

安全研究に係る事後評価結果

令和6年6月26日
原子力規制委員会

1. 評価の対象

原子力規制庁長官官房技術基盤グループで実施している安全研究プロジェクトのうち、事後評価の対象となるプロジェクトは次に示す5件である。

事後評価対象プロジェクト

No.	プロジェクト名	実施期間 (年度)
I	震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究	R2 - R5 (2020 - 2023)
II	断層の活動性評価に関する研究	R2 - R5 (2020 - 2023)
III	大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究	R1 - R5 (2019 - 2023)
IV	事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究	R1 - R5 (2019 - 2023)
V	使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究	R2 - R5 (2020 - 2023)

2. 事後評価結果

上記5件の安全研究プロジェクトについて原子力規制庁が実施した事後評価（別添）は妥当である。

安全研究に係る事後評価結果

令和6年6月26日
原子力規制庁

1 評価対象プロジェクト

今回の事後評価の対象は、令和5年度に終了した以下の安全研究プロジェクト5件である。

- I. 震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究
- II. 断層の活動性評価に関する研究
- III. 大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究
- IV. 事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究
- V. 使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究

2 評価の方法

事後評価は、安全研究プロジェクトの実施期間に行った活動内容・成果をとりまとめた「安全研究成果報告」¹に基づき、「①成果目標の達成状況」、「②成果の公表等の状況」、「③研究の進め方に関する技術的適切性」、「④研究マネジメント及び予算・契約管理の適切性」及び「⑤成果の規制への活用の状況・見通し」の各評価項目について評価を行い、その結果を基に総合評価を付した。

なお、「③研究の進め方に関する技術的適切性」の評価においては、評価に客観性を加味する観点から、技術評価検討会を開催し、外部専門家の評価意見及び産業界等の専門的な技術的知見を有する者（専門技術者）の意見を聴取し参考とした。

3 評価結果

評価結果の全体概要を表1に示す。各評価項目についての評価は以下のとおりである。

3.1 項目別評価

(1) 「①成果目標の達成状況」について

「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」、「大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究」、「事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究」及び「使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究」については、研究計画において設定した目標を達成した成果を得られていることから、「A」評価とした。

一方、「断層の活動性評価に関する研究」については、断層の活動性等の評価手法や確率論的地震ハザード評価に向けた年代評価方法に関する知見が得られたものの、成果目標としていた NRA 技術報告をまとめるほどに整理できなかったことから、「B」評価とした。

¹ 令和5年度（2023年度）に終了した安全研究プロジェクトの成果報告書として原子力規制委員会のホームページに掲載済（https://www.nra.go.jp/activity/anzen/seika/anzen_houkoku.html）。

(2) 「②成果の公表等の状況」について

「大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究」については、表2のとおり多数の査読付論文として成果を公表しただけでなく、そのうち1件が日本火山学会論文賞を受賞し、学術的価値が対外的に認められたことから「S」評価とした。

「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」、「断層の活動性評価に関する研究」及び「事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究」については、表2のとおり査読付論文及び査読付プロシーディングスとして成果を公表したことから「A」評価とした。

一方、「使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究」については、現時点では未公表であるものの、論文及びNRA技術報告の作成が着実に進んでおり、公表が見込まれる状況と判断できることから「B」評価とした。

表2 査読付論文及び査読付プロシーディングスの公表実績

公表実績数	I. 震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究	II. 断層の活動性評価に関する研究	III. 大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究	IV. 事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究	V. 使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究
査読付論文	1(1)	7(2)	14(14)	17(14)	0(0)
査読付プロシーディングス	1(1)	0(0)	0(0)	6(6)	0(0)

※括弧内は、委託先による公表数（内数）を示す。

(3) 「③研究の進め方に関する技術的適切性」について

「使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究」については、外部有識者の意見を取り入れながら研究を進めたことに加え、国際遮蔽実験データベースへの登録が期待されるほどの、高精度かつ不確かさ情報を網羅的に評価した実験を行い、技術評価検討会における当該実験の評価も高かったことから、技術的に優れていると判断し、「S」評価とした。

