
「原子力のリスクと対策の考え方」

- 社会との対話のために -

キヤノングローバル戦略研究所 原子力安全研究会

2016年3月

目次

1. はじめに	3
2. 原子力発電所の安全性向上について	6
2.1 IAEA の深層防護	6
2.2 各国の深層防護の検討状況	7
(1) 米国の状況	7
(2) 日本の状況	8
2.3 安全思想の再構築	8
2.4 深層防護の実装化について	10
2.5 レベル4に対する設計例	11
3. 電気事業者の安全設備対策の状況	18
3.1 福島第一原子力発電所事故後の安全強化対策の状況	18
3.2 福島第一原子力発電所事故後の電気事業者の疲弊状況：早期の稼働が必須 ...	41
4. リスク情報に基づく安全の考え方	49
4.1 リスク解析の在り方	49
4.2 新規制基準における PRA の位置づけ	56
4.3 PRA の一層効果的な活用に向けて	61
4.3.2 合理的な安全性確保・向上活動のツールとして信頼できる PRA の要件 ...	61
4.3.2 合理的な安全性の確保・向上活動のツールとして PRA を定着させるために	63
4.3.3 コミュニケーションのツールとしての PRA の活用	64
4.4 安全目標	65

5. 合理的な安全の考え方による社会との対話.....	67
5.1 コストベネフィット解析とリスクベネフィット解析.....	67
5.2 エネルギー環境問題のリスクとベネフィットの比較.....	69
5.3 長期的価値の評価.....	77
5.4 リスクとベネフィットの比較のまとめ	80
6. まとめ	82
6.1 原子力安全の再構築	82
1. 人間のレジリエンス能力の活用.....	82
2. 深層防護の実装化の検討	82
3. 確率論点リスク評価(PRA)の活用	83
4. 総合的リスク評価を用いた原子力の再評価.....	83
5. プラント再稼働の判断.....	83
6.2 原子力関係者に対する提言	84
1. 規制機関への提言	84
2. 電気事業者に対する提言	84
3. メーカーに対する提言.....	85
4. 技術者への提言	85

1. はじめに

2011年3月11日に発生した福島第一原子力発電所における事故以来、原子力の安全に対する様々な議論・検討がなされ、多くの対策が実施されている。しかし、安全性向上の努力にもかかわらず、国民の原子力に対する信頼や安全・安心を回復できているとは言えない状況にある。一方で原子力を推進する立場からは、原子力規制委員会の規制は厳しすぎ、非合理的な負担を課しているのではないかと、本当の安全性向上に結び付いているのだろうか、との懸念も聞かれる。このような状況は、原子力の推進派と慎重派の双方からの疑問に対して十分な対話がなされていないことにも一因があるのではないかと考えられる。

キヤノングローバル戦略研究所原子力安全研究会は、原子力の現状における安全課題を明確化し、対策の考え方を体系的に整理して、社会に発信し議論していくことを目的に発足した。本報告書は、参加者の自由な討論に基づき、専門家としての個人的な見解をまとめたものである。

我々の問題意識の原点には、「部分最適は全体最悪を生む」があり、システムのバランスを見て総合的に安全性を向上させる「システム安全」の考え方にある。要は、システムを過不足なくバランス良く設計し運用して安全を作り上げることが肝要である。

福島第一原子力発電所事故を受け、各機関において安全防護のための根本的な発想である「深層防護」について様々な見直しが行われているが、深層防護の両輪である「安全設計」と「安全運用」の役割分担は未だに結論が見いだされていない状況にある。福島第一原子力発電所事故の課題と対策を深層防護のどこに位置づけるかを明確にすること、そしてそれを確率論的安全評価に基づき全体のバランスを定量的に把握することが望まれる。

さらに、原子力発電所では、安全設計や安全運用に加え、「安全規制」も加わりそれぞれが分担・協力して原子力の安全性を高めている。しかし、この安全の議論のもととなる定量的なリスクが不在のために、多数個別の安全対策に追われ、結果的に国民に負担を掛けることになっている。

原子力は社会性が高いため、システムを合理的にとらえるリスクマネジメントの視点で安全を評価し社会と対話を図ることが必要とされる。リスクマネジメントは、リスクを定量化するリスク分析（確率論的安全評価）、それが安全目標を満足するか対策が必要かを判断するリスク評価、評価結果に基づき社会と対話するリスクコミュニケー

ションからなる。本研究では、リスク分析とリスク評価の現状とあるべき姿を検討し、リスクコミュニケーションの一環として社会に発信することとする。

以上の問題意識から、以下のような4つの課題に対し、検討し提言をまとめた。

- ① 福島第一原子力発電所事故を受け、深層防護、特にシビアアクシデントに対する安全防護の考え方を論理的に再構築する
- ② 電気事業者が福島第一原子力発電所事故後の新規制基準に従い実施している安全対策とその費用に関する情報を収集し、安全対策の現状（対策の項目やコスト）を明らかにする
- ③ 確率論的リスク評価は、現在の安全の水準を総合的に評価し定量化する特徴を持つので、安全評価と対策立案の過程に有効活用する方法を検討する
- ④ 原子力の社会的受容を考えるに際し、リスク評価だけではなく、ベネフィット（例えば、気候変動対策、環境対策、エネルギーセキュリティなどに対する有効性）も考慮してエネルギーシステムとして比較評価する方法を検討する

以下、4つの章で検討内容をまとめる。

第2章では、深層防護の考え方を基本として、福島第一原子力発電所事故のようなシビアアクシデントの対策を適切に進める上での安全設計と安全運用の在り方を議論し提言する。深層防護は、人と環境を守るという原子力の安全確保の目的を達成するための基本概念であり、安全対策の妥当性を社会に説明し理解を促進するための指針となるものである。ここでは、合理的でかつ社会に理解されるための安全設計と安全運用、またこのための安全規制の深層防護における役割分担を整理する。これにより国民の「社会が原子力を受け入れることができるのか？」という素朴な疑問に対し解決策を示すことができる。

第3章では、「電気事業者の安全設備対策の状況」をまとめる。現状では、原子力規制委員会の新規制基準の施行に伴い、電気事業者は膨大なコストをかけて安全対策を実施しているが、国民からはその対策の必要性や有効性に対して十分な理解を得られていないとは言えない。これは新規制基準の定量的な評価基準が不明確であり、また更なる安全対策に向けた取組みを強く求められていることによるものと考えられる。電気事業者は、新規制基準に対応して様々なハード対策を実施してきたが、果たしてそれがどの程度効果的かあるいは過剰ではないかについて十分な検証がないまま対策だけが進んでいる状況である。

第4章では、これに対しリスク評価の考え方を導入し、リスクの要因を系統的に分析し総合的に安全の水準を評価する確率論的リスク評価(PRA)の活用方法を明確化する。これによって深層防護の考え方に基づく安全の強化策がどれほど安全性向上に寄与しているか(リスクを低減しているか)を科学的に議論する土俵を与えることが出来る。

第5章では、「合理的な安全の考え方」として、リスクベネフィット解析をベースとして、社会が原子力発電のベネフィットとリスクを理解しつつ適切なエネルギー戦略について議論する方法を検討する。

最後に第6章で、提言をまとめる。

2. 原子力発電所の安全性向上について

福島第一原子力発電所事故の直接的原因は想定外の津波による全交流電源喪失であるが、根本原因は深層防護のレベル4（過酷事故に相当）およびレベル5（防災）に対して我が国の対策が不十分であったことによる。このため我が国では、深層防護を考慮した新規規制基準が急ぎ作成され、原子力発電所の再稼働の審査に用いられている。国際原子力機関（IAEA）による深層防護が一般に良く知られているが、細部の定義や解釈については関連規格を含めて議論が継続されている。

深層防護およびその実装化は、原子力の設計・運転・規制にとって重要なテーマであり、関係者の英知を集めて確立することが望ましい。原子力安全研究会においても重要項目として認識し、議論した内容を以下に示す。今後の我が国の議論に活用いただけると幸いである。

2.1 IAEA の深層防護

IAEA では5つのレベルからなる深層防護について INSAG-12[2-1]で公開している。この IAEA の深層防護は、図 2.1 に示すように歴史的に変遷が重ねられており、定義や解釈の細部については現在も議論が続けられている。

深層防護の基本概念や全体を5つの防護レベルに区分することは概ね合意されているが、深層防護の実装化に際して参加機関により下記の意見がある。

（1）各レベルの定義

IAEA は、レベル4 を更に炉心溶融の防護（レベル4.a）と炉心溶融の緩和（レベル4.b）に区分している。一方、西欧原子力規制者協会（WENRA）は、図 2.2 に示すように「従来の設計基準事故（DBA）をレベル3.a と定義し、炉心溶融までの事象をレベル3.b として区分する」ことを提案している。歴史的にはレベル4 はレベル3 のバックアップとして出発し、時代とともにその重要性が認識され内容の充実が図られてきた。そのため、レベル3 とレベル4 の境界に曖昧な箇所があり、議論が継続しているものである。

（2）レベル4 の呼称：DEC か B-DBA か？

IAEA では従来 B-DBA(過酷事故：Beyond-Design Basis Accident)と呼んでいたレベル4 の領域を DEC（設計拡張状態：Design Extended Condition）と呼び設備設計の対象範囲とし、想定される全事象を洗い出して対策を講じることし

た。これに対して、米国や OECD-NEA [2-2] では B-DBA という呼称を継続して使用している。本報告書では、B-DBA と呼ぶこととする。

(3) 各レベル間の独立性

レベル間の独立性を高める努力は重要で、想定外のハザードや共通原因故障を回避するためには次元の異なる対策（例：ハード対策とソフト対策、多様化設計）を講じるのが効果的である。このため、教条的に「レベル3とレベル4の安全設備に独立性を持たせよ」という意見がある。これに対して完全なレベル間の独立は実現困難であるので、「レベル4の対策設備に一律に独立性や耐震要求や単一故障基準を要求するのは不合理である。B-DBA シナリオの中で必要に応じて対応すれば良い」との意見もある。なお、欧州の SA 対策設備は深層防護の詳細議論が始まる前に設置されたこともあり、遮蔽設計や耐震設計など必ずしも独立性が確保されていないものもある。

2.2 各国の深層防護の検討状況

(1) 米国の状況

米国 NRC は、世界の原子力を牽引してきた実績と経験に基づき、プラントの許認可においても原子力の現場を十分に理解・考慮した原子力の安全規制を実施している。従来は、DBA(Design Basis Accident)として再循環配管の瞬時ギロチン破断を想定し、更に単一故障基準を仮定して原子力発電所を設計することにより、ほぼ全ての事象を包絡できると考えていた。運転経験を重ねる過程で共通原因故障などにより、DBA の範疇においても必ずしもプラントの安全性が包絡できないことが分かった。このため、米国では交流電源喪失（SBO: Station Black Out）や ATWS（Anticipated Transient Without Scram：スクラム失敗事象）あるいは 9.11 同時多発テロ対策などの事象に対して B-DBA(Beyond Design Basis Accident)として規制要求するようになった。即ち、米国では上位概念の安全思想を最初に設定するのではなく、具体的な法令（プラントの運転経験や安全設計）の積み重ねを通して原子炉の安全は確保されと考えられてきた。また、決定論的手法の補完として、PSA(確率論的リスク評価: Probabilistic Risk Assessment)を用いたリスク・インフォームド規制を行っている。

福島第一原子力発電所事故後、アメリカ合衆国原子力規制委員会（NRC: Nuclear Regulatory Commission）は短期特別調査班（NTTF: Near Term Task Force）を結成し福島第一原子力発電所事故から得られる教訓・知見および対策を検討した。NTTF では、

福島第一原子力発電所事故の対策を緊急度に応じて Tier1～3 に分類し早期に対策を講じるものと中長期的に対策を講じるものを峻別した。また、米国原子力エネルギー協会（NEI: Nuclear Energy Institute）が提案した FLEX（多様かつ柔軟な）対応方策の採用を認め、比較的短期間に全米の原子力発電所の安全性向上を図った。

（２） 日本の状況

原子力の歴史を振り返ると、軽水炉の導入初期に米国の安全設計ルール（10CFR50、Appendix-A「GDA：General Design Criteria」）を和訳して「安全設計審査指針」として永らく利用してきた経緯がある。福島第一原子力発電所事故後においては、過酷事故（SA）に重点を置き IAEA の 5 層の深層防護思想を念頭に新規制基準を作成した（[図 2.3](#) 参照）。このため、現在の我が国の安全設計の体系は、米国 NRC の安全設計に IAEA の安全思想を追加し「木に竹を接ぐ」状態となっている。なお、IAEA の深層防護は基本概念（安全思想）であり、そのまま許認可規制や設計に用いることはできない。IAEA の安全思想には下部資料として SSR(個別の安全要件:Specific Safety Requirements)や TECDOC(技術文書：Technical Documents)はあるものの、米国の設計指針・規制ガイドラインに相当する部分がなく、如何に安全思想と設計指針・規制ガイドラインの整合を図るかが課題である。

今まで借り物の安全設計で済ませてきた我が国は、再稼働プラントの審査において期せずして世界の先頭を走ることとなってしまった。世界各国は固唾を飲んで我が国の深層防護の実装化に着目しており、世界との整合性のとれたものとするのが期待される。この深層防護の実装化は、NRA だけの課題ではなく産業界・学会を含めて英知を絞って対応すべき課題である。

2.3 安全思想の再構築

原子力発電所の安全に関し、従来は設計基準事故の範囲において安全思想と安全設計は決定論的な手法をベースに自己完結していた。その後、スリーマイル島原子力発電所事故（TMI-2）やチェルノブイル事故の経験を踏まえ、IAEA では炉心損傷を含む過酷事故を取り込み安全思想（深層防護）の見直しが図られてきた。具体的には、従来 B-DBA と呼んでいたレベル 4 を DEC と定義し設計対象とすることで固まりつつある。IAEA の深層防護は上述したように参加機関により議論が継続されているが、議論が続き結論が出ないのは「レベル 4 を DEC、設備設計対象」としたことが原因と考える。

原子力安全研究会では、安全思想を再構築すべく「シンプルで誤解を生じない深層防護、誰にでも理解・安心できる深層防護」のスローガンのもと議論を重ねた。原子力研究会での議論の内容を以下に示すので、今後の議論の参考にしていただければ幸いである。

第1の提案は、人的要因（Human Factor）の活用である。

IAEAの深層防護では、レベル4をDECと称し想定される重大事故に対して設備設計で対応するニュアンスが強い。どんなに英知を集めて事前検討しても想定を超える事象があることに対して、深層防護の観点からHFやフェイズド・アプローチにより対策を講じる。これによりB-DBAを緩和することを説明する方が、技術的に正しく、国民に安心を与えられると考える。

福島第一原子力発電所事故において恒設の安全設備が全て利用できない状態において、福島50の献身的でレジリエンスな対応により事故の影響を緩和できた。この福島第一原子力発電所事故の教訓からも、レベル4の対策として積極的に人的要因を取り入れることが重要である。具体的には、米国のFLEX戦略や東京電力のフェイズド・アプローチがこれに相当する。

第2の提案は、深層防護の適切な実装化である。

IAEAでは、安全思想である深層防護の確立に重点を置くあまり、実装化の検討が遅れてしまった。安全思想（深層防護）はマグナ・カルタや憲法のような上位概念で重要であるが、社会生活を営むためには下位の具体的な法律や指針（安全設計指針やRegulatory Guide）を整備する必要がある。我が国では、IAEAの深層防護を参考として新規基準に基づき審査が進められているが、深層防護の実装化に際して「第3レベル（DBA）の対策設備と第4レベル（DEC）の対策設備に独立性をどこまで要求するのか？」「第4レベルの対策設備の設計条件を如何にすべきか？」という課題が顕在化しつつある。深層防護の実装化を適正化することにより、原子力発電所の安全性を向上させるとともに合理的なSA対策を実施することが期待できる。

第3の提案は、シンプルで分かり易い深層防護シナリオである。

福島事故の大切な教訓は「万一、想定外事象が発生しても対応できる」ことである。

一方、IAEAの深層防護の定義では、レベル4で想定される全てのDEC事象を摘出し安全対策を講じるとしており、一般市民に「原子力の安全神話：原子力は零リスクである」という誤解を与えることにならないだろうか？また、図2.2に示したが炉心溶融

とレベル4の関係を、原子力関係者の間において今後どう区分・定義するかを明確にするがある。

2.4 深層防護の実装化について

安全思想「深層防護」の実機プラント適用に際して、各レベルの定義や対策あるいは具体的戦略は各国および各組織間（IAEA、WENRA、NRC、他）で多様性がある。具体的なSA対策方針として設備対応を中心とする欧州の「Hardened Core 戦略」と人的要因や可搬設備を含めた米国の「FLEX 戦略」がある。これらの戦略は、どちらか一方が正しく他方が間違いというものではない。

我が国の歴史と文化を考慮して、我国に適した対策を講じることが望ましい。B-DBAの対策はHF(人的要因)が担当する領域が大きいため、国民性を十分に理解&考慮した対策を講じることが重要である。我が国の深層防護の実装化に際して「想定外事象を含めた深層防護とする」「分かり易い深層防護」に配慮することが重要である。

提案する深層防護は、今は馴染みになったIAEAの5重の深層防護をベースとして、下記の改善を加えるものとする。即ち、レベル3とレベル4の区分は、分かり易さの観点からWENRAが提案する炉心溶融とする。レベル3は炉心溶融を防止(Prevention)することが目的で、レベル4は炉心溶融の影響を緩和(Mitigation)することを目的とする。

レベル4に対するDECという呼称は、レベル4に対して設備設計を主体に対策を講じるかのような誤解(印象)を与えるので本レポートでは敢えてB-DBAという用語を使用し、「既存の安全系、恒設のSA対策設備、可搬式設備、および運転員他により炉心溶融の影響を緩和する」こととする。また、IAEAの定義ではConditions practically eliminated(実質的に排除できる状態)はレベル5に分類しているが想定外事象の一部としてレベル4に含める。そして、想定外事象に対しても中央制御室やTSC(Technical Support Center)の要員がレジリエンスと時間的裕度を活用して対処し、格納容器から環境への多量の放射性物質の放出を防止することを目指す。

レベル5は、国や自治体を中心になり対応するサイト外の防災活動とする。

上記①～③に基づきB-DBAの防護対策および緩和対策を図示したものが図2-4である[2-5]。レベル1-3の事象に対しては設備設計で対応し、想定外事象を含むB-DBAに対してはAM(Accident Management)で対応することが提案されている。これは、想定外事象によるSA事象への発展などシナリオ不明の場合に対して、炉心損傷までの

余裕時間（Grace Period）を活用して可搬設備の活用を含めて人的対策を講じるものである。また、想定外事象に対しても人的ファクタによりレジリエンスな対応を実施しようとするものである。同様に、東京電力は深層防護に基づく対策として設備対策と人的な防護対策を効果的に用いたフェーズドアプローチ（図2-5参照）を提案している[2-6]。即ち、事故初期においては、人的リソースの限定や現場アクセス性が困難な可能性があることより、常設設備だけでも初期対応が可能とする。また、事故後期においては、想定外事象の発生などで状況が輻輳する恐れや特定シナリオで設計した常設設備では対応できない恐れがあることより、可搬型設備も選択肢に加え、対応の多様性や代替可能性を高めることとする。

なお、レベル5（防災）において大きな自然災害が発生した場合には、地域インフラの損壊があるので住民への情報伝達のあり方や高齢者・弱者への配慮など、事前の計画を充実させるとともに住民にその内容を理解していただくことが重要である。我が国では、新規制基準により既に欧州プラント並みのSA設備対策が実施されており、これに米国のFLEX戦略を組み合わせるにより一層の安全性向上を図ることができると期待される。

2.5 レベル4に対する設計例

レベル4のB-DBAに対して、規制要求への対策は当然として本当に役立つB-DBA対策を自主的に設置することが望ましい。大阪城の攻防戦において、限られたリソースの中から真田幸村は大阪城のウィークポイントである南側に真田丸を作った。同様に原子力発電所の安全性確保においても、発電所を熟知している電気事業者が脆弱性をカバーする戦略的な対策を講じることが望ましい。

1. レベル4対応戦略の基本前提

深層防護、特にレベル4の実装化を進めるに際して前提条件が必要となる。

前提1：即発的な事象が発生しないこと

DBAで想定以上の反応度事故が実質的に排除できるにすること。また短時間で炉心溶融や格納容器損傷に至る事象が実質的に排除できること。

即ち、人的要因を期待したフェイズド・アプローチを採用するには、即発的な事故が実質的に発生せず、人間の判断や操作時間が確保できることが前提となる。

前提2：想定外事象にも対応できること

B-DBA は想定外シナリオを含み、発生する現象も複雑である。また、予め全ての B-DBA 事象に対して設備対策を施すのは現実的ではない。むしろ発生した事象を良く見極め、予め準備した可搬設備や人的な回復操作を含めてレジリエンスな対策を講じるのが効果的である。

このため、人間が状況を判断し適切な対策を決定することが重要である。また適切な SA 計装の整備も必要となる。

前提 3：格納容器からの FP 大規模放出を実質的に排除できること

B-DBA 対策の目的は、格納容器から環境への核分裂放射性生成物（FP）の大規模放出をフィルターベントなどの採用により実質的に排除することである。即ち、B-DBA 対策の目的は格納容器の機能維持である。

なお、それでも事象を食い止めることができない場合がありうるので、万一の場合に備え第 5 レベルの防災対策を準備する。

(2) 設備設計方針(案)

戦略 1：IVR (In Vessel Retention)

炉心が溶融する BDBA において、溶融炉心（デブリ）を原子炉圧力容器（RPV: reactor pressure vessel）内に留め冷却することが事故拡大防止の観点から効果的である。一旦、デブリが RPV を貫通して CV に落下すると複雑な現象（注*）や未解明事象が発生する可能性があるため、デブリを RPV 内に保持する IVR 戦略を採用する。これにより、事故緩和シナリオに沿った対策を講じることができる。

RPV の減圧：SRV、多様化 SRV、他

RPV への注水：ECCS、消火系ポンプ、可搬式ポンプ、他

注*：溶融炉心とコンクリート相互作用（CCI: Core Concrete Interaction）、高圧溶融物噴出（HPME：High Pressure Melting Ejection）、水蒸気爆発、格納容器直接加熱（Direct Containment Heating）、他

戦略 2：原子炉減圧・注水の促進

原子炉を減圧し、ECCS および消火系ポンプなどで炉心への注水を図ること。原子炉圧力が低下すれば、安全系だけでなく消火系ポンプや可搬式ポンプを含め多数のポ

ンプで炉心に冷却水を供給することができる。このためにも、原子炉減圧機能の信頼性向上を図ること。

戦略 3：格納容器の早期破損の防止

格納容器の早期破損（1日を目安とする）を実質的に無視できるようにする為、下記の対策を講じる。格納容器の早期破損の防止は、想定外事象が発生した場合においても、人間が事象を正しく判断し適切な回復操作を行う時間的余裕ができる。

- ① 格納容器直接加熱（DCH：Direct Containment Heating）の防止
- ② 炉心損傷時に発生する可燃性の水素ガスに対して適切な対策を講じる
- ③ 格納容器バイパスの防止や影響緩和対策を講じる
- ④ 格納容器内での水蒸気爆発の対策を（必要に応じ）講じる。
- ⑤ 大地震等による建屋崩壊に起因する格納容器破損については、更なる検討を実施すること

戦略 4：格納容器の破損防止

SA 事象を IVR に留めることができずデブリが格納容器炉心に落下した場合、下記の方策により格納容器バウンダリの損傷を防止することが重要である。

- ① CV 注水によりコア・コンクリート反応の防止
- ② CV 内圧破損を防止するため格納容器フィルタベント設備（FCVS: Filtered Containment Venting Systems）を設置
- ③ その他： PRA 手法を用いて格納容器破損に至る事故シーケンスを明確にし、支配的リスクを低減する合理的で実効可能な SA 対策を講じる。

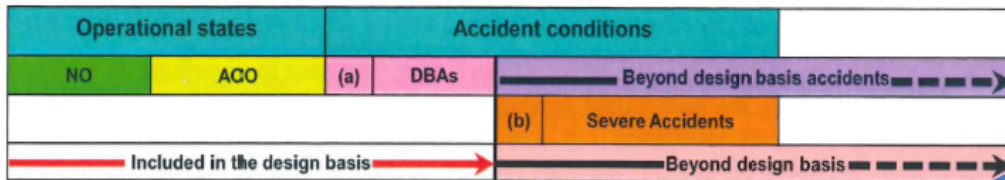
（3）我が国の SA 対策の状況

福島第一原子力発電所事故後、我が国では新規制基準に適合するよう多数の SA 対策が実施され、欧州プラントと比較しても遜色ない十分なレベルに到達した [2-7]。今後は、設備設計だけに頼るのではなく、米国の FLEX 対策に見られるように HF（人的要因）や可搬式設備の活用により更に安全性向上を図ることが期待される。

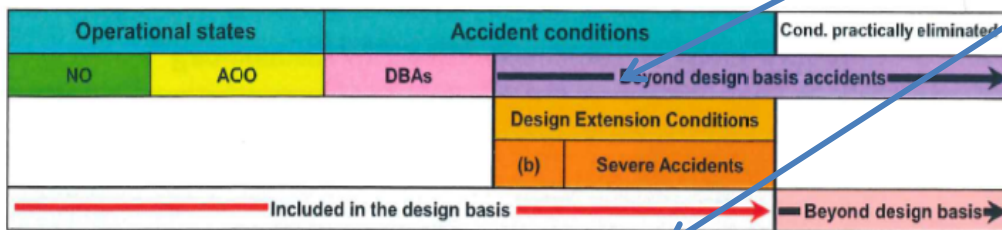
関連資料

- [2-1] IAEA , INSAG-12: Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants.
- [2-2] OECD-NEA, Implementation of Defense in Depth at Nuclear Power Plants.
- [2-3] IAEA, INSAG-1/2 : Safety Principles for Nuclear Power Plants.
- [2-4] IAEA, SSR-2/1: Safety of Nuclear Power Plants: Design.
- [2-5] 日本原子力学会原子力安全部会、外的誘因事象への対策、2014年8月
www.aesj.or.jp/~safety/H260818summer_seminor_siryou6.pdf.
- [2-6] 東京電力(株) : 当社の原子力発電プラントの安全確保に関する考え方
www.tepco.co.jp/cc/direct/images/130125a.pdf.
- [2-7] Some Considerations on Severe Accident Countermeasures, ICONE23, 1097.

