

# 多様な誘因事象に対する原子力安全の確保

## (その2) 外的事象対策の原則と具体化

東京大学 糸井達哉, 日本原子力研究開発機構 中村秀夫, 中部電力 中西宣博

原子力安全部会が「福島第一原子力発電所事故に関するセミナー」の報告書に挙げた課題のうち、特に重要な課題である多様な誘因事象に対する原子力安全確保の枠組みに関する議論について、現状と課題を学界の立場からまとめる。その2である本稿では、外的事象対策の具体化について規制機関と事業者の取組みの現状を概観した上で、外的事象対策の原則となる考え方について、外的事象の網羅性、深層防護、多様性の役割、リスク情報の活用、地域の安全との関係に関して紹介する。

**KEYWORDS:** Nuclear Safety, External Events, Countermeasures, Implementation Principles

### I. はじめに

東北地方太平洋沿岸地域と複数の原子力発電所が、地震と津波という外的事象の複合的影響を受けた2011年3月11日の東日本大震災から5年が経過した。原子力安全部会では、その間、福島第一原子力発電所事故等の経験から明らかになった様々な検討課題について、議論を行ってきた。本解説シリーズでは、それらの活動のうち、その1<sup>1)</sup>において、原子力安全分野におけるリスク情報の活用の現状と課題についてまとめた。その2である本稿では、福島第一原子力発電所事故の誘因であった、外的事象への対策について、静岡大学での2015年秋の大会企画セッション、東京大学での10月30日のフォローアップセミナーにおける糸井達哉（東京大学）、更田豊志（原子力規制委員会）、涌永隆夫（中部電力）の3名の講演と、関村直人（東京大学）を加えた総合討論の内容<sup>2)</sup>を踏まえ、著者が、原子力安全部会幹事及び関係者の多くの意見を反映し、原子力発電所を含む原子力施設に対する外的事象対策を中心に、安全確保の原則となる考え方と、原則の具体化についての議論の内容を報告するものである。

Formulation of Nuclear Safety under Various Induced Events Part II: Bases and Implementation of Countermeasures against External events

: Tatsuya Itoi, Hideo Nakamura, Nobuhiro Nakanishi  
(2016年2月1日受理)

■前回のタイトル

シリーズ (その1) リスク情報の活用に係る現状と課題

表1 事故の誘因となる事象の分類

分類		例
外的事象	自然事象	地震（地震動・地盤変状等）、津波、洪水（高潮、河川氾濫等）、火山（火山灰、火砕流等）、強風・飛来物（台風、竜巻）、高温／低温、積雪など
	人為事象	事故的航空機落下／意図的航空機衝突、外的火災（航空機落下、森林 <sup>*1</sup> 、工場）、サイバーテロなど
内的事象		施設内溢水（浸水）、施設内火災、タービンミサイルなど

\*1 森林火災は自然事象の場合もある

注：慣例的には、事故の発端となるプラント（発電システム）内部で発生する「ランダム故障」を「内的事象」と呼び、表に示す施設内で起こる事象を含む誘因事象全体を「外的事象」と呼んできた。

### II. 外的事象の分類と対策の全体像

表1に、原子力発電所を含む原子力施設の安全性を考える上で必要と思われる誘因事象の分類と例を示す。実際には、例えば、事故に至るような規模の大きい地震の場合には、地震の揺れによる施設内火災の発生、その後の津波襲来、加えて、ランダム故障の顕在化など、複数の事象の荷重（作用）の効果が重畳（同時発生／事後発生）する可能性も考慮する必要がある。

こうした誘因事象のなかで、わが国の原子力施設は、欧州等の諸外国と比較して、地震などの過酷な自然環境下にあり、一般の構造物と同様、外的事象が事故の主要な誘因であることを免れない。外的事象対策では、原子力安全に関する一般論にとどまらず、立地地域の状況に

応じて、事故の誘因となる可能性がある外的事象を把握し、その外的事象の特徴に応じた対策を施す必要がある。その際、効果的な対策は地域ごとに異なる上、「特に地震に対する安全対策は、日本がリードすべきである」<sup>3)</sup>と考えられている。例えば、設計基準を超える地震動に対する経験等の知見に基づいた、より説明性の高い確率論的地震ハザード評価・リスク評価、耐震強度の向上のみならず、設備の多様性などによる設計基準を超える領域での対策の実現などを通じた、地震リスクに対する効果的な深層防護の実現が挙げられる。

