設計であることを確認する。

【検討内容】

材料の選定

当該配管の最高使用圧力は 13 kgf/cm^2（1.27MPa)、最高使用温度は 195℃であり、強度的に余裕のある材料を使用実績のなかから選定し SB42 とした。

当該配管部に使用している材料（SB42）は、「発電用火力設備の技術基準」別表第一に記載されている。別表第一から、当該部の最高使用温度（195℃）においても十分な強度が確保されることを確認する。(最高使用圧力は材料選定後、肉厚決定時に使用する。)

具体的には選定した SB42 材料は、350℃まで許容引張り応力が低下せず、最高使用温度を考慮しても適切な材料仕様であることを確認する。

材料	各温度における許容引張応力		
SB42	温度（℃）	-10 -5 0 40 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350	375
	引張応力	← 10.5 kgf/mm^2 →	9.9 →
		最高使用温度：195℃	

材料要求仕様と計測値は下記のとおり（当該部ミルシートより）

	引張試験			化学成分(%)				
	降伏点 kgf/mm^2	引張強さ kgf/mm^2	伸び %	×100 C	×100 Si	×100 Mn	×1000 P	×1000 S
計測値	28	45	28	15	21	63	14	13
基準値	≧23	42～50	≧23	≦24	15～30	0～80	≦35	≦40

【検討結果】

当該配管部(第４給水加熱器～脱気器)は最高使用圧力、最高使用温度を考慮した「発電用火力設備の技術基準」に基づいた材料仕様であり、ミルシートについても要求を満足していることを確認した。

以　上

別添４－３－２

最高使用圧力、温度を考慮した材料仕様であるか。
計画している材料 Spec とミルシートを調査し、Spec を満足しているかの確認。

【検討目的】

当該配管部に取り付けられているオリフィスについて、材料選定の考え方、材料 Spec 確認を行う。

【検討内容】

１．材料選定の考え方および妥当性

流量計測用オリフィスは流量に応じた圧力損失を発生させることを目的としており、特に経年的にも形状が変化しにくいことが求められる。

このため、オリフィスプレートの材質としては、耐摩耗性、耐蝕性にすぐれたステンレス鋼が一般的に採用されており、美浜 3 号機の流量計測用オリフィスプレートもステンレス鋼を採用している。

ASME 規格や JIS 規格などにおいても、ステンレス鋼が一般的に採用されている旨記載されている。

２．材料 Spec 確認

現在使用しているオリフィスは平成５年に取替えされており、取替え時に立会検査(材料確認，寸法検査，外観検査)を実施し，必要事項を満足している事を確認している。

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
規格値	～0.08	～1.00	～2.00	～0.045	～0.030	8.00 ～10.50	18.00 ～20.00
ミルシート	0.05	0.56	1.20	0.027	0.003	8.29	18.14

（単位は％）

低圧タービンロータ取替（LPR）前後の性能を精度良く比較するため、復水流量オリフィスの検定を実施している。LPR の１回前の定検時に、既設オリフィスを取外し、工場に持ち帰り検定後、再復旧する方法も可能であるが、多くのプラントでは、工程上有利な新製オリフィスを検定して、オリフィスの取替を実施している。

【検討結果】

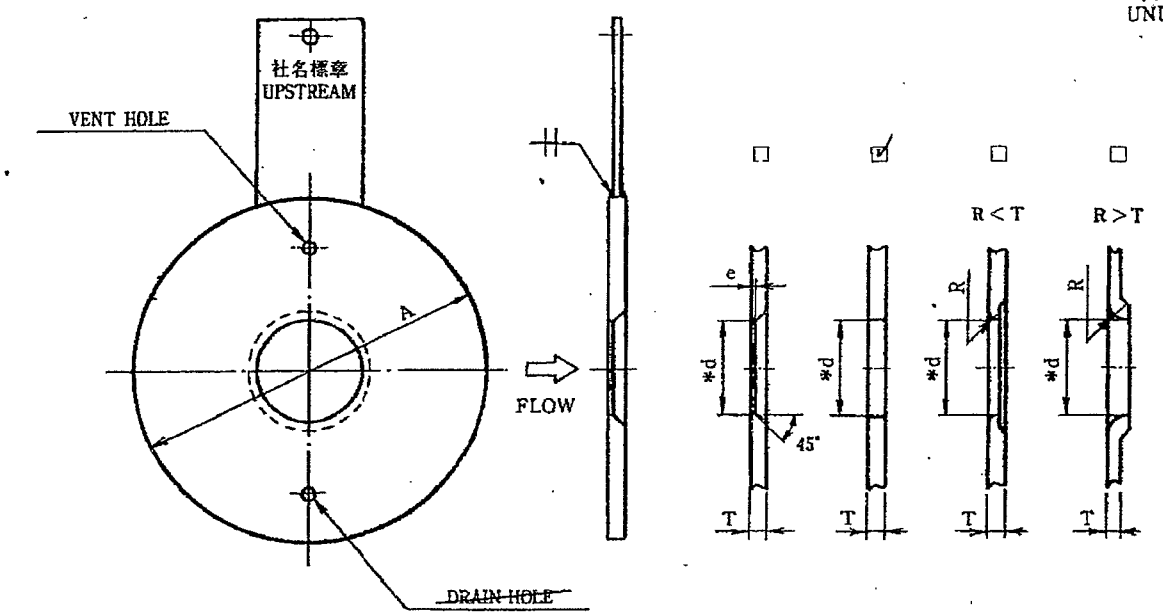
材料選定の考え方、材料 Spec 確認を行い、それらの妥当性を確認した。

以上

成　績　表
TEST CERTIFICATE

製品名称 PRODUCT NAME	オリフィス・プレート（FOP） ORIFICE PLATE (FOP)	タグNo. TAG NO.	3FE-3201A
形名 MODEL	FOP550-EHR-27-16K/G		
手配No. ORDER NO.	D3H2006-01-001-01	計器番号 SERIAL NO.	6031BA105

単位 UNIT : mm



*d : ORIFICE DIAMETER (AT20℃)

項目 ITEM	基準寸法 SPECIFIED DIMENSION	許容差 TOLERANCE	実測値 MEASURED VALUE
*d	335.3	±0.335	1: 335.24, 2: 335.24, 3: 335.24, 4: 335.24, AV.: 335.24

項目 ITEM		結果 RESULT
外観 APPEARANCE		良 GOOD
寸法 DIMENSION	絞り径(d)を除く寸法(左表参照) OMIT THROTTLE DIAMETER (SEE LEFT TABLE)	良 GOOD
材料確認 MATERIAL CONFIRMATION	当該QISによる REFER TO QIS CONCERNED	良 GOOD
モリブデンテスト MOLYBDENUM TEST	モリブデンを含む材料の場合 IN CASE MATERIAL CONTAINS Mo	=======
液体浸透探傷試験 LIQUID PENETRANT TEST	呼び径1100A以上の栓とプレートの溶接部 FOR WELD OF TAB HANDLE AND PLATE WITH NOMINAL SIZE 1100A AND OVER	=======

項目 ITEM	基準寸法 SPECIFIED DIMENSION	許容差 TOLERANCE	
A	684.0	+1.0	-1.0
e ~~or R~~	e=T	====	====
T	5.0	+0.4	-0.4

NOTES

MHI高製立会者
H5. 9. 21

日付 DATE　1993-09-14

室内温度・湿度 AMBIENT TEMP. & HUM.　25 ℃ & 60 %

検査者 INSPECTOR

承認者 APPROVED BY

(YEWMAC用)　オリフィス・プレート(FOP)

YOKOGAWA

QIC-6E1B1-01C

設計条件(最高使用圧力・温度)、運転条件(流速)を考慮した配管仕様(外径、肉厚等)であるかの検討

【検討目的】

第４給水加熱器～脱気器の配管仕様の考え方、適用する規格を明らかにするとともに、使用する規格に合致していることを確認し、設計条件、運転条件を考慮した配管仕様であることを確認する。

【検討内容】

１．設計の考え方

配管仕様選定のベースとなる設計流量に対し、設計条件の整理を行なうとともに、口径・肉厚の選定要領が妥当であったか評価を行なう。PWR 二次系配管設計は、通商産業省令第 62 号（昭和 40 年 6 月 15 日施行）「発電用原子力設備に関する技術基準」省令第 34 条第 3 項(添付１)より「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 3 章の規定は、原子力発電所に施設する蒸気タービンおよびその附属設備について準用する。」とされており、二次系配管の設計にあたっては、材料の選定・耐圧部の強度計算については「発電用火力設備の技術基準」に基づいた設計を行なう。

また、高温配管をサポート等で拘束する事により発生する熱応力に対する設計については、「ANSI(ASME) B31.1」に基づいた設計を行なう。

２．設計流量,流速について、美浜 3 号設計時の先行実績との対比

美浜 3 号機設計時の先行実績（設計時期が近いプラント）

	配管口径	流量	配管流速
	(A)	(t/h)	(m/s)
美浜 3 号機	**550**	**1700(注)**	**2.2**
美浜 1 号機	500	1290	2.2
美浜 2 号機	550	1895	2.5
高浜 1 号機	550	1596	2.1
高浜 2 号機	550	1596	2.1
プラント A	550	2163	2.9
プラント B	550	2155	2.8

(注)実測値

3．配管仕様

当該配管は給水・復水系統内の下記の範囲にある。

「低圧第４給水加熱器」（固定点） ～ 「主復水ヘッダ」（固定点） ～ 「脱気器」（固定点）

配管に作用する力は固定点間で分割して検証されるので、自重・熱による変位の検討は次の範囲で行なうことで問題ない。

「主復水ヘッダ」（固定点） ～ 「流量計ｵﾘﾌｨｽ」（噴破部） ～ 「脱気器」（固定点）

検討方針としては「主復水ヘッダから流量計ｵﾘﾌｨｽを経て脱気器までの主復水管」を対象として、「発電用火力設備の技術基準」に基づいた配管の計算上必要な厚さと「ANSI(ASME) B31.1」に基づいた熱膨張及び収縮に対する検討を行なう。

（１）設計条件の整理

最高使用圧力；　13kg/cm^{2}g

最高使用温度；　195℃

運転条件(流速)；　2.2m/s

（２）口径・肉厚の選定

流速に対して規格上の制限はないが、復水管の流速を早くすれば配管口径を小さく出来る反面、圧力損失が大きくなり復水系ポンプの全揚程が高くなるとともに、系統設計圧力の上昇、駆動用所内動力が大きくなる。

通常、これらが最適となる点として復水管は流速 2～4m/s の範囲となるよう選定する。美浜３号機の復水管の流速は先行実績値も参考として 2.2m/s を選定する。

（3）内圧に対する検討

管の厚さ計算は工事計画認可申請書　添付資料　その２　資料２９「蒸気タービンに付属する管の耐圧部強度計算書」にて検討した。

「蒸気タービンに附属する管　管肉厚計算」
（発電用火力設備の技術基準　第十条－②－2－イによる）

$$t = \frac{P \cdot Do}{200S\eta + 2kP} + \alpha$$

P	：	圧力(kg/cm^2)
Do	：	管の外径(mm)
S	：	材料の許容引張応力(kg/cm^2)
η	：	継手の効率
k	：	材料と温度により決まる係数
α	：	付け代(mm)
t	：	計算上必要な厚さ(mm)

$$t = \frac{13.0 \times 558.8}{200 \times 10.5 \times 0.73 + 2 \times 0.4 \times 13.0} + 0$$

$$= 4.7$$

計算上必要厚さ＝4.7mm　＜　実際使用厚さ＝9.3mm

（＝ 称呼厚さ 10mm - 負の公差 0.7mm）

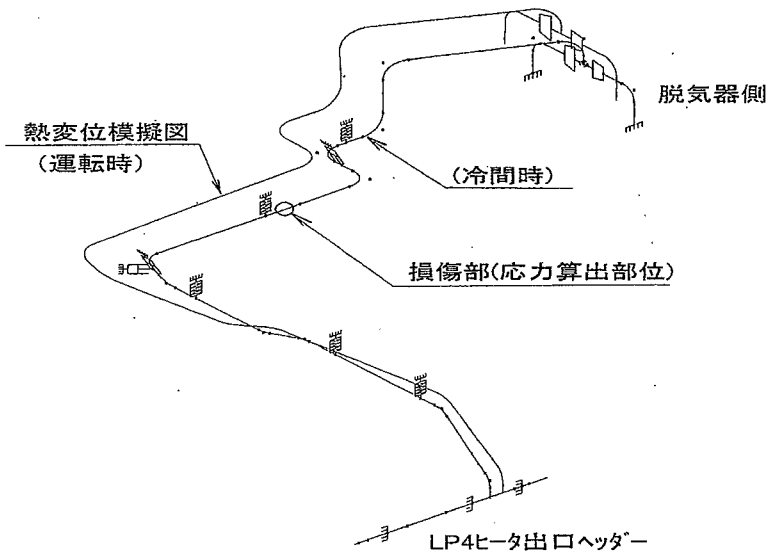
（4） 熱膨張及び収縮に対する検討

配管系統の最高使用圧力・温度条件と使用材料から許容引張応力と熱膨張量を決定する。次に配管ルートから熱応力解析ソフト(AutoPIPE)にて熱膨張および熱収縮に起因する反力やモーメントを計算し、内圧/自重/熱応力等を「ANSI(ASME) B31.1 104.8.1 Stress due to Sustained Loads.」により、評価した結果は以下の通りであり配管強度上問題は無い。

計算結果

区　分	発生応力（kg/mm^2）	許容応力(kg/mm^2）
一次応力 (損傷部位の内圧＋自重応力)値	3.0	10.5
二次応力 (損傷部位の熱応力)	0.2	15.7

熱膨張変位模擬図



【検討結果】

上記の通り、「発電用火力設備の技術基準」及び「ANSI(ASME) B31.1」に基づき設計され、発生応力が許容応力以下であることを確認した。

以上

サポート位置、取り付け等の決定根拠の確認。過大な応力が発生していないかの検討等

【検討目的】

第４低圧給水加熱器～脱気器のサポート位置、取り付け等に適用する規格を明らかにするとともに、設計条件、運転条件を考慮したサポート位置、取り付け等であることを確認し、当該部配管へ過大な応力が発生していないことを確認する。

【検討内容】

１．設計の考え方

PWR２次系配管のサポート、取り付け等の決定は配管設計の一環として行われている。適用する基準については、通商産業省令第 62 号（昭和 40 年 6 月 15 日施行）「発電用原子力設備に関する技術基準」省令第 34 条第 3 項により「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 3 章の規定は、原子力発電所に施設する蒸気タービンおよびその附属設備について準用する。」とされている。

サポート、取り付け等については、「ANSI(ASME) B31.1」に基づいた設計を行なう。

サポート支持スパンは「ANSI(ASME) B31.1」に配管の推奨支持スパン表があり、このスパン内にサポートを設置し、必要に応じて応力評価を行う。

なお、「ANSI(ASME) B31.1」の推奨支持スパンは下記に抜粋の通りであり、当該配管もこの範囲内にある。

Table 121.1.4

Suggested Pipe Support Spacing

Nominal Pipe Size, Inches	Suggested Maximum Span in Feet	
	Water Service	Steam, Gas, or Air Service
1	7	9
2	10	13
3	12	15
4	14	17
6	17	21
8	19	24
12	23	30
16	27	35
20	30	39
24	32	42

Note 1. Suggested maximum spacing between pipe supports for horizontal straight runs of standard and heavier pipe at maximum operating temperature of 750 F.

Note 2. Does not apply where span calculations are made or where there are concentrated loads between supports such as flanges, valves, specialties, etc.

Note 3. The spacing is based on a maximum combined bending and shear stress of 1500 psi and insulated pipe filled with water or the equivalent weight of steel pipe for steam, gas or air service, and the pitch of the line is such that a sag of 0.1 in. between supports is permissible.

NPS 22 Water Service の場合

22in 水管は左記推奨スパン表より換算し、

Maximum Span：31feet=9.4m

2．配管仕様

「第４低圧給水加熱器」（固定点） ～ 「主復水ヘッダ」（固定点） ～ 「脱気器」（固定点）

配管に作用する力は固定点間で分割して検証されるので、自重・熱による変位の検討は次の範囲で行なうことで問題ない。

「主復水ヘッダ」（固定点） ～ 「流量計ｵﾘﾌｨｽ」（噴破部） ～ 「脱気器」（固定点）

当該管の仕様

区　分	材　料	呼径(A)×肉厚(mm)
主復水ヘッダ～脱気器	SB42	550 × 10.0

3．サポート条件に基づいた配管応力の検討

配管をサポート等により拘束することにより発生する熱応力に対する設計については、「ANSI(ASME) B31.1」に基づき規定された許容応力値内になるように設計されていることを検討する。

配管ルートを計算機にインプットし、配管系全体の熱膨張応力(フレキシビリティ応力)を計算する。この時に配管系に過大な応力が発生しないことを確認する。
また、前述の配管支持スパンを超えるケースに於いては、内圧及び自重等による応力の評価を行う。この時の応力評価の考え方は、「ANSI(ASME) B31.1」に基づいて実施する。
これらの応力評価としては、次の通りとなる。

・フレキシビリティ応力≦f(1.25Sc＋0.25Sh)

Sh：材料の使用温度時の許容引張応力

Sc：材料の常温時の許容引張応力

f　：応力補正係数（運転サイクル 7000 回未満 f＝1）

・内圧＋自重等による１次応力≦Sh

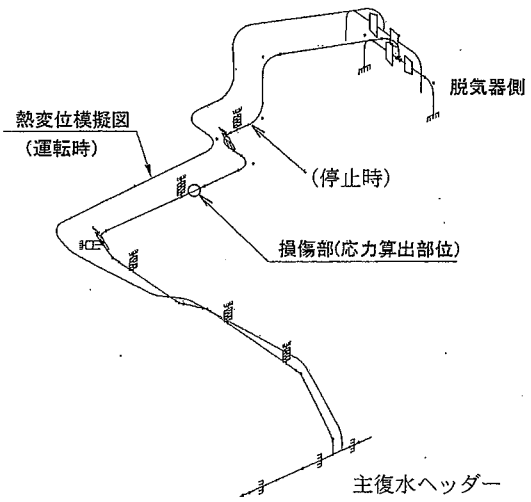
Sh：材料の使用温度時の許容引張応力

設計圧力、温度条件に基づき配管形状及び支持サポート条件について解析ソフト(AutoPIPE)にて熱膨張および熱収縮に起因する反力やモーメント、内圧/自重/熱応力等を計算し「ANSI(ASME) B31.1」により、評価した結果は以下の通りであり配管強度上の問題は無い。

計算結果

区　分	発生応力 (kg/mm²)	許容応力(kg/mm²)
一次応力 (損傷部位の内圧＋自重応力)値	3.0 (内圧:1.8+自重:1.2)	10.5
二次応力 (損傷部位のﾌﾚｷｼﾋﾞﾘﾃｨ応力)	0.2	15.7

熱膨張変位模擬図



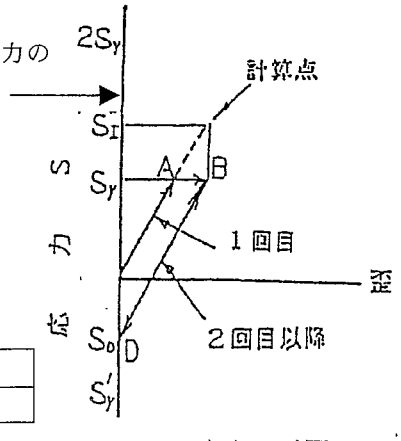
また、ﾌﾚｷｼﾋﾞﾘﾃｨ応力の許容応力値内は降伏応力の２倍以下であり、弾性挙動域である。変位は熱伸びにより発生するが、下図に示すとおり運転・停止の繰り返しがあっても配管が弾性挙動域にある限り、経年劣化は生じない。

S_y　：降伏応力（SB42、195℃）

S_I　：計算により求まる応力（ﾌﾚｷｼﾋﾞﾘﾃｨ応力）

S_I ＜ﾌﾚｷｼﾋﾞﾘﾃｨ応力の許容応力＜２Sy

ﾌﾚｷｼﾋﾞﾘﾃｨ応力	ﾌﾚｷｼﾋﾞﾘﾃｨ応力の許容応力	２倍の降伏応力
0.2kg/mm²	15.7kg/mm²	38.7kg/mm²

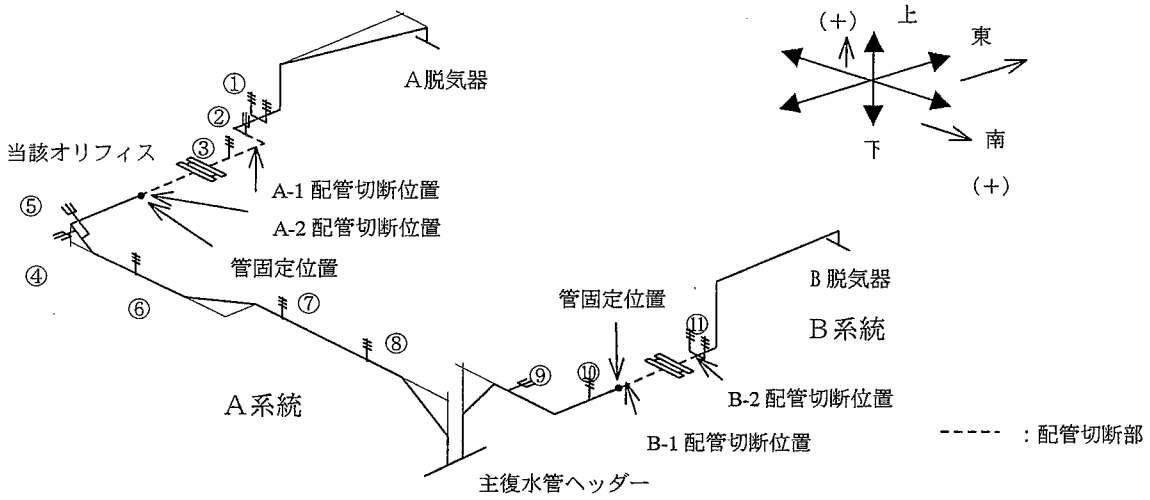


イメージ図

4．配管切断時の切断端移動量による配管応力の検討

当該配管（A系統）およびB系統の切断に伴う、切断前後の切断端の移動量を計測した結果から、配管を拘束したことにより発生していた応力を検討する。

配管切断時の配管支持位置



切断端移動量

単位：mm

A 系 統						B 系 統					
A-1			A-2			B-1			B-2		
東西	南北	上下	東西	南北	上下	東西	南北	上下	東西	南北	上下
3	30	6	-7	-5	0	-12	-1	3	-3	-29	7

計算結果

区 分	発生応力（kg/mm²）		許容応力(kg/mm²)
	損傷部（A系）	オリフィス下流部（B系）	
二次応力 (切断移動量＋熱移動量)	0.3 (切断:0.2+熱:0.1)	1.5 (切断:0.6+熱:0.9)	15.7

【検討結果】

上記のとおり「発電用火力設備の技術基準」及び「ANSI(ASME) B31.1」に基づき設計され、サポート支持条件に基づく発生応力が許容応力値以下に収まっていることを確認した。従って、弾性挙動域にあり、配管の設置位置からの移動などの経年劣化は生じない。また、配管切断に伴う切断前後の切断端の移動量を計測した結果から、配管に発生していた応力を検討した結果、得られた発生応力は、許容応力に対して十分小さく問題ないことを確認した。

設計条件（最高使用圧力・温度）、運転条件（流速）を考慮した設計仕様（外径、肉厚等）であるか。

【検討目的】

オリフィス部の設計仕様については、第４給水加熱器～脱気器の配管の設計仕様の検討結果に含まれている。そこで、当該配管に設置されているオリフィスについて、適用する規格を明らかにするとともに、設計条件、運転条件を考慮した設計仕様であることを確認する。

【検討内容】

１．オリフィスの設計の考え方

設計に対し適用する規格はオリフィス板の構造については、JIS 規格「絞り機構による流量測定方法」(JIS Z 8762)を準用し、流量係数αおよびオリフィス穴径の計算は、ASME 規格(APPLICATION Part Ⅱ of Fluid Meters Sixth Edition 1971)を適用している。

絞りの程度については、絞り(配管内径に対するオリフィス穴径)が大きいほど、測定精度が向上するが、同時に圧力損失が大きくなり、また、流況への影響が大きい(流れが乱れる)という特徴があるため、これらを考慮して絞り値を決定する。

２．オリフィスに関する規格内容

下記の ASME 式では、流速が変化しても流量係数αに変化が少ない領域で、繰り返し計算により、適切な絞り直径比βと△P を求める(別添別紙－４－３－５－１)。

$W = 0.012522\,\alpha\,\varepsilon\,Fa \cdot d_{20}^{2}\sqrt{(\rho \cdot \Delta P)}$、　$\beta = d/D$

入力　ρ：流体密度

ε：流体の膨張係数

Fa：オリフィス膨張係数

d_{20}：オリフィス絞り部の径

α：流量係数　　管内径とβとレイノルズ数より求める

R_D：レイノルズ数

d：絞り孔径

D：上流側管径

評価結果　△P：発生差圧

β：絞り直径比（オリフィス絞り部の径／配管内径）

JIS 及び ASME 規格の適用範囲は下記のとおりとなっている。
なお、最高使用圧力については、オリフィスは管内部に設置され、内圧の影響を受けないため、特に定められていない。また、温度に関する適用制限は規定されていない。

規格の適用範囲(建設当時)

	ｵﾘﾌｨｽ厚さ T	絞り直径比 β	流量係数 α	流量計算式
JIS(1969)の規定	なし	なし	なし	なし
ASME(1971)の規定	3/8in(推奨値)(不適用)	$0.2 \leqq \beta \leqq 0.75$(適用)※1	$\alpha = f(D)$※3(適用)※1	$W=0.012522\,\alpha\,\varepsilon\,Fa\cdot d_{20}^2\sqrt{(\rho\cdot\triangle P)}$(適用)※1
適用	メーカ標準※2(適用)	$0.2 \leqq \beta \leqq 0.75$	$\alpha = f(D)$	$W=0.012522\,\alpha\,\varepsilon\,Fa\cdot d_{20}^2\sqrt{(\rho\cdot\triangle P)}$
美浜3号機適用内容	5mm	0.6229	0.6580	同上
備考	※1 当該オリフィス(1D-1/2D タップ方式)は、当時 JIS に規定されていなかったため、ASME 規格を適用した。 ※2 オリフィス板の厚さは、タップ形式により変わるものではないため、JIS に規定(0.005D ≦T≦ 0.05D)のある他のタップ形式のオリフィスに準じた、メーカ標準を適用した。 ※3 $\alpha=(0.6014-0.01352D^{-1/4})+(0.3760+0.07257D^{-1/4})(0.00025/(D^2\beta^2+0.0025D)+\beta^4+1.5\beta^{16})+((0.0002+0.0011/D)+(0.0038+0.0004/D))(\beta^2+(16.5+5D)\beta^{16})\cdot 1000/\sqrt{R_D}$ 注：D の単位はインチ JIS(1969)の抜粋 2.1 一般事項 この規格のオリフィスは、コーナタップ、縮流タップ、フランジタップを有するものについて規定する。 2.2(5) エッジ厚さ(e)は $0.005D \leqq e \leqq 0.02D$ であること。 2.2(7) オリフィス板の厚さ H は、$e \leqq H \leqq 0.05D$ であること。			

規格の適用範囲(平成5年取替時)

	ｵﾘﾌｨｽ厚さ T	絞り直径比 β	流量係数 α	流量計算式
JIS(1988)の規定	0.005D≦T≦0.05D (適用)※2	0.2≦β≦0.75 (不適用)	$\alpha = f'(D)$※4 (不適用)	$W=0.012522\,\alpha\,\varepsilon\,Fa\cdot d_{20}^2\sqrt{(\rho\cdot\triangle P)}$ (不適用)
ASME(1971)の規定	3/8in(推奨) (不適用)	0.2≦β≦0.75 (適用)※1	$\alpha = f(D)$※3 (適用)※1	$W=0.012522\,\alpha\,\varepsilon\,Fa\cdot d_{20}^2\sqrt{(\rho\cdot\triangle P)}$ (適用)※1
適用	0.005D≦T≦0.05D	0.2≦β≦0.75	$\alpha = f(D)$※3	$W=0.012522\,\alpha\,\varepsilon\,Fa\cdot d_{20}^2\sqrt{(\rho\cdot\triangle P)}$
美浜3号機適用内容	5mm	0.6229 (0.6235)※5	0.6580 (0.6584)※5	同上
備考	※1 1D-1/2D タップ方式のオリフィスが、(1988 年)に規定されたが、既設オリフィスと同仕様とするため、ASME 規格を適用した。 ※2 オリフィス板の厚さは、メーカ標準を適用した。なお、メーカ標準は JIS 規定(0.005D ≦T≦ 0.05D)に基づいている。 ※3 $\alpha=(0.6014-0.01352D^{-1/4})+(0.3760+0.07257D^{-1/4})(0.00025/(D^2\beta^2+0.0025D)+\beta^4+1.5\beta^{16})+((0.0002+0.0011/D)+(0.0038+0.0004/D))(\beta^2+(16.5+5D)\beta^{16})\cdot 1000/\sqrt{R_D}$ 注：D の単位はインチ ※4 $\alpha=(0.5959+0.0312\beta^{2.1}-0.1840\beta^8+0.0029\beta^{2.5}(10^6/R_D)^{0.75}+0.0390\beta^4(1-\beta^4)^{-1}-0.0337\cdot 0.47\beta^3)/\sqrt{(1-\beta^4)}$ ※5 JIS 規格にて計算した値（2000T/H にて 5000mmH_2O の条件で計算） JIS(1988)の抜粋 6.1 一般事項 この規格のオリフィスは、コーナタップ、D·D/2 タップ、フランジタップをもつものについて規定する。 6.2(3)(a) エッジ厚さ(e)は 0.005D≦e≦0.02D であること。 6.2(3)(c) オリフィス板の厚さ(E)は、e≦E≦0.05D であること。			

3．美浜3号機のオリフィスの設計

（1）適用規格

オリフィスの設計は技術基準の要求はなく、ASME(1971)と、JIS(1969)に準じたメーカ標準に従い設計している。美浜3号機では H5 年の取替時も、取替え前と同一仕様とするため、建設時と同じく ASME(1971)と、JIS(1988)に基づくメーカ標準に従って設計している。

（2）美浜3号機オリフィスへの要求仕様

ASME 規格や JIS 規格などに基いて設計し、次に示す諸条件(測定範囲，構造(形状、接続部)，使用圧力·温度条件)を満たす仕様としている。

項目	設計条件	設計条件の根拠
• 最大流量	2000 T/H	ヒートバランスに基づく
• 配管サイズ	550A(φ558.8 × 10t)	系統線図に基づく
• フランジ規格	550A JIS16K RF	配管仕様書に基づく
• 流体	水	系統線図に基づく
• 常用流体温度	142.8 ℃	ヒートバランスに基づく
• 常用流体圧力	10 kg/cm2 G	通常運転時の脱気器圧力に余裕を付した数値
• Tag No.	3FE-3201A	計器リストに基づく
• 絞り直径比β	0.6229	$0.2 \leqq \beta \leqq 0.75$

なお、絞り直径比（β）はＡＳＭＥ規格($0.2 \leqq \beta \leqq 0.75$)により設計を行なえばよいが、圧力損失を極力少なくする観点からβを約0.6～0.7に選定する。

4．美浜３号機オリフィス仕様

使用されているオリフィスの仕様は下記のとおりであり、要求仕様どおりの製品となっている。

項　目	要求仕様	オリフィス計算書の記載内容	確認結果	
			取替前	取替後
最大流量	2000 T/H	Full scale：2000 T/H	適正	適正
配管サイズ	550A (φ558.8 ×10t)	Pipe Size：550A Pipe Inside/Outside Dia.：538.8/558.8mm	適正	適正
フランジ規格	550A JIS16K RF	Flange Rating：550A JIS16K RF	適正	適正
流体	水	Name of fluid：WATER	適正	適正
常用流体温度	142.8 ℃	Normal Oper. Temperature：142.8 ℃	適正	適正
常用流体圧力	10 kg/cm2 G	Normal Oper. Pressure：10 kg/cm2 G	適正	適正
Tag No.	3FE-3201A	Tag No.：3FE-3201A	適正	適正
絞り直径比(β)	$0.2 \leqq \beta \leqq 0.75$	Diameter Ratio: βt：0.6229	適正	適正

【検討結果】

オリフィスの設計に適用する規格を明らかにするとともに、設計条件、運転条件を考慮した設計仕様であることを確認した。

その他

(1)復水流量計型式の選定の考え方

プラント性能把握のために復水系統及び給水系統に流量計を設置しているが、計測の多様性を持たせる目的からフローノズルとオリフィスが使用されている。原則として給水流量計にオリフィスが用いられている場合は、復水流量計はフローノズルを使用し，給水流量計にフローノズルが用いられている場合は、復水流量計にはオリフィスを使用する。このことから美浜３号機では、給水流量計にフローノズルが用いられているため、復水流量計にオリフィスを使用している。既設ユニットの流量計型式を別添別紙４－３－５－２に示す。

(2)他プラントオリフィス仕様一覧

別添別紙４－３－５－３に他プラントオリフィスの仕様一覧を示す。

(3)類似火力のオリフィス仕様

火力機では、復水流量計測用として一般的にフローノズルを採用しているため、
比較できるものが限られるが、以下に火力機とのオリフィス仕様の比較を示す。

項目	美浜３号機	A火力機
計測位置	復水流量	復水流量
最大流量	2000 T/H	1500 T/H
配管サイズ	538.8 mm	429.2 mm
計測流体	復水	復水
常用流体圧力	10 kg/cm2	10 kg/cm2
常用流体温度	142.8 ℃	155℃
オリフィス厚さ	5 mm	6 mm
絞り直径比	0.62	0.58

オリフィス絞り径のＡＳＭＥ規格適用算出手順について

入力

① 配管内径 D_{20}	：538.8mm（設計条件）
② 流体	：Water（設計条件）
③ 最大流量 W	：2000T/H（設計条件）
④ 常用温度	：142.8℃（設計条件）
⑤ 常用圧力	：10kg/cm^2（設計条件）
⑥レイノルズ数 R_D	：6793500（①~⑤より）
⑦ 流体の膨張係数 ε	：1（②より）
⑧ 流体密度 ρ	：923.8799kg/cm^2（②,④,⑤より）
⑨ ｵﾘﾌｨｽの膨張係数 Fa	：1.0043（ｽﾃﾝﾚｽ鋼の場合）

初期値

① ｵﾘﾌｨｽ絞り部の径 d_{20}	：美浜３号 復水流量ｵﾘﾌｨｽの例）335.3mm
② 発生差圧 △P	：5000mmH_2O

パラメータ演算

入力条件、および仮定した d_{20} の値から、以下のパラメータを求める。

① 絞り直径比 β	：美浜３号 復水流量ｵﾘﾌｨｽの例）0.6229
② 流量係数 α	：美浜３号 復水流量ｵﾘﾌｨｽの例）0.6580

NG

判定

ASME から与えられる以下の式に求めた値を代入し、式が成立すれば仮定した値が求める値（ｵﾘﾌｨｽ絞り部の径）となる。

式が成立しない場合には、仮定した d_{20}、差圧Δｐの値を見なおして再計算する。

$W = 0.012522\,\alpha\,\varepsilon\,Fa \cdot d_{20}^2\sqrt{\ }\ (\rho \cdot \Delta P)$

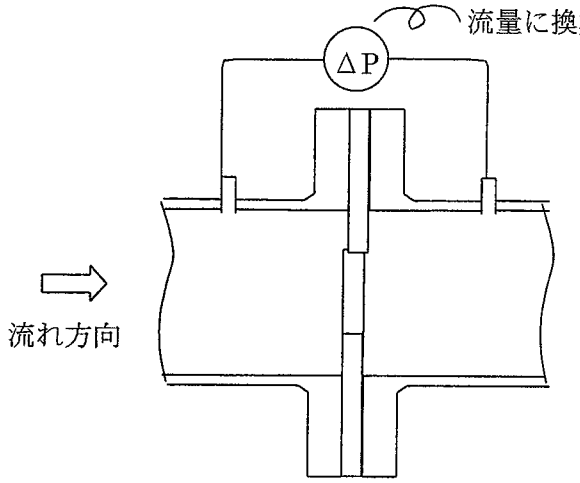
例）$W = 0.012522 \times 0.6580 \times 1 \times 1.0043 \times 335.3^2 \times \sqrt{(923.8799 \times 5000)}$

$= 1999506$ kg/h（ ≒ 2000 T/H ）

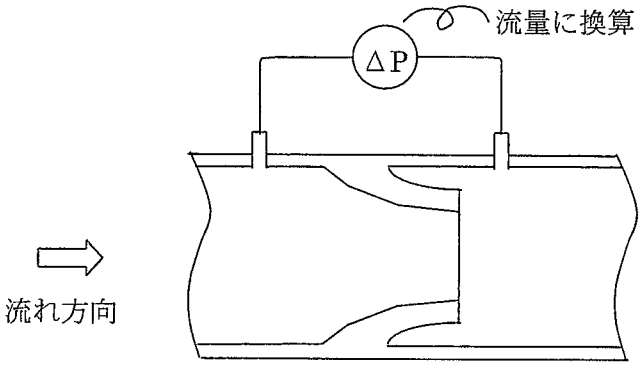
この例の場合、d_{20} = 335.3mm とすれば、2000T/H の流量で、ほぼ設計条件通りの 5000mmH_2O の差圧となることが確認できる。

また、ASME 規格に基づいて、流量による流量係数αの値の変化量を確認し、流量レンジを決定する。

プラント名	美浜１号,２号、高浜１号,２号、大飯１号,２号、高浜３号,４号	大飯３号,４号
復水流量計型式	← オリフィス →	← フローノズル →
備　考 (給水流量計型式)	(注１) (注２) ← フローノズル →	← オリフィス →
構　成　図		



（注１）オリフィス



（注２）フローノズル

別添別紙４－３－５－３

復水流量オリフィスの絞り直径比

各ユニットの復水流量オリフィスの絞り直径比(β)を下表に示す。

ユニット	オリフィス名称	TAG.NO	絞り直径比 β	配管内径 (mm)	ｵﾘﾌｨｽ絞り部の径 (mm)
美浜3号	復水流量	3FE-3201A	0.62	538.8	335.3
	復水流量	3FE-3201B	0.62	538.8	335.3
美浜2号	復水流量	2FE-2050	0.67	538.8	360.4
美浜1号	復水流量	1FE-2050	0.66	488.0	323.6
高浜1/2号	復水流量	1/2FE-3201A	0.62	538.8	335.3
	復水流量	1/2FE-3201B	0.62	538.8	335.3
高浜3/4号	復水流量	3/4FE-5152	0.59	640.4	379.1
大飯1/2号	復水流量	1/2FE-3201A/B	0.65	622.4	404.7
	復水流量	1/2FE-3201C/D	0.66	421.2	279.4

(注)　絞り直径比(β)＝(オリフィス絞り部の径)／(配管内径)

配管製作時の履歴を調査し、要領書等に基づいた製作であるか。　根拠の確認

【検討目的】

適用する規格について明らかにするとともに、製作時の履歴を調査し、要領書等に基づいた製作であること及び根拠を明確にする。

【検討内容】

1.製作の手順

第４低圧給水加熱器から脱気器に至る比較的大口径の配管は、板を管状に曲げた状態で長手方向に溶接して製作する。

他配管とのつなぎは周方向に溶接を実施する。

溶接については、両者共に「電気工作物の溶接の技術基準（昭和４５年)」（以下「溶接の技術基準」と呼ぶ）に基づき、溶接施工及び検査を実施する。

溶接施工が妥当であることは、検査記録及び当時の(財)発電用熱機関協会の立会検査記録及び合格書から確認する。

2.溶接施工（要求溶接施工の整理）

2.1 長手溶接（管の製作）

(1)長手溶接施工の管理

長手溶接部に関しては「溶接の技術基準」に基づく要求があり、当時の(財)発電用熱機関協会で以下の検査を実施した。

① 材料確認　（発電用熱機関協会立会）
② 開先合わせ（発電用熱機関協会立会）
③ 裏ハツリ（発電用熱機関協会立会）
④ 機械試験（発電用熱機関協会立会）
⑤ 耐圧試験（発電用熱機関協会立会）
⑥ 外観寸法（発電用熱機関協会立会）

各検査での結果を下表のとおり規格値に対して確認した。

素材段階	素材引張試験	化学分析
	引張強さ	炭素含有量
規格値	42～50kg/mm^2	0.35％以下(注 1)
試験結果	45kg/mm^2	0.15％

溶接施工段階	開先合わせ	溶接部機械試験	曲げ試験		耐圧試験
	食違い	引張強さ	自由曲げ	裏曲げ	圧力
規格値	1 ㎜以下	42kg/mm^2 以上	20％以上	注 2	13kg/cm^2×1.5
試験結果	0 ㎜	50.8kg/mm^2	21.5％	良	19.5kg/cm^2

注１：「溶接の技術基準」第３条

炭素含有量が 0.35%を超える母材は、溶接をしてはならない。

注２：「溶接の技術基準」第１６条

長さ 3mm を超える割れのないこと

長さ 3mm 以下の割れの合計が 7mm を超えないこと

割れ及びブローホールの個数の合計が 10 個を超えないこと

(2)長手溶接検査記録の確認

「溶接の技術基準」にしたがって溶接施工されていることを、当時(財)発電用熱機関協会で確認され合格証明を得た。

(1) 項の全ての溶接検査は合格であることを合格証明書にて確認した。

また、各検査工程（①～⑥）に対応する検査記録を確認した。

内　容

素材チェクシート

材料検査記録

INSPECTION　CERTIFICATE

検査証明書

開先寸法検査記録

裏ハツリ検査記録

溶接部機械試験成績表(A)

耐圧試験成績表

溶接検査チェックシート

検査合格刻印写

溶接検査合格証明書

2.2 周方向溶接（管と管の接続）

(1)周方向溶接施工の管理

周方向溶接部に関しては「溶接の技術基準」に基づく要求があり、当時の(財)発電用熱機関協会で以下の検査を実施した。

⑦　材料確認　（発電用熱機関協会立会）

⑧　開先合わせ（発電用熱機関協会立会）

⑨　耐圧試験（発電用熱機関協会立会）（現地耐圧）

⑩　外観検査（発電用熱機関協会立会）

各検査での結果を下表のとおり規格値に対して確認した。

	エルボ素材 引張試験	化学成分	開先合わせ	耐圧試験
	引張強さ	炭素含有量	食違い	圧力
規格値	42～50kg／mm^2	0.35％以下（注１）	1.5 ㎜以下	13kg/cm^2×1.5
試験結果	47kg／mm^2	0.14％	0.3 ㎜	19.5kg/cm^2

直管部は 2.1 項に記載済み

注１：「溶接の技術基準」第３条

炭素含有量が 0.35%を超える母材は、溶接をしてはならない。

(2)周方向溶接検査記録の確認

「溶接の技術基準」にしたがって溶接施工されていることを、当時(財)発電用熱機関協会により確認され合格証明を得た。

(1)項の全ての溶接検査は合格であることを合格証明書にて確認した。

また、各検査工程（⑦～⑩）に対応する検査記録を確認した。

内　容

検査工程一覧表及びチェックシート　工場分：A 系統

検査工程一覧表及びチェックシート　工場分：B 系統

INSPECTION　CERTIFICATE

溶接開先検査記録

溶接検査（刻印写）　工場分

検査工程一覧表及びチェックシート　現地分

耐圧試験検査成績表

溶接検査（刻印写）現地分

溶接検査合格証明書

スケルトン図（工場分、現地分）

なお、現地において刻印を確認し、配管敷設時の溶接検査記録と一致していることを確認した。

また、当該配管の A 系統と B 系統とは、同一の板材から製作されていることを記録により確認した。次に B 系統の現地の刻印の材料番号を確認し、計画どおりの材料が使用されていることを確認した。

【検討結果】

「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。なお、現地において刻印を確認し、計画どおりの施工がされていることを確認した。

別添４－３－７

支持構造物の点検状況について

１．調査目的

当該系統の支持構造物の点検状況の調査を行い、適切に点検が実施されていることの確認を行なう。

２．調査内容

当該系統の支持構造物の点検内容実績の確認を行なう。

３．調査結果

当該系統（復水管ヘッダー～脱気器）までの支持構造物については、第２０回定検において外観目視点検を実施し、問題のないことを確認していることを確認した。

以上

別添４－３－８

水質パラメータ（ｐＨ、溶存酸素、導電率等）履歴の調査。腐食要因となるパラメータの調査

【検討目的】

水質パラメータ履歴の調査として、腐食要因となるパラメータ（ｐＨ、溶存酸素及びその関連パラメータ）調査を行うとともに、腐食の結果として現れる鉄濃度履歴を調査し、水質管理上問題がなかったことを確認する。また、過去の海水漏えい（塩素イオン）がｐＨ、溶存酸素に影響を与えたかについて調査し、問題なかったことを確認する。

【検討内容】

（１）２次系水質管理履歴調査

美浜３号機の２次系系統を図１に示す。

美浜３号機の水質管理値の変遷を図２にまとめ、当該部の水質を以下の通り評価した。尚、２次系水質は系統全体で評価するため、分析項目については試料採取部位により異なる。

ａ．今運転期間（第２１運転期間）中の２次系水質管理履歴

(a) 給水処理に係る履歴調査

美浜３号機では、復水処理装置排水処理設備設置に伴い今運転期間から給水ＥＴＡ濃度を約２ppm（従来は約０.２ppm）まで上昇させており、従来に比べ、２次系系統のｐＨをやや高めに管理している。ＥＴＡ濃度の上昇に伴い、今運転期間中、給水鉄濃度は低下しており、その他の復水、給水、蒸気発生器器内水の水質データもすべて水質管理値内にあった。

(b) 塩素イオン混入履歴

美浜３号機では今運転期間中、復水器細管漏えいの実績はなく、また蒸気発生器器内水の塩素イオン及びカチオン電気伝導率、復水カチオン電気伝導率もすべて水質管理値内にあった。

