

# 原子力の安全性向上に向けた 最新の科学的・技術的知見活用の取組みと課題

Initiatives and challenges of using the latest scientific and technical knowledges to improve nuclear safety

関西電力株式会社	長嶋 一史	Kazufumi NAGASHIMA	Member
電源開発株式会社	小林 哲朗	Tetsuro KOBAYASHI	
東京電力ホールディングス株式会社	板東 謙一	Kenichi BANDO	
東北電力株式会社	真安 正明	Masaaki SANEYASU	
関西電力株式会社	田門 健治	Kenji TAMON	

Lessons learned from the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant indicated that the latest knowledges were not fully reflected in the operation of nuclear power plants. In response, domestic nuclear operators have developed a scheme to collect a wide range of information on safety-related research and operating experience, as well as an operation to utilize this information in safety improvement assessments conducted by domestic nuclear operators. The established scheme accommodates new knowledge to address obsolescence, which is defined as 'non-physical ageing' in the International Atomic Energy Agency (IAEA) safety standards. This paper introduces the established scheme for collecting the latest findings and its operation, examples of improvements at Kansai Electric Power Company's nuclear power plants based on the latest knowledges, and future challenges considering the latest industry and regulatory developments.

**Keywords:** Nuclear Safety, Safety Assessment Report, Periodic Safety Review, Scientific and technical knowledges, Operating Experiences, External hazards, Safety Research, Obsolescence, Unknowns

## 1. 原子力の安全性向上における最新知見の活用とその重要性

原子力発電所を長期的に安全に運転していくためには、最新の科学的・技術的知見（以下、「最新知見」という。）を広く収集・確認し、原子力発電所の設計や運用へ反映する取組みを継続することが重要である。

福島第一原子力発電所事故においては、その教訓として最新知見の反映が不十分であったことが指摘[1]されている。具体的には、最新知見の評価において、現状の設計等の変更要否の判断に力点が置かれ、新技術の情報や確実でないハザード情報のフォローが不十分であった。

また、国際原子力機関（IAEA）の安全基準 SSG-48[2]では「原子力発電所の非物理的な経年劣化」として、知識の利用可能性と進歩、並びに関連する規制・規格基準の変更に対して時代遅れになっていくプロセス、すなわち知識及び規制・規格基準の変更に対する旧式化（Obsolescence）があるとしており、長期にわたる安全で安定した原子力

発電所の運転のためには、このような旧式化に対処する必要がある。

本稿では、原子力の安全性向上にとって重要な最新知見の活用について原子力事業者等の取組みを紹介し、今後の課題について提起する。

## 2. 発電用原子炉の自主的安全性向上と最新知見の収集・活用に係る体制

### 2.1 最新知見の収集・活用に係る ATENA での体制

2012年6月の原子炉等規制法改正（2013年12月施行）では、原子力事業者の自主的な安全性向上に向けた取組みを継続的に講じさせていくことを目的とした安全性向上評価制度が定められた。

原子力規制委員会の「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」には、評価の内容及び届出書記載事項が示されており、その中で、国内外の最新の科学的知見及び技術的知見として以下を含めた知見を収集、記載することを求めている。

- ① 発電用原子炉施設の安全性を確保する上で重要な設備に関する、より一層の安全性の向上を図るための安全に係る研究等
- ② 国内外の原子力施設の運転経験から得られた教訓
- ③ 確率論的リスク評価を実施するために必要なデータ
- ④ 国内外の基準等
- ⑤ 国際機関及び国内外の学会等の情報

この新たな制度に対して、産業界等では、これを積極的に活用していくため、2013年3月に、電力9社、日本原電、電源開発、日本原燃及び原子力安全推進協会が参加した「安全性向上評価WG」を設置し、より実効的な取組みとなるよう調査・検討を進めてきた。<sup>1</sup>

その一環として、最新知見に対しては、各社共通の主要な国内外の規格・基準、研究論文等の収集等を行う「最新知見の収集に係る検討作業会」、各社共通の外部ハザードに係る課題の情報共有や検討を行う「外部事象の最新知見に関わる検討会」を上記WGの傘下に設置して活動を行っている。その具体的な状況については3章で述べる。

