

今後の原子力エネルギー
についての参考意見

2012年9月4日

佐藤 暁

「福島事故」からの教訓	3
<u>原子炉事故の恐怖</u>	3
<u>原子炉事故による惨状</u>	4
<u>事故対応に従事した関係者が体験した恐怖、悲惨さ</u>	5
<u>教訓</u>	6
発電事業についてフィロソフィー	7
エネルギーの使い方に対するフィロソフィー	7
原子力エネルギーについての史観とフィロソフィー	8
原子力発電に期待した夢についての再考	10
<u>枯渇の心配のない長期安定確保の可能なエネルギー</u>	10
<u>安価な電力供給が可能</u>	10
<u>環境を汚さないきれいなエネルギー</u>	10
<u>安全なエネルギー</u>	11
「脱・原子力」+「活・再生エネルギー」の必要性と現実性	12
現在主流の炉型が原理的に抱える問題	13
今後の原子力の選択肢	13
原子力の将来	14
添付-A 「2030年原子力ゼロ」に向けたフェーズアウト・プラン(例)	
添付-B 「安全性が世界最高水準の原子力発電所」の仕様(例)	

「福島事故」からの教訓

原子炉事故の恐怖

- 1975年のラスムッセン・レポートで、20,000 炉年に 1 回程度と予想されていた炉心溶融事故が、1,000 炉年余りの実績しかない我が国で同時に 3 基に発生した。

原子力発電による設備容量、積算運転時間、積算発電量（電力会社別）

電力会社/組織	運転ユニット数		正味定格出力 (MW)	積算運転時間 (年)	積算発電量 (GWh)
	PWR	BWR			
現役ユニット					
北海道電力	3	0	1,966	35.4	170,887
東北電力	0	3	2,090	36.5	204,585
東京電力	0	13	13,564	210.3	1,901,279
中部電力	0	3	3,473	36.3	341,309
北陸電力	0	2	1,613	15.5	83,527
関西電力	11	0	9,284	242.4	1,739,869
中国電力	0	2	1,228	44.6	223,527
四国電力	3	0	1,922	65.1	343,191
九州電力	6	0	5,004	122.1	827,095
日本原電	2	2	2,508	70.6	480,394
小計	25	25	42,652	878.8	6,315,663
廃炉ユニット					
東京電力	0	4	2,719	94.8	540,977
中部電力	0	2	3,473	36.2	203,186
日本原電	GCR(1)		137	22.2	25,030
原子力研究開発機構	ATR(1)		148	15.7	19,671
小計	0	6	6,477	168.0	788,864
合計	25	31		1046.8	7,104,527

- 福島第一 5 号機、福島第二 1~4 号機は、ギリギリの幸運と発電所職員の献身的努力により、薄氷を渡る際どさで原子炉事故を回避したが、福島第一 1~3 号機は、地震・津波による影響が致命的だったことで回避に失敗。東海第二もかなり厳しい状況を経験。
- 震災との複合災害であったことによる相乗効果。即ち、原子炉事故の対応が震災で妨げられ、震災の対応が原子炉事故によって妨げられた。
- 我が国に多いマルチ・ユニット特有の長所(電源融通)と短所(相互的な誘発事象の発生)

が判明。事故防止として長所が活かされるが、一旦事故に至ると深刻な短所に転ずる。

- 運転員の操作のタイミング次第では、更に過酷な事故も起こり得た。例えば福島第一 2 号機において、RCIC 起動の前に津波が襲来していれば、炉心溶融が同 1 号機よりも急速に進展しており、周辺住民の避難が間に合わなかった可能性もあった。
- 原子炉事故における BWR プラントの「五重の壁」(いわゆる「閉じ込める」機能)の脆弱性を実証。一旦、炉心損傷が発生すると連鎖的に次々と突破され、比較的容易に放射性物質が外部の環境に放出されるものであること。

原子炉事故による惨状

- 突然の避難指示で、不十分な所持金と所持品を抱えて避難。交通渋滞と避難先との調整不足により、長時間、長距離の逃避行を強いられた住民も多数。津波によって行方不明になった近親者の安否、放置してしまった家畜、ペットへの思い、残してきた家財の心配。その後、過度の疲労と心痛で発病する人、病気の悪化で死亡する人、自殺する人も発生。
- 実際、事故直後から避難区域内での窃盗が多発。大多数の ATM は破壊されて現金が盗まれ、商店街では、陳列していた商品が窃盗団によって大量に盗み出されている。一般住宅の破壊も至る所で発生し、放火の報告もある。警察の対応は事務的で現場検証さえ行われていない。東京電力は、賠償範囲の対象外と交渉を拒絶。
- 一部の避難先には、高密度の放射性ヨウ素のフォールアウトがあったが、適切な環境測定が行われず、行われても周知されず、遅れて避難指示が発令されるまで長期に亘って留まってしまったため、不要な被曝を放置された。可能な被曝低減対策の方法についても何のアドバイスも与えられていなかった。その後、体内の放射性ヨウ素がほとんど減衰する期間が経過するまでの間、ホールボディカウンターの検査も提供されなかった。
- 広域用の環境測定機器の配備がなかったため、米国エネルギー省が貸与した AMS による測定が行われるまで、原発周辺の放射線環境の把握が遅れた。多くの避難住民が、自分の居場所の安全性について不安を抱きながら信頼できる情報の発信を待っていた。
- 避難指示対象区域外の自主避難者(一時的な避難も含まれる)の数は、福島県内 23 市町村に限定しても 150 万人に達し、賠償額は 2,000 億円に上ると報告されている。
- 2012 年 8 月現在、約 6 万人の福島県民が県外に避難中。就学、就職など将来の不安が払拭されず、避難先の生活環境の違いもあり、十分な安堵感を得ていない。望郷の思いの強い高齢の人々も多い。他方、当初は同情的だった避難先の住民の態度も徐々に変化してきており、転入してきた被災者との心情的な融和もそれほど進んでいない。
- 福島県の人口移動が現在も進行中。(県内での移動、県外への流出。)県の人口減少はこの先も収束せず、今の 196 万人が 2040 年には最悪 123 万人に減少するとの試算もある。地元産業への影響が懸念され、長期的な行政の立案を難しくしている。双葉郡(双葉町、大熊町、楡葉町)には、汚染土壌、焼却灰、その他の汚染(>100,000Bq/kg)廃棄物を集積する「中間貯蔵」施設の設置が提案。容量 1,500~2,800 万 m³、敷地面積 300~500

ヘクタール、貯蔵期間 30 年。大熊町民は、40% が帰らないと意思表示をしている。

- 事故による放射性物質のフォールアウトが、風に乗って国内外の遠方にまで及んだ。その結果、国内においては、観光地、海水浴場への来訪者が激減、農業(米、野菜、果樹、茶)、酪農畜産業への広範な影響、幼稚園、学校の日課(体育の授業、部活動)、給食の食材、恒例行事(プール、運動会、遠足)の変更、健康障害の不安を煽っての悪徳商売(研修会、予防薬、治療薬)の横行、校庭や公園などから発生した汚染土、高濃度に汚染した焼却灰の保管、処理など、次々と問題が噴出。一方、米国環境省は、各州の牧場で生産された牛乳に放射性ヨウ素を検出し結果を発表。その中には、サンフランシスコ近郊で採取した牛乳に、飲料水に対する許容値の 2612% の濃度を検出したとの報告もあった。
- 放射性セシウムによる海産物の汚染。東京電力による 2012 年 8 月 21 日の発表によれば、南相馬市の沖合で採取したアイナメからは、25,800Bq/kg の濃度を検出。(事故後の暫定基準値でさえ 1,000Bq/kg) 海洋汚染は、北太平洋をゆっくり移動中。ハワイを通過するのが 2014 年頃と予想。
- 「このような悲惨さは受け入れられるものではない」との意で、元 NRC 委員長の Jaczko 氏は、被災者への同情も込めながら、Unacceptable と福島事故を評している。後に氏は、ジョージア州に計画されている Vogtle 原子力発電所の増設の認可に一人で「反対」票を投じているが、事故の悲惨さに対する個人的な感情があったのかも知れない。
- 福島事故の報道により、原子炉事故の恐怖、事故処理の技術的、経済的困難、被災住民の苦境が日本国内外に共有され、原子力のイメージが世界的に失墜し、嫌悪感が拡大した。政府の調査結果によれば、「0%案」、「15%案」、「20~25%案」のそれぞれに対する支持率は、87%、1%、8% と、原子力発電に対する明らかな民意離れを示している。
- 「20~25%案」を支持する論拠の一つとして、被曝による急性障害の発症者がいなかったことを挙げる人がいる。しかし、原子炉事故による被災者の傷心と失意、落胆は、そのことに拘わらず深い。動産、不動産の損害の他、家族離散、親しい隣人や友人との疎遠、活動舞台だったコミュニティの消滅など、賠償不可能なものが少なくない。