ｂ．これまでの２次系水質管理履歴（運転開始～第２１運転期間）

(a) 給水処理に係る履歴調査

美浜３号機では運転開始当初から給水処理が計画通り行われており、給水ｐＨ、溶存酸素などの水質はすべての期間を通じて水質管理値内に維持されている。なお、第１０運転期間(S63/7)から第１５運転期間(H8/8)において、ほう酸注入(*)を実施している。また、これまでヒドラジン濃度の上昇（第７運転期間）、ＥＴＡ濃度の上昇（第21運転期間）等の対策により給水の鉄濃度は経年的に低下してきている。

＊：蒸気発生器の細管／支持板の一部にアルカリが濃縮して６００合金細管に粒界腐食が起こることを防ぐため中和用に注入

ｃ．塩素イオン混入履歴

美浜３号機では第１３運転期間（H5/８）と第１７運転期間（H10/10）に復水器細管漏えいを経験しており、第１７運転期間には当該部の塩素イオン濃度が一時的（２５分程度）に上昇したものの、添付１に示すとおり混入した不純物は下流側の復水処理装置により、除去され、当該部のｐＨ、溶存酸素にもほとんど影響は認められない。

また、通常運転時の蒸気発生器器内水の塩素イオン、カチオン電気伝導率について調査した結果、すべての期間を通じて水質管理値内であった。復水カチオン電気伝導率につい

ては第３運転期間の初期に水質管理値を僅かに超える時期があったが、蒸気発生器器内水の塩素イオン、カチオン電気伝導率に変化はなかった。

以上から当該部についても運転開始以降～第２１運転期間まで特異な水質環境にはなかったものと考えられる。

【検討結果】

美浜３号機の関連するすべての水質管理履歴を調査した結果、以下の通りであり、運転開始以降当該部の水質環境について特異なものは認められなかった。

① 今運転期間及び運転開始から今運転期間までの給水処理に係る水質管理履歴を調査した結果、復水、給水、蒸気発生器器内水の水質データは何れも水質管理値内に維持されている。（水質管理値は、当社プラント共通の管理値である。）

② ２次系給水処理は、運転開始当初からＡＶＴ、また最近ではＥＴＡ注入等計画通り行われており、各種対策により、経年的に給水鉄濃度も低減してきている。

③ 今運転期間及び運転開始からの塩素混入履歴を調査した結果、２度の復水器細管漏えいは経験しているものの、その影響は小さく、当該部のｐＨ、溶存酸素に大きな変化はない。

以　上

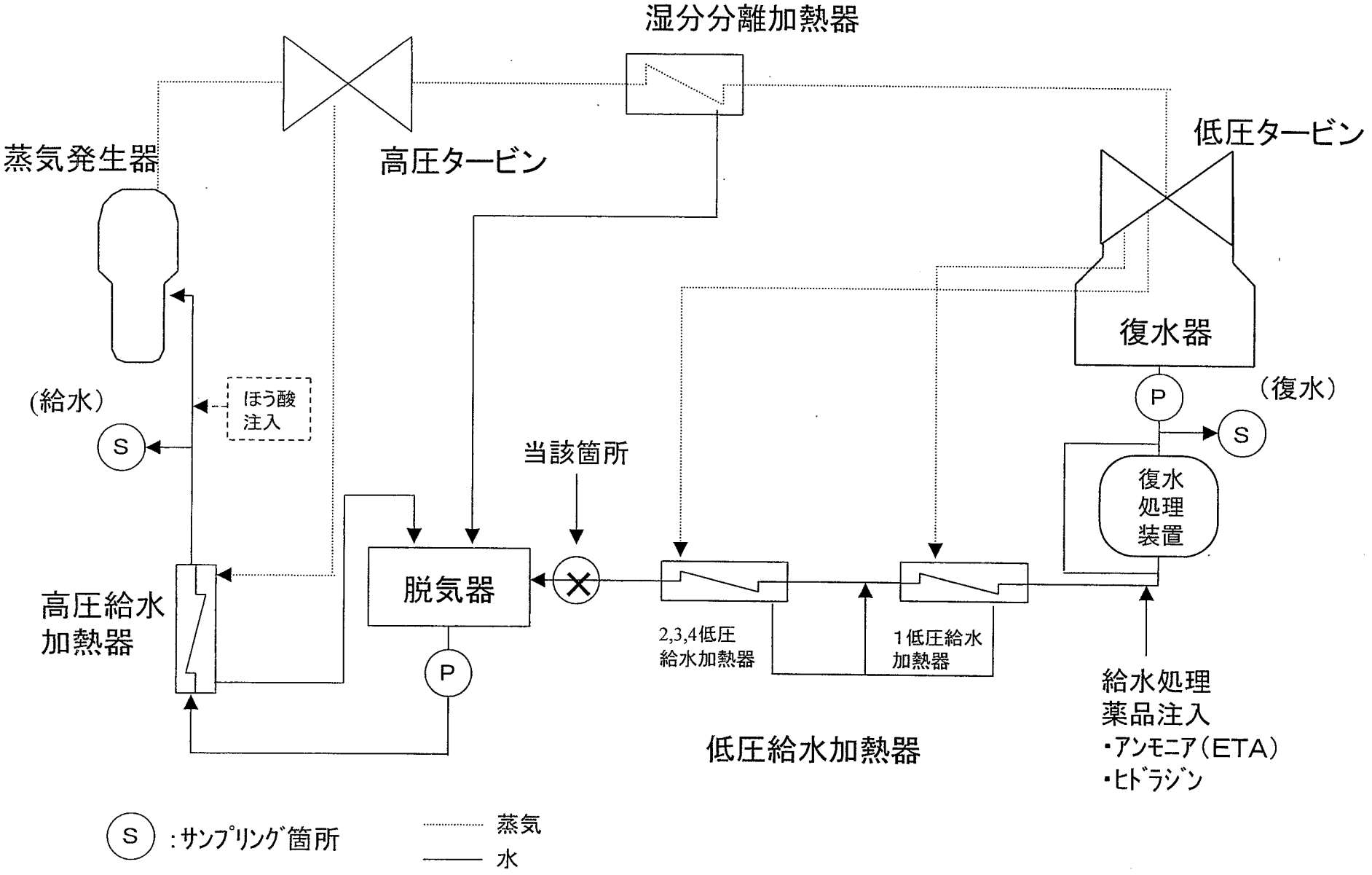


図1　美浜3号機の2次系系統概要

項　目			S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16
美浜3号機の各運転期間				1	2		3		4	5	6	7	8	9	10	11		12	13		14		15	SGR	16	17		18		19		20	21
美浜3号機の水処理履歴			全揮発性薬品処理(AVT:アンモニア＋ヒドラジン)																												注2
															ヒドラジン濃度上昇																
															ほう酸注入																
SG			旧SG																					新SG							
復　水	ｶﾁｵﾝ電気伝導率	(μS/cm)	≦0.2										≦0.3											≦6.1							
	溶存酸素	(ppb)	≦50																					≦ 10							
給　水	pH (at 25℃)	ｱﾝﾓﾆｱ＋ﾋﾄﾞﾗｼﾞﾝ処理時	8.8～9.2				8.8 ～ 9.3									–									8.8 ～ 9.3							
		ETA注入時	–																					8.8 ～ 9.7							
		ほう酸注入時	–													8.5 ～ 9.3									–							
	電気伝導率	(μS/cm)	＜4				＜5																	≦9							
	アンモニア	(ppm)	–																					≦0. 6				–			
	ETA	(ppm)	–																					≦ 3							
	ヒドラジン	(ppb)	復水溶存酸素＋5				＞2						≧ 5											≧ 200				≧100 & 復水溶存酸素×40			
	溶存酸素	(ppb)	＜5										≦5																		
	全　鉄	(ppb)	＜ 20 (集中試料採取箇所)										≦ 20 (集中試料採取箇所)											≦ 10 (集中試料採取箇所)				≦ 20 (現地試料採取箇所)			
SG	pH (at 25℃)	–	8.5 ～ 9.0				8. 5～9. 1						8.6～9.1			7. 5 ～ 9. 1								8. 6～9. 9							
	ｶﾁｵﾝ電気伝導率	(μS/cm)	＜2										≦1											≦0. 6＋有機酸寄与分							
	塩素ｲｵﾝ	(ppb)	＜100										≦100			≦20								≦10							

注1：AVT(アンモニア＋ヒドラジン)に追加して微量(～0. 2ppm)のETAを注入
注2：pH調整剤としてアンモニアの代わりにETA約2ppmに調整

SGR;蒸気発生器取替工事

図2　２次系水質管理値の変遷

配管解析結果から、当該部に過大な応力がかかっていないか。熱疲労、フレッティング、キャビテーション等の破損要因の有無の確認

【検討目的】

配管解析結果から、当該部に過大な応力がかかっていないか検討する。また、当該破損配管部周辺でのこれらの事象の発生の有無と当該部への影響について検討する。

【検討内容】

１．過大な応力の発生に関する検討

応力に関する検討は別途実施済み（別添４－３－４）であり、配管解析結果から過大な応力が発生していないことを確認している。

２．熱疲労

１）温度ゆらぎ

高温水と低温水が合流する箇所（図１参照）では、温度ゆらぎの発生による熱疲労が考えられる。

当該破損配管部には高温水と低温水の合流部位はないため、温度ゆらぎは発生しない。

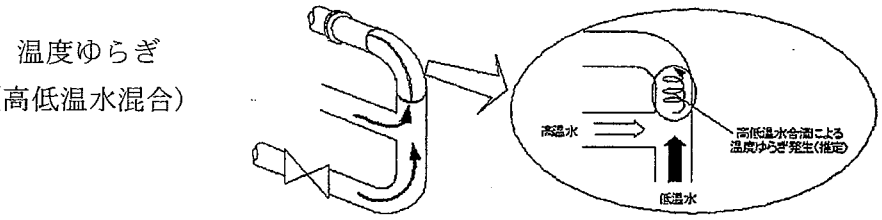


図１　高温水と低温水が合流する箇所での温度ゆらぎの発生

２）キャビティーフロー型熱成層の発生による高サイクル熱疲労

閉塞分岐管の滞留部に主流の高温水が侵入する箇所では、熱成層界面が発生・変動するキャビティーフロー型熱成層の発生による高サイクル熱疲労が考えられる。（図２参照）

当該破損配管部には該当する箇所としてドレン管が存在する。キャビティーフロー型熱成層による高サイクル熱疲労の評価（配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針 JSME S017）では、主管（復水管）の流速が遅く発生の可能性が低いため評価対象外であること、また、念のため評価条件を外挿して評価したところ、ドレ

ン管が十分長く、高温水が滞留部まで進入しないとの評価結果を得た。

したがって、キャビティーフロー型熱成層の発生はなく、高サイクル熱疲労は発生しない。（別添別紙４－３－９－１参照）

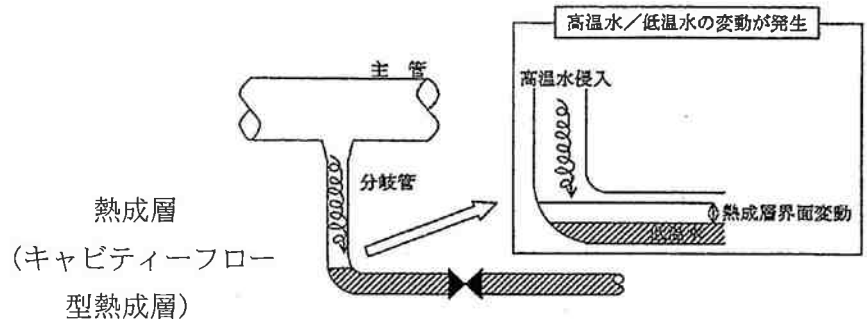


図２　閉塞分岐管の滞留部のキャビティーフロー型熱成層の発生による高サイクル熱疲労

２．フレッティング摩耗

フレッティング摩耗は、図３に示すように２つの物体が接触しながら繰返しすべりが生じる場合に接触面で発生する減肉現象である。

当該配管部にはオリフィスとスプリングハンガーが取り付けられている。オリフィスは配管フランジの合わせ面に挟み込む設置方法であるためすべりは生じない。また、配管を支持しているスプリングハンガーの取付部は配管に固定されているためすべりは生じない。以上のことから、フレッティング摩耗は発生しない。

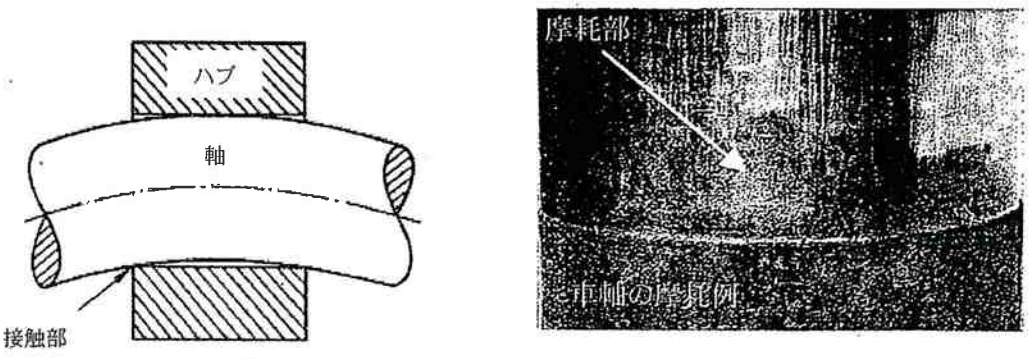
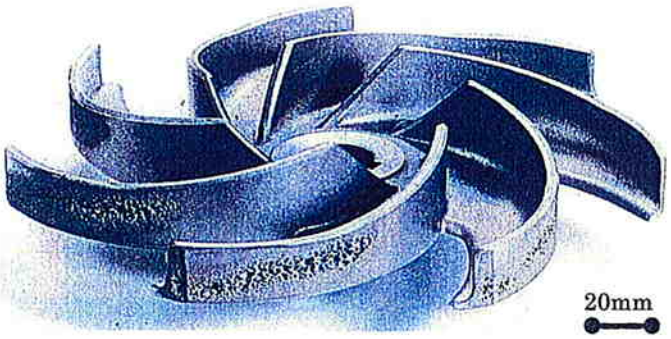


図３　回転軸のフレッティング摩耗例

出典：R. B. Waterhouse, Fretting Corrosion, Pergamon Press, (1972)

３．キャビテーション

キャビテーションは局部的な減圧沸騰により気泡が発生し、図４に示すように金属表面が侵食される現象である。



○温度：70℃
○環境：牛乳
○材料：SUS316

図４　ポンプインペラ（ＳＵＳ316鋼）のキャビテーション発生例

E.D.D.During, Corrosion Atlas -A collection of Illustrated Case Histories-, Elsevier, (1988).

当該破損配管部の復水管流量計オリフィス部では流れが絞られ減圧するが、別途実施したキャビテーション発生の可能性に関する検討（別添４－３－１０）で、キャビテーション発生条件に関する実験に基づいた文献データを基に当該オリフィス部でのキャビテーション発生の有無を検討した結果、蒸気泡発生条件に対して十分余裕のある設計であり、キャビテーションは発生しないことを確認している。また、減圧沸騰発生条件に対しても十分余裕があることが確認されている（定格運転時、給水系統流量測定フローノズル部下流のサブクール度は約３７℃）。

【検討結果】

当該配管に過大な応力が発生していないこと、熱疲労（温度ゆらぎ、キャビティーフロー型熱成層の発生による高サイクル熱疲労）、フレッティング、キャビテーション等の当該破損配管部周辺での発生はなく、当該部への影響はないことを確認した。

当該部ドレン管のキャビティーフロー型熱成層発生の評価について

１．評価方法

機械学会基準（配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針 JSME S017-2003）によると流速 5m/s 以下では渦侵入のドライビングフォースとなる慣性力が小さく、渦侵入深さは極めて小さな値となるため指針の適用外である。

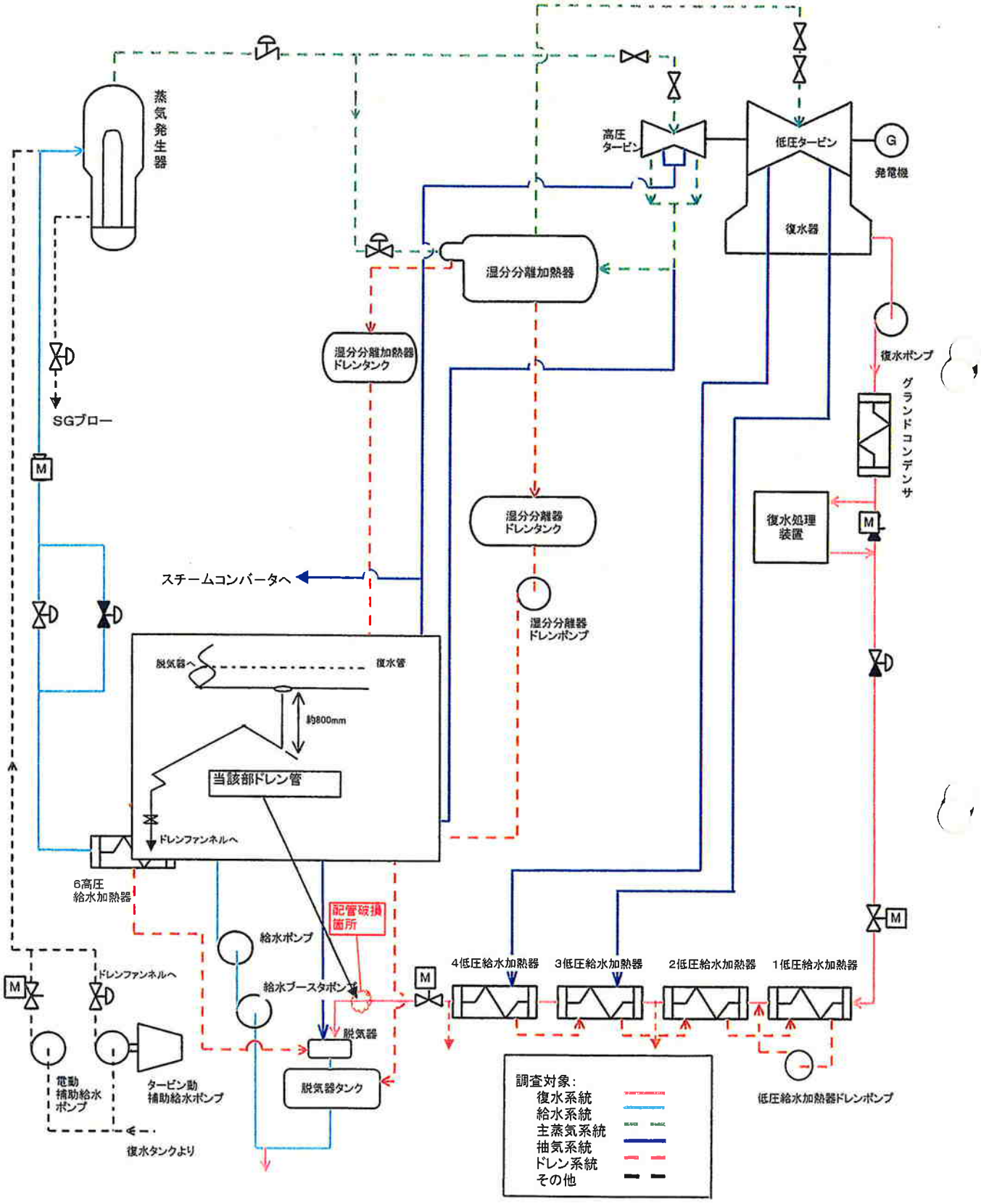
当該ドレン管（流速 2.2m/s）は指針の適用外であり評価の必要はないが、念のため、機械学会基準を外挿して評価を行う。

２．評価結果

当該部ドレン管の評価結果（評価フロー及び判定基準は別添別紙４－３－９－２参照）

口径　　25mm
主管流速　2.2m
主管内流体平均温度と雰囲気温度の差　100℃
分岐管鉛直部長さ　0.8m
キャビティーフローの分岐管鉛直部への侵入深さ　0.42m

評価結果　分岐管鉛直部長さがキャビティーフローの分岐管鉛直部への侵入深さより長いため、キャビティーフロー型熱成層は発生しない


蒸気発生器
高圧タービン
低圧タービン
G
発電機
復水器
湿分分離加熱器
湿分分離加熱器ドレンタンク
復水ポンプ
グランドコンデンサ
SGブロー
湿分分離器ドレンタンク
復水処理装置
湿分分離器ドレンポンプ
スチームコンバータへ
脱気器へ
復水管
約800mm
当該部ドレン管
ドレンファンネルへ
6高圧給水加熱器
配管破損箇所
給水ポンプ
給水ブースタポンプ
脱気器
脱気器タンク
4低圧給水加熱器
3低圧給水加熱器
2低圧給水加熱器
1低圧給水加熱器
低圧給水加熱器ドレンポンプ
電動補助給水ポンプ
タービン動補助給水ポンプ
復水タンクより
調査対象：
復水系統
給水系統
主蒸気系統
抽気系統
ドレン系統
その他

美浜3号機　系統概要図

記号の説明

T：主管内流体平均温度
Lv：分岐管鉛直部長さ
Ta：雰囲気温度＝40℃と仮定
Lsv：ｷｬﾋﾞﾃｨﾌﾛｰの分岐管鉛直部への侵入深さ
Ldv：ｷｬﾋﾞﾃｨﾌﾛｰの分岐管鉛直部への侵入判定長さ
Ldh：ｷｬﾋﾞﾃｨﾌﾛｰの分岐管水平部への侵入判定長さ
△ Tcr：判定温度差：４２℃
Ｄｂ：分岐管内径

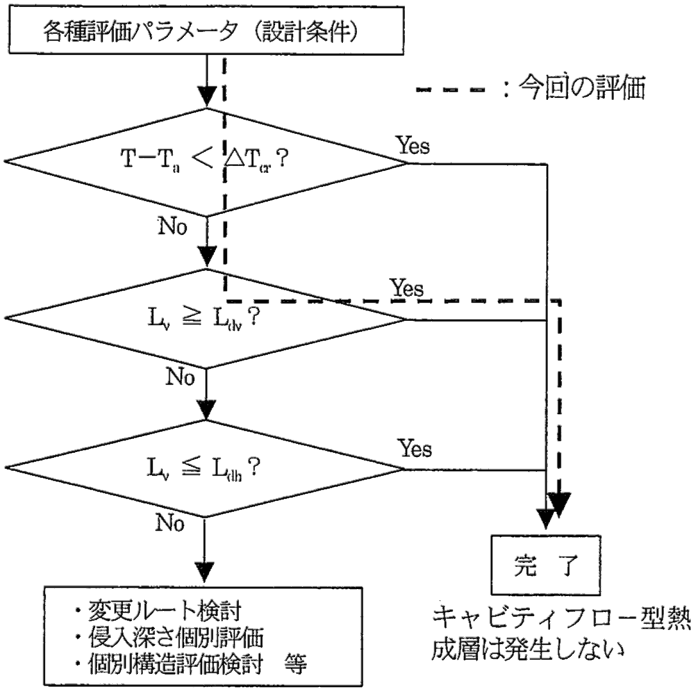
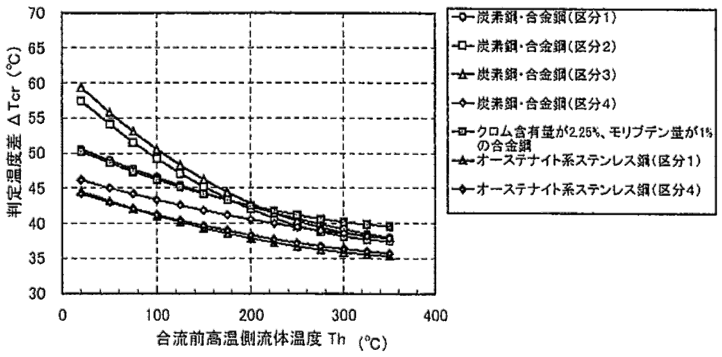
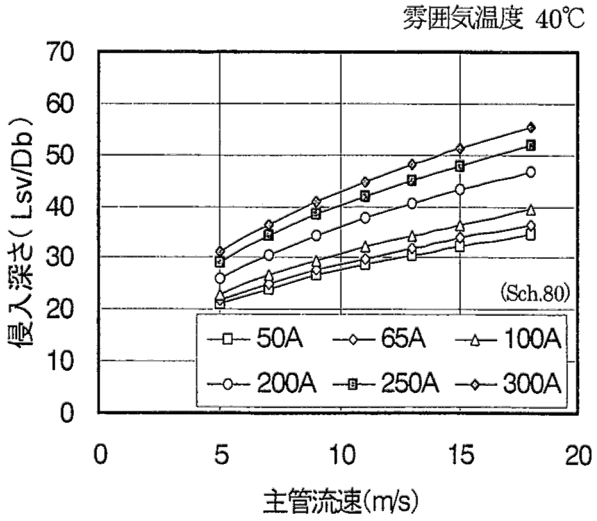


図 4.2.2-1 閉塞分岐管滞留部に発生する熱成層化現象評価フロー



別表 3-1：代表鋼種に対する△Tcr



別図 4-2(3/3) キャビティフローの分岐管鉛直部侵入部深さ*

＊外挿により使用

出典：配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針 JSME S017-2003

別添４－３－１０

キャビテーション発生条件とキャビテーション発生の有無の評価

【検討目的】

オリフィスでのキャビテーション発生条件に関する実験にもとづいた文献データを基に当該オリフィス部でのキャビテーションの発生の有無を検討する。

【検討内容】

１．キャビテーション発生条件の調査

キャビテーション，フラッシングは流れによる減圧により水が蒸発して気泡を作る現象である。ここでは公開文献（"J.P.Tullis, Cavitation and Size Scale Effects For Orifices, ASCE, J. of Hydraulic Division, pp.417-430, 1973"）を用い，キャビテーション発生条件を整理した。実機のキャビテーション発生評価に際しては美浜３号機とほぼ同じ配管径 597mm（他の諸元は表１のとおり）のデータを使用する。図１より当該オリフィス（オリフィス直径比 d/D=0.62）のキャビテーション発生条件は，<u>キャビテーション係数 σ_i=4.5 以下</u>である。

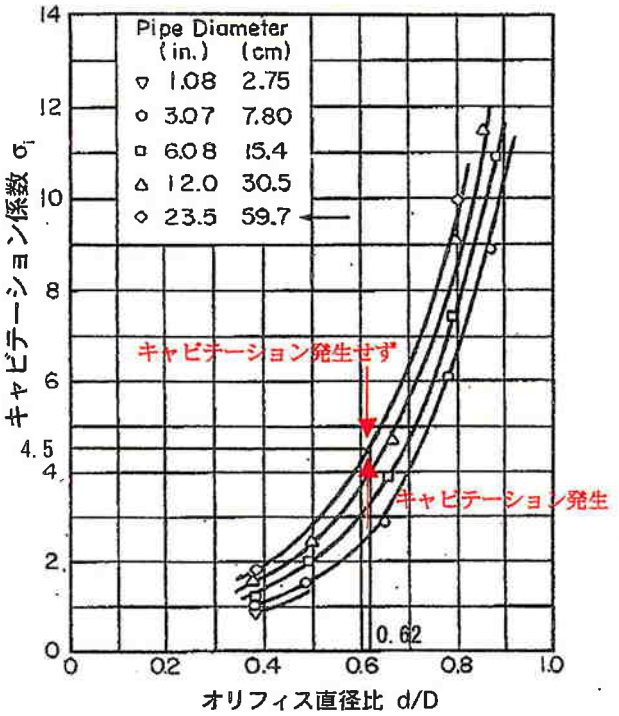


図１　オリフィスのキャビテーション係数
出典：J.P.Tullis, Cavitation and Size Scale Effects For Orifices, ASCE, J. of Hydraulic Division, pp.417-430, 1973

図中のプロットは実験値である。

試験装置は貯水タンクからの重力落下式であり，装置の諸元を実機と比較して表１に示す。

試験は寸法，流量等，実機オリフィス条件とほぼ同等である。

表１　実機と試験のオリフィス諸元比較

	美浜３号機復水管	試験装置	備考
配管内径	538.8 mm	27.4～597mm	
オリフィス直径比	0.62	0.380～0.884	
流量	1700 ton/hr	0～9000ton/hr	
配管内流速	2.2m/s	0～8.9m/s	597mm 配管で計算
水温	140℃	常温	

2. 当該部のキャビテーション発生有無の検討

(1) 評価条件

オリフィス径	: d=335.3 mm	(オリフィス直径比 : d/D=0.62)
温　　度	: 140 ℃	
飽和蒸気圧	: P_v=361 kPa	(水温 140℃に対する飽和蒸気圧*)
オリフィス静差圧	: P_u-P_d=21kPa	* 日本機械学会蒸気表(1968)
オリフィス上流静圧力	: P_u= 1031kPa	
オリフィス下流静圧力	: P_d= 1010kPa	

(2) 評価

オリフィス静差圧 P_u-P_d, オリフィス下流静圧力 P_d, 飽和蒸気圧 P_v, を用いて図 1 の縦軸に用いられているキャビテーション係数を実機条件から求めると,

$$\sigma^{*)} = \frac{P_d - P_v}{P_u - P_d} = \frac{1010 - 361}{1031 - 1010} = 31 \qquad (1)$$

*)前掲の文献に記載されている式。

となり, キャビテーションが発生する限界条件の 4.5 に比べ充分に大きいので, 当該オリフィス部でキャビテーションは発生しない。

【検討結果】

美浜 3 号機の設計条件では復水管流量計オリフィスは流れによる減圧による蒸気泡発生条件に対して充分な余裕があるため、評価上、キャビテーション, フラッシングは発生しない。

以 上

別添４－３－１１

当該配管の共振の有無、過去経験した地震とその時の発生応力及び振動発生状況の調査

【検討目的】

通常運転中の当該配管の固有振動数を算出し、振動発生源となる動的機器との共振について検討を行い、当該部へ与える影響を評価する。

また、過去の最大の地震力を確認するとともに、地震発生時の当該部への影響を評価する。

【検討内容】

１．共振に対する設計の考え方

２次系配管(含当該配管)のサポート設計は、定められたサポート間隔以内にサポートを設置するとともに、振動による損傷を防止するために、このときの配管系の固有振動数が特に動的機器であるポンプの流動成分（NZ 成分）と共振しないことを確認する。

２．２次系配管に対する耐震設計の考え方

２次系配管に対する耐震設計については、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（原子力安全委員会、昭和 56 年７月）に基づいており、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から、２次系配管を含むタービン系統設備は重要度分類Ｃクラスの耐震設計を行う。

なお、本検討においては過去の地震による影響を評価するため、当該配管は静的地震力 0.252G により影響評価を行う。

【検討結果】

１．当該配管系とポンプとの共振の有無の調査

(1)　固有値の算出

当該配管部の固有振動数は下表のとおり。

	１次ﾓｰﾄﾞ	２次ﾓｰﾄﾞ	３次ﾓｰﾄﾞ
固有振動数ｆ（Hz）	0.88	1.48	1.75

(2)　当該配管系との共振機器の抽出

当該配管系と共振の可能性のある機器は、動的機器であるポンプであり、復水系統に設置される復水ポンプ、復水ブースタポンプが考えられる。

なお、復水系統に接続される給水ブースタポンプ、給水ポンプ及び低圧給水加熱器ドレンポンプについても評価した。

(3) 共振の検討

(2)項で抽出したポンプについて、当該配管系との共振の可能性有無について評価した。その結果を次表に示す。

対象機器	評価結果	
	NZ	評価
1. 復水ポンプ	90Hz	低圧給水加熱器出口ヘッダーには固定サポートが設置されこのヘッダーの上流、下流は完全に関連が切れており、当該ポンプの振動により共振することはない。 また、当該ポンプ出口には、復水ブースタポンプが設置されており、当該ポンプの流動成分（NZ）が直接、当該配管系に影響を与えることはない。
2. 復水ブースタポンプ	210Hz	低圧給水加熱器出口ヘッダーには、固定サポートが設置されこのヘッダーの上流、下流は完全に関連が切れており、当該ポンプの振動により共振することはない。 また、当該配管系の固有振動数と当該ポンプのNZ成分とは大きくかけ離れており、共振することはない。
3. 給水ブースタポンプ及び給水ポンプ	ブースタポンプ 90Hz 給水ポンプ 430Hz	当該配管系の下流側に設置される動的機器であり、当該配管系とは脱気器で完全に関連が切れており、当該ポンプの振動により共振することはない。 また、当該配管系の固有振動数と当該ポンプのNZ成分とは大きくかけ離れており、共振することはない。
4. 低圧給水加熱器ドレンポンプ	180Hz	復水系に接続されている配管に設置されているポンプで、当該配管系とは低圧給水加熱器出口ヘッダー等で関連が切れており、当該ポンプの振動により共振することはない。 また、当該配管系の固有振動数と当該ポンプのNZ成分とは大きくかけ離れており、共振することはない。

以上より、当該配管と動的機器であるポンプとの共振の可能性はない。

2．地震発生時の当該部への影響

美浜３号機で過去に経験した地震のうち、３号機原子炉補助建屋基礎上において10Gal以上の最大水平加速度を記録した地震の諸元及び観測値を下表に示す。

No.	発震日時	震央地名	震央		地震規模 (M)	観測値 注1) 最大加速度 (Gal)	
			東経	北緯		水平 注2)	上下
1	1983．3．6　6：32	福井県嶺南地方	136° 1.6′	35° 41.5′	5.0	66.5	27.6
2	1983．3．6　6：33	福井県嶺南地方	136° 2.7′	35° 41.3′	3.8	16.1	5.0
3	1985．11．27　9：01	若狭湾	135° 45′	35° 36.7′	5.2	18.4	10.3
4	1995．1．17　5：46	淡路島付近	135° 2.27′	34° 35.71′	7.3	16.3	6.3
5	1995．5．8　1：19	若狭湾	135° 55.32′	35° 43.18′	3.4	15.0	3.6
6	1999．11．7　3：34	福井県沖	135° 47.82′	36° 3.37′	5.0	40.6	10.9
7	2000．6．5　9：54	福井県嶺南地方	136° 6.8′	35° 43.04′	4.9	25.0	10.4

注１）観測値は３号機原子炉補助建屋基礎上部（EL-1.6m）での値
注２）最大加速度のうち水平とは、水平２成分のうち大きいものをいう

最も大きな最大加速度を記録したのは上表のNo.１の地震で、66.5Galを記録している。

評価は、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）」を用い、当該部配管の設置階における水平地震力（指針に基づく静的地震力 0.252G (*1)）を考慮し、当該配管部に発生する応力を梁-質点モデルにて算出した。

その結果、水平方向（X方向,Z方向）に発生する応力は、下表のとおりで、当該配管材SB42の降伏応力189(N/mm^2)に比べ十分小さく問題ないことを確認した。

	当該部（A系）	類似箇所（B系）	SB42の降伏応力
X方向	38N/mm^2	25N/mm^2	189N/mm^2
Z方向	37N/mm^2	30N/mm^2	

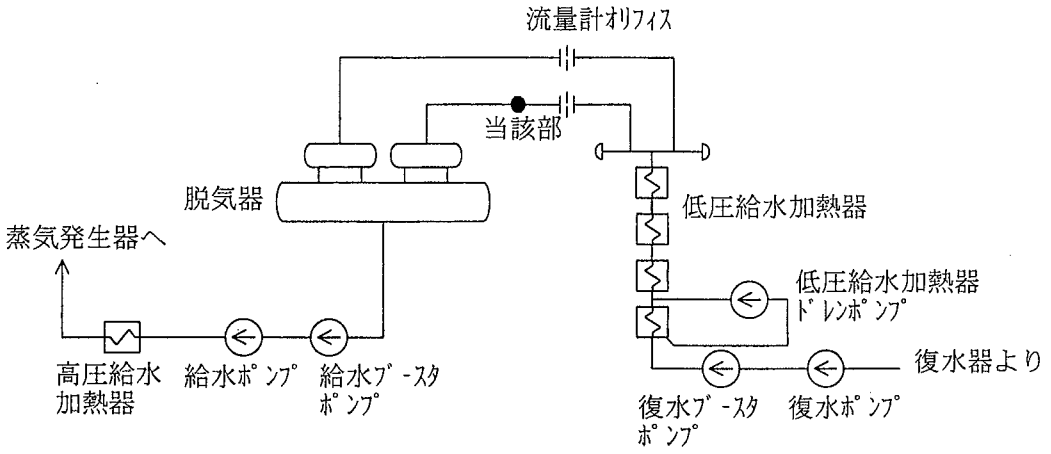
（＊1）美浜３号機のタービン建屋の構造設計用地震層せん断力係数 C_I 値に機器設計用として1.2倍して使用する。

当該配管設置階	EL＋22500
C_I	0.21
$1.2C_I$	0.252

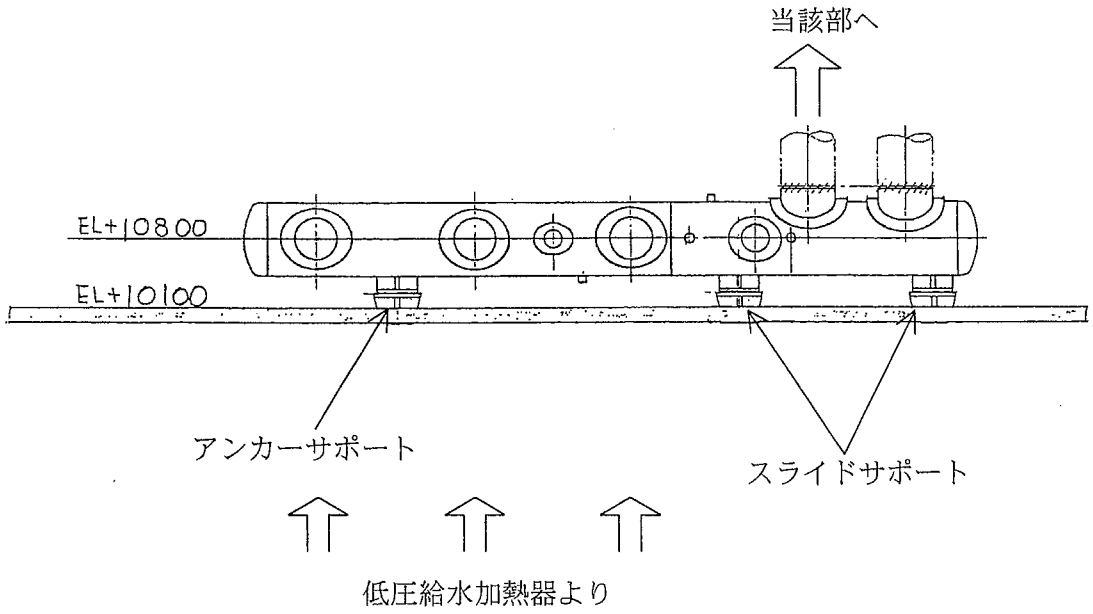
【参考】

1．当該配管まわり概略系統

（復水ポンプ、ブースタポンプ、給水ポンプ、ブースタポンプ及び低圧給水加熱器ドレンポンプ位置）



2．低圧給水加熱器出口ヘッダーサポート図



3．当該配管部材料降伏応力 189N/mm^{2}は、使用状態での値が記載されている告示 501 別表第 9 に基づく。

別添４－３－１２

起動・停止回数及びプラントトリップ等の過渡事象の発生について調査し、給水流量、温度、圧力等の変動の有無に関する調査・確認

【検討目的】

当該配管の給水流量、圧力、温度の変動に至る影響を及ぼした可能性のあるプラントトリップ等の過去の事象を調査し、その給水流量、圧力、温度の変動が及ぼす影響について確認する。また、その発生回数の影響についても確認する。

【検討内容】

（１）過渡事象の調査

美浜３号機で約２８年間に発生した流量、圧力、温度の変動に至る過渡事象を別添別紙－４－３－１２－1に整理した。

このうち、過去のトラブルの中から、脱気器入口復水流量計オリフィス下流に影響を及ぼした可能性のある過去の事象を別添別紙－４－３－１２－２に整理し、設計で想定している過渡を超えるものがないことを確認した。

したがって、過去いずれの事象も設計条件で評価することができる。別添別紙－４－３－１４－１の過渡事象の調査結果のまとめを表－1に示す。

表－1　過渡事象の調査結果のまとめ

事象	２次系への影響	発生回数（回）
プラント起動	常温から運転中温度への変化	44
プラント停止	運転中温度から常温への変化	42
100%から 90%へのステップ状負荷減少	給水流量は減少し、温度が低下するため２次系へ影響する	2
100％からの原子炉トリップ	給水流量は減少、温度は低下するため、２次系へ影響する。	4
その他の事象		709*
		合計　801*

＊：別添別紙－４－３－１４－１中の２次系への影響の可能性がある事象の合計

（２）配管応力と許容過渡回数

各過渡事象は表－２に示すように、脱気器入口復水管の最高使用圧力（13ｋｇ/cm²ｇ）と最高使用温度（195℃）を用いて計算した「ANSI（ASME）B31.1」の許容値に包絡されるので、繰り返し回数の制限値は 7000 回である。

表－１に示す各過渡の合計回数は 801 回であり、7000 回以下であるので問題ない。

表－２　過渡による応力と過渡回数の評価

		最大過渡時の配管応力	過渡回数
検討	考え方	最高使用圧力（13kg/cm^{2}g）と最高使用温度（195℃）で内圧、自重応力及び熱膨張応力を検討し、許容値以下であることを確認する。	熱膨張応力評価の応力補正係数の中で繰返し回数を評価する。 設計上、7000回までの過渡事象を想定している。 熱膨張発生応力値≦ｆ(1.25Sc＋0.25Sh) Sh：材料の使用温度時の許容引張応力 Sc：材料の常温時の許容引張応力 ｆ：応力補正係数 （運転サイクル7000回未満　ｆ＝1）
	結果	・　自重＋内圧による応力の検討 発生応力値 3.0kg/mm^2 ＜　許容値 10.5 kg/mm^2 ・　熱膨張応力の検討 発生応力値 0.2kg/mm^2 ＜　許容値 15.7kg/mm^2	今までのプラント起動、停止回数、その他の事象＋プラントトリップ等の過渡事象は約801回。 約801回＜7000回
判定		○	○

注）当該部（オリフィス下流）を評価。

（３）流量の変動

内部流量（流速）の変動により配管には慣性力が作用するが、通常運転時及びプラント過渡時にも水が満水状態にあること、また、第４低圧給水加熱器から脱気器間には運転中に急激に自動閉止される弁がないため衝撃力は生じない。

上記のことから、当該部の応力評価はプラント過渡事象によって生じる流量変化の影響を受けない。なお、熱応力については流体温度の影響を受けるが、過渡時の最大温度差は設計条件に包絡されていることから流量（流速）の変化による影響は受けない。

【検討結果】

当該配管の給水流量、圧力、温度の変動に至る影響を及ぼした可能性のあるプラントトリップ等の過去の事象を調査し、その給水流量、圧力、温度の影響が過渡事象の範囲内であること、また、その発生回数を考慮しても、２次系設備設計に対する通常の過渡事象の想定回数の範囲内であることを確認した。

以　上

美浜３号機　実績過渡回数

過渡項目（１次系）	２次系への影響	実績過渡回数（回）
起動	常温から運転中温度への変化	44
停止	運転中温度から常温への変化	42
負荷上昇（負荷上昇率 5%/min）	給水流量・温度が上昇するため、２次系へ影響する	318
負荷減少（負荷減少率 5%/min）	給水流量・温度が低下するため、２次系へ影響する	304
90%から 100%へのステップ状負荷上昇	給水流量は減少/増加し、温度が上昇するため、２次系へ影響する	2
100%から 90%へのステップ状負荷減少	給水流量は減少し、温度が低下するため、２次系へ影響する	2
100%からの大きいステップ状負荷減少	給水流量は減少し、温度が低下するため、２次系へ影響する	3
燃料交換	燃料交換はプラント停止中であり、２次系へ影響しない	(19)
0%から 15%への負荷上昇	給水温度は一定であるが、給水流量が増加するため、２次系に影響する	43
15%から 0%への負荷減少	給水温度は一定であるが、給水流量が減少するため、２次系に影響する	32
負荷の喪失	給水が停止するため、２次系に影響する	4
外部電源喪失	給水が停止するため、２次系に影響する	2
１次系冷却材流量の部分喪失	給水温度は一定であるが、給水流量は減少するため、２次系に影響する	0
100%からの原子炉トリップ	給水流量は減少、温度は低下するため、２次系へ影響する	4
１次冷却系の異常な減圧	給水流量は減少し、温度は低下するため、２次系へ影響する	0
制御棒クラスタの落下	給水温度一定であるが、給水流量が低下するため、２次系へ影響する	1
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	給水温度一定であるが、給水流量が低下するため、２次系へ影響する	0
１次冷却系停止ループの誤起動	給水温度は一定であるが、給水流量が低下するため、２次系へ影響する	0
タービン回転試験	給水は停止中であり、影響なし	(6)
１次系漏えい試験	影響なし	(33)
合　計		801

