

安全研究の評価結果について (事前評価及び事後評価)

平成28年9月21日
原子力規制庁

原子力規制庁は、「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決定)に基づき、平成29年度以降の安全研究プロジェクトに関する事前評価及び平成27年度で終了した安全研究プロジェクトの事後評価の案を作成した。これら評価案について原子力規制委員会に報告する。

【参考】「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」の抜粋

3. 安全研究プロジェクトの企画と評価

(2) 安全研究プロジェクトの評価

委員会は、安全研究の的確な実施及び成果の活用を図るため、各安全研究プロジェクトの開始・終了等の節目において評価を実施する。安全研究プロジェクトの開始時においては事前評価、終了時においては事後評価を行うこととし、期間が長いものについては原則として中間評価を実施する。

① 事前評価

実施方針に従って計画された新規の安全研究プロジェクトについて、当該分野の最新動向等を踏まえた成果目標及び研究手法・計画の技術的妥当性の評価を行う。

③ 事後評価

安全研究プロジェクトの終了後、研究成果を確認し、成果目標の達成状況及び成果の活用状況、見通し等について評価を行う。

1. 事前評価

(略)

2. 事後評価（別添2参照）

（1）評価方法

「原子力規制委員会における安全研究について―平成27年度版―（平成27年4月22日原子力規制委員会。）に基づき実施し、平成27年度末で研究が終了した安全研究プロジェクト2件を対象とする。

評価の着眼点は、研究成果を確認し、成果目標の達成状況及び成果の活用状況、見通し等とし、その際、安全研究プロジェクトの評価のために設置している技術評価検討会における外部専門家からの技術的観点からの評価意見を参考とする。

（2）評価案の作成

上記2件の安全研究プロジェクトについて、技術評価検討会の外部専門家からの意見を踏まえ、事後評価案を作成した。なお、成果の公表及び活用状況については、今後、追跡評価において確認する。

各安全研究プロジェクトの事前評価結果

1. 地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究（H29－H31） （略）

2. 津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究（H29－H32）

（略）

3. 地震の活動履歴評価方法に関する研究（H29-H31）

（略）

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評価に関する研究（H29-H32）

（略）

7. 火災防護に係る影響評価に関する研究（H29－H32）

（略）

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（H29-H33）

（1）事前評価を踏まえた研究概要

安全性向上評価等のガイドの策定・改定等による安全性に係る評価の高度化に資するため、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）事前評価結果

① 技術的観点からの評価意見等（シビアアクシデント技術評価検討会）

1) 外部専門家の評価意見

a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 国内外のレベル1PRA研究、評価手法等に関する最新の知見を踏まえおり、過去に行われた研究との重複はない。
- 関係機関と連携するとともに、米国等の海外文献調査により最新知見の収集を継続することが望ましい。

b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- レベル1PRA手法の開発及び適用に関する実施項目は、解析手法の選択などの解析実施方法について適切である。
- 理由が明確でない実施項目があり、その背景や国内外のレベル1PRA研究の動向、規制活動の一環として実施するレベル1PRA全体の枠組みの中での位置付けについて説明が望まれる。
- 外部事象でリカバリを考慮した事象の扱いが難しいと考える。またPRA評価に組み込む外部ハザードの優先度については、研究を進める過程で調整していく必要がある。
- 検査制度へのリスク情報の活用、竜巻を含めた強風や火山などその他の外部事象に係るPRAは特に重要であると考えられる。
- ダイナミックPRAによるレベル1PRAについては、人材育成（例えば博士取得等）のためであれば適切とも考えられるが、手法として適切かどうかについては議論があり得ると考えられる。

c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- P R A手法の規制活動への適用性、検査制度へのリスク情報の活用方策が計画されており、いずれも適切である。
- d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか
- 重大な見落としはないと判断し問題ない。
- 2) 専門技術者からの意見
- 外部事象評価ではリカバリが重要であり、有効なP R Aモデルの構築が望ましい。
 - 内部溢水の知見が得られたら事業者と共有又は公開してはどうか。
- ② 総合評価
- 1) 実施方針の「(2) 原子炉施設 ①リスク評価」に整合した成果目標となっていると認められる。
 - 2) 地震P R Aの整備において、炉心損傷直結事象としている事象のうち蒸気発生器伝熱管破損（複数本破損）の評価に際しては、詳細な分析方法を確立する必要がある。
 - 3) 本プロジェクトの実施に当たり、外部事象P R Aにおいてリカバリを考慮した事象の扱いを検討する、外部ハザードの優先度について研究を進める過程で調整するなどの、上記①での指摘事項及び②の2) を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