事故対応に従事した関係者が体験した恐怖、悲惨さ

- 福島第一 4 号機タービン建屋への津波の襲来により、地震による影響調査を行っていた東京電力社員 2 名(21 歳、24 歳)が被災、死亡。その後の 1 号機と 3 号機の水素爆発によつては、それぞれ 5 名と 7 名が負傷。援助に参加した自衛隊員らの中にも負傷者発生。
- 津波の襲来直後、敷地内の水がまだ完全に引かないうちから復旧活動を開始。津波でマンホール・カバーが吹き飛ばされ、ところどころに見えない開口部がある中、動員された多くの作業員がケーブル布設作業を行った。
- 本来、事故時でも最も安全な拠点であるべき中央制御室の放射線レベルが 10mSv/h を超えた。米国の核テロ対応マニュアルにも 100mSv/h を超える環境には無暗に飛び出すなど述べられているが、「ベント操作」に選出されたメンバーは、一錠のヨード剤を飲んでから、

轟音が響く暗闇の中、高温の蒸気が立ち込める 300mSv/h の環境に突入していった。

- 事故時の許容被曝線量が、それまでの 100mSv から急遽 250mSv に引き上げ。しかし、東京電力社員 6 名は結局 250mSv を超え、そのうち 2 名は 600mSv を超過。674mSv(うち内部被曝が 590mSv)の A 氏と 643mSv(うち内部被曝が 540mSv)の B 氏。以前の許容線量だった 100mSv を超えた従事者は合計 167 名(うち、東京電力社員が 147 名)。
- 2012 年 7 月になって、当時の緊急作業に従事していた一業者の作業員複数人が、線量計を鉛板で覆って使用するよう指示されていた事実が判明。
- ある東京電力幹部社員の場合：震災直後から着の身着のまま 2 週間以上事故対応に没頭し、吉田所長(当時)を支えた。その間、家族の安否確認も出来ず、少ない水と食料と仮眠で耐久。「玉砕」を受け入れる積りだったと述懐。自身の家も立ち入り禁止区域内のため帰宅不可。定年退職直前の出来事だった。

教訓

- 原子炉建屋の水素爆発は、BWR プラントの専門家の想像力の範囲を超えて発生した事象。しかし、一旦起こってから振り返れば、むしろなぜ考え至らなかったのかと人智の甘さと限界を痛感させられた。
- 設置を前提として都合の良い設計基準を設定しても、自然がそれに同情して手加減してくれるわけではない。冷徹な設計基準の設定が必要だった。
- 解決法がない事象を「想定外」と勝手に決めつけても、原子炉事故はそのような都合を受け入れてくれず、無慈悲に発生、進展させる。
- 使用済燃料プールの防護が薄弱であること。特に BWR プラントにおいては、原子炉建屋の最上階に設置されており、テロ攻撃の標的になり易いこと。米国では「9・11 の教訓」としてその対応(B.5.b 項)が運用されていたが、我が国の関係者はその情報を黙殺。
- 米国のテロ対策(B.5.b 項)を実践していれば、4号機の使用済燃料プールを巡って世界中を不安に巻き込むことはなかった。NRC の「50 マイル圏避難」や「首都圏の危機」が不要な心配だったことが、使用済燃料プールの状況が明らかになって漸く分かった。但し、使用済燃料プールのリスクは、プラントの運転状態に関わりなく恒常的に潜在。
- 自然災害による重要機器へのダメージは人為的に再現可能であるため、潜在的テロリストへの重要な戦術的ヒントを提供した。EU 諸国では、早速セキュリティ強化として反映。
- 原子力災害とは何か？ 被曝による急性障害や死亡、物的な損失などは確かに災害の規模を表す指標となる。しかし、立入禁止区域に指定され雑草に囲まれた家々、窓ガラスやシャッターの破られたコンビニ、銀行、商店街、荒れた墓地、野生化した牛の群れ、汚染土の積まれた校庭、離散した家庭、異郷の地でひっそりと営まれる葬儀、同じお国訛りで喋ってくれない隣人に囲まれた孤独な生活等々、有象無象の被害が、被災した当事者、彼らと縁故のある人々、多くの国民にとっての重い疼痛となっている。

発電事業についてフィロソフィー

- 電力供給は公益事業だったはず。社会が忌避し不安がる技術を強引に押し付ける姿勢は公益とは矛盾。社会の判断を仰ぎながら、むしろその求める技術の導入に対してこそ積極的に傾注するべきで、常に社会の望む方向とのアライメントに心掛け、社会と共に Win-Win を目指すべき。社会の不満を以っての公益事業者の満足はあり得ないはず。
- 社会の総体的な幸福のためには少数の犠牲を可とするベンサム哲学(最大多数の最大幸福)は、多様な選択肢がある電力産業に適用されるべきではない。たとえ 100 人中 90 人が幸福を得られそうなものであっても 10 人を著しく不幸にする恐れのあるものに対しては、100 人中ほぼ 100 人がそれを望んではいない。
- 終戦直後に黒四ダムの建設に取り組んだ関西電力は、公益事業者としての模範であった。自社の犠牲を賭して社会に貢献するための電力供給に心血を注いでくれた。その後継者である我が国の電力事業者の経営者に、社会に犠牲を押し付けることに良心の呵責がないはずはない。初志に戻る勇気を期待したい。
- 電力会社の社員には、社会に貢献していることへの誇りを支えに精励して欲しい。自分の勤務する会社が、社会に不安や危険を押し付けているのではないかとの疑いを抱きながら、或いはそのような批判に晒されながら卑屈に働いて欲しくはない。東京電力の社員の子供がいじめられるとの情報は国民にとっての悲しみでもある。
- 電気は重要なライフライン。我が国の停電発生率の低さは世界的に顕著。最近の天然ガスの値上がりを考慮すれば、少なくとも欧州諸国に比べて電気料金の値上げを堪えている努力も見られる。電力会社は消費者に喜ばれながらそれを使って欲しいはずであり、消費者も有り難くそれを使いたいはず。本来、感謝の媒体であるべき電気が嫌悪の媒体になってしまった原因が原子力にあるならば、その固執にどれ程の価値があるのか。

エネルギーの使い方に対するフィロソフィー

- 高級な毛皮を持つことが羨望から軽蔑に変わったように、エネルギーの大量消費が羨望される時代は終わりつつある。エネルギーの放蕩は軽蔑され、浪費を抑えることに気を配ることが文化人としてのマナーと見做されてきた。プライベート機よりも民間機で出張し、モーターボートよりも登山を趣味とする会社経営者の方が尊敬される時代になりつつある。
- 節電は、貧窮によって迫られるネガティブなものではなく、先進的な創意工夫による前向きなオプティマイゼーションである。地球と環境、未来に対する身近な善行。多くの家庭が、苦痛としてではなく、喜びと楽しみ感覚をもって実行している。
- 野菜の栽培が家庭菜園で楽しめるようになったように、「電気作り」も家庭レベルや地域レベルに浸透しつつある。やがては軽視出来ない節電効果を発揮するようになるはず。

原子力エネルギーについての史観とフィロソフィー

- 原子力発電が、大量破壊兵器と同じ起源のエネルギーを利用するものであることは事実である。しかし、だからと言って、原子力発電までが野蛮で非人道的な技術というわけではない。元々は社会への貢献に繋げたいとの関係者の純粋な熱意もあった。しかし、特殊性を利用した競争のない高利ビジネスでの利益を求めて参入した企業が中心となり、閉鎖的なネットワーク(通称「原子カムラ」)が形成されていった。
- アイゼンハワー大統領が提唱した“Atom for Peace”が元々誤った方向性だったわけではなく、危険性に対して過度に楽観的だったわけでもなかった。しかし、我が国の場合には、余りにも多くの未知と無知を抱えていながら、事故さえ起きなければ取組む必要がないことと棚上げし、原子力安全への注力と実行を怠り続けた。
- 当時のブランド「メイド・イン・ジャパン」(高い製造技術の品質)が、安全の支柱になると勘違いし、根本的努力が停滞。耐震性などの設計基準の見直しやバックフィットの見直しが進まず、福島事故の禍根となった。現在も残存する禍根の排除の努力は緩慢なまま。
- 1970年代の石油危機は、将来のエネルギー資源の確保を不安にし、原子力エネルギーへの転換はその突破口と期待された。初期のうちから再処理、高速増殖炉を組み込んだ核燃料サイクルを「準国産エネルギー」と位置付け、壮大な将来像を描いた。しかし実力が伴わず、又は専門家のリソースが希釈され、膨大な電力料金を介した資金と国費の投入にも拘わらず期待通りに進展せず、停滞と遅延が続いた。
- 歴史の教訓-1: 帝国の盛衰、「二兎を追うもの一兎をも得ず」

