

「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する
調査委員会」

中間報告

2013年3月27日

日本原子力学会

東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会

中間報告にあたって

2011年3月11日、東京電力福島第一原子力発電所事故が発生してから2年が経過した現在においても、多くの周辺地域の方々が依然として避難を余儀なくされております。設立以来、原子力エネルギーの平和利用に関する学術および技術の進歩を図ることを目的とした諸活動を推進してきました日本原子力学会（以下「学会」）にとり、このような事故を防ぐことができなかったことは痛恨の極みであり、深くお詫びを申し上げますとともに、被災された皆様に対して、心よりお見舞い申し上げます。

学会は、原子力分野の専門家の集団として、責任を痛感し、事故の収束および今後の環境修復といった活動に積極的に関与し、その責務を果たしていく所存であります。

その一環として、昨年、6月22日、学会の総会において、「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」を発足させました。過去、JCO 臨界事故の後、学会の総力を挙げた調査活動を行うため、「日本原子力学会 JCO 事故調査委員会」を発足させ、徹底した調査を実施した例に倣い、学会を構成する部会や連絡会・委員会等から委員を集め、活動を進めております。

第一回調査委員会を2012年8月21日に開催して以来、2013年3月19日まで9回の調査委員会を開催し、審議を重ねてきました。年内に最終的な報告書を作成する予定ですが、ここに、これまでの議論の成果を中間報告として取り纏めて提示します。

平成 25 年 3 月 27 日

日本原子力学会
東京電力福島第一原子力発電所事故
に関する調査委員会

委員長 田中 知

目次

本文編

1. はじめに
2. リスク評価と深層防護
3. 外的ハザードへの対応
4. アクシデントマネジメント
5. 原子力防災（緊急事態への備えと対応）
6. 環境修復に関する分析と課題
7. 原子力学会の役割と責任
8. まとめ

説明資料編

(説明者)

- | | | |
|-----------------------|-------------|-------|
| 1. はじめに | 東京大学 | 関村 直人 |
| 2. リスク評価と深層防護 | 大阪大学 | 山口 彰 |
| 3. 外的ハザードへの対応 | 名古屋大学 | 山本 章夫 |
| 4. アクシデントマネジメント | 東京大学 | 岡本 孝司 |
| 5. 原子力防災（緊急事態への備えと対応） | 日本原子力研究開発機構 | 本間 俊充 |
| 6. 環境修復に関する分析と課題 | 電力中央研究所 | 井上 正 |
| 7. 原子力学会の役割と責任 | 日本原子力研究開発機構 | 佐田 務 |
| 8. まとめ | 東京大学 | 田中 知 |

(添付1) 最終報告書 目次案 (簡略版)

(添付2) 日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」
委員リスト

本中間報告は、日本原子力学会の「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」のホームページに掲載します。

(<http://www.aesj.or.jp/jikocho/index.html>)

本文編

1. はじめに

日本原子力学会に設置された東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会（以下、学会事故調という）は、東京電力福島第一原子力発電所事故とそれに伴う原子力災害の実態を科学的・専門的視点から分析し、その背景と根本原因を明らかにするとともに、原子力安全の確保と継続的な安全性の向上を達成するための方策及び基本となる安全の考え方を提言することを目的として、活動を進めている。

このために、日本原子力学会を構成する部会等によるそれぞれの専門の立場から、事故に関する深い検討と議論を行ってきた。これらに基づいて学会事故調として総合的に議論した結果を踏まえ、最終的な報告書を取りまとめて、提言すべき点を報告することとしている。また原子力エネルギーと放射線利用に係る広範な科学と技術に取り組む日本原子力学会は、自ら反省をすべき点を明らかにし、今後の学会活動を通じて取り組むべき課題への決意を新たにしなければならない。

本中間報告では、福島第一原子力発電所事故の根本原因究明に、本事故調査委員会で議論され、明らかにされた課題に基づき抽出された論点を提示する。

原子力安全確保の目的は、現在および将来において、放射線の有害な影響から、人と環境を守ることである。そのために十分な余裕を持った設計基準を設定すべきである。さらに設計基準を越える事態が起こることを想定して、多段の安全対策を用意しておかなければならない。原子力プラントは最も複雑な巨大人工物システムであって、その安全を確保するために、全体的な俯瞰を行う意識的な努力が必要である。即ち、複雑なシステムを設計し運用するために必要な専門科学技術領域の間に抜けがあれば、システムの弱点となり、事故の起点となりうると考えられる。

本中間報告では、以下の観点から論点を提示する。

- リスク評価と深層防護による安全確保
- 外部ハザードへの対応
- シビアアクシデント対策とその実効性の確保
- 原子力防災：緊急時対策と長期防護措置
- 環境の除染と環境の修復
- 安全の基盤としての多様な局面・場面に共通するコミュニケーションの課題
- 学術団体とアカデミアとしての責務

これらの福島第一原子力発電所の事故を通じて明らかにされた事実とその背景となる課題に対して、日本原子力学会としての責務を明らかにし、何をなすべきかについて全体を俯瞰したとりまとめを行う。

(東京大学・関村直人)

2. リスク評価と深層防護

(1)はじめに

はたして福島第一原子力発電所の事故を未然に食い止められたのかは、日本原子力学会事故調査委員会として提示すべき命題である。それは、将来において、このような事故を、そして公衆と環境に甚大なる影響を及ぼす事態を起こさないようにできるのか、そのために何をするかにか繋がる。原子力専門家の集まりである日本原子力学会として議論を深め、事故調査委員会が提示すべき課題と考えている。本稿では、リスク評価と深層防護の観点から、その課題に関する分析を行う。

(2)事故報告書に見るリスク論と深層防護

IAEA 閣僚会合に対する日本国政府の報告書¹は、「原子力安全確保の最も重要な基本原則は深層防護であることを念頭に、現時点で、次の5つのグループに分けた教訓を示す」、「今後は、原子力の安全確保には深層防護の追求が不可欠であるとの原点に常に立ち戻り、原子力安全に携わる者が絶えず安全に係る専門知識の学習を怠らず、原子力安全確保状の弱点はないか、安全向上の余地はないかの吟味を重ねる姿勢ともつこと」、「リスク管理における確率論的安全評価手法の効果的利用（教訓 27）」と述べる。

米国規制委員会の報告書²は、「Task Force also concludes that a more balanced application of the Commission's defense-in-depth philosophy using risk insights would provide an enhanced regulatory framework that is logical, systematic, coherent, and better understood」と結論づけている。

原子力安全保安院の技術的知見に関する報告書³では、「深層防護の考え方にに基づき、まずは十分な想定に対する評価により安全性を確保するとともに、想定を超えることは起こり得るとの前提にたち、想定を超えたものは次の層で事故進展等を防止できるよう厳格な「前段否定（故障、事故の発生を防止するため必要十分な対策を実施するがその効果を否定し、故障・事故が発生したと想定し次なる対策を実施すること）を適用する必要がある」、「確率論的安全評価においても、我が国は取り組みが遅れていたと言わざるを得ない。原子炉施設に残るリスク（残余のリスク）を直視し、そのリスク低減のための効果的な安全対策

¹ 原子力安全に関する IAEA 閣僚会合に対する日本国政府の報告書「東京電力福島原子力発電所の事故について」、平成 23 年 6 月、原子力災害対策本部

² Recommendation for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century, USNRC, The Near Term Task Force, July 12, 2011

³ 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、平成 24 年 3 月、原子力・安全保安院

の立案に PSA を活用する必要がある」と述べる。

原子力規制委員会⁴は新安全基準の意見公募にあたり、深層防護の考え方の徹底との項目を挙げ、「それぞれの層の対策を考えると、他の層での対策を忘れ、当該の層だけで目的を達成する、当該層より前段にある対策は突破されてしまうものと想定し(前段否定)、さらに、当該層より後段の対策があることに期待しない(後段否定)」と深層防護に関して述べている。

政府事故調査委員会の報告書⁵には深層防護に関する記述は、IAEA 国際専門家調査団の報告書⁶を引用した「津波災害に対する深層防護の備えは不十分であったことなどが指摘されている」のみである。国会事故調の報告書では、本文での記載はなく、要旨の中で第 5 部の事故当事者の組織的問題として「日本では事故リスク低減に必要な規制の導入が進まず、5 層の深層防護の思想を満たさない点で世界標準から後れを取っていた」と述べているにすぎない。一方、冒頭に述べたように、IAEA 閣僚級会合報告書や NRC の報告書では、多くのページを割いて深層防護がなぜ安全確保に有効でなかったかを考察している。

それぞれの報告書にて異なる着眼点に基づく分析のためと考えられるが、安全に関する工学・技術的観点からは尊重すべき概念であることは万人の認めるところである。事故の教訓を、今後の安全確保に活かし、質の高いロバストな安全を達成するには、深層防護の理解、あるいは適用の仕方のどこに問題があったのかを見いださなければならない。

(3) リスク評価とリスク情報活用に関する経緯

原子力安全委員会⁷は、確率論的リスク評価について「世界の原子力安全関係者は、TMI 事故やチェルノブイリ事故の経験を貴重な教訓として、発電用原子炉施設における、設計で想定した事象を大幅に超えて炉心の重大な損傷に至る事象(シビアアクシデント)のリスクを抑制することが重要と認識した。このため、施設の設備の誤動作や誤操作の発生時にいくつかの安全装置が作動しないことによる災害の発生可能性とその影響の大きさを推定

⁴ 発電用軽水型原子炉施設に係る 新安全基準骨子案について・概要・平成 25 年 2 月 6 日、原子力規制委員会

⁵ 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 最終報告、平成 24 年 7 月 23 日

⁶ IAEA Mission Report, The Great East Japan Earthquake Expert Mission, IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami, 24 May – 2 June 2011

⁷ 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

し、それからシビアアクシデントのリスクを定量化する確率論的安全評価手法(PSA)技術が開発されてきている」と述べている。さらに、「この手法を用いて、我が国の発電用原子炉施設におけるシビアアクシデントのリスクの評価も行われており、その結果、わが国の発電用原子炉施設におけるシビアアクシデントのリスクの抑制水準は国際的に遜色のないものと判断されている」と続く。

リスク評価により、我が国の原子炉施設は安全であることの判断を示したのである。海外諸国では、リスク評価から得られる様々な情報を、安全の向上、運転・保守の効率化や被ばく低減、設備利用率の向上、論理的な規制⁸に用いている。例えば米国では、1995年にPRA（確率論的リスク評価）活用に関する政策声明書が発出され、①安全上の意志決定の改善、②原子力規制委員会の資源のより効果的な使用、及び③事業者の不毛な負担軽減が可能として、すべての原子力規制活動におけるPRA技術の利用促進を求めた。具体的な施策としては、現行規制における不要な保守性の排除及び新たな規制要件提案の際にPRAを利用すること、PRAは可能な限り実態を反映すること、PRAのレビューのためにそれを公開すること、安全目標及びその補足的数値目標はPRAの不確実さを適切に考慮して使用することなどを実行した。1998年にリスク情報の活用を奨励する規制関連の規則、指針が順次策定され、1999年には、リスク情報を活用してプラント性能指標を設定してプラント実績を評価し、その結果に基づき規制措置を行うという原子炉監視プロセスを行うなど、数年のうちにリスク情報活用の骨格が定まった。

我が国では、1992年にアクシデントマネジメント(AM)に関する安全委員会決定文書⁹、通商産業省による定期安全レビューの要請に始まり、2002年のAM整備報告書¹⁰、2003年、原子力安全委員会の安全目標（前出）とリスク情報活用規制の導入方針、2005年原子力安全委員会の性能目標、原子力安全保安院のリスク情報活用の基本方針と当面の実施計画、2006年には原子力安全保安院のリスク情報活用のガイドライン、PSA品質ガイドラインと続いた。時を同じくして、原子力安全委員会の内閣府へ移行による独立性の強化(2001年)、原子力安全・保安院の設置（2001年）、原子力安全基盤機構の設置（2003年）と組織・体制も整えられた。しかしその後、中部電力浜岡原子力発電所1号機の余熱除去系配管の破断（2001年11月）、東京電力の不適切な行為（データ改ざん等）（2002年）、六ヶ所再処

⁸ 科学的合理的性に基づく規制という用語が使われることが多い。合理的という言葉はしばしば誤解を生む。ここでは、ある考え方と原則に基づき論理的に組み立てられたという意味で「論理的」を用いている

⁹ 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としてのアクシデントマネジメントについて、原子力安全委員会決定、平成4年5月28日

¹⁰ 軽水型原子力発電所におけるアクシデントマネジメントの整備結果について評価報告書、経済産業省原子力安全・保安院、平成14年10月

理工場の不適切な施工等（2003年）、美浜3号機の2次系配管の破損事故（2004年8月）が続き、原子力発電所の運転や再処理工場への使用済燃料の搬入は長期にわたり停止することになる。事業者による施設の保安や国による安全規制に対する国民の信頼が得られなければ、原子力発電に期待されている役割の実現は困難であるということが貴重な教訓であった。

リスク情報活用により、安全性も向上させて発電所の設備利用率も高まり、発電所固有のリスク評価に基づく実効的で効率的な規制という絵姿は日本では実現しなかった。内部事象に関する確率論的リスク評価は我が国の原子力発電所の安全水準が高いということを示す以外には使われなかったのである。このことは、PRAに対する期待を裏切ることになり、海外からは日本はせっかくリスク評価をしながらもそれを使いこなしていないという批判を受け、国内では安全水準の高い我が国の原子力発電所でPRAを行っても有益なことは無いのではないかという失望感が生まれた。

米国では1997年に内部事象に関する発電所ごと固有のPRA(IPEプログラム)¹¹を完了、外部事象についても同様のIPEEEプログラム¹²を2002年には終えたのである。

我が国では、外部事象に対するリスク評価の取り組みは遅々として進まず、ようやく2006年に原子力安全委員会の耐震設計審査指針¹³が改訂され、残余のリスクを認識しそれを可能な限り小さくするよう求めた。日本原子力学会は2007年に地震PRAの実施基準¹⁴を策定したところである。津波やその他の外部事象のリスク評価には実質的に手がついていなかった。

(4) リスク評価とリスク情報活用

我が国において、もしもリスク評価がプラントごとに実施され、それをもとに安全確保の状況を確認するような考え方が当然のものになっていれば、福島第一事故の様相はどのようなになっていただろうか。

耐震設計審査指針では、活断層については10万年前に活動したもので考慮することとしている。一方、三陸沖で発生した貞観地震による津波は869年の発生であり、地質学的

¹¹ NUREG-1560, Individual Plant Examination Program: Perspectives on Reactor Safety and Plant Performance,” December 1997

¹² NUREG-1742, Perspectives Gained from the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) Program, April 2002

¹³ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針、平成18年9月19日 原子力安全委員会決定

¹⁴ 日本原子力学会標準委員会、原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007(AESJ-SC-P006:2007)

にも 1000 年に一度以上の頻度で発生すると考えられている。この津波では約 1000 人が亡くなったとされている。先ず、地震と、その随伴事象である津波に対して、考慮された発生頻度が 100 倍以上異なっていると考えられる。 10^{-3} /年という数字だけでその発生頻度が大きすぎると決めつけることはできない。国際的にも 10^{-3} から 10^{-4} /年程度の自然現象までを考慮することを求めている国は多い。それよりも小さな発生頻度の自然現象については、人間社会の経験の範囲を大きく超えるため、現実的で有効な設計対策がたてられるのかは疑問である。しかしながら、その影響度を勘案して場合によってはより大きな余裕を持たせることの判断は合理的である。福島第一事故においては、津波に対する影響度や事象進展に関する分析が十分なされていなかったことは反省すべきである。また、地震のみを注視することなく多種多様な自然現象についてバランスよく体系的にリスク分析がなされていなかった。

内的事象については、わが国でも確率論的リスク評価が実施されていた。しかし、リスク情報活用などが進展しなかったために、PRA の意義と役割についての認識が共有されず、さらに PRA を活用していくことに対する疑問が生じ始めたと考えられる。それが、シビアアクシデントの影響を分析するレベル 2 PRA や敷地外への影響を分析するレベル 3 PRA へと展開されなかった理由ではないかと考えられる。この結果、シビアアクシデントや敷地外影響の評価が手薄になるとともに、シビアアクシデントの研究意欲と資源投入も減退していった。

外的事象については、米国の IPEEE のようなプログラムが行われなかった。その弁明の一つは、外的事象については評価手法が十分に成熟していない、あるいは信頼できるデータがないというものである。従って、評価結果の信頼性が低いので時期尚早であるということになったのではないか。実は、外的事象だけでなく、内的事象ですら、評価手法には改良すべきところは多々あるし、データは継続的に収集されなければならない。手法の成熟度に応じたリスク評価を実施すべきである。

リスク評価が普及しなかった理由は、既に安全である原子力発電所の安全性について、PRA を用いてリスクが十分に低いということを示すことが目的であると考えていたからであるに違いない。そうであれば、評価手法やデータが完備されなければ PRA を実施しない正当な理由になる。

原子力安全委員会の安全目標中間とりまとめ（前出）では、シビアアクシデントのリスクの評価が行われ、その結果、わが国の発電用原子炉施設におけるシビアアクシデントのリスクの抑制水準は国際的に遜色のないものと判断、と述べている。しかし、レベル 1 PRA の結果を持って、リスク抑制水準を語っていたにすぎないのである。

シビアアクシデントとは、きわめて確率の低いプラント状態であって、設計基準事故条

件を超えたものである。安全系の多重故障により生起し、重大な炉心損傷に至り、放射性物質放出の障壁の多くまたは全ての脅威となる可能性のあるものである（IAEA¹⁵）。「設計で想定した事象を大幅に超えて炉心の重大な損傷に至る事象(シビアアクシデント)のリスクを抑制することが重要と認識した」と述べながら、内の事象のみに起因する炉心損傷発生頻度をもってリスク抑制水準は国際的に遜色ないと判断するところに論理的な不整合がある。

内部事象のみでなく、外部事象についても過去に発生した自然現象や人的事象（ハザード）を網羅的に抽出し、発電所における発生頻度、物理的距離、時間的余裕、影響度の観点からリスクの要因として考慮すべきか否かを判断するとともに、利用可能な評価手法を勘案して適切な評価手法を選択する。このような、網羅的かつ体系的な方法を確立する必要がある。

このような考え方は下図にて説明される。

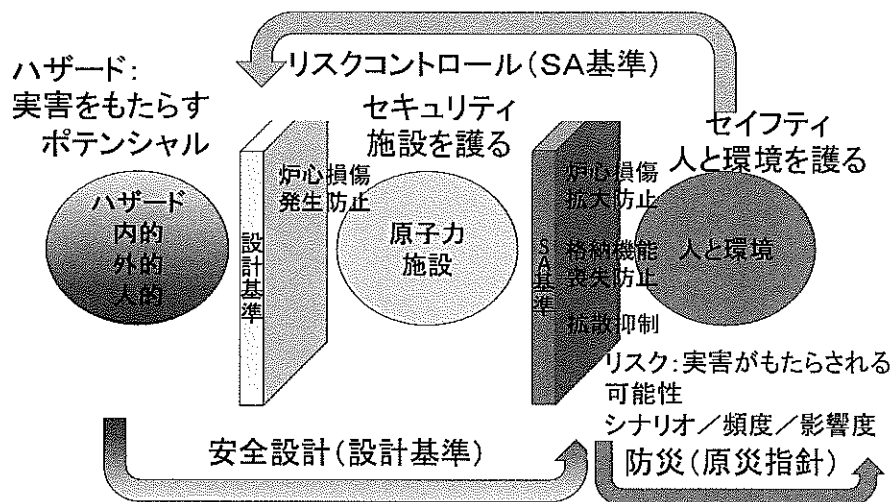


図 ハザードから人と環境をまもる枠組み

原子力施設で考慮すべきハザードとしては、内の事象、外的事象、人的事象がある。その内容は多様である。ハザードとは安全上、実害がもたらされる可能性である。工学施設は、その本来の役割を果たすための設備の設計のみでなく、あらゆるハザードが実害をもたらさぬように安全設計がなされる。従って、広範に包括的にハザードを考慮して適切な安全要求をするという観点で設計基準を構築することが必要である。従来、原子力安全委

¹⁵ IAEA, Severe Accident Management Programmes for Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-2.15

員会が安全設計審査指針¹⁶を定め、必要な安全設計要求事項を定義した。しかし、福島第一事故の後、全電源喪失の考慮、外的事象のなどの不備が指摘された。シビアアクシデントがリスクの支配要因であるとの認識をもった時点で、安全設計審査指針は、シビアアクシデントの考慮に関する指針に拡張されるべきであった。実際にそのための活動も行われた。原子力安全委員会のアクシデントマネジメントに関する決定文書¹⁷である。安全委員会の決定文書は、指針類と同様の位置づけと考えられるが、制度上の問題もあってその効力が曖昧なままであった。それは、わが国のシビアアクシデントに対する取り組みの姿勢をそのまま反映しているようである。

設計基準は、原子炉保護を行い、シビアアクシデントの発生を防止することが目的である。これが達成されていれば、自ずと国民と環境は放射線から防護される。一方、原子炉保護がなされないような、設計基準を逸脱する状態になっても、シビアアクシデントへの進展あるいは拡大を防止し、格納機能の喪失を防止、放射性物質の拡散抑制をすることにより敷地外への放射性物質の拡大が防止される。これがシビアアクシデント対策基準である。この目的は、敷地外へ放射性物質が放出されることを防止することである。従って、シビアアクシデントに繋がる事象進展だけでなく、放出形態と規模を考えながら対策を用意する必要がある。図中では人と環境の側から原子力施設側に矢印を向けたのはそのような意味である。

その上で、放射性物質が施設外に放出される場合を想定して原子力災害対策をとる。このために、原子力災害対策指針が用意される。リスクとは、ハザードにより人と環境に実害がもたらされる可能性であり、それを定性的安全目標と定量的安全目標を定めて低い水準に抑え込む必要がある。

レベル 1PRA は、原子力施設をハザードから防護する性能を評価するもので炉心損傷発生頻度と事故シーケンス、炉心損傷状態を定量化する。レベル 2PRA は、炉心損傷状態において放射性物質の放出を防止する性能を評価するもので、格納機能喪失頻度、放射性物質放出形態、放出量を定量化する。レベル 3PRA は、放射性物質が放出されたときに人の生命と健康及び財産への影響、環境の保全に対する影響を評価する。従って、外的事象は普く考慮されなければならないし、レベル 3PRA まで実施する必要がある。

手法や整備が完備していないとしても、包括的なリスク評価を実施すれば、福島第一事故のような、事象進展の簡明なシナリオを抽出できていたし、発生頻度は低いという評価になったとしても、共通原因故障に至る蓋然性、シビアアクシデント拡大防止の困難さ、

¹⁶ 原子力安全委員会、発電用原子炉の安全設計審査指針

¹⁷ 原子力安全委員会、アクシデントマネジメントについて、平成4年（平成9年改訂、平成22年廃止）

対策設備の簡明さなどから、事故を防ぐ対策をとり、その効果をリスク評価で確認し、実効的ならしめるために適切な教育・訓練を行うという選択を取ることは当然である。

(5)安全目標と ALARA

図において、ハザードから原子力施設を防護してシビアアクシデントの発生を防止する、その上で、シビアアクシデントについてその影響拡大と格納機能喪失を防止する、さらに放射性物質放出量と頻度を制限して人と環境をまもるという多層構造を述べた。

原子力安全の目的は人と環境をまもることである¹⁸。安全目標中間とりまとめは、「原子力安全委員会は、我が国の原子力安全規制活動によって達成し得るリスクの抑制水準として、確率論的なリスクの考え方をを用いて示す安全目標を定め、安全規制活動等に関する判断に活用することが、一層効果的な安全確保活動を可能とするとの判断に至った」との記述がある。安全の目的の達成度をあらわすリスク抑制水準を PRA の考え方により示し、それにより安全確保活動が効果的になるとしている。同報告書の最後には、「なお、安全目標は、社会のリスク水準に関係して定められるべきものであるから、一度策定した後も、原子力利用活動の規模や社会の安全水準の動向を踏まえて適宜、見直しを行っていくべきである」、「策定される安全目標が、社会に広く受け入れられ関係者に尊重されるためにも、安全目標案の提示、実際の適用に先立っての試行を経て、安全目標の策定及び適用に至る各段階で、安全目標の目的や内容、適用法等について、広く社会と対話を続けていくことが肝要である」と結んでいる。