1 1. 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（H29-H34）

（1）事前評価を踏まえた研究概要

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。

（2）事前評価結果

① 技術的観点からの評価意見等（シビアアクシデント技術評価検討会）

1) 外部専門家の評価意見

a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 重大事故に関わる個別現象解析コード開発について、国内外の研究状況と最新知見に関する事前の調査が適切になされ、最新の知見を踏まえており、過去に行われた研究との重複はない。
- 福島第一原子力発電所の重大事故の知見をどのように踏まえているのか、規制活動の一環として実施する重大事故の安全評価全体の枠組みの中での個別現象解析コードの開発がどのような位置付けにあるのか具体的な説明が望まれる。
- 国内外の最新知見を常にキャッチアップし、国際協力を積極的に活用した研究開発を継続的に進めていくことが望ましい。

b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 重大事故に関わる個別現象解析コード開発に関する実施項目はいずれも最新の知見を踏まえており、解析実施方法は適切である。
- 目的に記載された「変動幅を状態変数の関数とした実規模スケールの解析コードの開発」が具体的な研究成果として何を指すのか明確でなく、説明することが望ましい。
- 解析コード開発の手順は妥当あるが、研究対象の絞り込みにおいては現時点で情報が不足している部分に注力すること、また学会等の知見を踏まえることが望ましい。
- 研究の目的に「不確実さが大きい（中略）物理化学現象を同定する」とあるのに対して、研究の工程では、既に対象となる事象が国際的な研究の動向から3つに決められてしまっている。一般公衆や作業員の被ばく、環境汚染、重大事故対策、事故炉（福島第一）の廃炉に資する等、規制上重要となる「解析コー

「予測性」や「解析結果の精度向上」を同定するプロセスを含めた工程表に変更することが望ましいと考えられる。

c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- MELCORモデルの利用と限界を理解した上で、個別現象解析コードを最新の試験結果に適用し、実機条件への外挿性における不確実さを踏まえた評価手法整備を計画しており、解析結果の評価手法は適切である。また、中間発表、論文発表等の期間内計画も適切になされている。
- 今後、整備される個別現象解析コードによる評価結果が安全性向上評価における成功基準、事故進展解析及びイベントツリーにおける分岐確率などの研究へ活用されることが期待される。
- 研究成果のアウトプットを具体的にすること。

d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 重大な見落としはない。

2) 専門技術者からの意見

- 福島事故での現象論的なレビューをまずやられてはどうか。
- 技術の根拠となる知見（例えばOECD関連のような）について、技術力向上につながることから産業界側に提供してはどうか。
- 国際的に協調するなど過酷事故の現象を効率よく研究することが望ましい。

② 総合評価

- 1) 実施方針の「(2) 原子炉施設 ②シビアアクシデント」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 「溶融燃料 - 冷却材相互作用 (FCI) 解析コードの開発」については、FCIに関する現在までの実験データ及び解析結果の整理並びにプロセスの明確化を図る必要がある。研究成果は、順次規制に反映していくことに留意する。
- 3) 本プロジェクトの実施に当たり、国際協力の積極的な活用を継続するとともに、成功基準、事故進展解析及びイベントツリーにおける分岐確率などのレベル2 PRAへの活用に留意した上で研究成果目標を具体化するなどの、上記①での指摘事項及び②の2)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

1.2. 軽水炉の重大事故における格納容器機能喪失及び確率論的リスク評価に係る解析手法の整備（H29-H34）

（1）事前評価を踏まえた研究概要

安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資するため、レベル2及びレベル3確率論的リスク評価（PRA）モデルを整備する。これまでに整備したレベル2 PRAモデルに重大事故等対処設備を追加し、更にメルトスプレッドと熔融炉心-コンクリート相互作用の重畳や経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）が行うBIP3やSTEM2計画で得られたヨウ素挙動に関する解析モデル等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2 PRA評価に必要な実機解析モデルを整備する。この際、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、解析結果を提示するとともにレベル2 PRAモデルの整備に必要な情報を収集する。また、将来的に原子炉施設においてサイト特性を踏まえたリスクの評価を行うため、重大事故等対処設備を考慮したレベル1からレベル3までのPRA結果から、濃度、線量等のリスクの指標を検討するとともに、代表プラントのリスク評価を行い、防護措置による被ばく低減効果等に係る技術的知見を整備する。

（2）事前評価結果

① 技術的観点からの評価意見等（シビアアクシデント技術評価検討会）

1）外部専門家の評価意見

a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- ・ 関係機関と連携協力を行い、国内外研究状況と最新知見に関する事前の調査が適切になされている。また、日本原子力学会における遮蔽に関する三次元コードの標準化の知見を踏まえつつ、テーマ選定と実施手法には福島第一原子力発電所事故の視点を取り入れられており適切である。
- ・ 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について、国内外の既往の研究、評価手法等に関する最新の知見を踏まえており、過去に行われた研究との重複はない。
- ・ 規制活動の中での個別現象解析コードの開発がどのような位置付けにあるのか具体的な説明が望まれる。
- ・ 国内外の最新知見を常にキャッチアップし、国際協力を積極的に活用した研究開発を継続的に進めていくことが望ましい。

b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- ・ MELCORによる福島第一及び第二の解析・比較や、地形を考慮した環境拡散評価手法等整備を実施する予定であり、重大事故に関わる個別現象解析コード