旧日本帝国	「原子カムラ」
太平洋上の前線防衛のため、更にその先に前線を設定して拡大を続けていったが次第に防衛困難な広大さとなり、維持のために疲弊。	原発だけでなく、濃縮、再処理、高速増殖炉、MOX燃料、廃棄物処理などの分野に拡大を試みるも、全て困難に直面。次第に管理も粗雑になる。細部に目が行き届かなくなり、隠蔽、捏造に逃避。

拡大路線を修正し(コンパクト化)、中核部分の十分な成熟化に傾注すべきであったが、一旦着手した計画の撤回は利権の構図を変えるため、改められることがなかった。

- 高レベル放射性廃棄物の最終処理の方途が未定だったが、将来解決可能と見切り発車。当初は海洋投棄まで罷り通っていた。(1993年の国際条約で禁止。)埋設処理施設の確保は、用地の目途のある国であっても20年プロジェクト。取り敢えず進展のアピールのため、幌延、美濃で実験を実施中であるが、適地のない我が国ではかなり悲観的。
- 原子力産業育成のため、国策によって諸外国には例のない多くの特別待遇が与えられ、規制が未熟なままインフラ拡大が推進。当初、まだ原子炉安全工学の識者が少なく、安全性を強弁する推進勢力に流された。積年の甘やかashiにより、国際的にも安全文化、経済性、安全性が後進的。規制コミュニティにおける国際交流が消極的で、ガラパゴス化。
- 発電は、磁界とコイルの相対的な運動によって簡単に起こる現象。しかしその動力として

原子力を持ち込んだことにより、工学分野だけでなく、社会科学の分野を巻き込み複雑化させ、今や発電のための原子力ではなく原子力のための発電、地域振興のための原子力発電ではなく、原子力振興のための地域と逆転した感がある。

- 歴史の教訓-2: 目的と手段の逆転現象

	初期の目的	⇒	逆転現象	関連事件
関東軍	大陸に建設した日本のインフラ防衛と戦争勃発に備えて派兵。	⇒	「増兵されたからには戦争をしなければならない。」との気運で開戦を煽動。	日中戦争
米国	大戦に備えて軍産複合体を充実化。	⇒	軍産複合体を存続させるためには戦争が必要。	ケネディ大統領暗殺
日本	原発誘致のための地元自治体への優遇制度。	⇒	「箱物」乱立、負担増。地元経済の原発依存。⇒現状維持のための支持。増設要望。	「3・11」後の原発論争
	原子力発電の円滑な運営のためのインフラ整備。	⇒	肥大化した原子力インフラを支えるための原発再稼働。	

継承者の責任も重大。時代の変遷を踏まえた軌道修正、方針転換も必要。

原子力発電に期待した夢についての再考

枯渇の心配のない長期安定確保の可能なエネルギー:

- しかしそのためには、再処理と高速増殖炉がセットとなっており、より実績の乏しい、危険な領域へと進まなければならない。
- 高品位のウラン資源の埋蔵量は限られており、今後は、低品位資源の開発に向かい、コスト高になる。中国における新設ラッシュにより需要が急増し、値上りが予想。(1基の新設プラントは、初装荷用として運転プラントの3~4倍の需要。)
- 他方、新たな化石燃料資源(シェールガス、タイトガス、オイルサンド)が世界の各地で発見され、かつての中東の絶対的影響力から脱出の傾向。リサイクル・エネルギーも競争力アップし、急速にマーケットを拡大中。

安価な電力供給が可能:

- しかし現実には、予定外のトラブルで設備利用率が低迷し、支出が増大。
- 原子力の経済的な優位性には実績的な裏付けがなく、むしろ日本では劣等性を示唆。予想ベースでの優位性は、多くの優遇制度や融資制度、計算上の仮定に負う。本来は、補助金、損害賠償保険、規制庁の運営費の大部分に対しても負担すべきところ。
- 定格出力で運転される原子力発電に対しては、その緊急停止に備えて他の発電をバックアップ用に低出力で運転させていなければならない。低効率を強いられ割高になる他の発電コストの差額も、本来は原子力発電の負担として評価するのが公平。
- 実態は、「安いから続けたい」のではなく、「止めるのが高くてつき過ぎるから止められない」という目先の経済的ジレンマ。9 社会計の原子力関係の固定資産(2010年)は、合計 7兆6,700億円。内訳は、原子力発電設備 2.78兆円、核燃料 2.53兆円(装荷中 0.45兆円、加工中 2.36兆円)、使用済燃料再処理積立 2.36兆円。これらを休眠化させないための手段として原子力発電が必要になってしまっている。
- 燃料費だけを指標とした議論や広報が、世論をミスリードしている。LNG 輸入への支出の増大は、増量ではなくマーケット価格の上昇が主因。貿易赤字の原因は、原発停止による LNG 輸入の増大のためよりも円高の影響が遥かに大きい。

環境を汚さないきれいなエネルギー:

- 温暖化ガス(CO₂)排出に関しては正しい。但し、フロントエンド(採掘、精錬、転換、濃縮、燃料成型)、プラント建設、バックエンドの諸段階においては、かなりのエネルギー消費を伴う。例えば、フランスの濃縮工場(Eurodif)は、トリカスタン原子力発電所(90万kWのユニット4基)の発電量の2/3を消費するほど。国の濃縮工場(USEC)では、石炭火力主体の電力会社から電気を購入している。即ち原子力発電は、単にそれ自体の稼働のためにも大量の電力を消費し、その源泉が石炭である場合もある。その意味で、原子力発電も間

接的にはかなりの CO2 を排出していることになる。

- 再処理においても、上記濃縮と同じような問題が予想される。
- フロントエンドの汚染問題は重大。ウラン鉱石の「出洩らし」(ミルテイル)の量は、発電プラント用ウランの分 16 億 m³、軍用 2.5 億 m³ に上り、ピラミッド 800 個分に相当。ラドンガスの発生、ウラン、ラジウム、ポロニウムなどの放射性元素が地下水に溶出し、深刻な環境汚染を起こしており、未対応の産出地も多数ある。
- 原子炉事故による汚染拡大の規模と影響は、福島事故によって実証。
- 冷戦の「負の遺産」(米国)は、35 州に点在する 110 ヶ所の施設に及び、8,000km² の汚染した敷地の対応(除染)には、60 年間の工程と 3,000 億ドルを要すると試算。
- 使用済燃料、高レベル放射性廃棄物の処理問題は、ほとんどの国々で未解決。

安全なエネルギー:

- 確率論的評価では正しい。ダムが決壊、炭鉱の落盤、ガス爆発、ボイラー爆発、パイプライン爆発、排気ガス(オゾン、粉塵、重金属)による人命喪失と健康被害は原子炉事故による急性障害を遥かに圧倒する。
- 但し原子炉事故の特徴は、重篤な急性障害を伴う甚大な人身被害の発生の可能性も排除は出来ないが、それよりも現実的なのが、福島事故によって実証された広大な汚染地帯の発生に伴う大規模な強制移転、地域社会と産業の崩壊、生活環境の急変による当事者のストレス性障害、晩発性障害への不安、全国レベルでの不安拡大、復旧活動と賠償問題の長期化による財政負担などで、国家のレベルでも手に負えない許容を超えた影響をもたらすものであること。
- 想定していなかった新しいリスクが、商用運転開始後、続々と発生した。我が国では未処理のリスクも残留したまま。(火災防護、サイバーテロ、航空機テロなど。)
- 有事のリスクが巨大。戦争、テロの絶好のターゲット(当然、同時多発)となり得るため、国防上重大なハンデとなる。米、露、英、仏、中(核保有国)は、防衛のための十分な戦闘力を保有するが、我が国の場合、実質的に「裸」の状態。
- 現在世界で運転中の炉型(第 2 世代、第 3 世代)、建設予定の最新炉型(第 3+世代)では、上述のリスクとハンデを克服することが原理的に不可能である。