原子力発電所の事故を発生させるくらいに規模の大きい外的事象は、一般には、低頻度の事象であり、過去の経験も少ないため、将来の発生可能性や発生時のシナリオの予測に不確かさが大きいことに特徴がある。

加えて、そのような外的事象が発生する際には、原子力発電所内の構築物・系統・機器（SSCs: Structures, Systems and Components）が同時に被害を受ける。つまり、外的事象という共通原因により、事故の発端となる起因事象（例：冷却材喪失事故や過渡事象）の発生、異常・故障の事故への拡大、設計基準事故における事故の制御、重大事故等への対処のための各種設備（例：非常用炉心冷却系、重大事故等対処設備）の機能喪失や機能低下といった、様々な事態が同時に発生する可能性がある。さらに、事故への対処を行う人員や組織も同時に影響を受け、発電所敷地内のみでなく、敷地外においても被害が同時に発生して、事故時の対応に影響する可能性がある。これらは、設備のランダム故障を起因事象とする事故とは異なる特徴のひとつである。

原子力施設で将来どのような事故がどのような頻度で起きうるかの予測は、本質的に不確かさを伴うものである。このような不確かさに対して原子力安全の目的を達成するための防護策全体の成功の確度を高めるために適用される概念として、深層防護がある。IAEAはINSAG-10<sup>4)</sup>により、原子力発電所のプラント状態に対応した5つのレベルの防護を定めている。即ち、レベル1：通常運転状態（NO: Normal Operation）における異常・故障の発生防止、レベル2：異常過渡状態（A00: Anticipated operational occurrence）における事故への拡大防止、レベル3：設計基準事故（DBA: Design-basis Accident）における事故の制御、レベル4：設計拡張状態（DEC: Design Extension Condition）<sup>1)</sup>における影響緩和、レベル5：オフサイトの緊急時対応である。さらにSF-1<sup>5)</sup>では、各レベルの防護の独立性が重要としている。ところ

が、上記の外的事象の特徴を考えれば、深層防護を支える設備の共通原因故障により、レベル間の完全な独立性は成立しえない。このため、後述する具体的な外的事象対策は、これらを前提にした実効性のあるものとする必要がある。

### III. 規制基準における外的事象対策

#### 1. 外的事象に対する深層防護の考え方

津波を例にとって外的事象対策を考えると、新規規制基準に示されているように「①サイトに入れない(防潮堤等)、②建屋に入れない(水密性を有する建屋)、③機器の耐水性」といったものになる。津波の影響を防ぐために配置されるこれらのSSCsは、上述したIAEAの深層防護の観点からは、いずれも深層防護レベル1での異常・故障の発生防止の役割を果たす。深層防護レベル1における、安全に係わるSSCsの防護の多重性と考えられる。

外的事象対策においても、「異常・故障の発生防止」と「異常・故障の拡大防止、事故の制御」、「重大事故への対処」等に関わるSSCsが共通原因によって同時に機能喪失する状況を可能な限り回避する必要がある。独立性(特に、深層防護のレベル間の独立性)として物理的分離と機能的隔離、多様性として機器の位置的分散、可搬型(モバイル)設備の活用、免震/制震等の導入など、設計基準を超えてどこまでのハザードを想定し、対策すべきか、DECの定義や安全目標とも関連して、包括的に考え判断すべき重要な課題である。

以上の議論に関連して、例えばフランスでは、深層防護の各レベルに対応するSSCsの堅牢性を単に見直すのではなく、設計基準を上回る外的事象に対処する方策として、“Hardened Safety Core”と呼ばれる対策が追加要求されている<sup>6)</sup>。これは、設計基準をはるかに超えるいくつかの状況を想定し、安全機能の役割に不可欠な機能を果たすSSCsや手順が有効に機能するように、プラントごとに対策することで、外的事象に対する深層防護を強化するものである<sup>7)</sup>。一方、IAEAはSSG-30<sup>8)</sup>において、シビアアクシデントを含むDEC時の影響緩和機器の安全カテゴリ(重要度)を2または3とし、安全カテゴリが1とされるDBA対応のSSCsより重要度は低いとしたままである(詳細はその1<sup>1)</sup>参照)。さらに、SSR2/1<sup>9)</sup>等により、放射性物質の大規模放出または早期放出を生じ得るDECの「事実上の除外(practical elimination)」を議論している。