このように、安全目標は、国民の理解と共感を得て、社会との約束事として定めるものである。そして、ある水準に抑制したリスクが存在するということを社会・国民と共有することでもある。

英国の健康・安全局（Health and Safety Executive）¹⁹は、「ALARA:As Low As Reasonably Achievable（合理的に達成できる限り低く）」というリスク受容の考え方について、以下のように述べている（英国は ALARP:As Low As Reasonably Practicable と読んでいる²⁰）。「このプロセスは、対策のコストと恩恵をバランスさせる方法ではない。全体として不均衡な犠牲がある場合を除いて対策を採用することである」、「ALARP を達成するためのリスクとコントロールに係る判断は簡単ではない。何が ALARP かを計算する簡明な方程式はない」つまり、ALARA とは社会と合意の上定めるものであり、判断の定量的な

¹⁸ 原子力学会標準委員会、原子力安全の目的と基本原則

¹⁹ ALARP Suite of Guidance, <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarp.htm>

²⁰ 「ALARP と ALARA は同じ概念である。ALARA とする国もある」と HSE は述べている。

抛り所は定めることができるとしても、それは普遍的なものではないと考えられる。

IAEA 閣僚会議への報告書にあるように、「原子力安全に携わる者が絶えず安全に係る専門知識の学習を怠らず、原子力安全確保状の弱点はないか、安全向上の余地はないかの吟味を重ねる姿勢ともつこと」と述べる。これは継続的な安全向上の姿勢であろう。それだけではなく、社会のリスクと原子力の安全に対する社会の捉え方を注視しながら、安全目標と ALARA に関する判断が適切で多くから受け容れられ、尊重される考え方であることに常に気を配り続けるも継続的安全向上の要素であると考えられる。ALARA は「便益とそのためにかかる犠牲との比較において、説明性があり社会通念として受け容れられるまでリスクを低くする」との意味であると理解すべきである。それを判断する重要な指標はリスクであり、ここに安全目標と抑制すべきリスク水準と ALARA の概念が繋がる。

安全目標が中間とりまとめのままではなく、社会に受け容れられ、関係者から尊重されるものとなっていれば、ALARA の概念が適切に具現化されていたと考えられる。東北電力の女川原子力発電所で敷地を高所に変更することに津波の深刻な被害を回避でき、かつ発電所が周辺住民の避難所としても活用できた。立地段階にて三陸沖の地震による津波のリスクを主張する社員の訴えに説得力と説明性があり、敷地を変更するという判断を会社として受け容れたのである。これは、ALARA の実例である。米国のリスク情報活用の例として設計基準地震動と大口径配管両端破断事故を重ね合わせるべきかという議論がなされたとき、確率論的破壊力学などの解析技術を駆使して、その事象は極めて低頻度であり重ね合わせる必要はないと結論した。ただし、同時に、地震リスク評価にも力を注いだ。判断に説明性があるために頻度の評価だけでなくリスクの評価もおこなったのである。これも ALARA の原則が根底にあったと言えるのではないかと考えられる。ALARA の原則に基づけば、福島第一発電所でも、津波については第三電源を設置する、緊急用のバッテリーを用意する、非常用復水器や隔離時冷却系の運転手順と確認事項を定める、地震直後から津波到来に備えたリスク管理を行う、外部支援の準備や訓練を日頃から行うなどの対策をとれたはずである。それは発電所を停止しなくとも可能である。追加設備の設置、可搬機器の準備、手順の整備などの安全向上方策を実施するときにそれが完了するまで運転を止めるべきという考え方は、長期的に安全性向上意欲を減退させる要因になりかねない。ALARA の原則に従えば、リスク水準、リスク抑制効果と払わなければならない犠牲、説明性などを踏まえ、総合的に判断すべきである。従ってリスク評価は不可欠であるし、判断する抛り所となる安全目標や達成すべきリスク水準が必要になる。

(6) 深層防護と安全目標と性能目標

図において、ハザードから原子力施設を防護してシビアアクシデントの発生を防止する、

その上で、シビアアクシデントについてその影響拡大と格納機能喪失を防止する、さらに格納機能喪失に対して放射性物質放出量などを制限して人と環境をまもるという多層構造を述べた。これが深層防護である。事故の教訓を、今後の安全確保に活かし、質の高いロバストな安全を達成するには、深層防護の理解、あるいは適用の仕方のどこに問題があったのかを見いださなければならない。

原子力安全規制の目的は公衆と環境を護ることである。そこで先ず、シビアアクシデントの発生を防止しなければならない。そのために、あらゆる手段を講じなければならない。しかし、わが国での深層防護の理解は、シビアアクシデントの発生防止を目的として、それに対して三つの下位目標（異常の発生防止、影響抑制と事故への拡大防止、事故が発生した場合の工学的安全設備）を適用していたと考えられる。シビアアクシデントが発生を防止すれば公衆の安全確保はなされるという考え方である。事故の経験から、この考え方が誤っていることは、明らかである。深層防護は不確かさへの備えであり、いずれの層に対しても等しく適切な配慮がなされなければならない。

深層防護の第一の目標はシビアアクシデントの発生防止である。これを目的とすれば、異常の発生防止、影響抑制と事故への拡大防止、事故が発生した場合の工学的安全設備の設置を行えば上述した深層防護と合致する。しばしば引用される IAEA が定義する五層の深層防護は、ここに示した三層に、シビアアクシデントの影響緩和（第四層）と緊急対応（第五層）が付加されたものである。

今後の課題は、第二の目標（シビアアクシデントの影響を緩和し、放射性物質のサイト外への重大な放出を防止：IAEA の第四層）と第三の目標（重大な放出を伴う緊急事態への対応：IAEA の第五層）をどのような考え方で達成すべきかである。第二の目標は柔軟な対応が有効であることに留意しつつ、対応する設備はシビアアクシデントの状態に対して柔軟に対応できることが大切である。特定の事故のシナリオについての安全要求は、安全設計（第一の目標）との関係を考慮する必要がある。これらを具体的に定める際には、深層防護の概念と整合することが大切である。

深層防護は、外部事象や人的事象などの極端事象にも共通する概念でなければならない。これらの事象に対する深層防護の有効性を確認するために、決定論的方法と確率論的方法がどのような役割を担うべきか、深い議論が必要である。少なくとも不確かさを扱う確率論的方法が、不確かさに対する備えである深層防護の有効性評価に不可欠であることは明らかである。

さまざまなハザードは、それを安全設計あるいはリスク管理として想定しているのかという評価軸と、そのハザードが発生したときにどのような事態に至るのかが理解されているのかという評価軸があると考えられる。想定されており、シナリオも影響も良く理解され

ている領域は設計基準で扱われる領域である。安全のために多くの努力が既になされ、知識もデータも評価手法も良く整備されている。実際に過去に発生したシビアアクシデントや重大な事故はこの領域にはない。この領域では、ランダムな多重故障によるリスクが残るが、それは極めて小さい。蓋然性を考慮せずにただ事象を重ね合わせることはリスク抑制に繋がらないばかりか、有効な対策と相反することもあり得る。

事象を想定しているとしても、評価すべきある厳しさを定めている場合もある。それを超える事象が発生すると、いわゆる“想定越え”である。例えば、地震も津波も設計基準を定めて備える。ここで、設計想定²¹の2倍の地震や津波がくればどうなるのか、そのような what if の思考訓練と得られる知識があれば、“想定越え”に適切に備えることができる。ストレステストの役割と意義はここにある。想定越えの場合に何が起きるのか、安全裕度はどの程度かを評価し、いわゆるクリフエッジや弱点が見いだされればそれに備えるのである。想定越えによるリスクは、耐震設計審査指針では残余のリスク²¹と言われている。

想定はしていないが、ひとたび発生すればどのような事態になるかについて情報が得られる場合がある。「あり得ない」と考えていたことがどこかで発生するということはその例であり、しばしば現実に見られる。米国で 9.11 テロの後、B.5.b 要求により大規模火災・爆発に対して放射性物質の放散を防ぐための措置が求められたのは今となっては周知である。しかし、わが国では同様の事象への対応に後れをとった。原子力発電所に対するテロ攻撃はあり得ないと考えていたのであろう。振り返れば欧州各国では大津波はあり得ないと考えていたはずである。わが国では長時間の電源喪失はあり得ないと考えていた。

そのような事故あるいは事故の前兆が実際に発生し、どのような事態になるかを知れば、緊急対策がなされることになる。米国で設計基準を超える事象に対して SBO 指針や ATWS 指針を対症療法的に定めたのはこのような問題に対する対処である。ピンポイントで安全強化をすることになる。欧州や米国は福島第一原子力発電所の事故を目の当たりにして多くを学んだ。我が国も、9.11 テロや外国で過去に発生した溢水事象、全電源喪失事象から学ぶべきであった。必要なバックフィットは確実になされ、このような事象に備えればリスクは確実に抑制される。しかし、対症的な対策であるため、他への悪影響や有効性などに不確かさがある。必要でシステム全体としての視点をもって有効性評価やリスク評価が必要となる。

最後に、想定もしておらず、そのような事象に直面したことがないため、どのような事態になるか良く理解されていないハザードがあるかもしれない。私たちがまだ知らない「未

²¹ 残余のリスクとは、SS 地震動を超える地震の発生の可能性を否定できないことによるリスクと定義されている（耐震設計審査指針）。この表現は誤解されるので適切でないと思う。国際的には残留リスクと言われることが多い。

知のシナリオ」である。これが、先に包括的リスク評価が必要と述べた理由である。これは明確に理解されていない残されたリスクといえる。

「あり得ない」や「想定越え」、「未知のシナリオ」に対してどのように安全を確保すればよいのか。そのために深層防護がある。深層防護は不確かさへの備えである。いかに安全設計に万全を期しても不確かさがゆえにシビアアクシデントマネジメントは必要になる。さまざまなシナリオやプラント状態を考えてシビアアクシデントマネジメントを用意しておいても、不確かさの備えとして緊急時の準備が必要である。

安全目標中間とりまとめの報告書には、「定量的（安全）目標は主として原子力施設の安全確保活動の深さと広さを決めるために用いられるので、原子力施設の種類毎に、その施設に固有の重大な事故事象を選び、定量的目標に適合する事故事象の発生確率を性能目標として策定することを検討する」とある。そして、重大な炉心損傷が発生する確率や大量の放射性物質がある時間内に放散される事象が発生する確率を具体例として示している。残念なことは後に、これが炉心損傷発生頻度と格納容器機能喪失頻度として示された²²ことである。大規模放出発生頻度と放出量も加えるべきであった。

原子力安全・保安院²³は、今後は炉心損傷発生頻度、格納容器機能喪失頻度に加え、大規模放出頻度（頻度、放出量）を性能目標に加えるとした。既に、リスク評価と安全目標、性能目標が対応することを述べたが、深層防護はこのように目標と対応する。性能目標は深層防護各層の達成度を定量的に示すものである。安全目標は深層防護が全体として国民と環境を防護している程度あるいは安全確保活動の広さと深さを ALARA の概念とあわせて決めるものである。

(7)まとめ（リスク評価と深層防護で福島事故は防げるか）

リスクとその抑制水準、PRA、原子力安全の安全目標と性能目標、深層防護、そして ALARA といったキーワードにつき、福島第一事故の原因と進展の観点から考察した。これらがしっかり理解され、原則として尊重され、私たちの行動様式の基本となっていれば、福島第一事故を防げたのか、また将来にわたりこのような事態は回避できるのか。

“リスク”は原子力安全を判断するものさしである。それは、一つの量を示しているだけでなく、どのように進展するのか（シナリオ）、どの程度起きやすいのか（発生頻度）、

²² 発電用軽水型原子炉施設の性能目標について（安全目標案に対応する性能目標について）、原子力安全委員会、平成 18 年 3 月 28 日

²³ 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、原子力安全保安院、平成 24 年 8 月

何が起きるのか（影響度）というリスクの三要素で表される。それだけではなく、いわゆるリスク情報といわれる多くの知見を与えてくれる。それを手に入れる方法はリスク評価、PRAである。原子力安全委員会の安全目標中間とりまとめには、「人的事象は含まないが、内的事象と外的事象に対する目標」であると述べている。当時は別として、今であれば人的事象に対しても適切な方法による評価が含まれることになる。外的事象と人的事象も含む包括的なリスク評価が必要である。これにより、津波シナリオにおいて、クリフエッジがあること、全電源が喪失するほか除熱源喪失も含めた大規模な共通原因となりうること、タービン建屋の地下が水没するなどにより短時間の復旧が困難であろうことがわかる。発生頻度は低いと評価されても他の二つのリスクの要素は深刻であることを示したはずである。敷地外への影響も含むレベル3までのPRAが必要である。ただし、完全なPRAである必要はない。PRAとは、実践しながら安全向上に活用し、そしてより良いPRAにしていくものである。

深層防護の考え方が正しく理解されていれば、シビアアクシデントの発生防止だけが深層防護ではないこと、シビアアクシデントの発生を前提に格納機能喪失と敷地外影響の分析とそれに対する備えをしていたはずである。深層防護は“万全としたはずである安全対策の不確かさに対する備え”である。シビアアクシデントの発生防止を目的としたのであれば、電源融通や炉心と格納容器の代替冷却などしかアクシデントマネジメントとして整備していなかったのは当然とも言える。深層防護は、安全対策には不確かさが残ることを教えてくれ、原子力安全の目的を明確にでき、そして必要な対策の体系化に役立つ有用なものである。安全対策を深層防護の観点で照査していれば、シビアアクシデントは発生したかもしれないが、福島第一事故のような事態は避けられたかもしれない。

深層防護がどれだけ達成されているのか、それは安全確保の達成度で見るとすなわち安全目標である。安全確保活動の深さと広さを知るために、性能目標を定める。性能目標により深層防護のそれぞれの層の厚さ、充実ぶりを確認できる。その定量化方法はレベル1、レベル2、レベル3のリスク評価である。ここに深層防護とリスク評価と安全目標が緊密な関係にあることが理解される。深層防護を安全確保の基本となる概念として成文化し、深層防護の観点から安全確保活動の適切性を評価するべきである。

このように、リスク評価と深層防護により、将来においても社会（人と環境）に対して放射線による実質的被害を生じるようなことはない、示すことができると考える。社会から信頼していただかなければならない。継続的安全向上は、それが将来においてもかわらないということを検証し続けるためにも必要である。

ALARAの原則に基づき低い水準に抑制したとしてもリスクは残存する。それならば、また深刻な原子力事故は起こるのかと心配になる。たとえ厳しい事故が発生しても、深刻な

影響を社会にかけないようにできるかぎりの準備をする。原子力の利用は社会に大きな便益をもたらすことも踏まえ、そのような残存するリスクを社会にうけいれていただく必要がある。そして、社会との約束事である安全目標を定め、事故が起きたときには社会から支援・協力をも仰ぎ、深刻な影響を人と環境に及ぼさないようにするのである。安全目標は国民に認めていただき、皆で尊重しなければならないし、ALARA はそのような考え方に説明性と合理性があるという認識を支える考え方である。

耐震設計審査指針の改訂で地震随件事象としての津波の考慮や、残余のリスクの低減が求められてから 5 年後に東日本大震災が発生している。指針改訂の審議の時期を含めれば 10 年間にそのような議論に費やされている。その間にここに述べた考え方を実践していれば、福島第一事故では、原子炉に相当の被害はあったであろうが、社会に対してこのような迷惑をかけるような事態は回避できたと考える。将来においても、福島第一事故のような深刻な事態は二度と起こさない。日本原子力学会事故調査委員会は、それが実現できるよう、事故とその背景の分析ならびに提言を行うとともに、このような活動の社会発信を行い、常に社会との接点を忘れないことも大切であると認識する。

(大阪大学・山口 彰)

3. 外的ハザードへの対応

概要：福島第一原子力発電所の過酷事故は、外部自然現象、特に津波に対する設計と備えが十分でなかったことが大きな要因の一つとしてあげられる。外的ハザードに対しては、IPEEE などにより包絡的にリスク評価を行うと共に、性能目標に整合した設計基準の設定、設計基準を超過する外的ハザードに対する備えとして安全余裕と深層防護による設計などを合わせて対処することが重要である。

(1) 地震の影響

東日本大震災においては、福島第一、福島第二、女川、東海第二原子力発電所が地震動の影響を受けた。これらの原子力発電所のうち、福島第一および女川原子力発電所では、2006年に改訂された耐震指針に基づく設計基準地震動 S_s を超える最大加速度が観測された。福島第一の1～3号機においては、高線量のため、十分な現場確認ができない状況であるが、津波襲来までに記録されていたプラントパラメータ、観測された地震動を用いた機器の応答解析、 S_s を超える最大加速度が観測された5号機におけるウォークダウンなどの結果から、炉心冷却などの安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと推定されている。ただし、プラントパラメータに表れない程度の微少な漏えいなどの有無については、現時点では確認が困難であり、今後、廃止措置の過程で重要な機器について現場確認を行っていく必要がある。他プラントにおいても、安全機能に深刻な影響を与える損傷は確認されていない。地震動の影響により、福島第一および東海第二原子力発電所で外部電源喪失が発生した。

(2) 津波の影響

地震動と同様に、福島第一、福島第二、女川、東海第二原子力発電所が津波の影響を受けた。福島第一、福島第二原子力発電所については、設計基準津波を大幅に超える津波により、種々の安全機能が喪失に至った。特に、福島第一の1～4号機については、津波が非常用電源電源を含む全電源(交流および直流)の喪失をもたらし、電源盤の浸水もあいまって、計装系、冷却系、ヒートシンクなどの機能喪失から過酷事故に至ることとなった。また、全電源喪失は長期間におよび、事故対応作業に影響を与えた。福島第二においては、電源が喪失しなかったこと、安全系の機能喪失が福島第一に比べると限定的であったことから、復旧およびアクシデントマネジメント策が功を奏し、冷温停止に至った。女川および東海第二においては、溢水により一部のDGが機能喪失したが、計画通りの対応がなされ、いずれも冷温停止に至った。

(3) 反省点と教訓

海外においては、外的ハザードに対して包括的な評価を行っている場合がある。例えば、

米国においては、IPEEE(Individual Plant Examination of External Events)により、地震、火災、強風(台風、竜巻)、洪水、雪崩、火山、氷結、高温、低温、近隣の輸送・工場、航空機落下等に対してリスクおよびプラントの脆弱性が検討され、対策がなされている。国内においては、外的ハザードに対する包絡的な評価は実施されておらず、プラントの脆弱性の把握が不十分であった。特に、内的ハザードのリスクがPRAにより定量的に評価されていたのに比べ、外的ハザードのリスクは、それらに対するPRAが発達途上である場合もあり、包絡的・定量的な把握に至っていなかった。特に、外的ハザードによってはクリフエッジが存在することへの認識、クリフエッジを超えたときのプラント挙動の考慮、およびそれに対する対応が十分ではなかった。また、今回、地震と津波がそうであったように、自然現象は重畳して発生する可能性がある。種々の自然現象に対して、Coincidental(偶然)、Consequential(従属)、Correlated(相関)な要因を考慮したうえで、重畳について考慮する必要がある。

従来の安全評価は、主としてプラント内部に着目しており、外的ハザードが複数基立地サイトおよびサイト外に及ぼす影響を十分に考慮していなかった。今回、複数基における同時発生の過酷事故が事故対応に大きな影響を及ぼしたこと、サイト外における外的ハザードの影響が外部支援に大きな影響を及ぼしたことを鑑みると、複数基立地やサイト外部まで含めた影響評価が望まれる。

観測された地震動と津波高さが複数の原子力発電所で設計基準を上回ったことは、これらの自然現象に対する設計基準が十分でなかったことを示唆している。この原因としては、「設計基準を超過する確率」の評価における不確かさ、限られたサンプル(測定)数から母集団を推定する難しさ、そして、最新知見をタイムリーに基準に反映する体制が不十分であったこと、等があげられると思われる。

地震動については、2007年の中越沖地震の柏崎刈羽原子力発電所の被災を含め、観測された地震動が設計基準を超過する経験をしている。2006年に改訂された耐震指針では、設計基準が見直されると共に、「(地震動が設計基準を超える)「残余のリスク」の存在を十分認識しつつ、それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力が払われるべきである」ことが示されている。今回、複数のサイト/プラントにおいて観測された地震動がSsを超えたことは問題であり、設計基準地震動の設定の妥当性を確認する必要がある。一方で、全てのプラントにおいて、安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと見られていることは、耐震設計における大きな安全余裕がプラントの安全確保に寄与したことを示している。

観測された津波高さは、設計基準を大きく上回り、過酷事故に至る要因となった。従って、設計基準の見直しが必須である。津波に伴って発生したガレキが通行の障害になるなど、「津波随伴事象」が十分に考慮されておらず、また、津波高さが設計基準を超過した場合の影響も考慮されてこなかった。地震動と同様、津波高さが設計基準を超過する残余のリスクを想定し、これをできるだけ低減する取り組みが求められる。

地震動は、プラント内の機器全てに影響を与えるため、深層防護の各層において耐震設

計が考慮されており、耐震設計の大きな保守性とあいまってクリフエッジが顕在化しにくい要因となったことが考えられる。一方、津波はプラント外部から内部に向かって順に影響を与える特性があるため、プラント外部で影響を阻止することが考慮されており、深層防護の各層で耐津波設計(例：水密化)が考慮されてこず、津波がある高さになると、安全系の多くが機能喪失するクリフエッジが顕在化しやすかった可能性がある。

従来の安全評価は、設計基準までの外的ハザードに対して実施されてきた。そのため、設計基準を超える外的ハザードに対して、クリフエッジが存在する可能性があることが十分に把握されてこなかった可能性がある。また、外的ハザードがクリフエッジを超えた場合のプラント挙動、ひいてはその対応についても十分に検討されていなかったと考えられる。クリフエッジは当然ながら設計基準を超えたところにある。従来の安全規制では設計基準までの安全評価を求めていた。また、プラントの安全がよって立つところの深層防護も第3層(設計基準事故の緩和)までを考慮してきた。これらのことがクリフエッジを超えた場合の対応を十分に考慮していなかった本質であろう。

(4) 外的ハザードに対する対応

前節で述べた反省点および教訓を踏まえると、地震、津波に限らず外的ハザードを包絡的に評価するための取り組み(IPEEE)を実施する必要があると考えられる。また、この評価の過程において、支配的なリスク要因となり得る外的ハザードに対し、PRAなどを用いて影響評価を実施した上で、プラントの脆弱性を特定し、これらに対応していく継続的改善により、プラントの安全性を向上する取り組みが重要である。この際には、外的ハザードの頻度、設計上の余裕を考慮したプラントへの影響度、時間的余裕、ハザード源とプラントの距離などについて、不確かさを含めて適切に考慮する必要がある。

リスク要因となり得るハザード源を特定したとして、これらへの対処するためには、設計基準を十分な信頼性を持って設定することだけでは不十分である。外部ハザードの評価には、大きな不確かさが存在することを考えると、設計基準を超える可能性は常に存在し、従って、この場合の対処方法をあらかじめ用意する必要がある。この様に考えると、外的ハザードの設計基準の設定、設計基準を超過する可能性への対応、の二点について検討する必要がある。

