

# 原子力発電所過酷事故防止検討会における検討と

## 提言にあたって

2013年1月23日

原子力発電所過酷事故防止検討会

主査 齋藤伸三

2011年3月11日に発生したマグニチュード9の東北地方太平洋沖地震によって発生した巨大津波が太平洋沿岸の5ヶ所の原子力発電所を襲い、東京電力株式会社福島第一原子力発電所では、大量の放射性物質を放出する未曾有の重大事故(過酷事故)を引き起こしました。

この事故に関し、呼びかけ人(阿部博之)より、「東京電力福島第一原子力発電所の過酷事故は、どうすれば未然に防ぐことができたのであろうか、どのような対策が必要だったのかを解明することが喫緊の課題である。原子力発電所が、少なくとも第一義的には、科学技術の成果物であることを考えれば、その解明は原子力の推進や安全等に係わってきた科学者・技術者の責務である」との直言を戴きました。

そこで、私どもは、関係方面のご尽力を得つつ、呼びかけ人を含めて、2012年10月26日に「原子力発電所過酷事故防止検討会」を立ち上げました。

私ども原子力の研究、開発に携わってきた科学者、技術者にとって、大規模地震に伴う巨大津波の結果とはいえ、あつてはならないこのような大事故(以下、東電福島第一事故と称す)を起し、多くの国民の皆様にご多大なご迷惑をかけ、また、未だに多くの立地地域住民の方々のご自宅に戻れない状況におられることは慙愧に堪えません。

東電福島第一事故が近隣住民及び国民にもたらした重大な影響を真摯に受け止め、二度と原子力発電所の過酷事故を起さないために、その防止対策は如何にあるべきかを、原子力科学者、技術者として科学的、技術的視点に立脚した基本的な課題について検討して参りました。

過酷事故の防止対策を確立することは、原子力発電所の安全確保における喫緊の課題であります。しかし、これまで各界で取りまとめられた事故調査報告書は、我が国の原子力発電所の過酷事故に関し根本的な防止対策についてまで言及することに必ずしも重点が置かれていなかったと思料し、それらを明確にして必要な提言を行うことこそ重要であると考えました。

検討会では、専門の立場から事故の要因の究明、分析、および過酷事故の防

止対策について科学的、技術的に真摯に取り組んできました。検討の結果である過酷事故の防止対策を早急に社会に示すことは、我々の国民に対して果たすべき責務であると考えた次第です。

これまでの検討で提言すべき主要な点が明確になったことから、ここに中間報告として主要な提言を取りまとめ、公表いたします。

本報告書が原子力関係者や科学技術者に対して二度と過酷事故を起こさないためにどうすれば良いか、また、広く一般国民に対して原子力発電のリスクを便益との関係において考えるきっかけになれば幸いです。

なお、本検討会は、(一財)新技術振興渡辺記念会のご支援のもと、(一社)技術同友会の活動の一環として位置付け、開催をしております。本検討会の趣旨をご理解頂き、専門的検討や運営にご協力下さった各位に深くお礼申し上げます。

(別添) 原子力発電所過酷事故防止検討会名簿

(別添)

原子力発電所過酷事故防止検討会名簿

(主査)

齋藤 伸三 (一財)放射線利用振興協会顧問(元原子力委員会委員長代理、元日本原子力研究所理事長、同理事(安全担当))

杉山 憲一郎 北海道大学名誉教授(元原子力安全委員会原子炉安全専門審査会審査委員)

中原 豊 (株)三菱総合研究所 常勤顧問

成合 英樹 筑波大名誉教授(元原子力安全基盤機構理事長)

宮崎 慶次 大阪大学名誉教授(元総合エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会委員)

宮野 廣 法政大学大学院デザイン工学研究科客員教授(元日本保全学会副会長)

(呼びかけ人)

阿部 博之 東北大学名誉教授、科学技術振興機構顧問(元東北大学総長、元総合科学技術会議議員)

(この他、下記の専門家に検討の支援を頂いた。)

村松 健 東京都市大学工学部原子力安全工学科特任教授

松本 昌昭 (株)三菱総合研究所科学・安全政策研究本部原子力事業グループ主任研究員

(また、下記の方がオブザーバーとして参加した。)

松浦 祥次郎 (公財)原子力安全研究協会評議員会会長、(一社)原子力安全推進協会代表(元原子力安全委員会委員長)

石田 寛人 (一社)技術同友会代表幹事

# 原子力発電所過酷事故防止対策の提言

## 二度と原子力発電所過酷事故を起さないために

平成25年1月23日

原子力発電所過酷事故防止検討会

### 要旨

わが国に軽水型商用原子力発電システム（以下、軽水炉と呼ぶ）が導入されて40年を越える。その間に、様々な不具合、トラブル、事故等を経験し、それらを解決する技術開発がなされるとともに多くの研究が実施され、軽水炉の技術基盤は充実されたものとなってきた。わが国の軽水炉技術は、その信頼性、安全性においては、確かに世界のトップレベルの信頼を得るまでになった。

平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原子力発電所と称す）と東北電力女川原子力発電所では一部の地震動に設計基準を超える応答が観測されたが、原子炉は全て正常に停止し、炉心の冷却、放射性物質隔離に係る安全上重要度の高い機器、構造、システムについては、地震による直接的な機能喪失はなかったと評価されている。

では、なぜ福島第一原子力発電所では、過酷事故<sup>i</sup>を起こしてしまったのか。

直接的な原因として、地震動を誘起させた海溝沿いの複数断層の動きにより生じた複数の津波が福島第一原子力発電所沖で重畳し、設計想定を大幅に超える約15mの高さの津波となり発電所へ押し寄せたことによるが、このような事象が起ることは予見できていなかったものとされている。

わが国が確立してきた原子力技術の信頼は、国際原子力機関（IAEA）の深層防護のレベル3<sup>ii</sup>までの設計、製造における品質に対するものであり、ものづく

---

<sup>i</sup>過酷事故：従来の規制機関では「シビアアクシデント」と言ってきたが、原子力規制委員会設置法では「重大事故」とされている。ここでは、一般に分かり易く過酷事故と呼ぶ。シビアアクシデントは、「設計基準事象を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な炉心の冷却または反応度の制御ができない状態であり、その結果、炉心の重大な損傷に至る事象」と定義されてきた。結果として、格納容器の隔離機能の著しい低下により放射性物質が環境中へ大量に放出される事態も含まれる。設計基準事象とは、原子炉施設を異常な状態に導く可能性のある事象のうち、原子炉施設の安全設計により炉心の損傷及び敷地外へ異常な放射性物質の放出を伴わない事象を言う。