#### 2. 我が国における規制基準の現状

新規規制基準の策定以前では、規制において、設計基準を超える外的事象の可能性は、地震動に対する「残余のリスク」(＝正しくは「残存リスク」)の考慮を除いては想定されておらず、上述した深層防護の考え方も十分に適用されていなかった。設計基準を超える地震動発生

<sup>1)</sup> IAEA SSR-2/1によると、DECとは、設計基準より過酷な、あるいは、多重の故障を伴う事故状態(重大事故状態を含む)を指す。プラントの更なる安全性向上を行うために、DECの評価が求められ、そのために、工学的判断、決定論的評価、確率論的評価などの手法が用いられる。

の可能性が議論されてはいたが、免震重要棟の一部発電所への導入を除き、具体的な対策(外的事象を前提とした重大事故対策のための可搬型(モバイル)設備導入等)には至っていなかった。以下では、それらの教訓に基づいて強化された地震動、津波、航空機衝突に対する新規規制基準のポイントを概括する。なお、外的事象に対する確率論的リスク評価(PRA: Probabilistic Risk Assessment)を含む規制におけるリスク情報の活用とその意義については、その1<sup>1)</sup>を参照されたい。

#### (1) 地震動

「基準地震動」の策定に際しては、将来活動する可能性のある断層等は後期更新世以降(約12~13万年前以降)の活動が否定できないものとした。そして、必要な場合には中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って活動性を評価すること、敷地の地下構造を三次元的に把握することを要求した上で、確率論的地震ハザード評価を行い、基準地震動を超える揺れが発生する確率(超過確率)を参照することを求めている。プラント側の対策としては、常設設備に対する多様性を強化するため、可搬型(モバイル)設備の活用を要求している。特定重大事故等対処施設には、設計基準における措置とは性質の異なる対策(多様性)を講じること等により、基準地震動を一定程度超える地震動に対して頑健性を高めることを要求している。

#### (2) 津波

津波への対応としては、従来は概ね既往最大を想定することが規制要求であったが、新規規制基準ではそれを上回るレベルの津波を「基準津波」として策定するように強化した上で、確率論的津波ハザード評価を行い、基準津波を超える津波が発生する確率(超過確率)を参照することを求めている。基準津波へのプラント側の対応としては、防潮堤等の津波防護施設等の設置を要求している。また、津波防護施設等は地震によって浸水防止機能等が喪失しないよう、原子炉圧力容器等と同じく、耐震設計上最も高い「Sクラス」とすることを要求している。具体的な対策として、敷地内への浸水を防止するための津波防護壁の設置と建屋内への浸水を防止するための防潮扉の設置による津波防護の多重化が例示されている。

#### (3) 航空機衝突

偶発的な航空機落下に対しては、事故時に大きな影響をもたらす可能性のある施設について、旧原子力安全・保安院が策定した「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準」を引き続き適用することとしている。一方、意図的な航空機衝突については、これも事故時に大きな影響をもたらす可能性のある施設について、可搬型(モバイル)設備、機器等による対応並びに特定重大事故等対処施設の設置を要求している。

### 3. 今後の安全規制に向けて

地震、津波、航空機衝突のいずれもが、福島第一原子

力発電所事故以前から「脅威として存在することは認識されているものの、その強度や発生頻度について比較的大きな不確実性を伴う事象」として捉えられていた。しかし、その対策強化が不十分であったため、福島第一原子力発電所事故を防ぐことができなかった。原子力規制委員会では、外的事象の予測に関わる不確実さの大きさが、願望的な考え方を招いたり、対策強化への決意を鈍らせたりすることはあってはならないと考えられている。これらの脅威への取り組みが、その不確実さの大きさの故に先送りされないよう、監視、検討を続けることが肝要とも考えられている。

今後の重要な論点として、個別の外的事象の特徴に応じた具体的な議論が挙げられる。特に、全ての設備・機器にほぼ一律に荷重が作用する地震動に対して有効な深層防護とはどのように達成しうのか(地震に対する深層防護と地震対策の関係)の議論も重要であるとされる。