設計基準は、性能目標と整合する形でハザードカーブなどを考慮しつつ設定する必要がある。なお、この際には、外的ハザード評価技術の成熟度などを十分に考慮する必要がある。旧原子力安全委員会の定めた性能目標(案)は、CDFが 10^{-4} [1/炉年]、CFFが 10^{-5} [1/炉年]、であることから、外的ハザードが設計基準を超過する確率と安全対策が相まって、この性能目標を満足するようになる必要がある。設計基準津波については、 10^2 年オーダーの歴史津波を考慮して設定されていたことから、超過確率が $10^{-2} \sim 10^{-3}$ [1/年]程度になっていたと推定され、プラントの安全対策も含めて性能目標との整合性が十分でなかった可能性がある。なお、外的ハザードの設計基準は、関連学会において作成される場合もあるた

め、その場合には、原子力安全の関係者と性能目標などを基に密接なコミュニケーションが重要である。

外的ハザードの評価は、内的ハザードの評価に比べて不可避に不確かさが大きくなる。この不確かさについては、安全余裕と深層防護の考え方により対処する必要がある。安全余裕はストレステスト等の手法により確認する。これに加えて、設計基準を超える外的ハザードも考慮する形で深層防護に則った安全設計・対策を行う。例えば、耐津波設計においては、敷地内への浸水を防ぐ、建屋への浸水を防ぐ、重要機器室への浸水を防ぐ、高台に代替機器を準備しておくといった対処が考えられる。外的ハザードは、その大きさによっては、深層防護の複数の層が同時に破られる可能性がある。従って、安全余裕による対処のみでなく、第 3 層までの安全機能を実現するために用いられる恒設機器とは異なった可搬型機器による対応など、安全上の効果(effectiveness)が独立(independent)な対処が有効である。

(5) まとめ

外部ハザード評価の考え方について検討を行った。外部ハザードに対処するにあたっては、以下の考え方や検討が重要である。

- ①外部ハザードを包絡的に評価する IPEEE の実施と、PRA 等によるプラント脆弱性の把握と対処(継続的改善)
- ②複数基立地、サイト外の影響を含めた包括的な評価
- ③設計基準を超える外部ハザードに対するクリフエッジの評価
- ④安全対策とあいまって性能目標と整合する適正な設計基準の設定
- ⑤安全余裕と深層防護の考え方に基づく設計基準を超える外部ハザードへの対応

(名古屋大学・山本章夫)

4. アクシデントマネジメント

概要：福島第一原子力発電所の過酷事故は、設計を超える事態に対応するため、あらかじめ考えられていたシビアアクシデントマネジメント(SAM)が失敗した事が、事故の拡大を招いたものである。設計の考え方自体が否定されたわけではなく、大きな津波に対して、SAMの備えが甘く、破られてしまった。SAMを見直し、どのような状態においても対応できるマネジメント能力(緊急時対応能力)を向上させることが必要である。このためには、発電所毎に最適なマネジメントを評価し、そのマネジメントをサポートするハードを整備すると共に、教育訓練を通じて経験を高め、緊急時対応能力を継続的に増強することが重要である。なお、規制当局のマネジメント能力についても同様に、継続的な増強が必須である。

(1) 深層防護と事故の関係

深層防護との関係において、SAMは第4層(設計を超えた状態への対応)への対応全体と定義する。第3層までの決定論的手法に基づく設計の「考え方」については、間違っていないと考えられる。十分な余裕を持って、ある設計基準を決定し、その設計基準においては十分に高い信頼性を持って安全を担保する事がその考え方である。

地震については、設計基準事象として S_s を考慮し、その条件において十分な余裕をもって安全を担保することがなされていた。この時、設計基準事象については、淡路・神戸地震の教訓から、より不確かさを低減した形での基準事象が設定されていた。一方、津波については、設計基準とする津波高さについて、見積もりが甘かった。さらに、余裕の考え方において、十分な安全率が考慮されていなかったうえに、同時にシステムが損傷する共通要因モード故障に対する考察が不十分であった。つまり、設計基準とする津波の設定が間違っており、余裕の考え方にも課題があった事になる。

しかしながら、安全設計の考え方そのものについては、問題が無い。これは、福島第一をはじめ、福島第二、東海第二、女川などの発電所で地震直後に正しく原子炉が停止したことなどからも言える。設計基準を様々な知見をベースに正しく見積もる事と、適切な安全率を担保する事を徹底することが重要である。

では、どこに課題があったのかというと、第4層であるSAMが不十分であったと結論付けられる。TMI事故の後、設計基準を超える事象が来ることは想定済みであり、その場合の対策としてのSAMがあらかじめ考えられていた。例えば、30分間の全交流電源喪失は設計基準事象であり、それを超える場合については、SAMが用意され、8時間までの対策がマニュアルとして用意されていた。しかし、このマニュアルでは直流電源がある事が前提となっており、この前提が覆される、つまり直流電源まで失われる事態という、さらに厳しい条件となったために、対策が役に立たなかった。

一方、福島第二では、やはり設計基準を超える大きな津波に襲われ、LUHS(最終熱逃し場喪失)に陥っている。しかし、ここでは、あらかじめ考えられていたSAMに従って対策

を行い、もちろん、それ以上の創意工夫もなされているが、安全に原子炉を停止する事が出来ている。福島第二においては、津波についても、設計を超える津波が来ることは、ある程度想定されており、海沿いの重要な設備については、水密性を確保することの対処などがなされていた。4基のプラント毎に2棟ずつ独立性をもって準備されていた、海水熱交換器建屋は、海拔4mの敷地に建てられており、設計基準にたいしてほとんど余裕が無い事から、各建屋には水密扉が設置されていた。しかしながら、福島第二を襲った津波は7～8mであり、ほとんどの水密扉は水圧に耐えられずに突破された。唯一、ほぼ中央にあった、3号機南側の海水熱交換器建屋のみで、水密扉が役に立ち、建屋内部への水の浸入を食い止めることができた。波の力が弱まったためか、この建屋の水密扉の設計に余裕があったためかはわからないが、この建屋内部の電源盤やモータ類は津波後も作動させることができていた。このため、3号機は、炉心で発生し続けている崩壊熱を、この建屋内に設置されている残留熱除去系などを使って除熱し、安全に停止できている。しかし、その他の7つの建屋では水密扉が壊され、電源盤やモータ類は使えなくなり、3号機以外の3プラントでは炉心の崩壊熱を除去できなくなっている。このあと、あらかじめ考えられていたSAMに従い対応をした。もちろん、マニュアルには無い状況が多数発生している。これらに対して、臨機応変に、緊急時マネジメント能力を発揮し、安全な停止につなげた。あらかじめ考えられていたSAMが不十分であったが、それをカバーする対応を実施したことになる。例えば、電源ケーブルを調達し、海水熱交換器建屋まで屋外を経由させて電源を供給する事や、モータを日本各地から調達して取り替えるなど、発電所内外における緊急時マネジメントが機能した良好事例である。これらの良好事例もしっかりと評価しなくてはならない。

これらの福島第一や福島第二における事実は、設計基準事象を超えた場合のSAMの考え方は、用意されていたが不十分であった事を物語っている。よって、この不十分なSAMを改善し、二度と大事故を起こさないことが必須である。設計を超えることを想定するが、その状況は絶対にマニュアル通りにはならない。その状況に応じて判断できる材料を多数提供することが重要な観点である。

さて、その上で重要な視点は、SAMは従来の設計の延長ではないことである。従来の設計と同じ手法で評価を行う事は、同じ間違いを犯すことになる。つまり従来の(3層までの)ように基準シナリオや基準事象などを決めて対策をとることだけでは不十分であり、かつ、間違いである。シナリオ通りに事象が運ぶことなどあり得ない。深層防護思想の最も重要な視点は、層毎の独立した効果を与えること(Independent Effectiveness)である。3層(安全設計)とは、違う視点での対策(マネジメント)をとらねばならない。ハードに偏重することなく、ソフトとしてのマネジメントの充実、特に発電所や規制当局のマネジメント能力の向上が必要である。

福島第二のマネジメントの良好事例は、今後十分な評価が必要であろう。SAMが不十分

で事故を防ぐことができなかつた福島第一や国においても、そのマネジメントにおいて多くの良好事例がある事も付記しておきたい。ハードを中心に考える第3層とは独立な効果を持つ、マネジメントを中心としてSAMを考えなくてはならない。これが二つ目の重要な観点である。

(2) アクシデントマネジメントの改善

上記2つの考え方にに基づき、マネジメントの強化を中心とした対策を考える。規制当局のマネジメント能力の充実も重要であるが、ここでは、主に発電所のマネジメント能力について考える。なお、ハードはマネジメントをサポートするための重要なツールである。

発電所毎に最適なマネジメントや、そのマネジメントをサポートするハードは異なる。リスクを許容できるまで低減するとともに、可能な限り小さくすることを目指す対策をとる事が必要である。リスクというと、PRAなどの設計で考えるリスクにどうしても陥りやすくなるが、SAMはマネジメントであることを忘れてはならない。つまり、運転や保守に与えるリスクなども考慮して、総合的なリスクを低減するという視点が重要である。全ての対策は、新たなリスクを絶対に導入する。対策によるリスク低減が、この新たなリスク導入よりも十分に効果的である事を総合的なリスクの観点から評価しなくてはならない。さもないと、SAM対策による事故が起こりうる。

なお、第4層のSAMを考える上で、第5層防災とのリンクを考えておくことも重要である。しかし、第5層は第4層とは独立の効果をもたらす必要がある。

福島第一原子力発電所事故のSAMに関する教訓は、下記3点に集約できる。

- ①想定外があることを想定する事
- ②総合的リスクを考慮すること
- ③マネジメント能力を充実させること

①想定外があることを想定する事

福島第一などの発電所を襲った津波は、当時は、まさに想定外であった。想定外に対策するために準備されていたSAMにおいても、ある想定をしていたからに他ならない。しかし、福島第一や福島第二などの発電所でとられた対応は、数々の成功・失敗事例があるが、発電所のマネジメント能力を最大限発揮したものであった。今後、同じような事態に陥った時に、想定外がありうることを想定しておくことが最も重要な教訓である。いろいろなシナリオベースで対策を検討することももちろん重要ではあるが、それはある意味、第3層の設計と同じ作業である。人が考えられるシナリオを含め、どのような状態でも危機を乗り切る事の出来る経験とサポートの充実が必須である。

なお、現在策定中の原子力学会のシビアアクシデントマネジメント標準においては、発生確率が小さな事象もすべて考慮することを求めている。例えば、隕石の直撃やサイバー

テロも範疇である。具体的には、これらの事象に対しては、教育訓練の一環として、発電所内部でのブレインストーミングを要求している。想定外と考えられるような事象について、あらかじめ検討をしておけば、本当の想定外事象に対しても、なんらかの対応が可能と考えているためである。このような教育訓練の積み重ねが、想定外への対応を可能とする唯一の道である。

②総合的リスクを考慮すること

すべての発電所及びプラントに対して、最適な、つまり最もリスクを低減化する対策は異なる。総合的なリスクを考慮して、対策を進めることが重要である。総合的なリスクを評価する必要性は、アメリカ同時多発テロの後強く認識されるようになった。例えば、近くに不審者がいるという噂を聞き、子供を学校まで車で送り迎えするという対策をとる事は通常よく行われているであろう。しかし歩行者が事故にあう確率よりも、車が事故にあう確率のほうが大きいので、結果として、車の事故によって子供が命を落とすリスクのほうが大きくなってしまいう事もあり得るのである。もちろん、どちらのリスクも非常に小さい。このように、特に小さなリスクに対する対策は、十分に考慮し、総合的なリスクを低減することが必須である。一律に、ハードウェアの設置を要求することは、リスクを高くする可能性が高い。各発電所において総合的リスクを評価し、かつ、ピアレビューによりリスク低減がなされていることを評価することが重要である。

③マネジメント能力を充実させること

前述のように、福島第二においては、緊急時に経験を生かした対策をとる事に成功し事故の拡大を防ぐことができていた。しかし、福島第一では、結果的に大量の放射性物質を放出することは防ぐことができなかった。マネジメント能力をさらに充実させ、どのような状況にも対応できるように準備をしておくことが必須である。このためには、教育訓練によって、様々な状態を経験するとともに、必要なハードの整備を含め継続的に改善を続ける以外に方法はない。特に、失敗を数多く経験することが、重要である。実際の業務の中でも、失敗を数多く経験することで、その能力は向上する。失敗を許さないような職場は間違いである。

総合的なリスクを低減化するために、一時的にリスクを高めなくてはならない場合も良くある。例えば、オンラインメンテナンスを実施することによって、プラントのリスクは一時的に増加する。しかし、オンラインメンテナンスが終了すれば、プラントの信頼性は高まりリスクはさらに低減される。つまり、わずかの許容できるレベルのリスクの一時的な増加によって、プラント全体の信頼性が高まり、総合的なリスクを低減することが可能になる。また、プラント信頼性という指標だけではなく、発電所のマネジメント能力の向上にもつながる。リスクを管理しつつ、信頼性向上、マネジメント能力向上という一石二鳥の手法は、オンラインメンテナンス以外にもさまざま存在する。これらを積極的に取り

入れて、発電所のマネジメント能力向上につなげるべきである。

上記のように、想定外を想定しなくてはならない。人間の想像力には限界がある。このような事態に陥った時には、発電所組織及び人材の胆力と経験力がすべてを決める。数多くの失敗を含め、暗黙知である経験を充実しておくことが必須である。つまり、想定外があるという前提に立てば、人の経験を高め、正しい判断ができるようにする事や、複数の、かつ様々な種類の機材や素材を準備しておくことが重要である。アポロ13号の映画では、宇宙船という限られた資材の中で、宇宙飛行士と地上スタッフの経験とアイデアで危機を乗り切っている。まさに、このような対応が必要になる。

なお、マネジメント能力にどこまであれば十分であるかという評価値はない。常に継続的改善を追求する事である。国際機関を含む第三者機関により、事業者や規制当局のマネジメント能力に対する継続的改善が行われている事を評価することも重要であろう。

(3)まとめ

シビアアクシデントマネジメントの失敗により、事故の拡大を防ぐことができなかった。この反省のもとに、SAMを改善する方法を検討した。

- ①マネジメント能力の向上と維持を目的とした対策を立てること。
- ②ハードはマネジメントをサポートするものであり、ハードを中心に考えてはいけない
- ③総合的なリスク低減を指標とした対策の構築
- ④想定外がありうることを前提としたSAMの準備
- ⑤規制当局のマネジメント能力の向上と維持

(東京大学・岡本孝司)

5. 原子力防災（緊急事態への備えと対応）

(1) はじめに

オフサイトの緊急時対応は深層防護の第5層に位置づけられる。国際原子力機関（IAEA）の基本安全原則（SF-1）では、事故の影響の防止と緩和の手段である深層防護としてのオンサイト措置に関する原則8とは別に、人や環境の防護の最後の砦として原則9に「緊急事態への準備と対応」が明記されている。その主要な目標は以下である：

- ① 現場、地域、国、国際間で効果的な対応ができるように確実に取り決めがなされること
- ② 合理的に予測可能な事象に対して確実に放射線リスクを軽微なものとする
- ③ 人や環境への影響を緩和するための実行可能な手段を講じること。

中間報告では、主として③の防護措置実施の課題について分析した。

日本の原子力防災システムは災害対策基本法とそれを補完する原子力災害特別措置法を頂点とし、防災基本計画で各関係機関の責務と役割が明確化され、法的整備がなされてきた。原子力安全委員会（以下、「原安委」）の「原子力施設等の防災対策について」（以下、「防災指針」）は防災基本計画で専門的・技術的事項について十分尊重されるものとして規定され、国、地方公共団体、事業者が原子力防災に係る計画を策定する際、緊急時における防護対策を実施するための指針として位置付けられた。そして、防災基本計画および防災指針に基づいて、立地地域の地域防災計画が整備されるという構図が出来上っていた。しかしながら、緊急時において住民の健康を防護するための防護措置に対する明確な運営の考え方（Concept of Operation）は、これまでどこにも示されていない。防災指針には、「防災対策を重点的に充実すべき地域の範囲（EPZ）」、通報基準及び緊急事態判断基準、防護対策のための指標（いわゆる介入レベル）という技術的な判断基準は示されているが、どのように防護措置を実行していくのかの基本的考え方、手順が示されていない。また、日本ではTMIは起こり得ても、チェルノブイリは起きないというのが防災の基本とされ、実質的に格納容器破損に至るようなシビアアクシデントに相当する緊急事態への備えと対応は整備されてこなかったといつてよい。したがって、今回の事故で実施された計画的避難のような一時的な移転という長期的防護措置の検討もなされていなかった。以下では、この防護措置実施の考え方、課題について検討した。緊急時対応の時間的推移に沿って、特に避難等の緊急防護措置、飲食物に関する制限措置および緊急防護措置の解除と長期的防護措置について取り上げる。上記のIAEAの原則9の目標のうち、①および②については最後のまとめで触れる。

(2) 緊急防護措置の戦略と課題

JCO事故以降、頻繁に行われることになった防災訓練においては、ERRSとSPEEDIという緊急時計算予測システムによる線量予測結果を防護対策の判断基準と比較し、避難や屋内退避の実施範囲を決定するスキームが定着していた。しかしながら、福島第一事故では1号機の冷却機能の喪失、格納容器の圧力上昇、複数炉の同時災害のリスクというプラントの事象やリスクに基づき、事前のスキームとは違った形で避難および屋内退避の実施および拡大が行われた。EPZを

超えた広範囲の避難の実施、地震、津波の影響の中で住民への情報伝達や輸送手段の確保に大きな混乱が生じた。緊急防護措置決定の遅れ、避難場所の度重なる変更があった。それでも、放射性物質の環境への大量放出の前に多くの住民が 20 km圏外へ避難し、確定的健康影響を生じさせるような甚大な被ばくには至らなかったと考えられる。初期の外部被ばくについては福島県による県民健康調査の結果が示されているが、プルーム通過による内部被ばくについては国連科学委員会（UNSCEAR）等の結果が待たれる。

東京電力や原子力安全基盤機構（JNES）によって、事故後に行われたシビアアクシデント解析コードによる事故進展解析およびソースターム評価においてさえ、放出のタイミング、放出量、核種組成、放出位置等について十分信頼性のある結果が得られているとは言い難く、ソースターム評価には大きな不確実さを伴う。さらに、オフサイトでの防護措置が必要となるような放出は長期間にわたって続き、風や雨など気象条件の変動は大きく複雑な沈着分布に至る。線量評価にも大きな不確実さがあるだろう。このような現実には、福島事故だけでなく、チェルノブイリ事故でも経験した。被ばくを最も効果的に避けるには、放射性物質の環境放出前の迅速な避難が必要である。線量予測モデルをこのような緊急防護措置の実施に関する決定に用いることは、IAEA等の国際的考え方からも外れる。国際標準に従い、施設の状態に関して予め決められた判断基準に基づいて予め決められた範囲に予防的防護措置が放射性物質の環境への放出以前に迅速に実施できるような準備を確立しなければならない。

福島第一事故では、この他、スクリーニングレベルや安定ヨウ素剤服用の混乱、屋内退避の長期化、病院や介護施設の要支援者の防護等の問題が生じた。屋内退避、避難、安定ヨウ素剤の予防服用といった緊急防護措置の実施については、準備段階において防護戦略全体の中でその実施手順の最適化を十分に検討しておく必要がある。避難は、自然災害等、多くの経験から最も効果的な措置と考えられる。リスクの高いサイト近傍の住民が先行して避難を行い、必要に応じ周辺住民が段階的に避難するスキームを確立すべきである。屋内退避は迅速に実行可能で、新たな情報に容易にアクセスできるという利点があるが短期間の対策である。早期の一時的なプルームの回避等、その戦略を放出シナリオとの関係で検討する必要がある。安定ヨウ素剤の予防服用は、放射性ヨウ素の取り込みの前に行わなければ効果が十分期待できない。事前配布と事後の避難所での配布に関する実施範囲と手順、服用指示の判断の手順等、避難や屋内退避の補完措置としての検討が必要である。

これら緊急防護措置実施の戦略については、国が基本的考え方を示し、地域防災計画の策定に当たってはプラントの特性に応じて地方自治体と事業者および対象となる住民の意見も踏まえ、準備段階での十分な検討が必要である。事前の計画が完璧ということはありません。地域防災計画はその時点で最善の策を検討し、訓練によってフィードバックを行い絶えず見直す枠組みを確立する必要がある。

(3) 飲食物摂取に関する防護戦略と課題

汚染した飲食物の摂取による被ばくは、内部被ばくという住民の懸念とともに風評被害という

社会的懸念をもたらす。飲食物に関連した防護戦略を如何に合理的に考えていくかは重要である。時間軸に沿って2つの課題がある。ひとつは、放射性ヨウ素、テルリウム等の短半減期核種の寄与が大きいと考えられるプルーム通過後の早い段階での迅速な出荷・摂取制限である。今回の事故では、3月16日に水道水や農畜産物に基準を超えるヨウ素131が検出されてから実際に出荷・摂取制限が実施された3月16日までに5日を要している。短半減期核種の体内への取り込みの防止、無用な内部被ばくの回避は迅速性が重要である。飲食物中の放射性核種の濃度ではなく、空間線量率のように容易に計測が可能な運用上の介入レベル(OIL)を準備し、一時的に汚染食物の摂取を制限し、その後により綿密に濃度指標に基づくOILで出荷・摂取制限を講じる2段階のスキームを考慮すべきである。

もう一つの課題は、放射性セシウムを代表とする長期的な内部被ばくの影響を防護するための飲食物制限レベル設定の考え方である。厚生労働省は当初、原安委の防護指標を暫定規制値と定めた。原安委の指標は災害対策本部等が飲食物の摂取制限措置を講ずることが適切であるか否かの検討を開始するめやすである。その後、2012年4月1日から厚労省は食品安全の観点で、国際的にみても非常に厳しい規制基準を設けた。国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告にあるように、個々の防護措置は単独ではなく、様々な防護措置からなる防護戦略全体の最適化のプロセスの中で、本来検討すべき問題である。事故によって汚染された飲食物の摂取制限に関する判断基準を設定する場合、以下の観点からの検討が必要である：

- 摂取制限による放射線影響の回避と栄養の観点も含む代替品の確保
- 基準となる線量レベル設定において考慮すべき経口摂取線量の寄与
- 食品摂取量および汚染割合の現実的評価
- 消費者の食品安全と被災地域における生産者の状況
- 輸出入に関しては国際基準との調和

飲食物摂取制限は、国内的には消費者の食品安全とともに生産者の経済活動の観点から国内事情を十分に反映した考察が必要である。一方、輸出入の観点からは国際的に共通基盤に立った考え方を確立する必要がある。このような観点から自国にとどまらず、国際的にも明確なガイダンスの必要性を提起していかなければならない。

(4) 緊急防護措置の解除と長期的防護措置の実施

危機管理段階で実施した20km圏内避難と20-30km範囲の屋内退避は、政府によって4月22日に20km圏内の警戒区域と圏外の計画的避難区域および緊急時避難準備区域として変更された。事故当時、防災指針には避難や屋内退避の解除、また一時的移転等の長期的防護措置に関する考え方や判断基準は示されていなかった。国際的にはすでにICRP2007年勧告が出され、それまでの行為と介入というプロセスに基づく放射線防護のアプローチから、計画被ばく・緊急時被ばく・現存被ばくという被ばく状況の特性に基づいたアプローチへと発展している状況にあった。計画的避難の実施は当初、従来の回避線量に基づく避難の介入レベル(50mSv)を参照して追加的防護措置の検討が行われたが、原安委はICRP2007年勧告の緊急時被ばく状況の考え方に基づいて