<sup>ii</sup> 原子炉の深層防護では、レベル1：異常の発生防止、レベル2：異常の拡大及び事故への進展の防止、レベル3：事故の拡大防止と環境への影響緩和を言う。

りに向けて定められた設計基準に従って製作されたシステム、機器の信頼性が極めて高いことにあった。ところが、今回の過酷事故のように過酷な自然現象に起因する設計基準を越えた事象に対しては、検討と対応が不十分であり、設計された安全設備はその機能を発揮することができなかった。

従って、設計基準を越える過酷事故に対する対応の仕組みの構築がこれからの最大の課題であると言える。

既存の原子力発電所の稼働については、上述のようにこれまでに培ってきた設計、製造段階における信頼性を基に、レベル3までの設計基準に対して相応の妥当性を考慮することはもちろん必要であるが、さらに、福島第一原子力発電所事故がもたらした影響に鑑みれば、設計基準を超える過酷事故領域である深層防護のレベル4への新たな継続的な対応が不可欠である。このためには、大規模な地震・津波の襲来に対する対策を確実なものとするとともに、他の要因によるレベル4の対策をそれぞれの発電所の設計、立地等の条件を考慮して、逐次、適切に充実させることを迅速に判断すべきものとする。

本提言は、「提言」とそれを説明する「解説」から構成される。

「提言」では、これまでの議論の内容を提言の形でまとめた。

「解説」では、主要な提言に至る考え方や内容を詳細に示し、分かりやすく説明した。具体的には、本提言における考え方をまとめた「基本的考え」、福島第一原子力発電所事故の経緯を概観した「分析」、本報告の核となる提言とその解説をまとめた「提言」、過酷事故防止に対応するための具体的な安全対策例をまとめた「具体的安全対応策」から構成される。

なお、提言と解説の全体構成上の関係を巻末に示した。

## 提言

- 提言 1 : 如何なる自然災害、人為事象も「想定外」として済まされない。  
「想定外」を無くす努力こそが大切である。
- 提言 2 : 原子力安全の確保の体系を確立し、その運用のための安全審査指針・基準類を既成概念に捉われずに見直し、世界的に高く評価されるレベルのものとする。
- 提言 3 : 全ての原子力関係者はそれぞれの役割において自らの責務を認識し、原子力安全の確保を第一として取り組む。特に、規制機関は、広く専門家の意見を聞きつつ過酷事故の発生防止と、万一、発生した場合の影響緩和に関する根本原則（深層防護レベル 4<sup>iii</sup>）を策定する。事業者は、このための過酷事故対策の具体化を図り、常に緊張感を持って、その実効性ある実施に取り組む。
- 提言 4 : 国および事業者はそれぞれあるいは協働して、また、原子力を専門とする科学者、技術者は関係する学会等を軸として、原子力発電について広く国民とのリスクコミュニケーションを行い、原子力発電の有する便益とリスクに関し国民のコンセンサスを得る活動を推進する。

以下に具体策としての提言を示す。

- 提言 5 : 規制機関は、レベル 4 の計画及び検査を規制対象とする。  
その対策の検討に当たっては、あらゆる内部事象（人的過誤等含む）、自然現象、人為事象に起因する過酷事故を対象から排除せず、規制機関は、専門家及び事業者とともに過酷事故の発生防止と影響緩和のために多種多様な設備等の活用を含めた対応の組み合わせを想定し、実効性ある方策（アクシデントマネジメント）を構築する。
- 提言 6 : レベル 4 に対応する安全確保の機能は、共通要因故障を排除した信頼性を確保すること、また、そのためには位置分散による独立性<sup>iv</sup>や、安全機能の多様性<sup>v</sup>による独立性の確保などの考慮を行う。

<sup>iii</sup> レベル 4 : IAEA の深層防護の考え方の一つ、過酷事故の防止、万一、発生した場合の影響緩和対策を目的としたもの。

<sup>iv</sup> 独立性 : 二つ以上の系統又は機器が設計上考慮する環境条件及び運転状態において、共通要因又は従属要因によって、同時にその機能が阻害されないことをいう。（安全設計審査指針の用語の定義より）運転するためのシステムと安全を確保するためのシステ

- 提言 7 : アクシデントマネジメントの具体策例としては、恒設設備では対応不可能な事態に万が一至ったとしても柔軟な対応が可能なものとする。このため、可搬式設備、移動式設備（車両に据え付けた設備）を備え、接続口は多重性を持たせるなど、いかなる事態に対しても柔軟に対応できるようにする。
- 提言 8 : 事業者は原子力発電所に、原子力発電システムを熟知し、事故時における原子炉の状況を的確に把握または推測し、適切な判断をし、為すべき作業を指示出来るアクシデントマネジメント専門職を置く。
- 提言 9 : 事業者は、アクシデントマネジメントの手順書を現場で一つひとつ確認して作成し、それに基づき従事者の教育、あらゆる条件下での訓練を徹底する。
- 提言 10 : 規制機関は、上記に関し遺漏なく検査、監視を行う。また、事業者、規制機関は、それぞれ、あるいは協働して、常に、必要な見直しを行い、アクシデントマネジメントの改善に努める。

---

ムは、それぞれ独立して機能する設計とし、一方の故障が他方に影響しないようにすること。

- ▽ 多重性、多様性：多重性とは、例えば同種の非常用電源を必要な容量以上、複数機備えるなど、予備機・予備システムを設けて、一つが故障しても残った設備が作動すること。多様性とは、例えば原子炉を止める方法として、制御棒の挿入と、ほう酸溶液の注入という二通りの方法を設けるなど、異なる複数の備えを講じること。

## 解説

### －基本的考え－

#### 深層防護の考え方

従来、我が国では、原子炉施設に係る安全確保については、異常の発生防止、異常拡大防止、事故影響緩和の3つのレベルまでの深層防護、安全上重要な系統を単一故障基準に基づき構成し、設計基準において想定した外的事象(地震、津波等)への考慮という基本的な考え方に基づき、設計基準事故への対応が行われてきた。