## IV. 原子力発電所における外的事象に対する取組み

中部電力浜岡原子力発電所4号炉(以下浜岡4号炉)では、新規規制基準に対する適合性について原子炉設置変更許可が申請され、2016年2月現在審査中である。本章では、事業者における外的事象、特に津波に対する取り組みとして、この浜岡4号炉の例を示す。浜岡原子力発電所は、静岡県の太平洋岸に位置し、沸騰水型原子炉(BWR)を採用している。

### 1. 事故シーケンス選定

審査中の浜岡4号炉の設置変更許可申請書では、審査ガイドに基づき、重大事故等対策の有効性評価を行うにあたって想定する重要事故シーケンスを選定している。審査ガイドでは、必ず想定する7つの事故シーケンスグループが示されるほか、PRA等を活用した個別プラント評価による事故シーケンスの抽出を求めている。

浜岡4号炉では、既に導入されているものも含めて、重大事故対策に期待しないレベル1 PRA(内的事象(ランダム故障)、地震、津波)を実施し、全炉心損傷頻度を $1.2 \times 10^{-5}$ /炉年と評価している。全炉心損傷頻度に対する事故シーケンスグループ別の寄与割合は、全体の約61%を「津波浸水による全注水機能喪失」が占め、また、事象別(内的事象(ランダム故障)、地震、津波)の寄与割合でも津波が約61%と支配的になっている。このことから、浜岡4号炉では、「津波浸水による全注水機能喪失」を個別プラント評価による事故シーケンスグループとして抽出し、リスク低減の観点から対策が講じられる。

### 2. 基準津波の策定

浜岡原子力発電所では、津波発生要因に関する調査と

して、既往津波に関する調査、敷地および敷地周辺の津波堆積物調査、各種最新知見に関する調査を実施し、敷地に影響を及ぼす可能性のある津波発生要因として、プレート間地震、海洋プレート内地震、海域の活断層による地殻内地震、海底地滑りを選定し、それらの要因による津波に対して、敷地への影響を確認している。プレート間地震については、南海トラフ・南西諸島海溝の地震などについて調査した結果、敷地に近い位置で発生し、敷地に最も影響を与える津波要因である「南海トラフ地震による津波」について、震源のパラメータを含めた各種の不確かさを考慮した安全側の津波の評価を実施している。

評価した津波の中で、水位上昇側、下降側のどちらに対しても敷地への影響が最も大きいのは、「南海トラフのプレート間地震」による津波となり、基準津波高さは、沖合10km地点で東京湾平均海面 (T.P.) +6.1mと評価されている。この基準津波による敷地前面での最大上昇水位は、防波壁前面の位置でT.P. +21.1mとなる。

### 3. 津波への対策

浜岡原子力発電所では、以上のように設定したT.P. +21.1mの基準津波に対して、T.P. +22mの防波壁を総延長1.6kmにわたって設置するとともに、その両端部は、T.P. +22~24mの改良盛土を設置する。また、津波にともない、海底トンネルで海とつながっている取水槽からの海水流入を防止するため、高さ4mの取水槽の周囲に溢水防止壁を設置する。

基準津波に対しては、防波壁等によって敷地浸水を防ぐことが可能であるが、万一、基準津波を超える津波が襲来した場合も併せて検討している。

基準津波を超える津波により、敷地へ海水が流入し始めると、屋外設置機器の機能喪失、変圧器の機能喪失による外部電源喪失、原子炉機器冷却海水系の機能喪失による崩壊熱除去機能の喪失などが想定される。さらに原子炉建屋内へ浸水すると、建屋内設備が没水し、非常用炉心冷却ポンプなどが機能喪失して炉心への注水機能の喪失が想定される。

万一、そのような基準津波を超える津波が発生しても、期待する設備を確実に防護する措置をとる。具体的には、屋外の原子炉機器冷却海水系と同様の機能を持つ緊急時海水取水ポンプを新たに防水構造の建屋内へ設置する、原子炉建屋の防止扉を水密扉に取り換えるとともに強化扉を新設して二重化などの対策をとる。さらに、緊急時ガスタービン発電機や共用緊急時淡水貯槽、可搬型(モバイル) 重大事故等対処設備などを高所に設置する。これらは、PRA等を活用して「津波浸水による全注水機能喪失」を重要な事故シーケンスグループとして抽出した浜岡4号炉に対する検討結果に基づくものであり、津波発