「脱・原子力」+「活・再生エネルギー」の必要性和現実性

- 「脱原子力」は、現に今夏、実質的に達成し証明済み。問題はそれを持続させることの必要性和現実性についての議論。
- 「世界最高水準の安全」(野田首相の宣言)は、ほぼ全土が地震発生地帯に属する我が国においては、主力の炉型が「第2世代」である現状、達成不可能であり、「第3世代」、「第3+世代」への移行を以ってしても達成し得ない空虚な標榜。

世代	炉型	採用国(現役)
第1世代	マグノックス炉	英国
第2世代	BWR、PWR CANDU 他	米、仏、露、中、加、独 日、韓、その他
第3世代	ABWR	日
第3+世代	AP1000、ESBWR、EPR	米、仏、中、フィ

- 直近の問題は、電力供給の問題でも、電気料金の急騰の問題でもなく、原子力インフラ(固定資産価値 7 兆 6,700 億円)の休眠化を決断できるか否かの問題。「サドウンデス」はショックが過大であり、以下の適応のための移行期を設けた「フェーズアウト」が適当。
 - 再生エネルギー導入、普及の活性化。
 - 原子力産業界(電力事業者、プラント・燃料メーカー、メンテナンス企業など)のリソースの再編成。原発従事者の雇用の維持。
 - 原発依存自治体の産業構造の再編成。
- 長期的に最も深刻な問題は、電気、エネルギー供給の窮乏化ではなく、グローバルエコロジーの危機。温暖化、気候の変動、氷床の融解、海面上昇、海流の変化による人間を含む全ての生態系へのインパクトは、有史以来のあらゆる自然災害、原子炉事故を遥かに凌ぐ規模。
 - 大気中の CO2 濃度が 450ppm を超えた場合にその危機への移行が不可逆的に進行すると言われ、現在の傾向を外挿した場合、2039 年に到達。
 - 我が国の再生エネルギーへの移行の選択は、それ自体グローバルエコロジーへの影響度として軽微であるが、国際的アピールとしては重要な意味を持つはず。
- 「脱・化石燃料」、「活・再生エネルギー」は、あらゆる意味で理想的であり正しい針路。原子力は、グローバルエコロジーのみの視点からは中間的であり、現在主流の炉型が原理的に抱える問題が解決される望みがある限り、長期的な将来の選択肢としてまで完全に排除されるべきものではない。
- 現在主流の炉型の原子力発電技術が、事故発生時の社会と国家への影響という点では甚だしく、グローバルエコロジーの視点からも幾分、再生エネルギーに劣るものであることは疑いない。直近は、「活・再生エネルギー」の進捗に合わせて「脱・原発」を進めるも、そ

のまま「脱・化石燃料」へと繋いでいかなければならない。これは、実はドイツ型路線。

現在主流の炉型が原理的に抱える問題

- ① 残留熱による燃料の溶融に伴う大量の核分裂生成物の放散(原子炉事故)
- ② 超長期的に持続する放射能毒性(使用済燃料、高レベル放射性廃棄物の処理)
 - 要は、現在主流の炉型では、故障やヒューマンエラー、地震などの自然災害、あるいはテロ攻撃などによって原子炉事故が起こってしまうことを防ぎきれないこと、発生する使用済燃料が際限なく蓄積されてしまうことが問題である。
 - 原子炉事故に対して、例えば「フィルタード・ベントを付ければ放出される放射エネルギーは 100分の 1 以下に低減出来る」と言っても、「その流路が地震で破断してしまうか、テロリストに爆破されてしまっていたら」と反論される。使用済燃料の処理に対して、例えば「地下 500m に埋設処理する」と言っても、「風雨による浸食とアイソスタシー理論による浮上によって 10 万年後には地上に剥き出しになってしまう」と指摘されてしまう。
 - 結局、どのような手段によろうとも、残留熱によって溶融することなく、核分裂生成物を外部に放散させない、使用済燃料や放射性廃棄物の放射能毒性が比較的短期間で減衰するような核燃料を使った原子炉が出現しない限り、原理的な問題は解決できない。これを無理難題と諦めてしまい、現有技術から脱しない限り、原子炉は危険とセットの発電技術のまま進化しない。多くの人々は、これが原子力を受け入れる場合のやむを得ない交換条件だと思っているかもしれないが、実際にはそうとも限らない。この一縷の望みへの挑戦を、将来の原子力技術者のための崇高なインセンティブとする。

今後の原子力の選択肢

- 今後の原子力に対しては、以下のパラダイムの選択肢がある。
 - 原子力発電事業に対し、国策として介入を続けるのか否か。
 - 既設炉に対しては、フェーズアウトか非フェーズアウトか。(非フェーズアウトの選択肢において、維持する原発比率が 15%か 20~25%かは、国民が負わされるリスクとして大差がない。)
- 原子力発電事業に対する国策は、今の諸問題の根源であり助長要因だった。既設炉に対するフェーズアウトを最後の介入として退き、非フェーズアウトを選択する場合におけるその後の盛衰は、米国並みに市場経済に委ねる。
- 既設炉にフェーズアウトを選ぶか非フェーズアウトを選ぶかに対し、明確な差別を適用。
 - フェーズアウトは、せいぜい向こう 300 炉年程度に亘る「リスク脱却のプロセス」であるが、そのような過渡期のリスク負担は、国も相応に担うべき。(福島事故が、約 1,000 炉年に達したところで発生したことを顧慮するならば、決して油断は出来ない。しかし、現状の安全レベルをある程度引き上げ、安全性のランキングの低いものから段階的に停止していくならば、2030 年までの 300 炉年を無事に乗り切れるはず。)(添付-A)
 - フェーズアウトの期間、無事に原子炉の運転を全うさせる原子力関係者は、社会に対す

る敵対者としてではなく貢献者として敬意と励ましを受けるべき。

- ▶ 非フェーズアウトは、基本的に現状維持であるため、事業者が責任を負う。これまでの「国策」の下での過保護な恩恵は排除し、欧米並みの（本来の）厳しい規制環境と市場で競争していかなければならない。
- ▶ 原子炉事故を起こさせないためにベストを尽くすのは当然であるが、今の「第 2 世代の原子炉」の運転を継続する限り、原子炉事故の可能性を排除することは出来ない。従って、事故が起こった場合のことを考えないのは悪質な怠慢であり、特に非フェーズアウトにおいて事業者は、そのリスクを代々引き継いでいく重大な覚悟をする必要がある。
- ▶ 非フェーズアウトにおいては、様々な分野における規制強化に対応し、規制庁の役割がフェーズアウトの場合よりも重要。より高度な規制活動を行うための人材確保、教育・研修制度、R&D 部門の設置などが必要。規制庁の活動に対する監視も必要。

原子力の将来

- 本来忌避されるべき対象は、原子力でも原子力発電技術でもなく、原子炉事故だけのはずであるが、現実には三位一体化し、原子力が全て嫌悪の対象となりがち。今後の学術と技術の発展だけでなく、単なる技術継承さえも困難になりつつある。
- 既存の炉型は淘汰され、進化されなければならない。世論の冷却を待っての再開はあり得るべきではない。
- 他方、現在主流の炉型が原理的に抱える問題は、将来解決出来る可能性があり、今その機会を永久に断つべきではない。仮にそのような炉型が開発され、正式な安全審査を経て、「世界最高水準の原子力発電所」として認定された場合（添付-B）には歓迎されるべきであり、我が国としてもそのような国際的な技術貢献を果たす機会を逸するべきではない。そのようなレベルでの国策であるならば認められてよい。
- 拡大し過ぎた原子力インフラを再整理し、フェーズアウトにしろ、非フェーズアウトにしろ、まずは原子力発電の安全一本に集中すべき。再処理と高速増殖炉、MOX 燃料は当面凍結。認定された「世界最高水準の原子力発電所」は、誇りをもって世界に輸出することが出来、そのような営業活動にも大いに注力すべき。しかし、それ以外であれば、プラント輸出は慎むべき。機器レベルの製造、輸出は、炉型に拘わらず可。
- フェーズアウトしたプラントは、放射線レベルを低減させるため、10 年前後の期間を経てから廃炉のための解体を開始する。発生する瓦礫や低レベル放射性廃棄物は敷地内に保管。その後、敷地を再整備し、最適の再生エネルギー・プラントとして生まれ変わる。
- 運転中のプラントやフェーズアウトしたプラントからの使用済燃料は、将来リサイクル燃料として「資源」になる可能性がある。どのみち国内に適地のない埋設処理は断念し、取り敢えず安全な中間貯蔵を行う。プール内保管は、長期的な安全性の点で乾式貯蔵よりも劣るため、最終的には全てを乾式貯蔵に切り替える。