しかし、米国の TMI 事故、旧ソ連のチェルノブイリ事故以降、設計基準事故を超える事故を過酷事故(シビアアクシデント)として、各国で、その対応がとられるようになり、我が国においても、その対応に関し原子力安全委員会で議論された。そして、深層防護の第4のレベルに相当する「設計基準事故を超える事象」に関して、平成4年5月当時の原子力安全委員会が、原子炉設置者において効果的なアクシデントマネジメント(過酷事故を防止し、また、万一、発生した場合にはその影響を緩和すること、AM)を自主的に整備し、万一の場合にこれを的確に実施できるようにすることを強く奨励した。その内容は、シビアアクシデント(過酷事故)への拡大を防止するとともにシビアアクシデントに至った時の影響を緩和するために、施設の設計に含まれる安全余裕や当初の安全設計上想定した本来の機能以外にも期待しうる機能またはそうした事態に備えて設置した機器等を有効に活用することによって対応することとして、その詳細な対応を事業者及び旧通商産業省(その後の原子力安全・保安院)に任せ、報告するよう求めた。

旧通商産業省はその方針に従って行政指導により過酷事故対策を進め事業者が整備報告も求めたが、事業者の自主的保安措置であったため、「設計基準事故を超える事象」、すなわち、過酷事故に至る可能性のある事故を深層防護の第4レベルとして明確な規制対象として位置づけなかった。このことは、新規プラントからは設計時に対応するという方向を含めて、当時としては世界の潮流から遅れたものではなかった。しかし、その後、諸外国では規制要件化していったが、日本ではその対応が進まなかった。

東電福島第一事故を受け、平成24年6月に成立した「原子力規制委員会設置法」においては、大規模な自然災害及びテロリズムの発生も想定した安全規制への転換のための改正が含まれる。すなわち、設計基準事故を超え過酷事故に至る可能性のある事象の防止及び万一、発生した場合の影響緩和対策を深層防護のレベル4として位置付けることになる。(図1 参照)

このために設備される機器、装置等の多重性、多様性、独立性、信頼性、重要度分類等は十分に検討されるべきである。

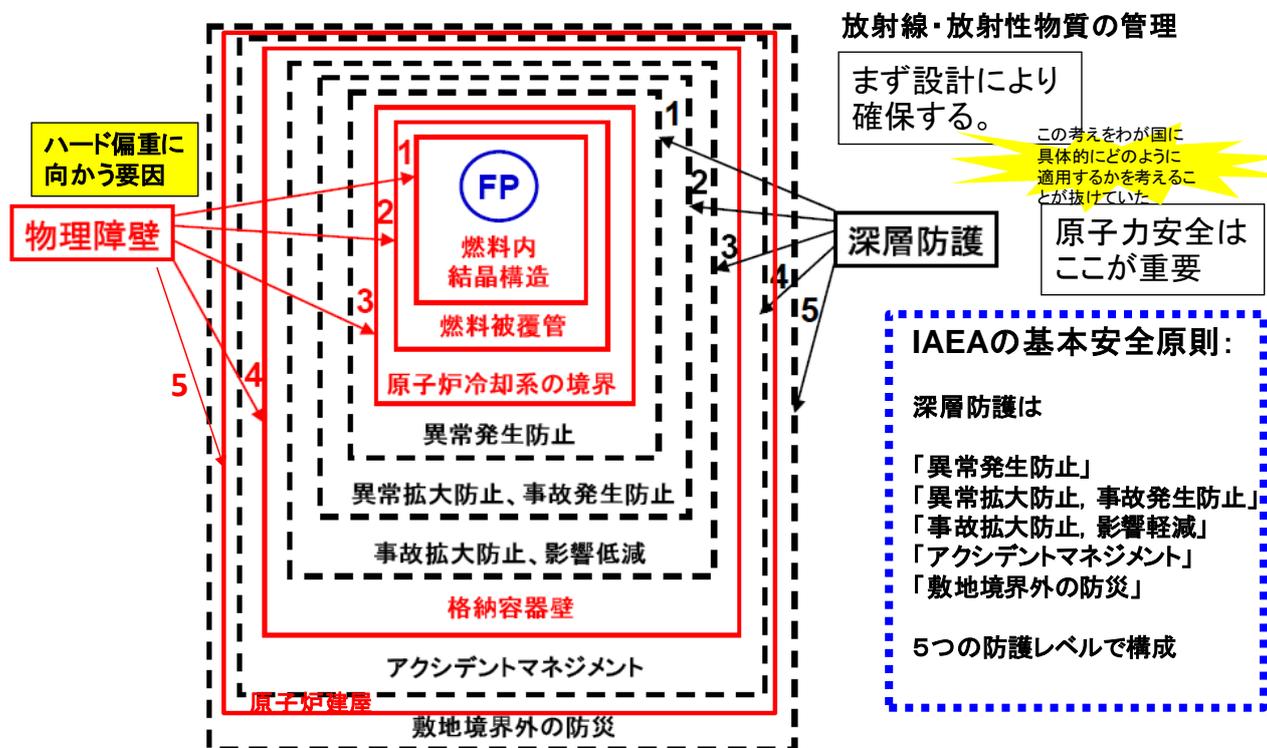


図 1 放射性物質放出に対する物理障壁と深層防護  
(宮野廣、原子力学会誌第 54 巻第 3 号、一部修正)

## 一分析一

### 東電福島第一事故の分析

今回の事故は、地震を感知し全ての原子力発電所は自動停止し冷却モードに入った。しかし、その後の津波による影響は設計の想定事象を大きく超えるものであり、設計基準を超えた対応について十分な検討がなされておらず、システムは多重、多様を問わずに、共通要因（津波事象）で多くの機能が喪失する事態が発生した。その結果、全ての電源を喪失し、それを起点とする炉心冷却機能の喪失、最終ヒートシンク<sup>vi</sup>の喪失が次々と生じることとなり、燃料損傷（炉心溶融）をもたらすに至った。その結果、水素爆発を誘引し、放射性物質の閉じ込めの失敗、大量の放射性物質の環境への放出と言う外部事象に起因した大規模な事故に至った。これが、東電福島第一事故の経緯の概要である（図 2 参照）。