なお、耐震・津波に係る最新知見および上述②に含まれる故障・トラブルに係る情報はATENAの他の会議体等において収集・検討が行われる。

## 2.2 原子力リスク研究センターの設置とその活動

2014年5月に、総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会の下に「原子力の自主的安全性向上に関するワーキンググループ」が設置され、国内外の最新知見の迅速な導入や、産業界大での人的・知的基盤の充実など、最新知見に係る取組みを含む提言が示された[3]。この提言に基づき、電力中央研究所に確率論的リスク評価研究開発等において産業界の中核を担う原子力リスク研究センター（NRRC）が設置された。

また、この提言では、取組み全体のロードマップの関係者間での共有を通じた最適化も提言されており、2015年5月には原子力小委員会の下に設置された「自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ」から、前述の提言の改善として、地震・津波等の外的事象、多数基立地条件、過酷な条件下での人間信頼性等に関するリスク評価手法の高度化に係る国内外の研究機関等との連携、事業者側と規制側の共同研究等を含む提言がなされ

ている[4]。提言の中では、科学的・客観的な意見集約を行うため、原子力事業者やプラントメーカーだけでなく、外部の専門家や研究機関との調整、連携を通じて安全研究をコーディネートするNRRCの役割にも期待が寄せられていた。こうした経緯を踏まえ、電力中央研究所による最新知見に係る取組みが展開されている。

## 3. 安全性向上評価に係る最新知見の収集・活用の状況

### 3.1 ATENA 安全性向上評価WG—最新知見の収集に係る検討作業会の活動

1.で述べたように、原子力事業者では従来から最新知見の収集・評価を行ってきたものの、新技術やハザードに係る情報の抽出（スクリーニング）の改善が望まれた。「最新知見の収集に係る検討作業会」では、これまで十分に収集できていなかった海外の知見も含め、各社共通に検討が必要な情報を収集・検討している。

収集する知見情報は、2.1で述べた①～⑤まで多岐に及ぶが、当作業会では、表1の情報源から約6,000件の知見情報を収集してきた。

表1 収集情報の分類と主な情報源

分類	主な情報源
①発電用原子炉施設の安全性を確保する上で重要な設備に関する、より一層の安全性の向上を図るための安全に係る研究等	[国内] 経済産業省、原子力規制庁、日本原子力研究開発機構等 [国外] OECD/NEA、ENS、EPRI、NUGENIA、EUROSAFE等
④国内外の基準等	[国内] 日本原子力学会、日本機械学会、日本電気協会等 [国外] IAEA、NRC、NEI、ASN、WENRA、EU等
⑤国際機関及び国内外の学会等の情報	[国内] 日本原子力学会、日本機械学会、日本電気協会等 [国外] IAEA、ERMSAR等

最新知見の抽出方法を図1に示す。

原子力に係る知見情報には、発電用原子炉に関係しない情報も多く含まれるため、当作業会において、以下のような情報を除外（1次スクリーニング）した上で、各社に知見情報を提供している。

- ・ 運転中の商用軽水炉以外の施設
- ・ 将来の燃料技術

<sup>1</sup> 現在、2018年7月に設立された原子力エネルギー協議会（ATENA）に移管されている。

<sup>2</sup> 原子炉設置者の場合に限る。

- ・認可及び一般情報 等

さらに、各原子力事業者は、当作業会から得た知見情報に、独自に入手した知見情報、地点特有の知見情報等を加えた上で、以下のような情報を除外（2次スクリーニング）することにより安全性の向上につながると考えられる有用な最新知見を抽出している。

- ・既往の知見の取りまとめであり、新たな手法等を提案していない
- ・既に反映済みである
- ・今後の研究動向を注視する必要がある
- ・実務に適用するには、更なる検討が必要である 等

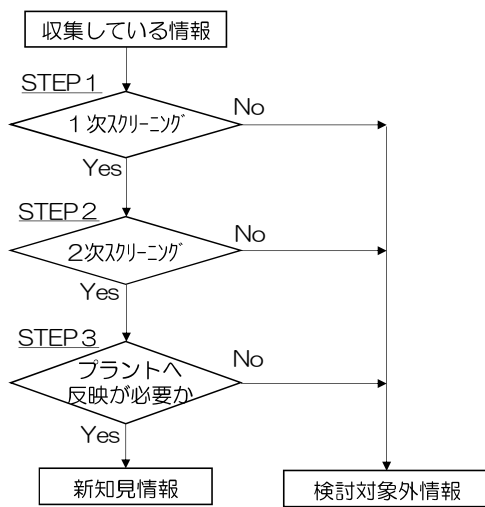


図1 最新知見の抽出方法の例

この際、原子力事業者は、以下を考慮し、最新知見を踏まえた安全性の再評価や対策を実施している。

- (1) 最新知見の抽出は、知られていなかった弱点、これまで取り入れられていなかった新技術や良好事例、現在の課題の解決へのヒント等を発見するという観点で行う。
- (2) 原子力発電所を長期的により安全に運転していくためには、最新知見を踏まえて自社原子力発電所の設計等の妥当性を確認するだけでなく、長期的な視点、先見的な姿勢で対策を検討する。