開発に関する実施項目はいずれも最新の知見を踏まえており、解析実施方法は適切である。

c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 整備する格納容器破損防止対策評価手法、外部事象に関わるレベル2 PRA手法、環境影響評価手法について、設備間相互依存性の検討、福島第一原子力発電所の重大事故解析、国内外の最新知見を活用した試験解析などが計画されており、論文発表等の計画も適切になされており、いずれの解析結果の評価手法も適切である。

d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 重大な見落としはない。

e. その他

- 「格納容器破損防止対策の評価手法」、「確率論的リスク評価に関連する評価技術」は、プロジェクト名（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）と関係しているが、「環境影響評価手法」はプロジェクト名と直接的な関係がない課題であることから、プロジェクト名の変更等を含めて再検討すること。

2) 専門技術者からの意見

- デブリ冷却解析において全ての型式を扱えるのか。
- 格納容器の型式によってペDESTAL外にできるプールの深度が異なるが、それを扱えるのか。

② 総合評価

- 1) 実施方針の「(2) 原子炉施設 ②シビアアクシデント」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 防災上の防護措置によって公衆のリスク低減にどの程度の効果があるかを検討することが重要である。
- 3) 本プロジェクトの実施に当たり、国際協力の積極的な活用を継続する、環境影響評価手法に関する実施内容を明確化するとともにプロジェクト名も変更するなどの、上記①での指摘事項を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

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（H29-H31）

（略）

2.3. 重大事故時の原子炉格納容器の終局的耐力評価に関する研究（H29-H33）

（1）事前評価を踏まえた研究概要

安全性向上評価における、原子炉格納容器の安全裕度評価の高度化に資するため、構造不連続部の局部破壊及び機械接合部等からの漏えいを含む原子炉格納容器の総合的な安全裕度を把握する終局的耐力評価手法を整備する。このため、溶接部を含む構造不連続部、金属ライナ等の破壊特性及び接合部の閉じ込め性に関する試験データを取得する。これらのデータを用いて、非線形有限要素法により大ひずみ域の構造挙動を追跡し、局部的な破壊モードや閉じ込め性を予測する評価手法を整備する。さらに、実機相当の原子炉格納容器の構造モデルの耐力評価を行い、終局特性を把握するとともに、温度・圧力マップとして整備する手法等を提示する。

（2）事前評価結果

① 技術的観点からの評価意見等（燃料・材料技術評価検討会）

1) 外部専門家の評価意見

a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 既往研究として紹介されている事例が、過去にNUPECにて実施されたもののみとなっている。おそらく他に同様の研究例はないものと推察されるが、そうであればそのことを明確にしておいたほうが良いと思われる。NUPECにて実施された既往研究については、適切にレビューされており、本研究計画の策定に反映・活用されている。

b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 実験方法については具体及び水準等の決定方針が不明確と考える。
- 試験内容が多岐にわたるのは良いが、実施期間内にまとまるように進めることに留意すべき。
- 基礎検討や要素試験で得られた結果を、いかにして適切に、実機相当モデルの終局的耐力評価にまでつなげるかが、本研究のカギとなると考える。今回提案されている計画で本当に問題なくつなげられるか念のため確認しておくとともに、基礎研究や要素試験の進捗に合わせて柔軟に研究計画が変更できる仕組みを整えておくことも重要だと思われる。

c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 特段の指摘はない。

d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- b. の不明点を除いた全体計画は十分であり、個別の研究の内容や手法について、特段の不備は見当たらないと判断し問題ない。

2) 専門技術者からの意見

- PWRの格納容器としてPCCVを例示しているが、SCVも評価対象とする

ことを検討してはどうか。また、BWRについても格納容器型が複数あるが、評価対象とする型を明確にしてはどうか。

- 試験結果については、利用可能な形で整理することが望ましい。

② 総合評価

- 1) 実施方針の「(2) 原子炉施設⑤材料・構造」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 要素試験、材料実験等の試験条件について検討を行いより具体化する必要がある。
- 3) 成果の活用先について、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等により安全性に係る評価の高度化に資するよう見直す必要がある。
- 4) 本プロジェクトの実施に当たり、試験内容が多岐にわたること、また、得られた結果の実機相当モデルへの反映が重要なポイントとなることから実施期間内にまとまるように計画をより具体化するなどの、上記①での指摘事項並びに②の2)及び3)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

2 4 . 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 (H 2 9 - H 3 1)

(略)

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（H29-H32）

（略）

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変遷の評価方法に関する研究（H29-H32）

（略）

29. 放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究（H29－H32）

（略）

30. 緊急時対応レベル（EAL）に係るリスク情報活用等の研究（H29-H31）

（略）