<sup>vi</sup> 最終的な熱の逃がし場

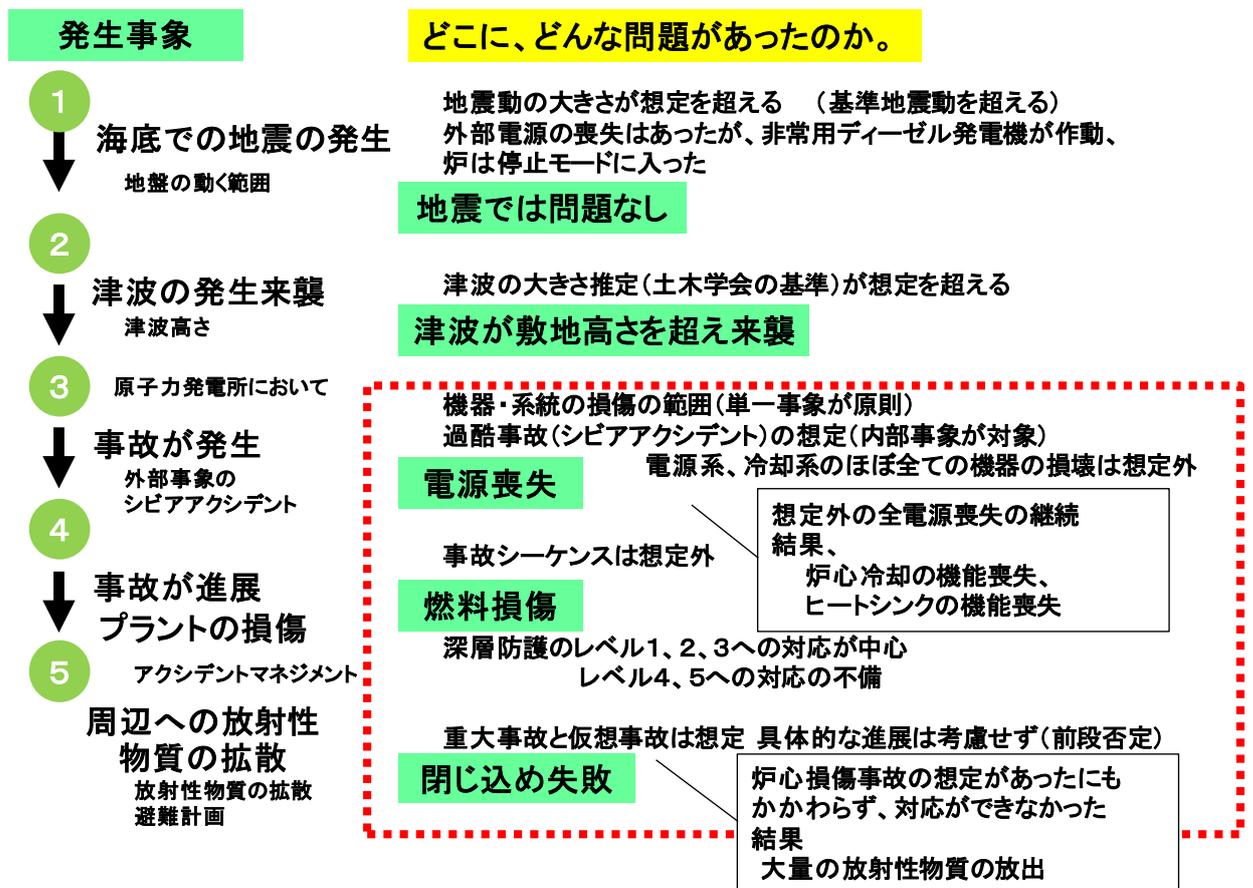


図 2 東電福島第一原子力発電所の事故の進展概要

また、複数基の機能喪失の仮定もしくは共通要因事故・故障の発生の際の仮定とその対応に課題があった。すなわち、複数基設置の安全機器の同時故障・機能喪失や故障・事故の重畳などを想定した重大な事故の想定は必然であるとはしてこなかったのである。今回の事故は、津波の来襲により、多くの機器がほぼ同時に、また多重性を持たせてきた複数基の機器が、その機能を同時に喪失するという事態を招いたものである。事故がここまで進展したのは、プラント設備としては①全電源の喪失、②冷却システムの喪失、③最終ヒートシンクの喪失にある。

一方、アクシデントマネジメントとしては①代替電源の不備、②代替ポンプ（消防車など）システムの能力不足、③想定外事故事象（全電源喪失、水素爆発、格納容器損傷など）の発生に対する準備不足、などがある。

これらは、いずれも事故シナリオの枠を自ら決め、今回のような事故の想定を全くしてこなかったことに要因がある。これまでの事故の検討は、内的事象として構成機器の単一故障等に起因する事故進展想定が行われ、それを確実に網羅的に行うことで定量的にプラントの安全が確保されるという評価を行って

きたものであり、同一機能機器の機能が同時喪失する複数機の損傷、共通要因故障の想定は確率的にも極めて小さい事象とされてきたのである。最悪の事態のもとでの事故シナリオの想定、認識が極めて重要であるが、今回の事故では、燃料の損傷がいつ起きているのか、格納容器はどのように損傷するのか、その場合に次に何が起きるのかなど、事故の進展とそれに対する対応の検討が十分になされてこなかったことにより、全ての対応が後手になってしまったのである。

### －提言－

原子力施設の安全確保には想定外は許されない。徹底した自然災害、人為的事象及び内部事象等による事故事象の想定と対策を規制機関、事業者は検討すべきであり、その仕組みを構築すること。

今回の東北地方太平洋沖地震、それに伴う巨大津波は、設計想定を大きく上回るものであった。しかし、潜在的に大量の放射性物質を保有する原子炉は、どのような自然災害、外的人為事象が発生しても、それを「想定外」として危機管理の外に置くのは正しくなく、敷地境界付近の公衆及び環境に放射性物質の放出による有意な影響を与えてはならない。すなわち、原子力発電所及びその他の原子力施設の設計、建設、運転においては、このことを片時も忘れてはならない。そして、不断に新たな知見、研究成果を設計、運転及び規制にとり入れることを心がけるべきである。

