

今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針 (平成29年度以降の安全研究に向けて)

平成28年7月13日
原子力規制委員会

1. はじめに

「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」(平成28年7月6日原子力規制委員会)において、安全研究プロジェクトの企画に関し、原子力規制委員会は、次年度以降を対象に「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」(以下「実施方針」という。)を原則として毎年度策定することとしている。

平成29年度以降を対象とする今回の実施方針の策定に当たっては、原子力規制委員会が自ら実施する安全研究が3年を経過し経験が蓄積されてきたこと、平成28年度はおおよそ半数のプロジェクトが終了するなど節目の時期を迎えていること等を踏まえた見直しを行うこととし、審査、検査等の原子力規制活動への実質的な活用が予定されるものへの重点化及び成果目標の明確化を徹底する。

2. 今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針

「原子力規制委員会第1期中期目標」(平成27年2月12日原子力規制委員会)において、安全研究に関して「東京電力福島第一原子力発電所の廃炉工程における規制課題、重大事故に至る共通原因故障を引き起こす自然現象への対策及び重大事故等対策に係る科学的・技術的知見の拡充並びにこれらを支える技術基盤の整備に重点を置く」としていることや、東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故(以下「1F事故」という。)から得られた教訓、国際原子力機関(IAEA)の総合規制評価サービス(IRRS)における指摘、審査、検査等の原子力規制活動の経験、海外規制機関の動向等を踏まえ、今後推進すべき安全研究の分野を選定し、それぞれの分野における平成29年度以降の安全研究の実施方針を、以下の4つのカテゴリーに分けて整理した。

- 横断的原子力安全
- 原子炉施設
- 核燃料サイクル・廃棄物
- 原子力災害対策・放射線規制等

(1) 横断的原子力安全

施設に共通して横断的に実施する安全研究の分野を「横断的原子力安全」として整理した。

① 外部事象

外部事象のうち我が国において原子力安全への影響が大きい地震・津波等はそれらの規模、発生頻度等の不確実さが大きく、また、1F 事故の教訓から稀頻度ではあるが影響の大きい事象が発生する可能性が否定できないことが認識された。このため、地震・津波等の規模や発生頻度に係る研究について過去の安全研究で得られた知見等の蓄積を基に継続的・発展的に実施し、これから重要性が増していくリスク評価を考慮した研究に取り組む。

なお、これらの安全研究の実施に際しては、熊本地震を始めとする国内外の最新の自然事象に関する経験や他機関の研究を注視するとともに、大学等の他機関との情報交換の重要性に留意する。

<ハザード関連>

規制ニーズとして地震・津波等の規模、発生頻度及び原子力施設への影響度合い（ハザード）について、不確実さを適切に踏まえて評価されていることを確認することが求められており、震源断層・津波波源及び原子力施設に作用する地震動・津波の大きさ等を評価するためのモデルの精度向上並びにそれらの不確実さに関する知見を整備する。また、断層の活動年代の評価手法を整備する。さらに、火山に関する基盤的な研究を実施する。

確率論的リスク評価の構成要素である確率論的地震ハザード及び確率論的津波ハザードの評価手法の信頼性向上を目的として、それぞれ、断層モデルに基づくハザード評価、津波波源や地震活動のモデル化の精緻化を行う。

<フラジリティ関連>

確率論的リスク評価における地震・津波に対する機器等の応答及び耐力に基づく損傷の度合い（フラジリティ）に係る評価の精度向上に係る研究を実施する。

新規規制基準に係る適合性審査に関する規制ニーズとして、地震・津波以外の外部事象等に対する建屋・機器等の構造健全性評価手法の整備に係る研究を実施する。

【安全研究プロジェクト】

- ・地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究（新規）
- ・津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究（新規）
- ・地震の活動履歴評価手法に関する研究（新規）
- ・断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究（H25-H30）
- ・火山影響評価に係る科学的知見の整備（H25-H30）
- ・地震・津波及びその他の外部事象等に係る施設・設備のフラジリティ関係研究（新規）

② 火災防護

火災は共通原因故障を引き起こす起因事象の中でも重要な事象の一つであることから、様々な火災事象について更なるリスクの低減を図るための研究を継続的に行うことが重要である。

これまで、東日本大震災時の東北電力女川原子力発電所で発生したアーク火災に着目し、高エネルギーアーク損傷（HEAF）試験を実施し対策の検討に向けたデータを取得するとともに

に、ケーブル等の可燃物について火災データ取得と解析コードを整備してきた。

今後は、それら成果のリスク評価手法への活用を目指すとともに、HEAF に関しては爆発現象等に着目した試験データの取得を行う。また、核燃料サイクル施設に関し、関係機関と協力して有機溶媒、ポリカーボネート等に関する試験データの取得を行うとともに、火災解析手法の整備を行う。

【安全研究プロジェクト】

- ・火災防護に係る影響評価に関する研究（新規）

③ 人的・組織的要因

原子力安全の向上は、ハード対策だけではなく、運転員操作等の人間のふるまいに関する対策を採ることが重要である。また、IRRS において、設計段階における人的・組織的要因を体系的に考慮することが重要であるとの指摘を受けている。

これまで、安全文化醸成活動の浸透状況や根本原因分析に関する調査研究を実施し、保安検査等における着眼点をガイドにまとめてきた。

今後は、IRRS の指摘を踏まえ、引き続き、審査・評価ガイド等への人的・組織的要因の体系的な反映に向けて、原子炉制御室に関する規制要求を具体化するとともに、根本原因分析の状況を検査において確認する際に活用できるガイド等を策定し、継続的に改善するための調査研究を実施する。

【安全研究プロジェクト】

- ・人間・組織に係るソフト面の安全規制への最新知見の反映（H26-H30）

(2) 原子炉施設

① リスク評価

リスク評価に関する研究は、安全確保の重要な技術基盤であり、また今後の原子力規制の中心となる手法を提供することが期待される。特に、今後の実施が予定されている安全性向上評価における確率論的リスク評価の確認及び検査制度におけるリスク情報の活用などが中心課題となる。