注）（　）内回数の表記は、２次系に影響しない事象の実績回数を示す。

過去の事故等で当該部の流体状態に影響があったと思われる事象

年月日	事象概要	評価	当該部の状態
1977.04.28	主蒸気隔離弁用電磁弁の動作不良により、主蒸気隔離弁が閉となり、蒸気発生器水位異常低で原子炉停止。	主蒸気系統は当該部位と直接接続されておらず、主蒸気隔離弁の誤閉止の影響はない、また、プラント停止時の温度及び圧力の変化幅は負荷遮断時と比較すると小さく、急激なパラメータ変化はない。	原子炉停止に伴い主給水隔離弁が閉となり,脱気器水位制御弁も遅れて全閉する。それに伴い,復水流量は数分間かけて0t/hとなることから100%からの原子炉トリップに伴う2次系過渡に包絡される。
1980.03.16	給水制御弁制御器の振動により、蒸気発生器水位異常高となり、タービントリップ(原子炉トリップ・発電機トリップ)。	主給水系統と当該部位の間には脱気器が設置されており、主給水制御弁異常の影響はない、また、プラント停止時の温度及び圧力の変化幅は負荷遮断時と比較すると小さく、急激なパラメータ変化はない。	原子炉停止に伴い主給水隔離弁が閉となり,脱気器水位制御弁も遅れて全閉する。それに伴い,復水流量は数分間かけて0t/hとなることから100%からの原子炉トリップに伴う2次系過渡に包絡される。
1983.12.27	設定器のヒューズ切れにより、主蒸気流量高パーシャル主蒸気隔離の警報が発信した。	主蒸気系統は当該部位と直接接続されておらず、主蒸気流量変動の影響はなく、急激なパラメータ変化はない。	誤信号でありプラントパラメータは特に変化しないことから当該部への特に影響無し
1985.03.09	脱気器レベルスイッチ(水位高−高)の誤作動により、全低圧ヒータドレンポンプが自動停止し第6給水ヒータ水位制御弁(常用)が全閉したため、負荷が変化した(2%負荷減少)。その後,プラント負荷を更に低下させ(86%負荷),脱気器水位調整を行い,約92%負荷で運転継続。	低圧ヒータドレンポンプが停止することにより、当該部を流れる復水流量が一時的に変動するが、負荷変化幅は小さく、急激なパラメータ変化はない。	低圧ヒータドレンポンプ停止に伴い,瞬時に負荷が2%減少したことから100%から90%への1次系のステップ状負荷減少に伴う2次系過渡に包絡される(負荷減少に包絡される)。その後の負荷減少/上昇は手動で行っており,通常の負荷減少/負荷上昇に包絡される。
1985.05.05	湿分分離加熱器ドレンタンク水位制御系の不調により、常用水位制御弁から非常用水位制御弁に切り替ったため、負荷が若干低下した。	湿分分離加熱器ドレン制御が不調となるが、負荷変化幅が小さいため、パラメータ変化はほとんどない。	湿分分離器ドレンが脱気器から復水器回収に切り替わったことにより,約2%の負荷降下が発生したことから,1次系の100%から90%へのステップ状負荷減少に伴う2次系過渡に包絡される。
1987.05.27	ガスケットパッキンの締付け不足により、1次系統からの漏えいが発生した。	格納容器サンプは1次系の設備であり、2次系とは蒸気発生器で隔てられていることから、当該部への影響はない、また、プラント停止時の負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント停止時の負荷降下レートは10%/hで有り,通常のプラント停止の過渡に包絡される。
1988.07.25	溶接施工不良による低温割れにより、主給水制御弁出口配管付近から僅かな漏えいが発生した。	主給水系統と当該部位の間には脱気器が設置されており、影響はない、また、負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント停止時の負荷降下レートは10%/hで有り,通常のプラント停止の過渡に包絡される。

1993.08.24	復水器内に海水の微小な漏れ込みがあり、検塩計指示が上昇したため、負荷降下した。	復水器から復水系統に海水が漏れ込むが、水質は管理値以内であり問題はない、また、負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント停止時の負荷降下レートは10%/hで有り,通常のプラント停止の過渡に包絡される。
1994.04.20	主給水制御弁のシートリングにピストンリングとの接触による摩耗減肉部分があり、主給水制御弁注意の警報が発信され、原子炉を手動停止した。	主給水系統と当該部位の間には脱気器が設置されており、主給水制御弁動作不良の影響はない、また、プラント停止時の負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは通常停止時と変わらないことから,通常プラント停止の過渡に包絡される。
1995.7.12	高圧給水加熱器のドレン水位設定の調整不足が判明したため、負荷降下して点検した。	高圧給水加熱器のドレン流量の増加は、ドレン水位設定の調整不足によるものであり、当該部の運転状態には変化がなかったため影響はない、また、負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは10%/hで有り,負荷減少に伴う2次系過渡に包絡される
1995.10.13	原子炉水位計ハウジングのキャノピーシール部からの漏えいが発生した。	原子炉水位計は1次系の設備であり、2次系とは蒸気発生器で隔てられていることから、当該部への影響はない、また、プラント停止時の負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは通常停止時と変わらないことから,通常プラント停止の過渡に包絡される。
1998.10.18	復水器の細管1本に、内面で長さ1mm程度のくぼみ状の貫通欠落が生じて検塩計指示が上昇したため、負荷降下した。	復水器から復水系統に海水が漏れ込むが、水質は管理値以内であり問題はない、また、負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは20%/hで有り,100%からの原子炉トリップに伴う2次系過渡に包絡される。
1999.05.26	9本の油圧防振器の損傷に加え、2箇所の配管振れまわり防止用支持構造物で緩衝材の変形が生じていた 主蒸気管の水抜き作業中,当該配管内で水撃作用が発生した。	今回の破損発生部位との間には、高圧ヒータ、脱気器、及び給水ポンプ等の固定機器があり、配管変動の影響はほとんどない。	プラント停止中の事象であり特に影響無し
2002.11.15	1次冷却材ポンプ封水注入ラインベント弁のすみ肉溶接部の外表面の周方向に、長さ約25mmの線状のき裂が生じていたため、1次冷却材ポンプの封水注入ラインに取り付けてあるベント弁溶接部から漏洩が発生した。	1次冷却材ポンプは1次系設備であり,2次系とは蒸気発生器で隔てられていることから,当該部への影響はない、また、プラント停止時の負荷降下レートは通常停止時と同等であり、急激なパラメータ変化はない。	プラント負荷降下時の負荷降下レートは通常停止時と変わらないことから,通常プラント停止の過渡に包絡される。

当該配管破損のトリガー事象の有無について

１．調査目的

当該配管の破損の主たる要因は、大幅な減肉が見られるため肉厚不足によると考えられるが、トリガーについては別の要因の可能性も考えられる。ただし、トリガーについては直接、その事象を示す記録はないので、事象発生当時のプラントの状況の調査、聞き取り調査、現場作業状態の調査等により、トリガーとなった事象の有無を検討する。

	調査項目	調査内容
要因	運転パラメータ調査	事象発生直前に運転パラメータの異常な変動等がないか確認する。
	聞き取り調査他	プレス文、聞き取り調査により、破損時に当該部付近にいた作業員の方々からの情報を確認する。
	周辺作業状況調査	破損時に周辺で実施していた作業内容を調査し、当該部に影響を与えるような作業が発生し得るか確認する。

２．調査内容

（１）運転パラメータ調査（別添別紙４－３－１３－１）

配管内面からの要因として、運転パラメータの変動有無を確認した。

その結果、美浜３号機は定格熱出力一定運転中であり、給水・復水系統等のパラメータは安定しており、当該配管破損前には破損の兆候を示すパラメータの変化は認められなかった。また、事象発生時は、ポンプの切替等の運転操作は行っていないことを確認した。

（２）聞き取り調査他（別添別紙４－３－１３－２）

破損時に当該部付近にいた被災者以外の作業員の方（２名）からの聞き取り調査、及び、被災者の方々からの情報調査を実施した。

その結果、事象発生前に運転中の音以外に異常な音を聞いたとの情報がないことを確認した。

（３）周辺作業実施状況調査（別添別紙４－３－１３－３）

本設の架台、仮設の足場の設置状態、破損時の当該配管周辺における仮設足場の

設置作業状況等を把握し、当該配管の踏みつけの可能性や当該部に影響を与える作業の有無について検討した。

その結果、当該配管の踏みつけや部材を衝突させることはなかったと考えられる。

3．調査結果

以上の調査結果から、破損の兆候を示すパラメータの変化は認められなかったこと、現場では特に予兆となる異音等はなかったと考えられること、また、当該配管の踏みつけや部材を衝突させることはなかったと考えられることから、トリガーとなる事象はなかったと考えられる。

—以上—

2次系配管破損事故時におけるプラント主要パラメータの推移

パラメータについては、A・B・Cループ共ほぼ同様の挙動を示しているため、Aループ（A蒸気発生器）のみを記載

15時22分 「火災報知器動作」警報発信
15時22分 「3B直流接地」警報発信
15時23分 「3A直流接地」警報発信
15時25分 タービン建屋3階で蒸気充満確認
15時26分 緊急負荷降下
15時28分 A・B給水ポンプ自動停止
15時28分 A・B電動補助給水ポンプ自動起動
15時28分 C給水ポンプ自動起動
15時28分 原子炉自動停止
15時28分 タービン動補助給水ポンプ自動起動
15時31分 C給水ポンプ自動停止
15時32分 補助給水流量制御弁閉止
15時35分 原子炉高温停止状態
15時44分 脱気器水位制御弁閉止
15時53分 タービン建屋2、3階の蒸気量減少確認
16時05分 A・B・C主蒸気隔離弁閉止
16時05分 タービンバイパス弁から主蒸気逃がし弁に切替
16時20分 タービングランド蒸気を主蒸気から補助蒸気へ切替
16時26分 A・B・C主給水隔離弁閉止
16時55分 SG狭域水位が通常無負荷水位回復
17時00分 A・B・C－SGブロー再開

①330℃ 318℃ 306℃ 294℃ 282℃ 270℃
②100% 80% 60% 40% 20% 0%
③25MPa 20MPa 15MPa 10MPa 5MPa 0MPa
④8.0MPa 7.5MPa 7.0MPa 6.5MPa 6.0MPa 5.5MPa
⑤2000t/h 1600t/h 1200t/h 800t/h 400t/h 0t/h

Aループ高温側冷却材温度（目盛①）
出力領域中性子束CH1（目盛②）
Aループ給水流量（目盛⑤）
Aループ蒸気流量（目盛⑤）
A～C蒸気発生器関連パラメータ 添付－1(2/6～4/6)参照
Aループ冷却材圧力（目盛③）
A-SG広域水位（目盛②）
加圧器水位（目盛②）
A-SG圧力（目盛④）
A-SG狭域水位（目盛②）
破口前に各パラメータに有意な変動は見られていない

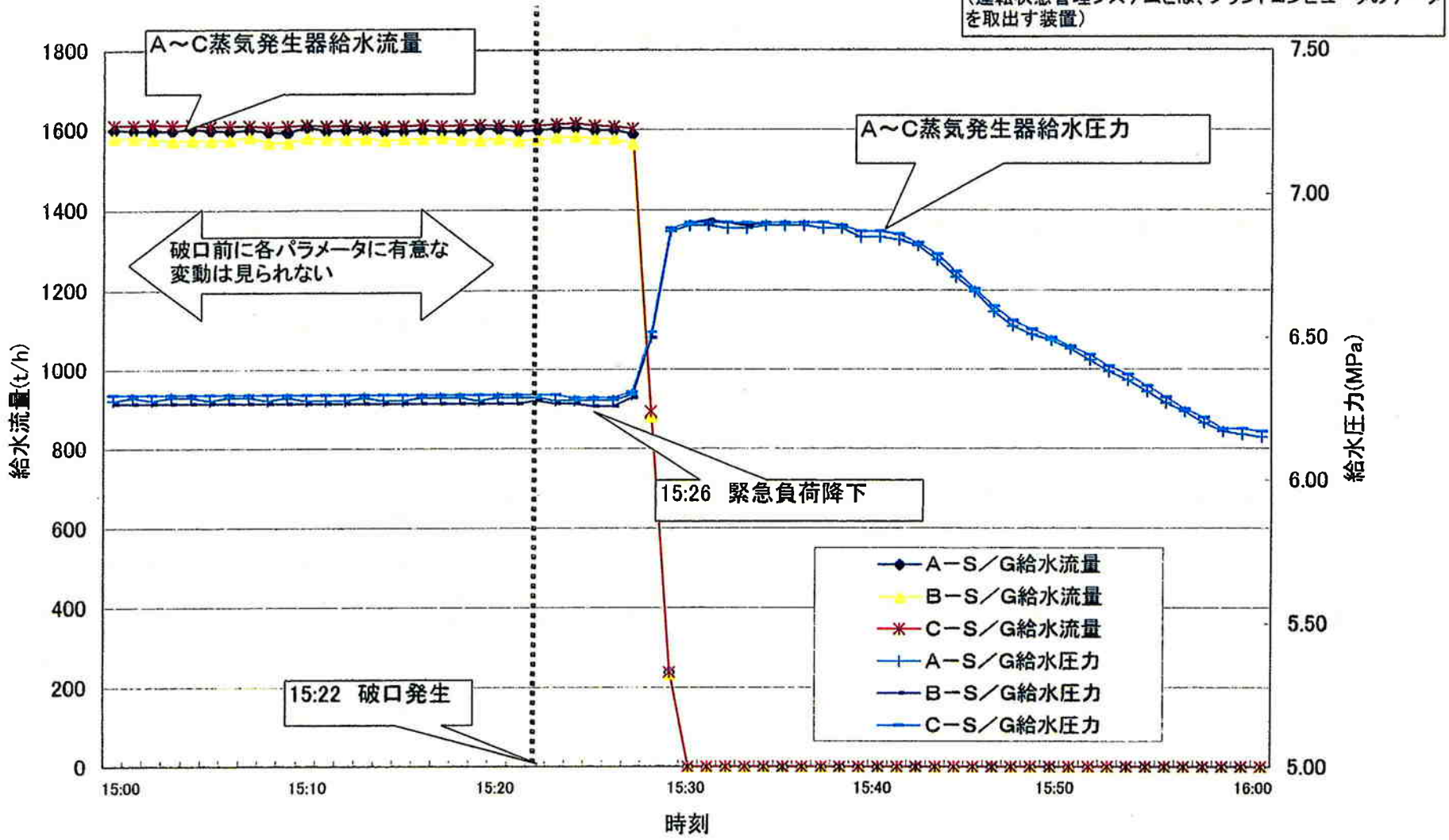
15:00 15:03 15:06 15:09 15:12 15:15 15:18 15:21 15:24 15:27 15:30 15:33 15:36 15:39 15:42 15:45 15:48 15:51 15:54 15:57 16:00 16:03 16:06 16:09 16:12 16:15 16:18 16:21 16:24 16:27 16:30 16:33 16:36 16:39 16:42 16:45 16:48 16:51 16:54 16:57 17:00

時刻

このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
（運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置）

蒸気発生器給水流量・蒸気発生器給水圧力の変化

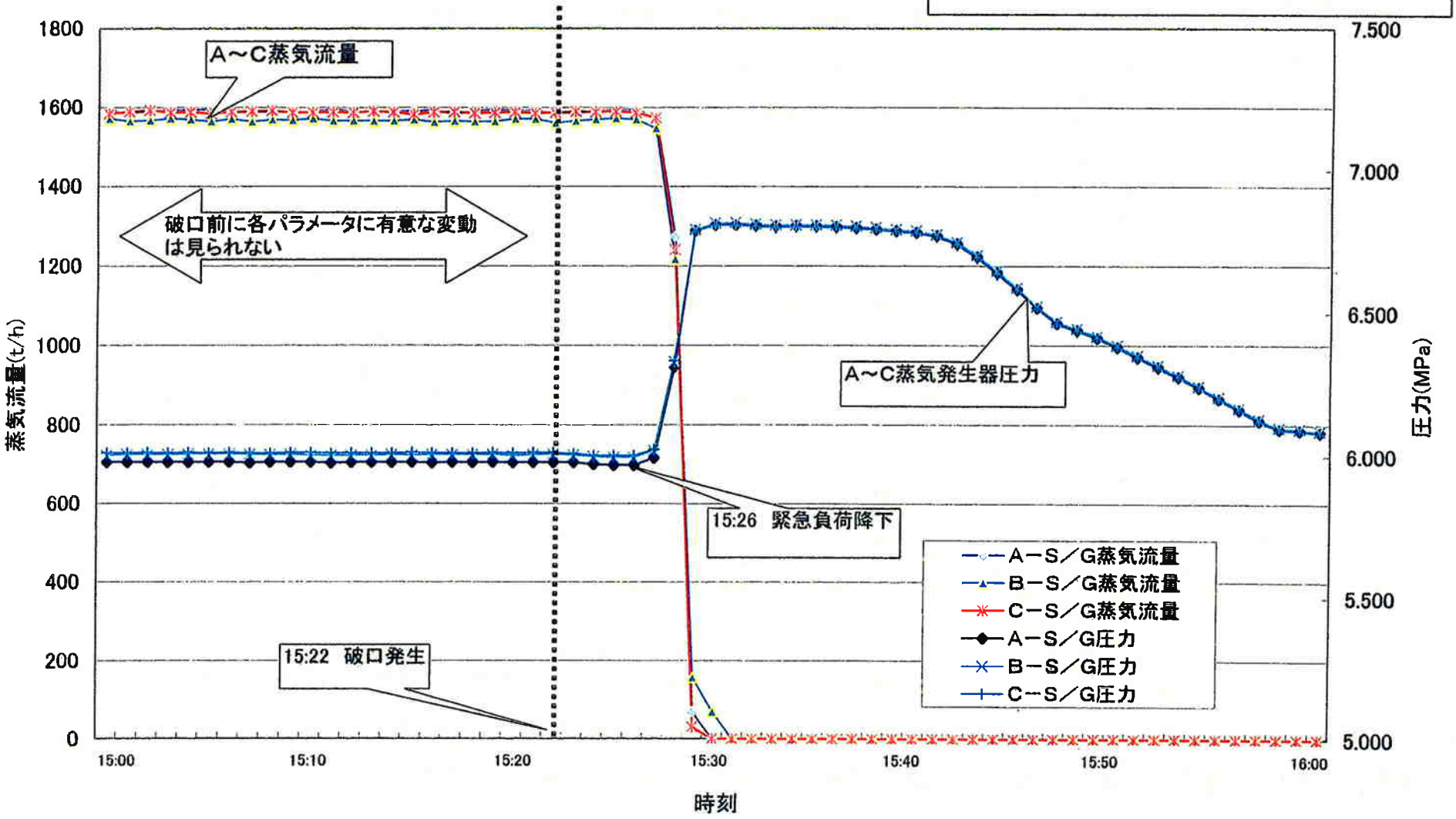
このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
（運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置）



別添別紙４－３－１３－１（２／７）

蒸気発生器圧力と蒸気流量の変化

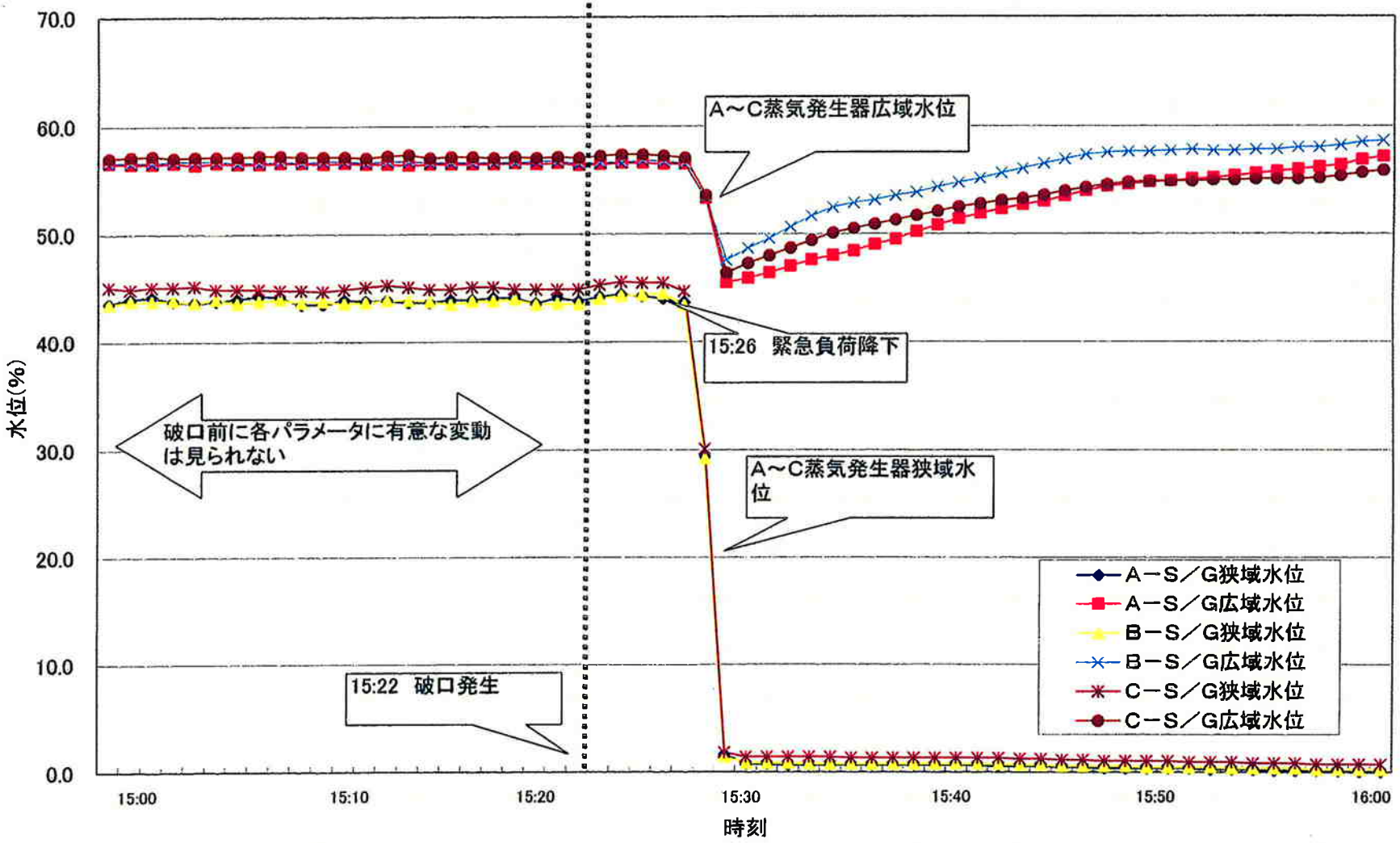
このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
（運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置）



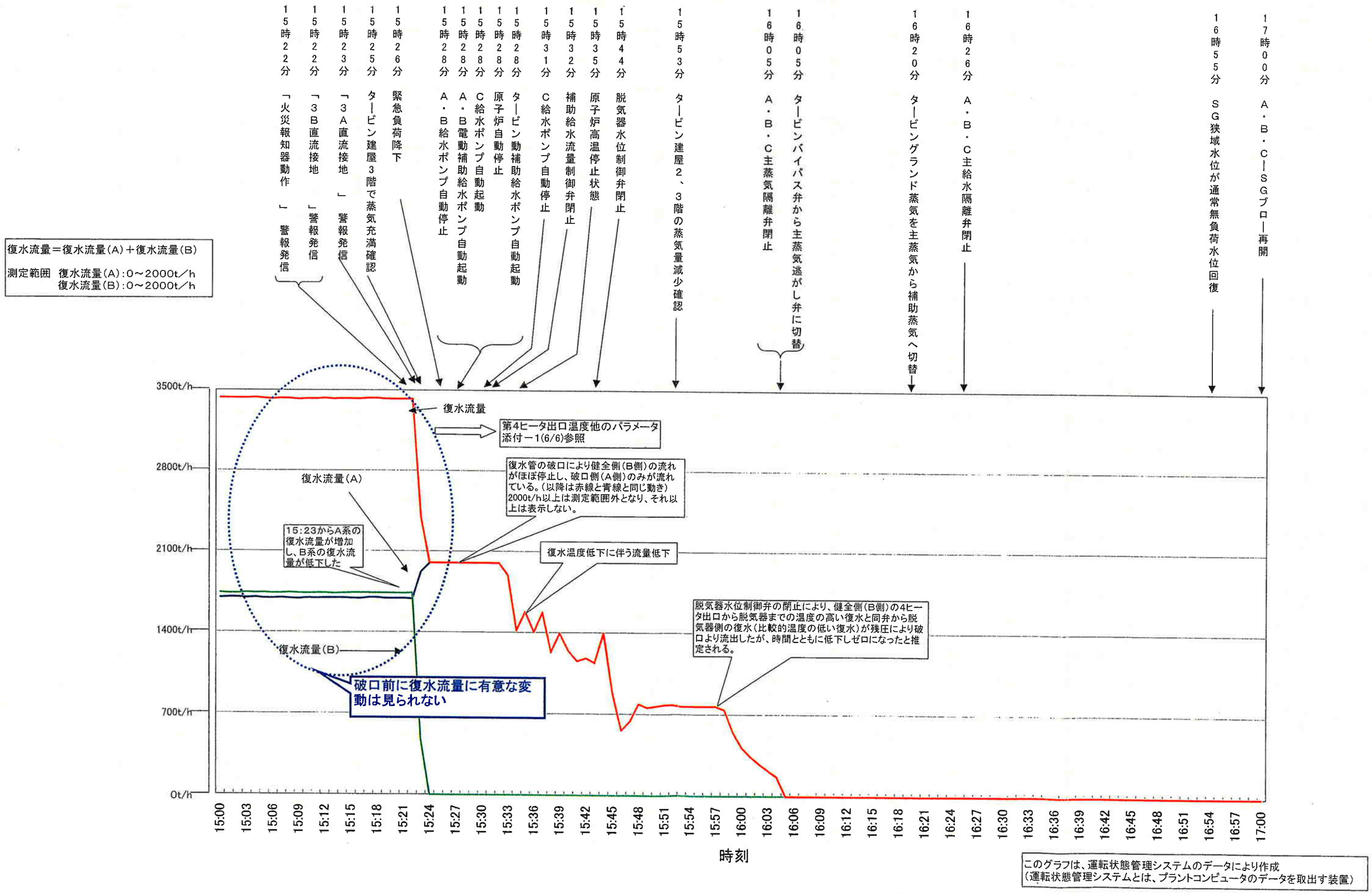
別添別紙４－３－１３－１（３／７）

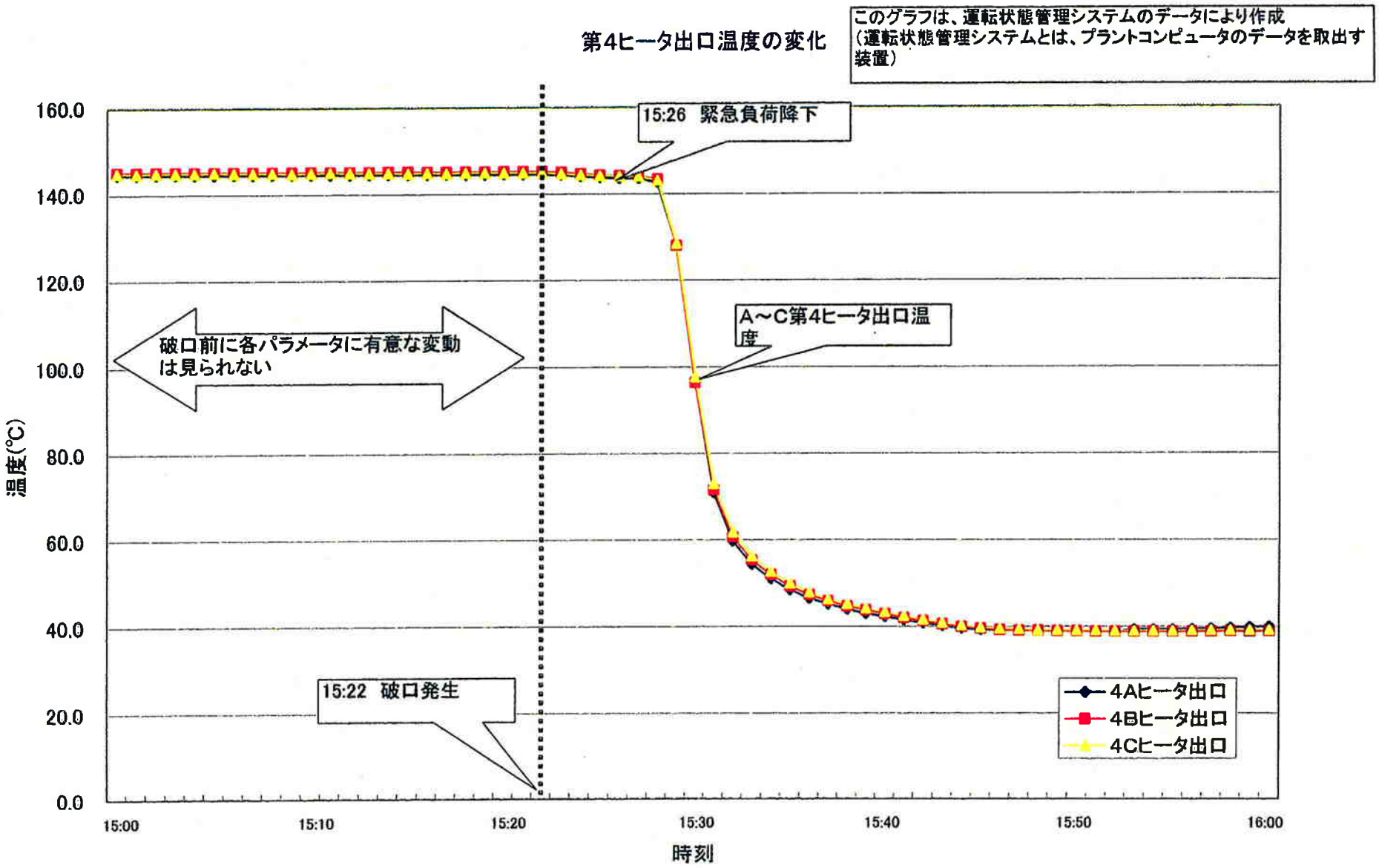
蒸気発生器水位変化

このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
（運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置）

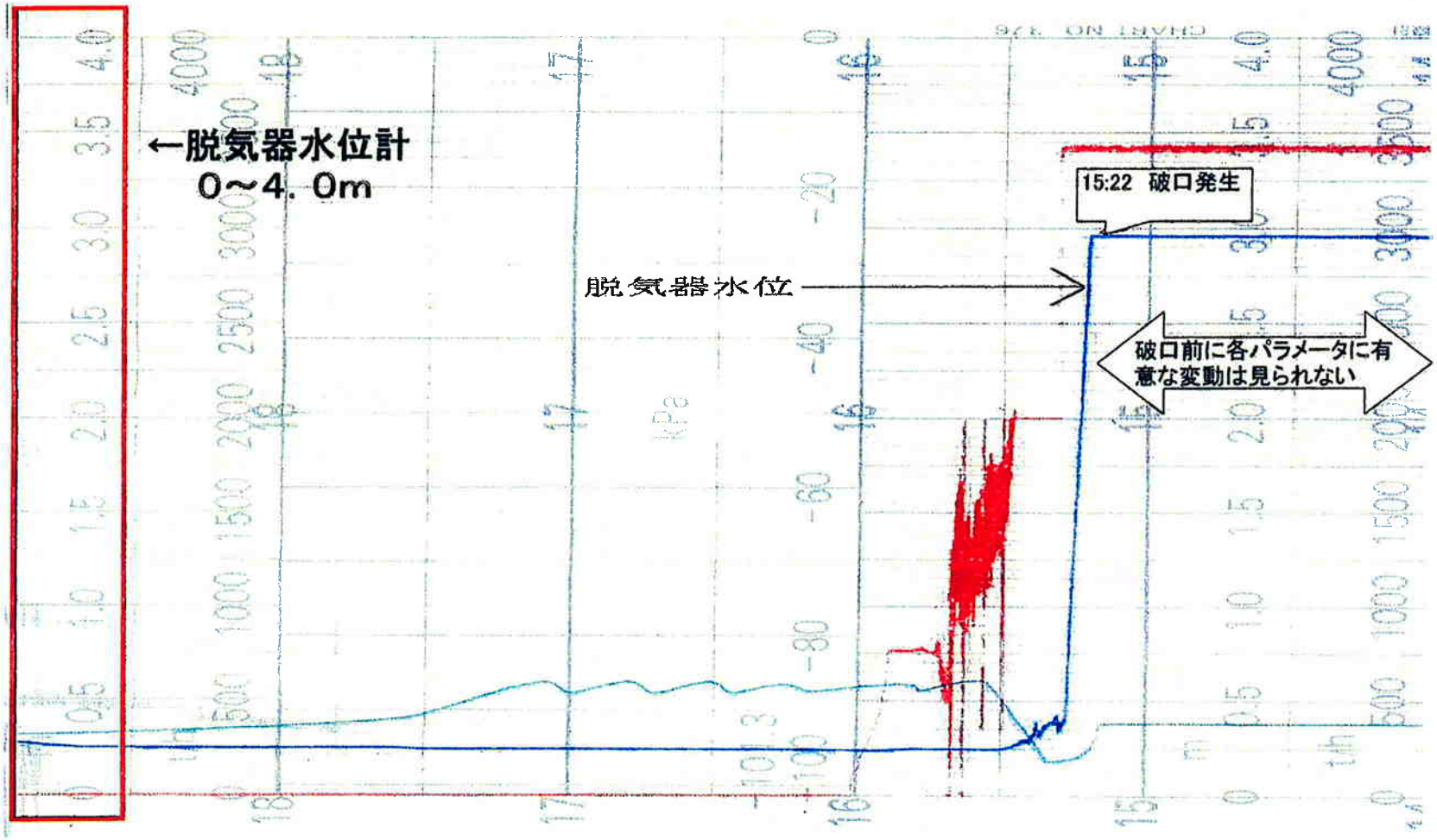


2次系配管破損事故時におけるプラント復水関連パラメータの推移




第4ヒータ出口温度の変化
このグラフは、運転状態管理システムのデータにより作成
（運転状態管理システムとは、プラントコンピュータのデータを取出す装置）
15:26 緊急負荷降下
A～C第4ヒータ出口温度
破口前に各パラメータに有意な変動は見られない
15:22 破口発生
4Aヒータ出口
4Bヒータ出口
4Cヒータ出口
温度(℃)
160.0
140.0
120.0
100.0
80.0
60.0
40.0
20.0
0.0
15:00
15:10
15:20
15:30
15:40
15:50
16:00
時刻

脱気器水位変化



事故発生時の異常音の有無について(1/2)

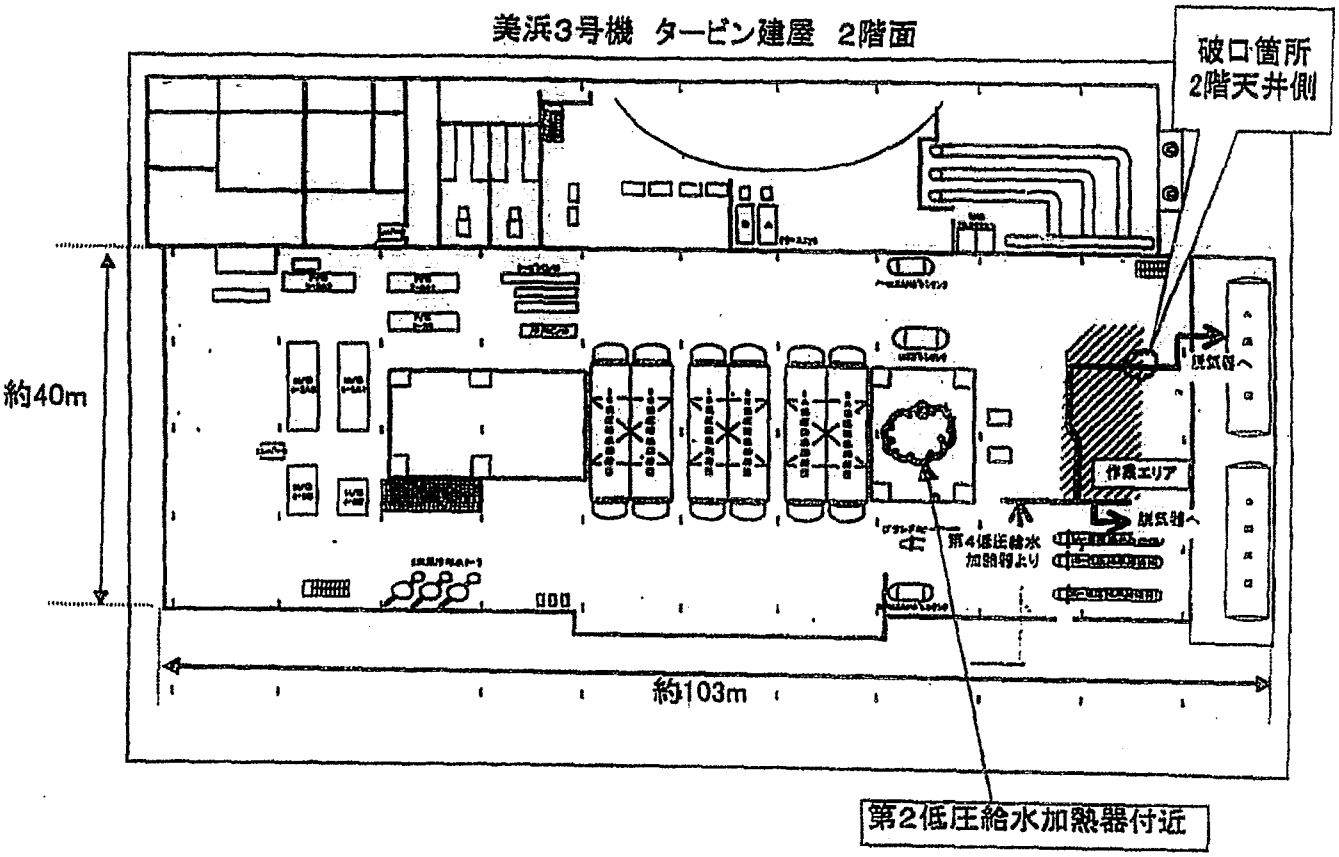
所在場所	事故発生前の 異常音等の有無*	事故発生時の音の情報*	所在箇所周辺環境
タービン建屋2階 (第2低圧給水加熱器付近) [破損配管に最も近い場所にいた者 (被災者以外)]	『ドン』という音を聞くまでは、運転中の音以外に特に変化はなかった。	『ドン』という音がしたと記憶している。	発生箇所から所在場所へ至る経路に音を遮断するような壁はない。
タービン建屋1階 (オープンハッチシャッター前)	事故発生前にウォータハンマー等の音を聞いた記憶はない。	『ボン』という低い音がした。	周辺に音を遮るような障害物等はない。

＊：被災者以外の方のうち２名から得られた聞き取りによる調査結果

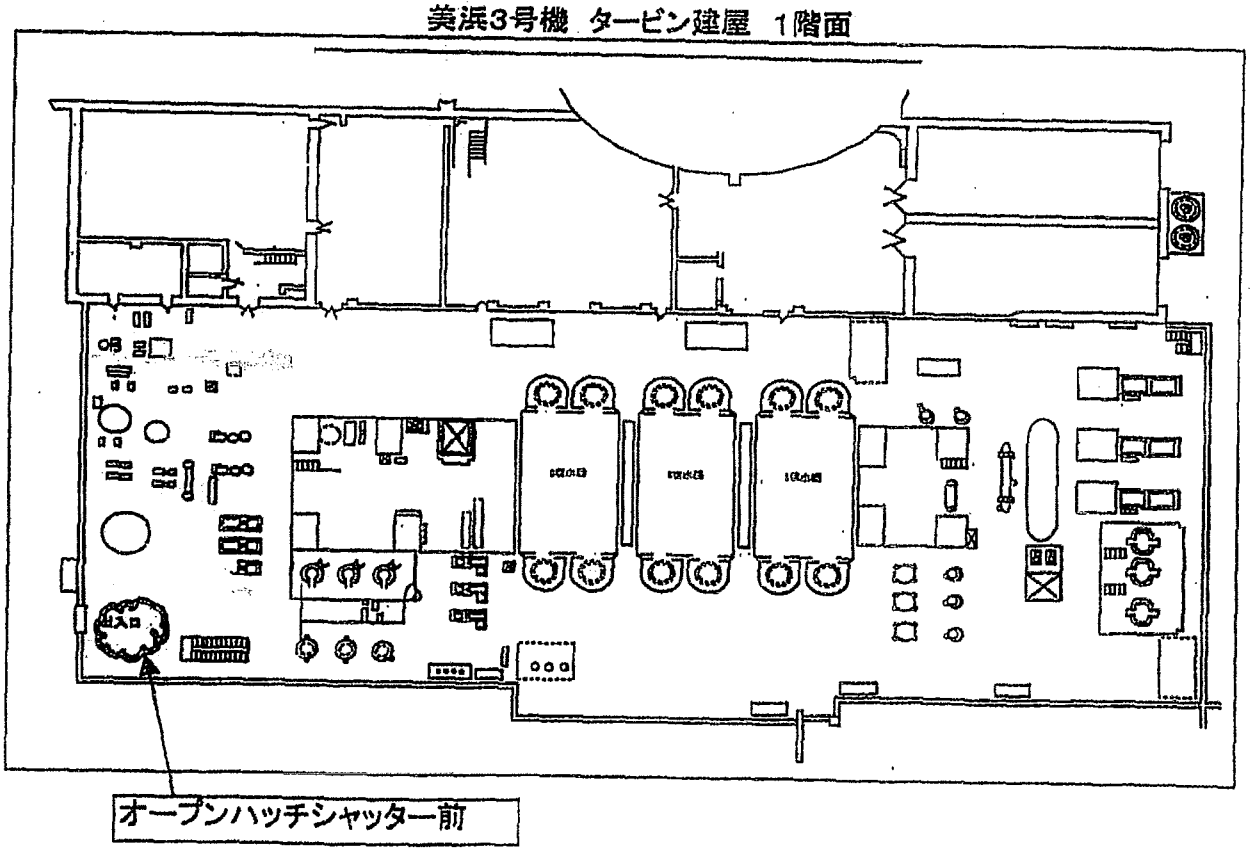
別添別紙４－３－１３－２（１／３）

発生音確認者所在場所

美浜3号機　タービン建屋　2階面



美浜3号機　タービン建屋　1階面



事故発生時の異常音の有無について（2/2）

当該破損事故の被災者の方のうち４名から得られた事故発生時と思われる異常音に関する情報は以下の通り。

プレス日	事故発生時の音の情報*
平成 16 年 8 月 25 日	作業場所を移動しようと思って動き出した時、後ろでドンという大きな音がしたので振り向いたら蒸気が迫ってきた
平成 16 年 9 月 24 日	他に移動しようと思った時、作業区画の奥の方から、すごい大きな音がして、上でホコリが舞うのが見えた
平成 16 年 10 月 8 日	作業区画（の中間建屋側）の外側をしゃがんで床養生作業中、すごい音と共に上からお湯が降ってきた
平成 16 年 10 月 23 日	消耗品の仕分け作業にかかろうとした時、ドカンという大きな音と共にお湯がバサッと懸かってきた

＊引用：木内計測プレス発表資料（抜粋）

当該配管の踏みつけの可能性の調査

当該配管は高所にあり、接近するには配管下に本設されている架台に登る必要がある。

当時、当該配管は本設の架台に加えて、別工事に伴う一部配管除去のために仮設の足場が設置済みの状態であった。

これらについては、

１）当該配管下の本設の架台から配管上まで約１．５ｍあり容易に乗ることはできない。

２）必要な箇所に既に仮設の足場が組まれており、当該配管をまたいで移動しなければならない経路は設置されていない。

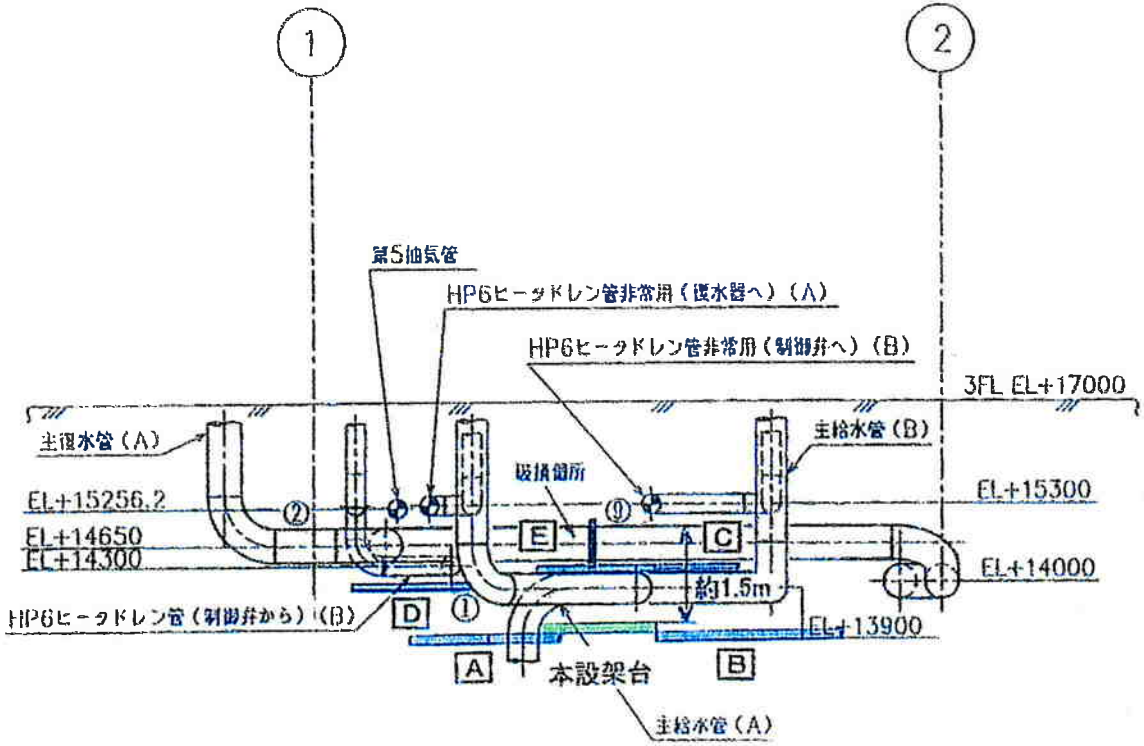
３）当日、事象発生時刻に仮設足場に係る作業をしていなかったこと、及び当時は仮設足場の作業計画がなかったことを聞き取りにより確認している。