計画的避難の実施および緊急時準備区域への移行を助言した。

このように、事故以前に長期的な防護措置の検討を怠っていたこと、緊急時に適用する国際的な放射線防護の考え方が変わり関係者の十分なコンセンサスを得るのに時間を要したこと等が原因で計画的避難の実施が遅れた。さらに、政府は関係自治体や住民との協議にも時間をかけなければならなかった。したがって、福島県の県民健康管理調査による外部被ばく積算実効線量の推定では、サイトから 20 km 圏内に居住し最終的に遠方に避難した住民に比べ、後に計画的避難区域の設定により避難した住民に比較的高い線量をもたらされている。この結果からは、3月15日の放出に起因すると考えられる高い汚染レベル地域の住民に対する更なる防護措置実施の意思決定の遅れが指摘できる。IAEA は 3月30日、それまで持っていた避難の OIL を福島事故に準じて独自に修正し、日本政府に対して慎重な評価の必要性を助言している。ここにおいても、放射性物質の放出後における防護措置実施の判断が、環境で測定可能な量で示される OIL とモニタリングによって迅速に行われるスキームの重要性が明らかとなった。

2011年9月30日に原安委の助言を踏まえ、緊急避難準備区域内の解除が行われた。また、ステップ2完了を受けて原子力災害対策本部は12月26日、警戒区域および計画的避難区域の見直しに関する基本的考え方を示し、翌年の3月30日に原安委の助言を受け区域の見直しを決定した。避難区域については、この時点が ICRP の言う緊急時被ばく状況から現存被ばく状況への移行、すなわち復旧段階の始まりと考えられる。政府によるこの決定は、帰還する住民の放射線による健康影響に対する防護と同時に、持続可能な生活基盤を保証しなければならない。現存被ばく状況においては、除染による放射線状況の改善があっても基本的に線源の制御は難しく、被ばくレベルは個人の行動によって決まってくる。政府や地方自治体は自らによる放射線状況の改善とともに地域や個人が実行する防護措置を支援するための情報や有効性を評価する枠組みを提供する必要がある。長期的な復旧計画では人の健康、環境や社会・経済的な様々な面が関与するが、放射線防護の観点からは住民が自らの被ばく管理に関与できるように個人モニタリングのシステムを確立し、また放射線の健康影響に対する不安に対処するために、健康調査を充実していく必要がある。

(5) まとめ

IAEA の基本安全原則の②の目標を達成するには、ハザード評価で考え得る範囲の事象を検討し、地震のような通常の緊急事態との組み合わせを含む緊急事態を考慮しなければならない。緊急時対応の失敗は予め準備していた想定範囲を超えたところで起こる。したがって、ハザード評価によって如何に合理的に予測可能な事象に対して確実に準備するかを問うことが重要であると同時に、それを超えるものに対応する柔軟性もまた重要な要素となる。準備段階では、仮に緊急事態が生じて想定範囲に収まるように平時からその対応可能な範囲を拡げる努力が必要である。危機管理段階の対応では、予め決められた手段でまず対処し、その枠を外れた場合に柔軟に対応できるように平時から能力を養っておかねばならない。

そのためには、以下の点を考慮し現場、地域、国、国際間の各レベルでの関係機関の責務と役

割およびその調整のあり方をもう一度見直す必要がある。そして、組織間で十分に明確にされた合意および統合化された対応を調整するための取り決めを行い、それが実効的に機能するように訓練によって絶えず見直しを行っていかなければならない。

- 情報が少なく不確かさが大きい初期の危機管理の段階では、発災現場に近い事業者と地方自治体が連携し、予め決められた手順で現地の判断で迅速に緊急防護措置を実行していくスキームを確立していく必要がある。
- 事業者はオンサイトの緊急時対応は勿論のこと、緊急時活動レベル（EAL）の設定、異常事態の通報だけでなく、住民に必要な緊急防護措置の判断や勧告といった地域防災計画との境界に踏み込んだ役割を今後検討していく必要があるだろう。
- 防護措置実施の運営を担う地方自治体、住民防護の最前線に立つのはプロとしての警察や消防、そして自衛隊である。複合災害でなくとも、緊急防護措置実施の運営は他の一般災害における防災対策と共通の基盤でできるだけ統合すべきである。

（日本原子力研究開発機構・本間俊充）

6. 環境修復に関する分析と課題

まえがき：前章「原子力防災」で述べたとおり、事故当時、防災指針には避難や屋内退避の解除、一時的移転から環境修復までを含む長期的な防護措置に関する考え方や判断基準が示されていなかった。このため、長期的な防護措置に関するスキームを構築することが重要であり、本章では現在も継続して実施されている環境修復について現状と課題をまとめる。

(1) 放射性物質による土壌の汚染

1～3号機のベント操作、1、3号機の原子炉建屋の爆発、並びに2号機の圧力抑制室の損傷により多量の放射性ヨウ素、セシウムが環境中に放出され、福島県を主として東日本に広く放射性物質による汚染が広がった。特に、3月15日から16日にかけての放出は最大で、それが15日午後から16日未明にかけての北東風に乗って、さらにその後の南寄りの風に乗って、発電所の北西方向と南方向の福島県中通に沿って比較的高い汚染を環境にもたらした。さらにその前後に南寄りの風もあり、一部は千葉県我孫子市、柏市、流山市などに到達したと思われる、これらの地域にホットスポット的な汚染域がモニタリングで確認されている。

政府は平成23年4月(22日)に、原子力災害対策特別措置法に基づいて発電所から半径20km圏内を警戒区域に設定した。また、併せて、国際放射線防護委員会(ICRP)と国際原子力機関(IAEA)の緊急時被ばく状況における放射線防護の基準値(年間20～100mSv)を考慮して、事故発生から1年の期間内に積算被曝線量が20mSvに達するおそれのある区域を「計画的避難区域」に設定した。この区域には発電所から20km以遠でも福島県葛尾村、浪江町、飯舘村、川俣町の一部及び南相馬市の一部が含まれている。さらに、政府は発電所の事故の状況がまだ安定せず緊急に対応することが求められる可能性があり得ることや屋内退避の現況を踏まえ、「計画的避難区域」以外の発電所から半径20～30kmを「緊急時避難準備区域」に設定した。しかし、「緊急時避難準備区域」は原子力安全委員会の意見を踏まえ平成23年9月30日に解除した。また、平成24年12月26日、政府原子力災害対策本部が、「ステップ2の完了を受けた警戒区域及び避難指示区域の見直しに関する基本的考え方及び今後の検討課題について」を決定し、上記区域内の一部地域について警戒区域を解除するとともに、従来の避難指示区域が見直され、新たに「避難指示解除準備区域(年間積算被曝線量が20mSv未満の地域)」、「居住制限区域(同20mSv以上50mSv未満に地域)」と「帰還困難区域(同50mSv以上の地域)」の3つの区域が平成24年3月30日に設定された。

この汚染地域の面積を1986年4月に起こったチェルノブイリ発電所4号機爆発事故による面積と比較すると数分の1程度である。また、チェルノブイリ事故では炉心の爆発が生じたため炉心内に存在するほとんどのプルトニウムも含め放射性核種が広く飛散したが、

今回の事故では炉心は高温になって溶融しているが炉心自体の爆発は免れたため比較的蒸気圧が高いセシウムやヨウ素の放射性核種がその大部分を占める。そのほかの放射性核種についてはストロンチウム-90なども今回の事故の結果として確認されているが、測定された濃度から比較するとその影響はセシウムに比較して数桁低く、空間線量率低減にあたってはセシウムの除去が基本となる。また、土地利用の状況について、チェルノブイリでは森林面積が39%であるのに対し、福島県では70%以上が山林で占められており、この点で汚染状況は異なっている。これらの汚染に対し政府は、空間線量の低減にあたっては、モニタリング結果に基づいて追加年間推定被曝線量を1mSv以下にしている。環境省環境回復検討会に提出された資料によれば、同線量が5mSv以上のところは面的除染、1-5mSvのところをスポット除染(森林を除く)した場合に、森林の10%を除染する場合の対象面積は約1211km²、森林の50%を対象とする場合は約1748km²、100%除染した場合は2419km²と算出している。

また、土壌の汚染についてもモニタリングされており、空間線量率に比例した土壌汚染が確認されている。福島県におけるセシウム濃度区分ごとの水田、畑地の面積について、1000Bq/kg以上の水田と畑地の合計は62129ha(約621km²)、5000Bq/kg以上は8307ha(約83km²)に及んでいると試算されている。また、沈着したセシウムはこれまで多くの測定がなされているが、未耕地の場合、深さ5cmまでの表面層に90%以上がとどまっていることが分かっている。

(2) 除染

①除染の実施制度と体制

先に述べたように政府は年間の追加積算空間線量率を1mSv(時間当たり0.23 μ Sv)まで低減することをうたっている。このためには宅地、農地ばかりでなく生活圏(公共施設、道路、森林の一部等)の除染が必要となる。平成23年に内閣府が主体となって除染モデル事業を推進し、宅地等における除染技術の評価を日本原子力研究開発機構(以下、「JAEA」という。)に委託して実施した。また、「平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境汚染への対処に関する特別措置法」(以下、特措法)を平成24年1月1日より施行し、除染や福島第一原子力発電所事故に起因する放射性物質で汚染した廃棄物の取り扱いに関する制度や基準を制定した。そこでは除染特別地域(旧、警戒区域と計画的避難区域)と汚染状況重点調査区域を指定した。前者は、国直轄で除染を行い、後者で追加年間被曝線量が1mSvを超えるところは、市町村が除染を行うことになった(但し、国、都道府県、市町村、環境省令で定める者が管理する土地及びこれに存する工作物等にあつては、国、都道府県、市町村及び環境省令で定める者が除染等の措置等を行う、また農地は市町村の要請により都道府県が除染等の措置等を行うことができる、としている)。このため環境省は、平成24年1月1日に環境省福島環境再生事務所を設置して、直轄地の除染計画の策定と除染事業、市町村が除

染を行うにあたり除染計画の作成への協力を行っている。そのため環境省は新たな避難指示区域ごとの除染工程表を策定して、避難指示解除準備区域では平成 24 年第 1 四半期から宅地の本格的な除染を実施、あるいは計画している(学校、役場等公共施設では除染をモデル事業として実施しているケースが多い)。このため該当する市町村では特措法に基づいてその実情を踏まえ、また優先順位や実現可能性を踏まえて除染計画を策定するとともに、それに基づいた除染実施計画を策定している。この除染実施計画を実施に移す場合には、環境省が平成 23 年 12 月に公表した除染関係ガイドラインに沿って、そこに記載された除染方法から適切な方法を選定することになっている。ガイドラインには汚染箇所の調査方法(測定点の決定方法、測定法)や、建物など工作物の除染等の措置として、屋根等の除染、雨樋・側溝等の除染、外壁の除染、庭木等の除染、柵・塀、ベンチや遊具等について具体的な除染方法が記載されている。さらに、道路の除染等の措置として、道路や側溝の除染、舗装面等の除染、未舗装の道路等の除染について記載されている。また土壌の除染等の措置として、校庭や園庭、公園、農用地の除染について記載されており、草木の除染等の措置については、芝地の除染、街路樹など生活圏の樹木の除染、森林の除染について具体的な方法が記載されている。

②除染技術

除染技術についてはチェルノブイリ発電所事故で採用された除染技術なども参考に、平成 23 年から 24 年にわたって内閣府が JAEA に委託して、年間 20mSv 以上より高線量域にある宅地や宅地周りの森林などを対象にモデル事業を実施した。このモデル事業では市町村を、グループ A(南相馬市、川俣町、浪江町、飯館村)、グループ B(田村市、双葉町、富岡町、葛尾村)、グループ C(広野町、大熊町、楡葉町、川内村)に分けて除染技術の実証を行った。これらの結果より、表面汚染密度の低減効果は、同じ対象物でもその効果は大きく異なっており、その材質、表面状況や付着状況等に大きく依存するものと考えられる。また、いずれの場合も高い除染率が得られないのは、対象となるセシウムの γ 線の影響が線源から数十メートルに及ぶためにその場所のみの除染では効果が限られるからであり、効果的な除染を行うには、その場所だけでなく面的に広く除染することが必要であることを示している。また、同じ除染技術を適用してもその効果が大きく異なるため、除染技術の選定にあたっては、場所、対象物の特徴に応じて個別に判断して、除染方法、除染箇所等を決めることが重要であることが分かる。

先に記載したように放射性セシウムは表面層の土壌粒子に付着しているため、農地除染についても家屋周りの庭と同様大きな低減効果を得るには表面土壌の剥ぎ取りが有効である。さらに、農水省では平成 23 年度に農地における除染技術、放射性セシウムの土壌からの分離・除去技術及び汚染された稲わらや牧草等の減容化技術、放射性セシウムの移行抑制技術の 3 分野について公募事業を実施した。また、平成 24 年度にも除染、減容関連課題について実証試験を継続あるいは新規課題として実施している。また、同省林野庁所管の

(独)森林総合研究所でも平成 23 年度に「針葉樹林と落葉広葉樹林において、下草と落葉の除去による森林の除染実証試験」を実施し、いずれの森林でも下草と落葉を除去することで、空間線量率は除去前の約 6 割から 7 割まで低減するという結果を示している。また、このほか、除染に関する新技術についても平成 23 年度には内閣府(JAEA に委託)が公募事業として、除染作業効率化技術、土壌等除染除去物減容化技術、除去物の運搬や一時保管等関連技術、除染支援等関連技術について計 25 課題を選定して、それら技術の有効性を試験している。さらに、福島県では平成 23 年に福島県除染技術実証事業(公募事業)として、構造物(屋根・屋上・壁面・底面等)等の除染技術及び土壌(農地を除く)の減容化技術の 2 分野について、合計 19 課題について技術の効果を試験している。平成 24 年度も新規の課題を募集してこの事業は継続されている。これらの課題の中には、現地での除染技術だけでなく、現在までの除染の進展によって明らかになってきたことであるが、除染により発生する汚染土壌や草木などの有機系の廃棄物が極めて多量に発生する問題が含まれている。そのため除染による放射性物質濃度の低減や有機物などの焼却による減容化も近い将来重要な課題となることが明らかであり、それらの対策に有効な技術についてもこれらの課題の中では探索されている。また、ここに記した以外にも大学、研究機関、民間会社も含めた各種の団体などでも除染技術や減容化技術の技術実証や開発が行われている。

(3) 今後の課題

平成 24 年 1 月 1 日に福島市に、政府が一元的に除染を実施するために環境省環境再生事務所を設置した。そこには各省庁を横断的に統括して効率的な除染の推進を図ることが求められている。しかし、これまでの経過を振り返ると面的な除染が効果的であるが、学校、役場等の公共施設、宅地、農地、道路などと夫々別の事業として実施時期もそれぞれに独立に実施されており、また施設、道路等の所管により国、地方自治体と除染実施者が異なっていることから、今後は福島環境再生事務所等が統括してより一層の一元化が求められる。

また、除染の方法が除染ガイドラインに具体的に記されており、実施にあたってはそれに沿った除染が求められている。しかし、除染の効果は同じ除染方法をとっても広くバラバラなところや、地形などの条件により様々であることから、効率的な除染を行うためにはその地域の特性に応じた除染法が求められる。このため実施にあたる市町村の意思などが適切に反映できるよう一層柔軟なガイドラインの適用や必要に応じて適切な時期における見直しなどが求められる。

また、除染のモデル事業や実証試験、新技術開発などが関係各省庁、研究機関等で個別に実施されているが、それらの試験、技術開発の全体を俯瞰的に評価して、今後の除染事業に反映する仕組みの構築が求められる。

除染の進展が進まない理由として、汚染除去物の仮置き場の設置に住民の理解が得られないケースが多く見受けられる。除染を進めるには汚染物の保管場所の確保が極めて重要

であり、仮置き場が決まらない場合でも、現場保管など柔軟に対応できる方法も採用することが必要である。この保管場所に対する住民の理解にあたっては、政府、関係市町村などが法制的な面(保管廃棄物の将来の処置等の方策)とともに安全確保に関する科学的根拠などを誠実に説明して、納得を得ることが基本である。

さらに、今後除染の進展に伴って汚染廃棄物が多量に発生し、それらの中間貯蔵施設への搬入を考慮すると今後減容化が重要となるため、土壌から放射性セシウムを洗浄などによって分離除去する技術開発が求められる。また有機廃棄物については腐敗による悪臭や出火の原因ともなりうることから焼却などの減容化とともに保管上の安定化を図ることが重要となる。

また、貯水池などへの放射性セシウムの蓄積やそこからの流出、また森林や河川などから農地、宅地林などへ放射性物質が移行することによって起こる二次汚染も住民の高い関心事となっており、随時モニタリングの体制整備やデータの公開、さらには汚染が生じた場合への対処なども今後の重要な課題である。

以上、これまでの除染関連動向や情報をもとに汚染の状況や除染の状況などを概観してきたが、いずれにおいても除染を効率的に進めるためには、住民の理解が不可欠であり、各界、各層で住民との対話が重要である。そのため、原子力、放射線関係に経験を有する原子力学会など原子力関連機関、団体には、誠実な努力が求められる。

(電力中央研究所・井上 正)

7. 原子力学会の役割と責任

原子力学会は学会役員・部会長等を対象に、東京電力福島第一原子力発電所事故に関するアンケートを実施した。その概要は下記の通りである。

(1) 目的

学会事故調では福島第一原子力発電所事故とそれに伴う原子力災害の実態を科学的・専門的視点から分析し、その背景と根本原因を明らかにするとともに、原子力安全の確保と継続的な安全性の向上を達成するための方策及び基本となる安全の考え方を提言することを目的として調査・検討を進めている。同時に、学会自らの組織的・社会的な問題点とも向き合い、原子力災害を防げなかった要因を明らかにして、必要な改革を提言することも重要な目的である。

このため、学会事故調においては、学会の役員・部会長とその経験者に対して、アンケートを実施し、原子力学会自身がこの事故を防ぐ、あるいは事故の影響をより小さくするために行うことができたこと／行うべきであったことについての検討を行うこととした。

(2) アンケート調査の実施方法

1) 調査対象（アンケート送付者）

現在あるいは過去に以下の役職にあった人のうち、学会がアドレスまたは住所を把握している人が対象。合計数は289人。内訳は下記の通り。

会長1人、会長OB 15人	連絡会長4人、連絡会長OB 23人
役員18人、役員OB 135人	支部長8人、支部長OB 72人
部会長18人、部会長OB 102人	

*会長は役員に含まれるが、上記の内訳では会長は役員に含めていない。連絡会は5つあるが、学生連絡会長のみ省いた。役職は兼職、歴任があるため、内訳の合計数と289人とは一致しない。

2) 調査方法

日本原子力学会よりメールまたは郵送によるアンケートを1月28日から2月7日にかけて発信または発送した。回答はメール、FAX、郵送でいただいた。対象者のうち学会でメールアドレスがわかっている場合にはメールで、アドレスが不明または不達で住所がわかっている場合には郵送で送付した。メールアドレスも住所も不明の場合には対象外とした。対象者の死亡が確認されている場合も対象外とした。

回答締切 2月28日として集約した。

3) 回収数

289人中101人から回答あり。回収率34.9%。うち氏名記入者は67人、匿名は33人。

1名は病気により回答辞退。

(3) アンケート質問項目

- 1) 東京電力(株)福島第一原子力発電所が地震と津波の襲来を受けたことで過酷事故に至りました。過酷事故にまで至った原因の中で、日本原子力学会の活動と関連が深く、重要だと思われるものは、何だとお考えでしょうか。最も重要だと思われるものを3点まであげていただければと思います。
- 2) 過酷事故に至ることを未然に防ぐために、日本原子力学会が事故前になすべきだったと思われることがあったとしたら、どのようなことをなすべきだったとお考えでしょうか。
- 3) それになされなかった理由、あるいは、事故防止に適切に反映されなかった理由は何だと思えますか。
- 4) このような事故を二度と起こさないために、これからの日本原子力学会がなすべきこと、あるいは組織として改革すべきことは何だとお考えでしょうか。
- 5) 過酷事故に至ることを未然に防ぐために、事故前にあなたが日本原子力学会の役員や部会長等としてなすべきだったと思われることがあったとしたら、どのようなことをなすべきだったとお考えでしょうか。
- 6) あなたがそれをなさらなかった理由、あるいは、事故防止に適切に反映されなかった理由は何だと思えますか。
- 7) このような事故を二度と起こさないために、これからの日本原子力学会の役員や部会長等がなすべきことは何だとお考えでしょうか。また、学会として今後、反映すべき事項があれば、ぜひご記入をお願いします。
- 8) そのほかに、この事故に関して意見や感想がおありでしたら、自由に記入をお願いします。
- 9) あなたの代表的なこれまでの経歴についておうかがいします。次の中で最もふさわしいものをお選びください。
* 92人より回答あり(複数回答)
 - (43) 大学などの教育・研究職
 - (27) 教育を行わない研究機関の研究職
 - (6) 行政機関の技術職
 - (37) 民間企業の技術職
 - (0) 行政機関の事務職
 - (2) 民間企業の事務職
- 10) 最後に、記名または無記名を選んでいただくようお願いいたします。記名の場合にはお名前のご記入をお願いします。匿名希望の場合には匿名希望に○を付けてください。

氏名記入…67人

匿名希望…33人

上記のほか1名が病気により回答辞退。

(4) アンケート回答結果の概要 (中間とりまとめ)

1) 回答の概要

<質問のフレーム>

- Q 1 福島原発事故はなぜ過酷事故に至ったのか。
- Q 2 私たちはなぜ、事故を防止できなかったのか。
- Q 3 私たちのどこに問題があったのか。
- Q 4 私たちはこれから何をすべきか。

<回答内容のパーспекティブ>

- ・知のマネジメントに関するもの (A 1)
- ・学会の姿勢やタスク認識、会員の意識や規範 (A 2)
- ・外環境との相互作用 (A 3)

1. 私たちはなぜ、事故を防止できなかったのか。

(A 1 「知のマネジメント」による整理)

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1. 「他者に学ぶ」姿勢が希薄 | 4. 不十分だった深層防護の理解と実装 |
| 2. 「過去に学ぶ」姿勢が希薄 | 5. 不十分だった学会内の協働・連携 |
| 3. 安全研究の縮小 | 6. 全体を俯瞰、統括する「知」の欠如 |
- 「原子力安全の全体に関わる論理の体系化をめざした検討や反映が不十分」

2. なぜ、そうなったのか。私たちのどこに問題があったのか。(1)

(A 2 「学会の姿勢やタスク認識、会員の意識や規範」による整理)

- 1. 慢心、技術に対する過信
- 2. 学会内のコミュニケーション不全／同調圧力
- 3. 学会のタスク認識や能力

(A 3 「外環境との相互作用」による整理)

- 4. 規制機関との関係
- 5. 電力会社との関係
- 6. 自治体や反対派との関係

「わが国の発電所は安全である、少なくとも切迫したリスクを抱えてはいないとの思い込み」

「安全をめぐる率直な意見交換の時空の欠如」

3. これから何をすべきか。

- 1. 事故の収束と原因究明、教訓の最大限の反映
- 2. 福島復興へ向けた最大限の努力
- 3. 知のマネジメントに関するもの (A 1)

- (1) P S A手法の確立、外的事象の重視
- (2) 他者に学ぶ、他者と学び合う
- (3) 「学」や「知」の総合化、統合化
- 4. 学会の姿勢やタスク認識、会員の意識や規範 (A 2)
- 5. 外環境への介入、他のアクターとの関係 (A 3)
- 6. 学会運営、人事

2) 回答結果の主要な論点

<総合化・領域横断化の取り組み>

「豊かな想像力を持った会員が抱いた危惧を議論、共有し、評価できる場の構築。その危惧を社会にぶつけることのできるシステムの構築」

「個別の研究分野以外に目を向け、総合的に課題を捉えて議論するような場が必要」

「原子力安全問題に関する分野横断的検討の場を構築し継続的に機能させる」

<学会に求められるタスク>

「根源的な意味での「原子力安全」のあり方についての問いかけを深化する」

「社会に対し、学会がどのような責任を持つか、それをどのように実現するかというビジョンを設定」

「学会の責務や責任などの行動規範を考え、何を目指すかのビジョンを共有し、行動戦略を策定する」

「専門家集団として、原子力の全体系を掌握した専門的技術力を持って、適宜行政や事業者など関係者に本当の専門家として進言できる仕組み体制と実力を整えること」

「各界から見識、意欲、リーダーシップを備えた豊富な人材を集め、影響力のある強力な組織にし、各界で分担した役割が、原子力利用の健全な推進という軸で総合されるような場を目指す」