これまで内部事象・地震・津波を中心に確率論的リスク評価手法の整備を進めるとともに、確率論的リスク評価から得られる情報に基づいた性能指標 (PI)、重要度決定プロセス (SDP) 等の活用を検討してきた。また、IRRS において、リスク情報を検査へ活用すべき旨の指摘があった。

今後は、効率的かつ合理的な検査等の実際の規制活動への導入に向け、PI 及び SDP を実用化するための研究を実施する。また、内部事象等に続く次のフェーズとして、火災・溢水に関する確率論的リスク評価手法等の精緻化に関する研究を実施する。

なお、レベル 1PRA は特に基本的な分野であることから、できるだけ多くの職員が携わることに留意して研究プロジェクトを運営する。

【安全研究プロジェクト】

- ・規制へのPRAの活用のための手法開発及び適用に関する研究（新規）

② シビアアクシデント

1F事故の教訓を踏まえ、重大事故時の重要物理化学現象を支配する要因及び不確かさの程度を把握するため、現象の解明とそれら現象を考慮した解析コードの整備を進めてきた。

今後は、重大事故時の現象のうち、不確かさが大きく重大事故時の対応に影響を及ぼす可能性のある溶融デブリ冷却性、溶融炉心-コンクリート反応（MCCI）、水素成層化、放射性物質の除去効果等に関する現象解明と解析コードの整備を進める。また、これらの現象解明及び解析コードに係る成果をソースターム評価に向けたレベル2PRAに活用する。

なお、現象解明に関する実験については関係機関と協力するとともに、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）が行う1F事故に関するベンチマーク解析（BSAF）等の国際共同プロジェクトに参加し、我が国だけでは得られない必要な情報を収集する。

【安全研究プロジェクト】

- ・軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験（H22-H31）
- ・軽水炉の重大事故時における不確かさの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発（新規）
- ・軽水炉の重大事故における格納容器破損防止に係る実機解析手法の整備（新規）
- ・重大事故の事故シーケンスグループに係る事故進展解析（新規）

③ 熱流動・核特性

運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故を対象とする解析コードを整備するとともに、整備した解析コードを用いて、適合性審査に向けて重要現象等の知見を整理するための解析を実施してきた。

規制基準等の継続的な改善のためには、個々の判断基準が持つ安全裕度の把握及び判断基準に対して事業者が講じる個々の安全対策が持つ安全裕度の把握が重要である。したがって、今後は、安全裕度をより詳細に把握するため、これまで整備してきた解析コードをベースに設計基準事故から重大事故に至るおそれのある事象まで一貫した最適評価及び不確かさ解析を可能とする熱流動・核特性解析コードを整備する。

また、原子炉の安全評価及び安全性向上評価、異常発生時対応等への技術的支援のため、適時に新知見等に対応でき、不確かさが小さく精度の良い国産安全解析コードを開発する。さらに、事故時の熱流動挙動の把握、解析コードの妥当性確認や解析モデルの開発等のために、関係機関と協力して熱流動実験を実施し、複雑現象の解析精度向上及び解析モデルの適用範囲の拡張に必要な試験データを取得する。

なお、平成29年度は、本研究分野のプロジェクトは全て継続案件として実施する。

【安全研究プロジェクト】

- ・詳細解析手法の導入に向けた熱流動・核特性安全解析手法の整備（Phase-2）（H25-H29）
- ・国産システム解析コードの開発（H24-H30）

- ・事故時等の熱流動評価に係る実験的研究 (H24-H30)
- ・使用済燃料プールの規制課題に関する安全研究 (Phase-1) (H25-H29)
- ・高速炉に対する SA 対策の評価に関する研究 (H25-H29)

④ 核燃料

燃料の燃焼度が更に高まると、水素吸収による燃料被覆管の延性低下、異常な過渡変化時の従来想定されていなかった燃料破損形態（外面割れ破損）及び設計基準事故時の燃料挙動変化等が観察されている。このため、更なる高燃焼度化の影響に関する試験データ等を取得することにより、現行基準の妥当性を確認するとともに必要に応じて規制基準等の見直しを検討する。

これまで、水素吸収した被覆管の延性及び外面割れ発生条件の定量化のための炉外試験を実施してきた。冷却材喪失事故（LOCA）時挙動については、高燃焼度燃料被覆管の炉外試験を実施するとともに、国際協力プロジェクトへ参加し、燃料挙動変化に関する技術情報を入力・評価した。また、反応度投入事故（RIA）時挙動については、改良燃料の試験を実施した。

今後は、関係機関において、試験炉等を使い、異常な過渡変化時の外面割れ発生条件の明確化、LOCA 後の燃料冷却可能形状維持、LOCA 時の燃料ペレットの微粒化、被覆管膨れ部への移動、破裂開口部からの放出等の挙動、改良燃料の RIA 時の燃料挙動に係るデータ及び知見を取得する。

なお、平成 29 年度は、本研究分野のプロジェクトは全て継続案件として実施する。

【安全研究プロジェクト】

- ・燃料破損限界に関する研究 (H19-H33)
- ・事故時燃料冷却性評価に関する研究 (H25-H30)
- ・燃料等安全高度化対策事業 (H18-H30)

⑤ 材料・構造

運転期間延長認可申請及び高経年化技術評価の審査に当たり、最大 60 年にわたって規制基準等に適合することを確認するための知見を収集する。

これまで、実験レベルで、中性子照射脆化等の金属材料、コンクリート及びケーブルの劣化予測に関する研究を実施したが、今後は国内において 40 年程度運転したプラントが廃炉となる際に生じる実材料を活用した研究に向け、計画を立案する。

また、重大事故時の原子炉格納容器の構造健全性評価手法を整備するとともに、電気・計装設備の経年劣化及び重大事故を考慮した長期健全性評価の妥当性確認に活用できるデータを取得する。

【安全研究プロジェクト】

- ・軽水炉照射材料健全性評価研究 (H18-H31)
- ・重大事故時等の原子炉格納容器の構造健全性評価に関する研究（新規）
- ・電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価に係る研究（新規）