以上のことから、当該配管を踏みつけるようなことはなかったと考えられる。

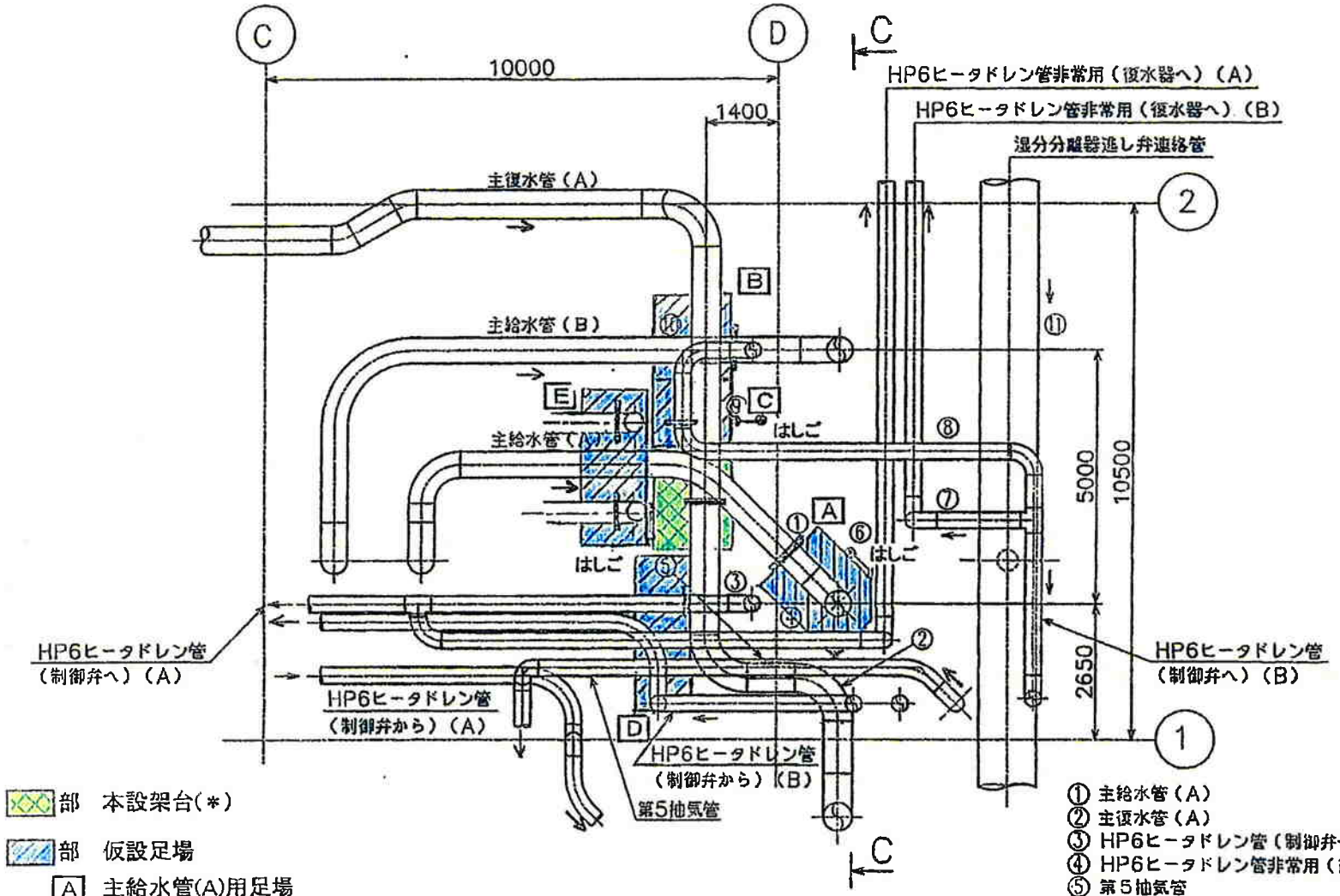
作業中に当該配管に部材を衝突させる可能性の調査

１）当該配管周囲で実施されていた周辺配管作業のための仮設の足場の設置は既に終了していた。また、当日は仮設足場の作業計画がなかったことを聞き取りにより確認している。
２）一部配管除去が計画されている配管には固定金物の取付等の作業があり、取付時に固定金物等を衝突させる可能性があるが、当該配管は一部配管除去が計画されていない。
３）当日、事象発生時刻に仮設足場に係る作業をしていなかったこと、当該配管の周辺で固定金物の取付等の作業をしていなかったことを聞き取りにより確認している。

以上のことから、当該配管に部材を衝突させるようなことはなかったと考えられる。


1
2
第5抽気管
HP6ヒータドレン管非常用（復水器へ）（A）
HP6ヒータドレン管非常用（制御弁へ）（B）
3FL EL+17000
主復水管（A）
主給水管（B）
吸損箇所
EL+15256.2
EL+14650
EL+14300
EL+15300
EL+14000
約1.5m
EL+13900
HP6ヒータドレン管（制御弁から）（B）
D
E
C
A
B
本設架台
主給水管（A）

C － C



▨部　本設架台(＊)

▨部　仮設足場

A　主給水管(A)用足場

B　主給水管(B)用足場

C　HPヒータドレン管(B)用足場(＊)

D　HPヒータドレン管(A)用足場

E　第6抽気管(A・B)用足場(＊)

＊：破損配管取外し作業のため撤去済み。

① 主給水管（A）
② 主復水管（A）
③ HP6ヒータドレン管（制御弁へ）（A）
④ HP6ヒータドレン管非常用（復水器へ）（A）
⑤ 第5抽気管
⑥ HP6ヒータドレン管非常用（復水器へ）（A）
⑦ HP6ヒータドレン管非常用（復水器へ）（B）
⑧ HP6ヒータドレン管（制御弁へ）（B）
⑨ 主復水管（A）
⑩ 主給水管（B）
⑪ 湿分分離器逃し弁連絡管

注．「HP6ヒータ」は、「第6高圧給水加熱器」を示す。

「美浜発電所３号機２次系配管破損事故調査委員会（第７回）資料７－１－１（別添４）」より引用

可視化試験・解析による美浜発電所３号機の配管内流動の検討について

1 目的

美浜発電所3号機のA系統とB系統のオリフィス下流側の実機減肉状態検討のための流況把握及び圧力変動分布データ等の取得。

2 可視化試験

(1) 可視化試験装置

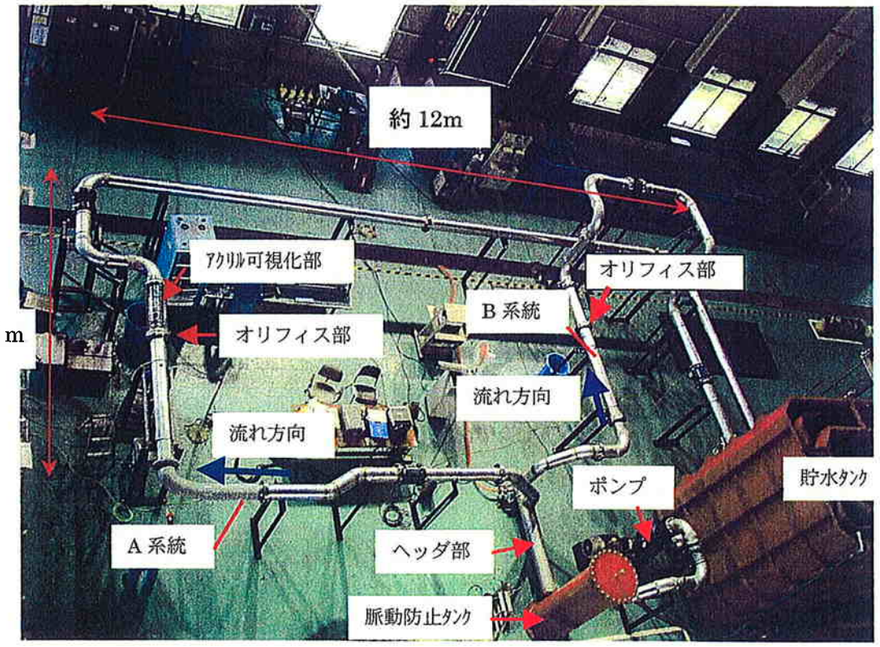


写真 2.1 試験装置

表 2.1 試験と実機の諸元

		試験	実機	備 考
配管内径	(mm)	205	538.8	寸法縮尺 1/2.6
ｵﾘﾌｨｽ絞り径	(mm)	127.6	335.3	寸法縮尺 1/2.6
ｵﾘﾌｨｽ絞り比		0.62	0.62	試験と実機の絞り比は同じ
流量	(-)	264.3(m3/h)	1700(t/h)	
配管流速	(m/s)	2.2	2.2	試験と実機の配管流速は同じ
Re 数	(－)	4.59E+05	5.81E+06	実機 140℃,試験 20℃で計算
流量係数 α	(－)	実機と同一	約 0.66	上欄レイノルズ数範囲で同一

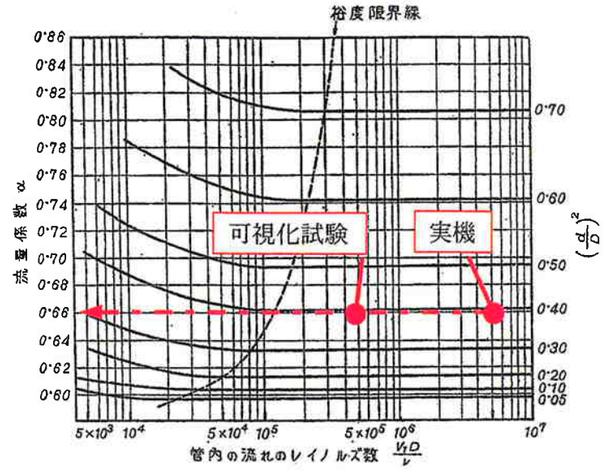
主復水管ヘッダからオリフィス下流までの A,B 系統の配管構成を 1/2.6 で再現

(2)試験模擬性

流量係数 α を一致させることで実機と同等の流況を模擬する
→ｵﾘﾌｨｽ絞り比を同じにする

[流量係数の定義]
流量＝管断面積×流量係数[α]×〔差圧[⊿P] / 密度[ρ]〕$^{1/2}$

○Re 数は乱流域：流体の特性は実機と同じ
○管断面積当りの流量は流体の特性（一定）と流況で決まる。流量とそれらの関係を示したものが α
→ α が同じなら流況は同じ



3 解析モデル

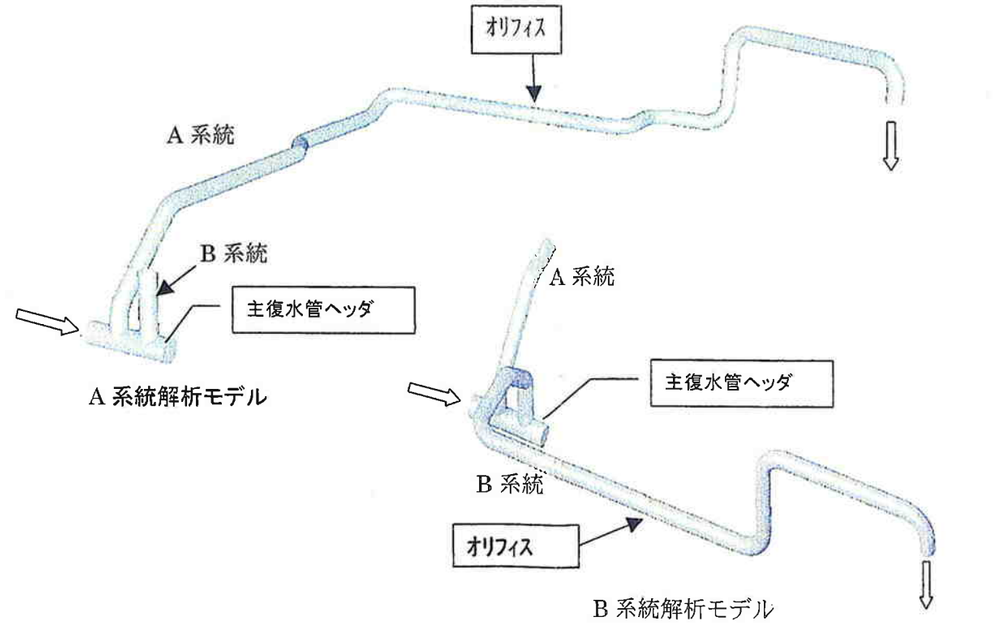


図 3.1 解析モデル
A系統の解析時には B 系統境界に相当流量を流す。同様に B 系統の解析時には A 系統境界に相当流量を流して実機模擬性を高める

表 3.1　解析モデルと実機の諸元

		解析モデル	実機	備　考
配管内径	(mm)	538.8	538.8	寸法縮尺 1/1
ｵﾘﾌｨｽ絞り径	(mm)	335.3	335.3	寸法縮尺 1/1
ｵﾘﾌｨｽ絞り比		0.62	0.62	絞り比は同じ
流量	(-)	1700(t/h)	1700(t/h)	流量は同じ
配管流速	(m/s)	2.2	2.2	配管流速は同じ
Re 数	(－)	5.81E+06	5.81E+06	実機 140℃,解析 140℃で計算

主復水管ヘッダからオリフィス下流までの A,B 系統の配管構成を解析モデル化

4　解析及び可視化試験の結果

(1)　オリフィス上流側の旋回流の発生(解析結果)

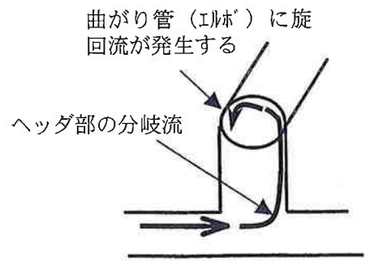
図 4.1　美浜3号機A系統とB系統の旋回流 （流動解析結果）

旋回流の発生原因の推定

○主復水管ヘッダの分岐流が最初のエルボに到達するときに旋回流が発生

→配管構成に影響される

→A 系統と B 系統の違い発生



(2)　オリフィス上流側の旋回流の発生 （可視化試験）

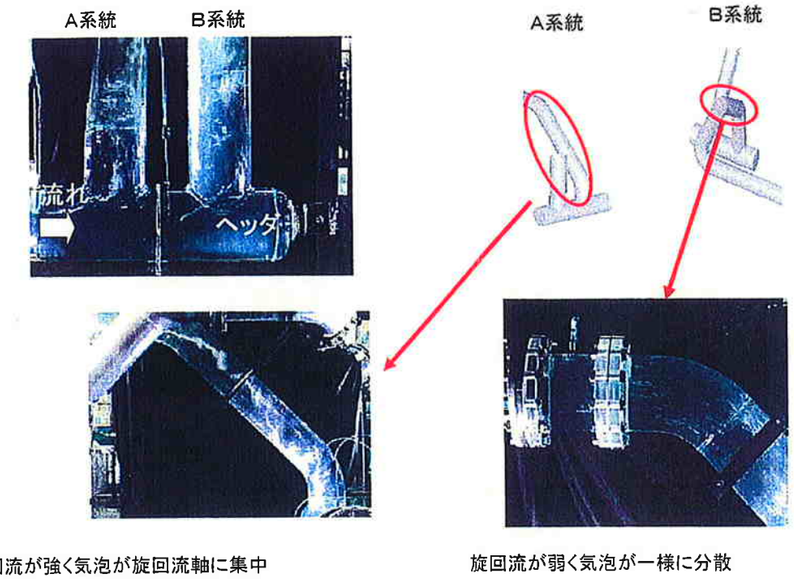


図　4.2　ヘッダ分岐部の流況　　（可視化試験結果）

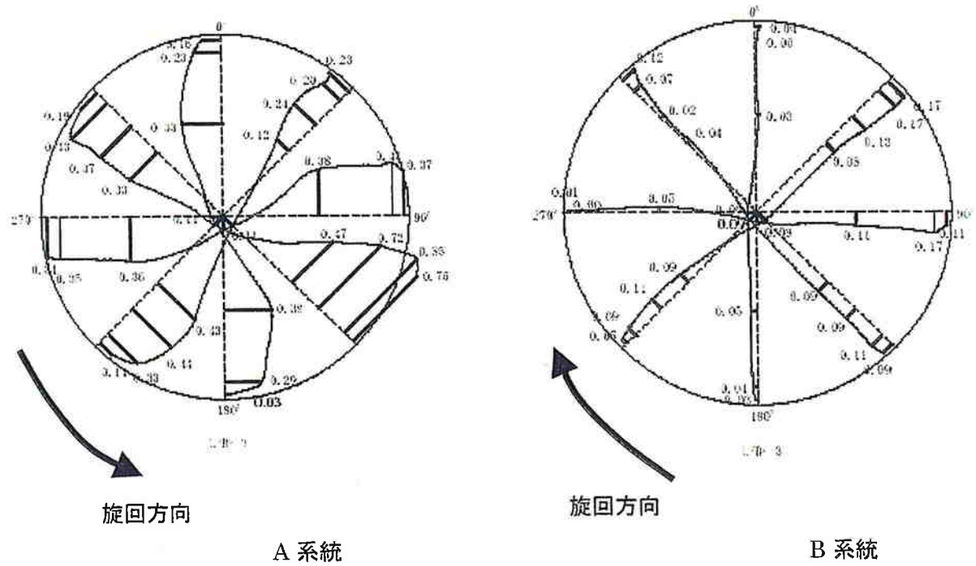
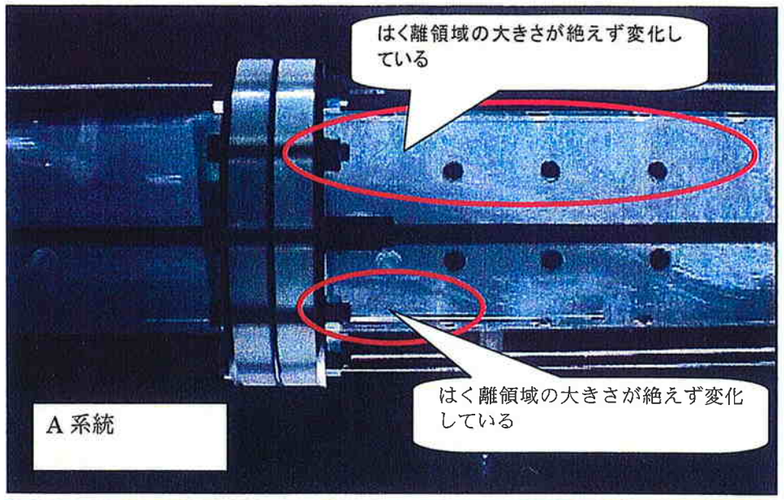
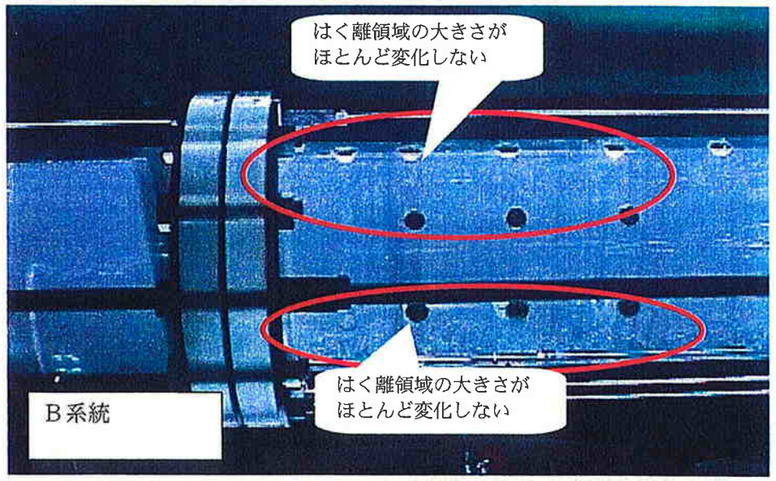


図 4.3　オリフィス上流側 L/D=-3 で計測した上流側から見る旋回流の周方向速度
レーザ流速計による。L はオリフィス上流までの距離，D は管内径
（可視化試験結果）

オリフィス上流
○解析と流況実測
→旋回流の発生を確認

（3）　オリフイス下流側の流況試験結果（写真とスケッチ）





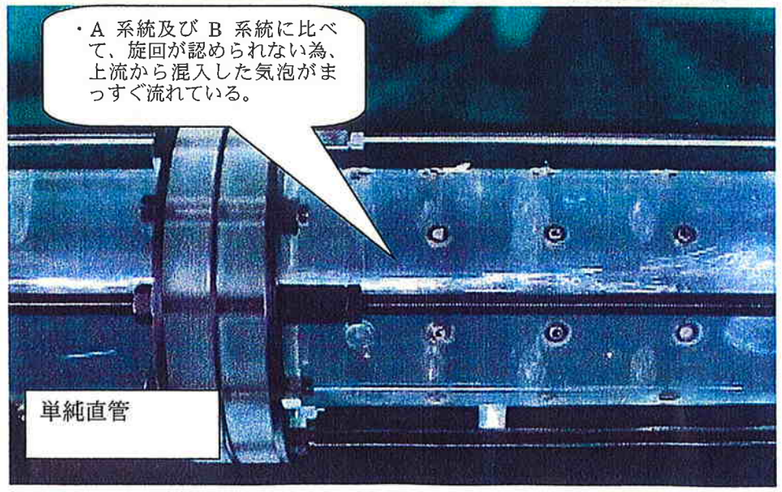
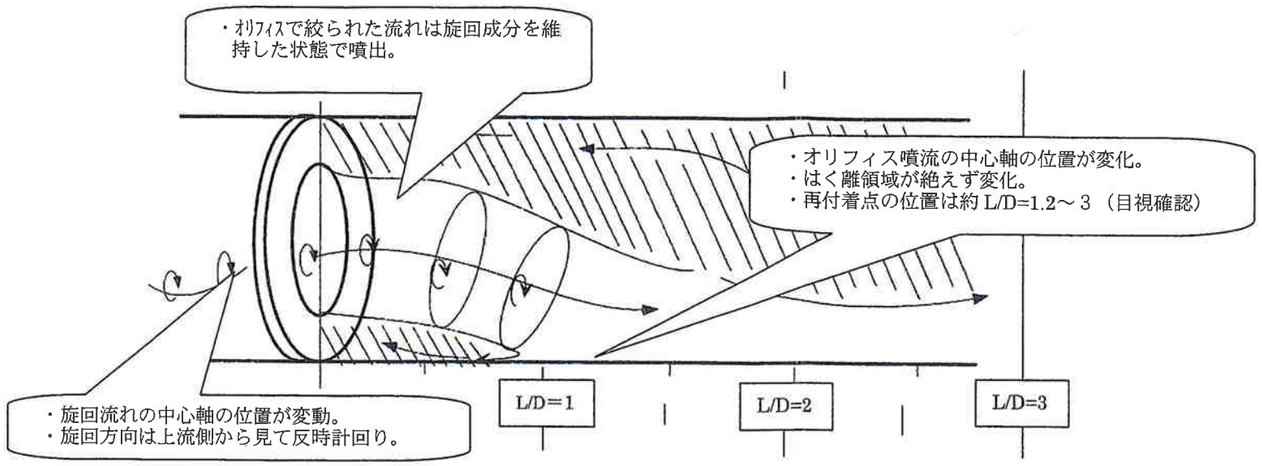
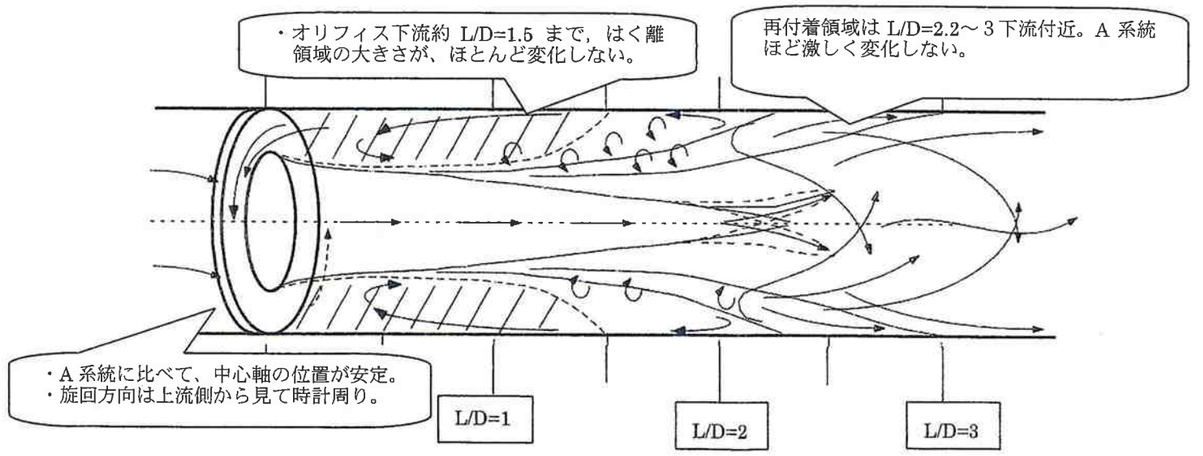


写真 4.1　オリフィス下流側の流況写真
オリフィス上流側から空気泡を注入





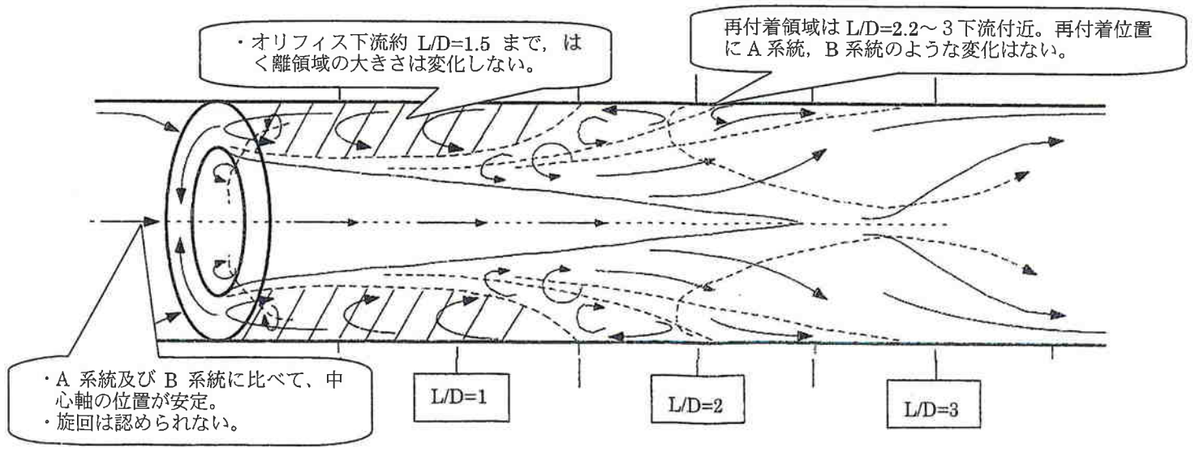
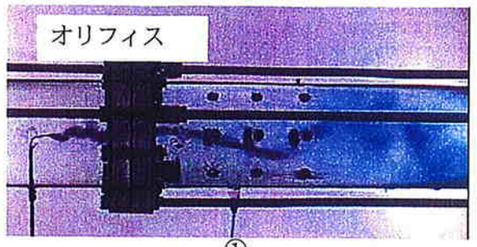
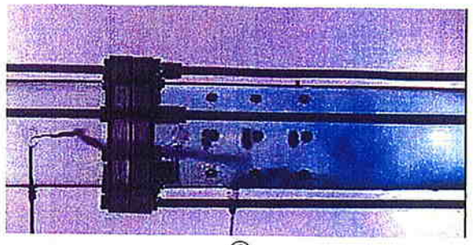


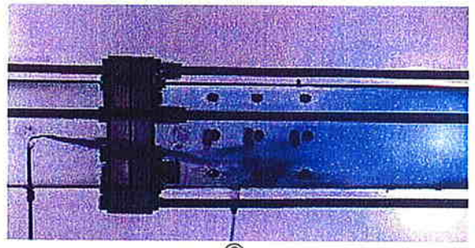
図 4.5　オリフィス下流側の流況スケッチ



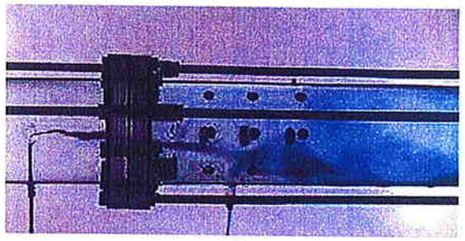
①



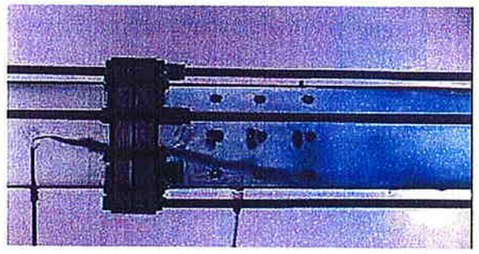
⑥



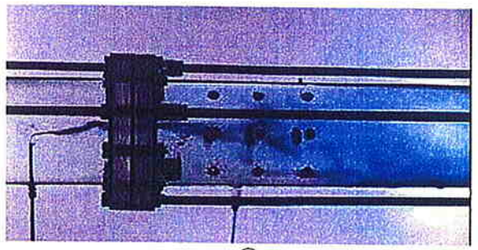
②



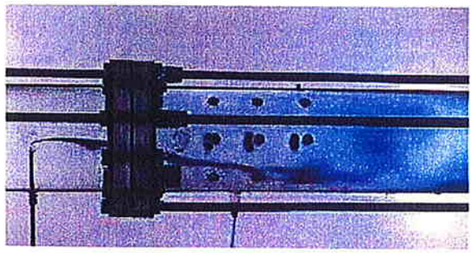
⑦



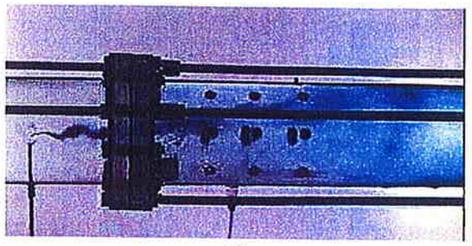
③



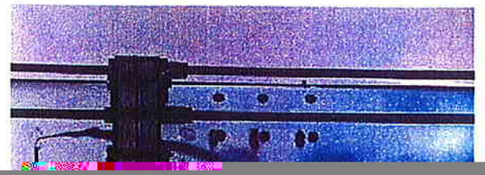
⑧

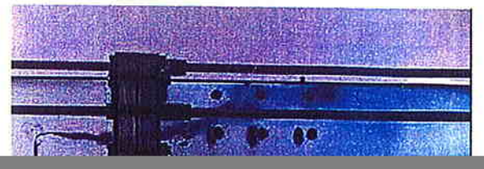


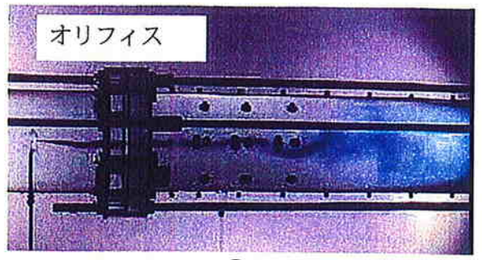
④



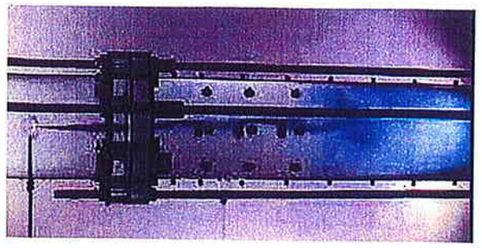
⑨



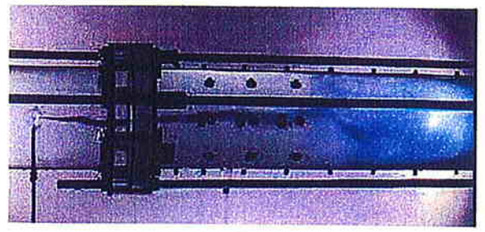




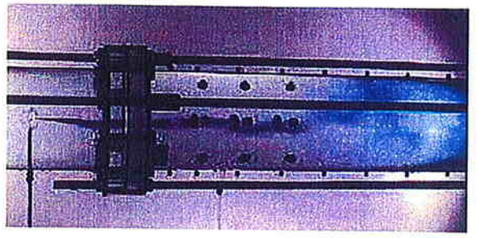
①



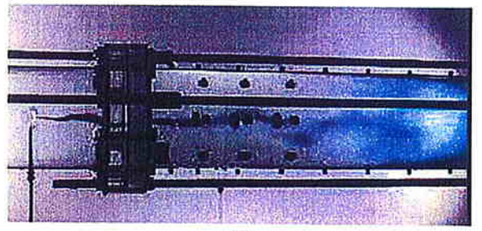
⑥



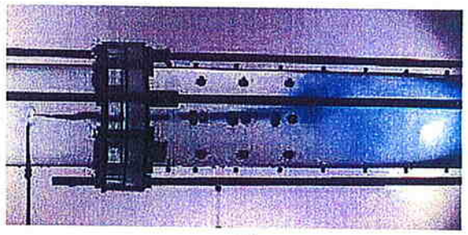
②



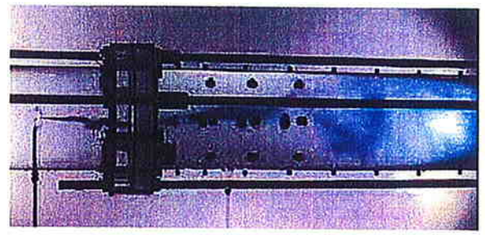
⑦



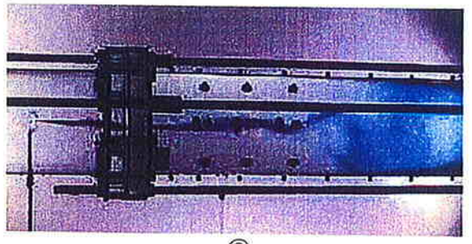
③



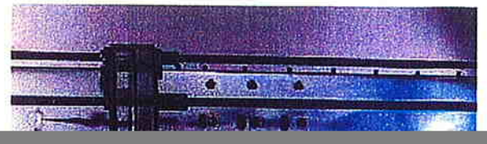
⑧



④



⑨



美浜発電所３号機　２次系復水配管の破壊評価について

［目　的］

美浜発電所３号機復水配管の減肉部の応力を定量的に評価し、減肉により破壊が発生するか否か定量的に把握する。

［減肉配管の破壊解析および評価］

復水配管減肉部(A系,B系)の板厚実測値を反映した FEM 解析により減肉部の応力を定量評価し、当該減肉部の破壊評価を行った。

なお、評価にあたっては、系統全体の解析を実施した上で、詳細解析を行った。

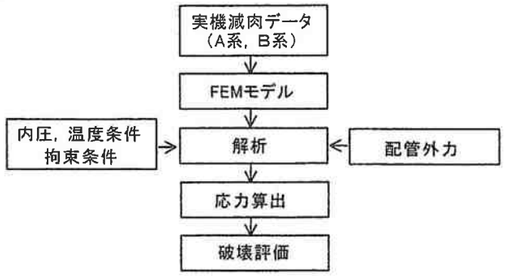


図1　破壊解析･評価フロー

１．解析内容

以下の条件で、配管系全体および減肉配管当該部の応力解析を実施した。

1.1 配管系全体：弾性解析（配管外力評価）

1.2 項で示す減肉部の部分モデルに入力するため、復水配管系全体から生じる外力を、復水配管系全体の応力解析により算出した。

(1) 解析モデル：
主復水管系（第 4 低圧給水加熱器～脱気器）を対象として、モデル化した（図 2 参照）。

(2) 解析コード：配管応力解析システム AutoPIPE Ver6.3

(3) 材料特性：当該部配管材 SB410（at 140℃）
ヤング率 E＝195600MPa、ポアソン比 ν＝0.3
比重量 γ＝7833kg/m^3、線膨張率 α＝1.23E-5/℃

(4) 拘束条件：ハンガー支持部および脱気器端拘束

(5) 荷重条件：内圧=1MPa，配管温度=140℃，自重(配管本体,復水)

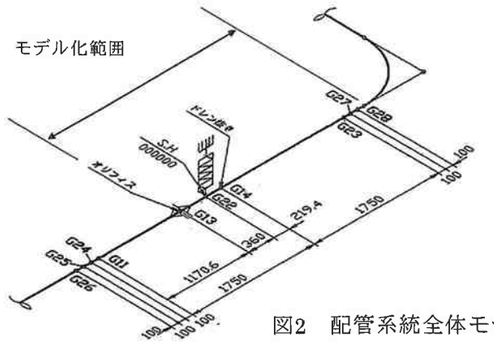


図2　配管系統全体モデルの一部(A系)

1.2 減肉部詳細解析

減肉部位の FEM モデルを用いて、当該部の応力評価を実施した。

(1) 解析モデル：
主復水管（オリフィス下流2616.8mm[A系],2108.5mm[B系]長さ範囲）を対象として、オリフィス・フランジ、ハンガーおよびドレイン管を含め３次元FEMモデル化した（図3参照）。

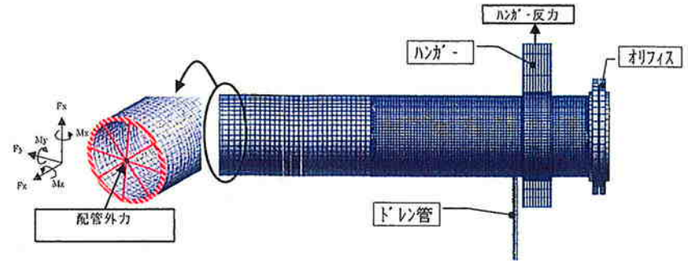
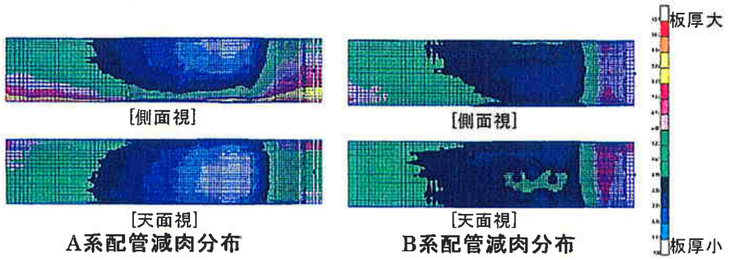


図３　減肉配管詳細ソリッドモデルおよび荷重･拘束条件(A 系)

(2) 減肉分布データ：（出典：第４回事故調査委員会資料４－１－１－１）
実機配管計測結果に基づく減肉分布をモデルに反映した。



A系配管減肉分布　　B系配管減肉分布

(3) 解析コード：汎用構造解析 FEM コード MARC Version 2003

(4) 要素タイプ：TYPE21（20 節点 6 面体ソリッド要素）

(5) 材料特性：実機同等材（SB410）の高温引張試験（at 140℃）によりヤング率 E＝195600MPa、ポアソン比 ν＝0.3、比重量 γ＝7833kg/m^3 応力－ひずみ特性を求めた。（図 4）

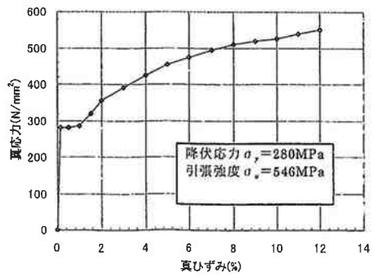
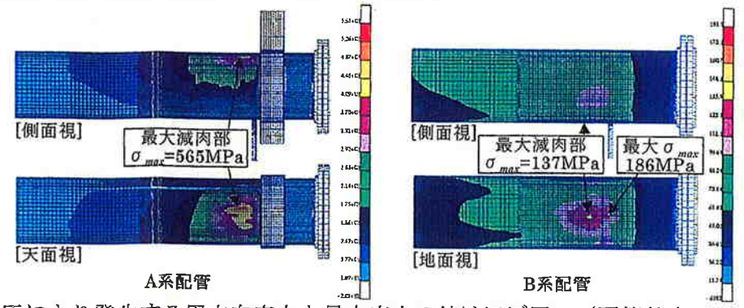


図4　配管材SB410の真応力－真ひずみ特性

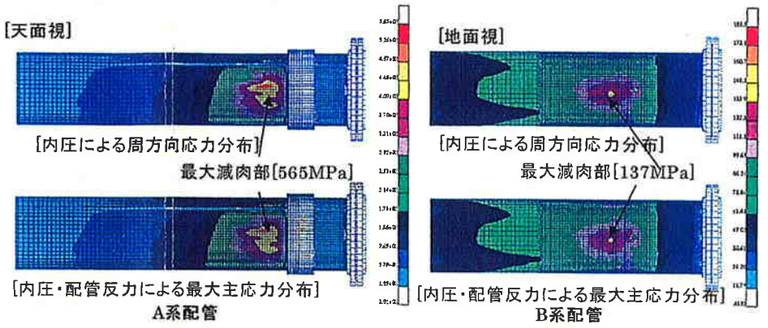
(8) 荷重条件：
- 内圧=1MPa，自重(配管本体,復水)および
- 配管外力（配管系全体弾性解析の結果を使用）

２．解析結果

(1) 最大応力値 A 系：565MPa，B 系：186MPa



(2)内圧により発生する周方向応力と最大応力の値はほぼ同一（配管外力・自重による影響は小さく、内圧が支配的）



３．破壊評価

長い薄肉円筒殻の内圧による延性破壊を想定し、多軸応力状態での円筒殻のバースト圧力計算式に基づき、破壊評価を実施した。(**)

$$p_B = f_{c2}\frac{\sigma_u h_0}{R_{m0}},\quad f_{c2} = \left(\frac{0.25}{n+0.227}\right)\left(\frac{e}{n}\right)^n \qquad (1)$$

σ_u：配管材の引張強度, h_0：円筒殻の元肉厚
R_{m0}：円筒殻の元平均半径, e：自然対数の底
n：下式(2)で定義されるひずみ硬化指数

ここで、弾性ひずみ分を除く応力－ひずみ関係を下式で表す。

$$\sigma = B\varepsilon^n \qquad (2)$$

σ：応力, ε：ひずみ, B：強度係数, n：ひずみ硬化指数

式(1)を変形するとバースト圧力は周方向応力 σ_t に変換できる。

$$\sigma_t = \frac{p_B R_{m0}}{h_0} = f_{c2}\sigma_u \qquad (3)$$

ここでは、式(3)を破壊クライテリア(バースト応力)とした。配管材の真応力－対数ひずみデータからn＝0.2642, f_{c2}＝0.9422, σ_u＝546MPaが得られており、配管のバースト応力はσ_t＝514MPaと求まる。