(5) 今後の取組み

ここで得られた回答やその他広く学会員からの意見をふまえた上で、事故調査委員会として今後の取組みを検討し提言等に取りまとめていく。

(日本原子力研究開発機構・佐田 務)

8. まとめ

日本原子力学会東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会（「学会事故調」）の目的は、原子力の専門家で構成される学術的な組織の責務として、東京電力福島第一原子力発電所事故とそれに伴う原子力災害の実態を科学的・専門的視点から分析し、その背景と根本原因を明らかにするとともに、原子力安全の確保と継続的な安全性の向上を達成するための方策及び基本となる安全の考え方を提言することである。この目的に沿って昨年8月以来調査を進めてきたところである。

学会事故調最終報告書の前半では、福島第一原子力発電所施設の安全設計の要点、および福島第一原子力発電における事故の概要、福島第一原子力発電所以外の発電所で起きた事象の概要、福島第一原子力発電所における事故に対して主として発電所外でなされた事故対応という諸点について事実確認を主に記載する。それを踏まえて後半では、事故の分析評価、および事故の背景となった原子力安全体制の分析、事故で明らかになった課題と教訓などを更なる調査検討を踏まえて記述する予定である。

ここで「事故の分析評価」における論点としては、原子力安全の考え方、および深層防護の考え方が基本的なこととしてあり、その具体的な対応として、安全設計、材料・構造健全性、長期運転プラントの安全性、外的事象(自然災害)への対応、シビアアクシデント対策、マネジメントのありかた、緊急事態への準備と対応、原子力防災、放射能と放射線測定、そしてそれらの基盤となる、安全規制、核セキュリティと核物質防護・保障措置、人材・ヒューマンファクター、次世代の軽水炉、高速炉などが挙げられている。今回の中間報告においてはこれらのいくつかについて検討状況を中間まとめとして示したものである。これらについて更に検討を進めるとともに、提言等の形にするための検討作業を行うこととしている。

今後具体的に検討される提言としては、人と環境を護るという安全確保の目的の掘り下げ、情報共有とコミュニケーション、深層防護の共通理解、マネジメントの重要性、廃炉・復興に向けて、核セキュリティ対策、レジリエンス(回復力)、人材育成・技術力維持、学会の役割などに関するものがある。この検討の過程で、現在進められている新たな規制制度や基準作り、事故炉の廃止措置、更には除染等の環境修復に関しても、適時に貢献しよう必要な情報発信に努めてまいりたい。

原子力施設の安全確保の目的は、潜在的に持つ放射線の被害のリスクから「人と環境を護る」ことである。原子力施設から放射線及び放射性物質の放出を防止することが、まず求められる。その上で、放射線及び放射性物質の放出を抑制するためにプラントのリスク抑制が重要となる。また、人と環境を護るという立場からは防災が重要となる。ここに挙げた項目は幅広い内容を含んでおり、これらの意味や具体的な手段については、議論を深

めて共通認識を持った上で具体的活動に取り組んでいかなければならない。原子力施設の安全確保は、国民はもとより、事業者、規制当局、メーカー、学会等の共通の目標であり、願うところであり、それぞれの努力と協力の下で実現されるものである。このように、関与する複数のステークホルダーが存在することを認識し、各ステークホルダーの独立性を保ちつつ、共通認識に向けてのコミュニケーションが重要であり、孤立を避ける必要がある。学会は、様々なステークホルダーに所属する専門家が個人として参加する学術団体であることを踏まえ、そのようなコミュニケーションの場づくりにも貢献できると考えており、学会事故調の成果の情報発信においては、この点も踏まえて対応したい。

学会事故調の重要な目的の一つは、学会自らの組織的・社会的な問題点とも向き合い、原子力災害を防げなかった要因を明らかにして、必要な改革を提言することである。このため、今後、アンケート結果の分析や会員の意見聴取等も行い、学会組織の改革についても、提言をまとめていくこととしている。

なお、原子力技術は、複雑巨大人工物システムを対象としていることもあり全体を見通す俯瞰的対応が必要である。それには、外的・内の事象への対応、深層防護と言われる多層の防護策、人・ソフト・技術等多くの視点が含まれている。事故の分析や安全確保策を検討するにあたっては、原子力が多分野の技術を集めた総合的なものであり、分野間の連携とともに、俯瞰的な視点が必要となることを認識することが必要である。

これらの点に留意しつつ今後調査を進め、今年12月に予定されている最終報告書を質の高いものとしたい。

(東京大学・田中 知)

説明資料編

日本原子力学会「2013年春の年会」

東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会(学会事故調)セッション
「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会 中間報告」

3月27日(水)10:00～12:00, L会場

- | | | | |
|-----------------------|-------|-------------|-------|
| 座長 | | 法政大学 | 宮野 廣 |
| 1. はじめに | | 東京大学 | 関村 直人 |
| 2. リスク評価と深層防護 | | 大阪大学 | 山口 彰 |
| 3. 外的ハザードへの対応 | | 名古屋大学 | 山本 章夫 |
| 4. アクシデントマネジメント | | 東京大学 | 岡本 孝司 |
| 5. 原子力防災（緊急事態への備えと対応） | | 日本原子力研究開発機構 | 本間 俊充 |
| 6. 環境修復に関する分析と課題 | | 電力中央研究所 | 井上 正 |
| 7. 原子力学会の役割と責任 | | 日本原子力研究開発機構 | 佐田 務 |
| 8. まとめ | | 東京大学 | 田中 知 |

東京電力福島第一原子力発電所事故 に関する調査委員会

中間報告

1. はじめに

幹事 関村 直人（東京大学）

本中間報告の位置づけ

- 福島第一事故に関する部会等による検討と学会事故調査委員会での議論を踏まえ、
- 今後最終的な報告書において取りまとめて、提言すべき論点を解説、提示する。
 - 原子力学会では部会等の活動を通じたそれぞれの専門の立場から、事故に関する深い検討と議論を進めてきた。
 - これらを学会事故調として総合的に議論した結果を踏まえて、最終的な報告書として、提言をなすべき点を報告する。
 - これらは、原子力に係る広範な科学と技術に取り組む日本原子力学会が、自ら反省をすべき点を明らかにし、今後の学会活動を通じて取り組むべき課題への決意を表したものである。

東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会を構成する委員の母体となる部会等

- 部会・連絡会
 - 炉物理部会、核融合工学部会、核燃料部会、バックエンド部会、熱流動部会、放射線工学部会、ヒューマン・マシン・システム研究部会、加速器・ビーム科学部会、社会環境部会、保健物理・環境科学部会、核データ部会、材料部会、原子力発電部会、計算科学技術部会、水化学部会、原子力安全部会、新型炉部会
 - 核不拡散等連絡会
 - 標準委員会、倫理委員会、広報情報委員会
 - 原子力安全調査専門委員会
(以上からの推薦に加え、委員長推薦委員と理事会からの委員で構成)
-
- 学会事故調査委員会の開催
 - 本委員会の開催:計 9回
 - コアグループ、幹事団、事務局、学生ボランティア

3

学会事故調査委員会における論点

福島第一原子力発電所事故の根本原因の究明に必須であり、本事故調査委員会で議論され、明らかにされた課題に基づき、提言すべき論点を抽出

- 原子力安全確保の目的は、現在および将来において、放射線の有害な影響から、人と環境を守ること
 - 安全性をリスクとして評価
 - リスクに基づいた安全対策
- 深層防護に基づけば、設計の想定を超える場合の対策として、アクシデントマネジメント策とさらに原子力防災策を準備すべき
 - 設計を超える地震と津波、その他外的な影響
 - アクシデントマネジメント策
 - 原子力防災:緊急防護措置、長期防護措置
- 環境の除染、環境の修復
- コミュニケーションと情報共有
- 日本原子力学会は何をなすべきか

4

2. リスク評価と深層防護

山口 彰 (大阪大学)

1

リスク評価と深層防護で 福島第一事故は緩和できたか

- * リスク評価を使っていれば？
 - * 地震リスク(10万年)と津波リスク(千年)
 - * 内的事象:なぜリスク評価?何のために…
 - * 外的事象:手法やデータが未成熟だから…
- * 深層防護の意義が共有されていれば？
 - * 原子力施設の安全対策が多段的に構成されていることをいう。とくに日本では原子力発電所の基本的設計思想とされている — そうか？
- * 安全目標が浸透していれば？
 - * 安全目標が中間とりまとめのまま(平成15年)

2

シビアアクシデントとは？

- * きわめて確率の低い**プラント状態**であって、設計基準事故条件を超えたもの。**安全系の多重故障**により生起し、**重大な炉心損傷**に至り、放射性物質放出の**障壁の多くまたは全ての脅威**となる可能性のあるもの

* 出典：Severe Accident Management, IAEA

- * **シビアアクシデント**. **設計基準事故よりも苛酷で重大な炉心の劣化・変質を伴う事故状態**

* 出典：IAEA SAFETY GLOSSARY, Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, 2007 Edition

3

リスクとシビアアクシデントとPSA

- * 世界の原子力安全関係者は、TMI事故やチェルノブイリ事故の経験を貴重な教訓として、発電用原子炉施設における、設計で想定した事象を大幅に超えて炉心の重大な損傷に至る事象(シビアアクシデント)のリスクを抑制することが重要と認識した

- * このため、施設の設備の誤動作や誤操作の発生時にいくつもの安全装置が作動しないことによる災害の発生可能性とその影響の大きさを推定し、それからシビアアクシデントのリスクを定量化する確率論的安全評価手法(PSA)技術が開発されてきている

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

4

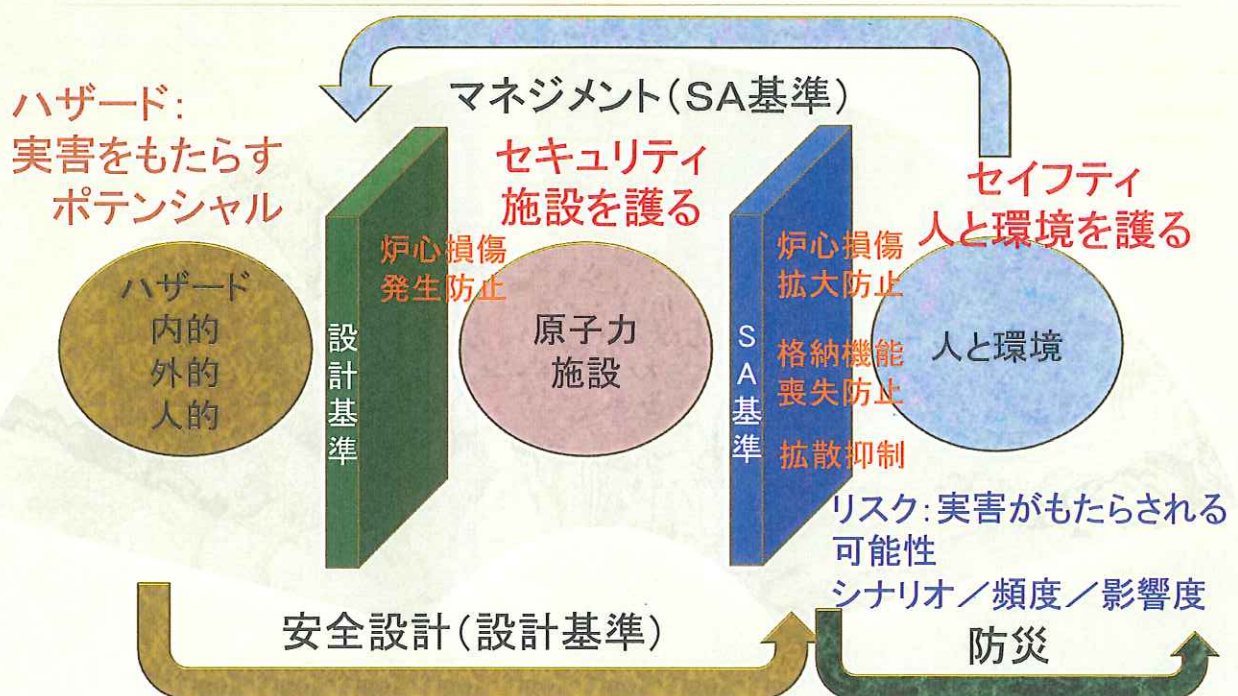
我が国のリスクの抑制水準

- * この手法を用いて、我が国の発電用原子炉施設におけるシビアアクシデントのリスクの評価も行われており、その結果、わが国の発電用原子炉施設におけるシビアアクシデントのリスクの抑制水準は国際的に遜色のないものと判断されている

- * リスク＝炉心損傷確率？、外部事象は？

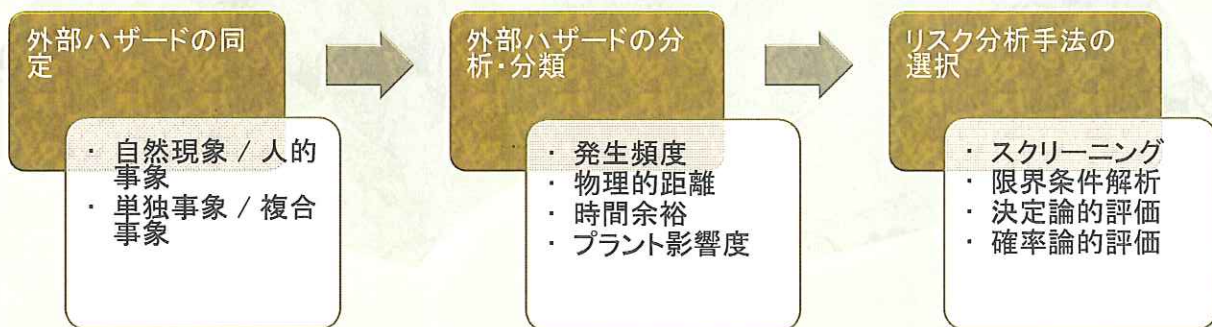
安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ、平成 15 年12月、原子力安全委員会 安全目標専門部会

安全の確保とリスクの抑制



外部事象(自然現象と人的事象)のリスク

- * 外部ハザードの包括的サーベイ
- * 外部ハザードのポテンシャル
- * 外部事象が与える影響度
- * 評価手法の現状
- * 外部ハザードに対する防護と影響緩和



7

なぜ継続的な安全向上が必要なのか

- * 安全目標は社会との約束事であるから
 - * 安全目標が社会に広く受け入れられ関係者に尊重されるため(中略)広く社会と対話を行っていくことが肝要である(安全目標中間取りまとめ)
- * ALARAとはその当時の社会のコンセンサスであるから
 - * ALARPを達成するためのリスクとコントロールに係る判断は簡単ではない。何がALARPかを計算する簡明な方程式はない。
 - * ALARP Suite of Guidance,
<http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarp.htm>

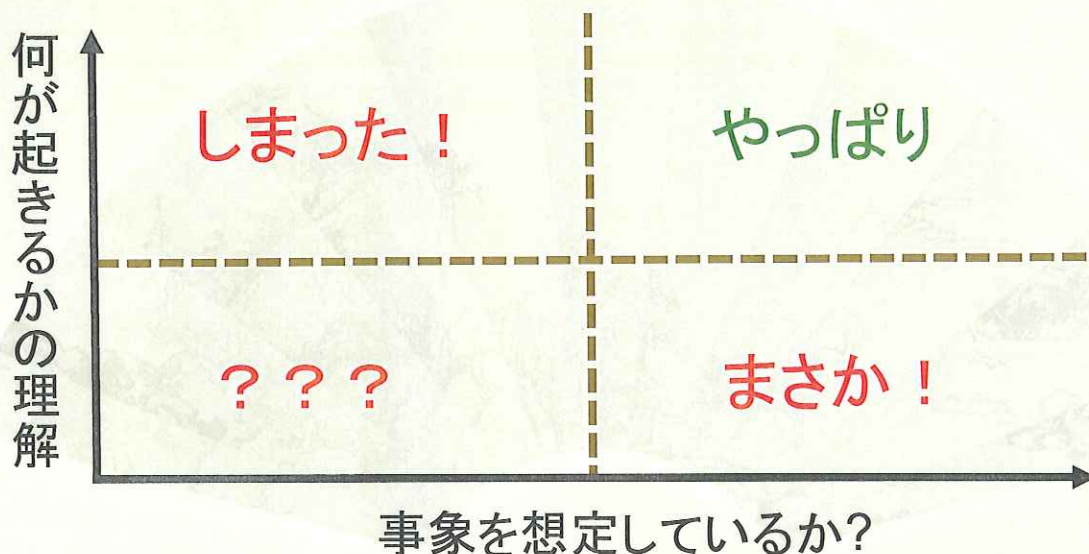
8

ALARAとは何か？ 合理的に達成できる限り低く？

- * Reasonableとは(辞書から)
 - * 理に適った、論理の通った、納得のいく
 - * If you think something is fair and sensible you can say that they are reasonable
 - * Reasonableは実際的な場面における合理性、rationalは感情的でない高度も論理的な精神の働き
- * 説明性のあること、多くが納得して合意してくれること
 - * 女川発電所を高所に設置
- * 社会に理解いただくために継続的な安全向上が必要(ALARAとは見識と技術力)

9

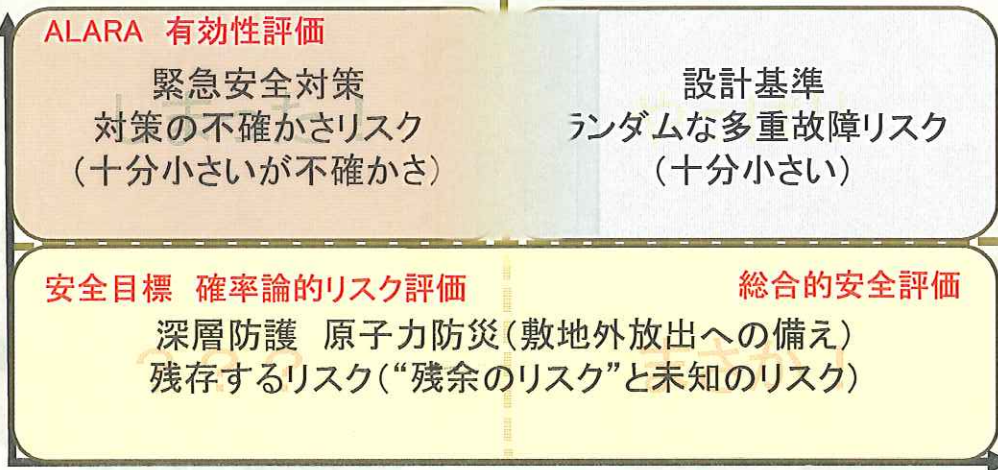
深層防護は“想定外”への備え



10

深層防護は“想定外”への備え

何が起きるかの理解



事象を想定しているか?

性能目標の設定

<目的>	<現状の目標> ^{※2}	<今後の目標>
炉心損傷防止	炉心損傷頻度 (CDF) 10 ⁻⁴ /炉年程度	同 左 深層防護 (SA発生防止)
格納容器機能喪失防止	格納容器機能喪失頻度 (CFF) 10 ⁻⁵ /炉年程度	同 左 深層防護 (格納機能喪失防止)
放射性物質の大規模な放出防止	設定なし	放射性物質の大規模な放出防止の観点からの性能目標の設定が必要 大規模放出頻度 (頻度、放出量)

人の保護^{※1}
環境の保護
安全目標

深層防護(敷地外放出の影響を抑え込む)

※1 公衆の個人死亡リスク

※2 出典: 発電用軽水型原子炉施設の性能目標について(平成18年4月原子力安全委員会安全目標専門部会)

まとめ

- * リスク評価とその抑制水準
 - * PRAの三要素:シナリオ、発生頻度、影響度
 - * 津波のクリフエッジ、共通原因、復旧困難
- * 深層防護の概念(不確かさへの備え)
 - * 原子力安全:炉心損傷、格納機能、緊急対応
 - * 従来のアクシデントマネジメントの不備、防災・減災の不備
- * 安全目標と性能目標
 - * 安全確保のものさしは安全目標
 - * 安全目標のものさしは性能目標
 - * 性能目標のものさしはPRA(レベル1、レベル2、レベル3、外部事象)
- * リスクは残存する(不確かさは残る)
 - * ALARAと安全目標は社会との約束ごと
 - * シビアアクシデント:社会に迷惑をかける事態は起こさない
 - * 継続的安全向上(安全向上の探求)
 - 社会への発信と社会との接点(安全目標とALARA)



3. 外的ハザードへの対応

山本章夫 (名古屋大学)

1



地震の影響(1)

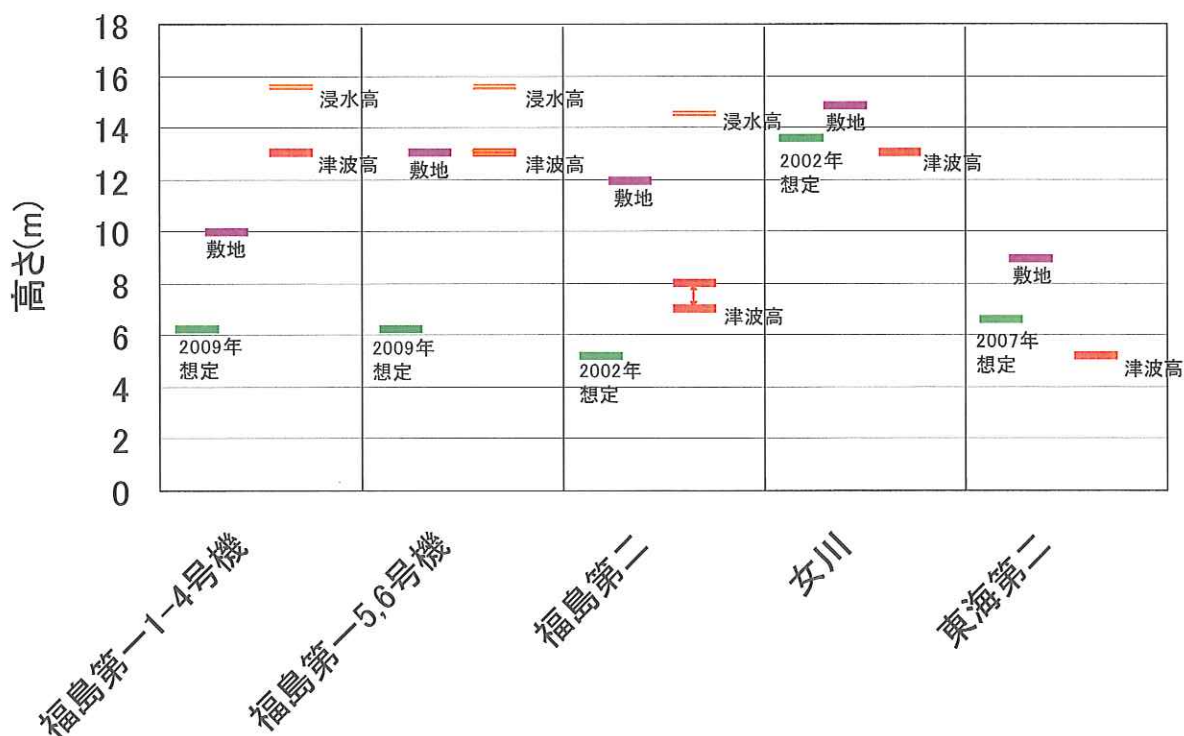
- 福島第一原子力発電所
 - 最大加速度はSsを最大3割程度超過
 - 外部電源喪失
 - 1-3号機は、重要機器を直接確認することが困難であるため、温度・圧力などのプラントデータ、観測された地震動を用いた応答解析、立ち入り可能な部分におけるウオークダウンなどにより影響が評価されている
 - 上記の評価から、安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと推定される
 - 一方、温度、圧力などのプラントデータからは読み取れない微小漏えいについては、現場調査ができないことから現時点では確認が困難。重要機器について、今後の調査が必要
- 福島第二原子力発電所
 - 最大加速度はSs未満
 - 外部電源喪失せず
 - プラントデータ、点検などにより、安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと評価されている
- 女川原子力発電所
 - 最大加速度はSsを最大1割程度超過
 - 外部電源喪失せず
 - 常用系の高圧電源盤が地震動の影響により焼損
 - プラントデータ、点検などにより、安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと評価されている