生要因の調査から基準津波を策定して基準津波が敷地に浸水しない対策をとるだけでなく、万一、基準津波を超える津波が発生した場合でも被害想定を検討し、その対策を講じたものである。

## V. 外的事象対策の原則となる考え方

本章では、I章からIII章までの国内規制や国際的な状況、前章にて論じた事業者における外的事象対策の具体的事例を踏まえ、また、外的事象対策の基本的考え方についての先行検討<sup>10), 11)</sup>も考慮して、原子力発電所をはじめとする原子力施設の外的事象対策の原則となる考え方について整理する。

### 1. 外的事象対策の網羅性

多種多様な外的事象を対象とした安全確保においては、網羅的に分析・評価し、地点の特徴を踏まえて有意と考えられた外的事象に対して、その特徴に応じて個別に対処することが重要である。その際、発生頻度に限らず、発生時の影響の大きさや時間余裕を含めたシナリオに加えて、複数の外的事象が同時に発生し、荷重(作用)や影響が重畳する場合の制御可能性などを考えることも必要である。その上で、事故リスクの特徴及び重要度に応じた効果的なリソース投入を行うこと(グレーデッドアプローチ)が求められる。

### 2. 福島第一原子力発電所事故を受けた外的事象に対する深層防護概念の検討

#### (1) 外的事象に対する深層防護とリスク情報

外的事象に対する安全性の議論では、III章において新規規制基準の事例として述べたように、敷地への浸水という通常の状態からの逸脱の防止に関わる構築物(例:津波に対する防潮壁)の設計・建設に議論が偏ることがないように留意し、守るべき機能から遡って防護策を展開する必要がある。つまり、リスク情報も活用し、総合的に原子力発電所の事故リスクを低減する方策(図1)として、深層防護を実装・実現することが必要である。深層防護を支える設備への要求性能の考え方についても、例えば、異常・故障の拡大防止や事故の制御、重大事故対策に関わるSSCsに対して、外的事象に対する要求性能の考え方を持つことが必要となる。例えば、個別の外的事象に対して起こりうる事故を想定し、それに対して、異常・故障の発生防止より高い複数のレベルで、必要な設備を設計・実装することなどが挙げられる。

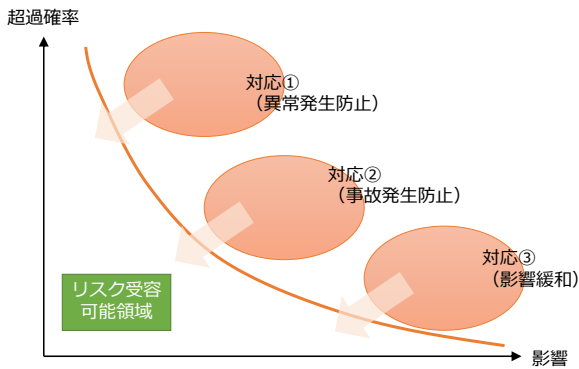


図1 深層防護に基づく多段階のリスク低減  
(文献<sup>12)</sup>に加筆・修正)

## (2) 設計・決定論的安全評価

SSCsは、適切な信頼性でその要求性能を満たさなければならない。適切な信頼性の水準は、制御可能性などの事故の特徴、機能喪失時の影響や安全対策の費用等を考慮して総合的に判断されるものである。一般に、事故時の影響が大きい原子力施設は、一般の施設よりも高い信頼度で機能維持を実現することが要求される。これは、低頻度だが規模の大きい事象を主対象とした外的事象に対する設計でも同様である。

現状では、設計基準の外的事象を確率的に設定すべきかどうかは、確率論的ハザード評価の精度に関する議論も絡み、意見が分かれる問題である。現状の規制では決定論的に「最大級」の設計基準の外的事象を定め、確率論的ハザード評価の結果を参照して、発生頻度が十分小さいことを確認するアプローチが取られている。超過頻度は $10^{-3}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$  (50年超過確率5%~0.05%)程度が目安とされ、新規基準に対応して設定されている基準地震動については $10^{-4}/\text{年} \sim 10^{-6}/\text{年}$  (50年超過確率0.5%~0.005%)程度とされることが多い。