NS-R-1, 2000



SSR-2/1, 2012



① レベル4を
DEC と呼称
② レベル4まで
設計範囲

Level 1 Level 2 Level 3 Level 4 Level5

図 2.1 深層防護の歴史的変化

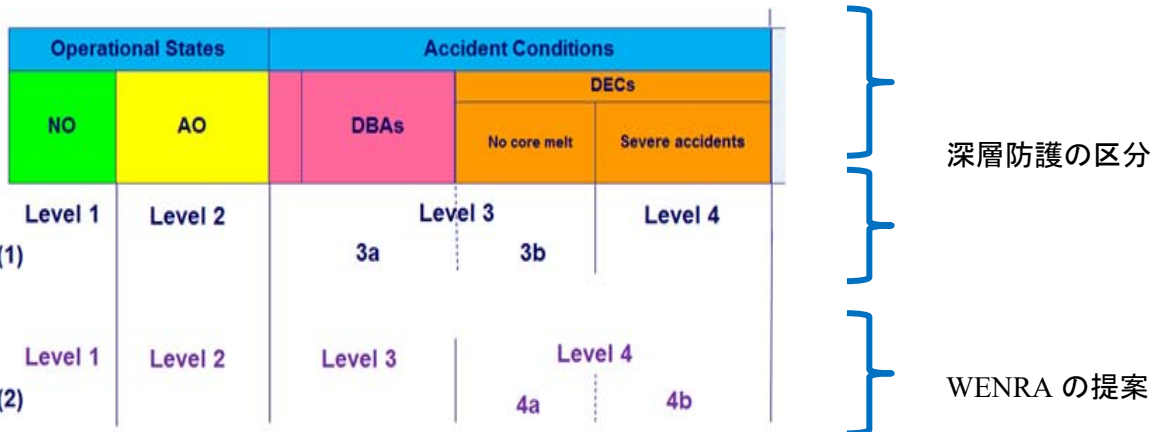


図 2.2 議論中の深層防護

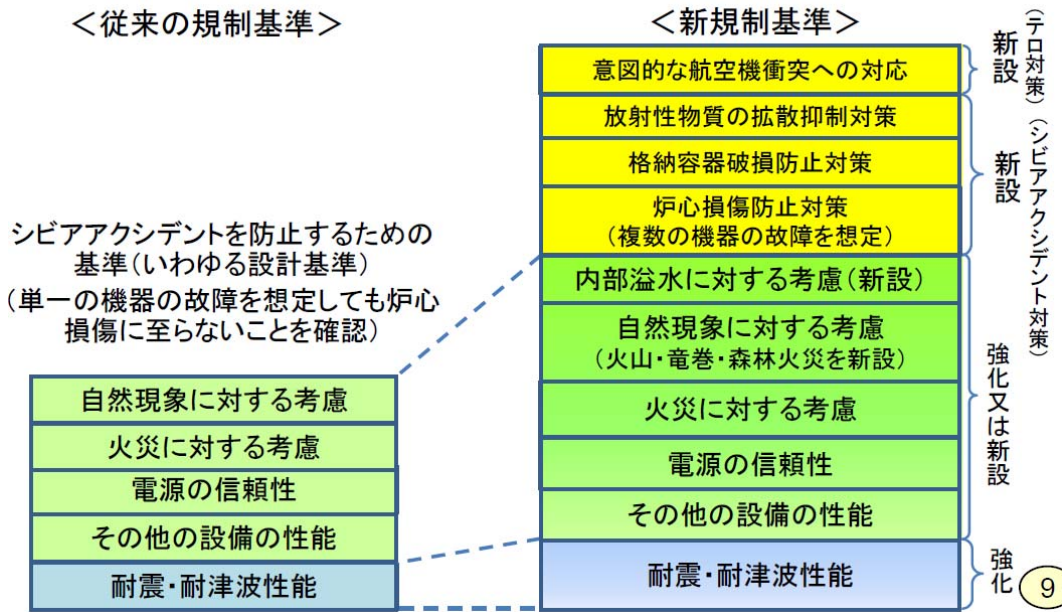


図 2.3 新規制基準と深層防護 (NRC の HP より)

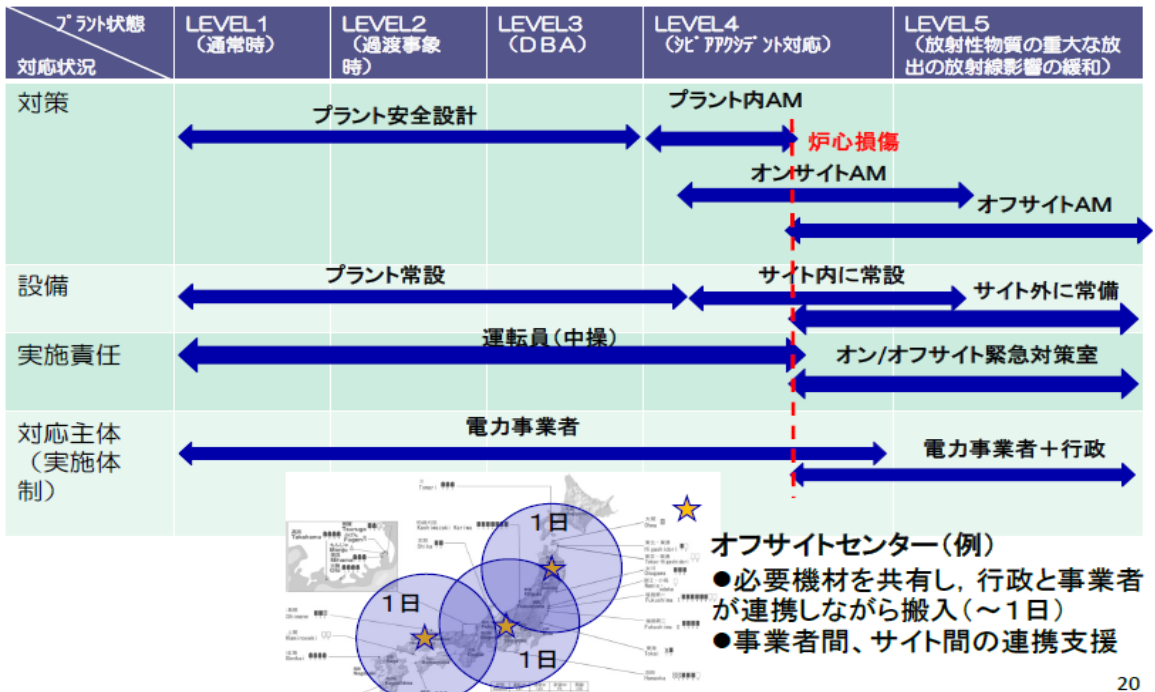


図 2.4 我が国の深層防護の実装化の例 (その1)

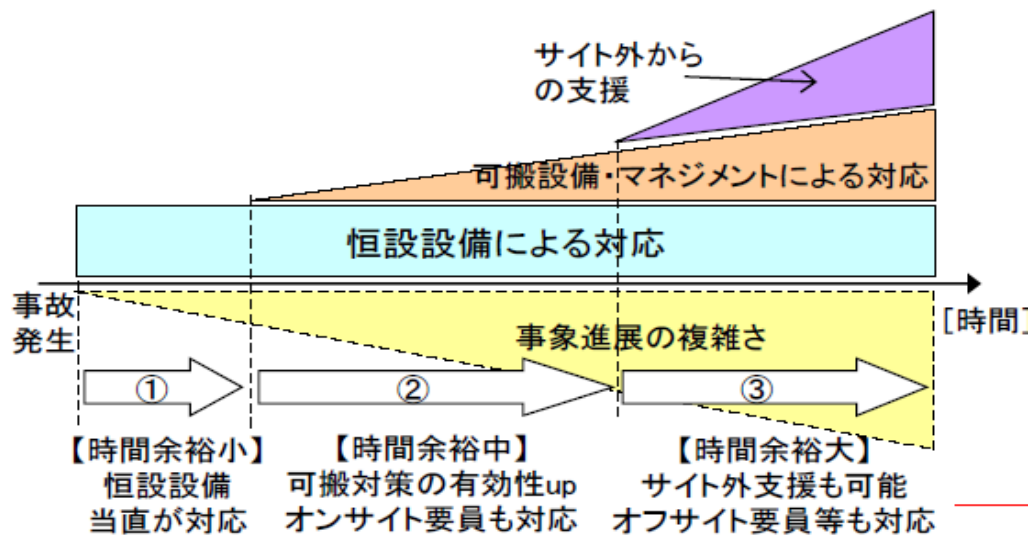


図 2.5 我が国の深層防護の実装化の例（その2）

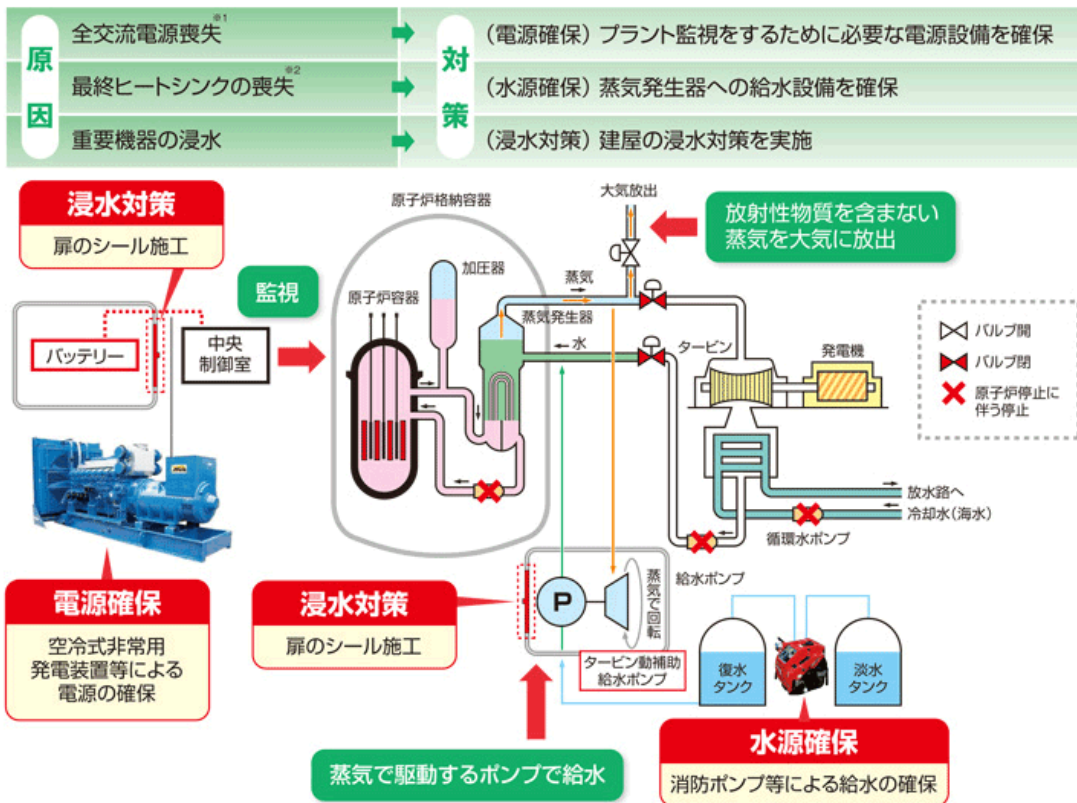
3. 電気事業者の安全設備対策の状況

福島第一発電所事故以降、各電気事業者は緊急安全対策に取り組んだ。その後、原子力発電所の総合的安全裕度評価のためのストレステストを行った。現状では、原子力規制委員会の新規制基準の施行に伴い、電気事業者は膨大なコストをかけて安全対策を実施しているが、国民からはその安全対策の必要性や有効性に対して十分な理解を得られているとは言えない。これは新規制基準の定量的な評価基準が不明確であり、また更なる安全対策に向けた取組みを強く求められていることによるものと考えるが、果たしてそれがどの程度効果的かあるいは過剰ではないかについて十分な検証がないまま安全対策だけが進んでいる状況であると考えられる。

3.1 では、公開情報に基づき、福島第一発電所事故後の安全強化対策の取組み状況を、ハード的な対策、ソフト的な対策、対策コスト等について示す。また 3.2 では、対策による電気事業者の疲弊状況を、経営状況、電気料金、電力購入先変動などから示す。

3.1 福島第一原子力発電所事故後の安全強化対策の状況

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震発生直後、福島第一原子力発電所では「止める」機能は働いたが、全交流電源の喪失、海水ポンプ損傷等により「冷やす」機能が失われ、結果として放射性物質を「閉じ込める」ことができなかった。このことから、各電気事業者は緊急時にも原子炉や使用済燃料プールを冷却し、同じような事態にならないように、福島第一原子力発電所事故の後直ちに、図 3.1 に示すように緊急安全対策として「電源確保」「水源確保」「浸水対策」としてハード対策およびソフト対策に取組み、原子力発電所の安全性向上を図った。なお、関西電力（株）における安全確保に向けた取組みについては、別添付録 2 を参照されたい。



- ※1 外部電源、非常用ディーゼル発電機の機能が失われ、発電所が完全に停止すること。
- ※2 最終ヒートシンクの喪失は、燃料からの熱を除熱するために海水を取水できなくなること。

図 3.1 原子力発電所における緊急安全対策概要

平成 23 年 7 月 11 日、政府は福島第一原子力発電所事故を踏まえ、原子力発電所における安全上重要な施設や機器等がどの程度まで耐えられるのかを調べたうえで、原子力発電所として総合的に安全裕度を評価するストレステストを行うことを公表した。

これは、国民・住民が安心・信頼確保のために、欧州諸国で既に導入されていたストレステストを参考に、新たな手続き、ルールに基づく安全評価を行うものであり、設計上の想定を超える地震や津波等に襲われた場合に対し、どの程度の安全裕度を有するかの評価を行い、緊急安全対策の効果がどの程度かを定量的に評価し、原子力発電所の定期検査後の再起動の判断材料とするための「一次評価」と、欧州諸国のストレステストの実施状況、福島原子力発電所事故調査・検証委員会の検討状況を踏まえた総合的な安全評価を行うための「二次評価」があった。しかし、平成 25 年 7 月 8 日施行の原子力規制委員会の新規制基準にて網羅されたことから、「二次評価」は行われていない。

平成 23 年 7 月 22 日、旧原子力安全・保安院から福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全性に関する総合評価(ストレステスト)に関する指示を受け、各電気事業者は、原子力発電所の定期検査後の再起動のための一次評価を行った。

平成 24 年 2 月 13 日、旧原子力安全・保安院の「関西電力(株)大飯 3 号機及び 4 号機の安全性に関する総合的評価(一次評価)に関する審査書について」では、一層の安全強化対策として、下記の 6 項目が求められた。[3-1]

1. 要員召集体制の構築および強化
 - ・ 常駐要員の強化
 - ・ 協力会社支援体制の構築
 - ・ 対策本部要員のより確実な召集
2. 免震事務棟の前倒し設置及び、より確実な代替措置の構築
 - ・ 免震事務棟の早期設置
 - ・ 代替場所の指揮所としての機能充実および指揮所機能の訓練
3. 空冷式非常用発電装置の分散配置
 - ・ 落石防護柵を背後斜面に設置
 - ・ 落石による共通要因故障回避のための分散配置
4. 3 号機浸水口の津波による漂流物防護柵の強化
 - ・ 浸水口手前に車両等の漂流物進入を防止する鋼製門扉を設置
 - ・ 浸水口である防潮扉をより信頼性の高い水密扉に取替
5. 陀羅山トンネル内の未使用配管の撤去
 - ・ トンネル内の頂部にある耐震クラスの低い未使用配管の撤去
6. 消防ポンプの代替の取水地点の検討
 - ・ 取水ポイントの漂着物等撤去用の重機(油圧ショベル)配備
 - ・ 地震等の影響を受けにくい代替取水ポイントを複数選定し、訓練実施要員召集体制の構築および強化

さらに、平成 24 年 3 月 28 日、旧原子力安全・保安院が、東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会での議論を踏まえて取り纏められた「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見について」[3-2]では、事故の教訓を今後の原子力安全に役立てるために、事象の進展に従って整理された 30 の安全対策が求められた。

A) 地震等による長時間の外部電源喪失の防止のための外部電源対策

1. 外部電源システムの信頼性向上
2. 変電所設備の耐震性向上
3. 開閉所設備の耐震性向上
4. 外部電源設備の迅速な復旧

**B) 共通要因による所内電源の機能喪失の暴威/非常用電源の強化のための
所内電気設備対策**

5. 所内電源設備の位置的な分散
6. 浸水対策の強化
7. 非常用交流電源の多重性と多様性の強化
8. 非常用直流電源の強化
9. 個別専用電源の設置
10. 外部からの給電の容易化
11. 電気設備関係予備品の備蓄

C) 冷却注水機能喪失の防止のための冷却・注水設備対策

12. 事故時の判断能力の向上
13. 冷却設備の耐浸水性・位置的分散
14. 事故後の最終ヒートシンクの強化
15. 隔離弁・SRVの動作確実性の向上

D) 代替注水機能の強化

16. 使用済燃料プールの冷却・給水機能の信頼性向上

**E) 格納容器の早期破損/放射性物質の非管理放出の防止のための格納容器破損・
水素爆発対策**

17. 格納容器の除熱機能の多様化
18. 格納容器トップヘッドフランジの過温破損防止対策(PWR対象外)
19. 低圧代替注水への確実な移行
20. ベントの確実性・操作性の向上
21. ベントによる外部環境への影響の低減
22. ベント配管の独立性確保
23. 水素爆発の防止(濃度管理及び適切な放出)

F) 状態把握・プラント管理機能の抜本的強化のための管理・設備対策

- 24. 事故時の指揮所の確保・整備
- 25. 事故時の通信機能確保
- 26. 事故時における計装設備の信頼性確保
- 27. プラント状態の監視機能の強化
- 28. 事故時モニタリング機能の強化
- 29. 非常事態への対応体制の構築・訓練の実施

平成 24 年 9 月 19 日、旧原子力安全・保安院に代わって新たに原子力規制委員会が発足し、原子力規制委員会は東京電力福島原子力発電所事故以来、地に落ちた原子力規制への国民の信頼の回復を最大の課題として取り組み、東京電力福島第一原子力発電所の事故の反省や国内外からの指摘を踏まえた原子炉等の設計を審査するための新規制基準[3-3]は平成 25 年 7 月 8 日に施行された。新規制基準では、想定を上回る自然災害やテロ攻撃に備えた「重大事故対策」、活断層調査の強化や津波防護対策を定めた設計基準「耐震・耐津波性能」、現存設備の安全対策の強化する設計基準「自然現象・火災に対する考慮等」の 3 つから構成されている。[3-4] (図 3.2、図 3.3 参照のこと)