### 3.2 ATENA 安全性向上評価WG—外部事象の最新知見に関わる検討会の活動状況

「外部事象の最新知見に関わる検討会」では、国内外の外部ハザードに関する最新知見を継続的に収集・分析するとともに、外部ハザードの影響評価手法の改良を目的に種々の検討を行っている。

具体的には、各原子力事業者の設置（変更）許可申請において取り扱っている外部ハザードに加え、新たに考慮すべきものはないかという観点で、気象庁や国立天文台等の国内文献、IAEA や西欧原子力規制者会議（WENRA）、米国電力研究所（EPRI）等の国外文献、その他知見を収集・分析し、標準的に参照できる外部ハザードのリストを作成・更新している。リストには、2023年3月時点で自然現象、人為事象合わせて100以上の事象が含まれている。加えて、国外情報を参考にした知見収集範囲の拡充要否の検討、太陽フレアや生物学的事象といったハザード曲線の作成が困難な事象の知見収集も行い、知見の収集・分析を継続的に行っている。

また、IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル）第6次評価報告書等を踏まえた気候変動による影響の整理検討、自然現象の重畳評価における組み合わせ選定方法等の検討、国外における外部ハザードの影響評価手法に関する知見の収集と国内適用に関する検討を行い、設計基準の範囲に留まらず設計基準を超過する範囲も視野に入れ、外部ハザードの影響評価手法の改良を続けている。

これらの活動により、設計基準事象として選定している外部ハザードに限らず、幅広い範囲の外部ハザードについて継続的にモニタリングし、新知見を収集し、影響評価に繋げることができている。一方で、影響評価については国外でも取り組みが始まった段階の内容もあり、引き続き国外情報も踏まえつつ、新しい影響評価手法の開発も検討する必要がある。

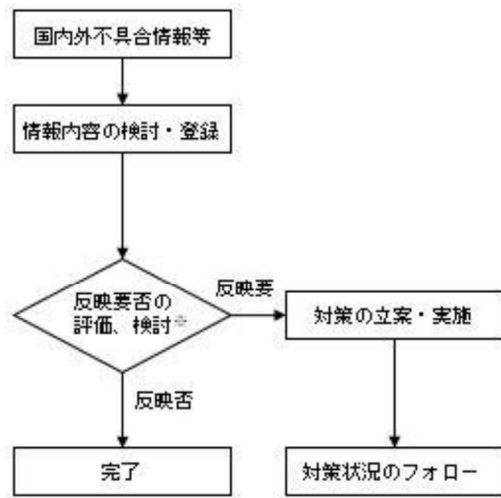
また、活動の一環として、日本原子力学会標準委員会原子力安全検討会「外的事象安全分科会」における技術レポート[5]作成において、原子力事業者としての考えを提示し、協力を行った。加えて、原子力安全推進協会における外部事象対策のセミナーに参加し、欧州事業者等との意見交換を行った。引き続き、学協会とも連携していきたい。

### 3.3 安全性向上評価届出における最新知見の活用に係る実例（関西電力の例）

関西電力では、2023年7月時点で、新規規制基準適合プラントである高浜3・4号機、大飯3・4号機、美浜3号機の安全性向上評価届出をのべ15回行っている。

関西電力の安全性向上評価届出書においては、2.1で示した①~⑤の知見に加え、⑥設備の安全性向上に係るメーカー提案を加えた情報を収集対象としている。

収集した知見の検討方法についていくつか例を述べる。3.1 及び 3.2 で述べた学会情報等の知見に対しては、各原子力事業者共通のスクリーニング基準を適用し、届出プラントへの反映要否を検討している。また、国内外の原子力施設の運転経験から得られた教訓は、図 2 に示すような仕組みで反映を行っている。本フローでは、表 2 に示す知見を収集し、発電所の安全面、設備面、運転管理面から直接関係する事例を抽出、必要な改善対策の検討を行っている。検討の結果、反映が必要な事項については、改善対策の指示を行っている。