フェーズアウトの採否別 責任分担、規制要件などの差別化(1/2)

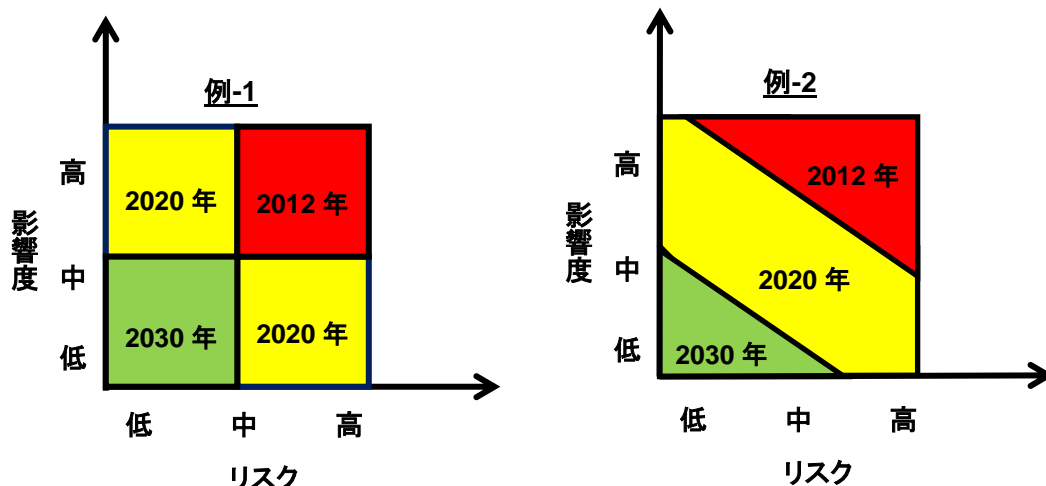
項目	フェーズアウト・パラダイム	非フェーズアウト・パラダイム
電源三法による立地自治体への支援	継続	廃止(但し、事業者が継承する場合は随意。)
原子炉事故に対する損害賠償制度	国が責任	事業者が負担(保険+共済制度) 新設プラント: <ul style="list-style-type: none"> • CDF=0 プラントに対しては不要。 • LERF=0 プラントに対しては必要。賠償能力は、最新の事故解析(SOARCA)をベースに決定。
規制庁の体制と活動	国が 100% 負担 <ul style="list-style-type: none"> • 知見の伝承、蓄積の可能な組織 • 廃炉の審査 	国が 10%、事業者が 90% の分担(米、英の制度を参考) <ul style="list-style-type: none"> • 安全技術分野の R&D • 常駐検査官の地位と役割をアップ
運転プラントに対する規制要件の強化 <ul style="list-style-type: none"> • 設計基準の設定 • 地震対策 • 津波への対策 • その他の外部要因リスク 	⊕(強化) <ul style="list-style-type: none"> • 現行の決定論を踏襲、整備。(ストレス・テストの二次評価免除) • 要(バックフィット) • 要(但し、防波堤には限定せず。) • 検査結果に応じて改善。 	⊕⊕⊕(大幅強化) <ul style="list-style-type: none"> • 決定論に加え、確率論的ハザード解析を導入。(ストレス・テストの二次評価が必須) • 要(バックフィット) • 要(防波堤+建屋内の浸水対策) • リスク評価(IPEEE)により全容を把握し、応需改善。
原子力防災計画の強化	⊕(強化) <ul style="list-style-type: none"> • 自然災害に誘発された SBO(全ての事故対策設備が機能喪失)を想定。 • 現行の要綱を踏襲。 • 立地自治体の他、周辺自治体においても防災訓練を実施する。 	⊕⊕⊕(大幅強化) <ul style="list-style-type: none"> • 自然災害に誘発された SBO(全ての事故対策設備が機能喪失)を想定。 • 危機管理庁の常設(運営費は、事業者も分担) • オフサイトセンターの機能向上 • AMS などのモニタリング設備の強化

フェーズアウトの採否別 責任分担、規制要件などの差別化(2/2)

項目	フェーズアウト・パラダイム	非フェーズアウト・パラダイム
セキュリティの強化	<p>⊕(強化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 周辺防護区域の耐テロ性強化(機器の識別、施錠管理、監視設備など) サイバーテロ対策の強化。 	<p>⊕⊕⊕(大幅強化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計脅威を明確化 自衛能力強化のための法整備 航空機テロ、サイバーテロ対策を包含 自衛隊との共同演習
<p>過酷事故対策の強化</p> <ul style="list-style-type: none"> 事故進展解析ツールの整備 B.5.b、FLEX の採用と訓練 SBO 電源の設置 水源の追加、容量アップ 免震重要棟の設置 フィルタード・ベントの設置 	<p>⊕⊕(強化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 要 要 要 不要 要 不要 	<p>⊕⊕⊕(大幅強化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 要 要(高圧注水能力も含む) 要(空冷式ディーゼル、又はガスタービン発電機) 要 要 要
<p>新設プラントの技術基準</p> <p>「世界最高水準の安全性」を具現化できる炉型であること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 「第2世代」、「第3世代」、「第3+世代」の炉型は、この基準に満たない。 原子炉建屋は免震構造。安全設備はフルパッシブ設計で、仮にプラント職員の総員退避の事態でも安全性が確保されること。いかなる場合も周辺住民の避難は不要。 <u>準絶対安全型原子炉</u>: 特定の大規模な自然災害や破壊工作によらない限り、原理的に炉心損傷が起り得ない。(CDF=0 プラント) 又は、 <u>リスク制限型原子炉</u>: 炉心損傷は起り得るが、特定の大規模な自然災害や破壊工作によらない限り、原理的に放射性物質の格納容器からの漏洩が起り得ない。(LERF=0 プラント) 使用済燃料にアクチノイド元素を生成しないこと。(使用済燃料が人工の建造物で保管可能。) 	

「2030年原子力発電ゼロ」に向けたフェーズアウト・プラン(例)

- 一定の基準に従ったランキングが必要。PIRT(Phenomena Identification and Ranking Table)と呼ばれる方法を応用し、事故の発生リスクと事故が発生した場合の影響度に応じたランキングを評価し、例えば、①今後の再起動を断念するユニット、②2020年までに停止するユニット、③2030年までに停止するユニットの三分類を行う。(下図)



- リスクの要素としては、大規模な地震、津波、強風(台風、竜巻)などの襲来を受ける頻度(ハザード)、プラント設計の耐久性能(安全系の多重性、多様性、物理的独立性など)を考慮。この場合のリスクとは、炉心損傷に対してではなく、その後の格納容器破損や使用済燃料プールの損傷によって、大量の放射性物質が周辺環境に放出される事象が発生する頻度に対して注目するものとする。
 - 炉型別の優劣としては、使用済燃料プールが原子炉建屋最上階にあること、原子炉格納容器のサイズが小さいこと、燃料集合体のジルカロイ使用量が多いことを理由に、一般的には BWR が PWR に対して高リスクであると見做す。
 - BWR プラントにおいては、Mark-I 型格納容器を有するユニット、Mark-II 型格納容器を有するユニット、ABWR の順位で安全性が向上しているものと見做す。
- 影響度の要素としては、近隣の人口分布、重要インフラ・機能・資産(首都圏、都道府県庁、新幹線、幹線道路、国際空港、港湾、工業地帯、国防上の拠点、農地、飲料水源、重要文化財など)、避難計画、事業者の対応能力、損害賠償規模を考慮。
- 影響度が大きいということは、それだけ潜在的なテロリストにとって攻撃目標としての価値が高いことを意味し、テロ攻撃や有事におけるリスクが高いことを考慮する。
- リスクと影響度をそれぞれ 1~10 の 10 段階で評価し、それらを乗じた値(1~100)によってランキングを評価し、個々のユニットの位置付け(緑、黄、赤)を判定する。