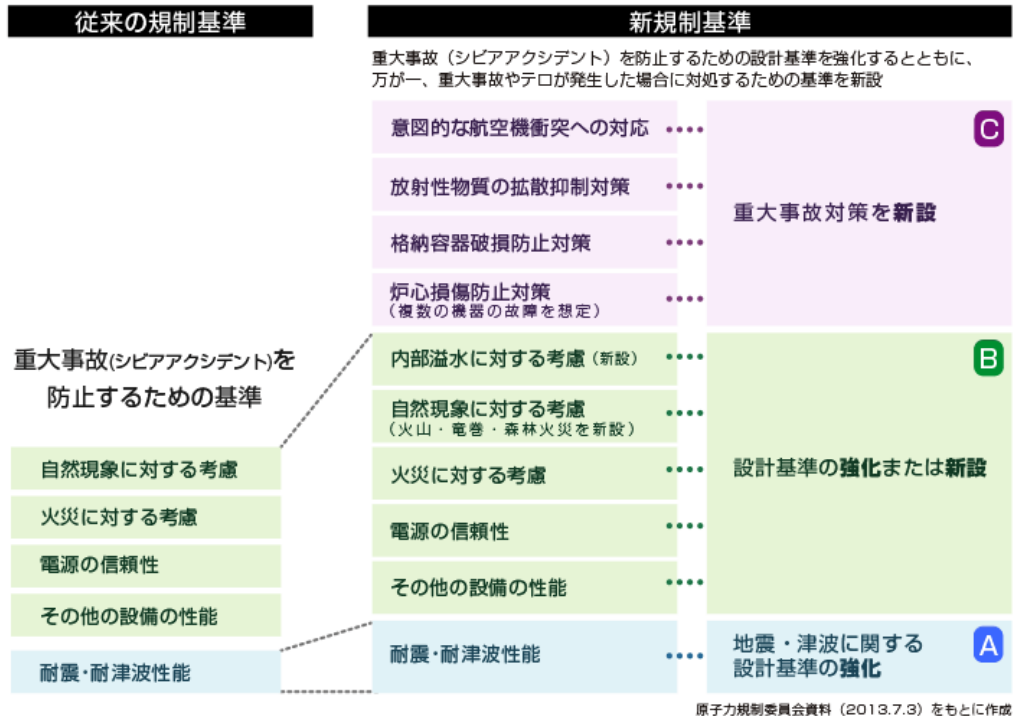


図 3.2 新規制基準の概要

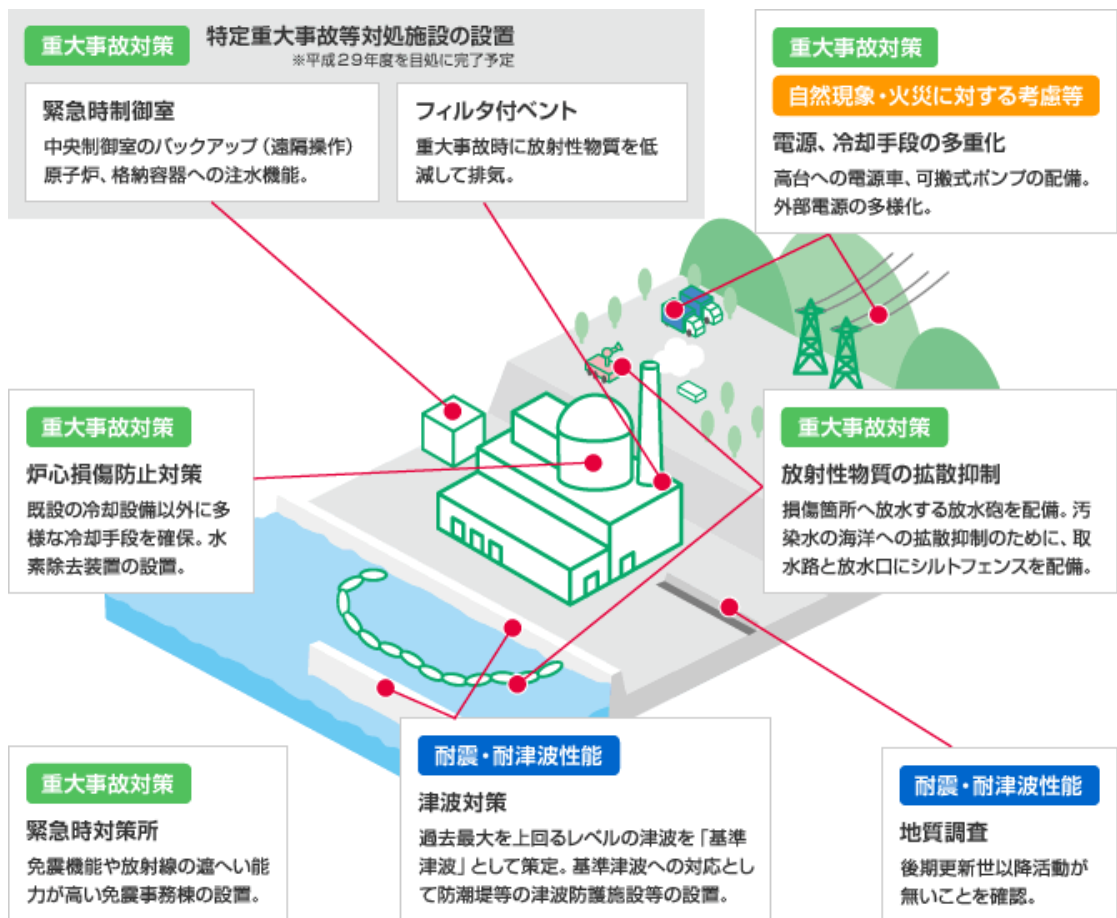


図 3.3 新規制基準で新たに求められた対策

(1) 原子力規制委員会の新規制基準に対する安全審査について

平成 25 年 7 月 8 日、原子力規制委員会の新規制基準施行に伴い、各電気事業者は原子力規制委員会へ発電用原子炉に係る安全審査の申請[3-5]を行い、現在安全審査が進められている。(表 3.1 参照のこと)

表 3.1 発電用原子炉に係る安全審査の申請状況
(平成 28 年 2 月末現在)

申請者	対象発電炉（号炉）	申請日	許可日
北海道電力	泊原子力発電所（1/2号炉）	2013年7月8日	
北海道電力	泊原子力発電所（3号炉）	2013年7月8日	
関西電力	大飯原子力発電所（3/4号炉）	2013年7月8日	
関西電力	高浜原子力発電所（3/4号炉）	2013年7月8日	2015年2月12日
四国電力	伊方原子力発電所（3号炉）	2013年7月8日	2015年7月15日
九州電力	川内原子力発電所（1/2号炉）	2013年7月8日	2014年9月10日
九州電力	玄海原子力発電所（3/4号炉）	2013年7月12日	
東京電力	柏崎刈羽原子力発電所（6/7号炉）	2013年9月27日	
東京電力	柏崎刈羽原子力発電所（1/6/7号炉）	2014年12月15日	
中国電力	島根原子力発電所（2号炉）	2013年12月25日	
東北電力	女川原子力発電所（2号炉）	2013年12月27日	
中部電力	浜岡原子力発電所（4号炉）	2014年2月14日	
日本原子力発電	東海第二原子力発電所	2014年5月20日	
東北電力	東通原子力発電所（1号炉）	2014年6月10日	
北陸電力	志賀原子力発電所（2号炉）	2014年8月12日	
Jパワー	大間原子力発電所（建設中）	2014年12月16日	
関西電力	美浜原子力発電所（3号炉）	2015年3月17日	
関西電力	高浜原子力発電所(1/2(3/4)号炉)	2015年3月17日	(2016年2月24日)
中部電力	浜岡原子力発電所（3号炉）	2015年6月16日	
日本原子力発電	敦賀原子力発電所（2号炉）	2015年11月5日	

(2) 新規制基準の安全審査に伴う安全対策について



原子力規制委員会の新規制基準の安全審査に新規制基準の安全審査に伴って、各電力会社が追加した安全対策の一例 [3-6]


A) 冷却・注水設備対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 蒸気発生器直接給水高圧ポンプの設置 	 <p>PWR 可搬式代替低圧注入ポンプ</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 可搬式代替低圧注入ポンプの設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用済燃料ピットへの可搬型スプレイ設備の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯水槽・貯水池・貯水タンク・地下水槽の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 代替屋外給水タンクの高台設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時海水取水設備（EWS）の設置 	
B) 炉心損傷防止対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 原子炉緊急停止失敗（ATWS）時のタービン発電機自動停止信号回路等の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 加圧器逃がし弁用窒素ガス供給設備を現場に配備 	
C) 格納容器破損・水素爆発対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 格納容器内のイコライザーおよび静的触媒式水素再結合装置（PAR）の設置 	 <p>静的触媒式水素再結合装置</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 格納容器再循環ユニットへの 可搬型送水ポンプ車の配備 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 格納容器頂部水張り設備の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ BWR 格納容器ベント弁開閉用の手動ハンドル設置 	

<ul style="list-style-type: none"> ・ BWR 原子炉建屋トップベント設備の設置 	 <p>BWR 原子炉建屋トップベント設備</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ BWR 原子炉ウェルへの水注入設備の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 原子炉下部キャビティー側面ライナプレートへの防護壁設置(MCCI 影響防止対) 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 格納容器水素濃度、圧力、水位検出器の耐環境性向上対策(検出器の開発・実証試験) 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ BWR 原子炉建屋内触媒式水素ガス濃度計の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ BWR 原子炉建屋 4 階ハッチの固縛装置の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ BWR 原子炉建屋内の静的触媒式水素再結合装置 (PAR) の設置 	
<p>D) 地震対策</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 免震事務棟の設置 	 <p>免震事務棟</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉛直アレイ地震観測計/大深度地震観測計の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源車などの可動車のロープ固定 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 構内道路の陥没防止対策 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 周辺斜面の安定化/法面強化 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 中央制御室運転員執務机/什器類等の固定化 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 光天井の耐震補強/器具・ルーバーの落下防止措置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 換気空調設備等の耐震性強化 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 海水ピットの浸水防止対策 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋の耐震補強のため鉄筋追加の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 送電線がいしの耐震性部品への取替 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 外部電源信頼度向上対策として高年劣化した鉄塔の建替え (塩害防止対策含む) 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤改良 (浸透固化: シリカのゲル化) による液状化防止 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR 格納容器ポーラクレーン耐震裕度向上対策 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震による火災延焼防止用の排気管内に高温空気を遮断用防火ダンパの追加設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 海水管設置地盤の支持性能の向上対策 	

E) 津波対策	
<ul style="list-style-type: none"> 防潮ゲート/防護壁/杭式防潮堤の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> HF 帯電波レーダーによる津波監視 	
<ul style="list-style-type: none"> 赤外線監視型津波監視カメラの設置 	 <p>赤外線監視型津波監視カメラ</p>
<ul style="list-style-type: none"> 予備変圧器の高台移設/油防堰の嵩上 	
<ul style="list-style-type: none"> 貯留堰の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> 浮遊物の防止柵の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> 構内車両の乗入れ禁止（浮遊物の排除） 	
<ul style="list-style-type: none"> 取水口溢水防止壁（フラップゲート・フラッティングゲート）の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> 内部溢水防止用の浸水防止堰、漏えい感知器の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> 水密扉/強化扉の多重化 	
<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋開口部の自動閉止装置の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> 盛土の嵩上げ 	
<ul style="list-style-type: none"> 地盤の改良工事 	
<ul style="list-style-type: none"> 津波による土砂巻き上げ防止対策（合成繊維を用いた袋材に割石を詰め海底に轢きつめる） 	
<ul style="list-style-type: none"> 敷地浸水時の排水用排水管の設置 	
F) 竜巻対策	
<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプエリア飛来物防護壁/防護金網の設置 	
 <p>海水ポンプエリアの防護壁</p>	 <p>海水ポンプエリア飛来物防護壁</p>
<ul style="list-style-type: none"> 重油タンクエリア飛来物防護材の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> 循環水ポンプ建屋飛来物防護ネットの設置 	

<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用済燃料ピット上面への防護ネットの設置 	
G) 土石流対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 土石流危険区域内の土石流対策のための堰堤設置 	
H) 外部火災対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 防火帯（モルタル吹付け・樹木伐採 18m～35m）の設置 	 <p>(モルタル吹付け状態)</p> <p>防火帯</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ 重要機器設置されている建屋外壁に断熱材の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 送電線接続箇所屋根付きしゃ蔽建屋の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 固体廃棄物庫の消火設備の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火水バックアップタンクの設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ トンネル式貯水槽の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 自然環境監視のための赤外線監視型構内監視カメラの設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 軽油タンクの地下化 	
I) 内部火災対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火設備の設置（消火水スプリンクラーの設置・ハロゲン消火設備） 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火システムの追設（消火貯水タンクの増設） 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ ケーブルの系統分離強化および防火措置（非難燃ケーブルへの防火シート） 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐火障壁の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 火災感知器設置や火災延焼防止用装置の増強 	 <p>火災延焼防止用装置</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器浸水防止のための排水能力の高い配管に取替 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 床ドレン口への逆止フロートの設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 炭酸ガス消火器の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ ディーゼル発電機の燃料タンク地下化 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 内部火災対策により設置してスプリンクラーによる放水に伴う内部溢水対策(機器操作 	

スイッチや機器への防水カバー、溢水防護区画(扉)への堰の設置	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 新型中央制御盤の火災影響軽減対策(筐体による分離、火災感知設備の設置等) 	
J) シビアアクシデント(SA)時の重大事故対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 特定重大事故等対処施設（緊急時制御室等）の設置 ・ 地下トンネル・通路の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ ガスタービン非常用発電機の設置 	 <p>ガスタービン非常用発電機</p>
K) 被ばく低減対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 格納容器上部しゃへいの設置 ・ 放水砲の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ マルチコプター-(ドローン)による放射線モニタリング 	 <p>マルチコプターの活用</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ 中央制御室へのチャンジングエリアの設置 ・ 中央制御室用放射線防護装置 または、待機室や待機所または待避所の設置 ・ 緊急時対策所への可搬型空気浄化装置の設置 ・ 緊急時対策所の被ばく防護壁の設置 ・ タングステン入り高線量対応防護服等を配備 	
L) 放射性物質の拡散抑制	
<ul style="list-style-type: none"> ・ シルトフェンスの設置 ・ ゼオラライト土嚢袋の設置 ・ 海水循環型ゼオラライト浄化装置（Cs, Sr など、多核種の吸着除去）の設置 ・ 繊維状吸着材浄化装置の設置検討および汚染水処理対策技術の導入検討 	
M) テロ対策	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 防護壁の設置 ・ 侵入監視装置の強化 ・ 構内従事者情報の電力自主管理 	

<ul style="list-style-type: none"> 大型航空機衝突等に備えた泡混合器による泡消火剤の放水設備の設置 特定重大事故等対処施設（緊急時制御室等）の設置 	
N) その他	
<ul style="list-style-type: none"> 地下通路・トンネルカルパートの設置/アクセス・ルートの多重性 コンクリートポンプ車等の配備 新安全基準対策用資機材置場の整備(分散配置) 航空機レーダーの設置検討 小型無人機(ドローン)の監視強化と対策(国による 原子力発電所上空の飛行禁止等の規制) 中央制御室への可搬式照明器具/ランタン・ヘッド ライト・懐中電灯の設置（複数台） 中央制御室への酸素濃度計および二酸化炭素濃度計の配備 当直体制の強化（直運転員数の増員：6 直体制→5 直体制） 当直運転員の教育・訓練の強化（教育訓練時間の 確保：5 直体制→6 直体制） リスクマネジメントの強化 安全性向上計画策定における確率論的リスク評価（PRA）の活用 包括的なリスクの分析・評価による継続的なリスク低減対策の検討・実施 夜間の携帯用照明だけの作業訓練の実施 インターフェンス LOCA 時余熱除去ポンプ入口弁閉止操作の成立性改善（非管理区域外からの操作化） 緊急時対策所用電源車分電盤用火災感知器の設置 使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性評価の実施 PWR 格納容器(CV)再循環サンプの多重性および 独立性のための仕切壁の設置 	
<ul style="list-style-type: none"> 原子力緊急事態支援センター（遠隔操作ロボットなどの資機材を配備等）の設置 	 <p>遠隔操作ロボット</p>

（3）福島第一発電所事故後の教育・訓練への取組みについて[3-7]

各電気事業者は、福島第一原子力発電所事故を踏まえて原子力発電所を運転する運転員に対する教育・訓練内容を大幅に見直し、長時間 SBO 訓練や炉心溶融解析モデルを導入した炉心溶融状態における訓練に対応するためのシミュレータ設備の改修を行っている。

BWR 運転訓練センター(BTC)と原子力発電訓練センター(NTC)でも、福島第一原子力発電所事故を踏まえて教育・訓練の改善に取り組んでいる。

BTC では、福島第一原子力発電所事故を踏まえた過酷事故訓練として「福島第一事故振り返り・対策実践訓練」を開発し、2012年8月から訓練の提供を開始している。

NTC では、SBO 事象が発生した場合のプラント挙動や SA 挙動の解説教材の作成、全交流電源及び直流電源喪失の炉心溶融および格納容器損傷状態以降の訓練を可能とするために、シミュレータの改造し、「シビアアクシデント訓練強化コース」を行っている。

このように、運転訓練センターにおいては、規制の要求とは別に福島第一原子力発電所事故の課題に対応できるように、シミュレータ訓練の高度化に取り組んでおり、講義内容の改定に加えシミュレータの機能として過酷事故模擬を追加するなど行うことで事業者からの過酷事故に対する教育・訓練ニーズへの対応を進めている。

また、運転員以外の緊急時対応要員のための教育支援ツールの開発、休日・夜間の複数プラントの同時被災、被災後の余震や津波襲来が予想できない状況を想定し、初動対応が確実にできる緊急時対応体制の強化（要員の確保）を図り、緊急時対応訓練では、事故時の対応能力の向上、および運転当直との連携強化、休日・夜間訓練のほか、降雪時などの過酷な環境下での参集訓練やシミュレータ設備と連携させた訓練、および事故訓練シナリオを伏せたままの訓練を実施している（図 3.4、表 3.2 参照のこと）。



図 3.4 非常灯照明下を想定したシミュレータ設備による対応訓練(関西電力)

表 3.2 重大事故等発生時を想定した訓練実績（関西電力高浜発電所の場合）

・重大事故等発生時を想定した訓練を実施

					高浜発電所実績
	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
教育・演習受講者人数 (延べ人数)	約480人	約1,300人	約1,200人	約1,600人	約2,000人 (予定)
訓練回数	約280回	約400回	約800回	約1,500回	約600回(※)

※：8月末実績

(4) 原子力規制委員会への特定重大事故等対処施設の原子炉設置許可変更申請
について

原子力発電所へのテロ対策などに備えて配備が要求されている特定重大事故等対処施設（特重施設）※の原子炉設置許可変更申請は6発電所10基（PWR6基、BWR4基）となっている。

特重施設の設置には新規規制基準で猶予期間が設けられており、原子炉など本体施設の工事計画認可（工認）取得から5年後までに完成が求められている。10基のうち、既に工認が下り、猶予期間の起算日が確定しているのは4基となっている。[3-8]（表3-3参照のこと）

※特重施設とは、意図的な航空機衝突やテロ行為などによって、原子炉冷却機能が損なわれるなどによって、炉心溶融に至るなど、その恐れがある場合に備える施設で、原子炉格納容器を減圧し破損を防ぎ設備（フィルター付きベント装置）や、通常の中央制御室を代替できる緊急時制御室などを設置することが新規規制基準では求められている。

表 3.3 特定重大事故等対処施設の申請状況（平成28年1月末現在）

プラント	対象発電炉（号炉）	本体審査	本社工認 取得時期	設置期限
九州電力	川内原子力発電所（1号炉）	合格	2015年3月	2020年3月
	川内原子力発電所（2号炉）		2015年5月	2020年5月
関西電力	高浜原子力発電所（3号炉）	合格	2015年8月	2020年8月
	高浜原子力発電所（4号炉）		2015年10月	2020年10月
四国電力	伊方原子力発電所（3号炉）	合格	近く認可	—
北海道電力	泊原子力発電所（3号炉）	審査中	—	—

東京電力	柏崎刈羽原子力発電所(1号炉)	審査中	—	—
	柏崎刈羽原子力発電所(6号炉)		—	—
	柏崎刈羽原子力発電所(7号炉)		—	—
Jパワー	大間原子力発電所(建設中)	審査中	—	—

(5) 福島第一発電所事故以降の原子力発電所における安全対策費用について

新規規制基準施行前までに原子力規制委員会から地震や津波から原子力発電所を守る安全対策工事の強化を求められた結果、2013年7月時点で日本原子力発電を含む10社の安全対策費用の総額は約1兆5,000億円にのぼった。

新規規制基準の安全審査に伴い、電気事業者各社が原子力発電所の安全対策に投じた費用は、2015年3月時点では日本原子力発電を含む10社合計で約2兆6,000億円に達し、1年で約1.7倍に増加したと言われている(表3.4参照のこと)。

なお、安全審査の過程によっては更なる安全対策が求められることにより安全対策費用がさらに膨らむ可能性が高い[3-9]。

表 3.4 各電気事業者における原子力発電所の原発安全対策費用(新聞報道より)

13年1月	13年7月	14年1月	14年6月	14年12月	15年3月	
9,982	15,000	16,172	22,000	24,000	26,000	単位: 億円

	13年1月	14年1月	14年7月	15年6月	15年12月	
北海道電力	600	900	15年度~18年度 1,000~1,500→ 最終 2,000~2,500			
東北電力	250	1,540	—	3,100 超		
東京電力	700	2,700	4,700	4,700		
	←福島福島第一原子力発電所 廃炉・汚染水対策費用(国が投じた費用) 1,892 億円(2011年以降)					
中部電力	1,500	3,000	—	3,500 超		
	←使用済核燃料乾式貯蔵施設建設費約 300					
北陸電力	250	850	1,500~2,000 程度			
関西電力	2,850	2,850	—	2,850	4,929	
	←高浜緊急時対策所 700、大飯・美浜(未公表)					
	←高浜 1/2 特別点検 2,000 程度、美浜 3 特別点検 1,000 程度					
	←美浜 1/2 廃炉 680					
中国電力	←美浜 3 1,290、高浜 1/2/3/4 3,881、大飯 3/4 108					
	500	1,000	—	2,000 超	4,000 程度	
←島根 1 廃炉 378						
四国電力	832	832	—	1,200 超	1,700	
九州電力	2,000	2,100	3,100	3,100 超	4,100 超	
	←玄海 1 廃炉 357					
	←川内テロ対策設備(特定重大事故等対処施設) 1,000 以上					
日本原電	500	500	—	930 超		
	←敦賀 1 廃炉 363					
Jパワー	—	—	—	1,300		

(a) 各電気事業者における安全対策費用について

各電気事業者が、これまでに投じた安全対策費用は、下記の通りある。[3-8]

- ・北海道電力は、2015年3月24日、泊（北海道）の再稼働に向けた安全対策に投じる費用は2011年度から2015年度までの5年間で900億円、2018年度までの8年間で1,600億円としていたが、2,000億～2,500億円に引き上げ、火災検知器の更新や消火活動用照明の設置など火災対策の対象地域を広げ、緊急時の指令所への電力供給の設備も拡充する。
 - ・東北電力も、2014年9月下旬、女川（宮城県）と東通（青森県）の安全対策として防潮堤やディーゼル発電機の燃料タンク地下化などの建設費用に必要な追加費用を3千数百億円と、従来見通しの2倍以上に上方修正した。
 - ・東京電力は、柏崎刈羽6.7号機の事故時に放射性物質の流出を抑えるフィルタ付きベント設備の設置や火災対策の強化などを求められ、3,200億円としてきた費用を4,700億円に増額した。
 - ・中部電力は、浜岡4号機の防護壁の建設や配管の補強工事などを進めた結果、安全費用は3,000億円としていたが、事故対応拠点の機能強化などが必要になったため、2014年10月末の対策工事完了時期を1年延期し、当初から500億円以上の上積みし、3,000億円台後半に膨らむ。
 - ・関西電力は、2015年12月末で4,929億円に膨らみ、高浜3、4号機で重大事故対策などに使う設備は約720設備で、費用は1,030億円超に上るとされていたが、2016年2月末で再稼働を申請していない原発を除く7基分で既に約5,279億円に膨らんでいる。
- 2016年11月に40年を迎える美浜3号機の安全対策費だけでも1,290億円で、「基準地震動」を引き上げたため、大幅に増えることが確実視されている。
- ・四国電力は、伊方3号機（愛媛県）の火山や竜巻などの自然災害による対策を強化のため、追加の安全対策費用は約740億円に上り、19年3月期までに1,740億円とした。
 - ・中国電力は、2,000億円超としていたが、総額4,000億円程度になる見込みを明らかにした。
 - ・九州電力は、2014年5月、川内1.2号機の海水ポンプを津波から守る防護壁の建設などのため、安全対策費用を1,000億円上積みしたが、2014年12月、航空機を意図的に衝突するようなテロが起きた場合でも原子炉の冷却機能の維持や緊急時制御室などを設けた特定重大事故等対処施設の設置で、自主的な