（参考：σ_t＝514MPaになる板厚は約0.5mm）

(**) 安藤良夫･岡林邦夫著「原子力ﾌﾟﾗﾝﾄの構造設計」（東京大学出版会）

よって、破壊評価の結果、A系は破壊に至り(565MPa＞514MPa)、B系は破壊に至らないこと(186MPa＜514MPa)を、定量的に把握した。

４．まとめ

①A系統は破壊に至る可能性があるが、B系統は破壊に至らないことを定量的に把握した。

②内圧により発生する応力が支配的な要因として、破壊に至ることを把握した。

2次系配管破損挙動解析

1. 破損開口進展解析
2. オリフィス変形解析
3. 配管破口からの熱水噴出解析評価

平成16年12月13日

原子力安全基盤機構

「美浜発電所３号機２次系配管破損事故調査委員会（第７回）資料７－１－１（別添３－１）」より引用
添付資料４－７

概要

1. 破損開口進展解析

AUTODYN-3Dを使用し開口発生時の圧力分布を求め、その圧力により開口がどのように進展するか解析を行った。

ⅰ)10msの短時間で開口部が生成された。

ⅱ)亀裂の進展状況はほぼ模擬できた。

2. オリフィス変形解析

AUTODYN-2D、RELAP5を使用し、変形の要因を検討

ⅰ)破損時の減圧膨張波での残留変形は生じない。

ⅱ)破損後数秒以内の増大流量で変形したと推定。

3. 配管破口からの熱水噴出解析評価

RELAP5を使用し、噴出流量、流体力を解析した。

ⅰ)破損後最大約3000kg/sの熱水噴出が生じた。

ⅱ)破損後噴出流体力は最大約35,000N程度生じた。

1. 破損開口進展解析

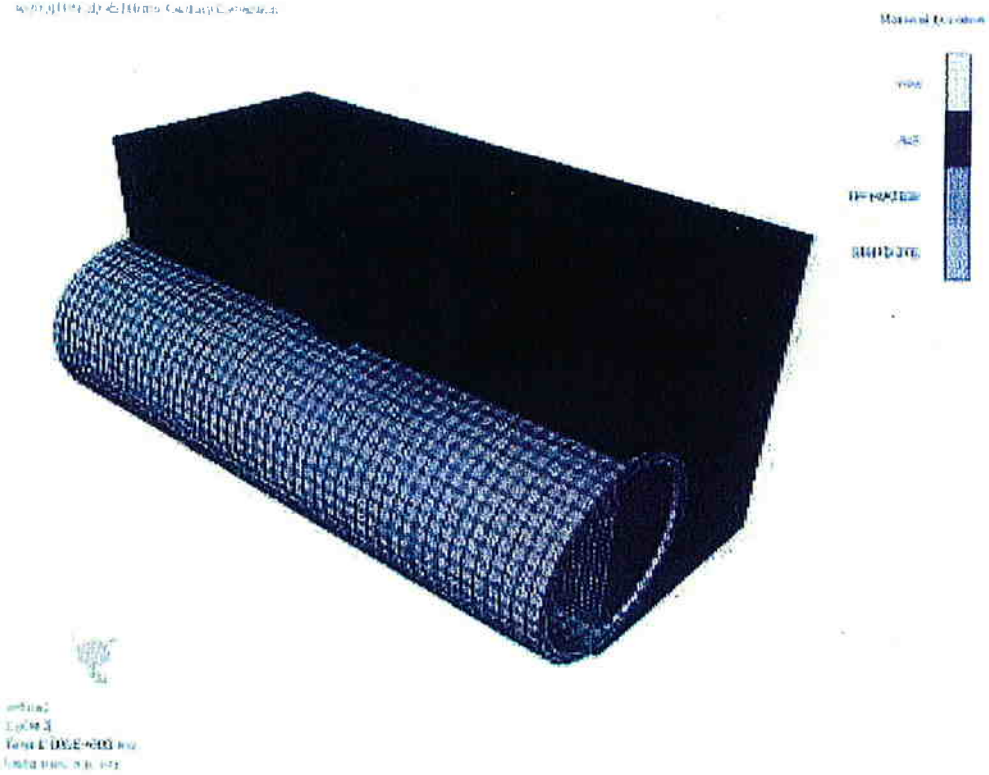
1) 管壁面圧力解析

破損開口の大きさが、管内壁付近の圧力減衰に与える影響の確認

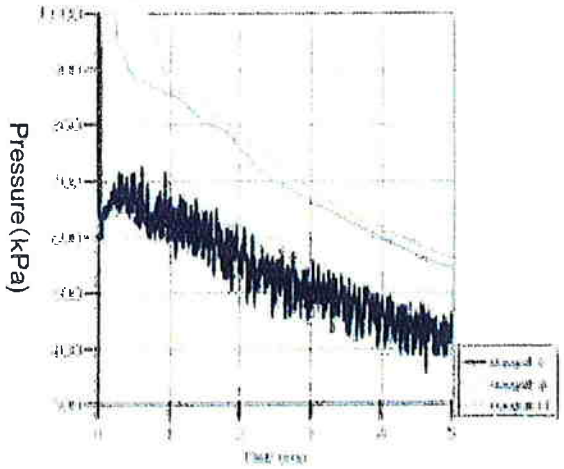
・解析モデル

配管：剛壁

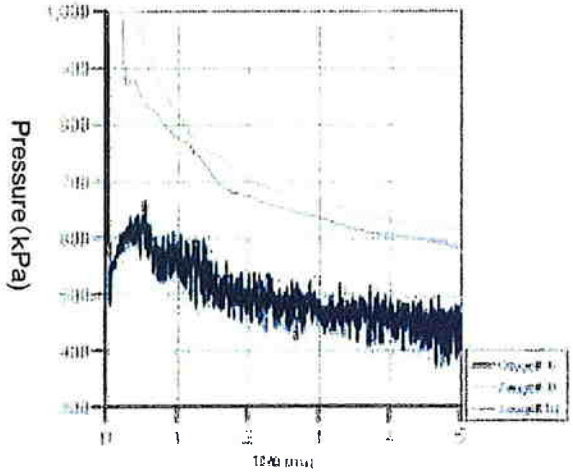
２相(水、水蒸気)、空気



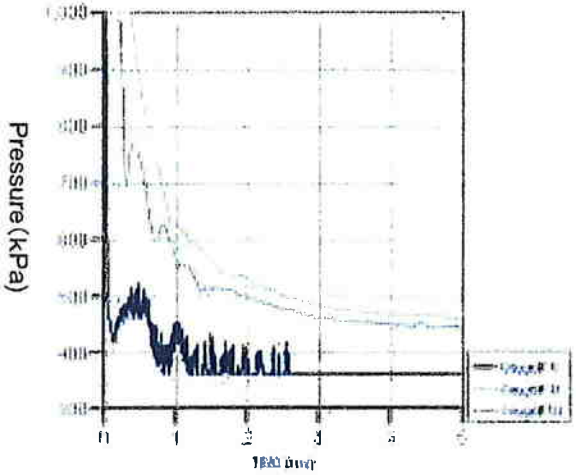
管壁面圧力解析モデル



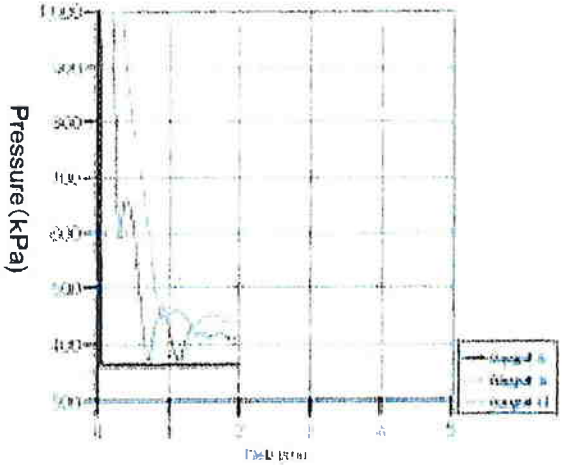
80×80mm



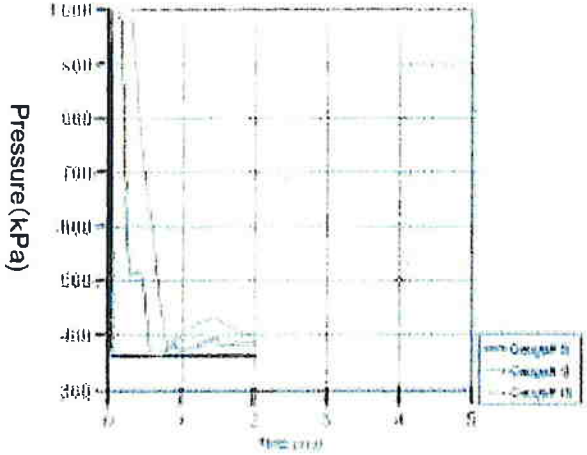
80×160mm



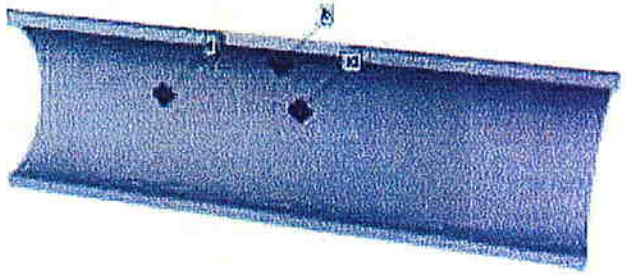
80×400mm



160×400mm



320×400mm



圧力時刻歴の出力位置

開口大きさ別の圧力時刻歴

2) 開口進展解析

破損開口管壁面圧力解析により求められた減圧特性を用い、開口進展解析を実施

・解析モデル

フランジ、クランプ

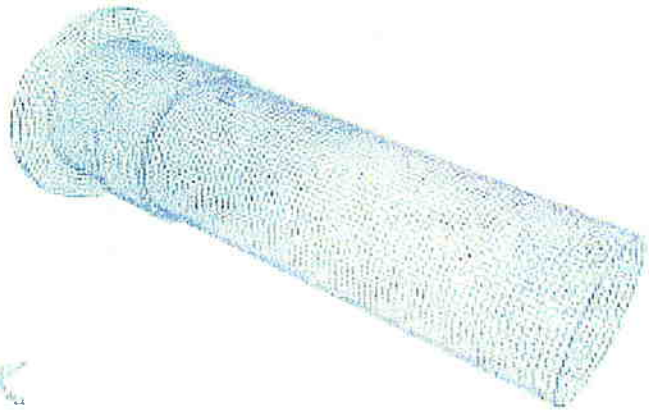
実測肉厚使用

配管材料物性は実機材の引張試験結果に基づく

・解析

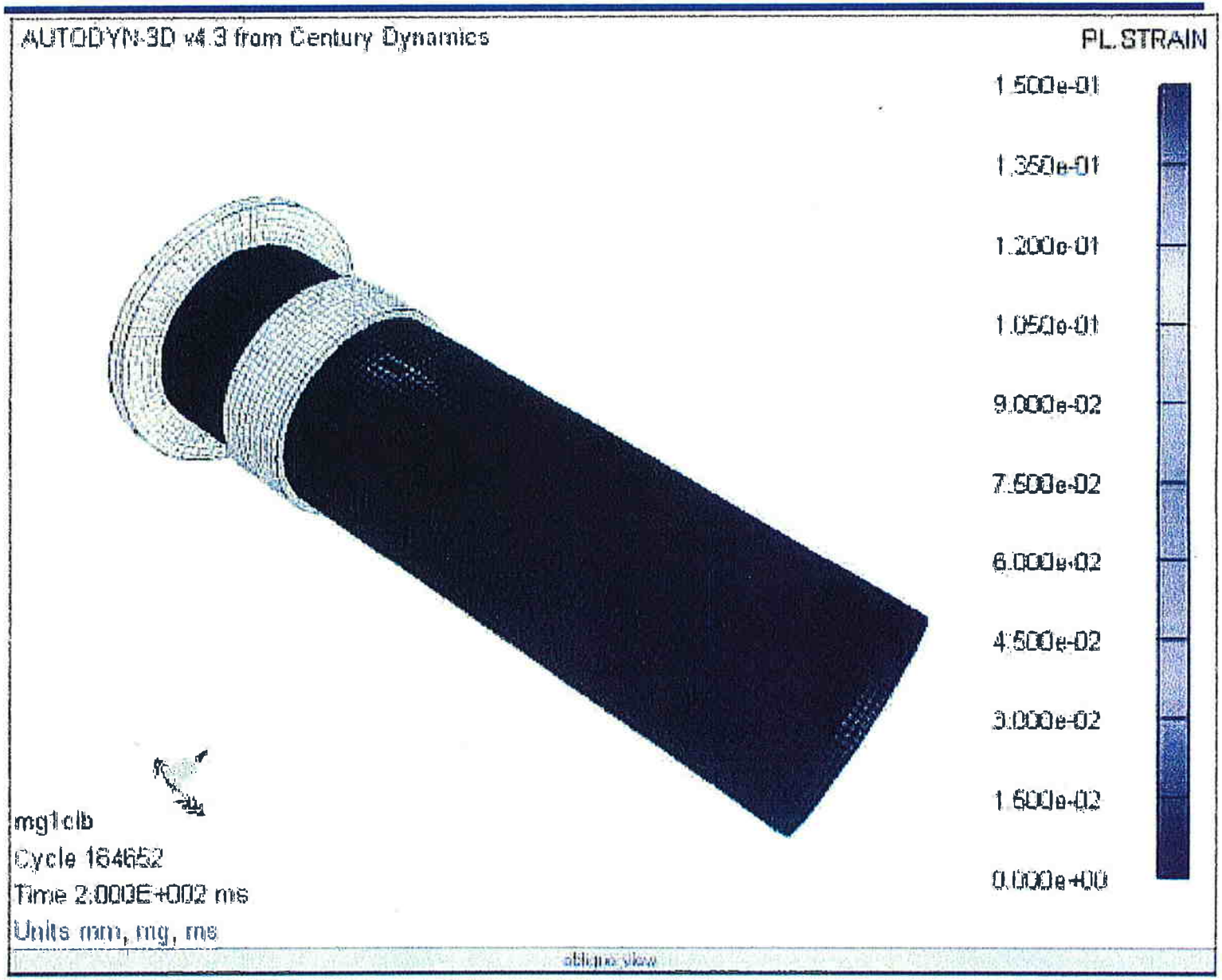
変形が安定する準静的解析後、

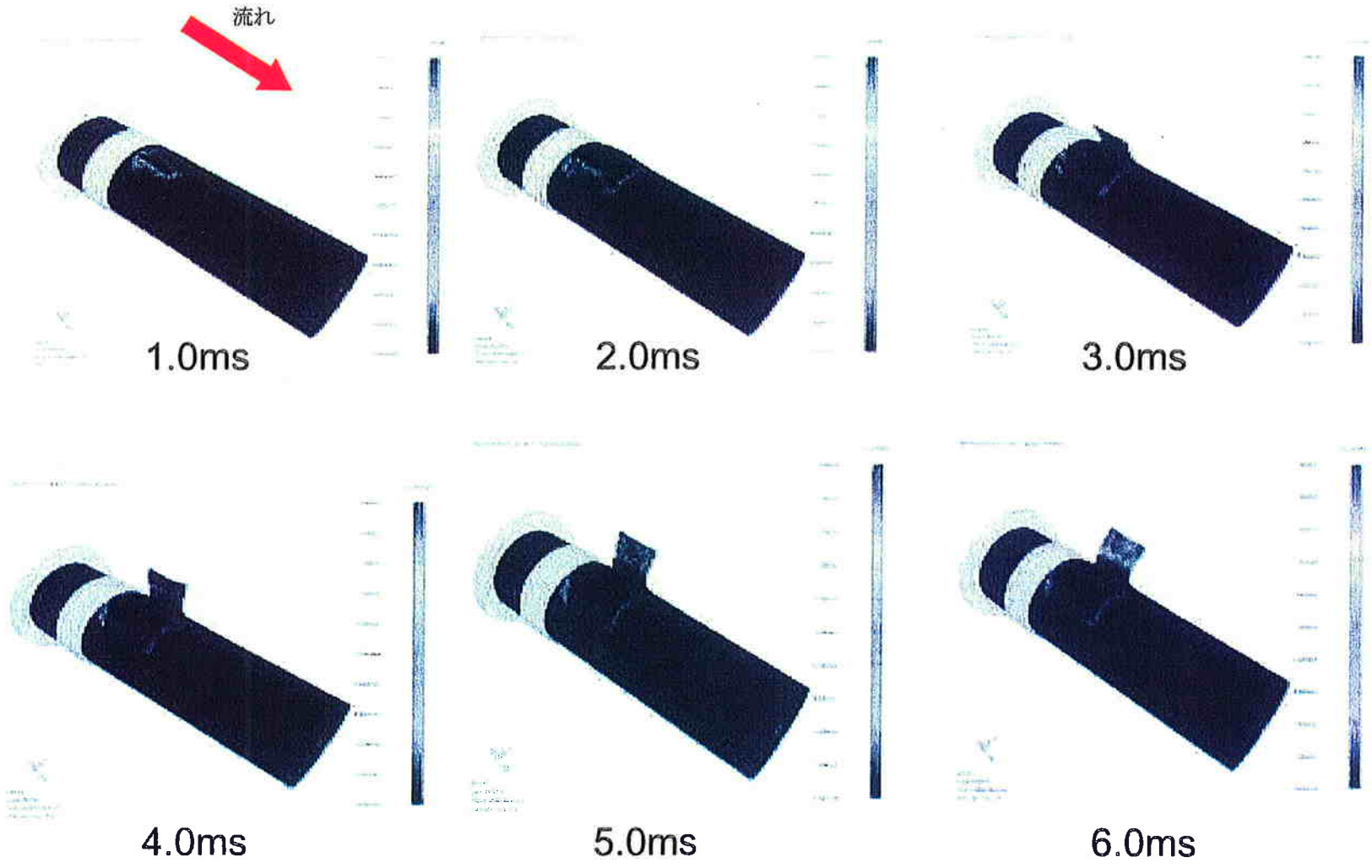
初期開口を最大ひずみ発生箇所の3要素分（軸方向長さ約60mm）とし、30msまで解析



開口進展解析モデル

解析結果


AUTODYN-3D v4.3 from Century Dynamics
PL.STRAIN
1.500e-01
1.350e-01
1.200e-01
1.050e-01
9.000e-02
7.500e-02
6.000e-02
4.500e-02
3.000e-02
1.600e-02
0.000e+00
mg1.alb
Cycle 184652
Time 2.000E+002 ms
Units mm, mg, ms

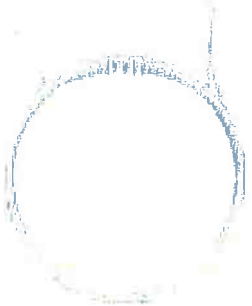


開口進展状況と相当塑性ひずみ分布

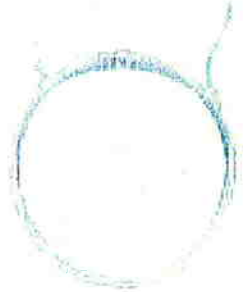
1.0ms

2.0ms

3.0ms



4.0ms



5.0ms

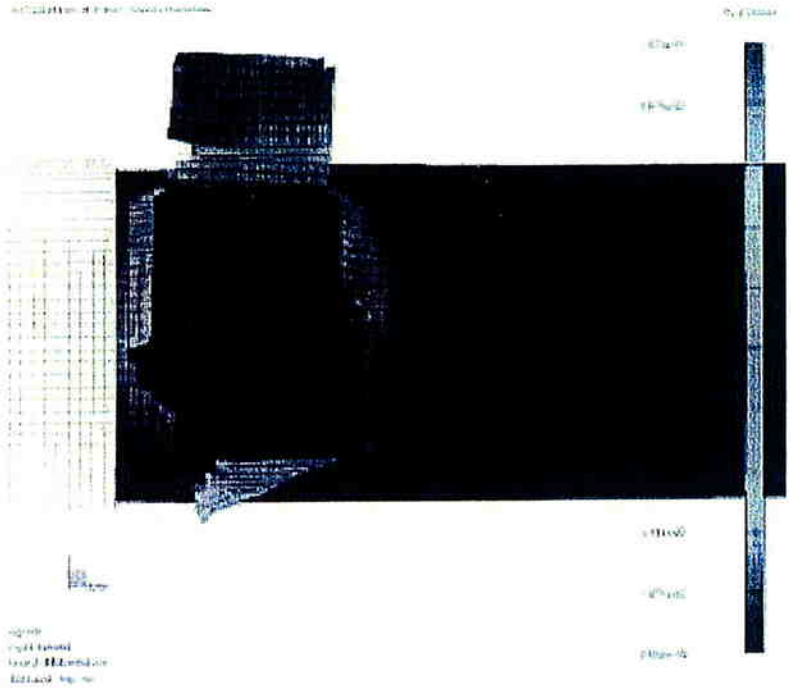
6.0ms

開口進展状況(下流からの視点)

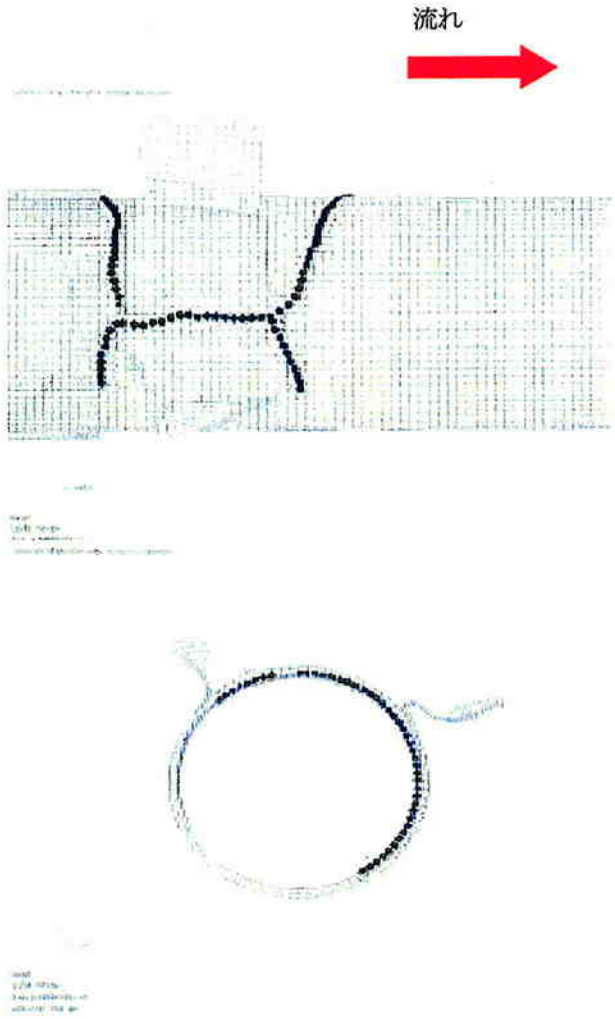
・解析結果と実際の破口部との比較

青線は、実際の破断位置を示す

ほぼ、類似の開口形状となった

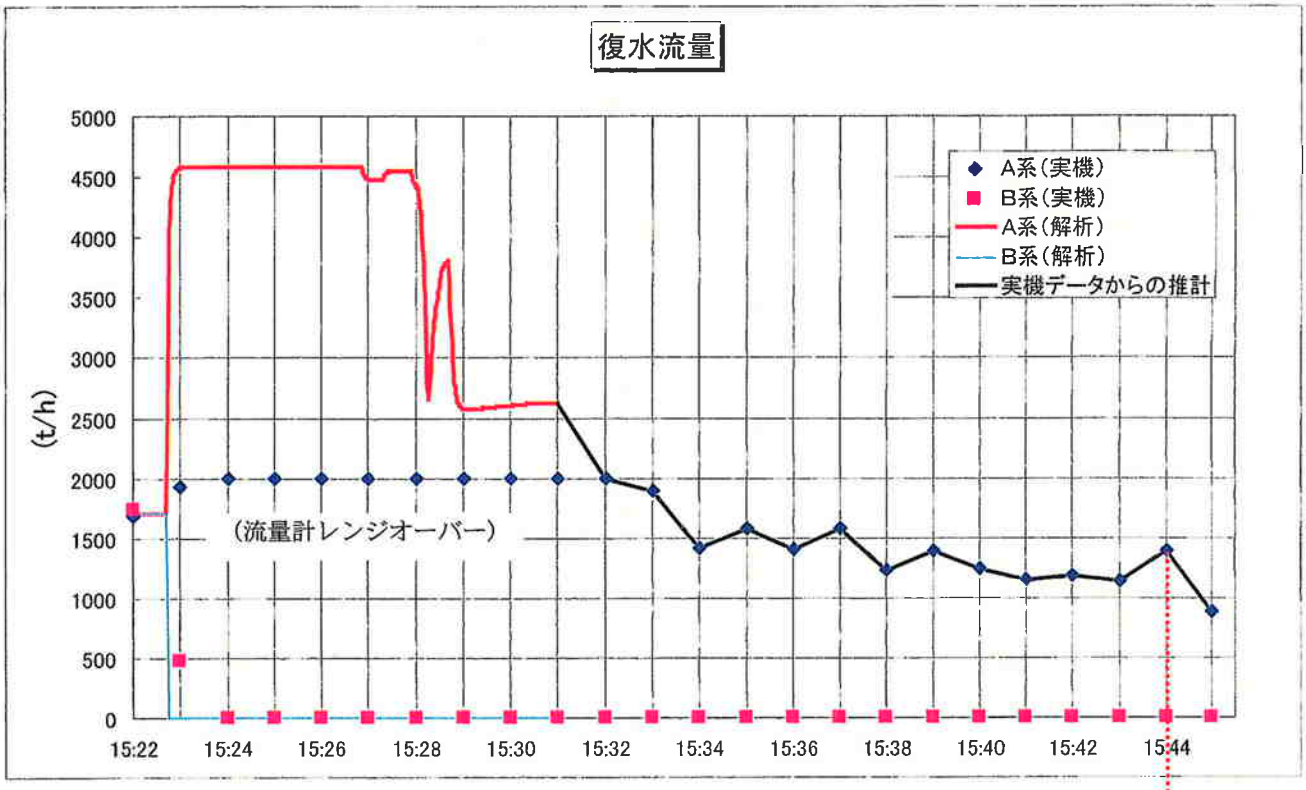


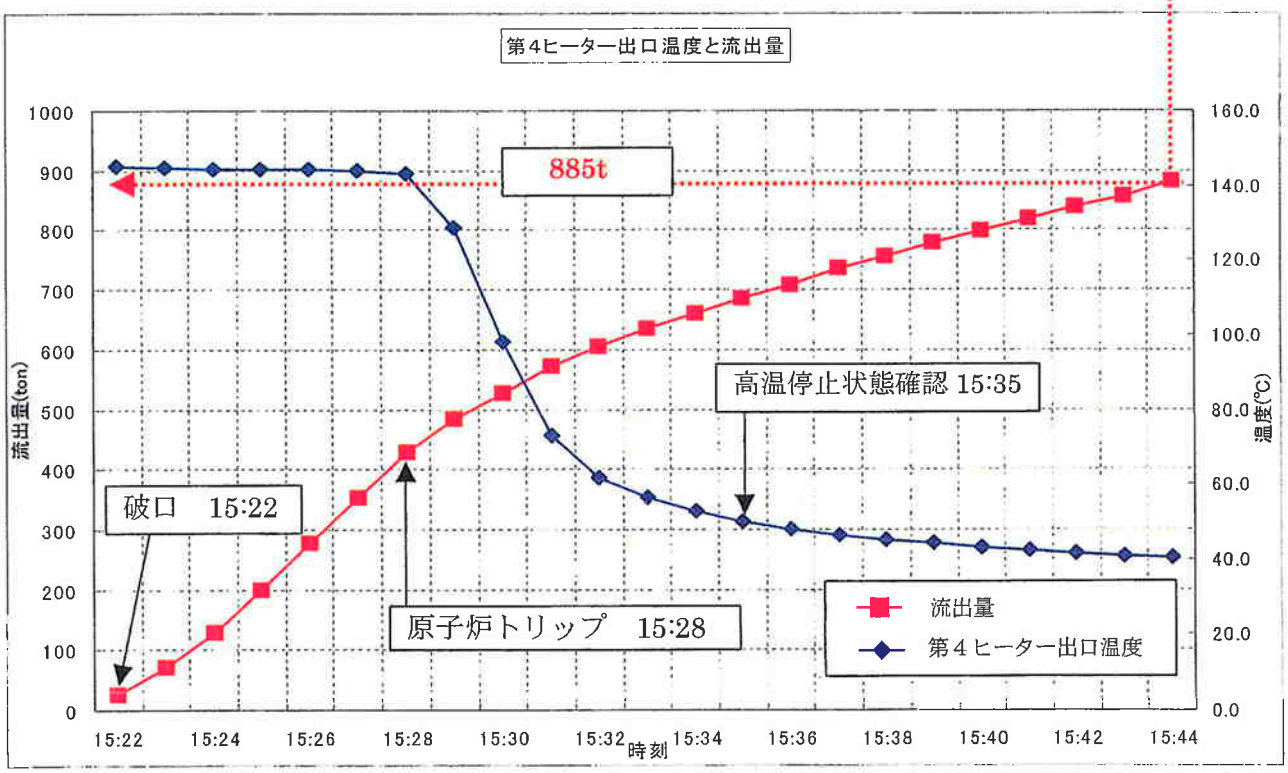
解析結果最終形状図



開口形状の比較図

脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について





(注)流出量には脱気器水位制御弁閉止後の破口部から流出する配管保有水等約 25t を含む。

添付資料５－２

破損配管周辺設備の損傷状況

（１／５）…天井部の損傷

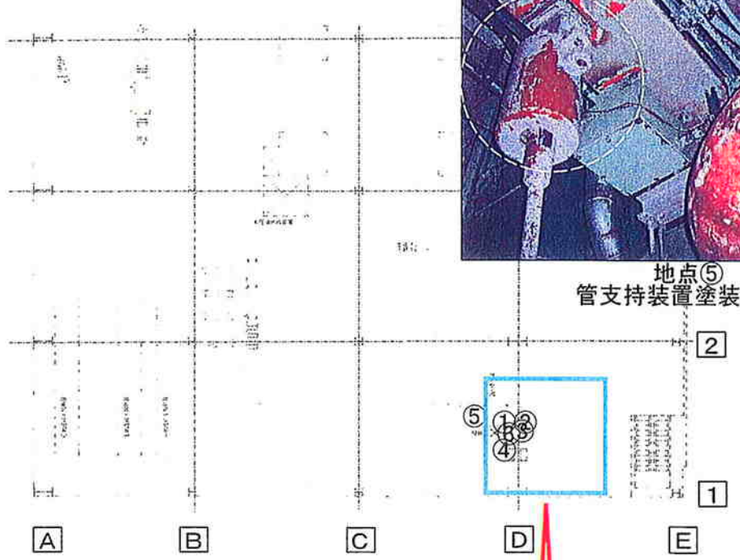
（２／５）…配管、サポート等の破損

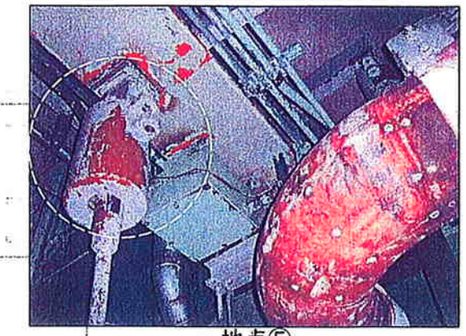
（３／５）…電線管等の破損

（４／５）…名称板の外れ

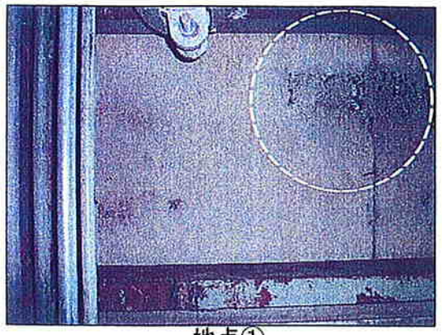
（５／５）…その他

【天井部の損傷】

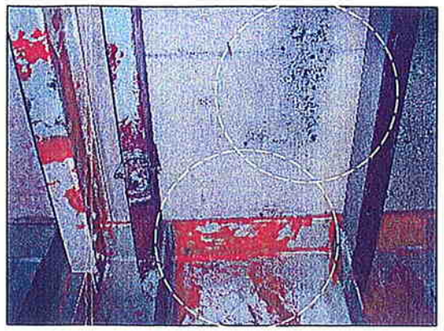




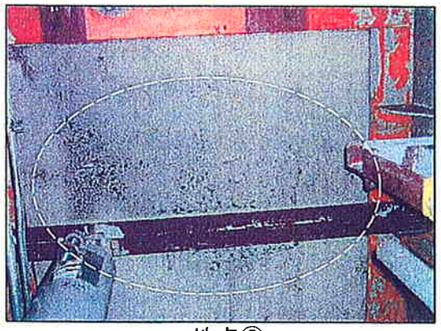
地点⑤
管支持装置塗装剥がれ



地点①
天井部コンクリート損傷

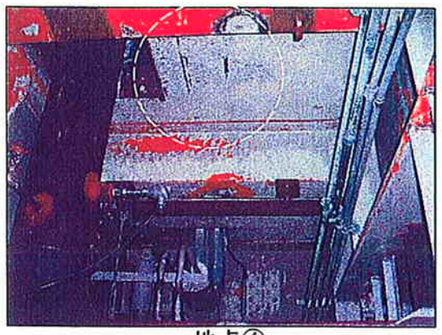


地点②
天井部コンクリート損傷



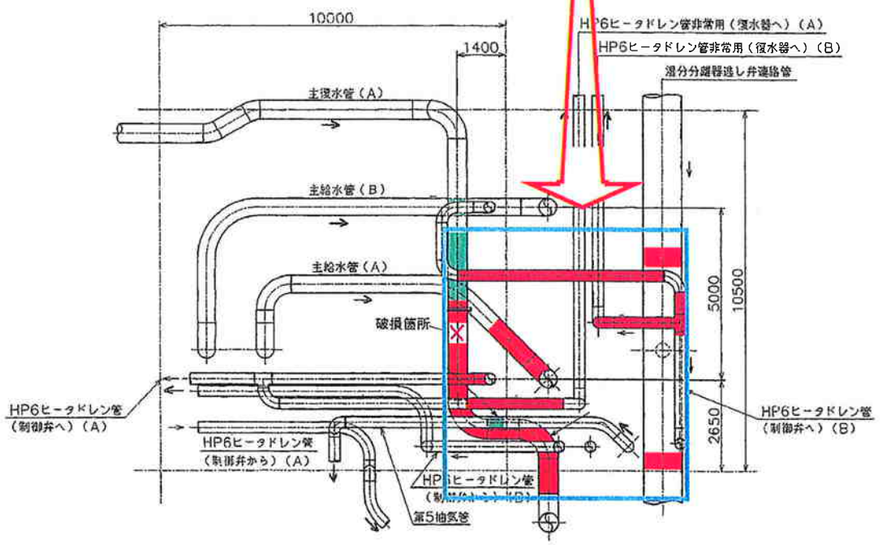
地点⑥
天井部コンクリート損傷

地点③
天井梁塗装剥がれ

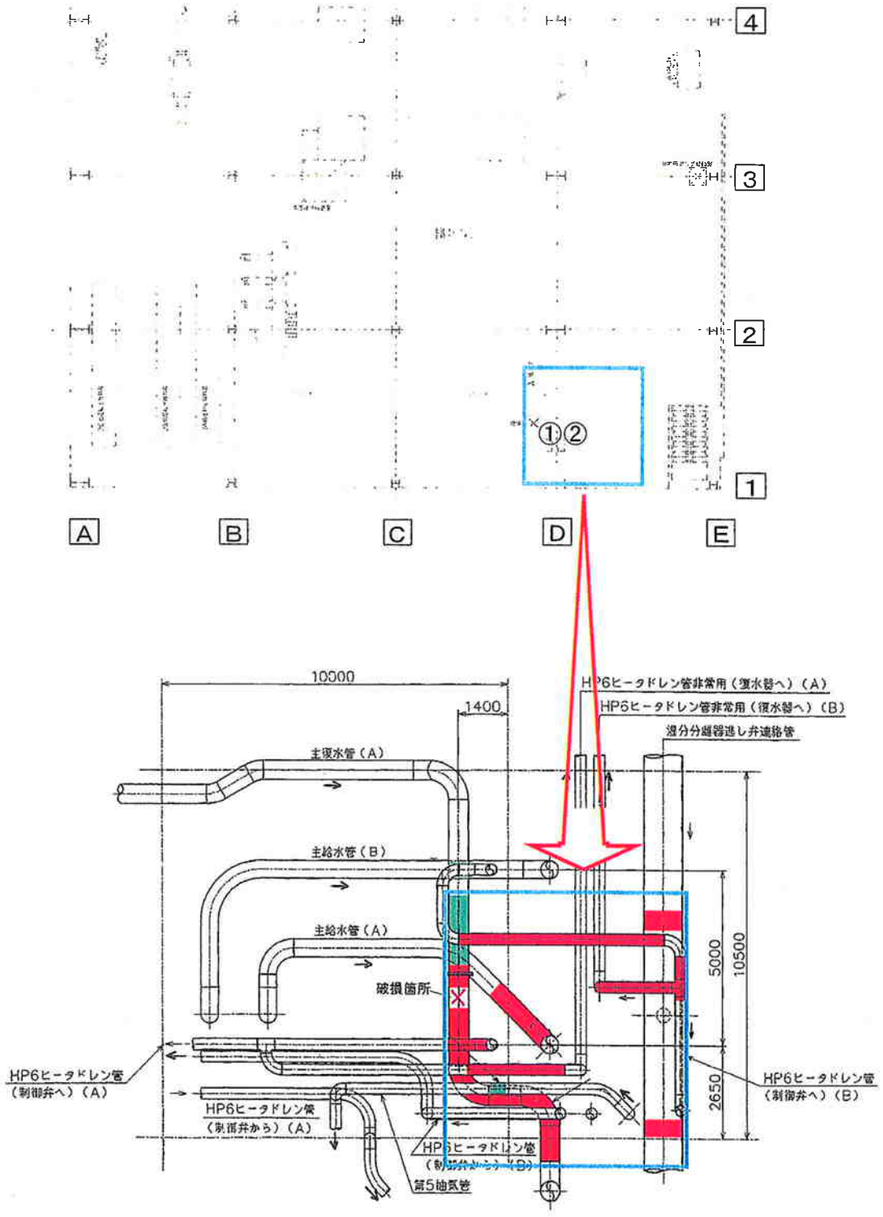


地点④
天井部コンクリート損傷

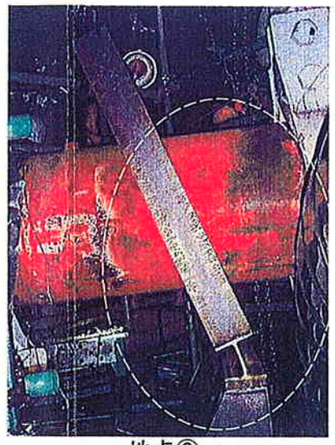
各所にコンクリートの剥離が見られる。



【配管、サポート等の破損】

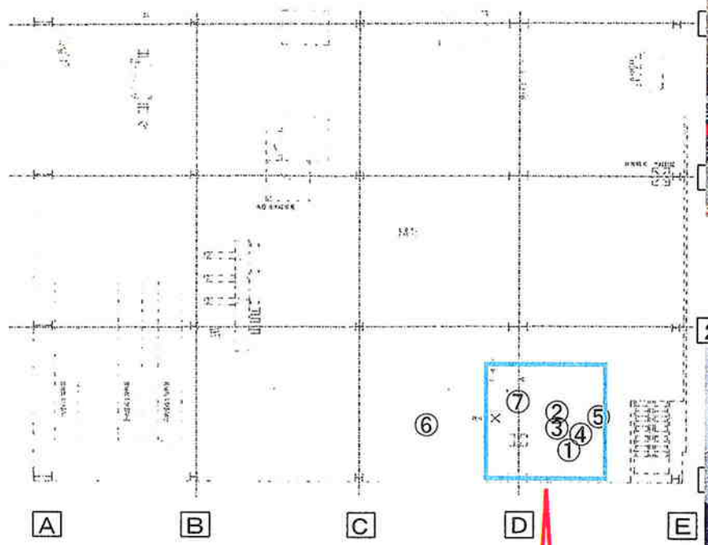


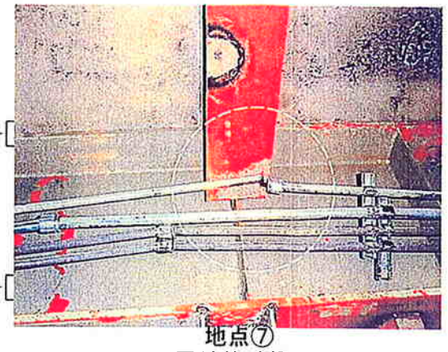
地点①
オリフィス検出管の曲がり
（A主復水管）



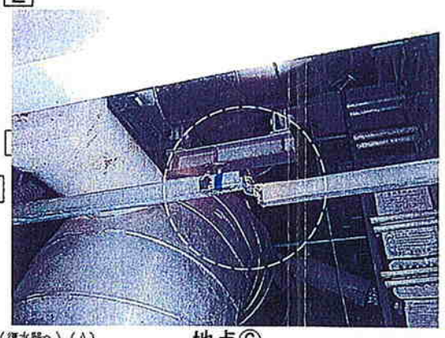
地点②
作業用仮設サポートの変形
（A主給水管）

【電線管等の破損】

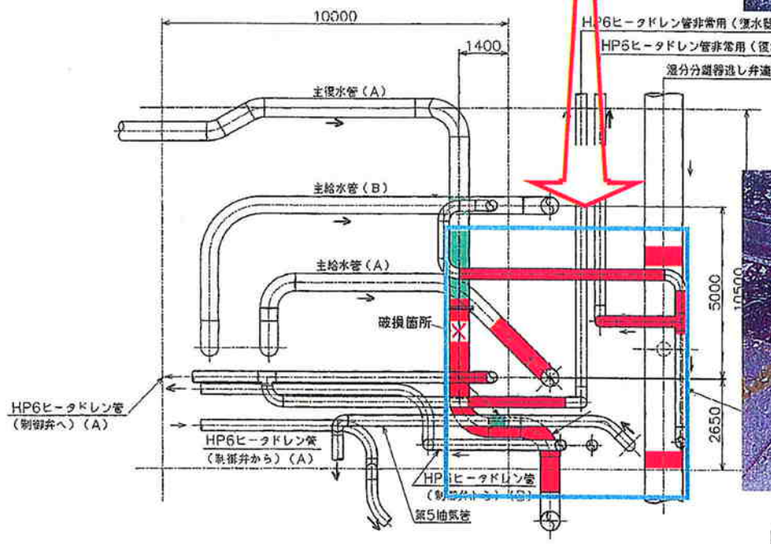


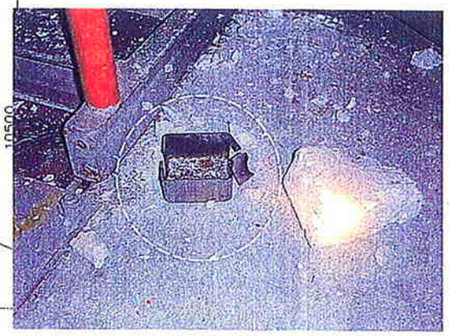


地点⑦
電線管破損

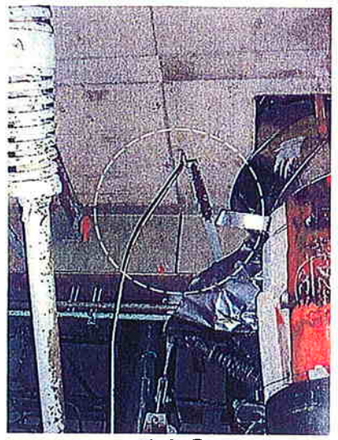


地点⑥
レースウェイ（電路支持材）破損

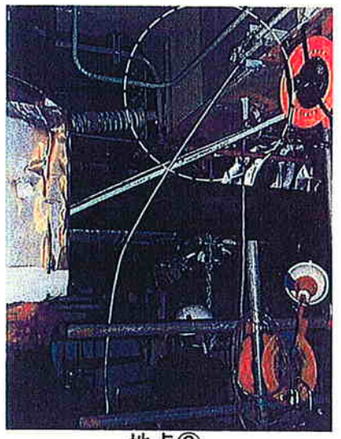




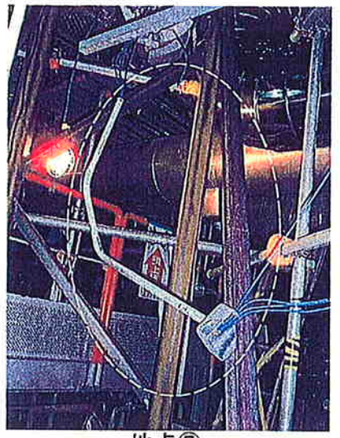
地点①
レースウェイ（電路支持材）カバーの落下



地点②
レースウェイ（電路支持材）吊サポートの変形



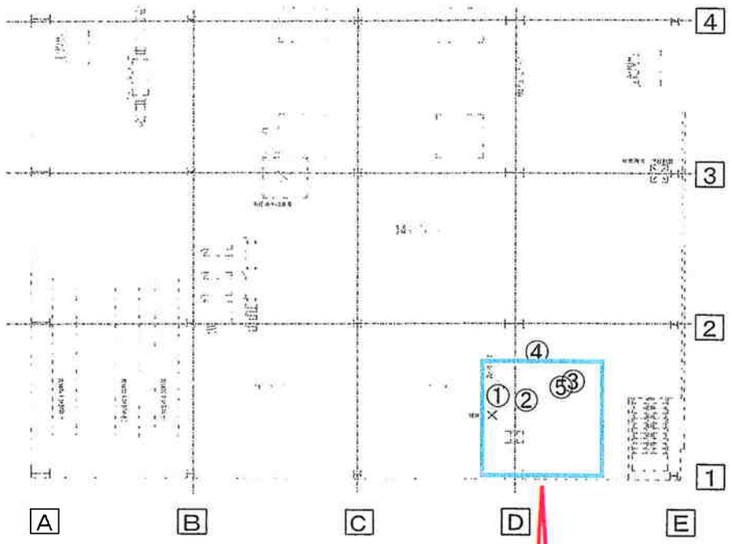
地点③
電線管吊サポートの変形

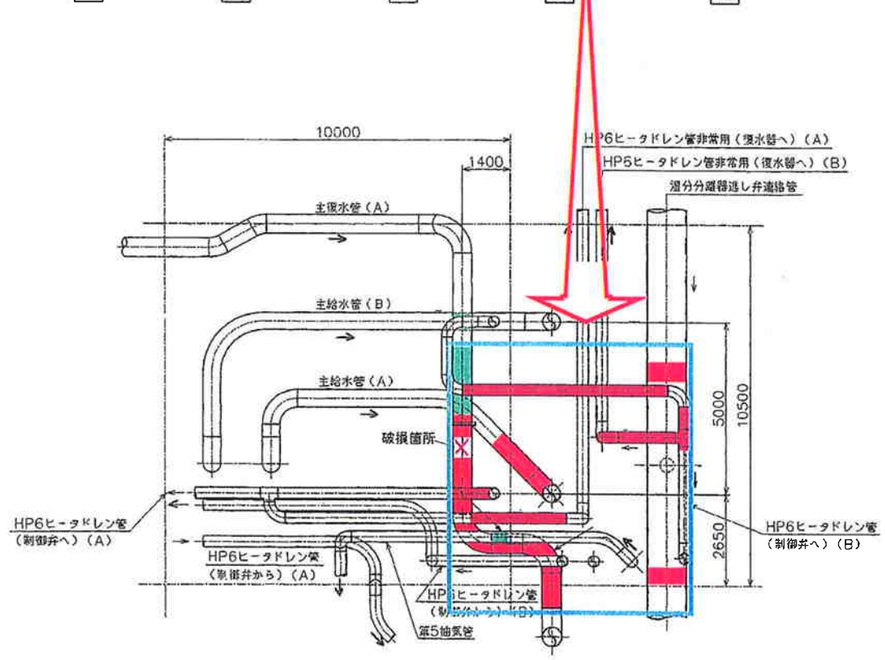


地点⑤
電線管の変形

地点④
レースウェイ（電路支持材）
サポートの落下

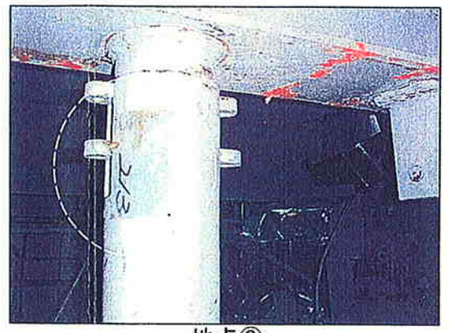
【名称板の外れ】





地点④
配管名称板

地点⑤
配管名称板（保温外装材）

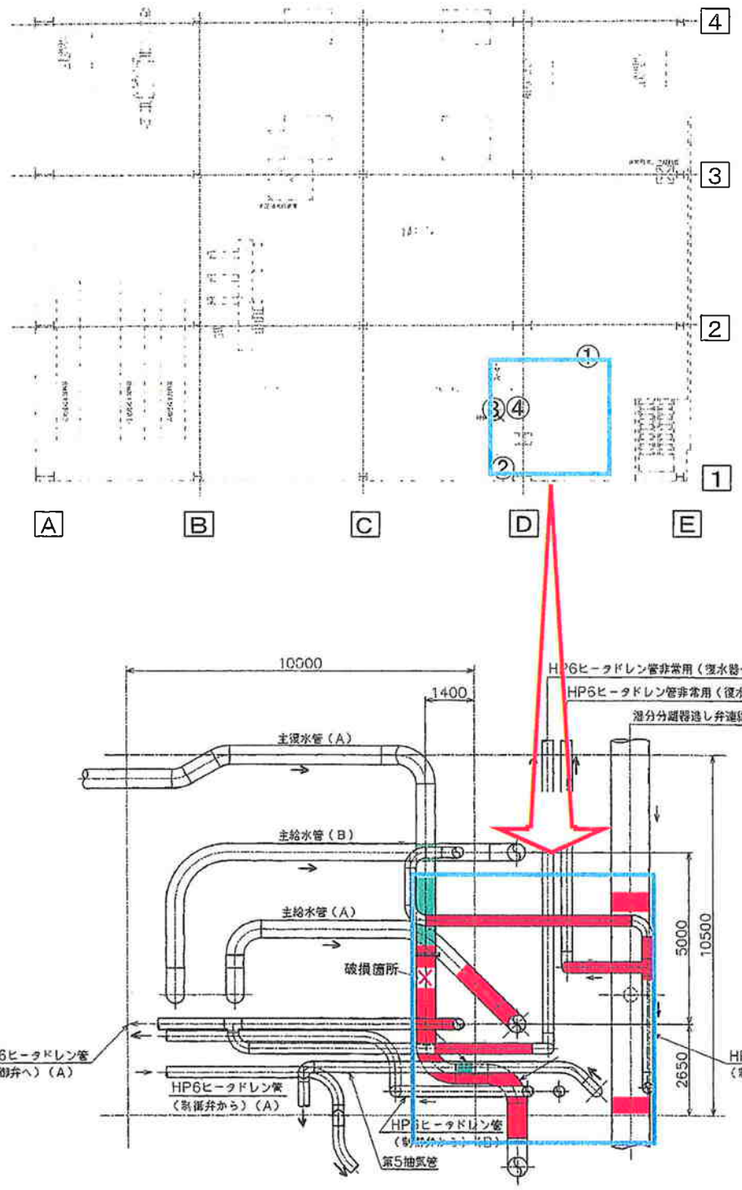


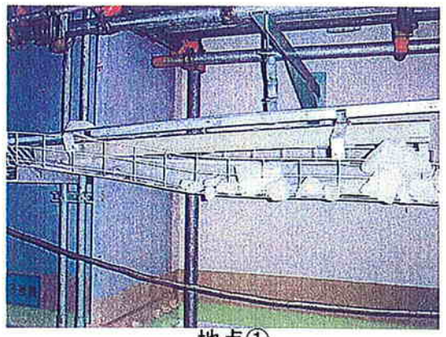
地点③
スプリングハンガー（32H-61）
の名称板外れ

地点①
スプリングハンガー（20H-53）
の名称板外れ

地点②
スプリングハンガー（11H-18）
の名称板外れ

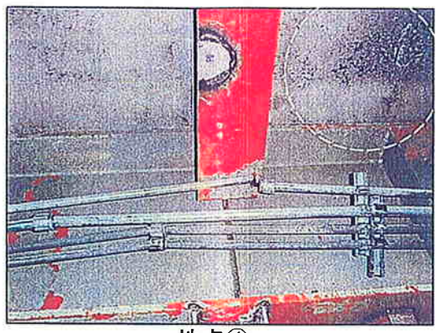
【その他】



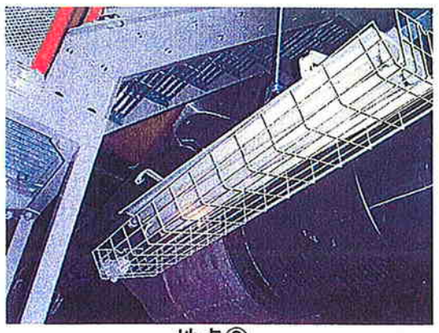


地点①
蛍光灯カバー破損

地点③
天井梁塗装剥がれ



地点④
天井部コンクリート損傷



地点②
蛍光灯カバー破損

美浜発電所３号機　２次系配管破損に伴う配管反力について

１．現地調査からの反力推定

現地調査結果より，復水配管破損時に作用した反力を評価した。

①点検結果

ａ．結果

写真１～３に現地状況写真結果，図１に点検結果に基づく配管位置概略図を示す。点検結果から配管の鉛直方向移動量について検討した。

【鉛直上方向】

６Ｂ高圧ﾋｰﾀﾄﾞﾚﾝ管固定金物との干渉を検討し、

①事故後に配管内に復水がない状態で管固定金物が保温に埋没していた（写真１）

②事故後に配管内に復水がない状態で配管表面には管固定金物との接触痕がなかった（写真２）

③事故前に配管内に復水がある状態で管固定金物は保温材に埋没していなかった（聞き取り情報）

の以上３点から、復水管の上方移動量は、保温材厚さ相当の約 75mm と想定した。

【鉛直下方向】

給水配管(A)との干渉を検討した結果，復水管と給水配管(A)の保温材に変形が認められなかったことから、下方向への大きな移動はなかったと考えられ、下方向の移動量は上方向と同程度と想定した。