- 但し、最終的なフェーズアウト・プランの決定においては、以上の PIRT を応用したランキングによる他に、以下の要素も考慮する。
- 多ユニット発電所、近接発電所に対しては、以下の効果があることを考慮し、リスクと影響度を割増しする。又、この理由により、いかなる半径 20km 圏内においても、運転ユニットを 5 基以上は存在させないこと。(柏崎刈羽、若狭湾岸の原子力発電所)
 - 「3・11」がその例となったように、一つの事象によって、複数のユニット、又は発電所が影響を受ける場合があり、災害規模をより増大、復旧活動をより困難にさせ、且つ、発電設備容量の喪失規模も大きくなること。
 - 福島第一がその例となったように、ユニット 1 基の事故が、隣接ユニットの事故を誘発する場合があること。
 - 福島第一がその例となったように、同一発電所内に複数の炉型が含まれる場合には、状況把握や復旧手順の差異によって混乱が起こり易い。
 - 事故の誘発までに至らない場合でも、建屋内部への汚染の流入により、その後の運転、将来の廃炉がより困難で大幅なコスト高になること。
- 「3・11」によって既に重大な損傷を受け、復旧、再稼働までにかかなりの時間と追加設備投資が必要となり、余寿命による回収が困難なユニットは、再稼働を目指さないこと。福島第一 5、6 号機、福島第二 1~4 号機。
- 「3・11」の教訓として実施しなければならない設備改善(耐震バックフィット、耐津波)のための追加投資の負担が過大であるユニットは、再稼働を目指さないこと。
- 事業者各自の諸事情により、自主的に撤退したいとの経営判断をした場合には、その意思を尊重する。
- 「3・11」前に 93.6% までの工事進捗があった島根 3 号機に対しては、未完成のまま解体に向かわせることの損失が過大となるため、これを完成させ、運転させる機会を与える。大間に対しては、工事が初期段階であるため、現時点で打ち切る。
- PIRT を応用した評価は、事業者、規制者の双方の共同作業によって実施し、その他、事業者間での人材の融通調整、燃料調達計画、使用済燃料の中間貯蔵計画、地元経済への影響緩和、代替電源確保の計画などを総合的に考慮して最善案を決定する。
- 次表は、そのような詳細評価を略し、上述の要素の一部のみを考慮して作成したものであり参考用。代替電源としては、再生エネルギーの導入に注力するものとするが、イタリアが 2011 年だけで 9300MW の太陽光発電を創出したように、可能性は十分にあるものと見込まれる。

「2030年原子力発電ゼロ」に向けたフェーズアウト・プラン例 (1/2)

ユニット名	炉型	商用運転開始	MW	停止時期		
				2012年	2020年	2030年
北海道電力						
泊1号機	PWR	1988-12-06	550			
泊2号機	PWR	1990-08-27	550			
泊3号機	PWR	2009-03-20	866			
東北電力						
東通1号機	BWR	2005-03-09	1067			
女川1号機	BWR	1983-11-18	498			
女川2号機	BWR	1994-12-23	796			
女川3号機	BWR	2001-05-30	796			
東京電力						
福島第一5号機	BWR	1977-09-22	760			
福島第一6号機	BWR	1979-05-04	1067			
福島第二1号機	BWR	1981-07-31	1067			
福島第二2号機	BWR	1983-06-23	1067			
福島第二3号機	BWR	1984-12-14	1067			
福島第二4号機	BWR	1986-12-17	1067			
柏崎刈羽1号機	BWR	1985-02-13	1067			
柏崎刈羽2号機	BWR	1990-02-08	1067			
柏崎刈羽3号機	BWR	1992-12-08	1067			
柏崎刈羽4号機	BWR	1993-12-21	1067			
柏崎刈羽5号機	BWR	1989-09-12	1067			
柏崎刈羽6号機	ABWR	1996-01-29	1315			
柏崎刈羽7号機	ABWR	1996-12-17	1315			
日本原電 東海第二	BWR	1978-03-13	1060			
北陸電力						
志賀1号機	BWR	1993-01-12	505			
志賀2号機	ABWR	2005-07-04	1108			
中部電力						
浜岡3号機	BWR	1987-01-20	1056			
浜岡4号機	BWR	1993-01-27	1092			
浜岡5号機	ABWR	2004-04-26	1325			

「2030年原子力発電ゼロ」に向けたフェーズアウト・プラン例 (2/2)

ユニット名	炉型	商用運転開始	MW	停止時期		
				2012年	2020年	2030年
日本原電						
敦賀1号機	BWR	1969-11-16	340			
敦賀2号機	PWR	1986-06-19	1108			
関西電力						
美浜1号機	PWR	1970-08-08	320			
美浜2号機	PWR	1972-04-21	470			
美浜3号機	PWR	1976-02-19	780			
大飯1号機	PWR	1977-12-23	1120			
大飯2号機	PWR	1978-10-11	1120			
大飯3号機	PWR	1991-06-07	1127			
大飯4号機	PWR	1992-06-19	1127			
高浜1号機	PWR	1974-03-27	780			
高浜1号機	PWR	1975-01-17	780			
高浜1号機	PWR	1984-05-09	830			
高浜1号機	PWR	1984-11-01	830			
中国電力						
島根1号機	BWR	1973-12-02	439			
島根2号機	BWR	1988-07-11	789			
島根3号機	ABWR	建設中	1325			
四国電力						
伊方1号機	PWR	1977-02-17	538			
伊方2号機	PWR	1981-08-19	538			
伊方3号機	PWR	1994-03-29	846			
九州電力						
玄海1号機		1975-02-14	529			
玄海2号機		1980-06-03	529			
玄海3号機		1993-06-15	1127			
玄海4号機		1996-11-12	1127			
川内1号機		1983-09-16	846			
川内2号機		1985-04-05	846			
停止する基数				18	19	14
喪失する設備容量(MW)				13983	9336	15563

添付-A

安全性が世界最高水準の原子力発電所の仕様 (例)

危険の根源

崩壊熱と放射能毒性は、核分裂エネルギーを利用する原子力の分離できないネガティブな特徴である。核分裂生成物の放射性を非放射性にする核種変換技術(Transmutation)についても、限定的応用についての理論はあるが現時点においては研究・実験段階であり、将来的にも多核種混在している使用済燃料に対しては現実的な適用の見通しが無い。

尚、核爆発に限っては、適切な燃料設計によって、原子炉が原子爆弾のような爆発(高速中性子だけによる即発臨界)をすることを、確率的にではなく原理的に防止出来る(確率ゼロ)ことから、そのようなリスクは排除出来る。

- 崩壊熱: 核分裂生成物による崩壊熱の発生を止める手段はない。崩壊熱の源は放射線。発熱と放熱がバランスした時の温度が接触する物質の融点よりも高い限り、メルトダウン、メルトスルーが続き、「閉じ込め」が出来ない。逆ならば「閉じ込め」可能。使用済燃料 1 トンからの発熱は 10 年後も 2,000 ワット、1,000 年後でも 100 ワット。
- 放射能毒性: 1 年が過ぎた使用済燃料 1 トンに含まれる放射性物質(110,000 テラベクレル)を飲用可能濃度に希釈するには、琵琶湖の貯水量(275 億立方メートル)の 36 倍の水が必要。崩壊熱による自己崩壊が起こらなくても外力によって「閉じ込め」が破壊されて拡散した場合の影響は甚大。代表的軽水炉の使用済燃料の放射能毒性が、原料であるウラン鉱石のそれと同等なレベルに低下するまでには約 150,000 年かかる。

絶対安全

下例のように、崩壊熱発散の阻害、「閉じ込め」機能の破壊などを可能とする大規模な自然現象、計画的な人的工作が想定し得る。その意味で、「絶対安全」は現実的に達成不可能である。但し、そのような超巨大な自然現象や極特殊な人的工作を除外するならば、経済的な成立性は別としても、絶対的に安全な原子炉の設計は、技術的には対応出来る可能性があり、以下そのような特性を「準絶対安全」と呼ぶものとする。