取り組みも含め、新規制基準に対応した安全対策費は累計で4千億円に膨らむ見通し。

- ・日本原子力発電は930億円超、電源開発（Jパワー）は1,300億円を投じている。

また、原子力発電所運転年数が40年を超えても国の事前審査を通過すれば最長20年延長できるが、審査合格にはさらに1千億円規模の改修工事が必要といわれている。一方、廃炉にすると1基当たり最大800億円かかるとされ、関西電力や中国電力、九州電力、日本原子力発電の老朽5基の廃炉を決断した。これは運転を続けると安全対策に巨額の費用が必要となるため、廃炉の方が経済的との判断が働いた。廃炉が決定した関西電力美浜1.2号機（福井県）、中国電力島根1号機（島根県）、九州電力玄海1号機（佐賀県）と日本原子力発電敦賀1号機（福井県）である。なお、老朽原発として廃炉の判断を求められていた関西電力の高浜1.2号機および美浜3号機（福井県）はさらなる20年の運転延長のための特別点検を行い、新規制基準に伴う安全審査を申請した。廃炉を決定した美浜1.2号機で680億円、島根1号機で378億円、玄海1号機で357億円、敦賀1号機で363億円を廃炉費用として見込んでいる。

なお、文部科学省は、2011年にもんじゅを廃炉にするには30年間で約3,000億円の廃炉費用が必要との試算している。これまでに1兆円を超える費用を投入しながらトラブル続きで運転実績がほとんどないもんじゅの維持には今後も年間200億円程度掛かり、廃炉を選択する場合でも巨額の費用が発生することになる。文科省によると、内訳は解体に約1,300億円、原子炉からの燃料取り出しに約200億円が掛かるほか、廃炉の作業期間となる30年間の維持管理費を約1,500億円と見込んでいる。

原子力発電所の長期停止の影響による立地県への固定資産税の影響から、福井県は原子力発電所に装荷した核燃料の価格に応じて電力事業者に課税している核燃料税を廃炉にした原子力発電所からも徴収できるか検討を始め、2016年中の条例改正を目指す。福井県には廃炉が決まった日本原子力発電敦賀1号機と関西電力美浜1.2号機があり、現行条例では原子力規制委員会で廃止措置計画認可となれば課税対象から外れ、3基の廃炉で年間数億円の減収が見込まれ、現行条例は2011年の改正で、これまでの「価格割（装荷された核燃料の価格に課税）」に加えて原子力発電所が停止していても「出力割」を初めて課税対象とした導入、同条例は5年毎に更新され、2016年11月に期限が切れるために更新時に課税対象を広げたい。（参考：2015年度の福井県核燃料税は「出力割」のみで61億円。廃炉対象の3基で6億円強。）[3-9]

る。東電は利益から「特別負担金」として、黒字化した2013～2014年度で計1,100億円を別に納め、まだ約6千億円になっている。東電は2015年7月に、営業損害や風評被害の賠償などの損害賠償見積額を約6兆2千億円（除染を除く）としており、これから20年以上にわたり、全国の電気利用者らが一般負担金として払い続けることになる[3-9]（表3.5参照のこと）

表 3.5 東京電力福島第一原発賠償金のための負担金

	一般負担金 (2011～2014年度)	特別負担金 (2013～2014年度)
北海道電力	201億円	
東北電力	330億円	
東京電力	1,806億円	1,100億円
中部電力	382億円	
北陸電力	186億円	
関西電力	971億円	
中国電力	129億円	
四国電力	201億円	
九州電力	521億円	
日本原子力発電	262億円	
Jパワー	88億円	
合計	5,083億円	1,100億円

（7）原子力発電所の年間維持費について

原子力発電所の維持、管理のため費用について、2014年では電力会社9社で、約1兆4,260億円に上り、この費用のうち多くが電気料金に転嫁されている。内訳は、人件費や修繕費、使用済燃料の再処理費などで、大部分は維持管理費が占めている。

東京電力は5,486億円で最も多く、福島第2原子力発電所(福島県)と柏崎刈羽原子力発電所(新潟県)の維持管理費が中心で、福島第1原子力発電所の廃炉費用は含まれない。関西電力は2,988億円、九州電力は1,363億円と続く。日本原子力発電は未明。[3-9]（表3.6参照のこと）

表 3.6 2014 年度の原子力発電所の維持費

	費用	基数	平均
北海道電力	798 億円	3	266 億円
東北電力	915 億円	4	228 億円
東京電力	5,486 億円	11	498 億円
中部電力	1,080 億円	3	360 億円
北陸電力	510 億円	2	255 億円
関西電力	2,988 億円	11	271 億円
中国電力	478 億円	2	239 億円
四国電力	642 億円	3	214 億円
九州電力	1,363 億円	6	227 億円
合計	14,260 億円	45	316 億円

※億円未満は切り捨て ※廃炉が決定したものも含まれる。

(8) 福島第一事故以降における電力融通設備の強化対策について

a) 東日本と西日本間の送電周波数変換能力の強化

東日本大震災に伴い東日本と西日本間の電力融通能力の現在が社会問題化となった。現在、東日本と西日本間の電力融通を行うための周波数を変換する周波数変換所は、静岡県「佐久間周波数変換所(変換能力 30 万 kW)」と「東清水周波数変換所(変換能力 30 万 kW)」、長野県「新信濃周波数変換所(変換能力 60 万 kW)」の 3 箇所、周波数変換能力は合計 120 万 kW である。[3-10]

東日本大震災を契機に東日本と西日本間の電力融通能力の問題解決を図り、2016 年 4 月電力小売全面自由化に伴い、電力の越境取引を加速させ、太陽光や風力などの再生可能エネルギーの発電量の増減に応じて電気を他地域に流しやすくなり、停電のリスクを低減させ、電力会社間の電気融通が容易となり停電を回避するため、2020 年度を目途に、第一段として佐久間周波数変換所の周波数変換能力を 30 万 kW から 60 万 kW に、東清水周波数変換所の周波数変換能力を 30 万 kW から 90 万 kW に増強し、長野方面で直流送電を活用して連系することで周波数変換能力は合計 210 万 kW とする。また、第二段として、2020 年後半に佐久間周波数変換所と東清水周波数変換所の設備増強により周波数変換能力 300 万 kW へ増強計画である。工事費の概算は 1754 億円と見込まれ、沖縄電力管内を除く各地の電気料金に上乗せして回収する考えだ。標準家庭で 1 カ月当たり数円～十数円の負担増となる見込み。(最終目標は、現行の変換能力の 2.5 倍、原子力発電所 3 基分としている。)

- ・ 1965 年 佐久間周波数変換所（電源開発（株）・静岡県）変換能力 30 万 kW
- ・ 1977 年 新信濃周波数変換所（東京電力（株）・長野県）変換能力 30 万 kW
- ・ 1992 年 新信濃周波数変換所の変換能力を 60 万 kW に増強
- ・ 2006 年 東清水周波数変換所（中部電力（株）・静岡県）変換能力 10 万 kW
- ・ 2011 年 東清水周波数変換所を緊急対策として変換能力を 13.5 万 kW に増強
- ・ 2013 年 東清水周波数変換所の変換能力を 30 万 kW に増強
- ・ 2020 年度 佐久間周波数変換所と東清水周波数変換所の変換能力を 90 万 kW 増強
- ・ 2020 年後半 佐久間周波数変換所と東清水周波数変換所の変換能力を 90 万 kW 増強

b)北海道・本州間連系設備の強化

北海道・本州間連系設備の供給能力は、1979 年 15 万 kW が徐々に増強され 60 万 kW に、2019 年 3 月には、30 万 kW の新たな連系線の新設、供給能力を 90 万 kW にする計画がある。2016 年 4 月電力小売全面自由化後、託送可能容量が逼迫することが問題視され、さらなる設備増強を検討中している。

c) 東北・東京間連系設備の強化

東北地方から、首都圏への送電能力を高め、首都圏で消費される電力需要の 5 分の 1 程度 とすることで、電力自由化で地域をまたぐ電力の販売が広がり、市場競争を後押しし一般家庭などの電気料金抑制するため、送電能力を 500 万 kW から 1,120 万 kW に増やす基本計画をまとめ、工期は 10 年程度かかる見通しで、連系線の長さは約 140 キロを想定している。総工費は少なくとも 1,390 億円に上ると見込まれる。

【全国における連系線供給能力】

① 北海道本州間連系設備

北海道⇄本州 60 万 kW ⇒90 万 kW(2019 年 3 月予定)

② 東北東京間連系線

東北→東京 500 万 kW/東京→東北 50 万 kW（東北大震災時は 110 万 kW）

東北→東京 1,120 万 kW（時期未定）

③ 中部東京間連系設備

東京⇄中部 97 万 kW (東北大震災時は 103.5 万 kW) ⇒120 万 kW (2013 年増強済)

⇒ 210 万 kW (2020 年度めど増強計画) ⇒ 300 万 kW (時期未定)

④ 中部北陸間連系設備

中部⇄北陸 30 万 kW

⑤ 中部関西間連系線

中部→関西 120 万 kW/関西→中部 250 万 kW (浜岡停止時に伴い一時的に 278 万 kW)

⑥ 北陸関西間連系線

北陸→関西 160 万 kW/関西→北陸 130 万 kW

⑦ 関西中国間連系線

関西→中国 270 万 kW/中国→関西 400 万 kW

⑧ 関西四国間連系線

関西⇄四国 140 万 kW

⑨ 中国四国間連系線

中国⇄四国 120 万 kW

⑩ 中国九州間連系線

九州→中国 278 万 kW/中国→九州 30 万 kW (通常運用)

※九州⇄中国 278 万 kW(2015 年 4 月～2016 年 3 月まで) (休日夜間の軽負荷期の連系線しゃ断時に周波数維持のための運用容量制限 183 万 kW)

3.2 福島第一原子力発電所事故後の電気事業者の疲弊状況：
早期の稼働が必須

(1) 2015 年 3 期連結決算から見た電力 10 社の経営状況について[3-9]

電力会社 10 社の 2015 年 3 月期決算から、原子力発電所の稼働停止に伴う燃料コストなどの増加や原子力発電所の再稼働時期が想定より遅れ、原子力発電所比率の高い関西電力、九州電力、北海道電力の 3 社は 4 期連続の経常赤字となった。一方、中部電力は電気料金の値上げにより黒字に転じ、東京電力を含む 7 電力が経常黒字となった。(表 3.8 参照のこと)

関西電力、九州電力、北海道電力の3電力における東日本大震災前の原子力発電所依存度は、2010年度末で39~44%で、東京電力(28%)や中部電力(13%)などに比べ高い。このため、原子力発電所停止に伴うコストの増加分を保有する資産の売却や賞与含む給与カットなどの人件費抑制策などの経営効率化だけでは限界であり十分に補えきれ、電気料金の値上げやさらなる経営効率化、燃料コストの削減などで増益または黒字となった他の7社と明暗を分けた。

- ・ 関西電力は計画していた高浜3/4号機(福井県)が再稼働できず、火力用燃料費がかさんだため1,130億円の赤字。(表3.7参照のこと)
- ・ 九州電力は、川内1/2号機(鹿児島県)の再稼働時期が想定より遅れ736億円の赤字。
- ・ 北海道電力は、2014年11月の電気料金を再値上げによる503億円の増収効果があったものの泊3号機が動かなかったことから93億円の赤字。
- ・ 中部電力は、2014年5月の電気料金を値上げしたことが大きく、4年ぶりに経常黒字。
- ・ 東北電力は、1年を通じて値上げ効果が出て、2年連続の黒字。
- ・ 中国電力は、3年ぶりに黒字を確保。
- ・ 九州電力は原子力発電所停止に伴う火力発電の燃料費がかさみ、2015年3月期まで4期連続の赤字で、2010年度末に単体で9,675億円だった純資産が、2014年度末は3,222億円に激減し、このままでは債務超過も考えられる状態だ。原子力発電所依存の高い九州電力にとって赤字脱却には月150億円の収支改善が見込める川内1.2号機の再稼働が不可欠である。
- ・ 電力各社は火力依存による燃料費の増加傾向のため、電力10社の2014年度の燃料費は約7兆3,000億円と、2010年度に比べて3兆7,000億円増えた。東日本大震災前に比べ、燃料費は2倍以上も膨らみ、年間約4兆円の国富が流出につながった。

表 3.7 関西電力における連結決算推移 (単位：億円)

	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
売上高	27,697	28,114	28,590	33,274	34,060
経常損益	2,379	▼2,655	▼3,531	▼1,113	▼1,130
純損益	1,231	▼2,422	▼2,434	▼974	▼1,483
燃料費	3,874	7,768	9,198	11,592	11,865

表 3.8 平成 26 年度における各電力の連結決算状況 (単位：億円)

売上高	経常損益	純損益	燃料費
北海道電力			
6,929 (6,303) 【9.9%】	▼93 (▼953)	29 (▼629)	1,929 (2,148)
東北電力			
2兆1,820 (2兆388) 【7.0%】	1,166 (390)	764 (343)	5,747 (5,982)
東京電力			
6兆8,024 (6兆6,314) 【2.6%】	2,080 (1014)	4,515 (4386)	2兆6,509 (2兆9,152)
中部電力			
3兆1,036 (2兆8,421) 【9.2%】	602 (▼926)	387 (▼653)	1兆3,164 (1兆3,141)
北陸電力			
5,327 (5,096) 【4.5%】	223 (98)	89 (25)	1,287 (1516)
関西電力			
3兆4,060 (3兆3,274) 【2.4%】	▼1,130 (▼1,113)	▼1,483 (▼974)	1兆1,865 (1兆1,592)
中国電力			
1兆2,996 (1兆2,560) 【3.5%】	587 (▼36)	326 (▼93)	3,645 (4,013)
四国電力			
6,642 (6,363) 【4.4%】	245 (▼17)	103 (▼32)	1,415 (1,687)
九州電力			
1兆8,734 (1兆7,911) 【4.6%】	▼736 (▼1,314)	▼1,146 (▼960)	6,784 (7,544)
沖縄電力			
1,850 (1,762) 【3.2%】	76 (69)	49 (47)	571 (532)
日本原子力発電			
1,328 (1,258) 【5.6%】	82 (95)	▼30 (16)	

(2015年3月期。億円。()内は前年実績。▼は赤字。【 】内は売上高前年比増減率%)

(2) 東日本大震災後の電気料金について[3-9]

東日本大震災以降に原子力発電所を長期停止した影響で、燃料コストの増加等により6電力（北海道電力、東北電力、東京電力、中部電力、関西電力、四国電力、九州電力）が電気料金の値上げを行った結果、家庭向け電気料金は震災前と比べ平均25.2%、産業向けは同38.2%上昇した。収入が低い世帯では支出に占める電気料金の割合が大きく、影響も深刻である。

2013年度の上昇幅は家庭向けが19.4%、産業向けが28.4%で、2014年度は上昇幅が拡大した。2014年度の家計向け電気料金は1キロワット時当たり25.51円、産業向けは18.86円で、東京電力管内の標準家庭の場合、電気料金は2010年度の月6,309円から同8,452円に約34%上昇している。

震災以降、家庭では節電意識が定着し、電気使用量は2010年から2014年にかけて7.7%減ったが、電気料金が上昇したため、同期間の電気使用による支出は13.7%増と家計支出全体の0.3%増を上回って増えている。

関西電力では、経済産業省に申請していた電気料金の値上げが、2015年5月18日に認可され、上げ幅は、家庭向けは平均8.36%、企業向けは11.50%となった。当初申請時の家庭向け10.23%、企業向け13.93%からそれぞれ圧縮され、使用量が増える夏場の利用者負担を緩和するため、2015年6～9月は家庭向け4.62%と企業向け6.39%に軽減された。家庭向けは2015年6月からの適用。政府の認可が不要な企業向けは2015年4月から13.93%で実施されているため、6.39%との差額は返還される。電気料金値上げは2年前に続き、2度目である。また、北海道電力も同様に2014年11月から2度目の電気料金値上げを行っている。(図3.6参照のこと)

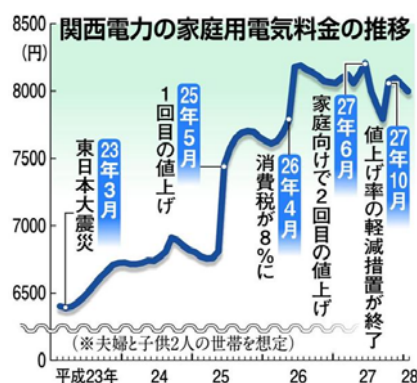


図 3.6 関西電力の家庭用電気料金の推移（産経ニュースより）

◎原子力発電停止に伴う燃料コスト高騰等による電気料金値上げ実績（消費税引上げは除く）

北海道電力：2013年9月～2014年10月平均7.73%(1回目)

2014年11月～2015年3月平均12.43%(緩和措置)、
4月～平均15.33%(2回目)

東北電力：2013年7月～平均15.24%(1回目)

東京電力：2012年9月～平均8.46%(1回目)

中部電力：2014年4月～平均4.95%(1回目)

関西電力：2013年5月～2015年5月平均9.75%(1回目)

2015年6月～9月平均4.62%(緩和措置)、10月～平均8.36%(2回目)

四国電力：2013年9月～平均7.80%(1回目)

九州電力：2013年5月～平均6.23%(1回目)

(北陸電力、中国電力、沖縄電力除く)

(3) 原子力発電所の停止に伴う火力の燃料コストについて

原子力発電所が停止していると、重油やLNG、石炭を燃料にする火力発電を代わりに使うため燃料コストが増えるが、2015年度は8月に川内1号機が再稼働したほか、原油価格の下落、重油より燃料単価の安いLNG発電へのシフトが進んだこともあり、燃料コストの増加分は減少し、経産省によると、2011年度の増加額の実績は2.3兆円、2012年度は3.1兆円、2013年度は3.6兆円だった。2014年度は原油価格の下落などの影響で、3.4兆円と東日本大震災以降で初めて減少に転じた。経済産業省は、2015年度の原子力発電所の停止に伴う重油や液化天然ガス(LNG)などの燃料コストの増加額は2兆円台半ばで、2014年度の3.4兆円から1兆円ほど減ると試算している。[3-9]

(4) 電力会社からの離脱需要規模について

電力会社から新電力(特定規模電気事業者)への電力の購入先切替えた離脱需要規模は表3-8に示す通り、2015年3月末までに1300万KWを超え、2014年3月から1年間の離脱は約336万KW、2013年3月からの1年間の約191万KWを大幅に上回っている。これは、東日本大震災後、電力各社が実施した料金値上げなどに起因する離脱増

加に歯止めがかからない状況で、2015年3月時点の離脱累計は7万5285件・1321万6429KW。半年前の2014年10月からKWベースで11.6%増えた。（表3.9参照）

関西電力の場合、再値上前の2014年度で、過去最多だった2013年度の1.8倍、震災前の2010年度と比べると3.3倍。また、2015年4月からの2度目の電気料金値上げに伴い、関西2府5県（福井県の一部含む）の2015年10月の販売電力量に占める新電力のシェアが初めて10.1%と1年間で4%上昇し、7%台にとどまる全国平均を大きく上回っている。[3-9]

表 3.9 電力会社からの離脱需要状況

	件数		規模 (KW)		部分供給件数
北海道電力	2,200	(1,560)	212,000	(154,000)	
東北電力	3,229	(2,883)	437,000	(378,000)	(2,750)
東京電力	43,550	(41,800)	8,000,000	(7,500,000)	
中部電力	8,600	(7,900)	1,450,000	(1,300,000)	(330)
北陸電力	95	(76)	10,000	(7,400)	
関西電力	非公表	(12,529)	非公表	(2,650,000)	(1,952)
中国電力	2,710	(2,396)	415,000	(361,000)	
四国電力	860	(820)	102,000	(96,000)	
九州電力	5,761	(5,321)	841,000	(770,000)	(2,170)
沖縄電力	0	(0)	0	(0)	
合計	—	(75,285)	—	(13,216,400)	(約 8,800)

※2015年4月、カッコは2015年3月時点。電力会社により、各月1日、末日とばらつきがあるため、東北電力、四国電力、九州電力には部分供給は含まれていない。

また、2016年4月からの電力小売り完全自由化に向け、電力取引監視等委員会の審査を通り、国の登録を受けた販売事業者が100社を超え、自由化開始までに200~300社程度の事業者が参入を認められる見通しで、既に大手都市ガスや石油元売り、通信など異業種からの参入のほか、太陽光発電など再生可能エネルギーを手がける会社などが並び、登録事業者の約半数が供給予定地域を明らかにしている。その7割超が東京電力の供給地域への参入、関西電力と中部電力の地域がそれぞれ5割超と続き、九州電力の地域は4割程度となっている。現在、各社の電気料金メニュー発表や事前受け付けが本格化している。

東京ガスや大阪ガスなどが既に具体的な電気料金メニューを示しているが、東京電力など大手電力の電気料金メニュー発表後、それまでに発表した登録事業者はさらなる電

電気料金の追加値下げを発表するなど価格競争となり、ある意味企業としての体力勝負の様相である。

例えば、東京ガスは電気料金を追加値下げ後、新規申込み件数が急増、2016年2月23日時点で約5万4,000件になったと発表した。大半は本業のガスとの「セット契約」が占めている。また、東京急行電鉄の子会社「東急パワーサプライ」も東急沿線の住民を中心に、申込み件数が2万件を超えたと発表した。関西電力や中部電力の供給地域においても、同様に数万件以上の新規登録事業者への申込み件数が急増している。

関西電力は、高浜3、4号機が再稼働すると営業利益が月120億円押し上げられると見込まれ、安定した収益構造に一步近づき、2016年4月からの電気完全自由化を見据え、高浜3、4号機再稼働による燃料コストの減少分を反映した上で、出来れば2016年4月以降に電気料金を約5%程度（他社と戦えるぎりぎりの料金）の値下げを検討している。しかし、関西電力の電気料金値下げ後にさらに追随して値下げする方針を示している他社もあり、価格競争は当面続く見通しである。

ただ、新電力(特定規模電気事業者)大手が託送料金に支払いが滞り電力小売事業から撤退することが明らかとなり、今後も電力小売り完全自由化に伴う混乱が予想される。

[3-9]

参考文献

[3-1] 旧原子力安全・保安院「関西電力（株）大飯3号機及び4号機の安全性に関する総合的評価（一次評価）に関する審査書について」

<http://www.meti.go.jp/press/2011/02/20120213001/20120213001-3.pdf>

[3-2] 旧原子力安全・保安院

「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見について」

<http://www.meti.go.jp/press/2011/03/20120328009/20120328009-22.pdf>

[3-3] 原子力規制委員会「実用発電用原子炉に係る新規制基準について」

<http://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>

[3-4] 関西電力株式会社ホームページより

[3-5] 原子力規制委員会「発電用原子炉に係る安全審査状況について」

<http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/reactor/kisei/shinsa/shinsa1.html>