2

地震の影響(2)

- 東海第二原子力発電所
 - 最大加速度はSs未満
 - 外部電源喪失
 - プラントデータ、点検などにより、安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと評価されている
- (参考:2007年中越沖地震)柏崎刈羽原子力発電所
 - 最大加速度はS2の最大3倍程度
 - 外部電源喪失せず
 - プラントデータ、点検などにより、安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと評価されている
- (参考:2005年宮城県沖地震)女川原子力発電所
 - 一部の周期帯でS2を超過
 - 外部電源喪失せず
 - プラントデータ、点検などにより、安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと評価されている
- (参考:2005年能登半島地震)志賀原子力発電所
 - 一部の周期帯でS2を超過
 - 外部電源喪失せず
 - プラントデータ、点検などにより、安全機能に深刻な影響を与える損傷はないと評価されている
- 東日本大震災は、地震と外部電源喪失(+津波)が重なった初めてのケース₃

津波高さの比較





津波の影響

- 福島第一原子力発電所
 - 設計基準の津波高さを大幅に超える津波
 - 多くの安全機能が同時に喪失、過酷事故に至った
- 福島第二原子力発電所
 - 設計基準の津波高さを大幅に超える津波
 - 安全機能の一部が喪失したが、AM策および機器の復旧により冷温停止に至った
- 東海第二原子力発電所
 - 設計基準の津波高さを超える津波
 - 一部のDGが機能喪失したが、計画通りの対応で冷温停止に至った
- 女川原子力発電所
 - 設計基準の津波高さを超えなかった
 - 溢水により一部のDGが機能喪失したものの、計画通りの対応で冷温停止に至った

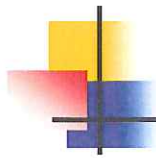
5



反省点と教訓(全般)

- 外的ハザードに対する包括的な評価(IPEEE)が実施されていなかった
 - 内的ハザードがPRAにより包括的・定量的に把握されていたのに比べ、外的ハザードのリスクは包括的・定量的に把握されていなかった
 - 外的ハザードに対するプラントの脆弱性を把握できていなかった。特に外的ハザードによってはクリフエッジが存在することへの認識が不十分であった
 - クリフエッジを超えたときのプラント挙動の考慮およびそれに対する対応が不十分であった
 - 外部ハザードの多い国内でIPEEEが実施されてこなかったことが問題
- 外的ハザードの重畳が十分に検討されていなかった
 - Coincidental(偶然)、Consequential(従属)、Correlated(相関)の三つのパターン
- 従来の安全評価は、プラント内部を対象としており、外的ハザードが複数基立地サイトおよびサイト外に及ぼす影響が十分に検討されていなかった
 - 複数基の同時被災が事故対応に与える影響
 - 長時間にわたる全電源喪失
 - 津波や地震によるオフサイトセンターの機能喪失
 - 道路網の寸断が外部支援に与える影響
- 従来の安全評価は、設計基準までの外的ハザードを対象としており、クリフエッジの存在とその影響が十分に把握されていなかった

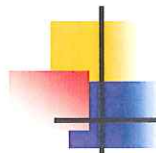
6



反省点と教訓(地震動)

- 観測された最大加速度が S_s を超過
 - 「観測された最大加速度が S_s を超過する確率」を考えると、設計基準地震動の設定の妥当性を確認する必要がある
- 地震については、中越沖地震を含め設計基準の超過を経験
 - 2006年の耐震指針改訂時に「残余のリスク」があることを認識し、これできるだけ低減する措置が求められた
- 耐震設計・影響評価に含まれる大きな安全余裕の存在
 - 設計で用いられている評価と最適評価の差異
 - 設計基準値と実耐力の差異
- 地震動はプラント全ての機器に同時に影響を与える
 - 深層防護の各層で耐震設計を考慮。
 - 大きな安全余裕とあいまってクリフエッジが顕在化しにくい要因と見られる。
- 地震動は安全機能に深刻な影響を与えていないと推定されており、上記の安全余裕がプラントの安全確保に寄与したと見られる
- 一方で、設計基準の位置づけを考えると、「安全余裕があるから良い」とはならない。

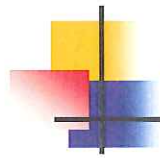
7



反省点と教訓(津波)

- 観測された津波が設計基準津波を大幅に上回った
 - 設計基準津波の設定を見直す必要がある
- 津波については、設計基準の超過の可能性およびその場合の影響や対応について、議論されてこなかった
 - 津波も、残存するリスクをできるだけ低減する取り組みが重要
- 「津波随件事象」が十分に考慮されてこなかった
 - 例：津波に伴って発生したがれきなどにより、事故対応に大きな支障が発生
- 耐津波設計・影響評価に含まれる安全余裕が地震の場合に比べると十分でなかった
- 津波はプラント外部から内部に向かって順に影響を与える→プラントの外部で阻止する考え方
 - 深層防護の各層で耐津波設計は考慮されず
 - 津波高さがある値を超えるとクリフエッジが顕在化しやすい

8



外的ハザードに対するリスク評価

- 種々の外的ハザードを包絡的に検討する必要性
 - 米国IPEEEの例:地震、火災、強風(台風、竜巻)、洪水、雪崩、火山、氷結、高温、低温、近隣の輸送・工場、航空機落下など
- リスク要因となり得る外的ハザードに対して、PRA等を用いて影響評価を実施し、プラントの脆弱性を評価、これらに対応する。
 - リスク、設計上の余裕を考慮したプラントへの影響度、時間的余裕、ハザード源とプラントの距離などを考慮
 - 外的ハザード評価の不確かさを考慮
 - 継続的改善

9



外的ハザードへの対処の考え方

- 外的ハザードへは、設計基準を十分な信頼性を持って設定するだけでは不十分であり、外的ハザードの評価における不確かさを考えると、設計基準を超えた場合の対処をあらかじめ準備する必要がある
- 問題点は以下の通り
 - 設計基準をどのように決めるか
 - 外的ハザードが設計基準を超える可能性にどう対処するか

10



外的ハザードの設計基準の設定

- 設計基準は、性能目標と整合する形でハザードカーブなどを考慮して設定する
- 性能目標(案)はCDF: 10^{-4} 、CFF: 10^{-5} [1/y]
 - 年超過確率と安全対策が相まってリスクを性能目標に見合った値とする必要がある。
 - 基準津波設定にあたっては、数百年程度の歴史津波を考慮してきた→ $10^{-2} \sim 10^{-3}$ [1/y]。安全対策を含め、性能目標との整合性が十分でなかった可能性あり。
 - 外的ハザードの設計基準は、関連学会で検討される場合があり、その場合、原子力安全の関係者との密なコミュニケーションが不可欠である。
 - 外的ハザード評価技術の成熟度などを考慮する必要

11



外的ハザードの不確かさへの対処

- 不確かさには、安全余裕と深層防護により対処
 - ステストの手法などにより安全余裕を確認・確保
 - 設計基準を超える外的ハザードを考慮する形で深層防護に則った安全設計・対策を行う
 - 外的ハザードは、その大きさにより、深層防護の複数の層を同時に破る可能性があることから、independent effectivenessの考え方が重要
- 例えば
 - 耐津波設計
 - 敷地内への浸水を防ぐ
 - 建屋への浸水を防ぐ
 - 重要機器室への浸水を防ぐ
 - 高台に設置・保管した代替設備などによる対応
 - 耐震設計
 - 「機器に対する影響の出方」の多様性を高めるため、免震構造や設置方向の多様性などの種々の耐震の考え方を導入
 - 可搬型の代替設備などによる対応

12



まとめ

- 外的ハザードの包絡的評価の必要性
 - IPEEEの実施とプラント脆弱性の把握、継続的改善
 - 複数基立地、サイト外の影響を含めた包絡的評価
- 外的ハザードに対する設計基準設定の考え方
 - 性能目標と整合する形でハザードカーブなどを考慮して設定
 - 関連学会とのコミュニケーション
 - 外的ハザード評価手法の成熟度の考慮
- 設計基準を超える外部ハザードに対する対応
 - 安全余裕の評価
 - 深層防護に則った安全設計

4. アクシデントマネジメント

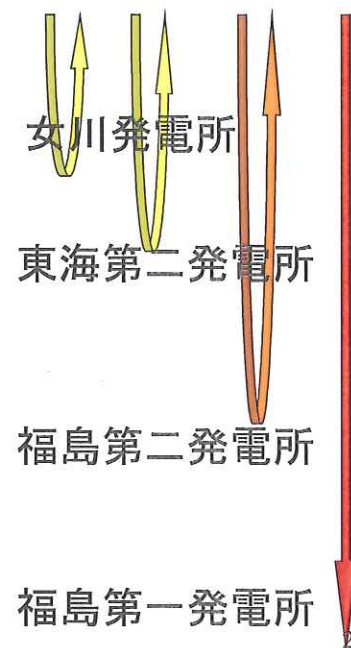
岡本孝司(東京大学)

1

IAEA Safety of Nuclear Power Plants (SSR-2/1)

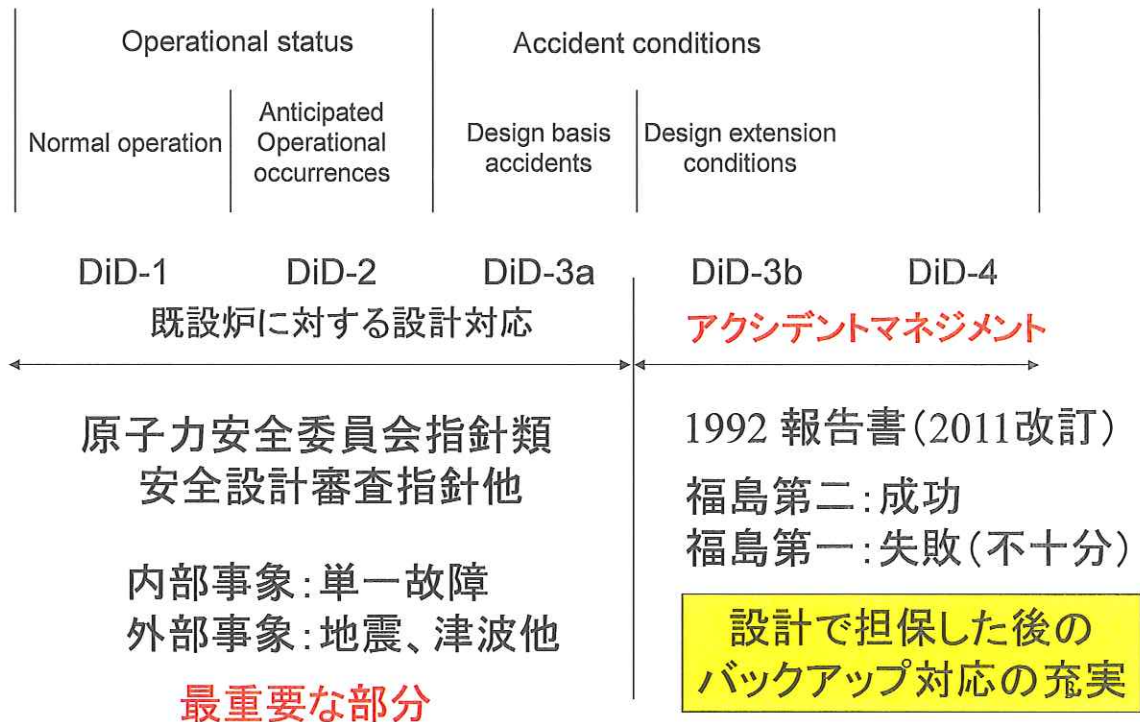
深層防護 (Defense-in-Depth)

1. 異常の**発生**を**防止**する
2. 異常が発生しても、その**拡大**を**防止**する
3. 異常が拡大しても、その**影響**を緩和し過酷事故に至らせない
4. 異常が緩和できず、過酷事故に至っても、**対応**できるようにする
5. 異常に対応できなくても、**人**を守る



深層防護と事故前の規制の関係

Plant states (considered in design)



深層防護に関する認識

- 複数の独立の効果 (Independent Effectiveness) をもつ層によって、多層の防御を行うこと
- 独立の効果の意味
 - 各層の対策・対応は別の「効果」を持つ事が重要
- ハードウェアでは第4層の独立の効果は担保できない
 - 第4層のみで対応できるようなハードを考える事は、第3層までの考え方と全く一緒であり、第3層までと同じ効果となり、独立性が失われる。
 - ハードを中心に対策を考えると設計の延長となる (DEC) つまり、同じ効果であり、まさに第3層に含まれる
 - ハードに偏重すると、寿命のほぼ100%を占める運転・保守に過度の負担をかけるため、総合的なリスクを大幅に高める
 - 実際に過酷事故になった場合に、同時にDEC対応ハードまでやられた場合、対応できない。

深層防護に関する認識

- では、第4層(SA対策)はどう考えるべきか
 - 第3層までの設計(設計基準事象を想定した決定論的手法)とは異なる考え方で、設計基準を超過した場合を考える事
 - マネジメント(ソフト)を強化充実させる。マネジメントをサポートするために必要なハードが検討される。
 - マネジメント(ソフト)は3層までの設計(ハード)とは次元の異なる対応であり、独立の効果が担保される
 - 具体的には、発電所における通常運転時対応能力だけでなく、緊急時対応能力(FLEX)を評価する
 - 教育訓練を中心としたマネジメント能力の維持向上
 - マニュアル整備やオンラインメンテナンスを通じた、発電所の詳細把握とリスクの認知
 - 意思決定者を含む組織のマネジメント能力評価手法開発

5

ハード偏重がなぜいけないか

- シビアアクシデント時、特に想定外時には、全てのハードは自動的に動くのではなく、「人」が動かす
- 多様性・多重性をいくら要求しても、想定外の共通要因故障をゼロにはできない
- ハードの導入で対象とするリスク低減は可能だが、対策は必ず別のリスクを導入する。
結果として総合的なリスクを増やす場合が多い。
- 発電所ごとに最適な対策(ハードを含む)は異なる。
一律なハード要求は、リスクを増やす。
- 増設ハードは緊急時対応。通常運転時や事故時にはリスクを増加させる。
(全寿命のほぼ100%を占める運転中には邪魔→仮設機器)

6

福島第一事故と深層防護

- 第3層までの設計は機能したのか
 - 地震動については機能した。
但し地震PRAの実施など継続的改善が必須
 - 津波・洪水・SBOについては設計基準を軒並み超過した
 - 女川発電所、東海第二発電所は、敷地高さの裕度
 - 福島第二3号機南側熱交換器建屋は、水密扉の裕度
 - 福島第二発電所、福島第一発電所は共通要因故障を誘発し、長時間のSBO and/or LUHSとなった
 - 設計基準で考慮する津波の見直しが必須
 - 安全率の考え方が津波に対して間違っていた
 - 例えば超過確率を 10^{-4} となるような基準とする
 - 設計の考え方は間違っていたのか？
 - 設計の考え方自体は正しい。
 - 適切な安全率となるように、知見を充実することが必須

7

福島第一事故と深層防護

- 第4層のアクシデントマネジメントは機能したのか
 - 福島第二、福島第一5,6号機において成功した
 - 設計を超える事態に、適切な判断と適切な対応を実施したことにより、安全を確保した
 - 福島第一においては、失敗した
 - 設計を超える事態が非常に厳しく、対応をとることができずにシビアアクシデントにつながった
 - アクシデントマネジメントの考え方は間違っていたのか？
 - 考え方が間違っていた
 - 設計を超える事態の考え方が不十分であった
 - DC電源がある事を前提のAM対策であり、かつ、教育訓練がSAMGの範囲内にとどまっていた。
 - 人間の考える事には限界がある。想定外に対応することが必須
 - 緊急時を含む発電所マネジメント能力の維持向上を主眼に置いた対策とすべき。ハードはマネジメントに付随する

8

事故の課題と改善点

- 第3層までの設計の考え方は正しい
 - 耐震設計は機能したが更なる改善が必須
 - BCクラス機器の2次的影響(火災・溢水)の考慮
 - PRA(リスク評価)の精緻化が必須
 - 耐津波設計は設計津波高さ含め根本的改善
 - 水密扉、漏洩パス同定、リスク評価
- 第4層アクシデントマネジメントが不十分
- 第5層防災対策が不十分

9

事故後の対策(1/2)

- 緊急時対策(2011/3/30)
 - 電源対策の強化
 - 高台への電源車の整備、電源ライン相互接続
 - 水密扉設置
- 技術的知見30項目(2012/2/28)
 - SBO対策の強化
 - LUHS対応の強化
 - 使用済燃料プールへの対策強化
 - 津波、地震対策の強化

10

事故後の対策(2/2)

- ストレステスト(2012/3/31)
 - 津波・地震による弱点对応
 - 水漏洩経路、津波荷重、防潮堤、代替装置
 - 炉心冷却確保、CV冷却確保、代替電源、代替冷却ポンプ
 - SBO・除熱機能喪失に対する弱点对応
 - 代替電源、モバイル電源、直流電源強化、充電
 - 代替ポンプ、消防車注水口
 - 緊急時マネジメントの弱点对策
 - 人員確保、宿直者人数増加、寮からの参集訓練
 - 水・燃料確保、輸送方法確保
 - 通信確保、衛星電話、通信機増設、電池

11

福島第一事故の反省 ～事故時対応からみた原子力安全～

- 想定外があることを想定する事
 - 恒設設備を含むハードは壊れるものと想定し、その上でマネジメント能力を充実させる
- 総合的リスクを考慮する事
 - 全ての対策は別のところに必ずリスクを導入
 - 総合的視野で考えないと、全体のリスクを増加させる
- マネジメント能力を充実させること
 - 発電所、国の緊急時マネジメント能力を評価する事
 - 米国ROPの赤は主としてマネジメント能力の不備

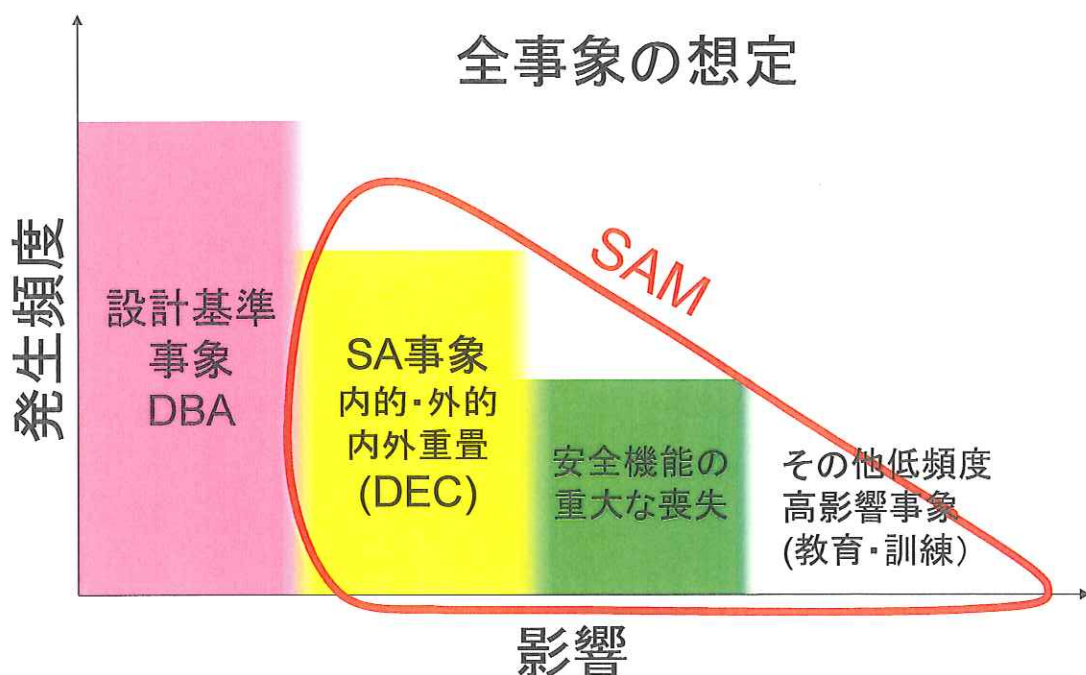
12

日本原子力学会 シビアアクシデントマネジメント標準

- マネジメント能力の維持、向上を重視した標準
 - リスクの同定(大きなリスクを抽出し対策する)
 - 想定外リスクへの対応(緊急時マネジメント能力の保持)
 - 24時間緊急対応が可能な人材確保と組織
 - 人材育成を含む教育とライセンス
 - マニュアルの整備と応用力の充実
 - 失敗経験を含む経験の充実と訓練
 - 想定外事象に対する机上訓練

13

事象のカテゴリー(SAMの範囲)



14

5. 原子力防災 (緊急事態への備えと対応)

本間俊充 (日本原子力研究開発機構)

1

深層防護第5層(防災)の位置づけ

IAEA 基本安全原則(SF-1)

原則9: 緊急時の準備と対応

原子力または放射線の異常事象に対する緊急時の準備と対応のための
取り決を行わなければならない。

- 3.34 原子力又は放射線の緊急時に対する準備と対応は、次の事項を主な目標とする。
- 原子力または放射線の緊急時に対する、現場及び必要に応じて地域、地方、国及び国際間のレベルでの効果的な対応を行うための取り決めが定められていることを確実にすること。
 - 合理的に予測可能な異常事象に対して、放射線リスクが軽微なものとなることを確実にすること。
 - 発生する何らかの異常事象に対して、人の生命、健康及び環境に対するいかなる影響も緩和するための実施可能な手段を講じること。



- 防護措置に対する明確な運営の考え方(Concept of Operation)は、これまでどこにも示されていなかった。中間報告では、防護措置実施の考え方、課題について検討。

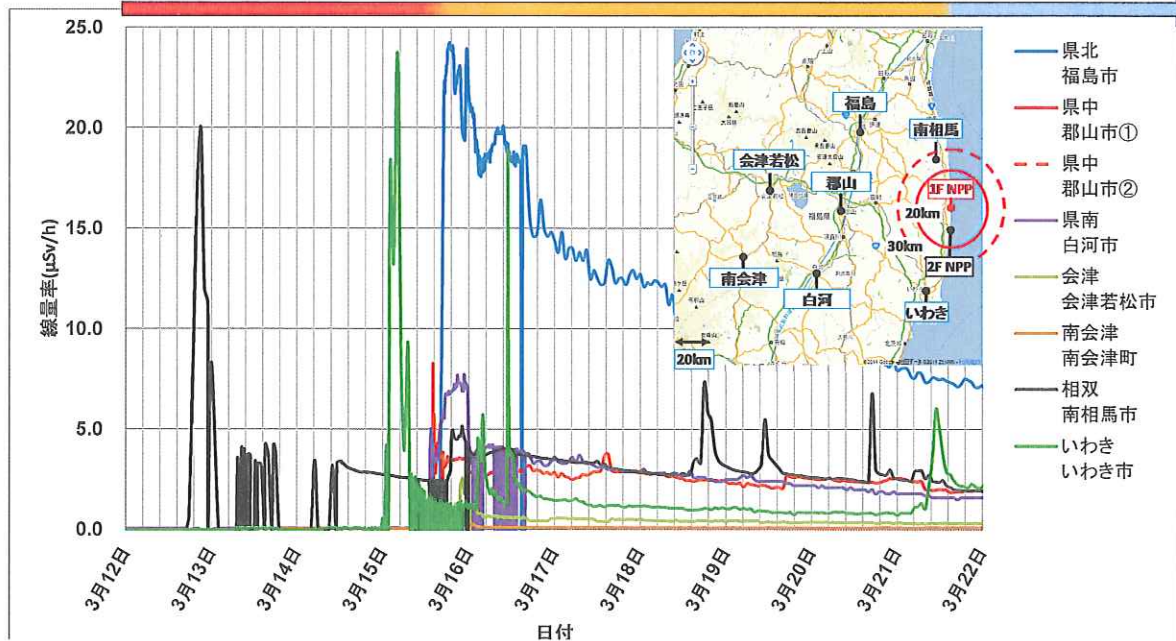
2

事故初期の放射線状況

① 予防的緊急防護措置
(避難, 屋内退避)