原子力安全規制の一環として、事故発生防止の対応を監視する責任を国、規制機関が持つことを認識し、事業者に対して例えば隔年毎に、プラント毎の“過酷事故発生防止計画書”の提出を義務付け、自然災害、人為的事象及び内部事象による事故発生の想定、その対策計画および対応訓練の実施状況などについての報告を義務付ける。規制機関は責任を持って審査し、対応を承認する仕組みをつくる。また、事業者は規制の枠内に止まらず、過酷事故に至る可能性のある事象を常に探求し、その対策の構築に努める。

安全審査指針・基準類を既成概念に捉われずに見直し、体系化と機能性化<sup>vii</sup>の仕組みを完成させること。

<sup>vii</sup> 規制機関が定める技術基準の性能規定化：規制機関の定める技術基準（規制基準）は、要求される性能を中心とした規定（性能規定）とし、それを実現するための仕様には選択の自由度を与える。

原子力発電所の原子力安全の確保について、IAEAのSafety Standardなどを参考にわが国に適した「原子力安全の基本的考え方」を確立し、それに基づいた安全目標、性能目標などの体系化を進め、安全規制の考え方の早期確立を提言する。

また、例えば、これまでの安全設計審査指針では、指針27「電源喪失に対する設計上の考慮」において「原子炉施設は、短時間の全交流動力電源喪失に対して、原子炉を安全に停止し、かつ、停止後の冷却を確保できる設計であること。」としているが、解説において、「長期間にわたる全交流動力電源喪失は、送電線の復旧又は非常用交流電源設備の修復が期待できるので考慮する必要はない。」としていた。このことが、全電源喪失に対する対応が決定的に欠落していた一因でもある。また、安全上重要な機器、装置は共通要因故障を起こす可能性を低く抑えたうえで多重性を持たせるべきであり、このことが現実的でない場合は、異なる機能を有するものや配置場所も含めて多様性を要求すべきものとする。また、指針44「原子力発電所緊急時対策所」の耐震性、耐放射線性の要求、指針42「制御室外からの原子炉停止機能」に独立した原子炉冷却機能を含めるべきか、を明確にすることなども必要である。さらに、耐震設計審査指針の見直しとともに随伴事象として、特に津波に対する指針は独立させて新たな指針を設けるべきである。また安全評価審査指針には、新たに深層防護レベル4における過酷事故への対応として、その安全評価方法などを確立すべきである。

このように、国は法律、政令、省令、技術基準などの規制基準の体系化とともに、具体的に実行する仕様規定を民間の学会等の基準にゆだね、新しい進んだ技術成果を導入しやすい仕組みとする規制の機能性を促進することが必須であると考えられる。この原子力安全に係る体系化、機能性化の仕組みを早急に構築することを提言する。

**原子力安全に係るソフト面の充実に注力すること及び原子力発電所の運用に直接係わる人材の資質の向上を図る施策を実施すること。**

今回の事故では、現場での対応の運転員の資質も事故の収束に大きく影響したことは明確である。運転員は訓練を積んでいたことは認知されるころではあるが、訓練の元となる原子力安全に対する基本的考え方にこのような事故の想定がなかった。したがって、運転員が想定外の事態に対応できなかったことは責められない。しかし、原子力発電の基礎、特に核反応の基礎を把握したも

のであれば、より適切な対応ができた可能性も否定できない。

過酷事故に至る事象は、シナリオ通りと言うことは、まず、あり得ない。原子力発電プラントを熟知し、事象の進展に的確な判断と対応を指示出来るアクシデントマネジメント専門職を少なくとも原子力発電所サイト毎に、できればプラント毎に、配置する規定を設けることを提言する。この専門職は、アクシデントマネジメントに関する専門的な知識や能力を持ち、アクシデントマネジメントに必要な設備の設置、人的配置等に関し、所長に直言出来ることとし、万一の事態においては所長を補佐し、所長が判断できる体制とするべきである。また、規制機関がサイトごとに置く、監査官も同様の資格を有する技術者を置き、事業者と協力して安全確保を担う役割を持つ仕組みとすることが望ましい。

サイトの運用に必要な手順書については、机上の文書ではなく、現場で一つひとつ確認した“過酷事故対応手順書”を発電プラント毎に作成し、規制機関に提出し、監査官と共有する。この“過酷事故対応手順書”は“過酷事故発生防止計画書”と対をなすもので、例えば隔年毎に見直しを行うものとする。また、この手順書は複雑なものとなることから、デジタル化して、運転員、作業員が速やかに確認し行動に移せるものとするのが望ましい。

さらに教育、訓練に関しては、部長、課長、直長、直員は、頻度高く教育を受け、昼夜、天候等を問わず如何なる状況でも対応可能な訓練を行うような仕組みとする。

これらのソフト面の充実と人材の資質の向上は、事業者のみならず規制機関においても同様の対応が必要である。同時に、規制機関および各事業者、メーカーが相互に協力し、定期的な会合を持ち情報の共有を行い、あるいは他社のプラントの建設、試運転に参加する機会を設ける等、規制機関、事業者、メーカーを含めて、原子力産業界全体として切磋琢磨することが重要である。さらに、原子力に関係する分野の専門家を持つ学会等は適宜、適切な助言を行うことが望まれる。

国および事業者は、原子力発電の便益と原子力発電の持つリスクについて、広く国民とのコミュニケーションの場を設け、継続的にコンセンサスを得ることに責任を持つこと。さらに、原子力を専門とする科学者、技術者も便益を享受することに“絶対安全”はなく、何処までリスクを受容出来るか常に国民と対話を続けること。

従来、原子力事業者等から一般への説明の中では、しばしば、“原子力発電所

は絶対安全である”あるいは、“原子力発電所の安全神話”が言われてきた。こうした説明を行ってきたことが、我が国における過酷事故対策の整備を不十分なものにさせた要因の一つであるとの指摘がある。

原子力の安全確保を常に継続して追及する姿勢が重要であり、事業者、規制機関はもとより科学者、技術者にも求められることである。

自然災害や人為事象を含めた新たな科学・技術的知見、施設での運転経験、安全研究の成果などを踏まえて安全確保のあり方を検証し見直す継続的努力を怠ってはならない。こうした検討、見直しが着実になされるよう新知見とその検討プロセスの透明性を高め、国民への説明がなされることも重要である。