⑥ 特定原子力施設

東京電力福島第一原子力発電所においては種々の放射能レベルの廃棄物等の適切な保管・管理が重要な課題とされており、特定原子力施設に係る実施計画の審査を的確に行うためには、廃棄物等の審査対象に応じた技術的知見の整備を行うことが重要である。

このため、中長期的な観点を含め、水処理二次廃棄物の保管容器の長期的な特性変化、建屋内滞留水内の放射性物質の汚染源推定に係る検討、がれき等に関する放射性物質測定技術や廃棄物管理及び破損燃料の保管や輸送の技術的留意事項について検討する。

試験データの取得等に当たっては、関係機関と協力する。

なお、平成 29 年度は、本研究分野のプロジェクトは全て継続案件として実施する。

【安全研究プロジェクト】

- ・福島第一原子力発電所燃料デブリの臨界評価手法の整備 (H26-H33)
- ・福島第一原子力発電所事故による放射性廃棄物等の取扱いに関する研究 (H26-H31)

(3) 核燃料サイクル・廃棄物

① 核燃料サイクル施設

今後の実施が予定される安全性向上評価において、事業者から提出されるリスク評価手法等の妥当性確認に活用できるよう、種々の事象について実施手法の例、必要なデータなどの技術的知見を段階的に整備してきている。平成 28 年度に、再処理施設及び加工施設の内部事象及び地震を対象としてリスク評価手法を整備し、「安全性向上評価に関するリスク評価実施手法の例」を作成する。

今後は、内部事象及び地震に続くフェーズとして内部火災について手法を整備する。また、リスク評価における解析手法及び関連データの適切性の確認や不確実性の低減のために、個々の事象のより詳細な解析やそれらに必要なデータを整備するための試験を関係機関と協力して実施する。

【安全研究プロジェクト】

- ・安全性向上評価に向けた加工施設及び再処理施設のリスク評価手法の高度化に関する研究 (新規)

② 放射性廃棄物

廃炉等に伴う放射性廃棄物の埋設のうち、中深度処分に係る規制については、これまでの第二種廃棄物埋設等に関する研究の成果を用いて規制基準等の検討が進められている。

今後、具体的な規制基準等を策定するに当たっては、隆起・侵食、断層活動等の地質学的事象を考慮する必要があることから、それらを把握する調査の方法、その調査による擾乱の影響について検討を行う必要がある。また、埋設された放射性物質による影響評価に関して、地下水流動評価、核種移行評価及びそれらに影響するバリアの長期特性評価について、より幅広い水質条件等に対応するための検討を行う。

また、国が科学的有望地を今年中に提示することを目指すとして検討が進められている高

レベル放射性廃棄物の地層処分については、天然バリアとしての地質環境条件への依存性が高いこと等が中深度処分と共通しており、考慮すべき時間スケール等の違いを考慮しつつ、中深度処分に関する研究成果を発展させる形で検討を行う。

なお、これらの安全研究の実施に際しては、他機関の研究を注視するとともに、大学等の他機関との情報交換の重要性に留意する。

【安全研究プロジェクト】

- ・廃棄物埋設に影響する長期自然事象の調査方法及びバリア特性長期変遷の評価方法に関する研究（新規）

③ 廃止措置・クリアランス

法令に基づく廃止措置・クリアランスの終了確認等に係る事業者の申請が技術上の基準を満足しているかについて種々の確認を行う必要がある。IRRS においても廃止措置の終了確認に関する指摘を受けている。

これらの確認では、放射能濃度の評価が適切に行われることが基本であり、放射能濃度の評価の精度に影響する対象物の性状及び測定方法に係るパラメータ等を把握する必要がある。このため、今後の申請が予定される新たな形態の廃棄体の放射能濃度の評価、クリアランスにおける新たな対象物の濃度上限値の評価及び廃止措置の終了確認における線量基準を満足していることの確認の際の判断根拠を整備する。

【安全研究プロジェクト】

- ・放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究（新規）

(4) 原子力災害対策・放射線規制等

本カテゴリーについては、これまで外部への委託等による調査等を中心に行ってきたが、先般の IRRS における本カテゴリーに関する資源配分の強化についての指摘を踏まえ、規制への最新知見の取り入れを戦略的に進めるため調査、研究活動の強化が必要である。このため、原子力災害対策において新規プロジェクトを立ち上げるとともに、放射線規制・管理において原子力規制委員会が示すテーマに基づき、研究機関等からの提案を受けて放射性同位元素等の規制の改善に資する課題を具体化し、体系的・効率的に調査研究等を推進するための新規プロジェクトを立ち上げる。また、今後の研究の実施体制を整備した上で、更なる安全研究プロジェクトの立上げを検討する。

① 原子力災害対策

1F 事故を踏まえた原子力災害対策指針では、これまでの予測的手法に基づくものから実測に基づく防護措置実施の考え方に換わるとともに、重大事故を想定して具体的な防護措置の実施手順やその判断基準を事前に用意しておく新たな原子力防災の基本的な枠組みが導入されている。さらに、新規基準の施行により原子力施設における重大事故等対策が大幅に強化されている。

この新たな体制に基づき、また IAEA を含む海外の規制動向を踏まえ、航空機等による放射性物質の拡散状況の機動的なモニタリング、屋内退避による防護措置の有効性の把握や迅速で合理的な防護措置の判断及び対応を可能とする科学的・技術的知見を整備し、原子力災害対策の実効性を一層向上させていく。

これまでに原子炉施設の種類に応じて、原子力災害対策指針で要求される緊急時対応レベル (EAL) の確認項目を取りまとめてきており、平成 29 年度からは炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度、早期大規模放出頻度等のリスク情報を用いて、EAL を構成するプラントパラメータ及びその指標値の技術的根拠等を整備する。

【安全研究プロジェクト】

- ・緊急時対応レベル (EAL) に係るリスク情報活用の研究 (新規)