[3-6] 東京電力株式会社はじめ、各電気事業者のホームページより

[3-7] 原子力学会ヒューマン・マシン・システム研究部会「東京電力(株)福島第一原子力発電所事故調査検討小委員会」、「ヒューマンファクターの観点からの福島第一原子力発電所事故の調査・検討報告書」より

http://www.aesj.or.jp/~hms/report/hms_report_福島第一原子力発電所_accident.pdf

[3-8] 電気新聞より

[3-9] 朝日新聞、産経ニュース、日本経済新聞、毎日新聞、福井新聞の web サイトより

[3-10] フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia) 』

4. リスク情報に基づく安全の考え方

すでに高いレベルで安全設計がなされているシステムにおいて、想定外の重大事象が起きることは稀である。想定外の事象を網羅的に捉えようとするとは多くを検討しなければならない。全てに対策を講じようとするれば多大な経済的負担を生じてシステムの存在意義そのものが失われかねない。ここにリスクに基づく安全評価を行う必要性和価値が生じる。すなわち、PRA では、結果の重大さ、不安全事象が起りえる頻度、そして対策に要する資源を考慮して、多数の可能性の中から手を打つべき重要な想定外事象(事故シナリオ)を合理的に割り出す。

ここでは、現在の安全の水準を総合的に評価し数値化する確率論的リスク評価(PRA)の考え方を示し、安全評価と対策立案に有効活用する方法を検討する。

4.1 リスク解析の在り方

日本と米国は、安全評価の基本は、非常に厳しい設計基準事故を定め、さらに事故に対応する安全設備の中で最も有効なものを故障すると仮定する単一故障基準を考えたとしても、十分に安全であればそのシステムは安全を担保できるとする確定論的な評価であった。しかし、米国は確率論的手法である PRA の結果を参考として活用するリスクインフォームドの規制に 1995 年ころから移行した[4-1]。日本は確率論的手法こそ導入したが、規制への反映は行われていない。その状況の相違を表 4.1 にまとめる。2011 年 3 月 11 日の福島事故を契機に確率論的な規制への移行が望まれる。

表 4.1 PRA の実現方式の日米比較

米国	日本（福島事故以前）
<ul style="list-style-type: none"> ● NRC は 1990 年代に Risk-Informed Performance-Based Regulation 導入 <ul style="list-style-type: none"> ➢ PRA は、決定論的評価の補完位置付けだが実効的に活用 ➢ 規制の合理性(経済合理性)向上 ● IPE(内の事象)と IPEEE(外的事象) (個別プラントの PRA) 安全向上に活用（リスク認識） ● ASME/ANS による PRA 手順の規格整備が進展 ● 運転段階でのリスク情報活用が進展 ● 安全目標/性能目標を既設炉でのリスク情報活用時の判断基準設定や型式認証で活用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 安全評価は確定論を堅持 <ul style="list-style-type: none"> ➢ リスク情報活用の方針は示されたが、実際の適用は足踏み。 ● 個別プラントの PRA(IPE 相当)を AM 策検討に活用、ただし内の事象のみ ● 外的事象への適用が遅れた ● 福島第一では研究として津波ハザード評価実施（評価のみ、反映なし） ● 原子力学会による PRA 実施基準整備は進展 ● 運転段階でのリスク情報活用は検討に留まり進展せず ● 安全目標は(案)のまま活用されず

米国の原子力規制局（NRC）は、1990 年代にリスク情報と実績に基づく規制（RIPBR, Risk-Informed Performance-Based Regulation）を導入し、規制の合理化が進み、結果的に経済性も向上した。その際、NRC と産業界側の原子力発電運転協会（INPO）や原子力産業協会（NEI）と独立性を保ちつつも協調を図った。また当時米国において政府全体を通じて進められた規制の合理化とも相まって、規制・電力の規制書類作成の作業量

が低減し、さらにテストメンテナンス項目の大幅削減も実現したとされている。これにより、電力の自由度が向上しまた安全意識も向上したと言われている。

3.11 の地震や津波に相当するいわゆる災害に対する個別プラントの外的事象の確率的な安全評価（PRA）も、「個別プラント外的事象評価（IPEEE）」プロジェクトとして全プラントで実施され、リスク認識に基づき PRA の実用化とそれを用いた真の安全追求の実現が図られている[4-1]。

一方日本において、PRA の導入実態は形式的な状態に止まっていた。安全評価は、確定論を基本とし、PRA は参考として用いると言う表面的な形は米国と同様であったが、リスク情報の規制上の意思決定への活用は大幅に遅れた。米国 NRC に相当する組織は原子力規制庁、INPO に相当する組織は原子力安全推進協会（JANSI）だが、その協調性と独立性は未だ不十分であろう。

明確で定量的な安全基準がないので、どうしても個々の安全対策の評価になりがちで、規制側もそして特に電力側の書類作成量や品質保証業務の煩雑化による作業量は膨大である。そのため、本質的な安全の議論はできない、と言うより本当の安全を考える時間的また精神的な余裕はないのが現状である。外的事象としては、福島第一の津波 PRA 実施があるが、評価のみで対策に反映するには至っていない。

以上のように日本では、リスク情報活用への合意がないため PRA はあくまで参考でありその結果を反映する枠組みはなく、安全性向上にも経済性向上にも米国におけるように実効的には寄与できなかったと言える[4-2]。

この状況は、福島第一原子力発電所事故後に改善されることを期待したが、実態は変わらないと考えられる。規制庁の考え方は図 4.1 に示し、4.3 節で詳しく述べるように、総合的な安全評価の手段として PRA が活用される枠組みが作られ、外部事象の追加による新たな事故シーケンスの洗い出しに使われつつある[4-3]。このため、現状の PRA 結果は表 4.2 に示すように、外部事象の追加による悪くなる方向のみの結果となっている。これでは、電気事業者が実施してきている安全対策の有効性は評価できず、またその結果は一般大衆から誤解を招く恐れがある。

原則として、対策の有効性も含めた総合的な PRA を当初から実施して定量化し、システムのバランスを見るべきである（米国の RIPBR 宣言や FLEX 方式、保全学会評価、等のように）。そうしなければ、個別の対策の十分性や過剰対策か否かなどの判断はできず、トータルシステムとして安全性が向上したのか否かが把握できず、本当の安全規

制にならないはずである。システム安全が言うところの「部分最適は全体最悪を生む」の認識が必要である[4-2]。

しかし現実には、PRAの技術やデータが完備しているわけではないので、4.2節に述べるように、我が国ではまず規制上に位置づけられた設備のみを考慮したPRAを実施して、そのPRA結果は重大事故対処手段を決定論的に評価するためのシナリオ設定に用いることとする。今後は継続的にPRAの範囲を拡大しつつ重大事故対処手段を考慮したPRAを行って、その結果を安全性向上評価に用いるとしている。これは現状では技術的に止む無しと考えるが、PRAの適用が進んだ段階で、それを活用して重大事故対処手段を見直し、その変更や保守管理方針の変更を柔軟に認め、全体最適化をはかる仕組みを整備していくべきではないかと考える。

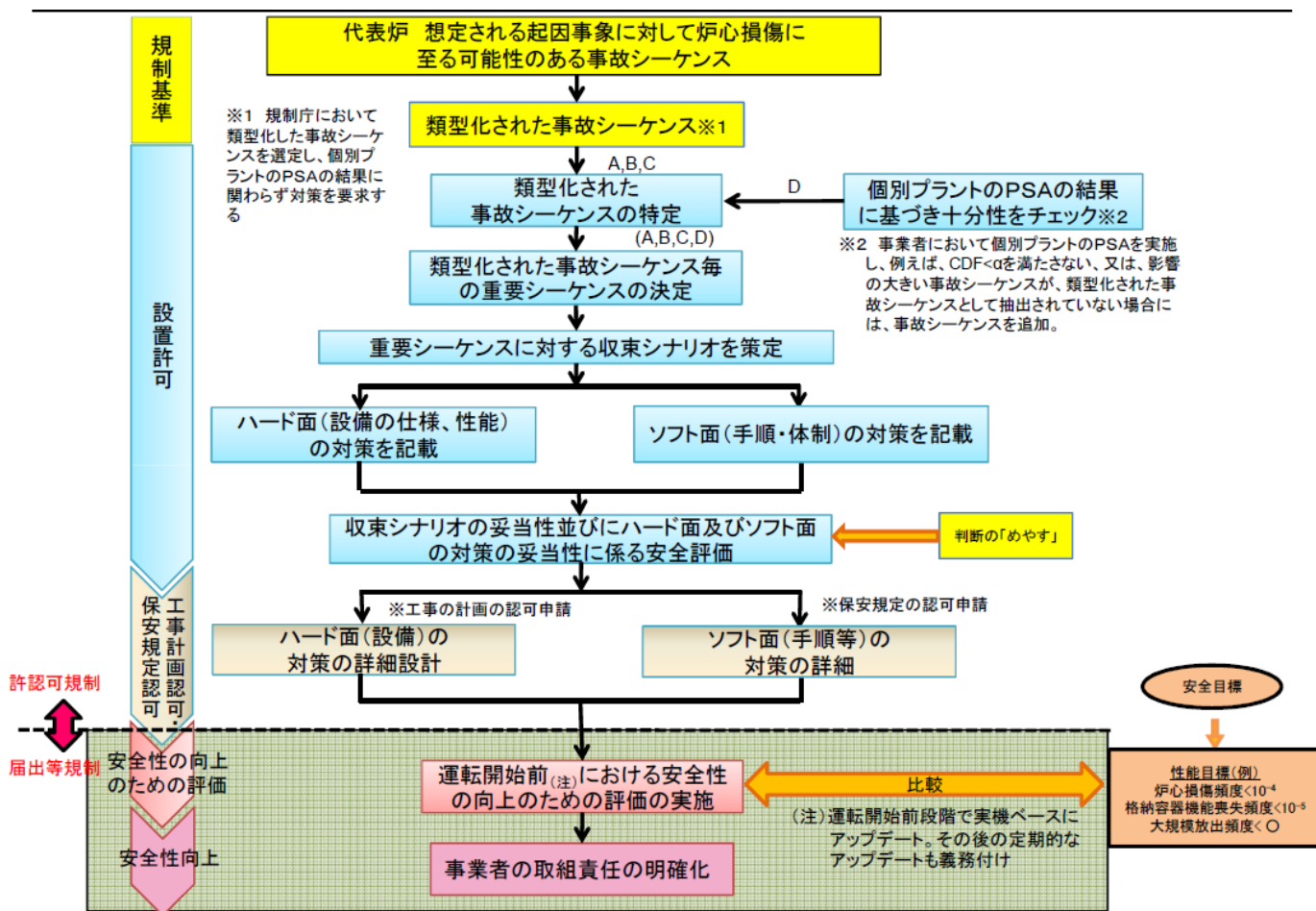


図 4.1 シビアアクシデント対策の主な審査等のイメージ[4-3]

この日本のPRAのとらえ方は、日本人の安全に対する意識（金太郎あめ的発想、言霊意識）の問題である。すなわち、リスクで考える習慣が不足しているため、安全問題

を本質的に考えないことである[4-2]。例えば、格納容器漏洩率試験の頻度に関して、米国では試験頻度がリスクに効かないというリスク評価結果に基づき、プラント実績に応じて試験の頻度を減少させる許可を出している [4-4]。しかし日本では、リスクと言う明確な定量的な指標がないため頻度を減らす方向の判断はできない。このため例えば、漏えい率が前年度と比較して悪い結果となると受け入れられないという判断となり、それを危惧してデータ改ざんなどの不祥事の原因となった事例もある[4-5]。

今回の 3.11 福島事故は、確定論的な安全評価から RIPBR へ転換するためのチャレンジの機会ととらえるべきである。そのためには原子力界全体の問題として、何故できなかったかの歴史的経緯を分析し、徹底した議論とその結果を明文化して文書として残すことが大切である。

もう一つには、国産業界を含めた原子力産業としての「制度設計」の問題である。推進-規制-電力-メーカーの制度設計の問題（メーカーの製造責任の明示の不明瞭）である。一つの解決策としては、例えば米国 NRC 導入した方式のように、型式認定（メーカー）とサイト評価（電力）を明確に切り分けることである。いずれにしてもメーカーは海外展開のために、NRC など各国において型式認定は必須であるから、受け入れは容易であろう。そのためには、まず規制の RIR への移行の宣言、そして PRA 実施基準と安全目標を導入すべきである。また電気事業者においては、PRA の結果に基づきプラント運用を改善する、あるいはリスクモニタを活用して合理的な運転判断を実現するなどの、リスク評価の積極活用が望まれる。

参考文献

- [4-1] 日本機械学会-訪米調査団、原子力の安全規制の最適化に関する研究会-訪米調査報告書（訪問期間 2006 年 7 月 10 日(月)～14 日(金)）、2006 年 7 月
- [4-2] 柚原、氏田、「システム安全学 文理融合の新たな専門知」、海文堂出版、2015.
- [4-3] 原子力安全・保安院、発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策規制の基本的考え方について（現時点での検討状況）平成 24 年 8 月 27 日
- [4-4] USNRC, NUREG-1493, Performance-Based Containment Leak-Test Program, 1995.REGULATORY GUIDE 1.163
- [4-5] (株)日立製作所、東京電力福島第一原子力発電所 1 号機の原子炉格納容器全体漏えい試験に関する最終調査報告ならびに再発防止策の取り組み状況などについて、2002 年.

表 4.2 関西電力(株)原子力発電所の確率論的リスク評価の概要 H27.12.09 <SA 対策考慮なし>

対象プラント・実施目的		炉心損傷頻度(／炉年)				炉心損傷頻度 (／炉年) 停止時 PRA	格納容器 機能喪失頻度 (／炉年)※	(公表時期)
		内部事象 出力時 PRA	地震 PRA	津波 PRA	合計			
美浜 1 号	PSR	3.0×10^{-7}	—	—	3.0×10^{-7}	1.9×10^{-7}	3.3×10^{-8}	#2PSR(H19.7.31)
美浜 2 号	PSR	1.9×10^{-7}	—	—	1.9×10^{-7}	4.9×10^{-8}	2.2×10^{-8}	#3PSR(H23.7.22)
美浜 3 号	①PSR	3.7×10^{-7}	—	—	3.7×10^{-7}	2.8×10^{-7}	8.8×10^{-8}	#3PSR(H18.4.3)
	②安全審査	6.1×10^{-5}	2.3×10^{-5}	3.2×10^{-7}	8.4×10^{-5}	4.9×10^{-4}	4.8×10^{-5}	審査会合(H27.4)
高浜 1,2 号	①PSR	4.6×10^{-7}	—	—	4.6×10^{-7}	4.3×10^{-8}	4.7×10^{-8}	#3PSR(H25.12.13)
	②安全審査	6.6×10^{-5}	1.8×10^{-5}	1.6×10^{-5}	1.0×10^{-4}	4.2×10^{-4}	5.0×10^{-5}	審査会合(H27.4)
高浜 3,4 号	①PSR	1.4×10^{-7}	—	—	1.4×10^{-7}	1.4×10^{-8}	2.2×10^{-8}	#2PSR(H23.7.22)
	②安全審査	6.1×10^{-5}	3.3×10^{-6}	1.9×10^{-5}	8.4×10^{-5}	6.1×10^{-4}	5.1×10^{-5}	審査会合(H25.12)
大飯 1,2 号	PSR	2.8×10^{-7}	—	—	2.8×10^{-7}	5.8×10^{-7}	8.8×10^{-8}	#2PSR(H20.7.1)
大飯 3,4 号	①PSR	1.3×10^{-7}	—	—	1.3×10^{-7}	1.4×10^{-7}	1.4×10^{-8}	#1PSR(H19.7.31)
	②安全審査	6.4×10^{-5}	2.8×10^{-6}	3.0×10^{-7}	6.7×10^{-5}	4.2×10^{-4}	5.3×10^{-5}	審査会合(H25.11)

<安全目標:①②、性能目標:③④>

※内部事象出力レベル 1.5PRA

- ① 公衆の個人の急性死亡リスク : 10^{-6} (／年)
- ② 管理放出機能喪失頻度(CFF-2) (Cs-137 放出量が 100TBq を超える頻度) : 10^{-6} (／炉年)
- ③ 炉心損傷頻度(CDF) : 10^{-4} (／炉年)
- ④ 格納容器隔離機能喪失頻度(CFF-1) : 10^{-5} (／炉年)

表 4.2 関西電力(株)原子力発電所の確率論的リスク評価の概要 H27.12.09 <SA 対策考慮なし>

対象プラント・実施目的		炉心損傷頻度(／炉年)				炉心損傷頻度 (／炉年) 停止時 PRA	格納容器 機能喪失頻度 (／炉年)※	(公表時期)
		内部事象 出力時 PRA	地震 PRA	津波 PRA	合計			
美浜 1 号	PSR	3.0×10^{-7}	—	—	3.0×10^{-7}	1.9×10^{-7}	3.3×10^{-8}	#2PSR(H19.7.31)
美浜 2 号	PSR	1.9×10^{-7}	—	—	1.9×10^{-7}	4.9×10^{-8}	2.2×10^{-8}	#3PSR(H23.7.22)
美浜 3 号	①PSR	3.7×10^{-7}	—	—	3.7×10^{-7}	2.8×10^{-7}	8.8×10^{-8}	#3PSR(H18.4.3)
	②安全審査	6.1×10^{-5}	2.3×10^{-5}	3.2×10^{-7}	8.4×10^{-5}	4.9×10^{-4}	4.8×10^{-5}	審査会合(H27.4)
高浜 1,2 号	①PSR	4.6×10^{-7}	—	—	4.6×10^{-7}	4.3×10^{-8}	4.7×10^{-8}	#3PSR(H25.12.13)
	②安全審査	6.6×10^{-5}	1.8×10^{-5}	1.6×10^{-5}	1.0×10^{-4}	4.2×10^{-4}	5.0×10^{-5}	審査会合(H27.4)
高浜 3,4 号	①PSR	1.4×10^{-7}	—	—	1.4×10^{-7}	1.4×10^{-8}	2.2×10^{-8}	#2PSR(H23.7.22)
	②安全審査	6.1×10^{-5}	3.3×10^{-6}	1.9×10^{-5}	8.4×10^{-5}	6.1×10^{-4}	5.1×10^{-5}	審査会合(H25.12)
大飯 1,2 号	PSR	2.8×10^{-7}	—	—	2.8×10^{-7}	5.8×10^{-7}	8.8×10^{-8}	#2PSR(H20.7.1)
大飯 3,4 号	①PSR	1.3×10^{-7}	—	—	1.3×10^{-7}	1.4×10^{-7}	1.4×10^{-8}	#1PSR(H19.7.31)
	②安全審査	6.4×10^{-5}	2.8×10^{-6}	3.0×10^{-7}	6.7×10^{-5}	4.2×10^{-4}	5.3×10^{-5}	審査会合(H25.11)

<安全目標:①②、性能目標:③④>

※内部事象出力レベル 1.5PRA

- ① 公衆の個人の急性死亡リスク : 10^{-6} (／年)
- ② 管理放出機能喪失頻度(CFF-2) (Cs-137 放出量が 100TBq を超える頻度) : 10^{-6} (／炉年)
- ③ 炉心損傷頻度(CDF) : 10^{-4} (／炉年)
- ④ 格納容器隔離機能喪失頻度(CFF-1) : 10^{-5} (／炉年)

4.2 新規制基準における PRA の位置づけ

原子力規制委員会におけるリスク情報の活用方針については、更田豊志原子力規制委員による講演[4-6]において、次のように説明されている。「PRA はリスクを系統的な手法で定量化する手法である。原子力規制委員会は、当然のこととして、PRA から得られる情報を積極的に利用する。なお、PRA の規制への利用というのと、とかく PRA 結果の数字に基づく判断という印象を持たれがちであるが、PRA の真に有効な利用はその考え方の反映である。また、PRA に過度の期待を寄せることは極めて危険である。当然のことながら PRA においても考慮が及んでないものは結果に反映されようがないし、考慮しているものも不確実さを伴っている。PRA の利用に当たっては、その不完全さ(incompleteness) と不確実さ(uncertainty)の程度を見極め、その限界を把握して適用範囲を慎重に考慮する必要がある。その上で、可能かつ適切な範囲で積極的な適用を図る。PRA の手法についてはしばしば、その技術的な成熟度(Maturity)が問題にされるが、もともと PRA はあらゆる分野で十分に成熟するものではない。例えば、地震のハザード評価は PRA の手法で成熟するものではないし、テロ のハザードなどは恐らくいつまでたっても高い精度で評価できない。このように、PRA には各所にいつまで経っても小さくならない不確実さがあるが、このことによって PRA の利用を止めたり、あるいは、手法の成熟を待って利用したりするのではなく、現時点で利用できる範囲で最善の利用を目指す。」

このような考え方を背景に、新規制基準においては、PRA を次の2つの分野で用いている。

- 重大事故対処手段の有効性確認のために想定する事故シーケンスは、個別の施設に対して実施する PRA の結果を参考に選定する
- 継続的安全性向上評価においては、PRA により安全性向上の効果を評価する

以下では、この利用方法を具体的に述べる。なお、2つの利用は、新規制基準における重大事故への対策の一部として位置づけられているので、はじめに新規制基準における重大事故対策について述べる。

(1) 福島第一事故の教訓を反映した新規制基準における重大事故対策

新規制基準では、福島原発事故以前の安全規制の問題点として、福島原発事故以前にはシビアアクシデント対策が規制の対象とされず十分な備えがなかったこと、また新たな基準を既存の施設に遡及する法的仕組みがなく、常に最高水準の安全性をはかることがなされなかったことなどが指摘された[4-7]ことをうけて、シビアアクシデントへの備えを強化するための系統的な規制要求が盛り込まれている。

なお、新規制基準においては、シビアアクシデントを意味する法律上の用語として「重大事故」が導入された。重大事故の定義は、施設の種類によって異なる場合があるが、発電炉においては、

発電用原子炉の炉心の著しい損傷その他の原子力規制委員会規則で定める重大な事故をいうとされている。

原子炉等規制法[4-8]では、法律の目的として、「原子力施設において重大な事故が生じた場合に放射性物質が異常な水準で当該原子力施設を設置する工場又は事業所の外へ放出されることその他の核原料物質、核燃料物質及び原子炉による災害を防止し、及び核燃料物質を防護して、公共の安全を図るために、製錬、加工、貯蔵、再処理及び廃棄の事業並びに原子炉の設置及び運転等に関し、大規模な自然災害及びテロリズムその他の犯罪行為の発生も想定した必要な規制を行うほか、原子力の研究、開発及び利用に関する条約その他の国際約束を実施するために、国際規制物資の使用等に関する必要な規制を行い、もつて国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的とする。」(下線は筆者による強調)ことを明示し、重大な事故への備えが安全規制の目的であることを明確にした。

これをうけて、新規制基準では、「深層防護」を基本とし、共通原因による安全機能の一斉喪失を防止する観点から、自然現象の想定を大幅に引き上げるとともに、自然現象以外でも、共通原因による安全機能の一斉喪失を引き起こす可能性のある事象(火災など)について対策を強化することとし、次のような基本方針[4-7]に沿って新規制基準が整備された。