安全に関わる専門家及び実務者の一部の間では、リスクの存在は十分に認識され、過酷事故に関する研究や過酷事故対策を取り入れた次世代軽水炉の設計研究もなされてきた。しかし、こうした世界トップレベルの水準とも言える認識が原子力発電所における過酷事故対策に十分に活かされなかったことは残念である。リスクの認識とそれへの対応の努力について事業者、規制機関をはじめ国民への説明責任を果たすことができなかつたこと、少なくとも積極的な努力が少なかつたことは、科学者、研究者、技術者の責任であると深く反省するところである。

リスクに関する共通認識の形成に向けて、学会等に国民との対話の場を設けるよう強く提言する。

こうした対話においては、次の事項に留意すべきである。

## ○便益とリスク

どのようなシステム（鉄道、航空機、自動車等々）においても絶対安全はなく、その便益を享受しつつも、その利用等に伴い身体的、精神的あるいは経済的なリスクを受けることは避けられない。

## ○リスクを受容できる条件（安全目標）に関する議論

原子力発電には、他の電源と比較して様々な利点がある一方、ウランまたはプルトニウムの原子核の核分裂に伴って発生する膨大なエネルギーを利用するため、同時に放射性的核分裂生成物が発生する。この核分裂生成物は、その崩壊に伴い熱を発生するので、原子炉を停止しても除熱する必要があり、また、放射性物質は閉じ込めておかなければならない。今回の東電福島第一事故においては、この機能を維持できず、近隣住民をはじめ国民に多大な迷惑と損害等をもたらした。このリスクを最小化しなければならないが、それは、どこまで低減すれば安全といえるのであろうか？

これは、“How safe is safe enough?”の問題として、従来から国際的に議論され、多くの国で確率論的な数値の形で安全目標が定められ、決定論的な規則を補う形で活用されつつある。我が国でも、旧原子力安全委員会で議論がなされ、安全目標（案）が提案されている。この案では、安全目標の意義を国の安全規制活動が事業者に対してどの程度発生確率の低いリスクまで管理を求めるのかという、原子力利用活動に対して求めるリスクの程度を定量的に明らかにした。また、これを定めることで、規制活動の透明性、予見性、合理性、整合性を高めることに寄与し、さらに、公衆のリスクを尺度とする「安全目標」の存在は、指針や基準の策定など国の原子力規制活動のあり方に関して国と国民の意見交換をより効果的かつ効率的に行うことを可能とするものであった。その上で、提案する目標を定性的目標、定量的目標、性能目標の3つのレベルで示している。このうち最上位の定性的目標は、「原子力利用活動に伴って放射線の放射や放射性物質の放散により公衆の健康被害が発生する可能性は、公衆の日常生活に伴う健康リスクを有意には増加させない水準に抑制されるべきである。」としている。これを具体的な数値で表現したものが定量的目標であり、「原子力施設の事故に起因する敷地境界付近の公衆の個人の平均急性死亡リスク及び施設からある範囲の距離にある公衆の個人のがんによる平均死亡リスクは、ともに年当たり 100 万分の 1 ( $10^{-6}$ /人・年) 程度を超えないように抑制されるべき」こととしている。これは、対象となる人間は原子力発電所敷地境界近傍の居住者に限られるものであり、そのリスクは、たとえば、国民が年間に自動車事故によって死亡するリスクの約 50 分の 1 である。さらに性能目標は、安全目標への適合性確認が行いやすいように、安全目標に適合していることを判断できる目安を施設の特性パラメータで表現したものである。ここでは、内的及び外的起因事象の全体（ただし意図的人為事象を除く）を含めた事故シナリオについて、炉心損傷頻度  $10^{-4}$ /炉・年及び格納容器破損頻度  $10^{-5}$ /炉・年程度とした。なお、この数値については、杓子定規に適用するのではなく、「原子力施設の設計・建設・運転においては、当該リスクが年あたり百万分の 1 を超えないように合理的に実行可能な限りのリスク低減策が計画・実施されている」ことを求めるが、個別施設について、このような考え方を基に必要な対策が計画・実行されている場合、リスク評価結果が年あたり百万分の 1 を超えているからといって直ちにこの目標に適合していないとするものではないことを意味している、とされている。（「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」平成 15 年 12 月原子力安全委員会安全目標専門部会）

東電福島第一事故の経験を踏まえば上記の数値や指標の選定のあり方に見直すべきところもあるが、この案に盛り込まれた検討の成果を活用しつつ、国民に認知され合意が得られるリスクとはどのようなものであるかについて、国

民との対話を行うことが極めて重要である。

### ○十分な情報の提供

安全目標や性能目標が意味を持つためには、リスクを評価する確率論的リスク評価（PRA）の考慮の限界や不確実さを含めて、結果の意味が十分に説明されていることが前提である。例えば、上記安全目標案では起因事象として内的事象だけでなく外的事象も考慮することが要求されている。東電福島第一事故では、はからずも地震及び津波という外的事象を考慮した PRA<sup>viii</sup>がなされておらず、広く事象を捉えてリスク評価を行っていないければ、評価結果を安全目標と比較しても意味がないことが露呈した。今後は、国民にリスクを説明するときには、考慮範囲を明示し、範囲外のリスク要因について評価する方針を示すことや、残るリスクをどのように考えたかを説明すること、さらに評価手法の不確実さが大きいために安全目標を満足できているかの判断がしにくいような場合には、合理的に考えて実行可能な努力がどこまでなされているのか、といった情報を提供することが重要であり、それ無しにリスク受容の議論は成立しえないと考えるべきであろう。また、この説明努力を行うことは、規制機関や事業者が行う具体的対応策の意味や軽重について国民の理解を得ることと表裏の関係にあり、並行して進める必要がある。

### －具体的安全対応策－

#### 過酷事故に至る事故シーケンス<sup>ix</sup>の検討

内的事象に起因し過酷事故に至る事故シーケンスの検討は、アクシデントマネジメントの初期の段階から実施されてきた。

近年の確率論的リスク評価（PRA）手法の進展も踏まえ、事業者は重要事故シーケンスの抽出、グループ化を行い、それぞれの個別プラント毎に特徴を踏まえた PRA を実施し、対応を規制機関に報告しなければならない。この際には、内部火災、サイバー攻撃による事故シーケンス（テロ対策上公表は控える）等も含め検討する。

規制機関は、事業者の評価内容および評価結果、その対応策を十分に検討評価し、炉心損傷の発生防止及び万一、炉心損傷が発生しても、その影響を最小限に留めることを確認することが必要である。