②放射線規制・管理

IRRS において、放射性同位元素等に係る規制の再構築、一層の資源配分を行う必要性が指摘された。我が国における放射性同位元素等の規制を最新・最善のものにするためには、年度ごとに原子力規制委員会が示すテーマに基づいて、研究機関等からの提案を踏まえつつ、放射線影響研究等の規制の基盤となる研究 (例：水晶体の線量評価)、同規制の整備・運用の根拠となる知見の創出に向けた調査研究 (例：クリアランス審査基準の策定)、国際的な最新知見の取り入れに係る調査研究等を体系的・効率的に推進し、同規制の改善に資する知見を継続的に創出することが重要である。また、規制活動を支える関係研究機関によるネットワークの構築を推進することも重要である。こうした取組を通じて、例えば、事業者が敷地内における緊急時の防護措置についての的確に判断するために必要となる科学的・技術的知見、放射性同位元素等の利用に係る合理的な規制基準等の検討に必要な科学的・技術的知見、放射線障害の防止に資する放射線業務従事者向けの効果的な教育・訓練の手法を整備する。

【安全研究プロジェクト】

- ・放射性同位元素等の規制の改善に資する調査研究 (新規)

③保障措置・核物質防護

保障措置については、IAEA に認定されたネットワークラボの一員として国際的な取組に貢献するため、環境サンプル試料の分析技術の維持・高度化を図る必要がある。なお、保障措置に係る技術開発は、我が国の原子力平和利用を国際社会に示す観点から、国際的要請等を勘案して進めているものであり、中立性や独立性への配慮、研究資源の投入についての優先付け、成果の評価方法等について、原子力安全規制に係る安全研究とは異なる扱いが必要となる。

核物質防護については、最新の IAEA 勧告の内容を国内規制に取り入れ、おおむね国際的水準に遜色のない枠組みが確立されているところ、引き続き防護措置水準の維持・向上と国内規制の一層の高度化を図るため、IAEA や諸外国における核物質防護に対する取組の動向の情報収集等を継続していくことが必要である。

3. 平成 29 年度の安全研究プロジェクト

2. に示す実施方針に基づき、平成 29 年度に実施すべき安全研究プロジェクトの概要を別添のとおり整理した。その結果、平成 28 年度は 35 件の安全研究プロジェクト（うち平成 28 年度終了プロジェクトは 20 件）を実施中であるところ、平成 29 年度の安全研究プロジェクトは 31 件（うち新規プロジェクトは 16 件）となる。

なお、平成 29 年度に実施する個々の安全研究プロジェクトは、今後、原子力規制庁が研究テーマの設定及び研究実施内容の策定を行う過程において、本実施方針に基づき具体的に企画するものであるが、その際、情勢の変化等を踏まえ、当該概要から必要に応じて適宜変わる可能性があるものである。

(1) 横断的原子力安全

①外部事象

(注) 太枠は新規の安全研究プロジェクト

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
1	地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究	新規 3年間	<p>基準地震動の策定においては、地震の規模やその不確かさを適切に評価するために震源特性に係る知見を継続的に蓄積していく必要がある。そのため、熊本地震を含め近年活発化している国内の内陸地殻内地震を対象に、断層モデルで用いられる震源断層パラメータの精緻化を図るとともに不確かさについて評価を行う。また、地震動特性に関するデータが少ないプレート間地震等についても国内外のデータを合わせ震源断層パラメータの精緻化及び不確かさについて検討する。</p> <p>さらに、今後実施される安全性向上評価等の規制活動における活用の観点からは、確率論的地震リスク評価（以下「地震 PRA」という。）の構成要素である確率論的地震ハザード評価手法の信頼性向上を図っていく必要がある。震源が敷地に近い場合、地震動の影響をより精緻に評価するために従来の距離減衰式に基づく地震ハザード曲線ではなく、断層モデルに基づく地震ハザード曲線を用いることが適切であるが、その具体的な作成方法及び手順に関する課題が残されている。そのため、震源断層パラメータ及びその不確かさの取扱い方法を検討し、断層モデルによる確率論的地震ハザード評価手法を整備する。これらの研究成果を論文として公表し、地震ハザード評価ガイドの作成等に活用する。</p>
2	津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究	新規 4年間	<p>今後実施される安全性向上評価等の規制活動における活用の中で津波リスク評価（以下「津波 PRA」という。）手法の活用が期待される。津波 PRA 手法の構成要素となる確率論的津波ハザード評価手法については、関連する不確かさを適切に評価し、信頼性向上を図っていく必要がある。平成 28 年度までに、プレート間地震津波の波源モデルについては、平成 23 年東北地方太平洋沖地震津波の知見を踏まえた設定方法を構築し、確率論的津波ハザード評価手法に適用することにより、従来モデルと比較して評価結果に及ぼす影響を評価した。一方、津波波源モデルの設定方法については、津波を発生させる地震規模の不確かさや地震以外の発生要因の特性も考慮し、確率論的津波ハザード評価手法に反映していく必要がある。</p> <p>そのため、確率論的津波ハザード評価手法の信頼性向上を図るため、地震起因の津波については津波波源や地震活動のモデル化に係る不確かさの影響評価を実施し、地震以外の発生要因については海底地すべりを対象とする確率論的津波ハザード評価手法の整備を行う。これらの研究成果を学術論文として公表し、津波ハザード評価ガイドの作成等に活用する。</p>