- 噴火: 高温の火砕流や爆発による飛翔物の直撃。大量の高温の火山灰の降積による埋没。炭化水素系の燃料、絶縁油、潤滑油、塗装、ケーブル被覆材は燃え、水は全て蒸発。但し、発生場所と時期がランダムではなく予兆もあるため、事前対応が可能。
- 隕石: 巨大隕石の場合、直撃だけでなく、付近の陸地に落下した場合の強力な震動、海に落下した場合の巨大津波の来襲も有り得る。予知可能。特定の原子力施設に対してではなく地球規模での全てのインフラに対する脅威。
- 巧妙な破壊工作: 安全を確保するための機能(フェイル・セーフやパッシブ・デザインに対してでさえも)をオーバーライドさせるか破壊し不能化することが出来る。

- 爆撃： 地上の設備である限り、爆撃やミサイル攻撃にも耐えることは不可能。

1. 原子炉に対する技術的要件

1.1 オプション1 - 準絶対安全型原子炉

1.1.1 目的

- 以下の想定事象において、燃料破損とそれに伴うメルトダウンが起こり得ない原子炉であること。即ち、CDF(炉心損傷頻度)= 0/(炉年)、LERF(早期大量放射能放出頻度)= 0/(炉年)である原子炉であること。

1.1.2 想定事象

- 動的機器は全て故障し、人的対応は全て失敗するものと想定。
- 超巨大な自然現象と極特殊な人的行為を除く全ての外的要因について想定。地震、津波、地滑り、強風(台風、竜巻)、落雷、山火事などの自然現象、民間航空機を使った自爆テロとそれに伴う大規模火災、専門の戦闘訓練を受け最新兵器で武装したテロリスト集団による襲撃などの人的行為を含む。
- バックアップを含む全ての外部電源、所内非常用電源、直流電源の瞬間的な同時喪失を想定し、その後の復旧を期待しない。
- 事象発生後、一切の人的介入が不能になるものと想定。

1.1.3 設計条件

- 上記目的に適合するため、従来の安全設備に加え、「最終安全設備」を具備すること。
 - 最終安全設備は、従来の原子炉保護系、工学的安全設備の自動起動設定値よりも更に過酷な状態が一定時間以上持続した時点で自動的に起動すること。但し、この場合の時間計測と起動の原理は、以下のフェイル・セーフのパッシブ・デザインでなければならない。
 - 最終安全設備は、安全系として扱われ、多重性、多様性、独立性を考慮して2系統以上設置し、保安規定に基づく管理と供用期間中検査の対象とする。
- 「最終安全設備」の駆動力としては一切の動力を必要とせず、フェイル・セーフのパッシブ・デザインのみを担保とする。
 - 担保可： 重力による落下、スプリングによる反発、融点到達による溶融、磁力喪失による分離、アキュムレータによる圧力など。
 - 担保不可： バッテリーからの電気、火薬の爆発など。
- 「最終安全設備」には動的機器を含まず、静的機器にあっても、耐熱、耐食、耐震、耐放射線の性能が確認されたもののみを担保とする。
 - 担保可： 免震設計された構造物、配管、耐火ケーブルなど。
 - 担保不可： 全ての有機化合物(電気ケーブルの絶縁材、パッキンなど)。

1.1.4 技術の検証

- 最終安全設備が作動することにより、燃料破損とそれに伴うメルトダウンが発生しないことが、理論的、実験的に十分な尤度を以って裏付けられていること。

1.1.5 現状

破損しない安全な核燃料の研究は従来から続けられているが、福島第一原子力発電所の事故をきっかけに、その必要性がより強く求められるようになっている。二酸化ウランに替えて窒化ウランを用いる(熱伝導度の改善)、ジルカロイ(金属)の被覆材に替えて炭化ケイ素(セラミック)を用いる(熱伝導度、強度、中性子吸収断面積、化学的安定性)、中実ペレットに替えて中空ペレットを用いる(中心温度の低減)などの研究も進められている。

例えば燃料被覆管にジルカロイが使用されていなければ、福島の原子炉事故においても水素爆発が起こることはなかった。

1.1.6 緊急対応と損害賠償制度

- 通常運転に必要なモニタリング設備のみを設置する。
- 緊急対応設備と損害賠償制度は対象外。

1.2 オプション 2 - リスク制限型原子炉

1.2.1 目的

- 妊婦や小児を含む周辺住民が、被曝を唯一のリスクとして避難しなくてもよいこと。
- 設備の運転員が事象発生直後に当該設備から退避(原子炉事故からではなく、自然災害やテロ攻撃からの退避)した場合、又は、操作出来なくなった場合であっても、原子炉事故が自然に収束すること。
- 格納容器の損傷と劣化が起こり得ないこと。即ち、LERF(早期大量放射能放出頻度)=0/(炉年)であること。

1.2.2 想定事象

- 準絶対安全型原子炉に対する想定事象に同じ。

1.2.3 設計条件

- 準絶対安全型原子炉に対する設計条件に同じ。但し、ここでの設計の目的に関しては、上記目的とすること。
- 最終安全設備の機能によって、原子炉事故の進展が以下の状況を超えない規模で収束出来ること。

- 格納容器を破壊に導く大量の可燃性ガスの発生がないこと。
- 炉心溶融の進展があった場合でも、格納容器のメルトスルーが防止出来、且つ、気密性が低下しないこと。
- 格納容器は二重構造(内側を一次格納容器、外側を二次格納容器と呼ぶ。)で構成されること。
 - 一次格納容器を保護のために作動するフィルター付きベントは、最悪の事故において放出される放射性物質の量に対し、原子炉停止時における内蔵量を基準として、放射性ヨウ素と放射性セシウムに対しては 10,000 分の 1 未満、放射性希ガスに対しては 100 分の 1 未満とする機能を有すること。
 - 一次格納容器は、ベント作動時の圧力を設計圧力とし、解析的に保証された耐久圧力が、設計圧力の 3 倍以上であること。
 - 一次格納容器の設計圧力における漏洩率は、0.5%/日以下であること。
 - 二次格納容器は、航空機の墜落の衝撃に耐え貫通しないこと。一次格納容器、及び、その内部に設置された機器は、墜落した航空機の燃料の燃焼によって機能が劣化しないよう、一次格納容器の外表面が耐火材によって保護されていること。耐火材による保護に代え、自動的に作動するパッシブ・デザインの消火設備でも良い。
 - 二次格納容器には、その内部を負圧に維持し、一次格納容器から漏洩する放射性物質を吸着するフィルター(フィルター付きベントとして供されるフィルターと共用でもよい。)を介して外部環境に排出する装置が具備されること。当該の装置にはパッシブ・デザインが適用出来ないため、最悪の事故に対する評価においては、これを担保としてはならない。
- 施設内部からの汚染水が施設外部に漏洩することによって海洋汚染、地下水汚染を発生させることがなく、且つ、施設外部から施設内部への浸水によって大量の汚染水を発生させない構造であること。
 - 原子炉建屋の最下階の床面、及び内壁面には、配管、ケーブル、ダクトなどの貫通部を設けず、全てを鋼板、又はゴムライニングによって内張りする。
 - 原子炉建屋の基盤(ベースマツト)が海面以下、又は、地下水面以下である場合には、原子炉建屋の最下階の床面、又は、壁面に亀裂があったとしても浸水しないよう遮水処理を施す。
 - 原子炉建屋の基盤(ベースマツト)が海面以下であり、且つ、地下水面以下である場合には、予め水理地質学的調査を入念に行い、原子炉建屋の最下階の床面、又は、壁面に亀裂があった場合に浸水する水質が、海水となるのか淡水となるのか判定しておく。原子炉建屋の最下階には、このような浸水を受けるための専用サンプ・ピットを設け、浸水する水質に応じ、放射性物質の濃度を排水基準未満の濃度に処理した上で、連続的、又は、間歇的に運転出来る装置を浸水の恐れのない上階に設けること。