---

<sup>viii</sup> PRA/PSA : PRA (Probabilistic Risk Assessment) , PSA(Probabilistic Safety Assessment) は、どちらも基本的に原子力安全の評価のための確率論的リスク評価として同義語として用いている。

<sup>ix</sup> シーケンス : 進展事象を精緻化し詳細化するという意味。

外的事象（自然現象、人為事象）に起因し過酷事故に至る事故シーケンスについては地震 PRA が進んでいるが、その他の起因事象に基づく事故シーケンスは未だ確立されていない。また、ケースによっては実施が困難あるいは高い信頼性を期待出来ないと思われるものもある。これらの外的事象については、イベントツリーによる影響評価等を実施し、内的事象に起因する事故シーケンス等から得られた知見も活用して総合的に評価することが望ましい。

外部事象に起因する項目として以下の検討が必要である。

自然現象に起因する項目

地震：設計基準地震動を超える事象

津波：想定津波高さをを超える事象

台風、竜巻：想定を上回る強風、屋外設備の損壊、浸水等  
ダムの崩壊、斜面の崩落：影響を受ける可能性がある場合

火山活動：火山灰等による影響

人為事象に起因する項目

火災、爆発：原子炉建屋外、敷地境界外における火災、爆発による影響

船舶の衝突、座礁：海中及び海岸近くの設定の損壊、原油漏れによる  
取水の阻害

航空機墜落：事故によるもの－ 軍用機、小型機、大型機

10<sup>-7</sup>回／炉・年以下ならば想定不要としてきた

テロによるもの－ 大型機、小型機

随伴して火災発生も考慮して置く必要がある

テロによる妨害破壊行為

爆薬、ガソリン等を用いたケース、ケーブルの切断、中央制御室の破壊、安全上重要な設備の破壊等様々なケースが想定される

発生確率の極めて低いものは、その旨明記しつつ、万が一の場合に対し、過酷事故の発生防止と発生した場合の影響緩和のために多種多様な対応の組み合わせを考える。

### 過酷事故の発生防止及び影響緩和対策（アクシデントマネジメント）

東電福島第一事故では、原子炉は停止できたが、その後全ての電源を失ったため燃料を冷却できず、放射性物質を大量に放出する大惨事に至った。原子炉の冷却機能の維持は、原子炉の安全の根源に遡る課題である。また、万が一の

場合に格納容器の過圧を防止する浄化機能付きの格納容器ベントシステムを設備することは、過大な放射性物質の放出を抑えることになる。

過酷事故の発生防止と影響緩和対策では、最重要課題は継続的に利用できる最終ヒートシンクを含めた燃料冷却機能を確保することにある。国内の既設の発電所は海水や大気を最終ヒートシンクとしており、これらは建物の外に配置せざるを得ないため外部事象の影響が直接及ぶ。事故シーケンスの検討で想定が望ましいとした自然現象、人為事象について、建物の内部に設置された安全設備は、建物の強度を向上させる、建物の気密性や水密性を強化する等の対策によって機能を確保することが可能である。

しかし、多様な事象の組み合わせの下で、最終ヒートシンクを含めた燃料冷却機能を確実に確保するのは容易ではない。恒設の設備と同等に可搬式の電源やポンプ、仮設の配管などを使い河川や海から冷却水を取り込む、更には陸上、海上から冷却水や電源、燃料などを輸送し、これを柔軟に活用して対応できる備えや日ごろの訓練が有効である。

東電福島第一事故発生後、原子力安全・保安院は、事故事象を具体的に追及し、平成 24 年 2 月に今後の規制に反映すべきと考えられる事項を 5 分野にわたり合計 30 項目にまとめた(図 3 参照)。それらは、外部電源対策(4 項目)、所内電気設備対策(7 項目)、冷却・注水設備対策(6 項目)、格納容器破損・水素爆発対策(7 項目)、管理・計装設備対策(6 項目)である。

これらの技術的知見と対策は、東電福島第一事故と異なる、沸騰水型軽水炉(BWR)及び加圧水型軽水炉(PWR)の過酷事故の防止及び影響緩和策として有用な項目が多い。

過酷事故の発生防止と影響緩和に用いる設備は、既存の安全設備と同等に多重性、多様性と独立性を有する電源を含めた恒設設備とすべきである。しかし、炉型や形式による安全余裕度や対応の相違も適正に考慮されるべきである。今回のような全交流電源喪失に限って言えば、PWR は原子炉系とタービン系で冷却系統が分離されており、放射能を含まない 2 次系蒸気の逃し弁を開けるのに運転員の心理的抵抗感は少なく対応は容易なはずである。この蒸気発生器を使って 1 次系の自然循環で炉心冷却ができる。このような基本原理の相違点も理解する必要がある。また、BWR でも事故を起こした福島第一原子力発電所の 1～5 号機の Mark I 型格納容器と比較し、MarkI 改良型、MarkII 型や改良型沸騰水型炉(ABWR)などでは格納容器の容量が大きく構造も異なり安全余裕度が大きいと考えられる。非常用電源設備の位置や収納建屋の水密性なども要点である。

さらには恒設設備では対応のできない万が一の事態も想定して恒設設備の機能を代替できる可搬式・移動式の電源、ポンプ等に加えて既存の設備に多重の接続口を準備して、これらを利用して柔軟に対応できる備え（危機管理）をして置くことが肝要である。