1) 「深層防護」の徹底

目的達成に有効な複数の(多層の)対策を用意し、かつ、それぞれの層の対策を考えると、他の層での対策に期待しない。

2) 共通原因故障をもたらす自然現象等に係る想定的大幅な引き上げとそれに対する防護対策を強化

地震・津波の評価の厳格化、津波浸水対策の導入、多様性・独立性を十分に配慮、火山・竜巻・森林火災の評価も厳格化

3) 自然現象以外原因故障を引き起こす事象への対策を強化 火災防護対策の強化・徹底、内部溢水対策の導入、停電対策の強化(電源強化)

4) 基準では必要な「性能」を規定(性能要求) 基準を満たすための具体策は事業者が施設の特성에応じて選択

具体的な要求事項は、「实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(略称：設置許可基準規則)[4-9]などに規定されている。

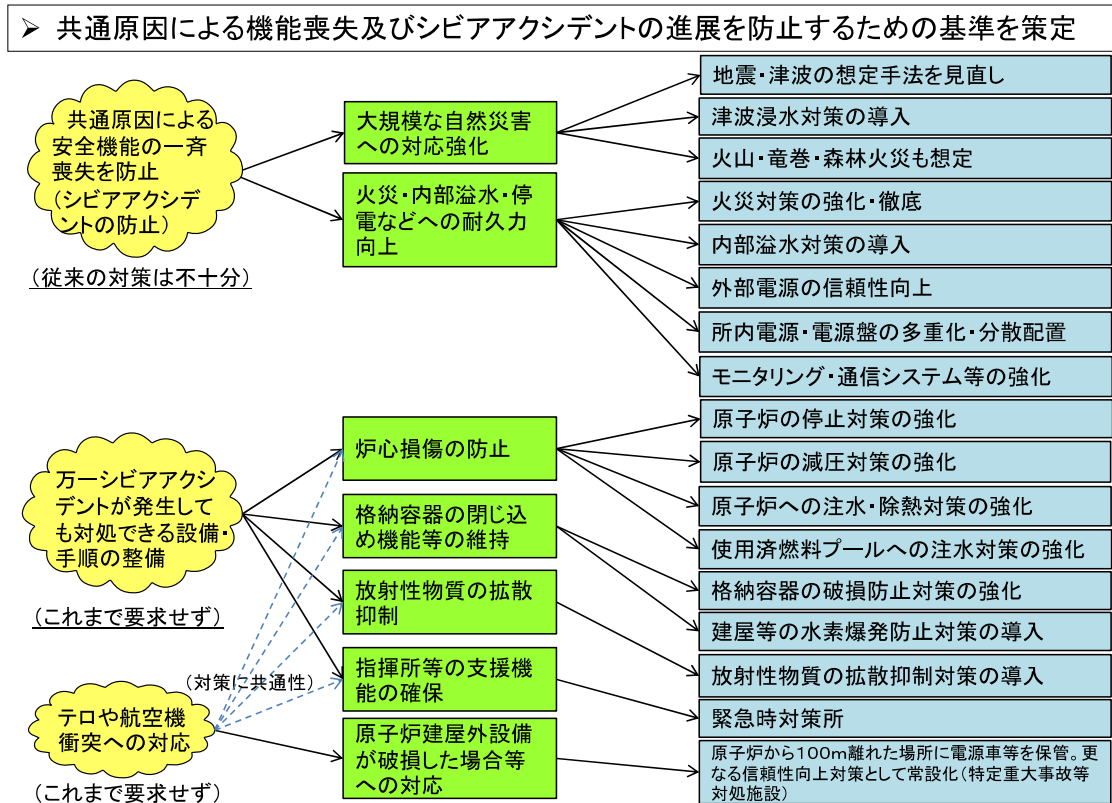


図 4.2 新規基準の基本的な考え方と主な要求事項(参考文献[4-7]より引用)

(2) 重大事故対処手段の有効性確認における PRA の利用

上述の設置許可基準規則[4-9]においては、発電用原子炉施設は、重大事故に至るおそれがある事故が発生した場合において、炉心の著しい損傷を防止するために必要な措置を講じるとともに、重大事故が発生した場合においては、原子炉格納容器の破損及び工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない(第 37 条)と定めており、そのための施設(重大事故等対処施設)について、設計及び性能の維持について様々な要求事項を定めている。

これらの基準への適合性を判断するための方法は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」(略称：設置許可基準規則解釈)[4-10]に記載されている。

設置許可基準規則解釈[4-10]では、炉心損傷を防止するための措置については、「重大事故に至るおそれがある事故」として想定する状態としては、(a) 必ず想定すべき事故シーケンスグループ(BWR7 種、PWR8 種)に加えて、(b) 個別プラント評価により抽出した事故シーケンスグループを加えることとされている。個別プラント評価については、個別プラントの内部事象に関する PRA 及び外部事象に関する PRA(適用可能なもの)又はそれに代わる方法で評価を実施し、その結果、(a)

のグループに含まれない有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループが抽出された場合には、想定する事故シーケンスグループとして追加することとされている。

また、「有効性があることを確認する」とは、炉心の著しい損傷が発生するおそれがないものであり、かつ、炉心を十分に冷却できるものであることなどの4つの評価項目を概ね満足することを確認することをいうとされている。

さらに重大事故が発生した場合に放射性物質の異常な放出を防止するための措置については、格納容器破損モードとして、(a)必ず想定する格納容器破損モード（雰囲気圧力・温度による静的負荷など6種）と、(b)個別プラント評価により抽出した格納容器破損モードを検討することが要求されており、後者については、炉心損傷防止のための措置と同様に内的事象及び（適用可能な場合）外的事象のPRAまたはそれに代わる方法に基づいて選定することとされている。

さらに、このようにして選定された格納容器破損モードについては、格納容器からの放出がセシウム 100Tbq 相当以下となることが判断の目安として定められている。

以上のようなPRAの利用方法は、PRAから得られる炉心損傷頻度等の定量的結果には場合によって大きい不確かさが伴うことがあるが、事故シーケンスグループのうち相対的な寄与度といった情報は、比較的信頼できるという考え方によっていると推測でき、著者らは、現時点での利用法として妥当と考える。

なお、ここで用いるPRAはいわゆる「裸のPRA」で、2000年代に自主的に整備されたアクシデントマネジメントは原則として考慮しないでなされる。従って現在の実力を現しておらず、現在の状態についてのPRAを早期に行うべきとの批判もある。しかし、後述の継続的安全向上評価において、最新の状態を反映したPRAを実施し、リスクが継続的に低減されることを確認することとされている。

(3) 継続的安全向上評価におけるPRAの利用

設置許可に関する審査とは別に、原子炉等規制法では、原子力事業者が原子力施設の安全に対し一義的な責任を有することを明記した条項が設けられており、この原子力事業者が有している一義的責任を構成する重要な要素として、原子力施設の安全性を継続的に向上させていくことがある[4-10]。具体的には、原子炉等規制法に「第五章の四 原子力事業者の義務」として「原子力施設における安全に関する最新の知見を踏まえつつ、核原料物質、核燃料物質及び原子炉による災害の防止に関し、原子力施設の安全性の向上に資する設備又は機器の設置、保安教育の充実その他必要な措置を講ずる責務を有する。」と規定されている。

そして、原子力施設の安全性の向上を目に見えるかたちにするための仕組みとして、原子力規制委員会規則が定める時期ごとに安全性の向上のための評価(安全性向上評価)を実施することが義務付けられた[4-10]。

これをうけて安全性向上評価に関する運用ガイド[4-11]が示されており、その第1章には、「安全性向上評価は、これらの責務を果たすための取組の実施状況及び有効性について、発電用原子炉設置者が調査及び評価を行うものである。また、本評価の実施及び評価結果を踏まえ、原子力安全のための取組及び原子力安全規制について継続的な改善を図るものである。」として、評価は実施者が行うものであることが強調されている。

この評価の一部として範囲を拡大しつつ、PRAを実施することが定められている。

参考文献

- [4-6] 更田豊志、「規制におけるリスク情報の活用」、日本原子力学会「2015年春の年会」予稿集、pp.740-742, 2015. (講演PPT資料：<https://www.nsr.go.jp/data/000101670.pdf>)
- [4-7] 原子力規制委員会「実用発電用原子炉及び核燃料施設等に係る 新規制基準について」
<http://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>
- [4-8] 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和三十二年法律第百六十六号）
- [4-9] 原子力規制委員会「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成二十五年六月二十八日原子力規制委員会規則第五号）
- [4-10] 原子力規制委員会「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」、平成26年7月9日改正 <https://www.nsr.go.jp/data/000069150.pdf>
- [4-11] 原子力規制委員会、「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」

4.3 PRA の一層効果的な活用に向けて

新規規制基準に基づき膨大な資源を投入した安全確保対策の整備が進んでいるが、原子力に慎重な人々からは、それで十分かとの指摘がなされ、一方で安全確保策を進める側からは、なかなかその努力を分かってもらえない、新規規制基準の要求は過大な要求になっているか、もっと合理的な対策があり得るのではないかと聞いた声も聞かれる。

PRA は、原子力発電所のリスク要因を系統的に洗い出し、リスクを定量的に表現することが出来るので、事業者にとっては、さらなる努力の焦点をどこに置くべきかを考えるために役立ち、また事業者、規制機関、国民の間で、安全確保の進捗状況についてコミュニケーションを行うための共通の言語として役立つはずである。また、規制機関においても、その規制努力がどれほど効果的なものを国民に説明するためにも役立つはずである。

しかし、このような方向で PRA を有効に活用するには、その評価結果の信頼度や限界を国民や事業主体における意思決定者が適切に理解できるように表現し、説明していくことが必要である。

すなわち、現在の PRA の手法やデータベースが期待される役割を果たせるものになっているかについて検討が必要である。そこで以下では、この観点に立って、PRA の現状について、以下の観点で検討する。

- PRA は合理的な安全性の確保・向上活動のツールとして信頼できるものになっているか
- PRA が合理的な安全性の確保・向上活動のツールとして定着するための課題は何か
- PRA がコミュニケーションのツールとして活用されるための課題は何か

4.3.2 合理的な安全性確保・向上活動のツールとして信頼できる PRA の要件

PRA が合理的な安全性向上活動のツールとして活用できるためには、関係者、すなわち PRA の実施者、PRA の結果を安全確保・向上に使う担当者、経営者、その活動を監視する規制者などから信頼できるものになっている必要がある。そのためには次の3つの要件があると考えられる。

- ① リスクの支配要因が漏れ落ちなく考慮されていること（網羅性（完全性）の確保）
- ② 定量的な評価結果がどの程度信頼できるのかに答えうること（不確かさの明示）
- ③ 評価作業の品質が確保されること（品質保証）

これらについて以下に説明する。

- ① リスクの支配要因が漏れ落ちなく考慮されていること（網羅性（完全性）の確保）

福島事故に関する IAEA 事務局長報告書においては、事故の教訓の一つとして、福島事故以前の PRA では、内的事象の PRA が重視され、地震や津波という大きなリスク要因が含まれていなかったために、アクシデントマネジメントの整備が不十分となったと指摘されている [4-12]。また、大きい抜け落ちがあれば、後述のエネルギー源のリスク比較や安全目標との比較は、まったく意味を失う可能性もある。

従って PRA では、リスクの重要な寄与因子を見逃さないことが非常に重要である。現在、原子力学会をはじめとする関係機関において外的な誘因事象に関する手法の整備が精力的に進められ、学会の実施基準としてまとめられつつあり、地震と津波については標準が出来ているが、火山、竜巻、降雪などの自然現象や地震と津波の重畳、航空機の落下など今後手法を整備していく必要がある。

網羅性の問題は、単に事故の誘因となる自然現象に漏れ落ちがあるといった誰にでも判るような場合だけではない。事故時の対処手段の成功確率の評価には、それに支障となる様々な影響因子を網羅的に考慮する必要がある。

例えば、地震の PRA において 3 章に示したような重大事故対処手段の有効性まで評価できるためには、「運転員による現場操作のための通路がアクセス困難にならないか」「多数基立地サイトでは作業員を複数プラントで分け合うので人員不足にならないか?」「電源車の通路が地震で損傷しないか?」といった様々な因子を考慮しないと対策の有効性を正しく評価することは出来ない。原子力学会の地震 PRA 標準には、こうした要因を考慮するための方法も示されている。

但し、網羅性の問題は、程度問題でもある。安全目標との比較では極めて重要な要素となるが、一方で、小さい影響しか持ち得ない不完全部分にこだわって意思決定への PRA 利用を遅らせればかえって安全性向上を阻害する。また、評価の方法についても、全体としてのリスクへの影響が小さければ粗い定量化または、定性的な考察だけでもよいと考えられる。重要なことは、現状の考慮範囲を明示し、結果の利用者がその限界を考えて使うことである。

② 定量的な評価結果がどの程度信頼できるのかに答えうること(不確実さの明示)

また、PRA の考慮範囲に大きい抜けがなかったとしても、PRA の定量的な評価結果には不確かさは避けられない。PRA の不確かさには、我々が用いる評価上のモデルや仮定に依存する不確かさ(認識論的不確かさ)と工学的な製品の物性値や自然現象の発生にともなう本質的なバラツキ(偶発的不確かさ)がある。これらの要因による不確かさを推定して、PRA の結果を使う意思決定者に伝える必要がある。不確かさの評価手法については、既に様々な研究がなされており、PRA の標準に示されている[4-13]。

③ 評価作業の品質が確保されること(品質保証)

PRA を実施する際には、適切なモデルやデータが用いられるように PRA の実施作業を管理するすなわち PRA 実施作業の品質保証が必要である。このために各国で PRA の実施手順に関する規格やレビューガイドが作成されている。我が国でも日本原子力学会標準委員会において多数の標準が制定されている。

4.3.2 合理的な安全性の確保・向上活動のツールとして PRA を定着させるために

我が国では、PRA は内的事象のアクシデントマネジメントの参考として実施されたが、なかなか、その活用は広がらなかった。しかし、現在は、その障害の最も重要なものであったと考えられる外的事象の PRA 手法がかなり整備され、規制上も適要求される状況となったので、それを定着させる条件が出来たと考えられる。

この状況を前向きに捉え、合理的な活用を図るには、PRA の多面的な活用の試行による運用方法の確立を諮ることが適切である。PRA の手法やデータの整備は、PRA を実際の運転管理に用いる試行と並行して進めることが最も効果的である。そのような使い方には、次のような方法があるが、これらについて、可能なものから実用又は試行を進めて行くことが考えられる。

① 重要なリスク寄与因子の探索

- ・ 見落とし(想定外事象)をなくすために、探索の幅を広げ、現在の安全対策の下でのリスク寄与を評価し、過大なものがあれば対策を講じる

② 安全性向上策の有効性の評価

- ・ 対策のオプションの効果を比較し、効果の高いものを選定する

③ 構築物・系統・機器の重要度・寄与度の評価

- ・ 設備のリスク重要度を評価し、品質保証、保全活動などに役立てる

④ 安全向上活動の全体としての達成度の評価

- ・ 全体としてのリスクの低減を継続的に評価する。

⑤ 設備の信頼性及び全体のリスクへの影響を監視する

- ・ 系統、機器、構築物(SSC)の試験、検査、故障記録等を収集/蓄積することによって設備の信頼性のトレンド分析を行うとともに、プラント全体の安全性に関する PRA のモデルを活用して、将来の信頼性低下がリスクに与える影響を評価して、これらの情報を保守活動に役立てる。

⑥ リスクの監視

要素の性能劣化を監視し、劣化に対してリスクへの影響を評価する。

なお、こうした活動を進める上で、何らかの定量的な安全目標を定めておくことは有用である。

4.3.3 コミュニケーションのツールとしての PRA の活用

RA の結果を事業者、規制機関と社会との対話に使うためには、次が必要と考えられる。

- ① リスク情報の公開
 - ・ PRA の手法、結果などが、リスクを低減する活動(安全向上活動)の状況、施設の安全状態の監視結果などと合わせて、十分に公開されていること
- ② リスク情報の理解を助ける活動
 - ・ PRA の手法や結果の分かりやすい解説を準備し、関心を持つ関係者が望めば容易に入手可能であること。原子力学会等は、専門家集団として、こうした解説の作成などの役割も期待される。
- ③ 公衆の意見のフィードバックの仕組み(双方向のコミュニケーション)
 - ・ 事業者、規制機関がリスク管理活動について、説明し、意見を聞き、それをフィードバックする社会的な仕組みが必要であり、事業者の積極的な活動が期待される。従来、PRA には、リスクが小さいことを分かってもらうという言わば一方通行の情報伝達に役立つことを期待する考え方も存在した。しかし、福島第一事故の教訓を考えれば、リスク評価の情報を公衆と共有し、改善すべき所がないか共に考える姿勢が重要である。深層防護の後段の部分、特に防災やアクシデントマネジメントの部分は、公衆と関わりを含む部分であり、積極的に説明しコミュニケーションを図るべきである。

参考文献

[4-12] IAEA 「福島第一原子力発電所事故事務局長報告書」、2015.

[4-13] 村松健、解説「シミュレーションのV&Vの現状と課題 第2回確率論的リスク評価のV&V」、日本原子力学会誌、Vol.57.No.1、p.36-41、2015.

4.4 安全目標

安全目標の設定は社会的課題である。安全目標とは、科学技術利用における国および事業者の安全確保の使命に対し、科学技術利用に伴うリスクの抑制の程度を表すものである[4-13]。リスクと安全目標の関係を、英国の例で図 4.3 に示す[4-14]。安全は社会的な価値の問題であるため、そのシステムが許容できるか否かはリスク(ここでは事故の発生頻度)の大きさに決定される。例えば一般大衆の個人の死亡リスクが一万年に 1 回くらいのシステムは無条件に受け入れられないであろう。この値を安全限度 (Safety Limit) と呼ぶ。一方で百万年に 1 回くらいに頻度が少なければ、社会から広く受け入れ可能であると考えられる。これを安全目標 (Safety Goal) と呼び、多くの国が技術システムの受け入れ目標として定めている。この目標の設定に当たっては、システムの効用 (ベネフィット) がリスクを上回るから多くの人々に受け入れられるので、当然のことながらリスクベネフィット解析を前提としている。同様の目的を持つシステムとの採否やバランスは、システム間のリスクとベネフィットの相対的な比較に基づき決定することになる。その間のレベルは、ALARP (合理的に達成可能な限り努力する) 領域と呼ばれ、リスク低減効果 (ベネフィット) とそれにかかるコストとのトレードオフを分析するコストベネフィット解析により、対策の有無を検討することが大切である。さらに積極的に安全性向上を図るのであれば、システムにおける安全対策が不十分な所と余剰な所のバランスを取ることで、システムの安全とコストを総合的に合理化することである。

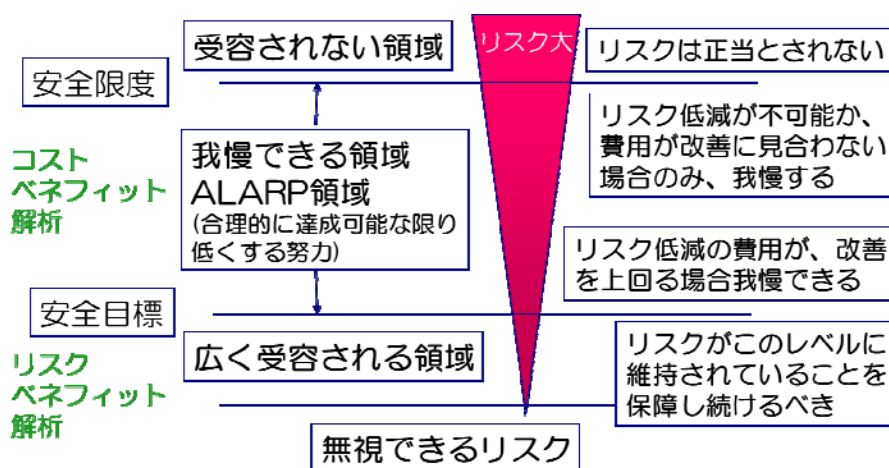


図 4.3 英国の安全目標の基本的考え方[4-14]

- 安全目標を設定する目的は、安全に関わる国の判断の基礎を与え、事業者の達成すべき安全のレベルを公衆の認識できる尺度で示すことである。安全目標の設定により、次の利益が期待される。

- 国の行うリスク管理に、透明性・予見性・整合性を与え、合理的で整合のとれた安全確保措置の体系の構築に資する。
- これにより、産業界・事業者のリスク管理の効果的な実施、技術開発を促進する。
- 共通の尺度を用いて公衆と対話することにより、目指すべき安全のレベルに関する認識の共有に資する。

国は、国民のために確保する安全水準を適切な水準にするべく規制活動を行うことになる。したがって安全目標は、国が規制活動において選択する、安全水準を示すものである。一方、事業者においては、これを上回る水準の達成するあるいは最適化する方法として、リスク削減に関するコストベネフィット解析等の考え方を活用することが考えられる。リスクマネジメントを実現するうえで、安全目標とリスク解析は必須の要件である。

日本においては、旧原子力安全委員会時代に安全目標を設定したが、活用されていなかった[4-1]。原子力規制委員会は、規制活動を通じて安全目標を達成すると述べている。今後リスクマネジメントの一環として、PRAの結果と安全目標を用いた定量的で合理的な規制と運用、そしてそれを用いた社会との対話の実現できることを期待したい。

以上の議論では、個人の死亡リスクを念頭に置いて説明してきたが、実際のリスク評価を実施する際には、食物への影響、風評被害、などリスク指標には多様性があることに留意する必要がある。

参考文献

[4-13] 原子力安全委員会：「安全目標の姿に関する検討の方向性について」中間報告、2003年

[4-14] 英国の安全目標の基本的考え方 UKHSE: Health and Safety Executive、1992.