- 予め放射性廃棄物、特に混合廃棄物(危険性のある化学物質と放射性物質が混合した汚染物)の発生量低減を考慮すること。
 - コンクリートの表面はエポキシ塗装を施し、運転中に発見された亀裂部、剥離部に対しては定期的に補修を行う。
 - 水銀汚染防止： 水銀灯、蛍光灯を使用せず、LED 照明などを使用する。
 - 鉛汚染防止： 鉛を遮蔽材として用いる場合には被覆して用いる。
- 最悪の原子炉事故に対する現実的な廃炉計画が存在すること。
 - 廃炉は、主要範囲について、事故発生後 20 年以内に完遂出来ること。土壌改質、緑地化は主要範囲に含める必要がない。
 - 廃炉によって発生する放射性廃棄物(クリアランス・レベルを超える廃棄物のみ)は、全て施設の敷地内で処理出来ること。破損した使用済燃料、及び、それが混在した熔融炉心夾雑物(コリウム)の固化物に対しても中間貯蔵を行うこと。
 - 敷地外の汚染地域からの放射性廃棄物(クリアランス・レベルを超える廃棄物のみ)は、全て施設の施設内で処理出来ること。そのために必要な焼却炉などの減容設備、固化装置、保管設備などに対しては、実際に設置するまでは要しないが、用地の設定、詳細設計、建設工程、建設費用見積までを完了させておくこと。
- 廃炉が終了した敷地に対しては、空き地として放置されることなく適切な再利用計画があること。かかる計画は、最悪の原子炉事故が発生した場合であっても実行可能であること。

1.2.4 敷地外の汚染地域の復旧計画

- 放射性物質による汚染が敷地外に拡大する最悪の事態について、放射性ヨウ素と放射性セシウムの量が原子炉停止時における内蔵量の 1,000 分の 1 であると仮定し、予めそのための復旧計画を策定する。
- 復旧対象範囲は、実測に基づき、放射線レベル(1mSv/年： ICRP の定める公衆に対する許容値)、表面汚染密度(4Bq/cm²： ベータ線核種に対する管理区域からの搬出基準)、飲料水基準(10Bq/L： WHO 飲料水水質ガイドライン)、クリアランス・レベル(Cs-137 に対し 100Bq/g： 平成 17 年 11 月 22 日経済産業省令第 112 号)を基準として適用する。
- 復旧方法は、優先順位に従って、汚染物の撤去、除染、希釈によるものとする。
- 撤去された汚染物、除染に要した機器、放射性物質を吸収した媒体は、全て原因となった原子炉事故の施設が属する敷地内に回収し、必要な減容処理、貯蔵を行う。
- 復旧不可能な範囲に対しては、損害賠償制度を適用する。

1.2.5 技術の検証

- 最終安全設備が作動することにより、格納容器の損傷と劣化が発生しないことが、理論

的、実験的に十分な尤度を以って裏付けられていること。

1.2.6 現状の技術

- パッシブ・デザインのコリウム冷却設備及び、フィルター付きベントはそれぞれ考案されており、それらの設計をそれぞれ入念に検証、進化させ、統合することにより、LERF = 0 の設計が達成出来る可能性がある。

1.2.7 緊急対応と損害賠償制度

- 通常運転に必要なモニタリング設備に加え、緊急対応設備と損害賠償制度を適用。
- 緊急対応計画は、格納容器の保護のために作動するベントの結果放出される放射性ヨウ素と放射性セシウムの量が原子炉停止時における内蔵量の1,000の1、放射性希ガスの量が原子炉停止時における内蔵量の10の1であると仮定して策定すること。
- 損害賠償計画は、上記の放出量による放射能汚染の分布が最悪となるシミュレーション結果に基づいて策定すること。

2. 使用済燃料の貯蔵施設に対する技術的要件

2.1 使用済燃料の特徴と位置付け

2.1.1 有害な廃棄物としての視点から

- 代表的な軽水炉から発生する使用済燃料の放射能毒性が天然化するまでには、著しい長期間(約 150,000 年)を要する。
- そのような長期間の耐久性が保証された人工構造物は存在しない。
- そのような長期間の耐久性が保証された金属容器も存在しない。
- 燃料被覆管のジルカロイには、供用中の変化として水素化ジルコニウムが析出し、元々周方向に成長していた析出物が熱サイクルによって径方向に向きを変化させることで、燃料被覆管の機械的強度が、フープ応力に対して著しく劣化する特徴が知られている。現在のところ、このようなメカニズムによる燃料被覆管の劣化が熱サイクルの有無に拘らず、経時的に進行しないとはいえ切れず、そのような長期間のうちには破損が生じるものと想定しなければならない。
- よって、使用済燃料の貯蔵は、そのような破損が起こり出す前の有限期間に限定しなければならない。その先、再処理を行うのか最終処理を行うのかを決定しなければならない。それが定まらない限り、或いは、その実現の具体的目途が立たない限り、無制限にその貯蔵量を増やし続けていくことは適切ではなく、少なくともそれまでの間は、暫定的上限値の設定も考慮されるべきである。

2.1.2 リサイクル・エネルギーの資源となり得る可能性から

- 同時に使用済燃料は、プルトニウムやアメリシウムなどのアクチノイド元素を含んでおり、潜在的なりサイクル資源でもある。数百年後には、実質的に全ての化石燃料が枯渇する可能性もあり、その前に主要なエネルギー資源の一つに浮上する可能性も排除は出来ない。従って、その選択について、採用するか放棄するか最終的に判定されるまでの期間は、廃棄よりも貯蔵の方が好ましい。
- アクチノイド元素は、使用済燃料の放射能毒性の天然化を著しく長期化させている原因核種であり、これが燃焼されることにより、再処理後の残渣(高レベル放射性廃棄物)の処理を容易化することが期待される。即ち、その場合の放射能毒性の天然化は、数百年オーダーにまで短縮され、地層処理ではなく人工設備による対応が可能になる。
- 但し、このようなりサイクル利用の見通しに関しては、現時点での知見では、乾式再処理と高速炉の導入が必要になり、新たな原子カインフラの構築が必要となる。近い将来において一気に新たなエネルギー源の主力へと成長する可能性はなく、まずは研究と実証の蓄積による技術の成熟を見届ける必要がある。
- わが国の再処理施設(六ヶ所)と高速炉(もんじゅ)は、このようなりサイクル利用を支援

する技術ではなく、アクチノイド元素の処理を考慮していない。

2.1.3 中間貯蔵について

- 使用済燃料のリサイクル利用の選択が放棄され、廃棄物として処理される場合、その最終処理法として地下数百メートルの不透水層に地層処分するという案が国際的に標準化されつつあり、既に一部の国々での採用が始まっている。しかしその場合、地下構造の安定性が裏付けられるべき期間が余りにも長く、わが国においてそのような用地が将来確保されるかどうかは定かでない。
- 使用済燃料は、その内包する放射性物質の量が膨大であること、又、現状、その保管状態が圧力容器や格納容器のような強固な障壁によって保護されていないことから、潜在的なテロリストや戦争における敵国（以下、「潜在的なテロリストら」と略）にとっての魅力的な標的となり得る。この場合の標的とは、核爆弾を製造するための原料としての盗取ではなく、その貯蔵施設に対して大規模な破壊を加え、大量の放射性物質を拡散させるという戦略に沿った標的という意味である。
- 一方では、莫大な規模のエネルギー資源としての潜在的な用途もある。
- 以上の両面の特徴を鑑み、使用済燃料の貯蔵は、国として責任を以ってこれに当たるべきである。しかしこのことは、必ずしも使用済燃料の発生直後から国が引き取ってそのような管理下に置くべきであるという意味ではない。発生元である原子炉が廃炉になるまでの期間は各原子力発電所内において貯蔵、管理し、廃炉の工程が全て終了してから専用の集中施設に移動して貯蔵、管理を行うという選択も有り得る。

2.2 貯蔵施設の目的

- 使用済燃料の貯蔵期間中、及び、その後の移動中において、放射性物質を外部環境に対して放出させないこと。

2.3 設計条件

- 準絶対安全としての想定事象に耐え得ること。
- 潜在的なテロリストらにとっての魅力的な標的とならないこと。
- 湿式貯蔵は、原子力発電所に付属する使用済燃料プールとしてのみ使用出来るものとし、集中施設に対しては乾式貯蔵を適用するものとする。

2.3.1 乾式貯蔵

- 空気の自然対流によって冷却されるパッシブ・デザインであること。
- 収納キャスクは免震パッドに固定する。

2.3.2 湿式貯蔵

- プール水の冷却と浄化用にアクティブ・デザインの装置を使用してもよい。

- プールが破損した場合の使用済燃料の冠水用、及び、冠水が不可能な規模の破損が起こった場合の散水用として、駆動力として電源に拠らない補給水系を設置すること。
- 冠水も散水も出来ない場合であっても、空気の自然対流による冷却によって崩壊熱が除去され、ジルコニウム火災のような燃料被覆管を損傷させる事象が発生しないこと。

2.4 現状の技術

- 乾式貯蔵技術は完成している。免震パッドを採用している例はないが、困難な課題であるとは思われない。