設定された設計基準の外的事象に対して、原子力施設全体、および、各々のSSCsに、どのレベルの機能維持を、どの程度の信頼性で要求するかは、上述した要求性能に依存し、判断される。

### (3) 設計基準を超える事態への対応

設計基準を超える事態については、柔軟で実効的な重大事故対策(炉心損傷防止対策、格納容器破損防止対策)ならびに緊急時対応(オフサイトの退避・避難等)においても、同様に社会的に求められる性能を従来の設計要求とは異なる水準で設定し、それを具体化する方法論が必要である。ただし、ここでいう性能とは、SSCs(ハードウェア)に限定されるものではなく、重大事故対策を容易にするようなプラントの全体設計、人的要員やマネジメントの枠組みの構築も含まれる。その際、設計基準の外的事象の想定を引き上げ、これらの活動を支える設備の耐力を高めることのみで頼るのではなく、後述する多様性などの考え方をを用いて機能について適切な信頼度を達成

することで、深層防護を実現するための機能を効果的に向上させることが本質である。

深層防護は、前述のように、レベル間の独立性と前段否定・後段否定の適用が重要とされてきたが、例えば、「前段否定のもとに、最も厳しい規模の事故に対して防災計画を立てると、少しの予兆事象でも移動等に伴う死者が出る」<sup>3)</sup>という別のリスクが顕在化する可能性がある。よって、外的事象も含めたレベル2、3 PRA等のリスク評価の知見に基づいて施設内外の現実的な状況を想定し、実効性を確保・確認するとともに、考慮から漏れるシナリオがあることも前提にする必要がある。

### (4) 深層防護の概念の拡張

福島第一原子力発電所の周辺地域では、現存被ばくの影響の重大性に関わる議論や、地震・津波被災地域における除染など複合災害からの復旧・復興が議論されている。つまり、原子力発電所の安全概念として、上述した深層防護の考え方に留まらない、より広い安全の概念が現実にも求められている。人と環境を護るという原子力安全本来の目標にてらせば、深層防護とは、本来、復旧・復興まで含んだ幅広い概念であることが再認識されるべきであり、また、このような観点から福島第一原子力発電所事故に関する知見を体系化し、広く発信することも必要であることが、議論された。

## 3. 外的事象対策における多様性の役割

外的事象に対する深層防護においては、各レベルのアプローチの違いにより、レベル間の独立性を確保することを目指す。さらに、個別の設備設計の考え方でも、多重性や多様性等により、システム全体として、機能を確保することが重要であるとされる。典型的な共通原因である外的事象に対しては、同一の機能を有する異なる性質の系統を用意する多様性が、設計想定を超える領域(DEC)を含めてある程度有効であると考えられる。ただし、物理的分離と機能的隔離が適切になされることが前提となる。

多様性の概念の重要性は、個々の設備の機能のみでなく、プラント全体としての機能にも着目することで、初めて認識される。多様性による安全確保を実現するためには、可搬型(モバイル)設備の導入や、地震動に対して耐震構造物とは異なる振動特性を有する、免震・制震の導入、設置環境の多様化など、外的事象の特徴に応じた様々な方策を検討する必要がある。更に、対策を検討する外的事象が異なれば、多様性の考え方も異なる。このとき、多様性がどの程度有効に機能するかはPRA等により評価される。今後、特に重大事故対策のためのSSCsの重要度(安全重要度、保全重要度、耐震重要度など)など外的事象に対する設計の枠組みを構築する際などにおいて、多様性の考え方を導入する方法論を検討する必要があると考えられる。

## 4. リスク評価とリスク情報の活用

リスク情報活用の枠組みについては、本解説シリーズその1<sup>1)</sup>において整理した通りである。外的事象という共通原因による複数のSSCsの同時機能喪失、および、例えば、地震動と津波、火災、施設内浸水（溢水）等の複数の誘因事象による荷重（作用）の効果の重畳について、その発生可能性やシナリオ、影響を評価することで、安全性向上に関する合理的な意思決定に資することが期待される。さらに、外的事象による広域災害と原子力災害との事故影響の複合の影響をリスク評価で検討することが必要という意見もある<sup>13)</sup>。