5. 合理的な安全の考え方による社会との対話

原子力は社会性が高い以上、システムを合理的にとらえるリスクマネジメントの視点で安全を評価し社会と対話を図ることが必要とされる。リスクマネジメントは、リスクを定量化するリスク解析（確率論的リスク評価）、それが安全目標を満足するか対策が必要かを判断するリスク評価、評価結果に基づき社会と対話するリスクコミュニケーションからなる。ここでは、リスク解析とリスク評価の現状とあるべき姿を検討し、リスクコミュニケーションの一環として社会に発信する。

5.1 コストベネフィット解析とリスクベネフィット解析

コストベネフィット解析とは、「リスクマネジメントの段階でいくつかのリスクの削減策が提案された場合、必要に応じ選ばれた削減策の評価を行うための手法であり、企業や、場合によっては行政当局も、リスク削減策を実施するための必要な経費と、実施に伴い得られるベネフィット（削減されたリスクに伴うすべての便益）とを評価し比較する手法」である。

4.4 節の図 4.1 に英国の安全目標の基本的考え方を示したが[5-1]、安全限度と安全目標の間にある場合、ALARP (合理的に達成可能な限り低くする)領域となり、ここではコストベネフィット解析によりリスク低減対策の取捨選択が行われる。

一方で、リスクベネフィット解析とは、「ある活動から得られる経済的便益と環境や安全へのリスクとを計量比較する手法」である。実際のリスクベネフィット解析では、様々な代替案を議論することになるので、コストベネフィット解析も適用されることが多い。図 4.1 の安全限度や安全目標の設定においてはシステムの持つベネフィットを考慮して定まることになるので、リスクベネフィット解析に基づいて検討される。

中西は、環境問題を考える時の手がかりとして、リスクベネフィット解析の観点から図 5.1 に示すように環境影響と経済性（環境保全に要する費用）の 2 軸で考えることを提案している[5-2]。環境問題も安全問題も対策をすればコストがかかると思われているが、実は経済性と安全性・環境特性とが両立する世界(第 1 象限)が存在する。例えば、安全問題では高信頼性設計が、環境問題では高効率化や省エネが、それに相当する。もちろん、両方とも成立しない世界はありえない(第 3 象限)。第 2 象限と第 4 象限はコストベネフィット領域で、例えば地球温暖化問題で言えば、京都プロトコルは第 4 象限に相当し、先進国はその過去における CO2 排出の責任からも経済能力や技術能力からしても、たとえコストがかかっても温暖化対策をすべきであると考えられている。ただしむやみに実施するのではなく、コストとリスクのトレードオフで、安いコストで有効な効果がある対策のみを実施することになる。これに対し、第 2 象限の途上国ではこれからの成長を阻害しないように、少しの排出量で大きなエネルギーを得られるのであればそれを許容しようという領域である。第二

象限は、発展途上国が考慮すべき領域であり右上ほど望ましく、第四象限は先進国が考慮すべき領域でありこれもまた右上ほど望ましい。

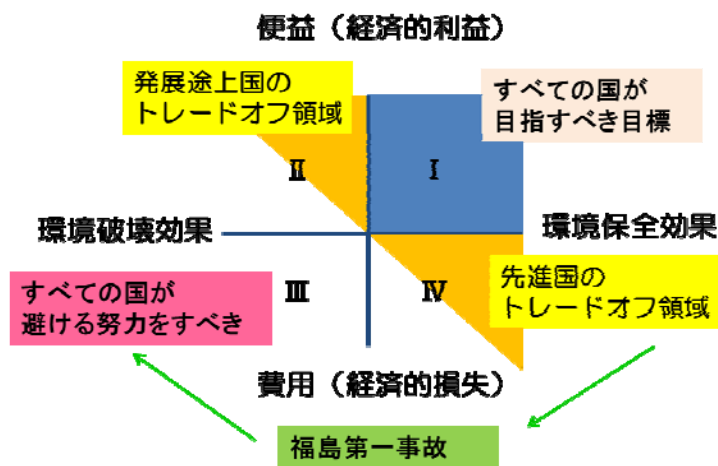


図 5.1 リスクベネフィット解析に基づく環境保全と経済性の関係(中西、1994 改変) [5-2]

安全の問題では、この図の横軸を安全性向上にかけると費用に読み替えれば同様な議論が成り立つ [5-3]。常識的には安全対策はコストの増大要因になると信じられており、安全性と経済性（生産性）はトレードオフの関係にある。すなわち、安全性を優先して安全方策にコストをかければ、事故による損害を減らせるかもしれないが、生産性が落ちてトータルコストは上昇してしまう。逆に、生産性を優先して安全方策のコストを抑えれば、事故による損害が増すことになる。したがって、両者のトレードオフ点を探すことになる。それには、可能な限りのリスク算定を行い、リスクの大小による優先順位に基づいて安全方策を施すことになる。さらにいえば、状況は環境問題とまったく同一であり、第四象限の安全方策はトレードオフに基づき実施すべきであるが、究極的には第一象限の経済性と安全性の両立を目指す努力が最も望まれる。

参考文献

- [5-1] 英国の安全目標の基本的考え方 UKHSE: Health and Safety Executive、 1992.
- [5-2] 中西、 水の環境戦略 (岩波新書)1994.
- [5-3] 氏田博士：ヒューマンエラーと安全設計、特集「品質危機とヒューマン・ファクタ～未然防止の基本と実際～」、品質管理誌、2001年9月号.

5.2 エネルギー環境問題のリスクとベネフィットの比較

どのような工学システムであろうとも、合理的なリスクとベネフィットの議論に基づき、システムの課題を評価すべきである。その際、一つの技術の中だけのリスクベネフィットの議論ではなく、同じ産業における多くの技術システムのリスクとベネフィットの相互比較することが技術システムの社会的受容に有効である。例えば本節で示すように、原子力であれば、事故のリスクが議論の中心となるが、その他の環境リスクも考慮すべきであるし、またエネルギー環境問題としてベネフィットを考えることが重要である。総合的に見ると、原子力のリスクは他のエネルギー産業に比べ低く、またベネフィットは高いが、社会的受容性は低い。しかし、エネルギー供給のようなクリティカルインフラストラクチャは国家百年の計として考えなければならず、合理的なリスクベネフィット評価が必要となる。ここではエネルギー産業として、原子力と化石エネルギーと再生可能エネルギーとを比較して議論する[5-6]。

日本においては2015年2月の時点において、2011年3月11日の福島第一原子力発電所の事故後にすべての原子力発電所が停止したが、方針未定のまま既に4年近くが経過し、再起動の動きが少し見え始めたが未だに遅々としている。このため、以下のようなリスクベネフィットのアンバランスの問題が生じている。

- 地球温暖化（CO₂ 排出量増加）
- エネルギーセキュリティ（エネルギー自給率低下）
- 化石燃料費支払いによる国富流出と電気料金高騰、産業技術力低下
- 避難の継続と健康被害（実際は、放射線のリスクより避難の継続による心理的課題のリスクの方が大きい）

この課題は、一企業の責任ではなく、国家のエネルギー政策の中に位置づけるべきものである。

ところで巷の議論を見ていると、原子力発電所の推進か廃止かの二分論が多いが、本来は合理的なリスクベネフィットに基づきエネルギー政策の一つとして議論にすべきであろう。一般に、技術システムの受容には、そのシステムの有用感と安全・安心の両方が必要であると言われている。これはすなわち、ベネフィットとリスクのトレードオフをしていることになる。

(1) リスク

原子力のリスクは、環境リスク（CO₂、煤塵、SO_x・NO_x）と事故リスク共に他のエネルギー産業に比べて低いが、現状は未だに再稼働できない状況である。

例えば図 5.3 には、廃棄物発生量を化石燃料と原子力と再生可能エネルギーを比較しているが、どの物質で見ても原子力と再生可能エネルギーは化石燃料に比べ圧倒的に低いことが分る[5-7]。これに伴い、通常時の環境における健康リスクも、図 5.4 に示すように（再生可能エネルギーは土地の大幅利用による環境問題と言う別のリスクはあるが廃棄物によるリスクは比較的小さい）化石燃料と原子力の差異は非常に大きい[5-7]。

次に事故時のリスクを図 5.5 で比較する[5-8]。図の線は、各々のエネルギーによる 1 GWe の発電所 1 年間の運転による、死亡者数の発生頻度分布を示している。左の OECD 諸国の図では、原子力を除くと総てが実績値に基づいている。OECD 諸国だけで見ると、原子力では死亡者が出ていないのでリスクカーブを引くことができず、確率論的リスク評価（PRA）でその安全性を評価せざるを得ない唯一の産業である。スリーマイル島事故や福島事故は、社会的に大きく騒がれたが、事故リスクとしてみれば、他産業に比較ができないほど小さい。一方非 OECD 諸国で見ると、チェルノブイリの事故による急性死亡はポイントデータだが 47 名でありこれも他産業に比べれば少なく、リスクは他産業よりもかなり低い。また晩発性の発ガンのリスクは、実際には特定できないため閾値無し線形仮説に基づいた死亡推定値が計算されそれも図に示されている。非 OECD 諸国をみると、チェルノブイリ事故を考慮したとしても他のエネルギー産業より事故リスクが低いことが分る。なお、中国の炭鉱事故のデータは異常に高いため別掲になっておりこの図には載っていない。

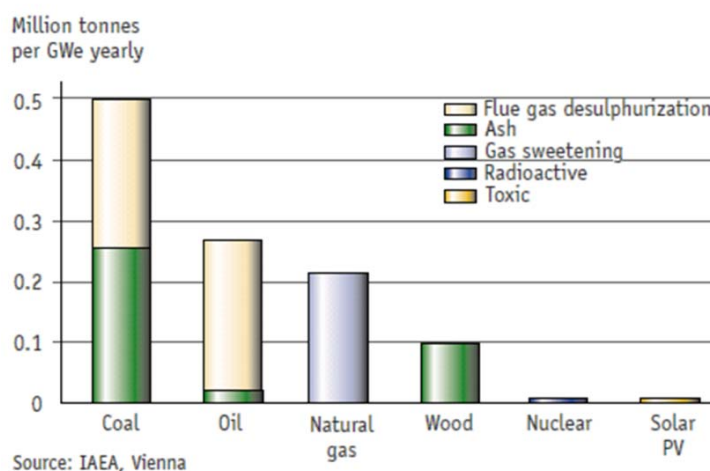
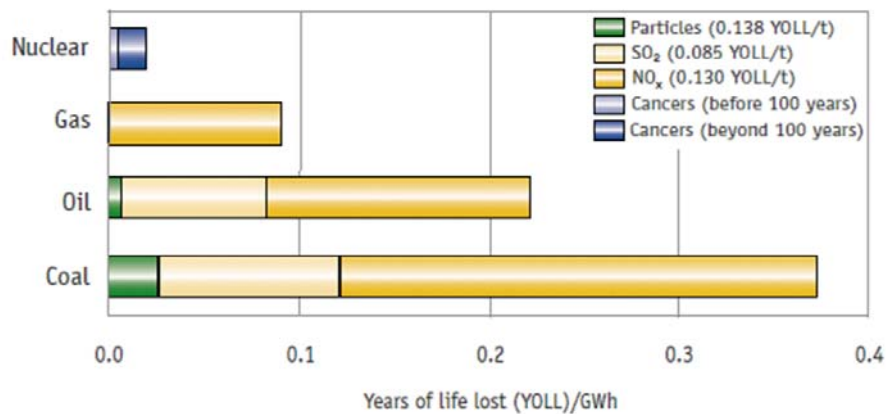


図5.3 廃棄物発生量[5-7]



Source: "Comparative Assessment of Emissions from Energy Systems", IAEA Bulletin, 41/1/1999.

図5.4 健康リスクの比較[5-7]

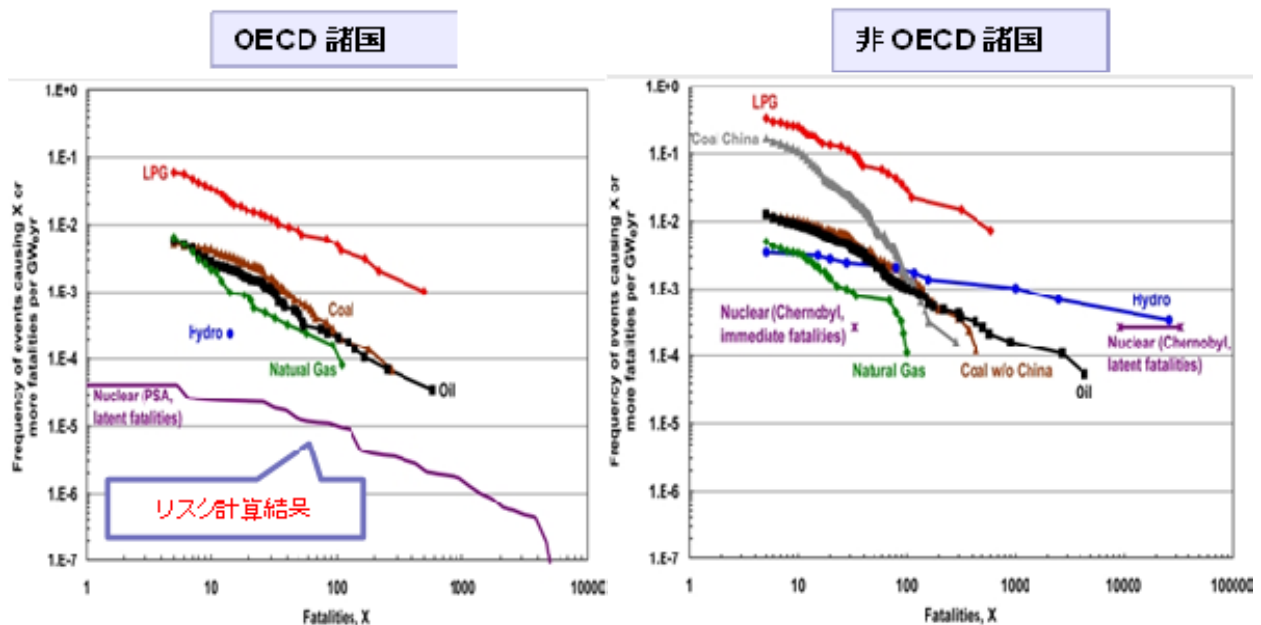


図 5.5 エネルギー産業のリスク比較[5-8]

1969年から2000年の間に様々なエネルギー生産手段により世界で発生した死亡者数の大きい事故（5人以上）の発生頻度の比較（急性死亡のみ考慮）

以上のように、通常時の健康リスクも事故時のリスクも他産業に比べ小さいにもかかわらず原子力の社会的な受容性が低いのは、表 5.1 に示すような人間の持つ認知バイアスがあるからである[5-9]。すなわち放射線やO157のような希少なリスクはマスコミも大きく取り上げ一般大衆もパニックに陥ることもある。一方で本来なら大きく取り上げるべきリスクの大きな交通事故や自殺や喫煙はありふれたこととして無視されている。

表 5.1 原因別死亡者数（「反原発」の不都合な真実：藤沢数希著、2012 [5-9]

対象	死亡者数/年	報道価値	一般の反応
放射能、0157、狂牛病	0-100人	高	パニック
HIV、殺人、熱中症	100人-5,000人	中	社会的問題
交通事故、大気汚染、自殺、喫煙	5,000人-20万人	低	日常茶飯事

(2) チェルノブイリ事故のリスク

ここで、チェルノブイリ事故の状況を述べる。1986年のチェルノブイリ原子力発電所の爆発・放射能汚染事故は、社会と技術の相互作用の時代に発生したものであるが、不全な組織間関係という特徴も備えた新しいタイプの事故の前兆である。

7つの国際機関と3か国の共同プロジェクトとして、100人の科学者が3年かけて60万人を調査した結果が、Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impactsとしてまとめられている[5-10]。それによると、直接死亡は47人であり、がん死亡率上昇確率は、閾値なし線形仮説を適用した推定値によれば2-3%（3千人/11万人）である。しかしこの報告書によると、一番の問題は、約12万人の避難、約35万人の強制移動、約700万人への援助であり、このために援助に依存する心的傾向、誇張された情報に基づく将来への漠然とした健康不安、生活を自ら切り開く意欲を失わせた、ことである。すなわち、放射線のリスクよりも心理的なストレスによるリスクの方が大きい、ことである。これは同一対象における複数の異なったリスク間のトレードオフの問題である。IAEAの勧告にもあるように、福島事故においてもこの轍を踏まないように、すでに時遅しではあるが今からでも早急な対策が望まれる。

3. ベネフィット

一方で原子力のベネフィットは、以下のように他産業に比べ高い。

- 地球温暖化対策：図 5.6 に示すように、原子力と再生可能エネルギーはともに、建設時などに若干 CO2 を出すもののエネルギー生成時の燃料からの CO2 排出は無いので、CO2 排出量は一ケタ以上小さい[5-11]。
- エネルギーセキュリティ：核分裂エネルギーであるためエネルギー密度が大きく、また表 5.2 に示すように発電密度も大きいため[5-12]、燃料輸送も燃料貯蓄も楽になることにより準国産の扱いとなっている[5-13]。このため、図 5.7 に示すように、日本のエネルギー自給率がわずか4%であるのに対し、国策としての原子力を考慮に入れると16%となる。また、発電電力量が大きいため、安定電力供給が可能である。

- 経済性：エネルギー密度大で発電電力量が大きいので、燃料費が安く経済性も高い。
- エネルギー利用効率：エネルギー資源は、エネルギーを利用するために取り出すエネルギーを必要とするが、エネルギー収支比（エネルギー獲得量／エネルギー投入量）が大きいほどエネルギー源として優秀と考えられており、5～10の値がエネルギー源として利用可能か否かの限界と言われている。図5.8に示すように、原子力、火力、水力はその比が大きく、水力以外の再生可能エネルギーは小さい [5-14]。

原子力発電と再生可能エネルギーは原理的にカーボンフリー発電技術であるので、それが代替する発電によるCO₂排出削減量がベネフィットということになる。さらに輸送用エネルギーとして電気と水素が普及することになれば、原子力と再生可能エネルギーはそれらのカーボンフリーの供給技術となりえる。

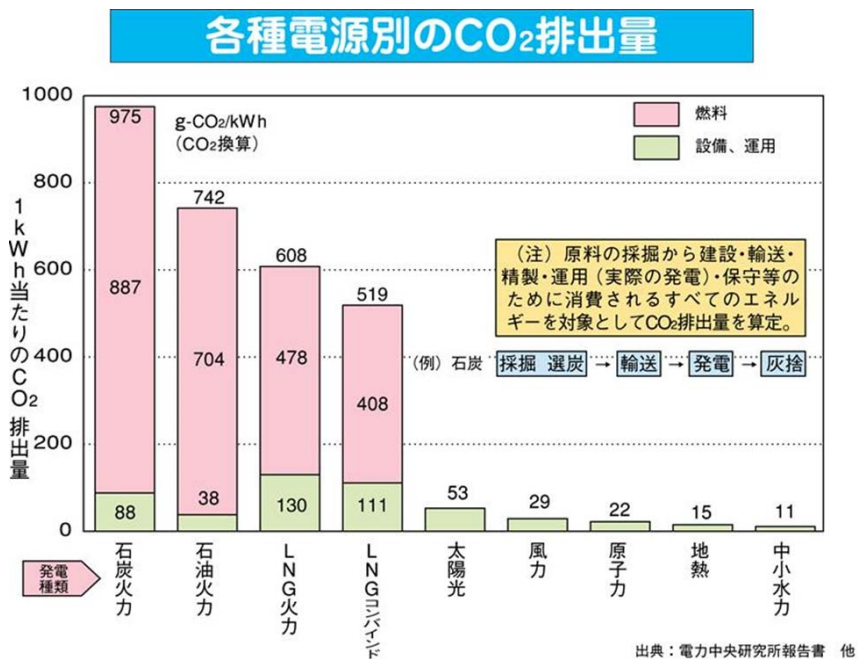


図 5.6 CO₂ 排出量[5-11]

表 5.2 各種電源のエネルギー密度 -発電所敷地面積あたりの発電電力量 [5-12]

対象	敷地面積あたりの電力密度[kWh/m ² ・年]	備考
家庭の電力需要	35	一戸建（敷地50坪、契約40A）
事務所の電力需要	400	8階建て（延床面積3,000m ² ）
バイオマス発電	2	ポプラプランテーション（6年サイクル）、発電効率34%
風力発電	21	米国テハチャピ WF、C.F. 20%
太陽光発電	24	家庭屋根（50坪、3kW、設備利用率15%）
水力発電	100	日本の水力発電所約100箇所の平均値
石炭火力	9,560	碧南石炭火力（210万kW）
原子力発電	12,400	柏崎刈羽（821.2万kW）

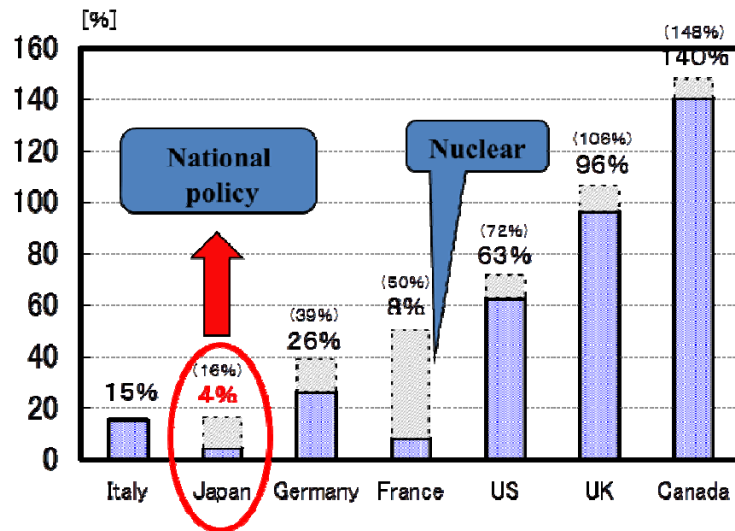
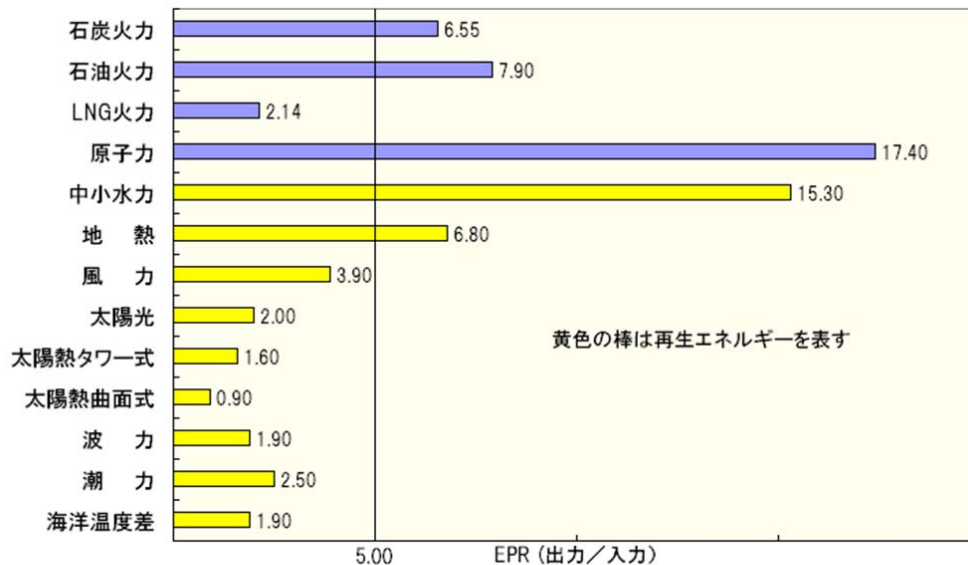


図 5.7 エネルギーセキュリティの評価-エネルギー自給率[5-13]



(注)原子力では、ガス拡散と遠心を半分ずつにしている
設備利用率は、石炭、石油、LNG、原子力は75%、水力45%、風力35%、太陽光15%、太陽熱15%

図 5.8 各種電源の EPR, Energy Profit Ratio (エネルギー収支比)

[出典]天野治:石油の代替エネルギーをEPRから考える、日本原子力学会誌、Vol.48、No.10(2006)、p.762

4. リスクベネフィット

英国では、健康安全局（HSE:Health Safety Executive）の監督のもと、総ての技術は基本的にリスクベネフィットの考え方で運営されている。米国の原子力規制局（NRC:Nuclear Regulatory Commission）は、1990年代に確定論的評価による規制からリスクベネフィットの考え方に基づく合理的な確率論的評価による規制に移行した。残念ながら日本は、確率論的手法こそ導入したが、規制への反映は行われていない。福島事故を契機にリスク論的な規制への移行が望まれるが、方針は未定のままである。この状況の背景には日本としての安全文化の問題がある。

エネルギー政策を議論する際には、リスクベネフィットの観点からすると、安全の課題と同時に将来の技術革新も語るべきである。例えば、原子力システムは本来的に高度に安全に作られたシステムであり、今は福島原子力発電所事故を受け安全思想の再構築により安全性向上が図られつつある。それに加え、安全性向上、利便性向上など新たな原子炉概念である第4世代炉（高速増殖炉、高温ガス炉）中小型炉、放射性廃棄物の処理処分、消滅処理などの革新的な研究開発が進められている。エネルギーシステムの技術革新の在り方と開発工程を明確に打ち出し、日本における自主技術開発のリスクベネフィットを再検討すべきである。

5. リスクベネフィットによる判断

安井は「市民のための環境学ガイド」のなかで、3種類のエネルギー源を以下のように形容している[5-15]。

- 化石燃料：見かけは普通の人間のように見えるが、実は地球を破壊する悪魔
- 原子力：一見は魅力的な人物だが、本性を見せると暴力的危険人物
- 自然エネルギー：いかにも善人を装うが、実は気まぐれな浪費家

どれも一長一短があるので、そのすべてをうまく組み合わせていくことが肝要である。このこともリスクベネフィットのトレードオフとして異なるトラを飼い慣らしていく努力が望まれる[5-16]。

参考文献

- [5-6] 氏田、「合理的なリスクベネフィットの議論に基づく原子力の課題の評価」、日本原子力学会 2014 年秋の大会、2014 年 9 月、京都大学。
- [5-7] Nuclear Energy Today、OECD/NEA、2002.
- [5-8] OECD/NEA6862、2010 by Swiss Paul Scherrer Institute.
- [5-9] 藤沢数希:「反原発」の不都合な真実、2012.
- [5-10] Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts, 2003-2005, Chernobyl Forum: IAEA、WHO, UNDP, FAO, UNEP, UN-OCHA, UNSCEAR、the World Bank, and the governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine.
- [5-11] 電力中央研究所報告書: ライフサイクル CO2 排出量による原子力発電技術の評価、Y01006、2001.
- [5-12] 今後のエネルギー情勢と技術選択、内山、平成 15 年。
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/kakuyugo2/siryo/kaihatsu13/siryo11.pdf>
- [5-13] *Energy Balances of OECD Countries 2002-2003*、IEA.
- [5-14] 天野: 石油の代替エネルギーを EPR から考える、原学誌 Vol.48、No.10、2006.
- [5-15] 市民のための環境学ガイド (安井至) . <http://www.yasuienv.net/REOnly.htm>
- [5-16] Ujita, H., 'Nuclear Issues Evaluation based on Rational Risk-Benefit Consideration', 'International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems, and International Symposium on Symbiotic Nuclear Power Systems 2015', Kyoto, Aug. 2015.