3	地震の活動履歴評価手法に関する研究	新規 3年間	<p>今後実施される安全性向上評価等の規制活動における活用における地震 PRA の構成要素として、確率論的地震ハザード評価手法の信頼性向上を図っていく必要がある。確率論的地震ハザード評価において、地震の活動履歴（活動間隔、最新活動時期）の情報が評価結果に大きく影響する。海域における内陸地殻内地震は、トレンチ調査の実施が困難であることから統計的に推定された活動間隔が用いられることが多く、評価結果に与える不確かさの幅が大きくなることが課題である。また、陸域で地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の活動履歴については、地層中の火山灰を用いて推定する方法があるが、火山灰の年代誤差が活動間隔の評価結果に大きく影響することが課題である。</p> <p>そのため、海域における活断層を対象に、海底の微化石分析等に基づく活断層の活動履歴の評価に関する手順、方法を検討する。また、地表に明瞭な痕跡を残さない活断層に対しては、平成 28 年度までに構築した火山灰層序に基づく年代評価指標を活用し、評価対象地域の地層中の地域的火山灰との対比による活断層の活動履歴評価手法を検討する。得られた成果を論文として公表し、断層の活動履歴評価ガイドの作成等に活用する。</p>
4	断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究	H25-H30	<p>断層の活動年代は通常、断層の上部に堆積した地層の年代に基づき評価するが、地域によってはそのような地層が欠如している等の理由により、通常の手法の適用が難しい場合がある。このように断層の活動性評価が困難な場合には、断層を含む地質構造全体の把握、断層破碎物質の性状の把握及び断層の活動性の評価といった総合的な評価手法の構築が必要である。</p> <p>そのため、平成 27 年度までに、地質構造の異なる地域の地震探査、電磁探査等を行い、断層を含む地質構造を把握するための効果的な調査手法の組合せ及び解析プロセスを構築した。平成 28 年度より深部ボーリング調査を開始しており、断層から採取した断層破碎物質について、地中の自然放射線の照射量に基づく年代分析や微細構造等の特徴に基づく活動時期の評価を行い、断層破碎物質を用いた断層の活動性評価方法及び手順を論文として公表し、断層の活動性評価ガイドの作成等に活用する。</p>
5	火山影響評価に係る科学的知見の整備	H25-H30	<p>平成 25 年 7 月に策定された原子力発電所の火山影響評価ガイドは、平成 24 年度時点における最新知見を基に作成されている。火山活動評価には噴火のメカニズムや前駆活動を把握するための調査例が少なく不確かさを伴うため、国内外の火山研究の最新動向や最新知見を収集するなどにより、不確かさを低減していく必要がある。</p> <p>このため、過去の火山活動の詳細履歴や、噴火開始から終息までの噴火進展プロセス、噴火直前のマグマ溜まりの位置（深さ）等に関する知見を整備し火山活動モニタリングの評価手法を策定する。平成 27 年度までに、国内の主要な火山に関する履歴情報の整備、噴出物の岩石学検討によるマグマ溜まりの温度及び圧力条件を推定する手法の有効性確認などの成果を挙げた。平成 28 以降は引き続き火山活動に係る調査を行い、噴火の準備段階を評価するための指標や調査・観測すべき地下の深さ、マグマ活動と地殻変動量の関係について精度の向上を図る。研究成果は論文として公表するとともに火山影響評価ガイドに反映する。</p>

6	地震・津波及びその他の外部事象等に係る施設・設備のフラジリティ関係研究	新規 4年間	<p>今後実施される安全性向上評価等の規制活動における活用に向けて、地震・津波に係る下記①及び②の安全研究を実施する。また、新規制基準を踏まえたその他の外部事象等に係る妥当性判断に資する新たな知見の収集・整備のため、下記③の安全研究を実施する。各プロジェクトから得られた評価結果に基づく成果を論文として公表し、評価ガイド等の作成等に活用する。</p> <p>①津波に対する施設・設備のフラジリティ関係研究（3年間） 平成28年度まで、防潮堤の耐津波設計手法の整備を行い、持続波に対する既往の設計手法の適用範囲及び段波が防潮堤の構造健全性に与える影響について研究を行った。平成29年度以降は、設計を超える津波を対象とし、津波PRAにおける施設・設備のフラジリティ評価の精度向上を目的に、防潮堤を越流する津波に対する防潮堤の応答及び耐力の評価を行う。</p> <p>②地震に対する施設・設備のフラジリティ関係研究（3年間） 平成28年度までに、地震に対する施設・設備のフラジリティ評価手法の整備は終了した。平成29年度以降は、地震PRAにおける施設・設備のフラジリティ評価の精度向上を目的に、設計を超える地震に対する建屋・機器等の三次元挙動に係る分析・評価を行うとともに、これまで実施してきた機器の限界加振試験データを基に機器の現実的な耐力の分析・評価を行う。</p> <p>③その他の外部事象等に対する施設・設備のフラジリティ関係研究（4年間） 飛翔体の衝突・衝撃時の構造物の健全性評価手法の整備を目的とし、平成28年度まで平板等の比較的単純な構造物を対象に、局部損傷に係る試験を実施して既往評価手法の適用性を検討した。平成29年度以降は、建屋・構築物・機器等の複雑構造物を対象に、飛翔体等衝突時における建屋・構築物の衝撃伝播特性等に係る試験データ等の知見を拡充するとともに、機器等の応答・耐力への影響を評価する。</p> <p>また、輸送容器を対象に、スラップダウン落下時の衝撃挙動に関する試験データ等の知見を拡充し、構造健全性への影響を評価する。</p>
---	-------------------------------------	-----------	--

②火災防護

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
7	火災防護に係る影響評価に関する研究	新規 4年間	<p>火災は共通原因故障を引き起こす起因事象の中でも特にリスクが大きい事象の一つであることから、様々な火災事象について更なるリスクの低減を図るための研究を継続的に行うことが重要である。そのため、原子力施設における対象可燃物（有機溶媒、ポリカーボネート等）の火災試験データの取得、高エネルギーアークによる爆発的影響等の火災試験結果のモデリングによる定量的な火災影響評価手法・解析コードの整備、火災時のばい煙の影響に関する調査等を行い、火災防護に関する規制基準類の見直しに資するとともに、火災PRAへの活用を図る。</p>

③人的・組織的要因

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
8	人間・組織に係るソフト面の安全規制への最新知見の反映	H26-H30	事業者の安全文化醸成活動、発電所員による人的過誤の低減に係る活動を監視・評価することを目的とした人的・組織的要因を考慮したソフト面の規制の充実を図る。具体的には、IRRS 指摘事項対応として、平成 28 年度までに実施する実用発電用原子炉の原子炉制御室の設計に係るヒューマン・ファクター・エンジニアリング (HFE) を考慮した規制要求事項の検討結果に基づき、引き続き、平成 29 年度以降は同要求事項に対する原子炉制御室の HFE 審査ガイドの作成や、HFE を評価するために必要となる人間信頼性解析手法の整備及び同手法のアクシデントマネジメント対策の評価等への活用方法の検討を実施する。