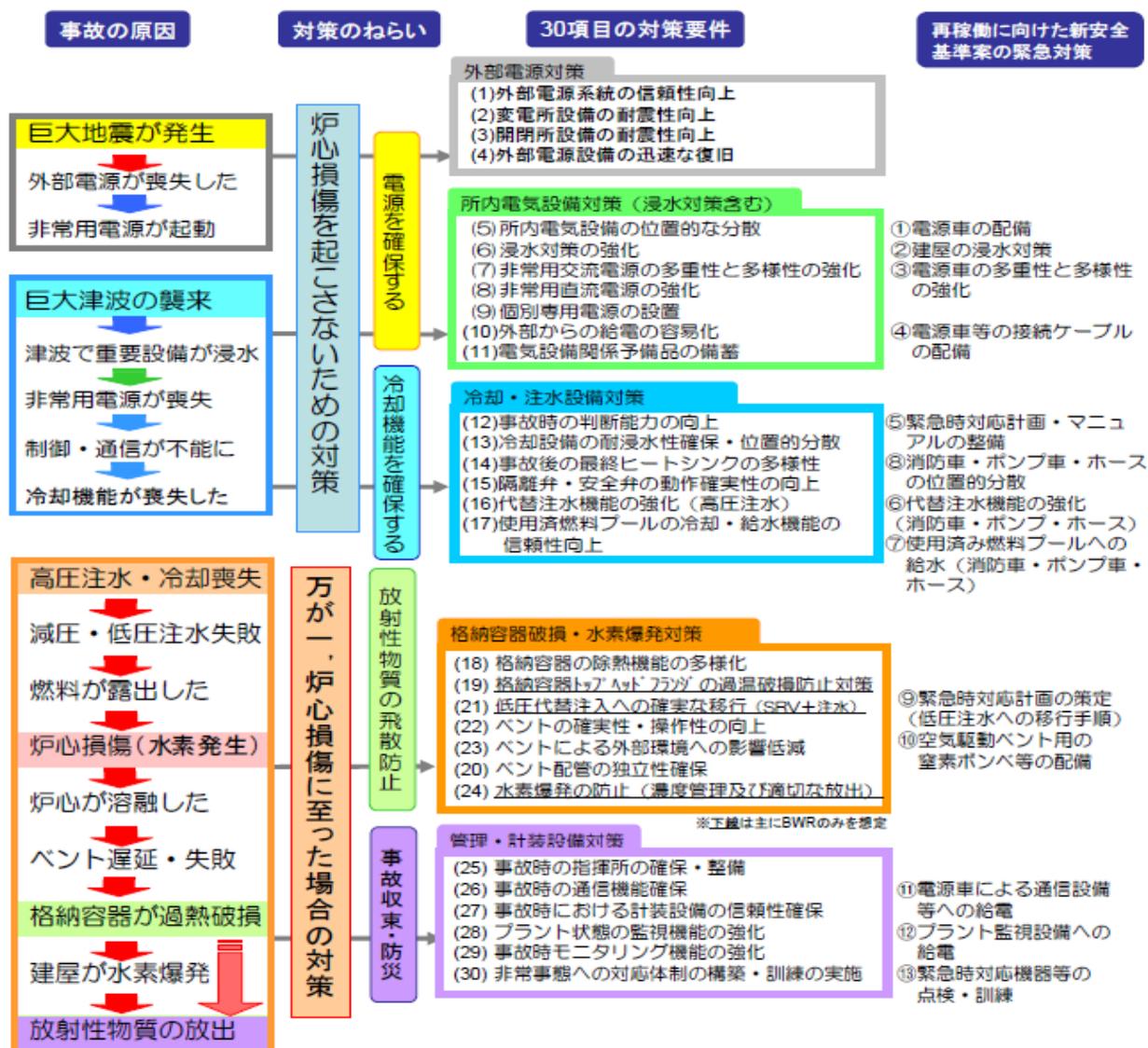


図 3 原子力安全・保安院の事故の原因と進展に応じた 30 項目の対策  
(奈良林直、GEPR 論文 2012-11-19<sup>x</sup>)

<sup>x</sup> <http://www.gepr.org/ja/contents/20121119-05/pdf/fukushima-daiichi30.pdf>

—提言と全体構成のまとめ—

とりまとめた提言とその説明との対応関係を図式化したものを図 4 に示す。

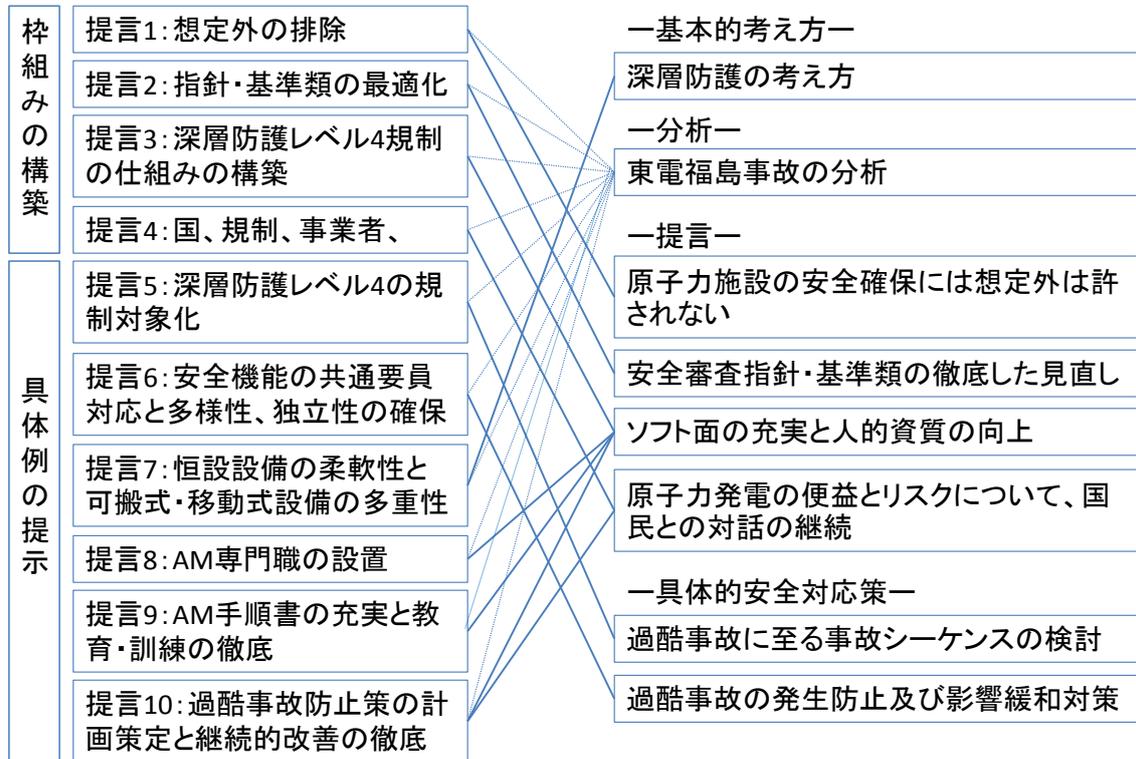


図 4 提言と説明の関係