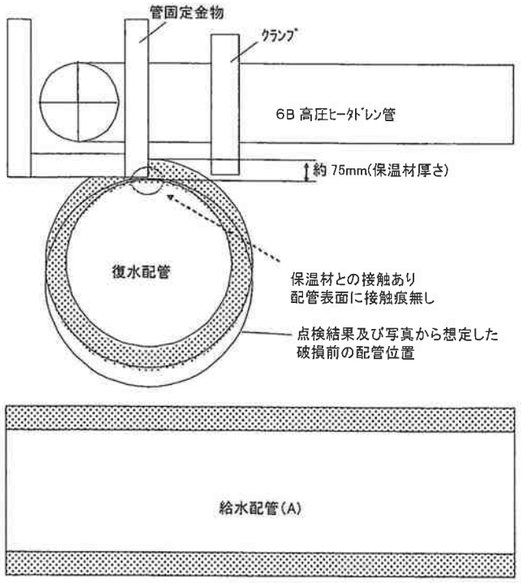


図１．配管位置概略図

②はりﾓﾃﾞﾙ解析からの評価

点検結果から想定した上下方向の配管移動量から，復水配管の梁ﾓﾃﾞﾙ解析を用いて、配管に作用した力を推定した。

ａ．解析方法

・解析モデル

復水管系（ヘッダ～脱気器）を対象として、３次元はり要素で減肉による剛性変化を考慮した解析を行った。

・解析コード

配管応力解析システム AutoPIPE Ver6.3

・材料特性：当該部配管材 SB410（at 140℃）

ヤング率 E=195600MPa、ポアソン比 ν=0.3、

比重量 γ=7833kg/m^3、線膨張率 α=1.23E-5/℃

・拘束条件

ハンガー支持部拘束、脱気器端拘束、ヘッダー部拘束

ｂ．点検結果からの反力推定

解析の結果、上下方向の変位を±75mm と想定した場合に、管の鉛直方向には最大 5ton の反力が作用したものと考えられる。

表１　配管破損位置近傍の推定力

部位	破損部からの距離(m)	調査結果からの想定移動量(mm)	配管に作用した力(ton)
６Ｂ高圧ﾋｰﾀﾄﾞﾚﾝ管	1.6	±75	約５

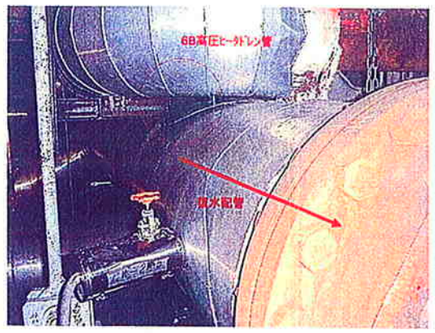


写真１．復水配管と上部に位置する 6B 高圧ヒータドレン管（保温取外前）

6B ﾋｰﾀﾄﾞﾚﾝ管ｻﾎﾟｰﾄが復水管保温に埋没している。なお、事故発生前は接触していなかったとの証言

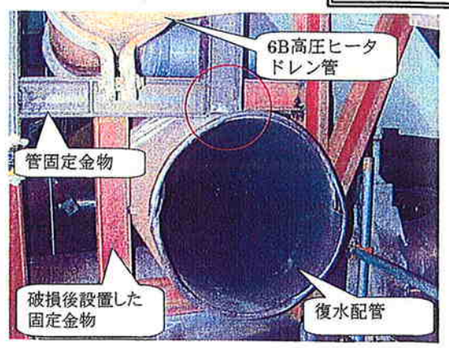


写真２．復水配管と上部に位置する 6B 高圧ヒータドレン管（保温取外後）

事故発生後、6B ﾋｰﾀﾄﾞﾚﾝ管管固定金物と復水管にほとんど隙間がない。

写真３．復水配管と下部に位置する給水管の関係（保温取外前）

給水管(A)と復水配管の保温材に変形は認められなかった。

２．２次系プラントシミュレーションからの反力推定

配管に作用する反力を２次系プラントシミュレーションの解析結果から推定した配管破断後＊のオリフィス下流圧力（0.44MPa）とオリフィス通過流量（4600TON/ｈ）を用いて評価した。　　（＊流量が一定となった約 15 秒後の値を使用）

定常反力Ｆは運動量保存則より以下の式（SI 単位）で表される。

$$\frac{F}{A}=P_0-P_\infty+\frac{(w/A)^2}{\rho_0}$$

ここで、P_0；配管内圧力

ρ_0；配管内密度

w；放出流量

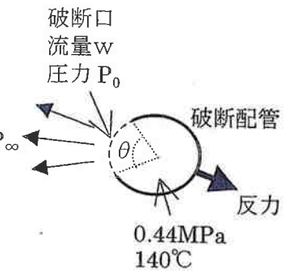
A；開口面積（0.26m^2）大気圧 P_∞

解析値より圧力,密度,放出流量は、

P_0=0.44MPa

ρ_0=925.9kg/m^3（at 0.44MPa, 140℃）

w=4600ton/hr = 1278kg/s

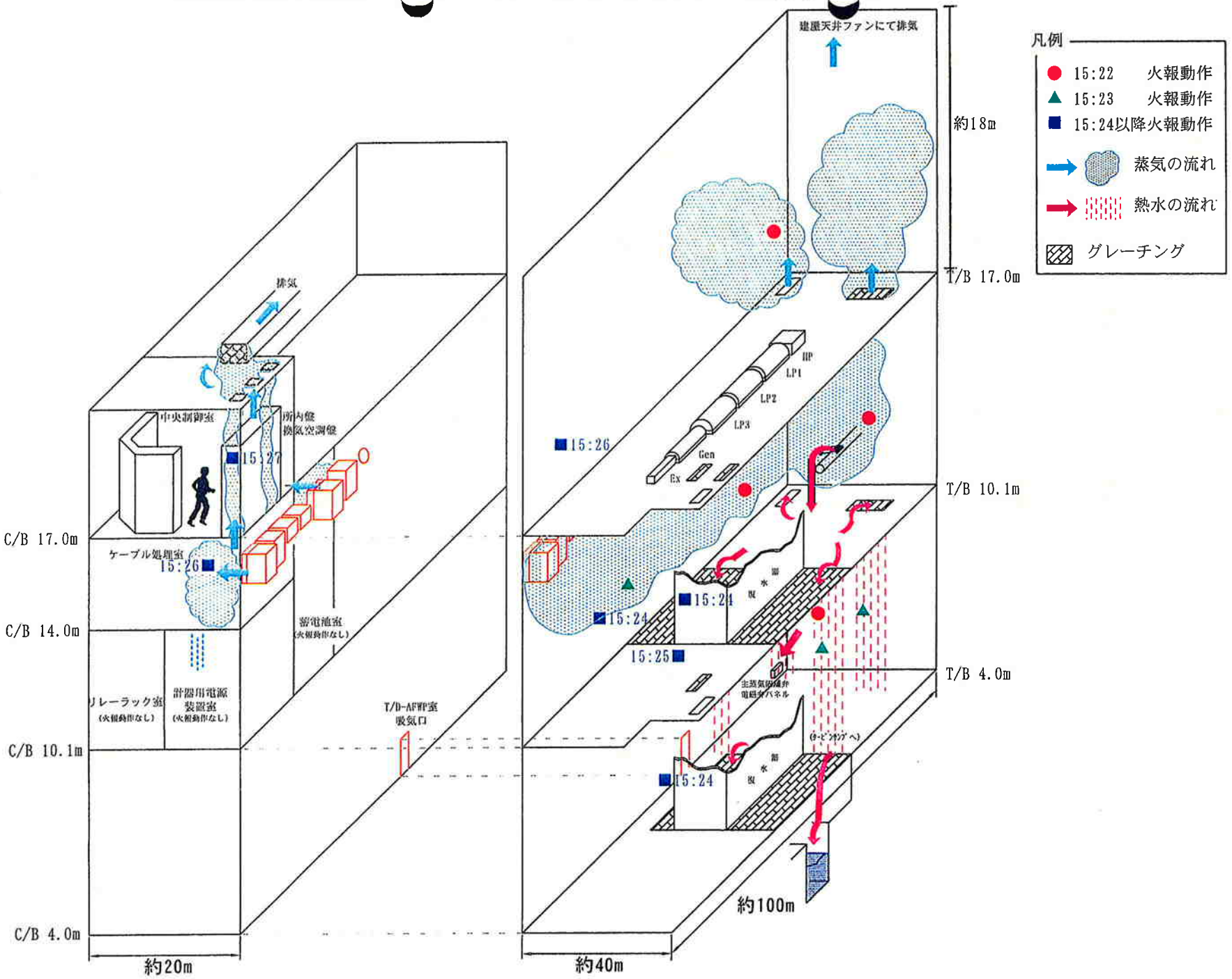


よって、配管反力Ｆは 9.7ton 程度と推定された。

以上の現地調査及び放出流量から，
破損時に配管に生じた力は約５～１０ton 程度
であったと推定される。

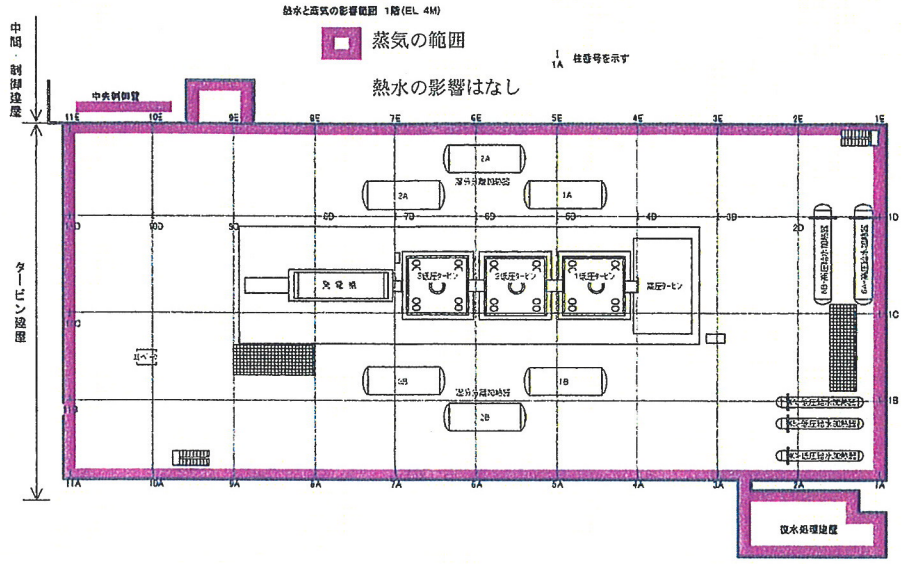
＊　放出水（885t：破損時から主蒸気隔離までの間）の全エネルギー約 9.7×10^7kcal のほぼ全て(99.9%以上)が、熱の状態で放出された。

２次系配管破損事故直後における熱水・蒸気の動きのイメージ

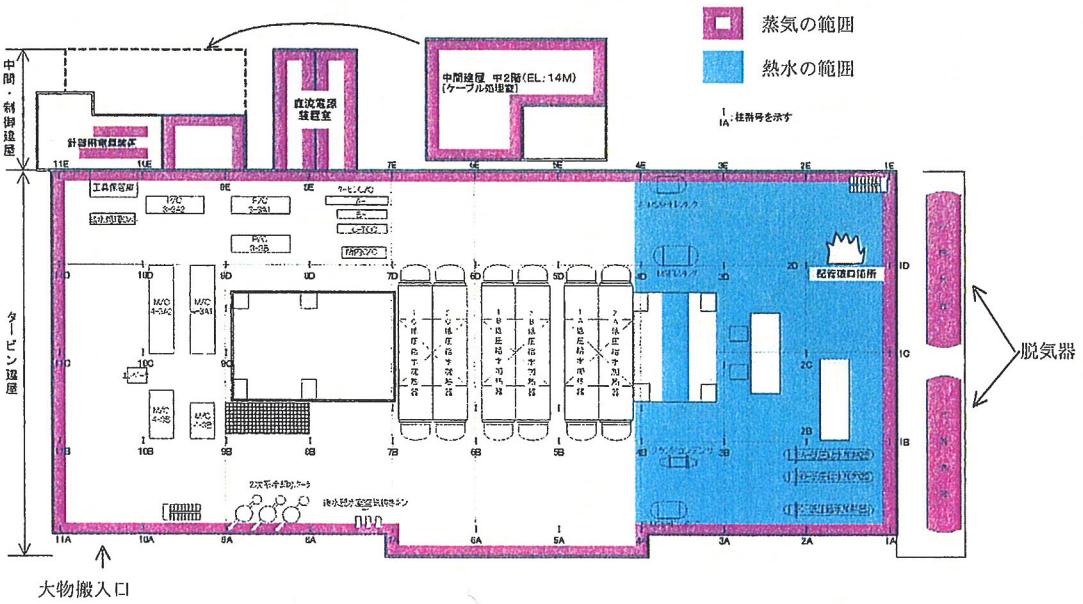


熱水、蒸気の到達範囲及び設備影響調査対象機器

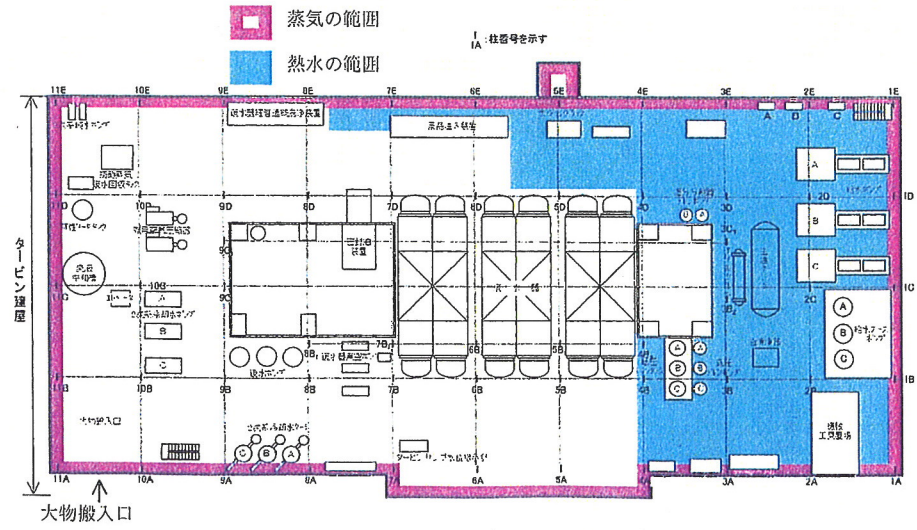
熱水と蒸気の到達範囲　3階（EL:17M）



熱水と蒸気の到達範囲　2階（EL:10M）

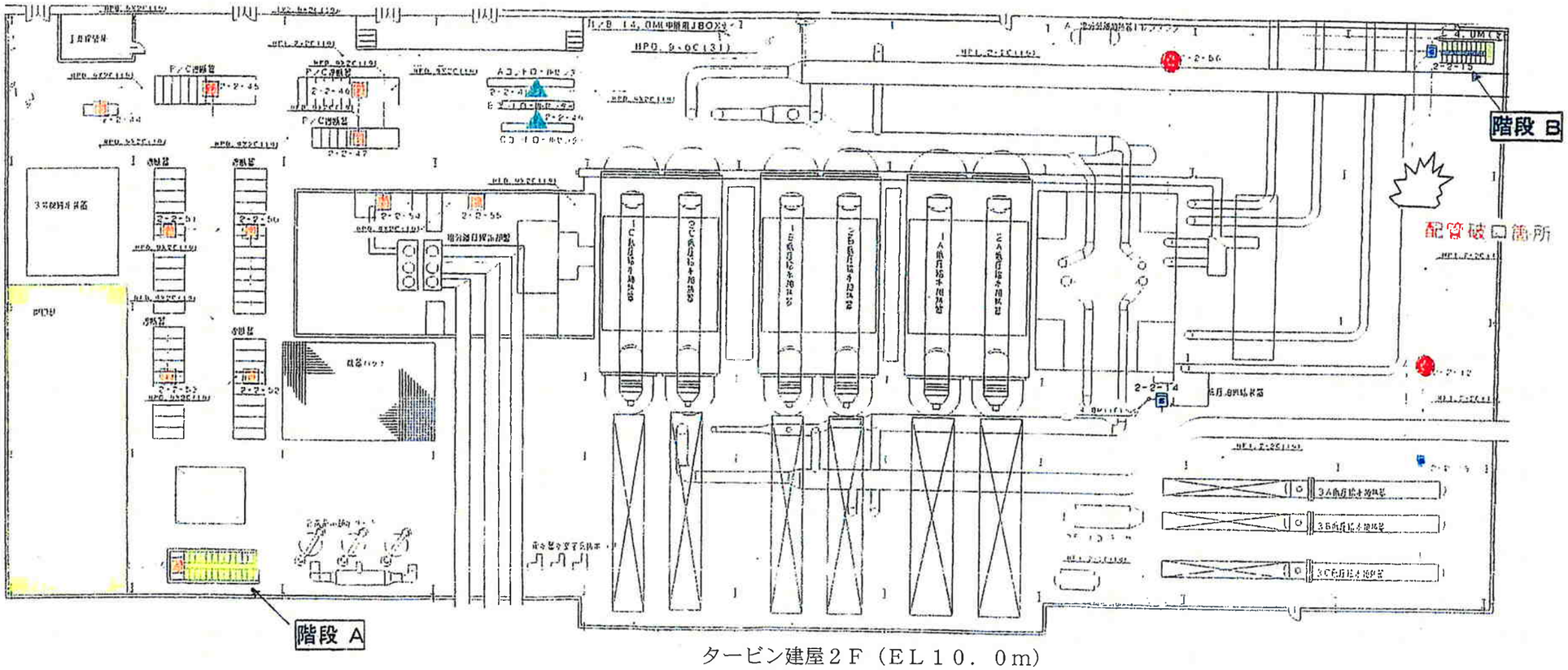


熱水と蒸気の到達範囲　1階（EL:4M）



添付資料５－６

事故時の火災報知器の動作状況



タービン建屋２Ｆ（ＥＬ１０．０ｍ）

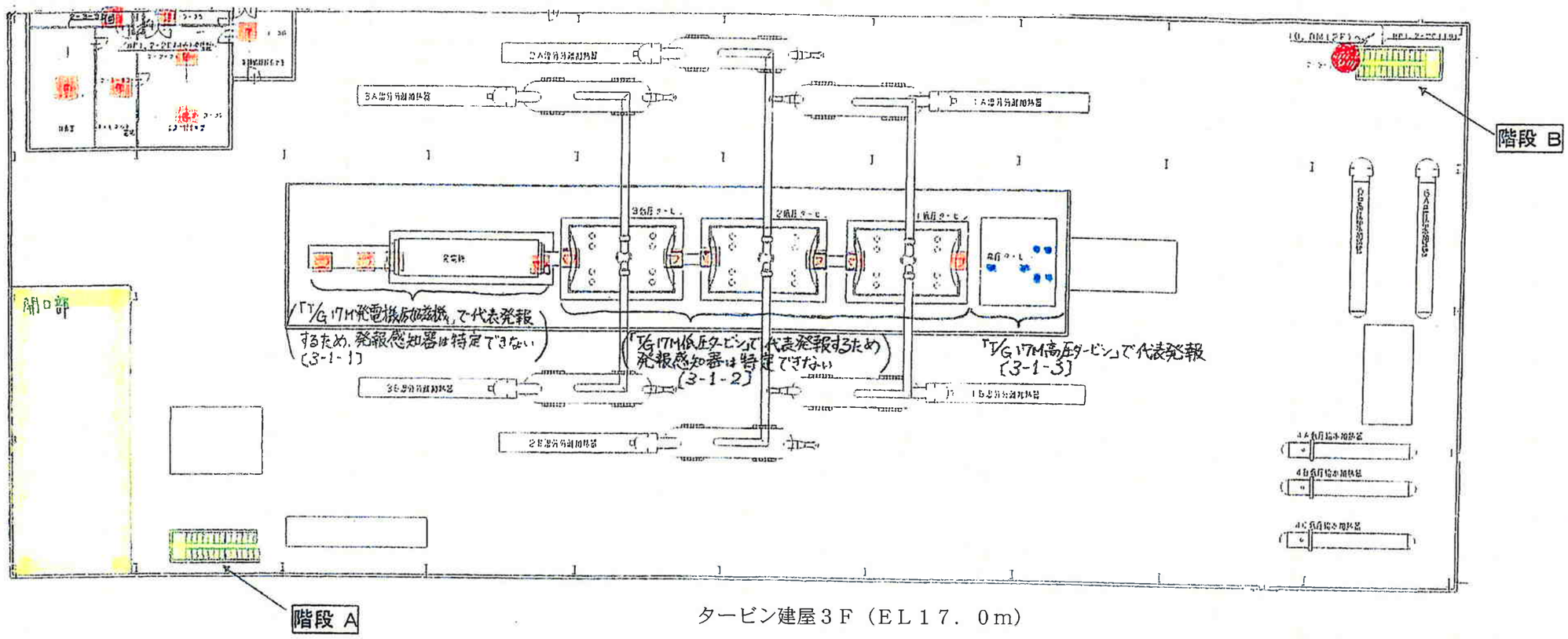
凡例

S 煙感知器	15:22 発報	発報せず
差動式熱感知器	15:23 発報	
定温式熱感知器	15:24 以降発報	

＊注意

「伝送異常発生」は火災の可能性を示すものではないので（入出力信号の異常により発生するもの）発報したこととはしない。

「プレ発報」は火災の可能性を示すものであることから発報したこととする。



タービン建屋３Ｆ（ＥＬ１７．０m）

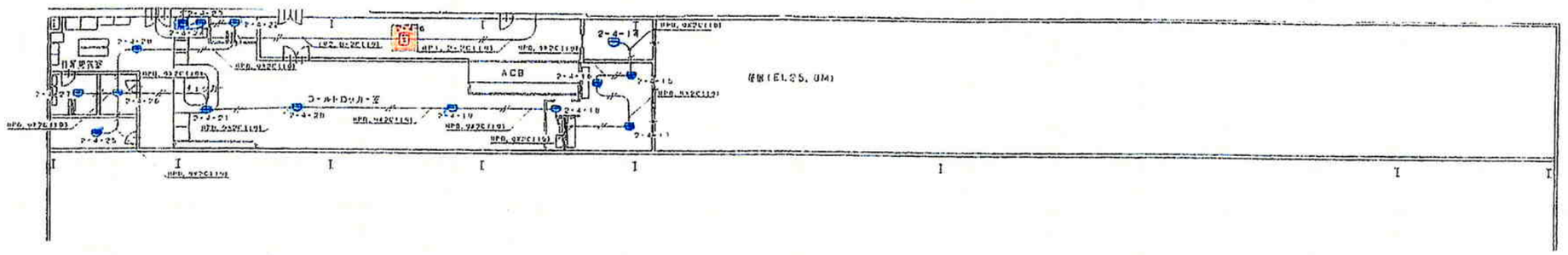
凡例

S 煙感知器	15:22 発報	発報せず
差動式熱感知器	15:23 発報	
定温式熱感知器	15:24 以降発報	

＊注意

「伝送異常発生」は火災の可能性を示すものではないので（入出力信号の異常により発生するもの）発報したこととはしない。

「プレ発報」は火災の可能性を示すものであることから発報したこととする。



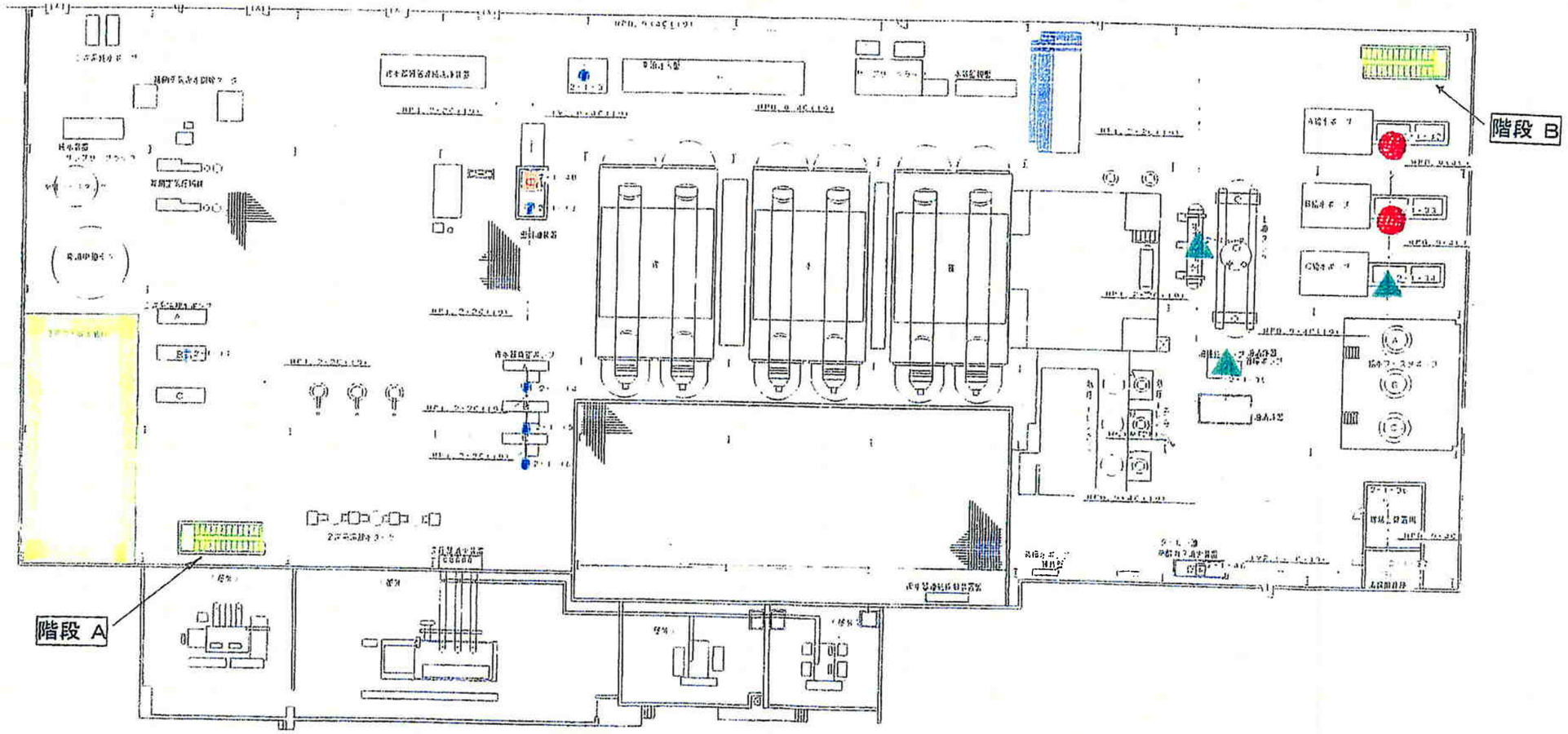
タービン建屋４Ｆ（ＥＬ２４．０m）

凡例			
	S 煙感知器	15:22 発報	発報せず
	差動式熱感知器	15:23 発報	
	定温式熱感知器	15:24 以降発報	

＊注意

「伝送異常発生」は火災の可能性を示すものではないので（入出力信号の異常により発生するもの）発報したこととはしない。

「プレ発報」は火災の可能性を示すものであることから発報したこととする。



タービン建屋１Ｆ（ＥＬ４．０m）

凡例
S 煙感知器
差動式熱感知器
定温式熱感知器
15:22 発報
15:23 発報
15:24 以降発報
発報せず

＊注意

「伝送異常発生」は火災の可能性を示すものではないので（入出力信号の異常により発生するもの）発報したこととはしない。

「プレ発報」は火災の可能性を示すものであることから発報したこととする。

主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地について

主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地調査

1. 事故時の状況

（1）今回の事象により、「3B直流接地」及び「3A直流接地」の警報が発信し、その後、C主蒸気隔離弁電源開放を実施したところ、警報がリセットできた。

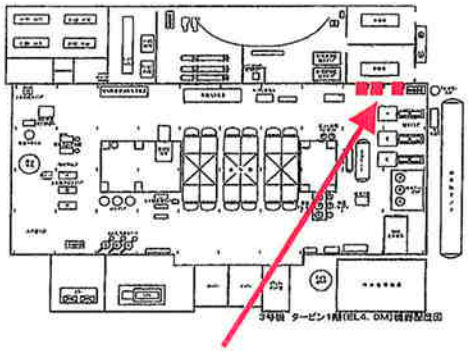
（2）現地を確認したところC主蒸気隔離弁駆動用電磁弁パネルには保温材が散乱し、その真横にあるゴミ箱内には相当量の水が溜っていることから、同パネルが水をかぶったものと推定される。

日時		事象
8／9（月）	15:22	「3B直流接地」警報発信　（B系直流電源系の直流接地警報発信）
	15:23	「3A直流接地」警報発信　（A系直流電源系の直流接地警報発信）
	16:05	3A・B・C主蒸気隔離弁閉止
8／10（火）	21:14	C主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の電源を開放したところ「3A直流接地」「3B直流接地」警報復帰

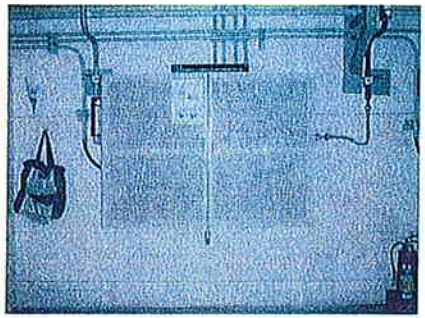
本事象においてC主蒸気隔離弁駆動用電磁弁が直流接地はしているものの、電磁弁の電源は確保された状態であり、主蒸気隔離弁は閉止操作時にも正常に動作している。（4／5頁参照）

2. 主蒸気隔離弁駆動用電磁弁パネル配置図

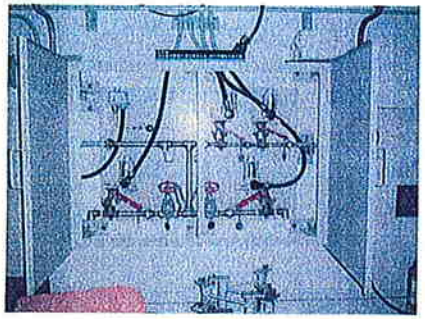
配置図に示すように、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁パネルはタービン建屋に設置されており、C主蒸気隔離弁駆動用電磁弁パネルは、階段に一番近いことから、直接熱水及び蒸気の影響を受ける位置にあった。



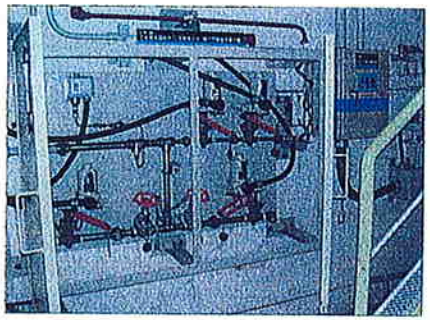
左からA，B，C



タービン建屋1階（4.0m）
A主蒸気隔離弁電磁弁駆動用電磁弁パネル



タービン建屋1階（4.0m）
B主蒸気隔離弁電磁弁駆動用電磁弁パネル



タービン建屋1階（4.0m）
C主蒸気隔離弁電磁弁駆動用電磁弁パネル

電磁弁の調査

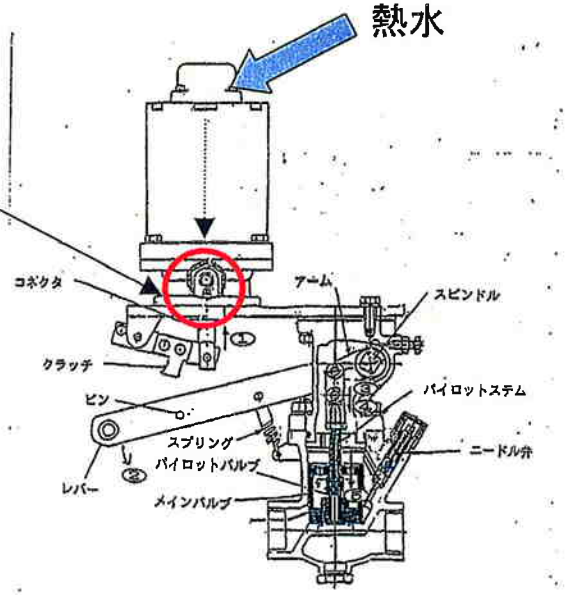
1．電磁弁への熱水流入経路

当該電磁弁は、タービン建屋側1階面に設置されており、今回破損したタービン建屋2階面の復水配管より階下に位置し、階段の開口部付近のために2階面からの熱水がかかりやすい状況にあった。

したがって、今回の破損事故では、下図に示すように電磁弁上部から熱水が浸入し、端子箱内端子台にて接地が発生したものと推定される。

端子台（端子箱）

内部に水が入っており、化学分析した結果、2次系水に含まれるヒドラジンが含まれていた。



電磁弁の動作

・主蒸気隔離の動作

供給側：NOタイプ（常時開型）…消磁→エアー開、励磁→エアー閉

排気側：NCタイプ（常時閉型）…消磁→エアー閉、励磁→エアー開

［通常運転中］

供給側電磁弁2台を経由しエアーを供給し、主蒸気隔離弁を開放状態としている。

［異常時］

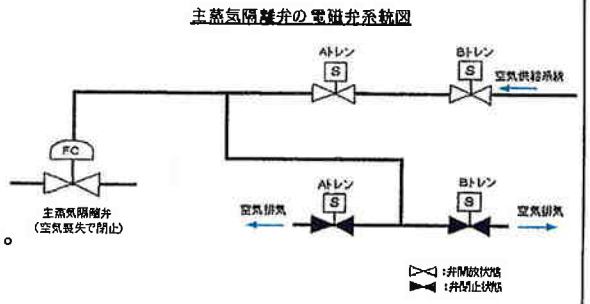
主蒸気隔離信号が電磁弁に入力されると、供給側電磁弁が閉となりエアーをしゃ断させる。

合わせて排気側電磁弁が開となり、主蒸気隔離弁を開放させていたエアーが排気され弁が閉止する。

復旧は、主蒸気隔離信号が発信していない状態で手動によりリセットする。

［電源しゃ断時］

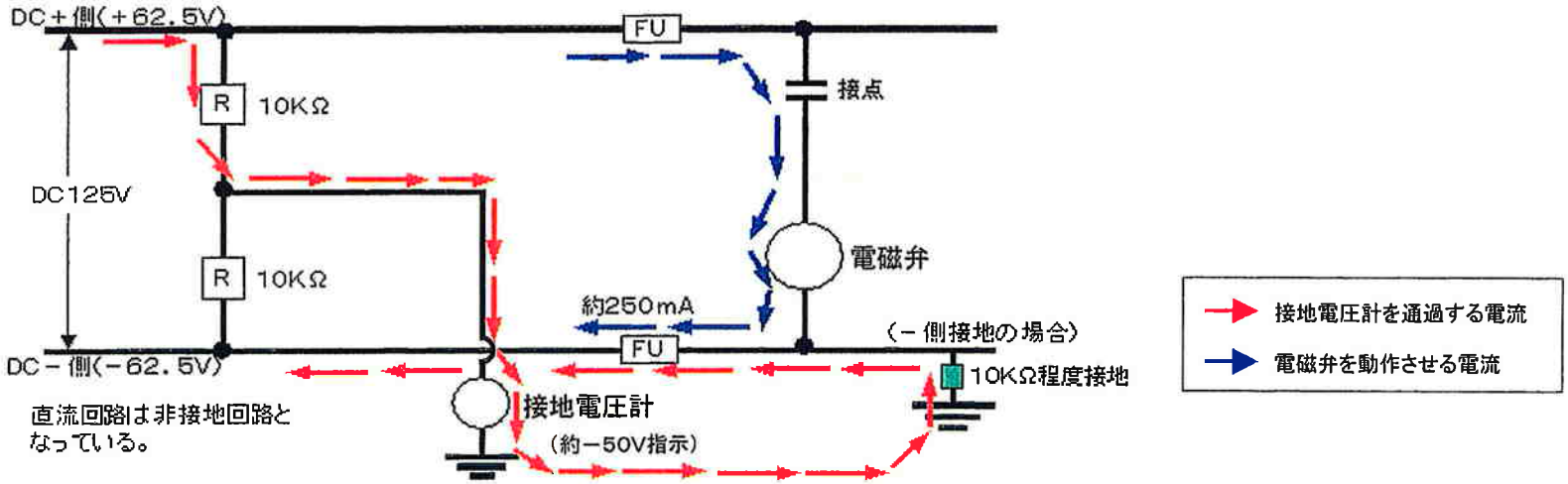
電源しゃ断時、弁はFail as isであり電源断により主蒸気隔離弁が自動的に閉止することはない。



直流接地による電磁弁開閉機能への影響

今回の直流接地発生時においては，接地電圧計が－50Vを指示していたことを確認している。当該電磁弁電源回路については、接地抵抗と接地電圧計の指示についての特性試験を実施しており、今回の直流接地においては－側母線が接地抵抗10kΩで接地した場合に相当すると考えられる。

この場合における電磁弁回路は下図の通り構成されるため，電磁弁への電源供給は正常に行われ、開閉動作についても正常に機能することができると考えられる。



なお、当該電磁弁の電源回路は、「非接地回路」を採用している。非接地回路においては，＋側電源母線，－側電源母線いずれも大地電圧と独立しているため，万一接地が発生した場合においても電源電圧（母線間電圧）を確保できる仕組みとなっている。

まとめ及び今後の対策

1. まとめ

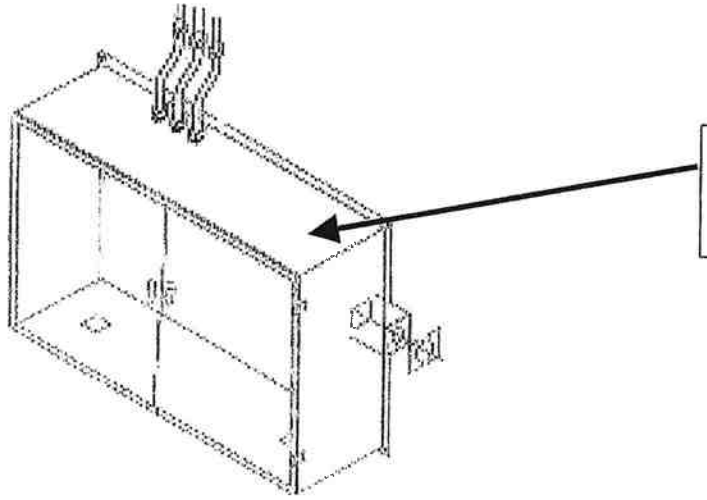
現場確認結果から、直流接地は、熱水が主蒸気隔離弁駆動用電磁弁パネルにかかり、電磁弁頭部から熱水が浸入し、端子台にて発生したと推定される。

なお、直流接地警報が発信する事象が発生したが、主蒸気隔離弁は問題なく動作している。

しかしながら、今回の事象を鑑み、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁パネルの保護方策の検討が望ましいと考えられる。

2. 今後の対策

熱水・蒸気の浸入を防止するため、電磁弁パネルを防水型のものに変更する。



・電磁弁を収納する防水型パネル

・電線管等の貫通部はシール処理を施す

美浜3号機　中間・制御建屋への蒸気浸入経路の調査状況について

中間・制御建屋への蒸気浸入経路の調査状況

1. 経緯

美浜3号機の事故後の現場調査にて熱水または蒸気が中間・制御建屋の一部に到達していたことが判明したことから、蒸気の浸入経路について調査を実施している状況について説明する。なお、建屋内の機器について影響調査を行っているが、特に異常は認められていない。

2. 蒸気の浸入状況について

事故後の現場調査にて、蒸気の浸入を受けたと推定される建屋・機器は以下の通りである。

①中央制御室制御盤（空調盤、所内盤、送電盤（オシロ盤含む）、当直課長机の一部）へのわずかな蒸気浸入が、事故当時、発電室員により確認され、現場調査の結果、水滴跡が確認された。