(2) 原子炉施設

①リスク評価

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
9	規制への PRA の活用のための手法開発及び適用に関する研究	新規 5 年間	安全性向上評価で事業者から提出される確率論的リスク評価 (PRA) のうち、レベル 1PRA の手法等の確認に活用できるよう、最新知見を取り入れたレベル 1PRA に関する手法開発や適用に関する研究を行う。これまでに、重大事故等対処設備を考慮した代表的な PWR、BWR プラントのレベル 1PRA モデルの整備を進めてきたが、平成 29 年度からは火災及び溢水の PRA モデルを整備する。また、新たな PRA 技術として地震随件事象、ダイナミック PRA 等の手法開発を行う。さらに、PRA から得られる炉心損傷頻度等のリスク情報を検査制度に活用するための研究を進める。これまでに、性能指標 (PI)、重要度決定プロセス (SDP) 等でのリスク指標の活用方法を検討してきたが、平成 29 年度からはこれらの指標を検査に導入できるよう、当該リスク指標の評価ツール等を実用に向けて整備する。

②シビアアクシデント

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
10	軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験	H22-H31	重大事故時等対策の有効性評価等における物理化学現象の不確かさを低減するとともに、関連する解析コードの検証及び改善に活用するために、国内外の施設を用いた実験を行う。これまでに、海水注入に伴う析出物の生成挙動に係る試験等を終了した。平成 29 年度からは、熔融デブリ流出挙動・着床後のキャビティ上での広がり挙動、高温・高圧条件下における格納容器の冷却効果、空気中の放射性物質の除去効果等に係る実験を行い、軽水炉の重大事故に係る解析コードの検証等に活用する。

11	軽水炉の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発	新規 6年間	発電用軽水型原子炉施設の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象を定量化するために、重大事故に係る解析コードを開発する。これまでに、デブリベッド形成及び冷却性等に係る解析コードの開発を進めてきたが、平成 29 年度からは、熔融燃料-冷却材相互作用、熔融炉心-コンクリート相互作用、デブリ内流動に伴う冷却性、燃料デブリからの放射性物質放出等の解析コードを整備する。解析コードの開発に当たっては、軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験等で取得した最新の試験結果を活用し、解析における不確実さの低減を図る。
12	軽水炉の重大事故における格納容器破損防止に係る実機解析手法の整備	新規 6年間	安全性向上評価等の規制活動における活用に向けて、レベル 2PRA モデルを整備する。これまでに整備したレベル 2PRA モデルに重大事故等対処設備を追加し、更に複数の物理化学現象の挙動を実機スケールで評価できる解析モデルを構築することによって、格納容器イベントツリーの分岐確率の解析手法及び放射性物質の放出頻度の解析手法等を整備し、レベル 2PRA 評価に必要な実機解析モデルを整備する。この際、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）が行う福島第一原子力発電所事故に関する実機評価を対象にしたベンチマーク解析（BSAF）等の国際共同プロジェクトに参加し、レベル 2PRA モデルの整備に必要な情報を収集する。
13	重大事故の事故シーケンスグループに係る事故進展解析	新規 3年間	重大事故等対策の有効性評価における事故シーケンスグループの検討のために、PRA で用いられる炉心損傷前後のイベントツリーを基に、重大事故等対処設備を含めた事故緩和系の作動・不作動の組合せに沿って各種事故シーケンスの事故進展解析を行う。これまでに、全交流電源喪失及び高圧・低圧注水失敗に起因する代表的な事故シーケンスの解析を実施した。平成 29 年度からは、各種事故シーケンスにおける炉心損傷、原子炉（圧力）容器の損傷、格納容器破損等の事象発生時期、水素発生量、水素量分布等の解析結果を集約して、重大事故等対処設備を含めた事故シーケンスグループに係る知見を整備する。

③熱流動・核特性

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
14	詳細解析手法の導入に向けた熱流動・核特性安全解析手法の整備（Phase-2）	H25-H29	運転時の異常な過渡変化、設計基準事故及び重大事故に至るおそれがある事象に関して、規制基準等に対する裕度の確認に資するため、米国から導入した既存のシステム解析コード及び核特性解析コードを整備し、最適評価及び不確実さ解析手法を導入する。重大事故に至るおそれがある事象に関しては、原子炉停止機能喪失事象を対象に、上記解析コードの三次元核熱水力結合機能について妥当性確認を行う。
15	国産システム解析コードの開発	H24-H30	実用発電用軽水型原子炉施設の安全評価及び安全性向上評価に係る確認並びに異常発生時の対応に関する技術的支援のため、海外の開発動向に左右されず適時に新知見等に対応でき、不確実さの小さい国産安全解析コードを開発する。具体的には、原子炉内の三次元核熱結合現象、安全機能等に係る熱流動現象等に関して設計基準事象から特に炉心損傷前までの事象進展の緩和に適用される新たな重大事故等対策の妥当性の確認に必要な技術的知見を得るためのシステム解析コードを整備する。H29 年度までに基本的な要素の動作確認を行い、平成 30 年度

			までに、現行の米国版システム解析コードと基本的に同等な機能を組み込む。その後、国産システム解析コードの完成後は、現行の米国版解析コードの代わりに本コードを活用する予定である。
16	事故時等の熱流動評価に係る実験的研究	H24-H30	熱流動実験を実施して、事故時に炉心内、原子炉注水系等で生じる重要な熱流動現象等の特性、挙動等の把握、解析手法の妥当性確認、解析モデル改良等に必要な技術的知見を取得する。具体的には、安全上重要な除熱、二相流挙動等の熱流動現象(強制対流サブクール沸騰モデル等)、炉心損傷前までの燃料伝熱特性等の把握に必要な熱流動挙動に関する実験データを取得する。
17	使用済燃料プールの規制課題に関する安全研究 (Phase-1)	H25-H29	安全性向上評価等において、使用済燃料貯蔵プール (SFP) に対してスプレイ冷却を使用した重大事故対策を事業者が提出した場合に、その定量的効果の妥当性の確認に活用するため、SFP へのスプレイ冷却実験を行い、実験データ及び知見を取得する。また、スプレイ水による燃料の冷却挙動を評価する解析コードを整備する。これらの結果については、国産システム解析コード等のシステム解析コードのモデル構築及び不確実さデータ整備にも活用する。
18	高速炉に対する SA 対策の評価に関する研究	H25-H29	試験研究炉の新規制基準への適合性審査に資する技術的知見の取得・整備を行うこと及びそのための安全解析手法・解析コードを整備する。平成 29 年度は、これまでの成果を反映した安全解析手法・解析コードを用いて、原子炉停止機能喪失による炉心損傷時の IVR (溶融燃料の原子炉容器内保持) の成立性、炉心溶融物質等が原子炉容器から流出する事象の発生の可能性とその対策の有効性を中心に、試験研究炉の新規制基準への適合性の判断に役立つ知見を取得・整備する。