② 緊急防護措置
(飲食物に関する制限)

③ 早期防護措置
(一時移転の準備)



- 12日の南相馬の線量率上昇は1号機からの放出。
- 13日～14日の3号機からの放出は、太平洋側に。
- 15日の未明から16日にかけて、いわき→白河→郡山→福島→南相馬→会津若松→いわきの順の線量率上昇は2号機からの放出と推定。夕刻からの降雨により北西方向の汚染。

3

緊急防護措置の実施

事象

対応

3月11日16:45 1, 2号機, 第15条通報

- **1号の原子炉冷却不能**
- **1号の格納容器内圧力上昇**
- 1号の水素爆発(12日15:36)
- **複数号機の同時災害リスク**
- 3号の水素爆発(14日11:01)
- 複数号機での新たな事象(15日6時)

3月16日

- 水道水(福島市)にヨウ素、セシウム検出
- 原乳(川俣町)に基準を超えるI-131(1190Bq/kg)を検出
- 雑草(飯舘村, 田村市, いわき市等)にヨウ素、セシウム検出(18日、葉菜)

3月17日

- ポイント32(約30km北西)で毎時170μSvの空間線量率を測定

3月下旬

- 屋内退避区域の住民の生活支援を検討

3月11日19:03 緊急事態宣言

- 20:50 2km 避難(福島県)
- 21:23 3km 避難(約6,000人)

3月12日05:44 10km 避難(約51,000人)

- 18:25 20km 避難(約78,000人)

3月15日11:00 20-30km 屋内退避

3月16日 安定ヨウ素剤予防服用指示

3月21日

- 水道水摂取制限(飯舘村)
- 乳児の水道水制限(福島, 茨城, 千葉, 東京, 栃木)
- 原乳、野菜の出荷、摂取制限(福島, 茨城, 栃木, 群馬)

3月25日

- 屋内退避区域住民の自主的避難要請

4月10日

- 計画的避難区域, 緊急時避難準備区域の設定の基本的考え方(安全委員会)

4月22日

- 計画的避難区域等の設定

4

食品の汚染状況

Ratios of excesses over the provisional regulation values (until 31 March 2012)

Food group	Fukushima prefecture			All prefectures		
	No. samples	No. excesses	Ratios (%)	No. samples	No. excesses	Ratios (%)
vegetable	8302	302	3.6	21089	451	2.1
fishery products	3574	227	6.4	9183	245	2.7
milk·dairyproducts	685	18	2.6	2961	23	0.8
meat·egg	6789	165	2.4	93223	286	0.3
grain	1860	2	0.1	5552	2	0.0
others	256	4	1.6	3791	197	5.2
subtotal	21466	718	3.3	135799	1204	0.9

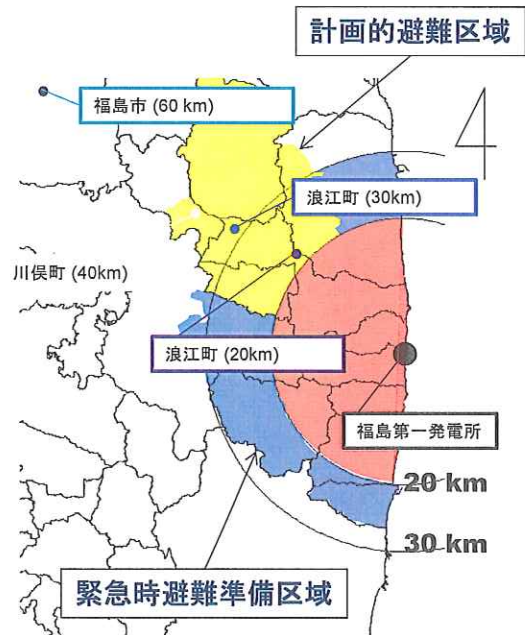
Ratios of excesses over the new standard limits (since 1 April 2012, as of 7 November)

Food group	Fukushima prefecture			All prefectures		
	No. samples	No. excesses	Ratios (%)	No. samples	No. excesses	Ratios (%)
agricultural products	9271	139	1.5	34408	550	1.6
livestock products	5754	1	0.0	89393	3	0.0
fishery products	3926	609	15.5	12686	793	6.3
milk/infant formula	304		0.0	3129	0	0.0
wild animal meat	161	96	59.6	638	199	31.2
drinking water	18		0.0	1326	13	1.0
others	1432	60	4.2	5904		0.0
subtotal	20866	905	4.3	147484	1704	1.2

7

緊急防護措置の変更

- 3月17日: 170 μ Sv/h(浪江町、北西 30km)
- 3月18日: NSCは、周辺の居住状況調査とモニタリングの強化を要請
- 3月30日: IAEAは福島事故用の修正OILに基づき政府に注意深い対応を助言。飯館村の土壌汚染濃度がOIL1(避難を要するレベル)以上であることを報告。
- 4月10日: NSCは、計画的避難区域と緊急時避難準備区域の基本的考え方を表明(翌11日官房長官発表)。
- 4月22日: 原子力対策本部長から計画的避難区域居住者の立ち退きを指示(概ね1ヶ月)。



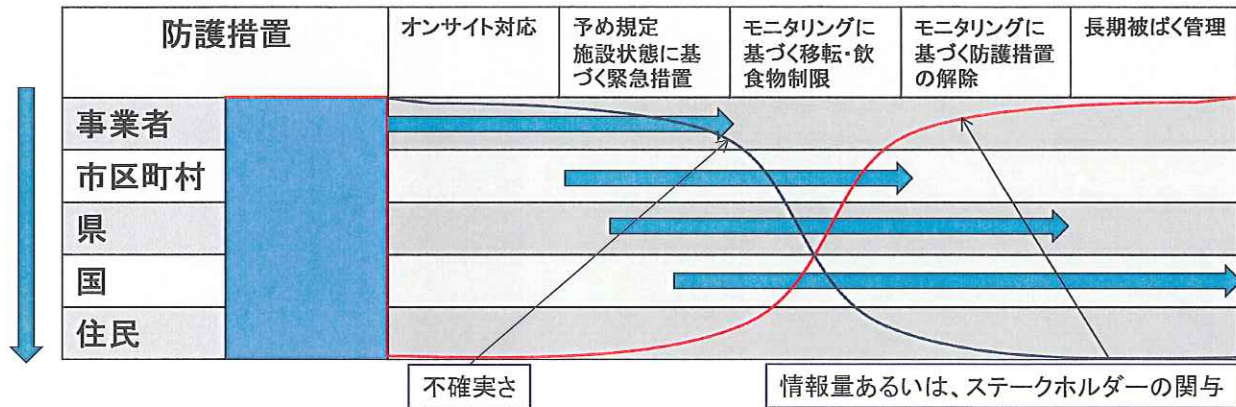
8

時間軸に応じた意思決定のスキーム

(教訓1) 緊急防護措置と長期的防護措置の実施、及び通常生活への復帰まで含めた一貫した対応の考え方と判断基準を、準備段階において確立していなければならない。

準備段階	対応段階				復旧段階
	初期		中期		晩期
計画	事故発生／ 初期対応	危機管理	影響管理	復旧へ移行 (復旧計画)	復旧／長期 の復帰活動
	緊急時被ばく状況				現存被ばく 状況

- 時間軸に応じた責務、権限の推移



9

緊急防護措置の戦略と課題

- これまで防災訓練においては、緊急防護措置の勧告は計算機予測システム (ERRS, SPEEDI) によるリアルタイム線量予測結果と介入レベルに基づいて決定。
- 福島事故においては、国は施設の状態 (原子炉冷却不能、格納容器圧力上昇、複数基の同時災害のリスク) に基づいて、避難 (3km, 10km, 20km)、屋内退避 (20-30km) を実施。

(教訓2) 緊急防護措置の実施に当たっては、施設の状態に関する判断基準に基づいて、予防的防護措置が放射性物質の環境への放出以前に迅速に実施できるような準備を確立しなければならない。

ICRP Publication109 (2009)

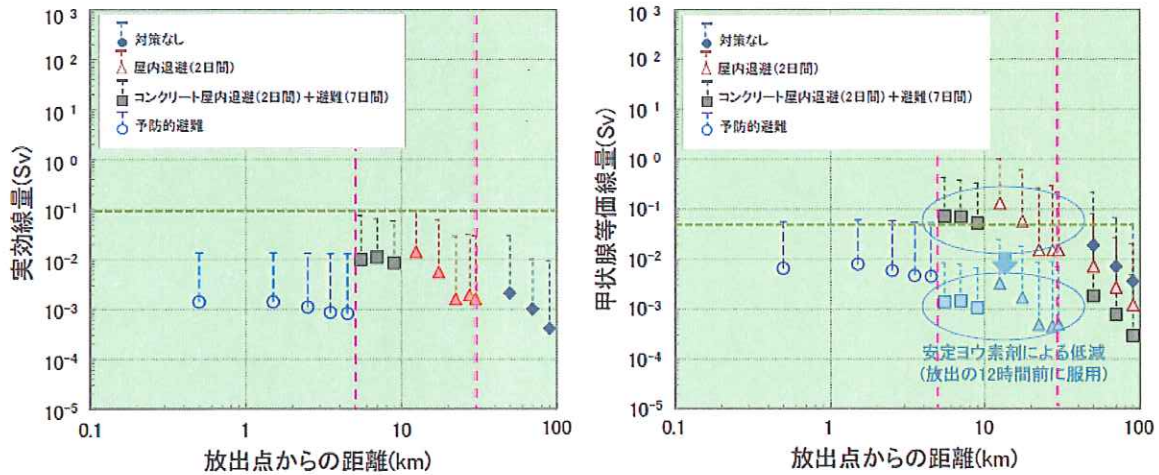
- 防護措置を迅速に実施するためには、一連の整合性のある判断基準を前もって設定し、その基準に基づいて、緊急時に防護措置を開始するための容易に測定可能な適切な“発動因子”を導くことが必要である (9項)。

IAEA 安全要件(GS-R-2, 2002), 安全指針(GSG-2, 2011)

- 重篤な確定的影響を防止するため、施設の状態に基づいて放射性物質の放出以前の予防的緊急防護措置がとられる。
- GSG-2 には、緊急事態区分とその決定のための判断基準EAL (緊急時活動レベル) が例示されている。

10

地域防災計画策定への活用 (防護措置の被ばく低減の効果)



- 適切な範囲で複数の防護対策((A)予防的避難(5km以内)、(B)コンクリート屋内退避および避難(5km - 10km)、(C)屋内退避(10km - 30km))を組み合わせることで、実効線量100mSvを下回ることが可能。
- 甲状腺等価線量で比較した場合、5km - 30kmの範囲においては、避難や屋内退避(コンクリート屋内退避含む)のみでは、50 mSvを上回る可能性がある。
- 5km - 30kmの範囲においても、屋内への退避と安定ヨウ素剤の服用(図は放出開始の12時間前に摂取した場合)を組み合わせることで、甲状腺等価線量の50 mSvを下回ることが可能。

飲食物に対する防護戦略と課題

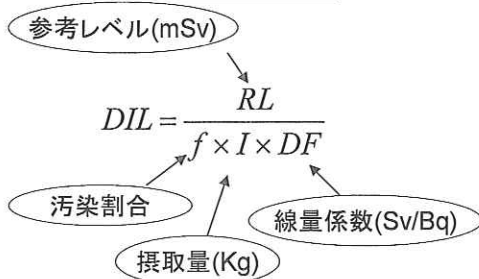
食品安全の問題は、住民にとって関心事(不安)であるとともに、風評被害をもたらす

初期段階

- ヨウ素等の直接汚染からの摂取線量を回避するためには、迅速な対応が必要
- ➡ 地表沈着からの空間線量率等の実用上の介入レベル(OIL) (GSG-2)

中期及び長期段階

飲食物摂取制限レベルDIL (Bq/kg)



核種	対象	日本	米国	EU	CODEX
I-131	飲料水・乳製品	300	170	500	100
	食品	2000	170	2000	100
Cs	飲料水・乳製品	200	1200	1000	1000
	食品	500	1200	1250	1000

- 摂取制限の判断基準は、防護措置全体の最適化プロセスの中で検討すべき。
 - 放射線影響と栄養供給の影響
 - 参考レベルと全線量に対する経口摂取線量の寄与
 - 食習慣(摂取量)及び汚染割合の現実的評価
 - 国内状況の考慮、国際基準との協調

厚労省

飲料水	10
ミルク	50
食品	100
乳児用	50

緊急時被ばく状況と現存被ばく状況への移行

- 防災指針に、緊急防護措置の解除や一時的移転、また長期防護措置に関する考え方、判断基準がなかった。
- そのため、計画的避難区域の設定に時間を要し、被ばくを増大させた。
- 屋内退避(20-30km)も長期間続き、生活維持が困難となった。
- 要支援者の対応についての備えが十分でなく、結果として、多数の死亡者が生じた。

(教訓3) 緊急防護措置の実施の判断に使用する運用上の介入レベル(OIL)の設定、修正および適用については、国際的なガイダンスが必要である。

(教訓4) 避難と移転は、安全に実行可能な場合に行われるべきである。すなわち、避難実施中に生命に危険を及ぼしてはならない。屋内退避は、避難や移転が安全に実施可能となるまでの短期間のみ実施されるべきである。

- 2011年9月30日：原安委の助言を踏まえ、緊急避難準備区域の解除。
- 2012年3月30日：原安委の助言を受け、避難区域の見直しを決定。政府による緊急時被ばく状況から現存被ばく状況への移行決定であり、復旧段階の開始。
- 住民の放射線による健康影響に対する防護と同時に、持続可能な生活基盤を保証しなければならない。
- 長期的被ばく管理は、線源による制御は難しく、個人の行動様式に大きく依存。
- 個人モニタリングと健康サーベイランスが重要。

13

緊急事態管理と運営

(教訓5) シビアアクシデントは起こらないという暗黙の仮定があり、事業者も当局側も事故に対する十分な準備を怠ってきた。

(教訓6) 発生確率が非常に小さい事象も含め、すべての範囲の想定事象を考慮し、また、地震等の緊急事態との統合を考慮した準備を整えておかねばならない。

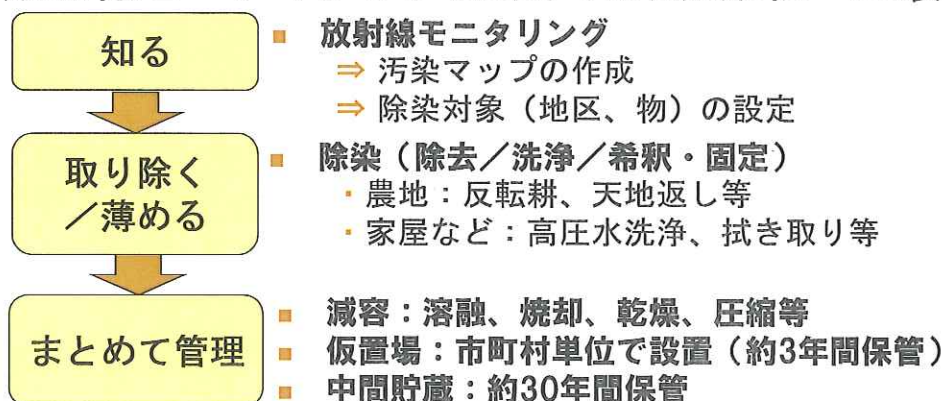
- 事業者、地方自治体、規制機関、国の責務・役割の明確化
- これまでの防災の位置づけ(オンサイト、オフサイトの明確な分離)
 - 「防災計画は、災害を未然に防止し、放射線影響を低減させる有効な措置を国、地方公共団体等がとることを目的。防災対策は施設の安全性確保のための技術上の深層防護及び離隔の外側に位置し、広義の深層防護の一環。炉規法に基づく安全規制とは独立に準備されている行政的措置」(安全審査指針の体系化について：平成15年、安全基準専門部会)
- 事業者の責務は、事業者防災業務計画のなかで、住民防護の措置への関与をより明確にすべき(EALの設定、地域防災計画策定等)。
- 地方自治体は、住民防護の最前線(警察、消防)として、他の災害対応と統合した準備をすべき。
- 国は、規制機関等による専門的支援および災害対応の専門機関による支援。

6. 環境修復に関する分析と課題

井上 正 (電力中央研究所)

環境修復とは

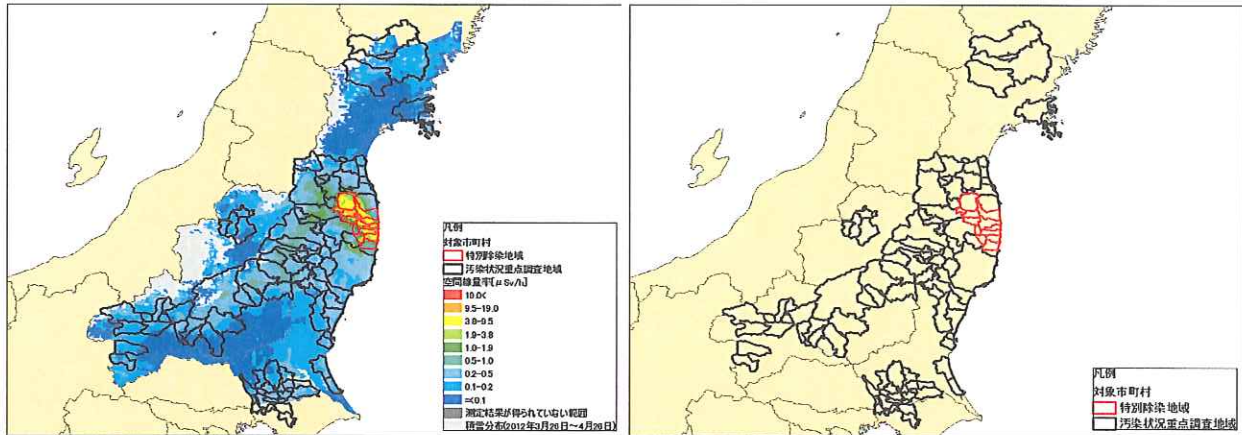
1. 放射線モニタリング、除染、汚染廃棄物・土壌の管理



2. 地域振興



放射線モニタリングと 除染対象区域の設定



文部科学省；①第5次航空機モニタリングの測定結果、及び②福島第一原子力発電所から80km圏外の航空機モニタリングの測定結果について（地表面から1m高さの空間線量率（平成24年6月28日時点））を基に作成

特別除染地域及び汚染状況重点調査地域

2

除染の現状

- **環境回復：**
 - 森林の面積（福島県）が約70%であり、森林からの線量の影響が大きい
 - 生活環境の汚染を1桁低下させたとしても、地域全体の空間線量の同程度の低減は期待できない
 - 生活環境に近接する森林/里山などは、人間の生活環境とのバランスを考慮した上で、森林の対策を考えることが必要である
- **汚染除去：**
 - 短期間で目標に到達する事は困難である
 - 表面汚染の高い部分を除去する事により、人間活動に伴う被ばくを低減し、安全な生活環境の復活を目指す
- **環境の汚染除去の効果的、安全な実施：**
 - 既存の技術だけでなく更なる技術開発が必要である。
 - 民間・大学・研究機関等の土壌・環境など専門家集団の一層の英知の結集が望まれる
- **汚染された廃棄物の最終処分等の検討：**
 - 正しい情報、新たな情報を収集し、それを踏まえ分かりやすく情報を発信することが必要である

3

課題/提言（除染/環境修復）

■ 除染対象区域の設置

－旧警戒区域：主として20mSv以上の地域(11市町村に及ぶ) [国の直轄除染](#)

－汚染状況重点調査地域(福島県外も含め102市町村)：除染の現状

[市町村単位で除染](#)：市町村により進展はまちまち(各市町村に顔の見える形での専門家が必要：学会として取り組み予定)

■ 除染は一層の一元化が必要

－環境省環境再生事務所(平成24年1月)の設置(除染は面的な除染が効果的)

－より一層の一元化を(現状は対象ごとに夫々別の事業として実施、時期も夫々独立)

■ 除染のガイドラインの柔軟な運用(改定の必要性)

－汚染の効果は地域の特性に大きく依存：効果的な除染技術、住民・市町村の意思の尊重

■ 情報の一元化：除染技術の総合化と技術開発の一元化

－各省庁、県、研究機関、団体に実施された除染技術の総合化(と評価)

－上記機関で個別に実施されている実証試験、新技術開発などの一元化とガイドラインへの適切な反映方策

■ 関係者への速やかなる情報提供、情報共有

4

廃棄物保管の現状

■ 仮置場

－仮置場の設置は、市町村あるいはコミュニティごとに確保することが基本

－一部の市町村を除き、仮置場の設置が遅れている自治体あり

－除染特別地域の11市町村においても、仮置場確保済は田村市、楡葉町、川内村、川俣村、葛尾村の5市町村で、残りは地元調整中(2012年10月時点)

■ 中間貯蔵

－福島県内に複数の施設を設置する方針

－国は、福島県双葉郡内での中間貯蔵施設設置計画を立案

－2011年12月：福島県及び双葉群8町村に郡内設置の検討を要請

－2012年3月：双葉郡内の3町(双葉町、大熊町、楡葉町)の12ヶ所に分散設置する考え方を提示

－2012年8月：施設に関する調査の説明

－福島県は、2012年11月29日に施設に関する調査受け入れを表明

5

課題・提言（汚染廃棄物・土壌等の保管と除染後のセシウム挙動の把握）

■ 除染の進展

- 仮置き場設置の遅れ：住民との対話、理解が不可欠
- 除染廃棄物置き場への柔軟な対応：現場保管などの採用
(政府等行政が法制的な面(保管廃棄物の将来の処置等の方策)と、専門家等も含めて安全確保に関する科学的根拠などを誠実に説明することが基本)
- 市町村が行う除染による汚染土壌等は仮置き場までは市町村が、それから以降は国の責任（国と地方行政の一体となった連携が不可欠（住民の信頼の点からも））

■ 汚染廃棄物に対する合理的な考えの導入

- 減容化の推進：有機廃棄物の焼却の早期導入
- 再利用の推進：そのための基準の明確化

■ 動態調査と情報の速やかなる開示

- 二次汚染の防止：山林などの/からのセシウム移行
- 貯水池への/からのセシウムの移行
- 河川での移行
- セシウム以外の放射性核種のモニタリング

6

課題・提言（放射線モニタリングと除染）

■ 除染に際しての基本

- Protection of People and Environment (IAEA Safety Guide; WS-G-3.1)
- 利害関係者の参加と情報共有：意思決定には現場の声が重要
- 経済的、技術的、放射線影響を総合的に考慮して、現実的な除染計画と実施

■ 合理的、現実的な線量目標

- 最終目標 追加線量が1mSv以下：公衆被曝線量、技術的可能性、経済性、並びに社会的受容性のバランスを取りながら、環境修復の最適プロセスを決める必要性あり

■ 合理的、現実的な濃度基準：平成24年4月1日から新基準が適用

- 国際基準、諸外国から見ても低い
- 現実的な対応、科学的理解の普及
(一部の地域・品目に対して導入されている全数検査を、全ての地域・品目に適用することは合理的、現実的な観点から見直す必要あり)