※…同種不具合の未然防止等の観点で評価する。

図 2 国内外の原子力施設の運転経験から得られた教訓の検討フロー

表 2 収集対象となる運転経験から得られた教訓

区分	収集対象
国内外不具合情報	[国内] 当社プラント不具合情報、NUCIA 情報 等 [国外] 米国 原子力規制委員会 (NRC) 情報、米 国 原子力発電運転協会 (INPO) 情報 等
NRA 指示 事項等	被規制者向け情報通知文書 等

収集した知見に対する検討の結果、安全性向上に資する追加措置として抽出した取組みの例を 3 つ示す。

1 つ目は、「1 次冷却材ポンプシャットダウンシール (RCP-SDS) の導入」である。RCP-SDS の概要を図 3 に示す。本措置は、全交流電源喪失時における RCP シール 1 次冷却材喪失事故発生防止対策に係る知見から抽出された。なお、検討のもととなる知見は、②国内外の原子力施設の運転経験から得られた教訓及び⑥設備の安全性向上に係るメーカー提案から得られた知見である。

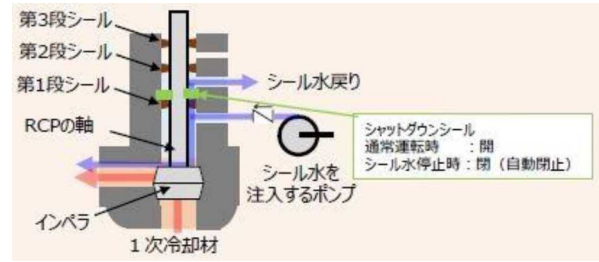


図 3 RCP-SDS 概要図

2 つ目は、「原子力発電所におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策の実施」である。本措置は、ソフトウェア共通要因故障が発生した場合の代替安全機能の設計要件や対策設備の有効性評価手法に係る ATENA の技術要件書[6] (「④国内外の基準等」に相当すると整理) の知見を踏まえて抽出した。

3 つ目は、「非常用炉心冷却装置 (ECCS) 再循環自動切替装置の導入」である。図 4 に示すとおり、本措置は、原子炉冷却材喪失事故時における ECCS 再循環切替をタンク水位信号により自動で行う機能を追加するもので、②国内外の原子力施設の運転経験から得られた教訓に基づき一般社団法人原子力安全推進協会から関西電力へなされた提言により計画されている。

関西電力では、こうした例に留まらず、様々な最新知見を評価し、リスク低減に資する措置を抽出、実行することで、原子力発電所の安全性を自主的・継続的に向上している。

なお、1 例目 (RCP-SDS) および 3 例目 (ECCS 再循環自動切替) は、既に導入されているプラントとそうでないプラントが存在する。国内事業者においては、ATENA ガイドライン[7]に基づき、技術開発や運転経験の反映あるいは合理化によるこうしたプラントの設計の差異を知見情報として決定論・確率論両面から分析、安全性向上措置を抽出する「設計経年化評価」を行う取組みも始められている。

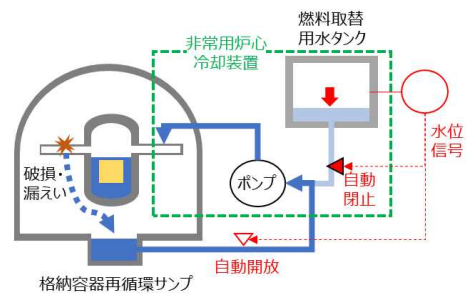


図 4 ECCS 再循環自動切替の概要図

## 4. 今後の課題

### 4.1 残余のリスクへの対応としての新知見調査

原子力安全の関係者には、安全対策を講じた後でもなお残るリスク（残余のリスク）、すなわち、存在が認識されているが不確かで十分な知見のないリスク（known-unknowns）に加え、存在さえ認識されていない何か

（unknown-unknowns）が常に存在し、それが重大な原子力事故・災害に繋がり得るとの認識に立ち、リスクを解明・共有する努力が求められている。例えば、3.2で触れたように、原子力安全に係る知見情報に関連する専門分野は広く、また、将来にわたり新たなハザードのリスクが見い出される可能性もある。こうした状況に対し既往の整理（[8]など）を参考に取組むべきことを図5のように描いた。