リスク低減策を実施する（実施しないことも含む）際には、その意思決定に説明性や透明性が求められ、その際に、リスク情報の活用が有効であるが、可能な限り質の高いリスク評価を実施することが求められる。特に発生頻度が低い事象のリスク評価については、歴史記録や経験が限られることから、そのシナリオや発生頻度、影響の評価に際して、様々な分野の専門家判断等を活用せざるを得ない。その際、自然現象等を予測対象とすることから、予測の不確かさや未知の部分が残ること、統一的な専門家判断が得られないことがあることを前提とする必要がある。

評価プロセスに説明性や透明性を確保すること、評価範囲や不確かさを明示すること、継続的に対処するための総合的な枠組みを確立すること、具体的には、明確な判断基準のもとで意思決定を行い、即座に可能な対応と、研究開発の実施も含めた長期的目標の設定も含めた将来実施すべき対応を区別し、研究開発や国内外の最新知見の取り込みの継続的実施を図り、陳腐化を防ぎ、必要に応じた不断の見直しを行うプロセスも肝要である。

## 5. 地域の安全と原子力発電所の安全性

上述のように、地震や津波に代表される外的事象では広域で被害が同時に発生するため、敷地外の緊急時対応などにおいて、多数の関係者が関与する。事業者、協力企業、規制機関など原子力発電所に直接かかわる関係者に加えて、地域住民、地方自治体、一般の自然災害を扱う国の諸機関などの取組みとそれらの統合が不可欠である。このような具体的な安全性向上に資する関係者間の協働の実現が求められている。本稿では、具体的議論に至っておらず今後議論が必要であると考えられる。

## VI. まとめ

本稿では、規制機関および事業者における外的事象対策の現状をまとめた上で、外的事象対策の原則となる考え方について、原子力安全部会における議論を整理した。

また、本解説シリーズでは、原子力安全部会における

東京電力福島第一原子力発電所事故後の取組みを紹介した上で、その中で特に重要な多様な誘因事象に対する安全確保において、重要な課題であるリスク情報活用と外的事象対策について、現状と課題をまとめた。

なお、外的事象を含めた多種多様な誘因事象に対する原子力発電所の安全性向上のための対策検討以外の課題、例えば、保全や訓練等における外的事象の考慮や、他の原子力関連施設における安全確保については、本解説シリーズでは扱っておらず、別途議論が必要である。

### — 参考資料 —

- 1) 糸井達哉，林健太郎，大和正明：多様な誘因事象に対する原子力安全の体系，その1 リスク情報の活用に係る現状と課題，日本原子力学会誌，58(4)，2016.
- 2) 日本原子力学会原子力安全部会ホームページ：<http://www.aesj.or.jp/~safety/>（参照：2015-11-17）
- 3) 更田豊志：原子力安全部会「外的事象対策の原則と具体化」フォローアップセミナー講演，2015.
- 4) IAEA: Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, 1996.
- 5) IAEA: Fundamental Safety Principles, No. SF-1, 2006.
- 6) ISRN: Post-Fukushima Complementary Safety Assessment: behavior of French nuclear facilities in the event of extreme situations and relevance of proposed improvement, Translation of ISRN REPORT N°708, 2012.
- 7) Reussard, Jacques: Enhancement of Defence-in-Depth against External Events in French Nuclear Power Plants, NEA/CNRA/R(2014)4, 2014.
- 8) IAEA: Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants, SSG-30, 2014.
- 9) IAEA: Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements, No. SSR-2/1, 2012.
- 10) 日本原子力学会：原子力発電所の設計と評価における地震安全の論理，2010年7月7日。
- 11) 日本地震工学会：原子力安全のための耐津波工学—地震・津波防御の総合技術体系を目指して—，2015.
- 12) 高田毅士：リスク論に基づく地震・津波防御の体系，原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会報告会，2015年4月15日。
- 13) 例えば、資源エネルギー庁、原子力小委員会、自主的安全性向上・技術・人材WG：原子力の自主的安全性向上の取組の改善に向けた提言，2015.5.27.

### 著者紹介

糸井達哉（いといたつや） 東京大学  
（専門分野/関心分野）地震工学，外的事象リスクの評価とマネジメント

中村秀夫（なかむらひでお） 日本原子力研究開発機構  
（専門分野/関心分野）シビアアクシデントを含む熱水力安全工学とアクシデントマネジメント

中西宣博（なかにしのぶひろ） 中部電力  
（専門分野/関心分野）安全評価