②直流電源設備現場調査の結果、室内及び蓄電池等に水滴跡が確認された。

③計器用電源装置現場調査の結果、天井から制御盤への水滴跡が確認された。

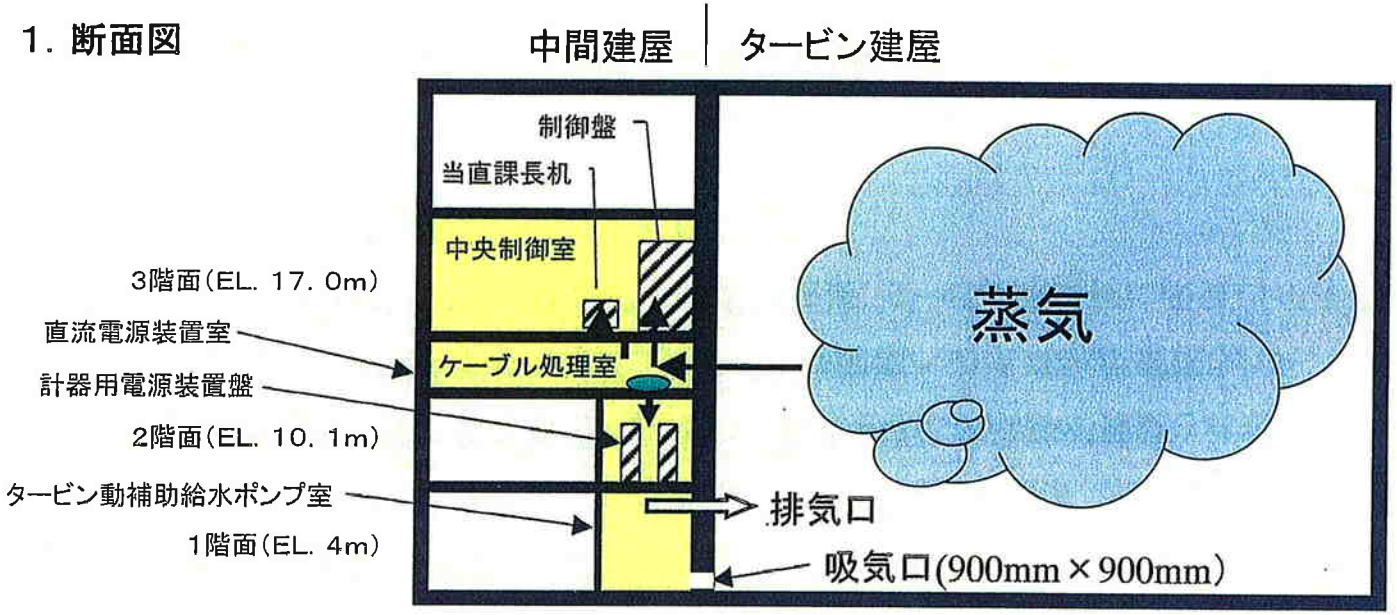
④タービン動補助給水ポンプ設備現場調査の結果、タービン建屋側に吸気口が存在するものの室内設備の外面には水滴跡は確認されなかった。

3. 対策

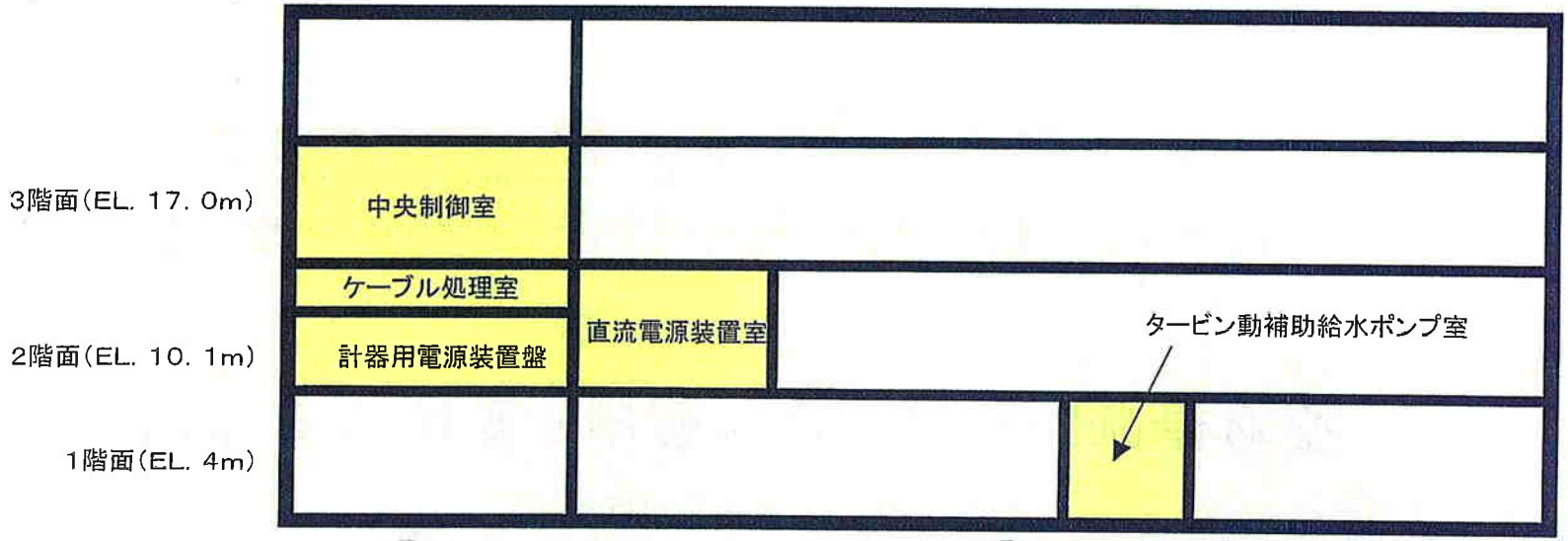
蒸気の浸入経路を確認し、その対策を各機器（設備）毎にまとめた。

全体配置図

1. 断面図



2. 断面図(タービン建屋側から)



調査結果（目次）

1. 中央制御室制御盤への蒸気浸入の調査結果について　（5/20）～
2. 直流電源設備への蒸気浸入の調査結果について　（10/20）～
3. 計器用電源設備への蒸気浸入の調査結果について　（15/20）～
4. タービン動補助給水ポンプ設備への蒸気浸入の調査結果について　（19/20）～

1．中央制御室制御盤への蒸気浸入の調査結果について

中央制御室制御盤内・外の状況

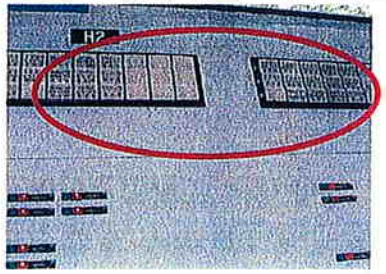
1. 中央制御室制御盤内・外の状況

事故発生後、中央制御室制御盤内（換気空調盤、所内盤、送電盤（オシロ盤含む））及び当直課長机の一部に蒸気が浸入し、中央制御室内温度にて蒸気が冷却され水滴が発生したと推定される。

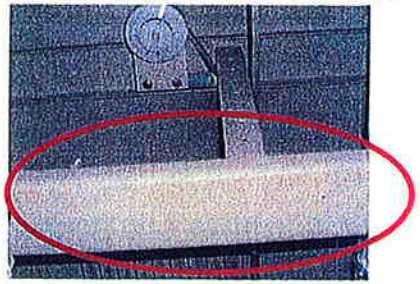
タービン建屋側から見て、中央制御室の奥側に設置されている原子炉盤、タービン盤他については、蒸気が浸入した跡は見受けられなかった。

なお、蒸気浸入によるスイッチ操作時の機器の不動作及び計器類への影響（誤動作等）はなかった。

写真は換気空調盤



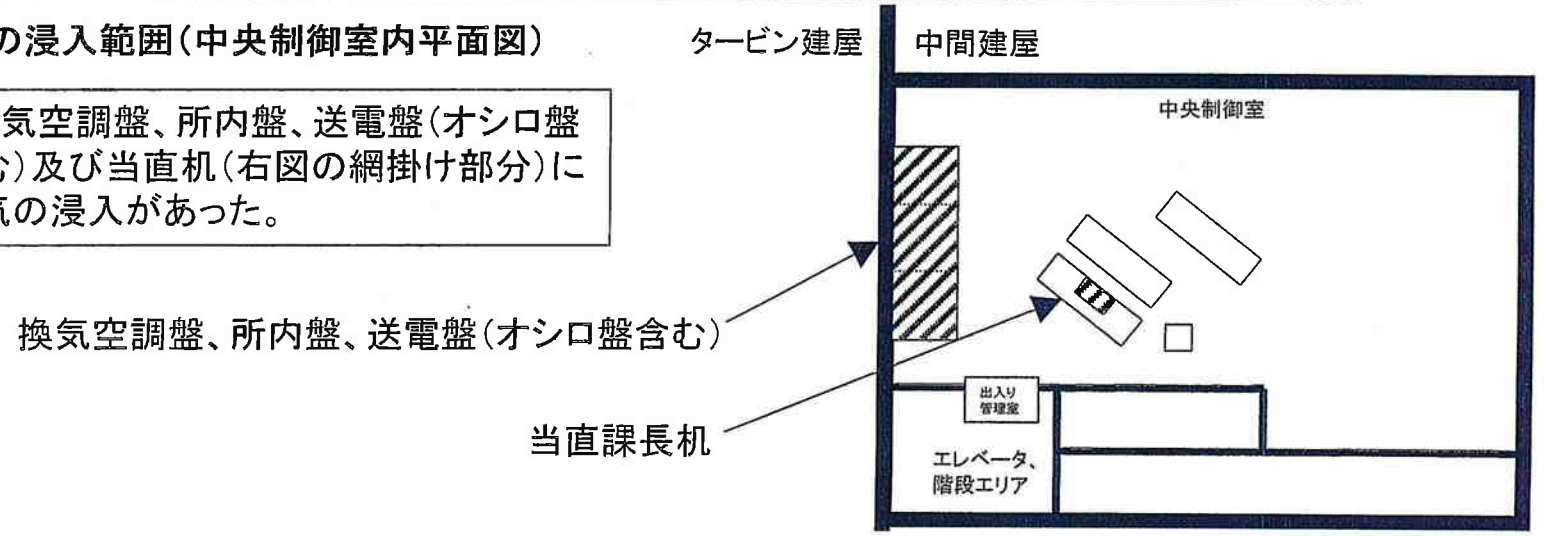
盤面機器のはめ込み部分から水滴が流れた跡



盤内天井はりの水滴跡（床にも水滴跡あり）

2. 蒸気の浸入範囲（中央制御室内平面図）

換気空調盤、所内盤、送電盤（オシロ盤含む）及び当直机（右図の網掛け部分）に蒸気の浸入があった。



中央制御室制御盤内への蒸気浸入経路の推定

1．中央制御室制御盤内への蒸気浸入経路の推定

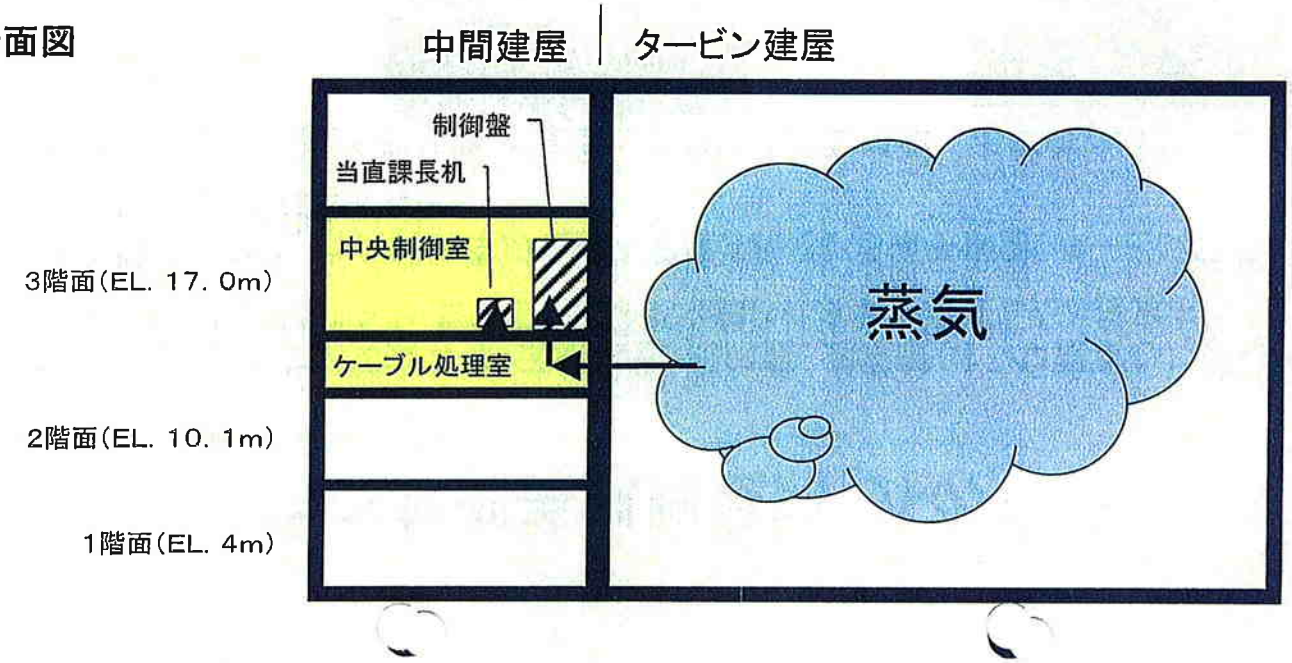
蒸気の中央制御室制御盤内への蒸気の浸入経路は、以下のようにタービン建屋、ケーブル処理室からと推定されるため、ケーブル処理室と中央制御室及びタービン建屋とケーブル処理室の貫通部の調査を行った。

タービン建屋 → （壁貫通部） ケーブル処理室 → （ケーブル立ち上り部（床貫通部）） 中央制御室制御盤内

＜事故時状況＞

配管破損によりタービン建屋に蒸気が充満したことにより、ケーブル貫通部すき間からケーブル処理室、さらに中央制御室へ蒸気が浸入したと推定される。

2．断面図



現場確認結果

1. 現場確認結果

(1)ケーブル処理室と中央制御室貫通部の調査

蒸気進入の認められなかった中央制御盤(タービン盤、原子炉盤他)を含め、中央制御室制御盤内の隙間について確認を実施した結果、今回浸入の認められた換気空調盤、所内盤、送電盤(オシロ盤含む)はケーブル床貫通部の隙間が大きいことが判明した。

・タービン盤、原子炉盤他:ケーブル(円形)相互間のすき間は1～3mm程度(想定隙間程度)

・換気空調盤、所内盤、送電盤(オシロ盤含む)

:約5mmの隙間や、大きいものでは幅3mm長さ約300mmの隙間が認められた。

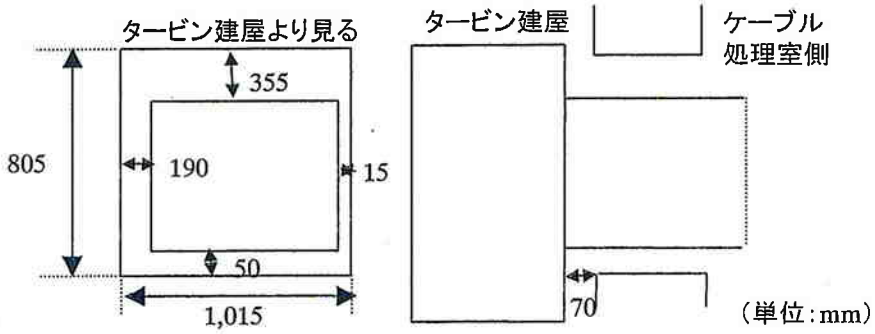
・当直課長机:貫通部にシールが欠落した部分があり、隙間は約50mm

(2)ケーブル処理室内及びタービン建屋とケーブル処理室貫通部の調査(中央制御室床下)

ケーブル処理室内のはりや床面の水滴跡の状況は、タービン建屋側から当直机下辺りまでに多く確認された。また、タービン建屋との壁貫通部は、電線管及びケーブル貫通部に15mm～355mmの隙間が認められた。

ケーブル貫通部には一面にシール処理が施されているが、ケーブル間に隙間が大きいものがあった。

(写真は換気空調盤内床面ケーブル貫通部の一部)



タービン建屋、ケーブル処理室貫通部において隙間があった。

(上図は最も大きなケーブルトレイ貫通部)

まとめ及び今後の対策

1. まとめ

現場確認結果から、中央制御室制御盤内への蒸気の浸入経路はタービン建屋→ケーブル処理室→中央制御室制御盤内（空調盤他）であると推定される。

また、中央制御室運転員の事故対応操作に影響を及ぼすことなく、蒸気の浸入の認められた機器に異常は認められていない。

しかしながら、今後の対応として、中央制御室内への蒸気浸入を極力低減するため、以下の対策を実施する。

2. 今後の対策

タービン建屋とケーブル処理室の貫通部の大きな隙間から、蒸気が中間・制御建屋に浸入したと推定されることから、当該部の貫通部等について、ケーブル、電線管、ケーブルトレイ等、適切なシール処理を行う。

2. 直流電源設備への蒸気浸入の調査結果について

直流電源設備への蒸気浸入の状況

1．直流電源装置室内及び直流電源装置盤（直流き電盤等）内の状況

・直流電源装置室には、空調装置給気口に水滴跡、その床面に水溜り跡があった。

・蓄電池には、上部から滴下したと思われる水滴跡が数箇所あったが、電極端子はカバーで覆われており、水滴が機能に支障を与えるものではなかった。

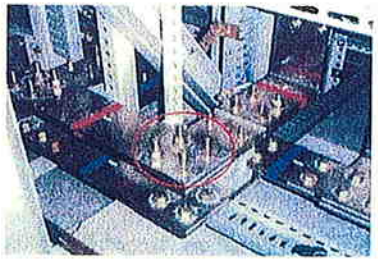
・直流き電盤等の外観に水滴跡等はなかったが、盤内母線等には水分の乾いた跡があった。

なお、これらの影響による直流電源の供給機能への支障はなかった。

B－直流電源装置の状況

床面（上部よりの水滴落下）
給気口下

直流き電盤外観異常なし



直流き電盤内母線等に水分の乾いた跡あり

蓄電池外観異常なし
（水滴跡あるが、電極端子はカバーで覆われており、影響なし）

＜水滴跡発生原理＞

床面の水滴跡は、空調装置給気口にて室内温度と給気温度との差（室内温度＜給気温度）により、水蒸気が一部凝結し、水滴となり滴下したと推定される。

蓄電池の水滴跡は、天井付近のはりや配管で水滴となったものが滴下したと推定される。

直流電源装置室への蒸気浸入経路の推定

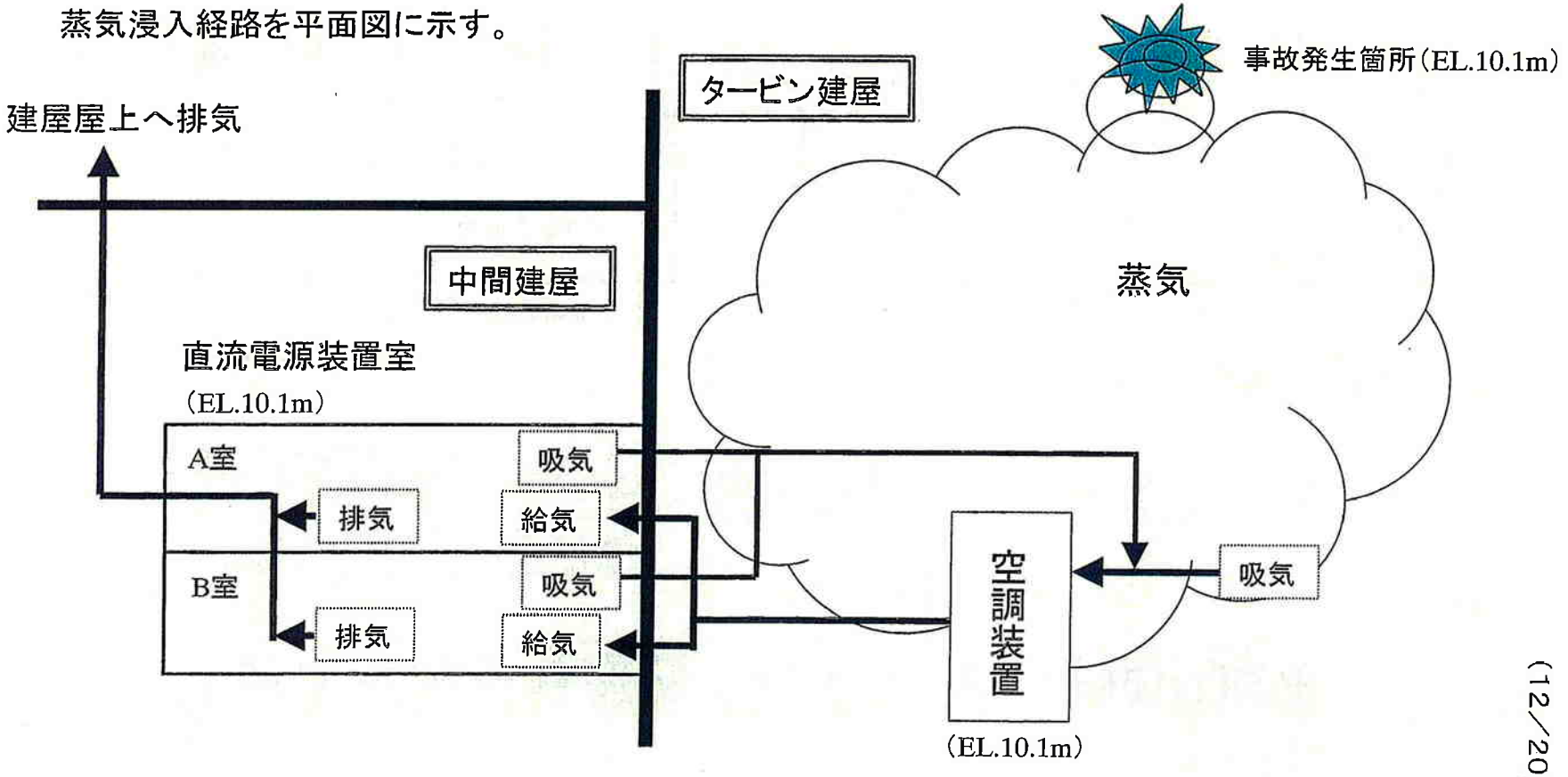
1．直流電源装置室への蒸気流入経路の推定

タービン建屋で発生した蒸気は、主に直流電源装置室空調装置にてダクトを通して室内へ浸入し、直流電源装置室換気ファンにて建屋外へ排気されたと推定される。

A室については、35Φ（mm）のシールされていない貫通穴があったため、一部の蒸気はこれを通して、浸入したと推定される。

2．蒸気の浸入経路図

蒸気浸入経路を平面図に示す。



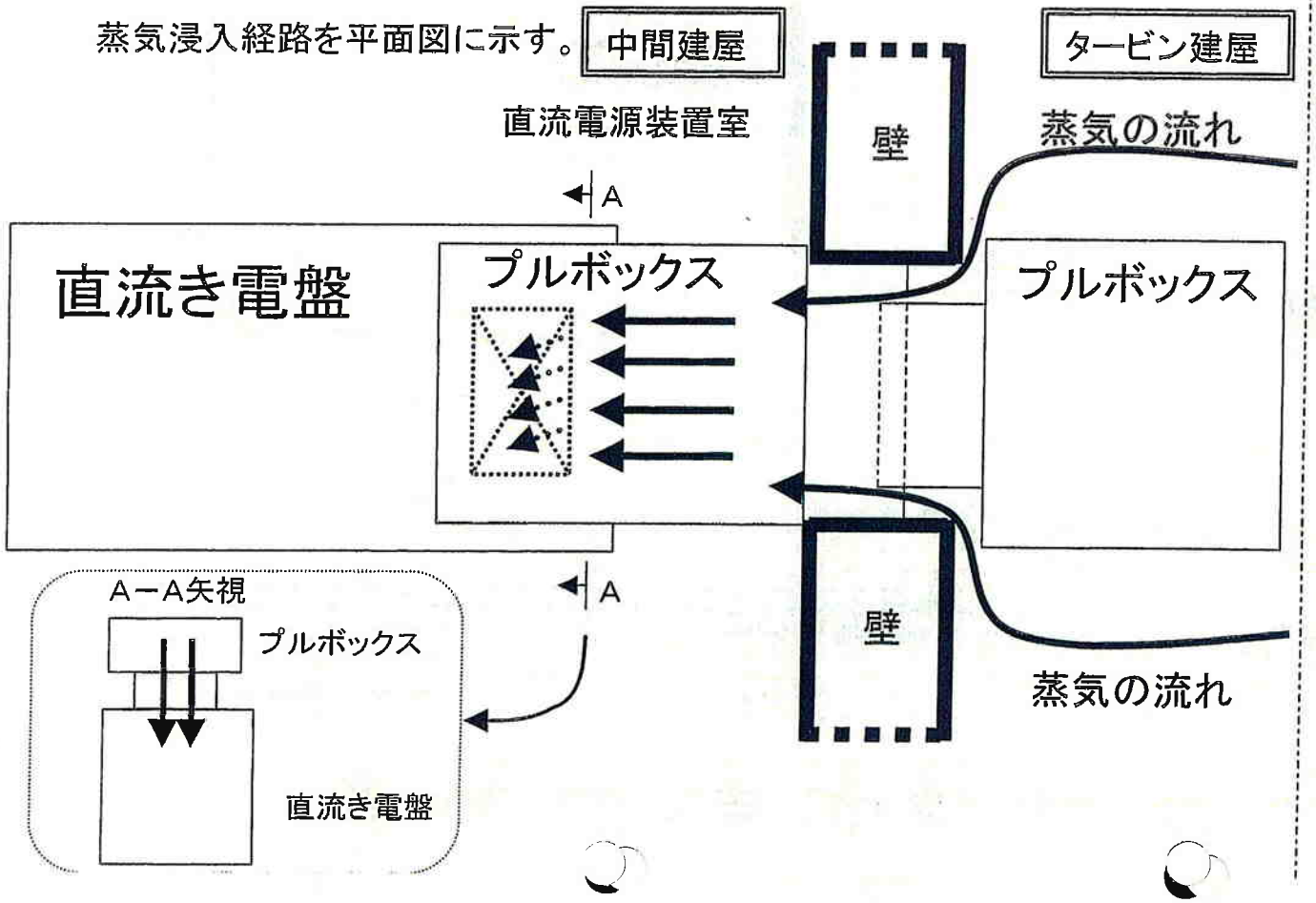
直流電源装置盤内への蒸気浸入経路の推定

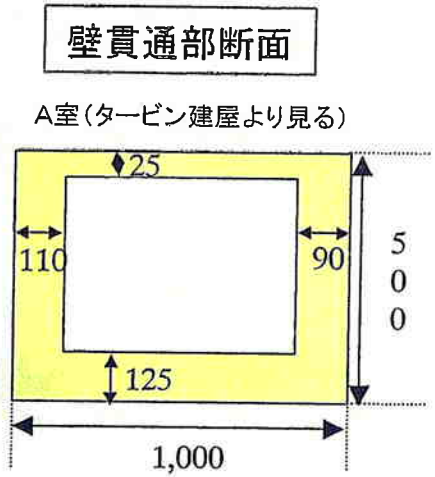
1．直流電源装置盤内への蒸気浸入経路の推定

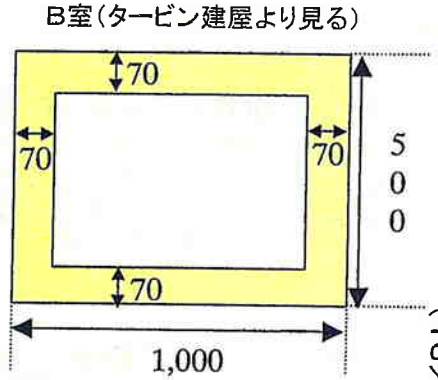
タービン建屋で発生した蒸気は、タービン建屋から直流電源装置室へのケーブル貫通ダクトを通り、プルボックスから直流電源装置盤（直流き電盤等）内へ浸入したと推定される。

2．蒸気の浸入経路図

蒸気浸入経路を平面図に示す。







注：単位はmm

まとめ及び今後の対策

1. まとめ

現場確認結果から、直流電源装置室内への蒸気は空調装置にて、また、直流電源装置盤（直流き電盤等）内への蒸気はケーブル壁貫通部から浸入したと推定される。

また、直流電源設備は、事故時及び事故後においてもその機能に問題はなく、特に異常は認められていない。

しかしながら、事故時に蒸気が浸入することは、耐環境性上好ましくないことから、蒸気が浸入しないよう設備上の対策を施すことが望ましいと考えられる。

2. 今後の対策

蒸気が浸入しないよう以下の設備対策を検討中である。

（1）直流電源装置室への蒸気浸入対策

・空調装置取入口の改善（吸気口を位置変更し、外部吸気とする）。

・A室の35Φの壁貫通穴をシール施工する。

（2）直流電源装置盤内への蒸気浸入対策

・壁貫通部とプルボックスの間をシール施工する。

3. 計器用電源設備への蒸気浸入の調査結果について

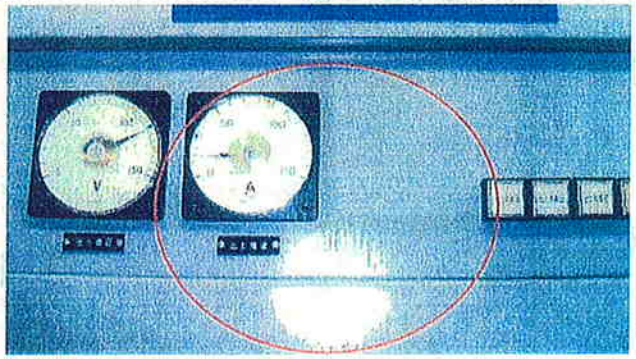
計器用電源設備への蒸気浸入の状況

1. 計器用電源設備の状況

計器用電源装置盤に天井付近から滴下したと思われる水滴がかかっていることが確認された。

また、一部の盤については、内部にも水滴跡が確認された。

なお、計器用電源設備は事故時及び事故後においても、その機能に問題はなかった。



計器用電源装置盤の盤面
水滴がかかった跡が確認された。

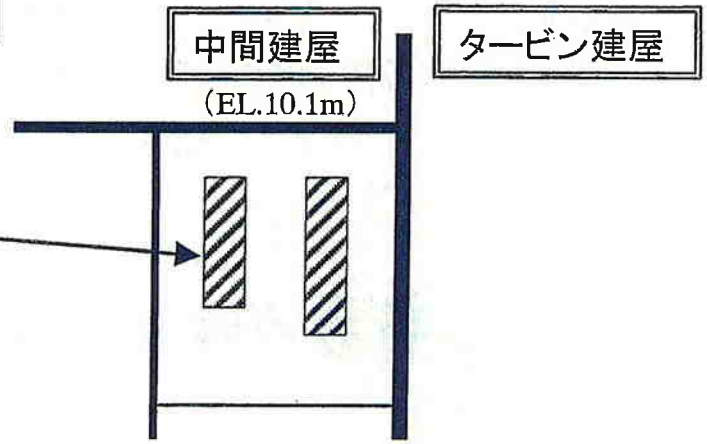
（写真はF計器用電源盤）

・A～D計器用電源：安全系電源

・E，F，H計器用電源：非安全系電源

2. 計器用電源装置盤設置場所（平面図）

設置場所は中間建屋2階面（ケーブル処理室下）である。（右図網掛け部）



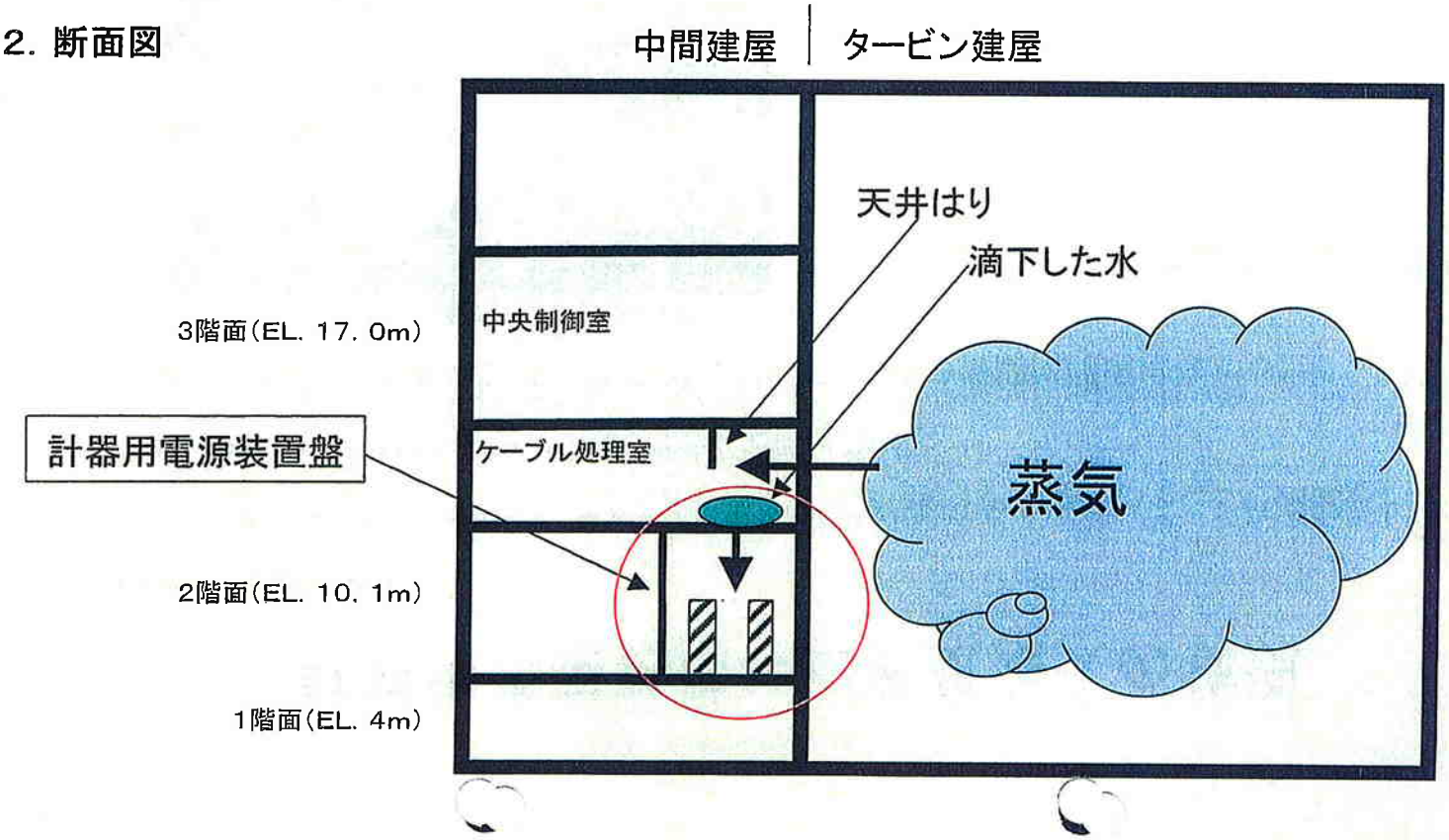
計器用電源装置への水滴滴下原因の推定

1. 計器用電源装置への水滴滴下原因の推定

水滴は天井付近から滴下しており、階上はケーブル処理室となっている。

ケーブル処理室床面の水滴跡部分の鉄板張り合わせ部分に隙間が開いており、また、床面を貫通する電線管の一部に水滴跡があることを確認した。ケーブル処理室に浸入した蒸気が、ケーブル処理室天井はりで水滴化して床面に滴下し、滴下した水が床面及び電線管の隙間から階下の計器用電源装置室へ浸入したものと推定される。

2. 断面図



まとめ及び今後の対策

1. まとめ

現場確認結果から、計器用電源装置への水滴滴下原因は、ケーブル処理室に浸入した蒸気が凝結し、水滴化した水がその床面及び電線管通部隙間から階下の計器用電源装置にかかったと推定される。

また、計器用電源設備は事故時及び事故後においても、その機能に問題はなく、特に異常は認められていない。

しかしながら、今回の事象において、計器用電源装置水滴がかかることは好ましくないことから、根本原因であるケーブル処理室への蒸気流入防止対策が必要であると考えられる。

2. 今後の対策

本事象は、中央制御室への蒸気浸入事象と根本原因が同じであることから、9／20頁に示す**今後の対策**にて対応することとする。

4. タービン動補助給水ポンプ室への蒸気浸入の調査結果について

タービン動補助給水ポンプ室への蒸気浸入の状況

１．タービン動補助給水ポンプ室の状況

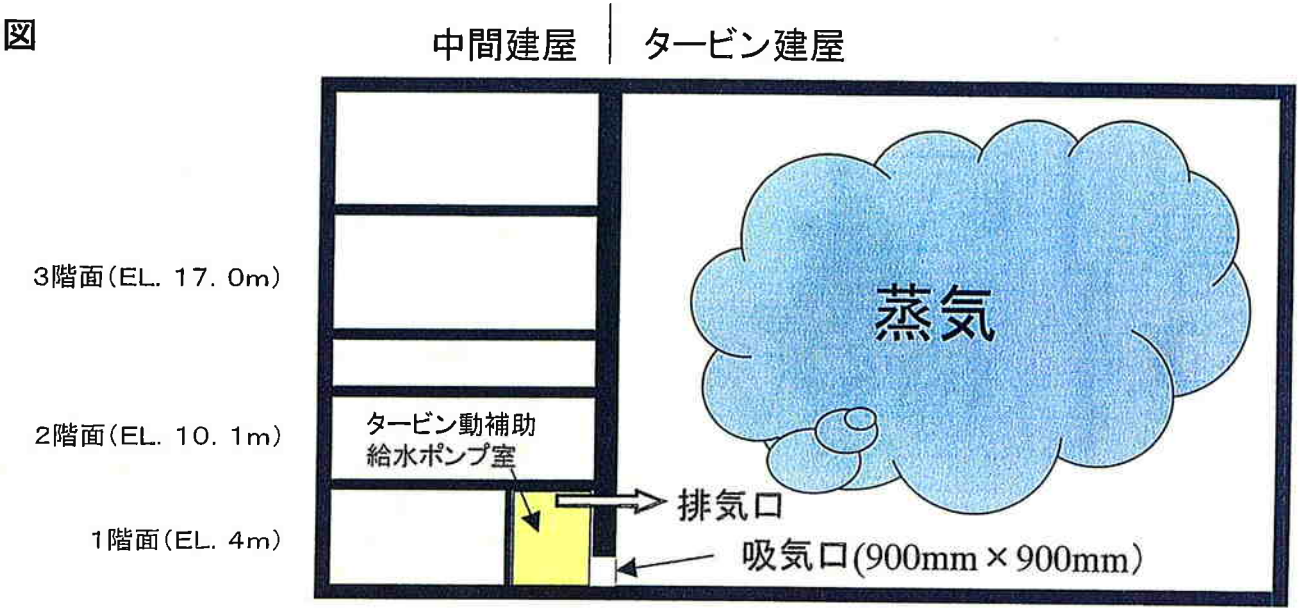
タービン動補助給水ポンプ室への吸気が、タービン建屋から行なわれていることから、蒸気浸入の可能性が考えられたが、調査の結果、蒸気の浸入の痕跡は認められなかった。

タービン動補助給水ポンプの運転に必要な電気設備は、ポンプ室内に設置されておらず、ポンプ自体も周辺の蒸気により運転に支障をきたすものではないことから、たとえポンプ室内に蒸気の浸入があった場合にも、運転上問題となることはない。

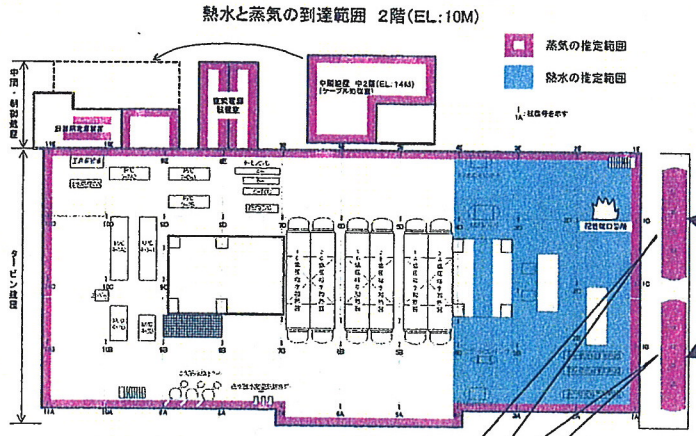
２．タービン動補助給水ポンプ室への水滴跡が確認されなかった原因の推定

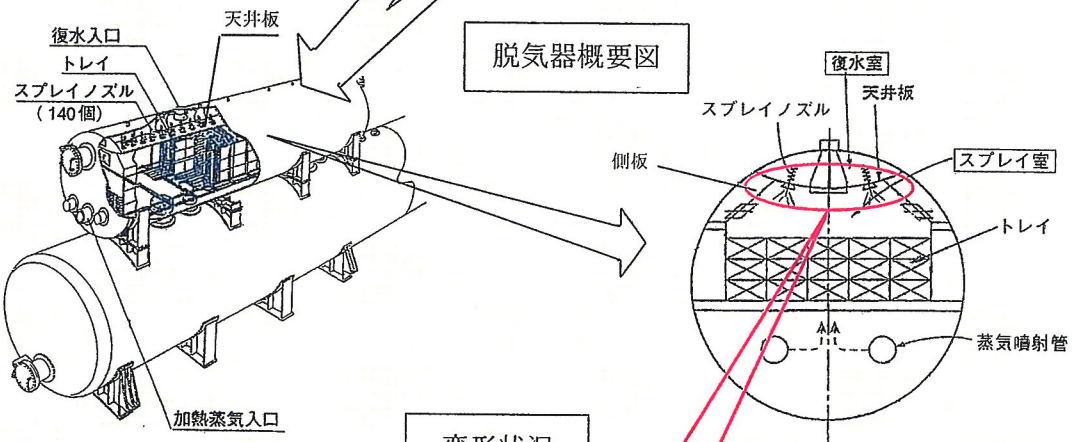
タービン動補助給水ポンプ室の吸気口は、蒸気が浸入しにくい１階床面に設置されていたため、室内への蒸気の浸入が少なく、加えて、室内の温度が高かったことから、浸入した蒸気が凝縮することもなかったと推定される。

３．断面図

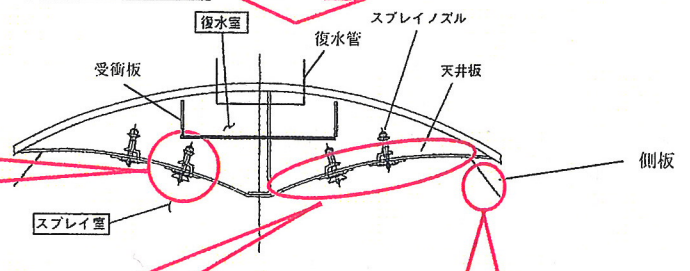


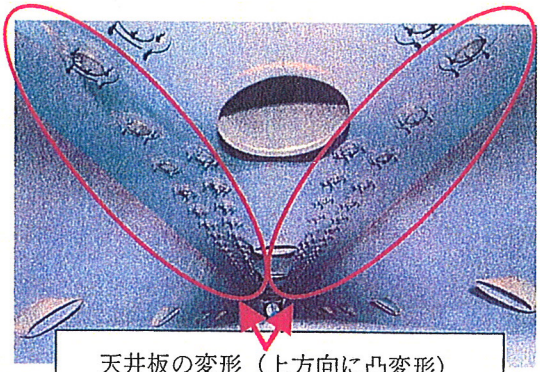
脱気器天井板他の変形

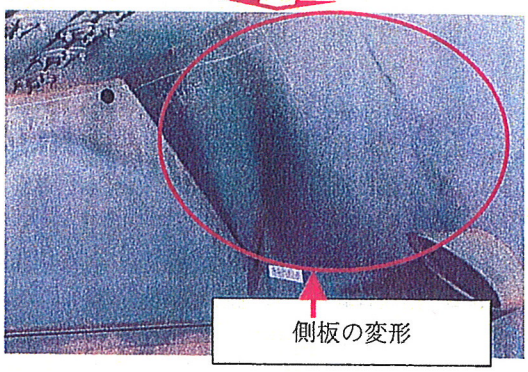




変形状況

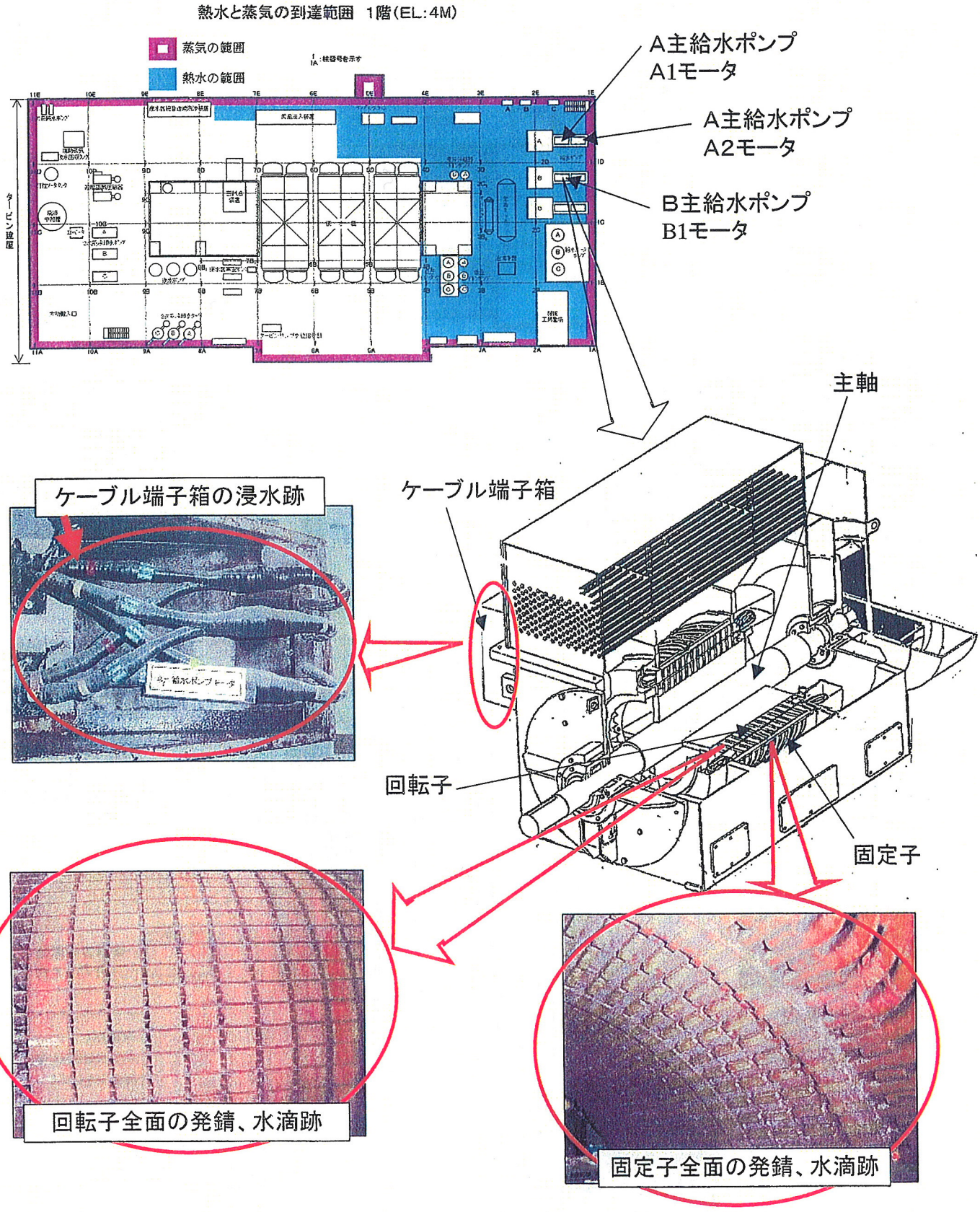






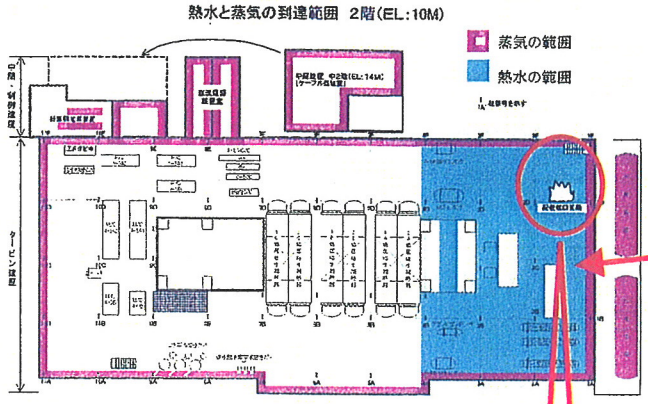
脱気器入口側の復水配管の破損により、復水室の圧力（天井板上部）が低下し、天井板の上下に差圧が生じ天井板が圧力の低い側（上部側）に変形した。また、天井板の変形により側板およびスプレイノズルが変形したと考えられる。