「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」、「断層の活動性評価に関する研究」、「大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究」及び「事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究」について、外部専門家による評価意見及び専門技術者の意見を踏まえ、技術的適切性をもって研究が実施されたと判断し、「A」評価とした。

(4) 「④研究マネジメント及び予算・契約管理の適切性」について

5件の安全研究プロジェクトはいずれも、委託先を含め適切な実施体制を構築し、適宜規制動向等を反映させた計画に沿って研究を進めたことから、適切な研究マネジメントが行われたと判断した。また、いずれも、法令等を遵守した適切

な予算及び契約管理が行われたと判断した。

以上より、5件の安全研究プロジェクトはいずれも、「A」評価とした。

(5) 「⑤成果の規制への活用の状況・見通し」について

「事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究」については、現行の基準の妥当性を確認できるような成果が得られたこと、「使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究」については、成果が審査における評価結果を確認する際の技術的判断根拠に活用されたことから、「A」評価とした。

一方、「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」、「断層の活動性評価に関する研究」及び「大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究」については、将来的には審査における技術的判断材料等として用いることができると考えられるが、現時点では研究成果が適切に整理されていないことから規制活動への貢献は限定的であると判断し、「B」評価とした。

3.2 総合評価

「大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究」については、適切に管理され、当初計画どおりに成果が得られたことに加え、論文賞を受賞した査読付論文を含め、研究成果の公表を積極的に進めたが、成果の規制活動への貢献が限定的だったことから、上記項目別評価結果の平均から得られた評語（以下「基礎評語」という。）のとおり、「A」評価とした。

「事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究」については、適切に管理され、当初計画どおりに規制に活用される成果が得られたことに加え、研究成果の公表を積極的に進めたことから、基礎評語のとおり、「A」評価とした。

「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」については、適切に管理され、当初計画どおりに成果が得られたことに加え、研究成果の公表を積極的に進めたが、成果の規制活動への貢献が限定的だったことから、基礎評語のとおり、「B」評価とした。

「断層の活動性評価に関する研究」については、適切に管理され、研究成果の公表を積極的に進めたが、一部の成果目標が達成できず、成果の規制活動への貢献が限定的だったことから、基礎評語のとおり、「B」評価とした。

「使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究」については、適切に管理され、当初計画どおりに規制に活用される成果が得られたが、成果の公表が不十分であった。基礎評語は「A」であるが、NRA 技術報告等の公表に至らなかったため、全体評語は「B」評価とした。

4 評価結果の今後の活用

技術評価検討会における外部専門家及び専門技術者の意見を含めた評価結果については今後の安全研究の実施内容の検討等に活用していくとともに、評価結果を踏まえ、5件の安全研究プロジェクトいずれについても、論文、NRA 技術報告等として未公表の成果の公表を進める。なお、成果の公表状況及び成果の規制への活用状況については、追跡評価

のなかで確認していく。

今回の評価において、「B」以下の項目別評価となったプロジェクトについては、成果目標、成果の公表計画等の設定にも課題があったと考えられる。このため、研究計画の策定段階においてそれらの適切性を事前に確認できるよう、今後その方法を検討する。

表 1 安全研究に係る事後評価結果の全体概要

評価項目		I. 震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究	II. 断層の活動性評価に関する研究	III. 大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究	IV. 事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究	V. 使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究
項目別評価※1	① 成果目標の達成状況	A(3)	B(2)	A(3)	A(3)	A(3)
	② 成果の公表等の状況	A(3)	A(3)	S(4)	A(3)	B(2)
	③ 研究の進め方に関する技術的適切性	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	S(4)
	④ 研究マネジメント及び予算・契約管理の適切性	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)
	⑤ 成果の規制への活用の状況・見通し	B(2)	B(2)	B(2)	A(3)	A(3)
総合評価※2	項目別評価結果の総合点	14	13	15	15	15
	項目別評価結果の平均点及び基礎評語	B(2.8)	B(2.6)	A(3.0)	A(3.0)	A(3.0)
	評価結果(全体評語)	B	B	A	A	B※3