■ 緊急時及び平常時の環境放射線モニタリング、除染の在り方（原子力防災との関係）

- 原子力発電所以外の施設に対する原子力災害対策についても検討が必要
- 原子力災害対策の在り方全体を体系化したうえでモニタリングシステムの構築と除染対策が必要

7

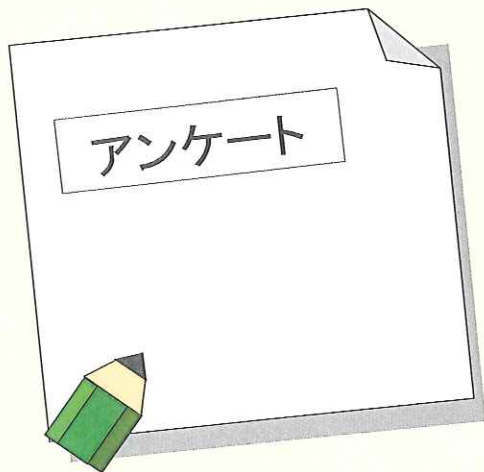
今後の除染・復興の進め方(最後に)

学術的視点を取り入れて俯瞰的に環境修復を進めることが必要

- 除染技術、廃棄物管理、線量目標、環境回復、地域復興などを踏まえて、今後の除染、復興の進め方についての検討が重要
- 除染と地域復興は一体で

7. 原子力学会の役割と責任

学会役員・部会長等へのアンケート結果



佐田 務
(日本原子力研究開発機構)

1

A. アンケートの目的

原子力学会自身がこの事故を防ぐ、あるいは事故の影響をより小さくするために行うことができたこと／行うべきであったことについての検討を行うため、学会役職者とOBを対象にアンケートを実施した。

B. 調査方法

メールあるいは郵送で1月28日～2月7日に発信。

C. 回答締切

2月28日



D.調査対象者

以下の役職者あるいは経験者

・会長1人、OB	15人
・理事18人、OB	135人
・部会長18人、OB	102人
・連絡会長4人、OB	23人
・支部長8人、OB	72人

対象者289人

* 学会がアドレスまたは住所を把握している人が対象。

* アドレス、住所ともに不明の場合、死亡が確認されている場合は対象外。

* 兼職、歴任があるため、内訳の合計数と対象者数は一致しない。

E.回答数

回答者101人

(回収率34.9%)

氏名記入者67人、匿名記入者33人

その他・・・1人



F.質問項目の概要

- (1) 福島事故の原因 回答数 94
- (2) 学会が事故前になすべきだったこと 92
- (3) それになされなかった理由 88
- (4) 学会として今後なすべきこと 91
- (5) あなたが事故前になすべきだったこと 82
- (6) それができなかった理由 82
- (7) 個人として今後なすべきこと 87
- (8) その他 70

質問のフレーム

- Q1 福島原発事故はなぜ過酷事故に至ったのか。
- Q2 私たちはなぜ、事故を防止できなかったのか。
- Q3 私たちのどこに問題があったのか。
- Q4 これから何をすべきか。



アンケート結果概要 1

Q1 福島原発事故はなぜ過酷事故に至ったのか。

直接的要因

- (1) 不十分だった津波、過酷事故、減災対策
- (2) PSAの未確立、外的事象の軽視
- (3) 国内外の知見の反映の遅れ、無視

・
・

背景要因・構造的要因

- (1) 知のマネジメントに関するもの
- (2) 学会の姿勢やタスク認識、会員の意識や規範
- (3) 外環境との相互作用

5

アンケート結果概要 2

質問のフレーム

- Q1 福島原発事故はなぜ過酷事故に至ったのか。
- Q2 私たちはなぜ、事故を防止できなかったのか。 **A1**
- Q3 私たちのどこに問題があったのか。 **A2,3**
- Q4 これから何をすべきか。 **A1,2,3**

回答のパーспекティブ

- A1 知のマネジメントに関するもの
- A2 学会の姿勢やタスク認識、会員の意識や規範
- A3 外環境との相互作用

6

アンケート結果概要 3

1 私たちはなぜ、事故を防止できなかったのか。

(A1) 知のマネジメントに関するもの

1-1 「他者に学ぶ」姿勢が希薄 → 海外知見の反映遅れ、無視

「TMIやチェルノブイル事故からの教訓をもっと真摯に学ぶべきであった。しかし、これらの事故は別世界の出来事のように扱われた」

1-2 「過去に学ぶ」姿勢が希薄

「過去に学ぶことなく、時間軸方向から通観する見識がなかった」

1-3 安全研究の縮小

「軽水炉はほとんど完成した技術であって、もはや研究対象でないかのような風潮があり、安全性研究に使われる予算はわずかだった。電力会社にも発電炉の安全性に問題があると思われては困るとのことで、安全性研究を歓迎しない雰囲気があった」



アンケート結果概要 4

1 私たちはなぜ、事故を防止できなかったのか。

1-4 不十分だった深層防護の理解と実装

「関係者すべてがIAEAの5層の深層防護の要件を軽く見ていた」

1-5 不十分だった学会内、学界内の協働・連携

「学会の専門分野が細分化され、専門分野間の意思疎通が十分でなかった」

1-6 全体を俯瞰、統括する「知」の欠如

「原子力利用や安全に関わる知見や見識、哲学を検討・統合化し、それを具現化するタスク認識や姿勢に問題があった」

「学会では原子力開発推進に視野と活動が集中し、安全に係る基本論理・考え方・あるべき姿・高度化・世界の動向についての関心は優先的ではなかった」

→なぜ、そうなったのか

慢心・過信、コミュニケーション不全・同調圧力… 次の2



アンケート結果概要 5

2 私たちのどこに問題があったのか。

(A2) 学会の姿勢やタスク認識、会員の意識や規範

2-1 慢心、技術に関する過信

「安全性に対する慢心、現状に対する自信過剰、謙虚さの欠如」

「我が国の発電所は安全である、または少なくとも切迫したリスクを抱えているとまでは考えなくて良いという思い込みがあった」

2-2 学会内のコミュニケーション不全・同調圧力

「地震や津波の規模、頻度などについては専門領域の縦割り化が進み、その分野の見解を見守る姿勢であった」

「日本の原発の実情を、電力会社に遠慮することなく直視し、日本の原発が外国のそれよりも危険であることを、勇気を持って直言すべきだった」

「リスクの少ない事象に対して異議を唱えることは、原子力反対派にみられるのではないかという疑念から、いつ起こるわからない事象への意見には勇気のいることだった」

9

アンケート結果概要 6

2 私たちのどこに問題があったのか。

2-3 学会のタスク認識、能力

「日本では、学会(特に単独学会)の影響力は、国や電力・産業界を動かすほどには大きくはない」

「日本原子力学会に専門家集団として信頼に足るだけの力量がなかった」

「安全神話に対して原子力学会は伝統的に批判的感度が鈍かった」

「研究者にあっては、個別分野の研究テーマが最大の関心事であり、事故対策につながるような議論の場自体が少なかった」

(A3) 外環境との相互作用

2-4 規制機関との関係

「学会の役割は研究成果を出すことで、その実現は学会の役割ではないという考えがあった」

「事業者が規制要求を満足することで責任は果たせていると思い込んで、自ら脆弱性の抽出と克服に力を注がなかった。規制側は形式的な瑣末な間違い探しを品質保証と錯覚して、事業者に過大な負担をかけ、疲弊させたこと。両方の要因が重なって、事業者は疲れ果て、学会は寝た子を起こすような余計なことは言わないで欲しいと言う雰囲気広まった」

10

アンケート結果概要 7

2 私たちのどこに問題があったのか。

2-5 電力会社との関係

「学会や学会員は、原発は電力会社が責任を持って運用しているとの認識があり、日本の原発の実情、特に安全性を直視することを学会の役割の外に置いていた」
「原発の安全性への言及は自己の足元を崩すというような認識があり、原子力村の一員として電力会社に遠慮があって、あえて思考の範囲外に置いた」

2-6 自治体や反対派との関係

「原発の推進派と反対派の意見、議論が平行線をたどっており、反対派が指摘する問題点や課題について科学的に議論、検討する姿勢に欠けていた」
「原子力推進と反対の二項対立から抜け出せず、相互の実効的で安全性向上につながる議論が噛み合わなかった」
「不具合を改修したいと思ったとしても国・地元自治体への説明から最終了解を得るまでに、膨大な時間と労力が要求される」



アンケート結果概要 8

3 私たちはこれから何をすべきか。

3-1 事故の収束と原因究明、教訓の最大限の反映

「事故原因について技術的な徹底的究明・解明。再発防止策の提言」

3-2 福島復興へ向けた最大限の努力

「福島の復興に向けて、学会として英知を集め、最大限協力する」

3-3 知のマネジメントに関するもの(A1)

a PSA手法の確立、外的事象の重視

「過酷事故も視野に含めた確率論的安全評価手法の確立及び評価結果の提示」

b 他者に学ぶ、他者と学び合う

「学会として国の技術基準の国際基準との調和の促進に向けたアクションを」
「福島事故を科学的・技術的に分析し原因を明らかにし、安全性向上対策を世界に対し発信する」



アンケート結果概要 9

3 私たちはこれから何をすべきか。

3-3 知のマネジメントに関するもの(A1)

c 「学」や「知」の総合化、統合化

「原子力安全だけは他の専門分野とは同列に扱うことのできない分野横断的な重要課題であるという認識の共有」

「(原子力の安全に関して)専門家は全体系を俯瞰する習性とその技術力をつけておく、それが難しければそれぞれの分野ごとに人を当て集団で有機的に機能する仕組みを構築する」

「原子力利用や安全に関わる知見や見識、哲学を検討・統合化し、それを具現化する」

d 実力の向上、発言・提言の強化

「専門家集団として、原子力の全体系を掌握した専門的技術力を持って、適宜行政や事業者など関係者に本当の専門家として進言できる仕組みと実力を備える」

13

アンケート結果概要 10

3 私たちはこれから何をすべきか。

3-4 学会の姿勢や能力、学会員の意識や規範(A2)

a 反省・内省

「すでに十分安全との思い込み。新知見の反映についての躊躇」

「軽水炉安全についての改良認識不足、規制要求を満足すれば十分との思い込み」

b 意識改革

「もっと想像力を働かせ、危機感を持つべきだった」

「私自身原子力の安全神話に加担していたことを反省する。起こりうるかもしれない事象に対してもっとシビアに考えるべきであったと反省する」

「疑問があればそれを口にするべきであった。また、原子力安全は自分にとって最も重要な事柄であり、自分で得心するだけの言動を常に行うべきであった」

「もしかしたら危険に蓋をしているのではないかという僅かな思いがあったら、直言する勇気と、発言者に対して真摯に耳を傾ける姿勢があるべきだった」

14

アンケート結果概要 11

3 私たちはこれから何をすべきか。

3-5 外環境への介入、他のアクターとの関係(A3)

a 電力会社との関係

「各事業者はそれぞれに考える対策や対応をされているものと、深く考えずに思っていた。また、ある種「干渉」という行為をする仕組みがなかったことも事実である」
「電力会社の経営判断であると認識していたことと、および電力会社がかなり強い力を持っていて意見できない雰囲気や風土であった」

b 規制について

「規制制度が外国に比べ遅れており、その制度のもとで事業者が細かい改善に懸命になり、安全性向上対策において大局観に欠けていることを懸念し改善することに学会は消極的だった」
「3.11以前、規制側と事業者とが上下関係にあり、対等に議論して安全を高めて行くという関係になっていなかった。現在も状況は事故前と全く同じである」
「規制機関の問題は組織の形態ではなく、自ら解析、判断できる能力を持つ機関と人材を確保することにある」

15

アンケート結果概要 12

3 私たちはこれから何をすべきか。

3-6 学会運営、事故後の学会対応

a 「反省がない」

「事故直後の学会対応は、極めて悪いと感じる。当時、学術会議からは様々な発信があったが、原子力学会が第一に発信すべき原子力専門家としての反省のメッセージが出なかった。信頼を失う一因でもあり、残念であった」

b 学会の事故対応チーム

「原子力学会の事故対応チームが登場したが、情報不足の中で既知の情報の解説に終始しており、学会としての意見の発信がなかったのは残念。学会の危機管理体制の構築などが必要」
「学会は基本的に同好会組織であり、学会は会員に対し、強制力を持った依頼はできない。事故対応をしている人達は学会の相手をしているような余裕はない。このような事故がおこると、学会はもっと積極的に助けという意見が何人かの会員から出されるのが常であるが、学会は本来そのような目的で作られていないので、そのような活動が必要だと考える人達は、それに適した組織を別に作った方がよい」

16

アンケート結果概要 13

3 私たちはこれから何をすべきか。

3-6 学会運営、事故後の学会対応

c 平時から客観性が高い情報発信力の強化を

「放射線の健康への影響について、客観性が高い知識の普及と、適切な防護方法を社会へ伝達してもらいたい」

d 学会運営

「安全を統括する恒久的、部会横断的な組織の設置」
「学会の改革に意欲のある人を役員に選び、組織の順送りで役員になるようなシステムを変え、アイデアと実行力のある会長の選出を」

e 本アンケートについて

「学会としての今回の反省・総括として事故調や本アンケートの集約は大切」
「今さらこんなアンケートは不要と思う」

17

まとめ

<総合化・領域横断化の取り組み>

「豊かな想像力を持った会員が抱いた危惧を議論、共有し、評価できる場の構築。その危惧を社会にぶつけることのできるシステムの構築」

「原子力安全問題に関する分野横断的検討の場を構築し継続的に機能させる」

<学会に求められるタスク>

「根源的な意味での「原子力安全」のあり方についての問いかけを深化する」

「社会に対し学会がどのような責任を持つか、それをどのように実現するかというビジョンを設定」

「学会の責務や責任などの行動規範を考え、何を指すかのビジョンを共有し、行動戦略を策定する」

「専門家集団として、原子力の全体系を掌握した専門的技術力を持って、適宜行政や事業者など関係者に本当の専門家として進言できる仕組み体制と実力を整えること」

「各界から見識、意欲、リーダーシップを備えた豊富な人材を集め、影響力のある強力な組織にし、各界で分担した役割が、原子力利用の健全な推進という軸で総合されるような場を目指す」

ここで得られた回答やその他広く学会員からの意見をふまえた上で、事故調査委員会として今後の取り組みを検討し提言等に取りまとめていく。

18

東京電力福島第一原子力発電所事故 に関する調査委員会中間報告

8. まとめ

田中 知 (東京大学)

1

「学会事故調」の目的

・原子力の専門家で構成される学術的な組織の責務として、東京電力福島第一原子力発電所事故とそれに伴う原子力災害の実態を科学的・専門的視点から分析し、その背景と根本原因を明らかにするとともに、原子力安全の確保と継続的な安全性の向上を達成するための方策及び基本となる安全の考え方を提言することを目的とする。

・同時に、学会自らの組織的・社会的な問題点とも向き合い、原子力災害を防げなかった要因を明らかにして、必要な改革を提言することも重要な目的である。

・学会事故調の提言に基づき、学会は原子力界の組織・運営の改革や原子力安全研究をはじめとするさまざまな活動に反映させるべく働きかける。

2

学会事故調報告書での事故の分析評価

学会事故調報告書の前半では、

- ・福島第一原子力発電所施設の安全設計の要点
- ・福島第一原子力発電における事故の概要
- ・福島第一原子力発電所以外の発電所で起きた事象の概要
- ・福島第一原子力発電所における事故に対して、主として発電所外でなされた事故対応

ということに関して事実確認を主に記載する予定。

それを踏まえて後半では、

- a. 事故の分析評価
- b. 事故背景となった原子力安全体制の分析
- c. 事故で明らかになった課題と教訓

などを検討、記述する予定。

3

「事故の分析評価」における論点案

- ・ 原子力安全の考え方
- ・ 深層防護の考え方

- ・ 安全設計
- ・ 材料・構造健全性
- ・ 長期運転プラントの安全性
- ・ 外的事象(自然災害)への対応
- ・ シビアアクシデント対策
- ・ マネジメント
- ・ 緊急事態への準備と対応、原子力防災
- ・ 放射能と放射線測定

- ・ 安全規制
- ・ 核セキュリティと核物質防護・保障措置
- ・ 人材・ヒューマンファクター
- ・ 次世代の軽水炉、高速炉

4

いくつかの論点の中間整理

中間報告においてはこのうちのリスク論、深層防護、外的ハザード、アキシデントマネジメント、原子力防災、除染・環境修復について検討状況を示したところ。

- ① 原子力安全について議論し、安全確保の提言を行っていく。
- ② 学会の年会を活用し、ステークホルダーの議論と広く意見交換する場とする。
- ③ 原子力安全全体を包括する評価の仕組みを提言する(リスク評価と深層防護)。
- ④ 設計基準を超える領域にはマネジメントで対応すべきと提言する。
- ⑤ 環境保全を防災、汚染・除染の面から、議論して行くこと。

5

提言に向けての項目案

- 安全確保の目的の共通理解
- 情報共有、コミュニケーション
- 深層防護の共通理解
- マネジメントの重要性
- 廃炉、復興に向けて
- 核セキュリティ対策
- レジリエンス(回復力)

- 人材育成、技術力維持
- 学会の役割

6

重要視点①:原子力施設の安全確保の目的の 共通認識

- ・原子力施設の安全確保の目的:
放射線の被害のリスクから「人と環境を護る」
- ・原子力施設から放射線、放射性物質の放出を抑制するために、プラントのリスク抑制がまず重要となる。
さらに、人と環境を護るという立場より防災対策が重要である。
それらの意味、手段について、議論を深めて共通認識を持ち、具体的対策が必要。
- ・人を護ることと環境を護ること:これら二つは別々のものでなく、相互に関連が強い。環境を護ることは人を護ることに繋がる。

7

重要視点②:

共通の目標とステークホルダー間のコミュニケーションの重要性

- ・「人と環境を護る」という原子力施設の安全確保は、事業者、規制当局、メーカー、学会等の共通の目標。
- ・各ステークホルダーの独立性を保ちつつ、情報の共有とコミュニケーションが重要。孤立を避ける。
- ・学会は様々なステークホルダーに所属する専門家が個人として参加する学術団体。コミュニケーションの場の提供、情報発信において重要な役割を有する。

8

重要視点③: 俯瞰的考察の重要性

- ・ 原子力発電所は複雑巨大人工物システム。
- ・ 安全の考え方、安全対策等においては様々なレベル、視点での俯瞰的対応が必要。
外的・内的事象対応、多層、人・ソフト・技術等。
- ・ 原子力は多分野の技術を集めた総合的なもの。隙間のない分野間の連携と俯瞰的な視点。

9

重要視点④: 学会の役割、責務

- ・ 原子力災害の実態を科学的・専門的視点から分析し、その背景と根本原因を明らかにする。
- ・ 原子力安全の確保と継続的な安全性の向上を達成するための方策及び基本となる安全の考え方等様々な提言を行う。
- ・ 情報発信、コミュニケーション。
- ・ 学会組織の改革と責務の実施。

これらの重要視点に留意しつつ、最終報告書に向けての調査、検討を進める

10

最終報告書 目次案 (簡略版)

1. はじめに
2. 福島第一原子力発電所施設の安全設計の要点
3. 福島第一原子力発電所における事故の概要
4. 福島第一原子力発電所以外の発電所で起きた事象の概要
5. 福島第一原子力発電所における事故に対し、主として発電所外でなされた事故対応
 - ・ 緊急事態への準備と対応
 - ・ 環境放射線モニタリングに関する状況
 - ・ ほか
6. 事故の分析評価
 - 6.1 放射線実測値から推定する放射性物質の放出
 - 6.2 原子力安全の考え方
 - 6.3 深層防護
 - 6.4 プラント設計とシビアアクシデント対策
 - 6.5 外的事象(自然災害)への対応
 - 6.6 マネジメント
 - 6.7 放射能と放射線測定
 - 6.8 放射線モニタリング、環境修復、除染活動
 - 6.9 解析シミュレーション
 - 6.10 安全規制
 - 6.11 緊急事態への準備と対応
 - 6.12 核セキュリティと核物質防護・保障措置
 - 6.13 人材・ヒューマンファクター
 - 6.14 国際社会との関係
 - 6.15 その他
7. 事故の背景となった原子力安全体制の分析
8. 事故で明らかとなった課題と教訓
9. 現在進行している事故後の対応

日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」
委員リスト（部会等推薦枠別）

2013-3-22

委員長	田中 知	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻（前日本原子力学会会長）
理事会	木村 晃彦	京都大学エネルギー理工学研究所
	田中 隆則	エネルギー総合工学研究所
	奈良林 直	北海道大学大学院工学研究院エネルギー環境システム部門
	山本 一彦	日本原子力発電(株)研究開発室
委員長指名委員	越塚 誠一	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻（「政府事故調」事故原因等調査チームチーム長）
	平野 雅司	原子力安全基盤機構 総括参事
「原子力安全調査専門委員会」技術分析分科会	岡本 孝司	東京大学大学院工学系研究科 原子力専攻
	山本 章夫	名古屋大学大学院工学研究科 マテリアル理工学専攻
「原子力安全調査専門委員会」放射線影響分科会 兼 保健物理・環境科学部会	横山 須美	藤田保健衛生大学医療科学部放射線学科
「原子力安全調査専門委員会」クリーンアップ分科会 兼 再処理・リサイクル部会	井上 正	電力中央研究所原子力技術研究所
	梅田 幹	(独)日本原子力研究開発機構原子力科学研究所
広報情報委員会	小川 順子	東京都市大学工学部原子力安全工学科
倫理委員会	大場 恭子	東京工業大学グローバル原子力安全・セキュリティ・エージェント教育院
標準委員会	宮野 廣	法政大学大学院デザイン工学研究科
	山口 彰	大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
	河井 忠比古	日本原子力技術協会 規格基準部
炉物理部会	中島 健	京都大学原子炉実験所
核融合工学部会	小西 哲之	京都大学大学院エネルギー理工学研究所/エネルギー科学研究科

核燃料部会	山中 伸介	大阪大学工学研究科
バックエンド部会	林道 寛	(独)日本原子力研究開発機構バックエンド推進部門
	新堀 雄一	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻 原子核システム安全工学講座 原子力地質工学分野
熱流動部会	片岡 勲	大阪大学工学研究科機械工学専攻
放射線工学部会	高橋 浩之	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻
ヒューマン・マシン・システム研究部会	五福 明夫	岡山大学大学院自然科学研究科
	佐相 邦英	電力中央研究所原子力技術研究所ヒューマンファクター研究センター
加速器・ビーム科学部会	上坂 充	東京大学大学院工学系研究科原子力専攻
社会環境部会	佐田 務	(独)日本原子力研究開発機構広報部
	諸葛 宗男	東京大学公共政策大学院
保健物理・環境科学部会	百瀬 琢磨	(独)日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部
核データ部会	千葉 敏	東京工業大学原子炉工学研究所
	須山 賢也	(独)日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門
材料部会	阿部 弘亨	東北大学金属材料研究所
原子力発電部会	松岡 恒太郎	電気事業連合会原子力部兼福島支援本部
計算科学技術部会	中島 憲宏	日本原子力研究開発機構システム計算科学センター
水化学部会	内田 俊介	(独)日本原子力研究開発機構原子炉基礎工学研究部門
	塚田 隆	(独)日本原子力研究開発機構原子力科学研究所
原子力安全部会	関村 直人	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻
	本間 俊充	(独)日本原子力研究開発機構安全研究センター
	新田 隆司	日本原子力発電(株)
新型炉部会	山野 秀将	(独)日本原子力研究開発機構次世代原子力システム研究開発部門
核不拡散等連絡会	藤巻 和範	日本原燃株式会社再処理事業部
	久野 祐輔	(独)日本原子力研究開発機構核物質管理科学技術推進部

オブザーバ（随時参加）

会長	野村 茂雄	(独)日本原子力研究開発機構
副会長	堀池 寛	大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻
	池本 一郎	電力中央研究所
	藤田 玲子	(株)東芝電力システム社電力・社会システム技術開発センター
理事・事務局長	澤田 隆	日本原子力学会

事務局

「学会事故調」担当	荒井 滋喜	日本原子力学会
-----------	-------	---------