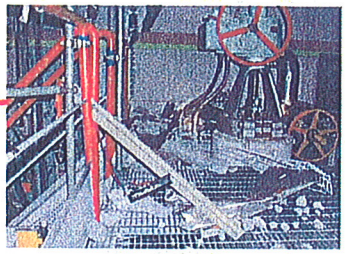
主給水ポンプモータ（A1、A2、B1）の発錆他



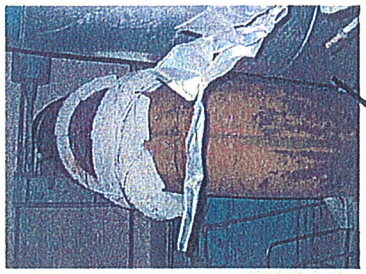
注：写真は全てA1のものである

周辺配管保温材他の損傷

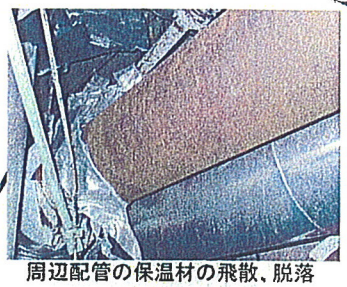




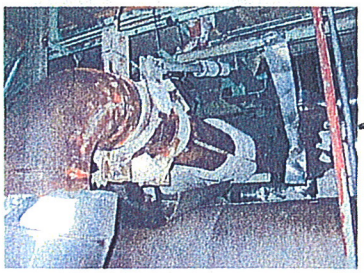
保温材等が堆積



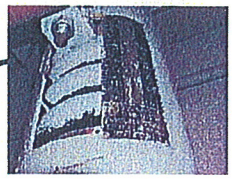
保温材の飛散・脱落



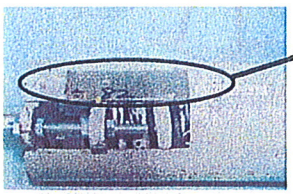
周辺配管の保温材の飛散、脱落



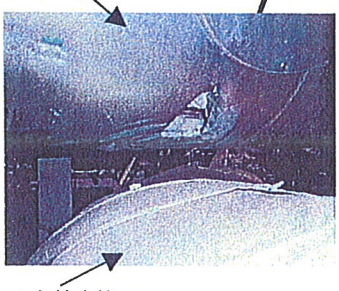
周辺配管保温材の飛散、脱落



支持構造物インジケータマイナ
（作動試験及び分解点検を実
結果異常なし）



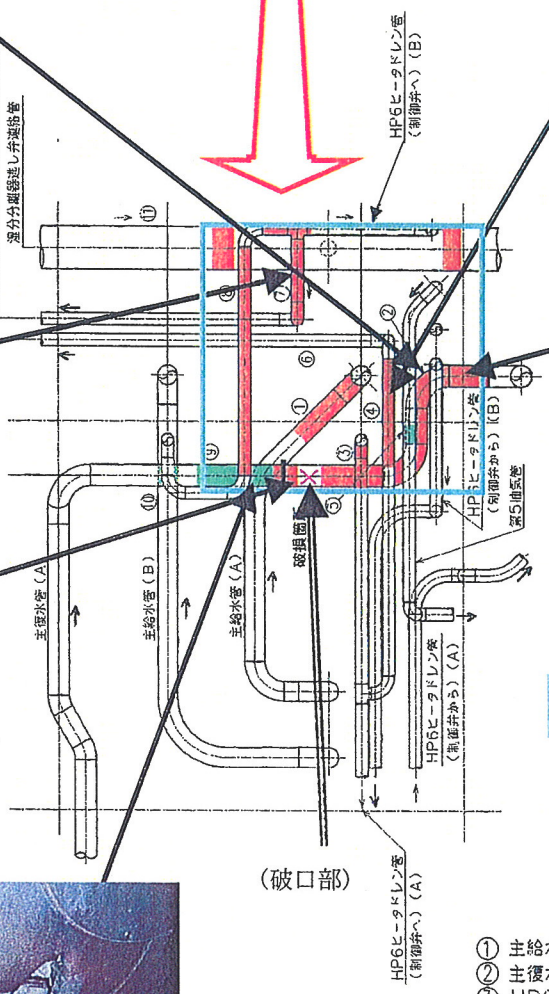
支持構造物の銘板外れ
（作動試験不可のため、
分解点検を実施した結果
異常なし）



A主復水管

A主給水管

破口配管の保温材、外装材の損傷



① 主給水管（A）
② 主復水管（A）
③ HP6ヒータドレン管（制御弁へ）（A）
④ HP6ヒータドレン管非常用（復水器へ）（A）
⑤ 第５抽気管
⑥ HP6ヒータドレン管非常用（復水器へ）（A）
⑦ HP6ヒータドレン管非常用（復水器へ）（B）
⑧ HP6ヒータドレン管（制御弁へ）（B）
⑨ 主復水管（A）
⑩ 主給水管（B）
⑪ 湿分分離器逃し弁連絡管

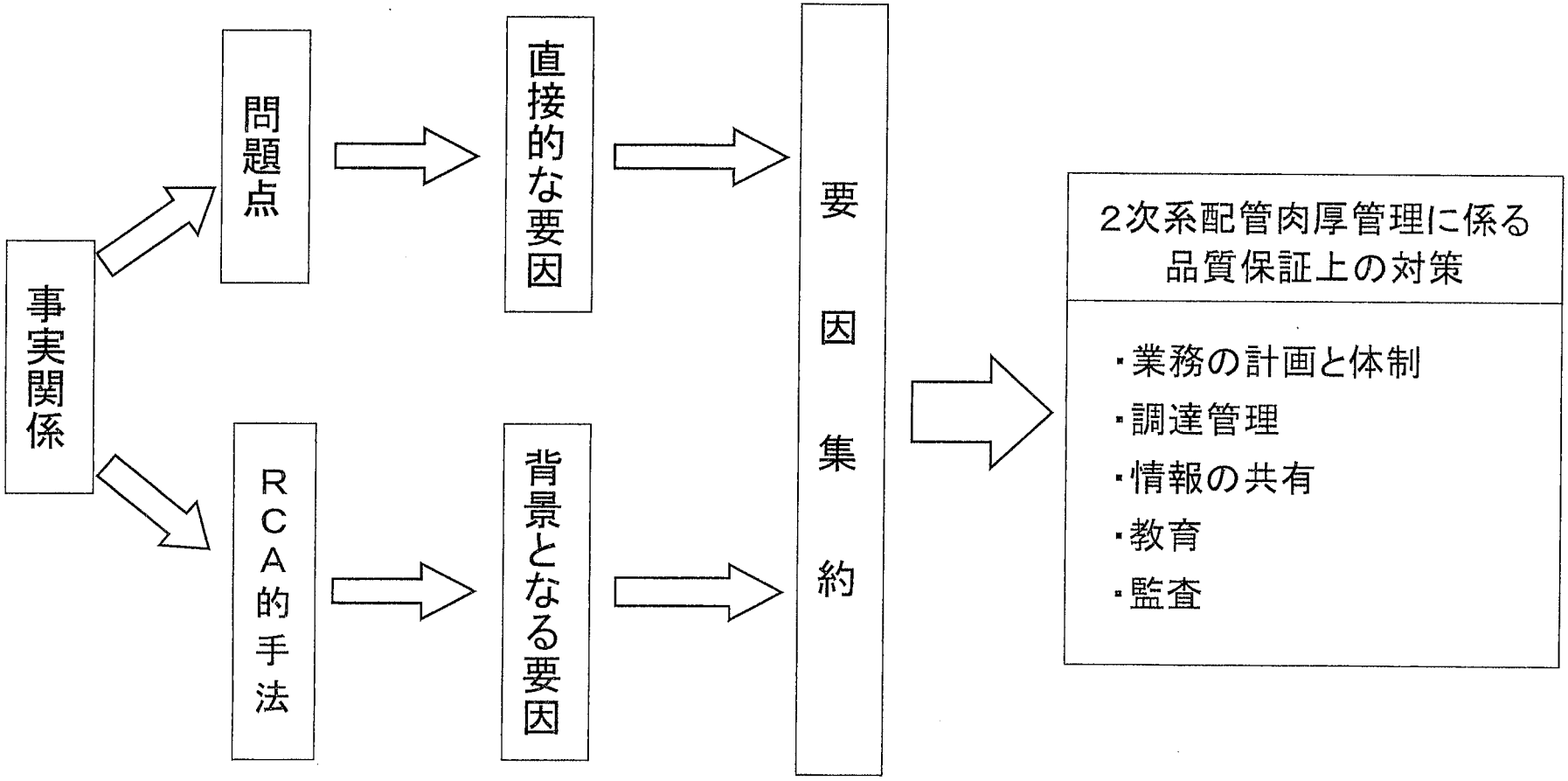
注．「HP6ヒータ」は、「第６高圧給水加熱器」を示す。

２次系配管肉厚管理未実施部位に対する肉厚測定結果

「ＰＷＲ管理指針」に規定される主要点検部位のうち、２次系配管肉厚管理が未実施であった部位１５箇所（美浜３号機の当該部位およびＢ系の同一部位を除く）の肉厚測定結果は以下のとおり。

プラント名	部位名	肉厚測定実施日	公称肉厚 (mm)	測定最小肉厚 (mm)	必要最小厚さ (mm)	結果
美浜３号機	ｽﾁｰﾑｺﾝﾊﾞｰﾀ加熱蒸気管 ｵﾘﾌｨｽ下流部	平成16年11月30日	7.1	7.1	3.8	必要最小厚さを満足
高浜１号機	ｽﾁｰﾑｺﾝﾊﾞｰﾀ加熱蒸気管 ｵﾘﾌｨｽ下流部	平成16年8月19日	11.0	10.3	2.6	必要最小厚さを満足
高浜３号機	Ａ湿分分離器ﾄﾞﾚﾝﾎﾟﾝﾌﾟ吐出管　ﾚｼﾞｭｰｻ	平成16年8月24日	7.1	6.8	3.8	必要最小厚さを満足
			8.2	7.7	3.8	必要最小厚さを満足
	Ｂ湿分分離器ﾄﾞﾚﾝﾎﾟﾝﾌﾟ吐出管　ﾚｼﾞｭｰｻ	平成16年8月24日	7.1	6.5	3.8	必要最小厚さを満足
			8.2	7.8	3.8	必要最小厚さを満足
	Ａ主給水管　弁下流部	平成16年8月24日	29.4	24.1	18.2	必要最小厚さを満足
	Ａ主給水管　ﾃｨｰｽﾞ	平成16年8月24日	21.4	20.7	12.7	必要最小厚さを満足
	Ｂ主給水管　弁下流部	平成16年8月24日	29.4	25.5	18.2	必要最小厚さを満足
	Ｂ主給水管　ﾃｨｰｽﾞ	平成16年8月24日	21.4	21.4	12.7	必要最小厚さを満足
	第６高圧ﾋｰﾀ空気抜管 ﾃｨｰｽﾞ	平成16年8月24日	7.6	7.2	3.0	必要最小厚さを満足
	ｽﾁｰﾑｺﾝﾊﾞｰﾀ加熱蒸気管 弁下流部	平成16年8月24日	8.2	7.7	3.8	必要最小厚さを満足
高浜４号機	ｽﾁｰﾑｺﾝﾊﾞｰﾀ加熱蒸気管 ｵﾘﾌｨｽ下流部	平成16年8月24日	7.1	6.8	3.8	必要最小厚さを満足
大飯３号機	ｽﾁｰﾑｺﾝﾊﾞｰﾀ加熱蒸気管 制御弁下流部	平成16年8月19日	7.1	5.7	3.8	必要最小厚さを満足
	Ａ湿分分離器ﾄﾞﾚﾝﾎﾟﾝﾌﾟ吐出管　ｵﾘﾌｨｽ下流部	平成16年8月24日	9.3	8.8	3.8	必要最小厚さを満足
	Ｂ湿分分離器ﾄﾞﾚﾝﾎﾟﾝﾌﾟ吐出管　ｵﾘﾌｨｽ下流部	平成16年8月24日	9.3	9.4	3.8	必要最小厚さを満足
大飯４号機	ｽﾁｰﾑｺﾝﾊﾞｰﾀ加熱蒸気管 制御弁下流部	平成16年8月19日	7.1	5.2	3.8	必要最小厚さを満足

事実関係から要因の抽出および対策への展開



事実関係の調査結果による問題点の把握

フェーズⅠ：「ＰＷＲ管理指針」が策定されるまで、および、「ＰＷＲ管理指針」が適用されて以降、三菱重工業が２次系配管経年変化調査工事を実施

１．事実関係の調査結果

・当社は、昭和５９年頃から２次系配管肉厚管理を強化し、その中で蓄積されたデータをもとに、昭和６２年１０月に減肉調査に係る点検要領の策定を目的に三菱重工業に対して調査委託を行ない、その成果を踏まえて平成２年５月に「ＰＷＲ管理指針」を策定した。

・ＰＷＲ管理指針を適用した２次系配管の点検工事を行なうべく、三菱重工業がこれまでにあったスケルトン図を見直ししたが、当初からの登録漏れ（当該部位を含む）が発生した。三菱重工業は、このスケルトン図に基づき点検計画を当社に提案している。
［Ⅰ－①］この提案は、余寿命評価に基づき次回定期検査で点検対象とするものを示すものであり、当社の工事仕様書には明記されていないものの、受注者において継続して行なわれていたものである。当社はその提案に基づき仕様書を作成して契約を行ない、提出される計画書や報告書の確認を行なっている。なお、工事計画書や工事報告書にはＰＷＲ管理指針に基づき実施していることが記載されている。

（問題点）

Ⅰ－①　三菱重工業との点検工事請負契約において、三菱重工業からの提案の位置づけが不明確であるとともに、保修業務についての社内標準である原子力発電所保修業務要綱、原子力発電所保修業務要領にはこのような三菱重工業からの提案に対する規定はなかった。

・ＰＷＲ管理指針を初回に適用した段階で、主要点検系統において美浜３号機では当該箇所を含み３箇所、当社１１基合計では４２箇所が当初からの登録漏れとなっていた。
４２箇所の登録漏れのうち、１４箇所が流量計オリフィス下流部であり、美浜１号機、美浜３号機、高浜４号機で当該部位を含め同一部位が４箇所漏れていた。

・三菱重工業は、ＰＷＲ管理指針適用に伴うスケルトン図の見直し作業において、付番チェックと追加付番という単調な手作業が連続し、［Ｉ－②］１人作業であったためにヒューマンエラーが発生したとしている。また、［Ｉ－③］三菱重工業においてはスケルトン図の見直し後のダブルチェックは行なっていなかった。
なお、オリフィスについては減圧オリフィスと流量計オリフィスの２種類があり、ＰＷＲ管理指針策定以前は、それまでの減肉経験から減圧オリフィス下流部は点検対象とされていたが、流量計オリフィス下流部については、全数が点検部位として登録されていたわけではなかったこと、また、三菱重工業が作成したＰＷＲ管理指針原案には含まれていなかった流量計オリフィス下流部が直前にＰＷＲ管理指針に含まれたという経緯があったこと等が当該部位の抽出漏れにつながったと考えられる。

（問題点）

Ｉ－②　当社は、点検リストのチェックにあたって、三菱重工業の実施体制、業務の実施方法、業務量等を確認し、管理指針に基づき確実に点検リストが作成されているか確認しなかった。

Ｉ－③　当社は、三菱重工業内のダブルチェック実施など、品質保証上十分なものとなるような要求をしていなかった。

・４２箇所のうち、１０箇所の当初からの登録漏れについては三菱重工業が当社の２次系配管点検工事を実施していた期間に修正されているが、［Ｉ－④］漏れが発見され、修正されたことについて当社に連絡はなかった。

（問題点）

Ｉ－④　当社は、点検リストの元のデータを自ら管理し三菱重工業が修正した箇所等を把握すべきであった。

・三菱重工業は、この登録漏れがあるスケルトン図に基づき、美浜３号機第１１回定期検査（平成３年１月開始）を計画、提案した。当社は、当初から三菱重工業に２次系配管の点検工事を発注していたこと、三菱重工業と連携してＰＷＲ管理指針を策定したこと、当社で開催した打合せにおいて三菱重工業がＰＷＲ管理指針に関する説明を実施したこと、および三菱重工業による点検計画の提案においてＰＷＲ管理指針に基づき実施する旨明記されていたことから、［Ｉ－⑤］２次系配管のスケルトン図の確認は、三菱重工業がＰＷＲ管理指針に基づいて行なったと考え、当社は点検対象箇所の漏れを防止するための確認を行なわなかった。

（問題点）

Ｉ－⑤　当社と三菱重工業の間の美浜３号機第１１回点検工事請負契約において、ＰＷＲ管理指針が初めて適用されることから、ＰＷＲ管理指針に基づいた点検対象部位に登録漏れのない点検計画の策定を要求するべきであったが、ＰＷＲ管理指針の適用については、調達文書の上で要求はしなかった。同契約の標準仕様書では、「前回の調査結果および他プラントの実施状況をふまえ、今回工事対象箇所の検討を実施し、当社と打合せ決定すること」と記載されているが、点検対象箇所の全数把握に関しては、当社と三菱重工業のそれぞれの役割分担を明確にしていなかった。

2．ＲＣＡの起点となる問題点

・当社が、管理指針に基づく必要な点検箇所を網羅した点検リストを作成していなかった。
・三菱重工業が、管理指針に基づく必要な点検箇所が、点検リストに抜けていないかの確認が不十分。

フェーズⅡ：三菱重工業から日本アームへの点検業務の移管

1．事実関係の調査結果

・当社は、２次系配管点検業務の独立性確保と自主技術力の養成を目的に、平成７年に三菱重工業から日本アームへ２次系配管点検業務の移管を決定した。［Ⅱ－①］業務の移管に際し、平成８年９月に三菱重工業と委託契約を締結し、配管肉厚管理に関する計測箇所の調査結果と、基本データを整理の上、ラインスペックデータや最新のスケルトン図と全プラントの計測データを整理し、提出するよう求めた。この委託契約に基づき平成９年１月に三菱重工業から当社に提出された基本データを、当社は日本アームへ提供した。

（問題点）

Ⅱ－①　委託契約にＰＷＲ管理指針に基づいた基本データの整理、提出を明記していないが、当社は、美浜３号機については初回定検（昭和５２年）当時から三菱重工業に配管点検工事を発注していたこと、ＰＷＲ管理指針を三菱重工業と連携して策定していたこと、三菱重工業から登録漏れを発見したことの連絡を受けていないことから、ＰＷＲ管理指針に基づいた点検箇所に漏れのない基本データが三菱重工業から当社へ提出されたものと思い込んでいた。

・［Ⅱ－②］当社は、委託契約にＰＷＲ管理指針に基づいたスケルトン図の整理、提出を明記していなかった。また、三菱重工業はスケルトン図について特段のチェックをせず、保持するデータをそのまま当社へ渡したとしている。その結果、日本アームに当社が提供したスケルトン図からは当該部位を含む３２箇所が当初からの登録漏れのままとなっていたが、
［Ⅱ－③］当社はＰＷＲ管理指針に基づいたスケルトン図等が提出されたものと考えて、確認を行なわなかった。

（問題点）

Ⅱ－②　過去の基本データに抜けがない形で引き継ぐ必要があるにもかかわらず、当社は、業務移管の一環として三菱重工業と締結した業務委託において、ＰＷＲ管理指針に基づく基本データのチェックを求めるといった委託目的、委託業務内容を明示しなかったため、三菱重工業ではスケルトン図の見直し、チェックが行われず、ＰＷＲ管理指針に基づく抜けのない基本データが当社に提供されなかった。

Ⅱ－③　当社と三菱重工業とのコミュニケーションが不十分であったため、当社は、三菱重工業が抜けのある基本データを当社へ提供していたこと、および忠実にＰＷＲ管理指針に基づいた業務を行っていなかったことが分からなかった。

・日本アームは三菱重工業と、業務移管後の至近４プラントの配管点検について助勢を求める業務指導契約を平成９年１月に締結した。日本アームは、三菱重工業の子会社である原子力サービスエンジニアリング（以下、「ＮＵＳＥＣ」という）の指導を受けながら、点検業務を開始したが、三菱重工業による当初からの登録漏れ修正の事実が日本アームには伝わっていなかったことから、三菱重工業が担当していた期間のスケルトン図に当初からの登録漏れがあるとは考えなかった。

2．ＲＣＡの起点となる問題点

・当社が、点検リストに抜けがないかを確認していない。
・三菱重工業が、点検リストに抜けがないかを確認していない。
・当社において移管後の円滑な業務運営のための要求事項が不明確。

フェーズⅢ：日本アームがスケルトン図のＣＡＤ化等を実施

１．事実関係の調査結果

・日本アームは、当社から提供されたスケルトン図・計測データ等に基づき、点検業務を進める中で、三菱重工業が２次系配管点検工事を担当していた当時、スケルトン図は十分な変更管理がなされていなかったことに気付き、平成９年９月に当社に対してスケルトン図のＣＡＤ化等を提案した。［Ⅲ－①］当社は、日本アームの説明を受け入れ、現場調査結果によるスケルトン図の修正とＣＡＤ化等について、平成９年１０月に「２次系配管検査データ・図面整備委託」として日本アームに発注した。その結果、［Ⅲ－②］これまでの変更管理の不備に対する対策はとられたものの、当該部位の登録漏れは継続した。

（問題点）

Ⅲ－①　当社は、三菱重工業のスケルトン図の変更管理がなされていないとの説明を日本アームから受けた際、データ不備の原因がスケルトン図の変更管理のみに起因するかどうかの調査を行わなかった。

Ⅲ－②　当社は、日本アームに対して、データ不備の原因究明のための調査の指示を行っておらず、本委託において、ＰＷＲ管理指針に基づいた点検データ・図面整備を求めていなかった。また、点検対象箇所に漏れがないかという視点で現場調査を要求していなかった。

・［Ⅲ－③］日本アームは、平成８年の業務移管後継続して当社の２次系配管の点検工事を受託し、点検業務を行なう中で当初からの登録漏れを事故発生までに当社全プラントで１７箇所発見し、発見した部位のスケルトン図を修正し、定期検査提案に反映させていた。この中に破損部位も含め同一部位が４箇所含まれているが、後述する高浜４号機の例を除き、
［Ⅲ－④］当社に登録漏れのものとして連絡はなされなかった。
また、その他の箇所で当社に連絡がなされたケースもあるが、変更管理の不備等によるものと思い込み、三菱重工業から引き継いだスケルトン図に漏れがあり、それが継続しているとは考えていなかった。
さらに、［Ⅲ－⑤］当社はＰＷＲ管理指針に基づく点検リストを定期的に見直しておらず、当該部位の登録漏れを発見できなかった。

（問題点）

Ⅲ－③　日本アームとの点検工事請負契約において、日本アームからの点検対象箇所の提案（定検計画作成）の位置付けが不明確であるとともに、原子力発電所保修業務要綱や原子力発電所保修業務要領には提案に対する検討を規定していない。

Ⅲ－④　日本アームからの登録漏れ発見の連絡がなかったことから、工事仕様書において当社に連絡すべき事項として反映されなかった。

Ⅲ－⑤　点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。

2．ＲＣＡの起点となる問題点

・当社が、点検リストに抜けがないかを確認していない。
・日本アームが、点検リストに抜けがないかを確認していない。

フェーズⅣ：日本アームが当該部位の登録漏れを発見してから事故に至るまで

1．事実関係の調査結果

・日本アームは検査データを管理し、余寿命等の評価を行ない、点検計画等を作成するための原子力データ処理システム（以下、「ＮＩＰＳ」という）を平成８年度から構築し、改良を進めた。当社は平成１４年度には、２次系配管肉厚管理業務高度化のため、ＮＩＰＳの機能追加や図面整備の委託を行なった。

・日本アームは、前記委託によりスケルトン図と点検管理票の照合が容易となり、データ確認作業を行なっていた中で、美浜３号機第２０回定期検査（平成１５年５月開始）の直前である平成１５年４月に、当該部位の登録漏れを発見した。[Ⅳ－①] 日本アームは、発見した当該部位のスケルトン図を修正したが、登録漏れがあったことを当社には連絡しなかった。

（問題点）

Ⅳ－① 当社は、点検工事請負契約の標準仕様書において、異常時の連絡に関して、「測定の結果、異常な箇所があった場合、また、前回実績と比較し肉厚の変化があった場合は速やかに当社へ連絡する」と規定しているが、点検対象箇所の漏れを発見した際には当社へ報告することは規定していなかった。

・日本アームは、平成１５年５月からの美浜３号機第２０回定期検査での点検の提案も行なわなかったため、当該部位は点検対象箇所とならなかった。また、日本アームが第２０回定期検査終了後に提出した総括報告書には、当該部位に点検すべき箇所であることを示す付番を追加したスケルトン図が添付されていたが、[Ⅳ－②] 当社は、登録漏れの修正について連絡を受けていなかった。

（問題点）

Ⅳ－② 当社は、点検工事請負契約の標準仕様書において、総括報告書の構成（表紙、所見･考察、記録等）および記載内容について規定しているが、点検対象箇所の漏れを記載することは要求していなかった。

・日本アームは、平成１５年１１月に美浜３号機第２１回定期検査（平成１６年８月開始予定）に向けて当該部位を点検すべき箇所に含めた点検対象箇所リストを電子メールにて当社へ提案した。当社は同リストを受領したものの、登録漏れや未点検という記載は当該リストにはなく、特段の情報提供もなかったことから、その提案に基づき点検計画書を策定した。

・平成１６年７月の大飯１号機のその他部位（主給水管）減肉トラブルを受け、若狭支社は、その他部位も含め次回定期検査で追加点検すべき箇所を抽出するよう各発電所に指示した。
美浜発電所は、この指示を受け、点検リストのチェック作業を進める中で、未点検箇所の一部として当該部位を抽出したが、既に次回定期検査において点検する計画であったことを確認した。

2．ＲＣＡの起点となる問題点

・当社の点検範囲の妥当性チェックが不十分。
・日本アームが当社にリスト漏れを連絡していない。
・日本アームが未点検部位の余寿命設定を行なっていない。

フェーズⅤ：美浜３号機以外で点検リストから当該箇所と同一の部位が漏れていたこと等の発見

１．事実関係の調査結果

・日本アームは、高浜３号機の当該同一部位での減肉傾向を受け、平成９年に高浜４号機にて当該同一部位の減肉状況を調査した際に登録漏れを発見し、その部位の点検を提案する際、登録漏れについても当社に伝えた。［Ⅴ－①］当社はその提案を基に、点検計画済みであった至近の高浜４号機第１０回定期検査（平成１０年１月開始）に織り込んで点検を実施したが、他プラントには展開しなかった。

（問題点）

Ⅴ－①　当社内においても、いずれかのプラントに発生した不具合について、１１プラントを対象に検討することができなかった。

・日本アームは、各プラントの定期検査ごとに配管関係のトラブル情報を収集し、報告および調査計画への反映のため、平成８年１２月からＮＵＳＥＣと定期検査ごとに情報提供契約を締結した。それに基づき、平成１０年以降、日本アームは、ＮＵＳＥＣから他社プラントの配管点検結果の概要報告を受けた。その中に、北海道電力泊１号機や日本原子力発電敦賀２号機の当該同一部位の減肉情報も含まれていた。この減肉情報の提供について、日本アームとの間に認識の相違があり、ＮＵＳＥＣは水平展開を意図したものであったとしているのに対し、日本アームは数多くの情報の中の一つであり特別な情報とは受け止めず、当社の全プラントへ水平展開することはなかったとしている。［Ⅴ－②］泊１号機や敦賀２号機の登録漏れを含め、漏れの情報については、ＮＵＳＥＣから日本アームおよび当社には伝えられなかった。

（問題点）

Ⅴ－②　プラント供給者とユーザーの関係としてそうした情報が滞りなく伝わるシステムは必須であったにも拘らず、未整備のままであった。

・日本アームは、美浜１号機での当該同一部位の登録漏れを発見し、平成１３年９月に当社に提出した提案書には反映しているが、［Ⅴ－③］当社に登録漏れを伝えていなかった。

（問題点）

Ⅴ－③　点検対象から漏れていた箇所があったことに対してのリスク認識がなかった。また、些細な異常も伝えることができる協力会社とのコミュニケーションが十分ではなかった。

２．ＲＣＡの起点となる問題点

・当社が、リスト漏れ等の他電力情報を未入手。
・三菱重工業が他電力のリスト漏れを当社に伝えていない。
・当社内で他サイトへ情報発信されていない。
・当社は追加点検箇所があったことを知らない。

直接的な要因、背景となる要因（ＲＣＡ）、要因集約および対策の関係表

ＪＥＡＣ４１１１－２００３	問題点		直接的な要因	主なＲＣＡの起点	背景となる要因（ＲＣＡ）	要因集約	対策
ＪＥＡＣ４１１１－２００３の４．１～６．１は該当要因なし							
６．２　人的資源	－	－	－	Ⅱ・当社が点検リストに抜けがないかを確認していない	・当社は、リスク認識について十分に教育し、力量の確保を図っていなかった。また、２次系配管業務に関する教育資料に過去のトラブル事例をあげてリスク意識を喚起することはしていなかった。	教育（ｄ．－①） ・配管からのリークは発生しても最初は小リークで、大きな破損が直ちに起こり、甚大な被害をもたらすとは考えておらず、サリー事故のような危機に対する意識付けが不十分であった。	・美浜３号機二次系配管破損事故による教訓等の事例周知
				Ⅴ・当社内で他サイトへ情報発信されていない	・当社ならびに協力会社双方が、２次系配管管理システムは確立しているとの思い込みがあり、配管の点検漏れがどのような事態を引き起こすことになるのか、或いはその事態が起こったときにどのような被害が生じるのかについて、先例から学び、考えさせる教育プログラムがなかった。	教育（ｄ．－②） ・サリー事故に対する教訓が必ずしも正確には伝わっていなかった。	・美浜３号機二次系配管破損事故による教訓等の事例周知
				Ⅰ・当社が、管理指針に基づく必要な点検箇所を網羅した点検リストを作成していなかった	・サリー事故の意識付けが不十分で、配管からのリークが発生しても最初は小リークで、大破断が直ちに起こるとは考えていなかった。		
				Ⅲ・日本アームが点検リストに抜けがないかを確認していない	・スケルトン図や点検リストの重要性に対する認識が不足していた。		
	－	－	－	Ⅱ・当社において移管後の円滑な業務運営のための要求事項が不明確	・２次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性の認識が不足していた。	教育（ｄ．－③） ・２次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性について認識不足であった。	・２次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性に関する項目の教育システムへの組み込み
	－	－	－	Ⅳ・日本アームが未点検部位の余寿命設定を行なっていない	・調達管理の重要性に関する教育が不十分であった。	教育（ｄ．－④） ・調達管理の重要性に関する教育が不十分であった。	・調達管理の重要性に関する教育の充実
ＪＥＡＣ４１１１－２００３の６．３～６．４は該当要因なし							
７．１　業務の計画に関する要求事項	Ⅲ－③	・日本アームとの点検工事請負契約において、日本アームからの点検対象箇所の提案（定検計画作成）の位置付けが不明確であるとともに、原子力発電所保修業務要綱や原子力発電所保修業務要領には提案に対する検討を規定していない。	・当社と協力会社、当社内の具体的な業務の役割と責任分担や運用について明確にしていなかった。	－	－	業務の計画・体制（ａ．－①） ・ＰＷＲ管理指針は２次系配管肉厚管理業務の基本ルールを定めたものであり、実際の業務の管理を実施していくための、具体的な業務の役割と責任分担、その運用のルール、検証方法等、業務の計画を綿密に定めていなかった。	・直営化までの間の２次系配管肉厚管理業務の当社による主体的管理の実施 ・当社現場立会い等の強化 ・２次系配管肉厚管理業務の直営化
	Ⅰ－①	・三菱重工業との点検工事請負契約において、三菱重工業からの提案の位置づけが不明確であるとともに、保修業務についての社内標準である原子力発電所保修業務要綱、原子力発電所保修業務要領にはこのような三菱重工業からの提案に対する規定はなかった。	・実際の肉厚管理においては当社と協力会社の点検計画の提案の扱いが明確でなかった。また当社内の役職と担当を含め誰が何をチェックするか等の責任分担や運用について明確でなかった。				
	Ⅰ－④	・当社は、点検リストの元のデータを自ら管理し三菱重工業が修正した箇所等を把握すべきであった。	・当社は、点検リストがＰＷＲ管理指針に照らして抜けがないことの確認を業務プロセスとして定めていなかった。				
	Ⅱ－①	・委託契約にＰＷＲ管理指針に基づいた基本データの整理、提出を明記していないが、当社は、美浜３号機については初回定検（昭和５２年）当時から三菱重工業に配管点検工事を発注していたこと、ＰＷＲ管理指針を三菱重工業と連携して策定していたこと、三菱重工業から登録漏れを発見したことの連絡を受けていないことから、ＰＷＲ管理指針に基づいた点検箇所に漏れのない基本データが三菱重工業から当社へ提出されたものと思い込んでいた。	・当社は、業務委託を実施する場合に委託業務の内容（委託先が行う業務の範囲、委託先との業務の取り合い、検証方法等）を確実に設定していなかった。				
	Ⅲ－①	・当社は、三菱重工業のスケルトン図の変更管理がなされていないとの説明を日本アームから受けた際、データ不備の原因がスケルトン図の変更管理のみに起因するかどうかの調査を行わなかった。	・当社は、日本アームから、三菱重工業の変更管理の不備によるデータ不備が存在しているとする情報提供を受けた際に、日本アームの説明をそのまま受け入れるのではなく、その原因についての調査を日本アームに対して指示していなかった。				
	－		－	Ⅰ・三菱重工業が、管理指針に基づく必要な点検箇所が、点検リストに抜けていないかの確認が不十分	・膨大なデータをチェックするための機械化が不十分であった。	業務の計画・体制（ａ．－②） ・２次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための人的資源が不十分であった。	・２次系配管肉厚管理業務に携わる人員の強化
				Ⅳ・当社の点検範囲の妥当性チェックが不十分	・点検対象箇所が膨大で、社内で全ての業務管理を実施するには人的資源が不足していた。	業務の計画・体制（ａ．－③） ・２次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための機械化が不十分であった。	・ＮＩＰＳの改善および高度化
	Ⅲ－⑤	・点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。	・点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。	－	－	業務の計画・体制（ａ．－④） ・２次系配管肉厚管理の点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。	・点検管理票の定期的なレビューの実施

ＪＥＡＣ４１１１－２００３	問題点	直接的な要因	主なＲＣＡの起点	背景となる要因（ＲＣＡ）	要因集約	対策
ＪＥＡＣ４１１１－２００３の７．２～７．３は該当要因なし						
７．４　調達	Ⅰ－⑤　・当社と三菱重工業の間の美浜３号機第１１回点検工事請負契約において、ＰＷＲ管理指針が初めて適用されることから、ＰＷＲ管理指針に基づいた点検対象部位に登録漏れのない点検計画の策定を要求するべきであったが、ＰＷＲ管理指針の適用については、調達文書の上で要求はしなかった。同契約の標準仕様書では、「前回の調査結果および他プラントの実施状況をふまえ、今回工事対象箇所の検討を実施し、当社と打合せ決定すること」と記載されているが、点検対象箇所の全数把握に関しては、当社と三菱重工業のそれぞれの役割分担を明確にしていなかった。	・当社は、点検リストをＰＷＲ管理指針と設備の現状に照らして抜けのないものであるよう要求仕様を明確にしていなかった。	Ⅱ・三菱重工業が、点検リストに抜けがないかを確認していない Ⅲ・当社が点検リストに抜けがないかを確認していない	・これまでの実績から、配管肉厚管理業務を委託してきた三菱重工業を信頼し、当社の要求事項の詳細を明示しなくてもやってくれているだろうとの思い込みがあった。 ・日本アームを信頼し、当社の要求事項の詳細を明示しなくてもやってくれているだろうとの思い込みがあった。	調達管理（ｂ．－①） ・協力会社を信頼し、詳細を明示しなくてもやってくれているだろうとの思い込みから、ＰＷＲ管理指針や設備の現状に照らして「点検リストの漏れ」がないことの確認、点検リストのダブルチェックや点検対象漏れを発見した場合の当社への報告など、外注先に対する要求仕様が記載されていなかった。 調達管理（ｂ．－②） ・要求事項で記載しきれない、あるいは予想できない異常や不具合を発見したときに、契約先である協力会社とその情報を共有できるプロセスを明確でなかった。	・協力会社および社内の役割分担の明確化 ・点検対象漏れ発見時の報告等調達要求事項の明確化
	Ⅰ－③　・当社は、三菱重工業内のダブルチェック実施など、品質保証上十分なものとなるような要求をしていなかった。	・当社は、三菱重工業内のダブルチェック実施など、品質保証上十分なものとなるような要求をしていなかった。				
	Ⅱ－②　・過去の基本データに抜けがない形で引き継ぐ必要があるにもかかわらず、当社は、業務移管の一環として三菱重工業と締結した業務委託において、ＰＷＲ管理指針に基づく基本データのチェックを求めるといった委託目的、委託業務内容を明示しなかったため、三菱重工業ではスケルトン図の見直し、チェックが行われず、ＰＷＲ管理指針に基づく抜けのない基本データが当社に提供されなかった。	・当社は、三菱重工業に対し、ＰＷＲ管理指針に基づく基本データを提供することを要求していなかった。				
	Ⅱ－③　・当社と三菱重工業とのコミュニケーションが不十分であったため、当社は、三菱重工業が抜けのある基本データを当社へ提供していたこと、および忠実にＰＷＲ管理指針に基づいた業務を行っていなかったことが分からなかった。					
	Ⅲ－②　・当社は、日本アームに対して、データ不備の原因究明のための調査の指示を行っておらず、本委託において、ＰＷＲ管理指針に基づいた点検データ・図面整備を求めていなかった。また、点検対象箇所に漏れがないかという視点で現場調査を要求していなかった。	・当社は、日本アームに対し、ＰＷＲ管理指針に基づいたデータ・図面整備を求めていなかった。また、点検計画漏れの発見といった情報が当社に伝達されるよう要求していなかった。				
	Ⅲ－④　・日本アームからの登録漏れ発見の連絡がなかったことから、工事仕様書において当社に連絡すべき事項として反映されなかった。	・当社は、日本アームに対して、点検対象箇所の漏れを発見した場合、当社に報告することを仕様書で要求していなかった。				
	Ⅳ－①　・当社は、点検工事請負契約の標準仕様書において、異常時の連絡に関して、「測定の結果、異常な箇所があった場合、また、前回実績と比較し肉厚の変化があった場合は速やかに当社へ連絡する」と規定しているが、点検対象箇所の漏れを発見した際には当社へ報告することは規定していなかった。					
	Ⅳ－②　・当社は、点検工事請負契約の標準仕様書において、総括報告書の構成（表紙、所見・考察、記録等）および記載内容について規定しているが、点検対象箇所の漏れを記載することは要求していなかった。					
	Ⅰ－②　・当社は、点検リストのチェックにあたって、三菱重工業の実施体制、業務の実施方法、業務量等を確認し、管理指針に基づき確実に点検リストが作成されているか確認しなかった。	・三菱重工業から提出される工事計画や結果報告がＰＷＲ管理指針に照らして充足したものであることを当社は確認していなかった。	－	－	調達管理（ｂ．－③） ・三菱重工業から提出された工事計画や結果報告にはＰＷＲ管理指針が引用されていたものの、当社としては、点検リストに照らして充足したものであることを確認していなかった。	・検収時に確認すべき内容・方法の明記と周知徹底
	Ⅱ－①　・委託契約にＰＷＲ管理指針に基づいた基本データの整理、提出を明記していないが、当社は、美浜３号機については初回定検（昭和５２年）当時から三菱重工業に配管点検工事を発注していたこと、ＰＷＲ管理指針を三菱重工業と連携して策定していたこと、三菱重工業から登録漏れを発見したことの連絡を受けていないことから、ＰＷＲ管理指針に基づいた点検箇所に漏れのない基本データが三菱重工業から当社へ提出されたものと思い込んでいた。	・当社は、三菱重工業から提出された基本データについては、ＰＷＲ管理指針に基づき、点検箇所に抜けのないことをチェックしていなかった。				
	Ⅱ－③　・当社と三菱重工業とのコミュニケーションが不十分であったため、当社は、三菱重工業が抜けのある基本データを当社へ提供していたこと、および忠実にＰＷＲ管理指針に基づいた業務を行っていなかったことが分からなかった。					

JEAC4111－2003	問題点		直接的な要因	主なRCAの起点	背景となる要因（RCA）	要因集約	対策
JEAC4111－2003の7．5～8．1は該当要因なし							
8．2　監視及び測定		－	－	Ⅰ・三菱重工業が、管理指針に基づく必要な点検箇所が、点検リストに抜けていないかの確認が不十分	・業務の詳細な内容まで遡った監査が行われていなかった	監査（e．－①） ・内部監査（第一者監査）は、社内標準類の整備状況や整合性に力点が置かれ、その社内標準に基づく業務の詳細な実施状況はサンプル的に確認することにとどまっていた。 監査（e．－②） ・協力会社に対する監査（第二者監査）についても、主として品質保証体制の整備状況に関するものとなっていたため、個別業務の実施内容まで踏み込めていなかった。	・個別業務の業務実施内容に沿って詳細に確認する業務プロセスに着目した監査へのシフト
8．3　不適合管理 8．4　データの分析 8．5　改善	Ⅴ－①	・当社内においても、いずれかのプラントに発生した不具合について、１１プラントを対象に検討することができなかった。	・当社内においても、いずれかのプラントに発生した不具合について、１１プラントを対象に検討することができなかった。	Ⅳ・日本アームが当社にリスト漏れを連絡していない	・ソフト上の不適合という概念がなく、点検リスト漏れを不適合として水平展開できなかった。	情報の共有（c．－①） ・不適合の定義が明確ではなく、「点検リストの漏れ」を不適合として水平展開できなかった。	・「点検リストの漏れ」に関する事例の社内標準への反映 ・「点検リストの漏れ」以外の事例の確実な水平展開の実施 ・情報管理専任者の設置による水平展開の確実な実施 ・重要情報がキーパーソンへ直接入るシステムの構築
	Ⅴ－②	・プラント供給者とユーザーの関係としてそうした情報が滞りなく伝わるシステムは必須であったにも拘らず、未整備のままであった。	・当社がプラント供給者である三菱重工業に対して、ＰＷＲプラントに共通の点検・調査において、何らかの異常事項、不具合、トラブル等がいずれかのＰＷＲプラントにおいて発見されたときには、ＰＷＲプラントユーザーである電力事業者やメンテナンスを行っている企業に対してそうした情報を直接速やかに提供する要求を明確に行っておらず、またそうしたシステムを構築・運用していなかった。	Ⅴ・当社がリスト漏れ等の他電力情報を未入手 Ⅴ・三菱重工業が他電力のリスト漏れを伝えていない	・他社不具合情報の内、対外的に公表されるような事象については入手可能であるが、それらは、基本的に設備の不具合が対象であるため、点検リスト漏れのような２次系配管肉厚管理のソフト的な内容で共有すべき情報が入手方法が定まっていなかった。	情報の共有（c．－②） ・事業者間の水平展開ができなかった。	・「点検リストの漏れ」のような事例の国内電力会社間での水平展開の仕組みの改善
						情報の共有（c．－③） ・三菱重工業から当社に対して、ＰＷＲプラントに共通の点検・調査において、異常事項、不具合、トラブル等がいずれかのＰＷＲプラントにおいて発見されたときには、当社に確実に伝わる仕組みがなかった。	・電力・メーカ間の保全情報共有化の仕組みづくり
	Ⅴ－③	・点検対象から漏れていた箇所があったことに対してのリスク認識がなかった。また、些細な異常も伝えることができる協力会社とのコミュニケーションが十分ではなかった。	・当社社員が協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが図れていなかった。	Ⅴ・当社は追加点検箇所があったことを知らない	・当社社員が協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが図れていなかった。	情報の共有（c．－④） ・当社社員と協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが不十分であった。	・水平展開された知見を協力会社と共有する仕組みの構築 ・協力会社とのコミュニケーションの充実 ・現場における作業員とのコミュニケーションの充実