④核燃料

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
19	燃料破損限界に関する研究	H19-H33	燃料の高燃焼度化に伴い被覆管への水素吸収量が増加することにより被覆管の延性が低下し、異常な過渡変化時の燃料破損挙動において従来想定されていない破損形態である外面割れ破損の可能性が示された。このため、燃料被覆管の機械的健全性に係る現行基準の更なる改善の検討に資するためのデータの取得を目的としている。 これまで、高燃焼度燃料の出力急昇試験における被覆管外面からの亀裂による燃料破損 (外面割れ破損) という破損形態について、燃料被覆管外面近傍への水素拡散析出挙動及び初期亀裂発生・進展挙動を調べ、その発生条件等を定量化した。今後は、研究炉を使った高燃焼度燃料の出力急昇試験を実施し、燃料の外面割れ破損のデータ取得及び発生条件のデータの取得及び解明を行う。
20	事故時燃料冷却性評価に関する研究	H25-H30	現行基準における冷却材喪失事故 (LOCA) 後の燃料の冷却性維持に係る判断根拠とするため、LOCA 後の地震時における燃料集合体の健全性評価に必要な被覆管の機械特性及び地震による作用荷重に関するデータ及び知見を取得する。 また、高燃焼度燃料の LOCA 時において、事故時の被覆管最高温度上昇につながる微細化した燃料ペレットの被

			覆管膨れ部への移動、冷却材流路の閉塞につながる破裂部からの微細化燃料の放出等の燃料挙動に関する実験データが国際協力プロジェクトにおいて確認されている。このため、今後も国際協力プロジェクトへの参加等を通して実験データ等を取得し、燃料冷却性維持に係る現行基準の更なる改善の検討に活用する。
21	燃料等安全高度化対策事業	H18-H30	<p>既存炉の安全性の向上を目的として導入が予定されている改良型燃料に対して、反応度投入事故及びLOCAを模擬した試験・解析等を実施することにより、燃料の事故時挙動及び破損限界等を把握し、事故時の安全評価に係る判断根拠を明確化する。</p> <p>また、海外試験炉において改良合金被覆管の照射試験を実施することにより照射成長量を取得し、燃料健全性評価における判断材料とする。</p>

⑤材料・構造

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
22	軽水炉照射材料健全性評価研究	H18-H31	原子炉材料（原子炉圧力容器、炉内構造物）の放射線による劣化事象について、中性子照射脆化及び応力腐食割れ亀裂進展速度の評価手法の保守性確認のため、実機材料の活用検討を含めて照射脆化や照射誘起型応力腐食割れの進展等に関する試験及び分析を行い、破壊に対する材料の抵抗値（破壊靱性）や亀裂進展等に関するデータを取得する。その成果は、高経年化技術評価及び運転期間延長認可制度に係る劣化状況評価の審査並びに学協会規格の技術評価に資する。
23	重大事故時等の原子炉格納容器の構造健全性評価に関する研究	新規 5年間	原子炉格納容器の限界特性を把握するため、最新知見に基づく重大事故時の原子炉格納容器の構造健全性評価手法を整備する。具体的には、重大事故時の原子炉格納容器の変形挙動を非線形有限要素法により解析し、脆弱部の破壊挙動及び閉じ込め性を予測する手法を整備する。また、溶接部等の破壊特性データを取得するとともに、脆弱部材の強度試験を実施して破壊挙動データを取得する。さらに、実機相当の原子炉格納容器の構造モデルを用いた解析を行い、重大事故時の原子炉格納容器の限界特性を把握する。これらの成果は、重大事故時の原子炉格納容器の破損防止対策の有効性評価の妥当性確認に資する。
24	電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価に係る研究	新規 3年間	<p>常設重大事故等対処設備に属する電気・計装設備について、高経年化技術評価における長期健全性評価の妥当性確認に資する、通常運転時及び重大事故時の劣化を付与した場合の絶縁性能試験データ等を取得し活用する。</p> <p>具体的には、電気・計装設備のうち原子炉格納容器電線貫通部（電気ペネトレーション）を構成する高分子材料に着目し、電気ペネトレーション試験体に対し通常運転時相当の経年劣化を加速劣化処理により付与した後、その試験体を重大事故模擬環境条件下に曝露して絶縁抵抗の変化等のデータを取得し、絶縁性能の評価を行う。</p>

⑥特定原子力施設

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
25	福島第一原子力発電所 燃料デブリの臨界評価 手法の整備	H26-H33	東京電力福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しに係る様々な局面で事業者が行う臨界管理に関して、安全性を確認するために活用できる基礎データを解析及び実験により取得する。
26	福島第一原子力発電所 事故による放射性廃棄物等の取扱いに関する研究	H26-H31	東京電力福島第一原子力発電所の廃止に向けた実施計画審査を的確に行うために活用できる科学的・技術的知見の整備を行う。 具体的には、水処理二次廃棄物（HIC等）については、その長期保管を念頭に、保管容器の放射線による機械的特性等の変化に係るデータを採取する。汚染水管理については、建屋内滞留水内の放射性物質の汚染源推定に係る検討を行うとともに、地下水中の核種移行状況に関する水理学的検討を行う。がれき等（金属、コンクリート等）については、処分において重要となる微量な長半減期核種の測定技術について検討するとともに、放射能特性等を考慮した廃棄物管理の課題についての技術的検討を行い、留意事項を抽出する。さらに、破損燃料及び燃料デブリを安全に保管、輸送及び貯蔵するための容器に必要な技術的留意事項を抽出するための試験及び解析を行う。