4象限のうち、直接取り組めるのは①産官学で(b)の不確かなリスクを究明、または②外部ハザードや新技術に関わる原子力以外の専門家と積極的に連携し、(c)の気づけていない知見を原子力事業者が認知、(a)に対し必要な対策を取ることである。こうした取組みを継続することが、間接的に(d)の領域を狭めることに繋がると考えられる。((d)のような「何か」を (b)や(c)として解明・共有する過程は、①や②の努力の中で新たな仮説が提起される、一部の専門家・組織が国外や他の業界で解明された知見を知る等、偶発・他力に依るもので、原子力の関係者による直接的な努力ではない。)

原子力事業者は、安全研究の推進（①の努力）と合わせ、2.および3.で述べた最新知見の収集・活用の体制・取組みを通じ、安全研究により解明される最新知見、国内外のプラントの運転経験や最新の規格基準、メーカーから情報等の知見を調査する②の努力を実施している。なお、②の努力には、安全裕度評価や設計の経年化評価といった分析から、認識されていなかった改善の余地を積極的に形式知化する取組みも含まれる。

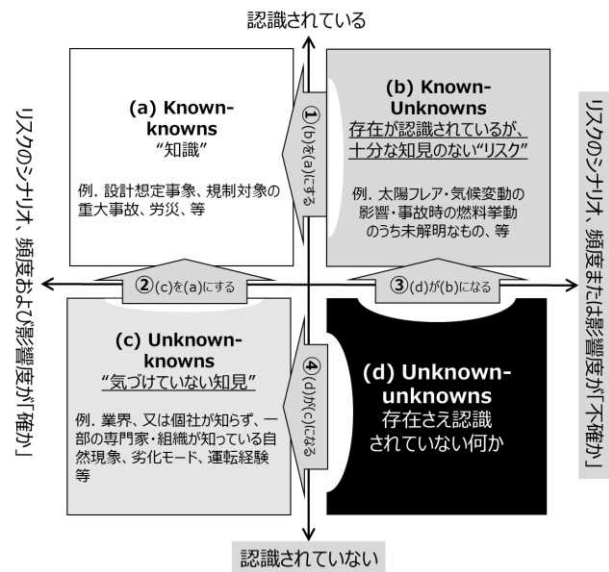


図5 Unknowns

### 4.2 専門家や社会とのコミュニケーション

本稿で述べた最新知見活用の体制・取組みについては、知見情報が適切に収集されているかどうか、その情報が適切に評価されているかどうか、評価に基づき適切な安全性向上措置が講じられているかどうかについて継続的に評価することが求められる。こうした評価や、評価で抽出された措置に対しては、IAEA 安全基準 SSG-25[9]、又は原子力学会標準[10]を参考に、定期的な自己評価を行うことに加え、安全性向上評価結果を活用したコミュニケーションを展開し、同業他社、規制機関、有識者からフィードバックを得ることも有効と考える。

社会の信頼が再び得られるよう、原子力事業者、規制機関、メーカー、研究機関、大学、学協会等で密なコミュニケーションを取り、最新知見活用の取組みに向けた関係者の努力を結集していきたい。

## 参考文献

- [1] 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、“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。
- [2] IAEA Safety Standards Specific Safety Guide SSG-48、Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants、November 2018.
- [3] 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 原子力の自主的安全性向上に関するワーキンググループ、“原子力の自主的・継続的な安全性向上に向けた提言” 平成 26 年 5 月 30 日。
- [4] 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ、“原子力の自主的安全性向上の取組の改善に向けた提言”、平成 27 年 5 月 21 日
- [5] 日本原子力学会、“AESJ-SC-TR018:2021 外的事象に対する原子力安全の基本的考え方 標準委員会技術レポート”、2021 年 12 月。
- [6] 原子力エネルギー協議会、ATENA20-ME05 (Rev.0) 原子力発電所におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策に関する技術要件書、2022.10.5.
- [7] 原子力エネルギー協議会、ATENA20-ME03 (Rev.1) 設計の経年化評価ガイドライン、2023.6.6.
- [8] 足立文緒、関村直人、“原子力分野におけるマネジメントの基礎理論”、横幹、Vol.15、№1、2021、pp.13-28.
- [9] IAEA Safety Standards Specific Safety Guide SSG-25、Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants、March 2013.
- [10] 日本原子力学会、“AESJ-SC-S006:2015 日本原子力学会標準、原子力発電所の安全性向上のための定期的な評価に関する指針”、2015 年 10 月。