5.3 長期的価値の評価

原子力の価値を議論する場合によく取り上げられるのが、地球温暖化の問題とエネルギー資源枯渇の問題であり、その有効性を理解することが大切である[5-17]。

地球温暖化の問題では、衡平性（Equity）を議論しているが、これは現在生きている我々現世代だけの課題であり、世代間衡平性すなわち世代間倫理（Inter-Generation Ethics）の議論がこの先の問題として残っている。いずれにしても、今対策しなければ不可逆的な地球レベルの影響が避けられないので、将来世代への責任から世代間倫理の議論として、事前警戒原則（転ばぬ先の杖原則とも呼ばれ、以前は予防原則と呼ばれていた、Precautionary Principle）に基づく行動あるのみである[5-18]。

中国、インドやブラジルのように途上国といえども大国として、過去の森林伐採による排出責任の大きさも明らかである。それ以上に、これから排出量が大幅に増加すると考えられる途上国の将来世代に対する責任の大きさもまた明らかである。

世代間衡平性の議論では、同世代の NIMBY（Not In My Back-Yard）問題と同じで、リスクの受益者負担原則が成立しないため、リスクベネフィットで何らかの代替ベネフィットを提供するしかない。NIMBY 問題の補償金はあまり有効な政策ではなく、現実的には地域共生の道を探ることになる。世代間衡平性では、事前警戒原則に則り、最大限の削減努力を早急に始めることに尽きる。

最低限の要求は将来世代に選択肢を与えられること、もう少し積極性を持つと将来世代に研究開発能力（知的贈与）とその成果を残しておくこと、さらに言うと社会資本（公共財、きれいな大気や永続的なエネルギー源）をきちんと残してあげることであろう。

地球温暖化の問題では、現世代がミニマムの成長で我慢し将来世代のために対策費用を捻出する努力（持続的発展の概念そのもの）をしてきた実績、研究開発により新たな革新技術の芽を提供すること、原子力や再生可能のような長期のエネルギー源を確保しておくこと、が大切であると考えられる。

気温上昇への歴史的貢献（排出量）で、発展途上国が先進国を責める構図があるが、将来世代への衡平性を問えば、少なくとも今後に大幅な排出が予想される新興国の国々（中印など）には大きな責任がかかることを認識する必要がある。将来世代への発展途上国の責任を考慮すると、やはり先進国からエネルギー環境技術を移転することにより、早急な環境技術の高度化と大幅な環境製品の普及が必要とされる。

次に資源問題を検討する。図 5.9 で分かるように、人類の歴史から見て、化石燃料時代とは膨大なエネルギー密度で資源を消費しつくす儚い瞬間であり、それ以降は核分裂・核融合のエネルギーで賄うか本質的に新たなエネルギー源を開発しなければ、人類が存在し得ない[5-18]。

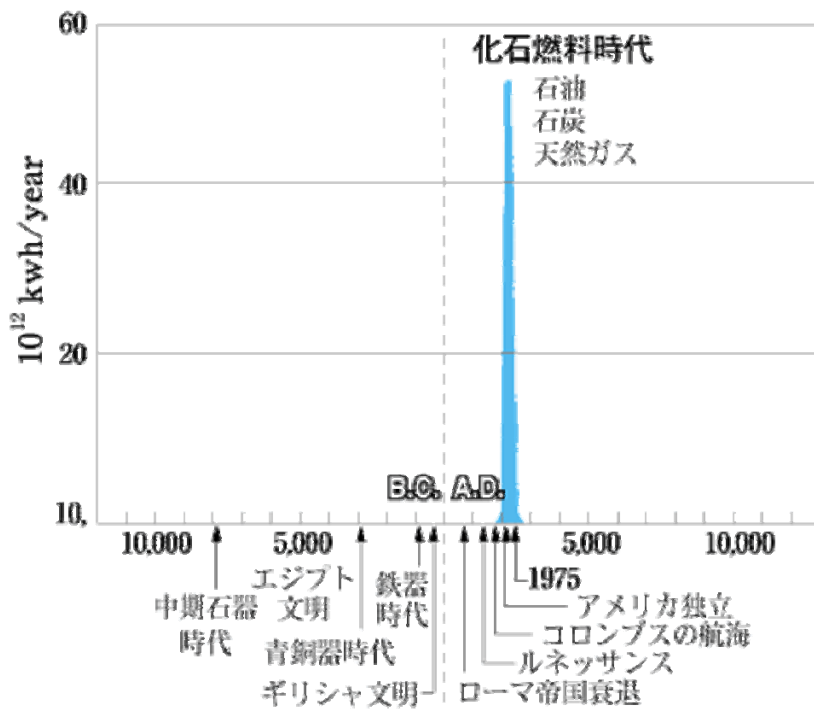


図 5.9 一瞬の化石燃料時代[5-18]

では、ウラン資源は豊富にあるのかについても検討する。図 5.10 に CO₂ 濃度が 550ppm の場合の軽水炉によるウラン資源の利用状況を示す[5-19]。ウランは、当初先進国による消費が大であるが、2020 年頃以降になると途上国の消費が急増し、21 世紀中にウラン資源が枯渇する結果となった。濃縮ウランを用い、使用済燃料中の U や Pu を再利用しない現行の軽水炉システムでは、確認資源だけでは需要をまったく満足できない。

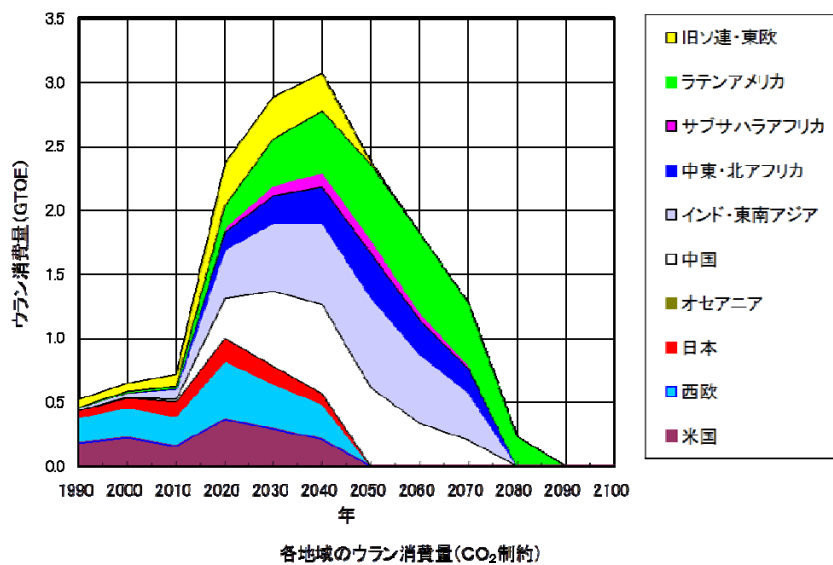


図 5.10 ウラン資源の利用 (CO₂ 制約) [5-19]

21 世紀後半に高速増殖炉（FBR、Fast Breeder Reactor）が軽水炉に取って代わって導入されるシミュレーション結果を示すが、軽水炉で使われるウラン 235（存在比 0.7%）の枯渇のために、それに代わり残り 99.3%を占めるウラン 238 から生成されるプルトニウム 239 を利用するシステムに変換していくことを示している。増殖炉の意味は、100 年しか持たないウラン 235 の代わりにその 100 倍になると予測されるプルトニウム 239 を利用するからである。これにより、表 5.3 に示すように 10、000 年以上のエネルギー資源を確保できることになり、世代間衡平性の視点から要求される長期の地球温暖化とエネルギーセキュリティの問題への抜本的な対策を提供できることになる [5-18]。

表 5.3 ウラン鉱石の埋蔵量と燃料サイクル [5-18]

	資源量	利用可能年数 (2012年の発電量、発電効率において)	
		軽水炉 ワンスルー (U235利用)	高速増殖炉 核燃料サイクル (Pu利用、100倍)
既知在来資源	764万t-U	142年	14,200年
総既知在来資源	1,533万T-U	288年	28,800年

5.4 リスクとベネフィットの比較のまとめ

以上、3種類の一次エネルギーのリスクとベネフィットの比較と長期的な価値の評価をまとめると、表5.4のようになる。環境問題、地球温暖化問題、資源問題を抱える化石燃料からは、当面はエネルギー需要の観点から難しいが、早めに脱却することが望まれる。長期エネルギー源として、残った2種類のうち、再生可能エネルギーはエネルギー密度が小さいため分散電源として、原子力が主幹電源としての使い分けが予想される[5-20]。

表 5.4 リスクとベネフィット比較/長期的価値評価[5-20]

評価指標		化石エネルギー	原子力	再生可能エネルギー
リスクと ベネフィット	廃棄物発生量	×× 脱硫排煙、灰	◎ 放射能	◎ 酸
	健康リスク	×× SO _x 、NO _x 、粒子	◎ ガン	-
	事故リスク	× (××@LPG)	◎	-
	CO ₂ 排出量	×× 燃料(◎CCS付) 設備・運用	◎ 設備・運用	◎ 設備・運用
	エネルギー密度	◎ 需要の2ケタ上	◎ 需要の2ケタ上	×× 需要以下
	EPR(エネルギーブ ロフィット比)	○	○	×
	エネルギー自給率	× 輸入	○ 準国産	△ 国産だが希少
長期的価値	資源	× 資源枯渇	◎ Uには資源枯渇があ るが、Pu利用で1万 年に延長	△ 永久に存在するが量 的制約
	CO ₂ 、廃棄物	×× 地球温暖化 環境問題	△ 消滅処理により百年 オーダーで処分可能	◎

参考文献

- [5-17] 柚原、氏田、「システム安全学 文理融合の新たな専門知」、海文堂出版、2015.
- [5-18] 氏田、他4名、「エネルギー科学と地球温暖化: エネルギーを知れば世界が変わる」、共立出版、2015.
- [5-19] 湯原、氏田 編著、「エネルギービジョン 地球温暖化抑制のシナリオ」、海文堂出版、2014.
- [5-20] 氏田、「地球温暖化とエネルギーセキュリティの課題と対策-世代間倫理の観点も含めて」、日本工学会 技術倫理協議会 第11回公開シンポジウム、東京、2015年11月.

6. まとめ

6.1 原子力安全の再構築

原子力安全の再構築は、原子力発電の健全な発展および社会の原子力受入れに対して重要なテーマである。このため、原子力安全研究会では原子力安全について議論を重ね、下記の提言をまとめた。

1. 人間のレジリエンス能力の活用

人間は緊急事態や想定外事象の発生にも的確に対応できるレジリエンス能力を持っており、事象によって対応に時間余裕がある場合にはこれを安全対策として積極的に活用することが重要である。福島第一原子力発電所事故後の我国の SA 対策は、欧州の SA 設備対策を重視する考え方に近い。しかし SA が発生した場合、そのシナリオやプラント状態の総てを予見することは困難で、人的要因（ヒューマンファクタ）による事故状況の正しい分析や回復操作に期待することが効果的であると考える。福島第一原子力発電所事故の教訓として「福島 50」の働きを正しく評価すべきである。

すなわち人間の持つ緊急時の対応能力であるレジリエンス能力に期待することが緊急時における安全性向上につながるはずである。しかし安全対策として人間行動の効果をどこまで認めるか、すなわちヒューマンクレジットをどこまで取れるかの判断により、ハード対策の範囲も安全評価の前提も大きく異なる。人間のレジリエンス能力やヒューマンクレジットを明確化して、緊急時の対応能力を高めるための適切な教育・訓練を実施することにより、人間と機械の適切な協調関係を構築することができると思う。

2. 深層防護の実装化の検討

深層防護は時代とともに進化しており、現在の IAEA の深層防護も確立したものではなく、レベル 3 と 4 の区分が参加機関により異なり現在も審議中である。

我が国では福島第一原子力発電所事故後に、IAEA の深層防護を取り入れた新規制基準が施行された。深層防護は最重要の安全思想であるが、そのままでは設計指針として利用することができない。設計基準事故に対しては安全設計審査指針があるが、SA 事象を取り入れた新規制基準ではレベル 4 対策として人的要因をどのように取り入れるか、またレベル 3（DBA 対策設備）とレベル 4（SA 対策設備）の独立性についての議論が継続されている。

人的要因の取り込みおよびレベル 3 と 4 の設備の独立性の適正化により、合理的な SA 対策を具現できるので、今後は産官学で協力して協議し深層防護の実装を図ることを期待する。

3. 確率論点リスク評価(PRA)の活用

確率論的リスク評価（PRA）は、プラントシステムの安全性のバランスを把握する有効なツールである。そのためにはまず、起因事象と有効な対策の洗い出しによりシナリオの網羅性が大切である。

安全性の問題の特徴は「部分最適は全体最悪を生む」可能性があることであり、こうならないためには、システムの安全対策の過不足を定量的に把握することが必要である。福島第一原子力発電所事故後に採用した SA 対策の有効性も含めたトータルシステムに対する統一的な PRA を実施して定量化することにより、対策の十分性や過剰対策か否かなどの判断が可能となり、本当の意味で安全評価が達成できる。米国では、規制局である NRC のリスク情報を活用した実績に基づく規制（RIPBR）宣言あるいは産業界の緊急時における、ハード、人間、外部支援まで含めて柔軟に対応する方策である FLEX で、実現されている。また、日本の保全学会では、統一的な評価を試みた例がある。また電気事業者は今後の自主的安全性向上活動の中で実現して行くことが期待できる。この際、コストベネフィット解析を活用することにより、無用な設備投資を回避しつつ安全上重要な施設に資源を集中的に投入することができる。

本来は、規制側から定量評価を要求する、特に原子力発電は国策民営化の色合いが濃いのであるから明確な要求基準を出すべきである。そのためにはまず安全目標を導入し、リスク情報を積極的に活用することを宣言する。また学協会においては、それに必要な PRA 実施基準のさらなる整備を進めることが望まれる。この際には、「技術」だけでなく「人とマネジメント」及び「制度」も考慮に入れた包括的なリスク評価が必要である。

4. 総合的リスク評価を用いた原子力の再評価

システムを合理的に評価できるリスクとベネフィットの解析方法を検討し、原子力エネルギーが他のエネルギー産業との比較で、合理的な安全対策のレベルであることを確認するとともに、エネルギー構成としてどのシステムをどの程度受け入れるかをリスクコミュニケーションに基づき決めるべきである。例えば、地球温暖化や環境問題、あるいはエネルギーセキュリティなどの視点も反映して、その相対的な優劣が分れば、判断可能と考える。基本的には、安全目標を十分に達成していれば、ベネフィットの議論を積極的に導入する。

5. プラント再稼働の判断

迅速なプラント再稼働を実現するために、安全の重要度に応じて対策を短期・中期・長期に分けて、最低限の喫緊の対応が必要となる短期対策が終了した時点で再稼働の認可をする、長期的な対応は実施計画を提出させる、など時系列に応じた規制方針を出すことが望まれる。

6.2 原子力関係者に対する提言

我が国の原子力発電が健全に発展するには、「規制機関・電気事業者・メーカーの関係適正化」と「国民の支持を得る」が重要である。そのために必要なことは、国や産業界を含めた原子力産業として、福島第一原子力発電所事故を「制度設計」の問題ととらえ全体設計することである。すなわち、電気事業者とメーカーの役割と責任分担の明確化が必要であろう。責任は運転する電気事業者に集中するのは当然であるが、設計の問題であれば製造責任があるメーカーが、規制要件の問題であれば規制側が責任を持って対応することを明確にすることである。そしてそのためには、それを支える技術者の能力と姿勢が重要となる。

1. 規制機関への提言

規制機関は、原子力発電所全体を俯瞰して真に原子力の安全につながることを指導することが重要である。多大な資料作成の要求や審査資料の間違い探しなどの局所的な規制は、「部分最適は全体最悪を生む」こととなり真の安全に結びつかない。膨大で完璧な資料を要求するよりも、事業者が安全管理に必要な現場パトロールの時間を十分に取ることにより安全性の向上につながるように見直しが必要である。原子力の安全が、「メーカーによる安全設計と製造」と「電気事業者による安全運転」と「規制機関による安全規制」で成立していることは言を俟たない。

メーカーと電気事業者が最善の安全性向上を図ることができるよう法体系の整備を進めるとともに、規制機関として全体バランスの取れた規制を実施することが重要である。

原子力発電は国策民営事業として開発・利用を進めてきた歴史がある。しかるに、現在は推進機関が蔭を潜め、規制機関のみが表舞台に登場するようになった。原子力発電事業に限らず産業の発展のためには、適切な推進（アクセル）と規制（ブレーキ）が必要である。日本国として原子力発電が国策民営事業であることを再度明言し、推進と規制の役割分担を適正に実施することが大切である。

2. 電気事業者に対する提言

電気事業者は、福島第一原子力発電所事故の反省に基づき種々の対策を講じている。海外に対して遅れていた我が国の SA 対策は、事故後に策定された新規規制基準に対応すべく安全強化が図られ、今では欧米プラントとほぼ同等レベルに到達したと言える。今後は、設備設計だけに頼るのではなく、人的要因や可搬式設備等を活用することにより、更なる安全性向上を図ることを期待する。

また、弛まぬエクセレンスの追求を怠ることなく安全文化の醸成に注力することに期待する。換言すれば原子力発電所の安全対策についても規制要求を満足すれば良しとするのではなく、PRA 評価結果や他プラントの良好事例に基づき自主的に安全性向上を図ることが望まれる。

3. メーカーに対する提言

我が国の原子力産業界は、封建的な古き悪しき習慣に引きずられた。第1の習慣は「士農工商の文化：メーカーは電力事業者に対し電力事業者は官に対して言挙げしない」、第2の習慣は「実績重視：新しい技術にチャレンジしない」ということである。これらの習慣は、SA対策の遅れにつながり福島第一原子力発電所事故の根本原因の一つでもあった。

規制機関・電気事業者・メーカーが封建的な上下関係ではなく水平的な関係にすべきであるとの理解のもと、安全審査の場などにおいてメーカーは規制機関に対して堂々とあるべき技術論を主張することが望まれる。

欧州の原子力メーカー（当時のKWU社やAsea Atom社）は、米国から軽水炉を導入するも早い段階でABWR型プラント概念を開発した。我国のメーカーは欧州メーカーに負けぬ技術力を有しているの、何よりも自社技術に対する自信と技術者魂（開拓者精神）を取り戻すことを期待する。

4. 技術者への提言

技術立国により平和で豊かな社会を形成してきた我が国にとって、原子力エネルギーを放棄することは、国力低下と国民の貧困を招くこととなる。そうならない為にも、一人一人の技術者は、原子力のリスクを正しく国民に伝えるとともに、原子力エネルギーの必要性和有用性を技術的に分かり易く説明することが責務である。福島第一原子力発電所事故後、原子力関係者に対して社会の厳しい批判があるが、技術者は改善すべきは改善した上で批判を恐れず事実を発信することが重要である。事実を丁寧に分かり易く説明すれば、国民には必ず理解していただだけ、正しい判断をしていただけるものと信じる。

一般国民には、「零リスクの社会は存在せず、我々は許容リスクの中で社会活動を営んでいる」ことを理解し、原子力エネルギーの要否を総合的に判断していただくことを期待したい。このため、学会が中心となって一般国民（特に青少年）を対象としたエネルギー教育やリスク教育を推進し、さらには深層防護の考え方の整備、安全目標の活用基準とPRA実施基準の明確化を図るとともに、社会と技術者の交流の場を提供することが望まれる。

キヤノングローバル戦略研究所 原子力安全研究会

氏田 博士	キヤノングローバル戦略研究所
村松 健	東京都市大学
富永 研司	原子力安全推進協会
安藤 弘	原子力安全システム研究所



キヤノングローバル戦略研究所
The Canon Institute for Global Studies

キヤノン株式会社の70周年記念事業の一環として、2008年12月に一般財団法人として設立された民間・非営利のシンクタンク。元日本銀行総裁福井俊彦氏を理事長に迎え、そのリーダーシップのもとに2009年4月より活動を開始した。キヤノン株式会社の寄付により運営されているが、キヤノンの事業や利害からは独立した活動を行っている。主たる研究領域は「マクロ経済」「資源・エネルギー・環境」「外交・安全保障」。科学的に価値ある研究を行い、それに基づいて有意な政策提言を発出することを目指している。また海外の研究者・研究機関とも積極的に交流し、グローバルな知識のネットワークを創造するとともに、知的交流のプラットフォームを提供している。