(3) 核燃料サイクル・廃棄物

①核燃料サイクル施設

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
27	安全性向上評価に向けた加工施設及び再処理施設のリスク評価手法の高度化に関する研究	新規 4年間	今後実施される安全性向上評価の手法等の確認に活用するため、種々の事象について実施手法の例、必要なデータ等を整備する。平成28年度に、再処理施設及び加工施設の内部事象（機器の故障及び人的過誤）及び地震を対象として「安全性向上評価に関するリスク評価実施手法の例」を作成する。内部事象及び地震に続くフェーズとして内部火災について手法を整備する。また、リスク評価における事象シーケンスの定量化に必要な解析手法及び関連データの適切性の確認や不確実性の低減のために、個々の事象のより詳細な解析やそれらに必要なデータを整備するための試験を関係機関を活用して実施する。

②放射性廃棄物

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
28	廃棄物埋設に影響する長期自然事象の調査方法及びバリア特性長期	新規 4年間	廃炉等に伴う放射性廃棄物の埋設のうち、中深度処分に係る規制については、これまでの第二種廃棄物埋設等に関する研究の成果を用いて規制基準等の検討が進められている。今後、具体的な規制基準等を策定するに当たっては、隆起・侵食、断層活動等の地質学的事象を考慮する必要があることから、それらを把握する調査の方法

	<p>変遷の評価方法に関する研究</p>	<p>について検討を行う必要がある。また、これらの地質環境条件の調査に用いられるボーリング等は同時に水質、水圧等の状況を擾乱するため、調査項目に応じて取得が必要な時期と、それらによる擾乱を避けて取得する方法、調査後に擾乱を拡大しないよう埋戻す方法等について検討する。</p> <p>埋設された放射性物質による影響評価に関しては、これまで地下水流動評価、核種移行評価、それらに影響するバリア特性の長期的変遷評価等の解析コードについて整備してきたが、水質条件等について、より幅広い条件について対応できるものとする。また、地下水流況のモデル化について、地下水位、水圧等の観測データからキャリブレーションする方法について検討する。</p> <p>国が科学的有望地を今年中に示すとして検討が進められている高レベル放射性廃棄物の地層処分については、長半減期核種を含み、天然バリアとしての地質環境条件への依存性が高いこと等が中深度処分と共通している。しかしながら、地層処分に関し隆起・侵食、断層活動等を把握する調査の方法について、中深度処分に関する研究成果を発展させつつ検討する。</p> <p>これらの成果は、中深度処分等の第二種廃棄物埋設の規制基準に反映するとともに、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（平成27年5月22日閣議決定）において、地層処分について概要調査地区等の選定時に示すことになっている「安全確保上少なくとも考慮すべき事項」に反映する。</p>
--	----------------------	--

③廃止措置・クリアランス

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
29	<p>放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究</p>	<p>新規 4年間</p>	<p>放射性廃棄物に係る事業者の申請値が技術上の基準を満足しているか否かを判断する必要があるが、廃棄物確認については新たな廃棄体に対する確認方法を整備する必要があること、クリアランスについては、規則（「製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則」）において対象物が限定されていることとクリアランスレベル評価に係る具体的判断基準を記載した審査ガイドは策定されていないこと、廃止措置の終了確認については具体的な確認方法が整備されていないことという課題がある。いずれにおいても、放射能濃度評価を適切に行うことが重要であり、放射能濃度評価の評価精度に影響する対象物の性状及び測定方法に係るパラメータ等を把握するための検討を行う必要がある。具体的には、廃棄物確認については、中深度処分及びトレンチ処分が採用が想定される、ピット処分が採用されている200Lドラム廃棄体とは異なる新たな廃棄体の放射能濃度評価方法の妥当性に係る判断根拠を整備し、運用要領の改訂に反映する。クリアランスについては、現在の規則では規定されていない新規対象物に関し再利用等を考慮した被ばくシナリオに基づく被ばく線量と放射能濃度との関係の明確化及び測定方法の妥当性についての判断根拠を整備し、規則の改定に活用するとともに審査ガイドの策定に反映する。廃止措置については、終了確認の際に線量基準を満たすことを確認するための放射能濃度へ換算する具体的方法及び広大な原子力施設の敷地</p>

			に分布する極微量の放射能濃度を効率的かつ精度よく確認するための評価技術について判断根拠を整備し、確認要領の策定に反映する。
--	--	--	---

(4) 原子力災害対策・放射線規制等

①原子力災害対策

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
30	緊急時対応レベル(EAL)に係るリスク情報活用の研究	新規 3年間	原子力災害対策指針で要求される緊急時対応レベル(EAL)については、これまでに原子炉施設の種類に応じて、EALの確認項目を取りまとめてきた。平成29年度からは、炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度、早期大規模放出頻度等のリスク情報を用いて、EALを構成するプラントパラメータ及びその指標値の技術的根拠等を整備する。

②放射線規制・管理

番号	安全研究プロジェクト	計画期間	概要
31	放射性同位元素等の規制の改善に資する調査研究	新規 5年間	<p>IRRSにおいて、放射性同位元素等に係る規制の再構築、一層の資源配分を行う必要性が指摘されたことを踏まえ、我が国の放射性同位元素等の規制を最新・最善のものにするため、年度毎に原子力規制委員会が示す重点テーマに基づいて同規制の根拠となる調査研究を体系的・効率的に推進し、同規制の改善に資する知見を継続的に創出する公募型事業を創設する。</p> <p>本事業では、同規制の基盤となる知見の創出に向けた領域（例：水晶体の線量評価）、同規制の整備・運用に資する知見の創出に向けた領域（例：クリアランス審査基準の策定）、国際的な最新知見の収集・展開に係る横断的領域の調査研究を推進するとともに、規制活動を支える関連研究機関によるネットワーク構築を推進する。</p>