※1 項目別評価に示す括弧内の数字は、SABCによる項目別評価結果を数字に換算（Sを4点、Aを3点、Bを2点、Cを1点）したものを示す。

※2 総合評価の評価結果は、項目別評価結果の平均点が3.3点以上をS、3.0点以上～3.3点未満をA、2.0点以上～3.0点未満をB、2.0点未満をCとする。ただし、②又は⑤で最下位の評語（C）がある場合は、S又はAのときはBへ、BのときはCへそれぞれ下げる。

※3 NRA技術報告等が公表に至らなかったため、基礎評語AからBに下げた。

技術評価検討会 名簿

地震・津波技術評価検討会

(五十音順)

外部専門家

糸井 達哉 国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 准教授

鎌滝 孝信 学校法人加計学園岡山理科大学
理学部基礎理学科 教授

酒井 直樹 国立研究開発法人防災科学技術研究所
水・土砂防災研究部門 副部門長

専門技術者

梅木 芳人 中部電力株式会社 原子力本部 原子力土建部
設計管理グループ 専任課長

土志田 潔 一般財団法人電力中央研究所
原子力リスク研究センター 自然外部事象研究チーム
研究推進マネジャー

松山 昌史 一般財団法人電力中央研究所
原子力リスク研究センター 自然外部事象研究チーム
チームリーダー

燃料技術評価検討会

(五十音順)

外部専門家

有馬 立身 国立大学法人九州大学 大学院工学研究院
エネルギー量子工学部門 助教

黒崎 健 国立大学法人京都大学 複合原子力科学研究所
所長・教授

専門技術者

大塚 康介 東京電力ホールディングス株式会社
原子力立地・本部 廃止措置室 部長

坂本 寛 日本核燃料開発株式会社 研究部
主幹研究員

高島 勇人 関西電力株式会社
執行役常務／原子力事業本部長代理（原子力安全・技術、原子力発電、原子燃料）／原子燃料サイクル室担当（原燃契約）

核燃料サイクル技術評価検討会

(五十音順)

外部専門家

- 浅沼 徳子 東海大学 工学部応用化学科 准教授
- 木倉 宏成 国立大学法人東京工業大学 科学技術創成研究院
ゼロカーボンエネルギー研究所 准教授
- 千葉 敏 国立大学法人東京工業大学 名誉教授
- 村松 健 公益財団法人原子力安全技術センター 理事

専門技術者

- 中林 弘樹 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所再処理廃止措置技術開発センター
廃止措置推進室 室長代理
兼 廃止措置技術グループ グループリーダー

安全研究のプロジェクトごとの事後評価結果

令和6年6月20日
原子力規制庁

I. 震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究 (R2年度～R5年度)

1. 研究プロジェクトの目的

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」では、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」をそれぞれ評価し、基準地震動を策定するとともに、策定した地震動の超過確率を参照することを求めている。本プロジェクトでは、断層モデルを用いた手法による地震動評価及び震源を特定せず策定する地震動の評価の精度向上を行って技術的知見を蓄積するとともに、確率論的地震ハザード評価の精緻化及び断層変位評価に係る知見の蓄積を行い、震源近傍の地震ハザード評価手法を高度化することを目的とする。

2. 研究概要

- 内陸地殻内地震及びプレート間地震を対象とし、特に熊本地震の知見を踏まえて、浅部断層破壊の考慮を含めて特性化震源モデルを作成し、地震動解析を行った。
- 震源を特定せず策定する地震動の内の標準応答スペクトルについて、新たな観測記録の収集・解析を実施し妥当性を確認するとともに、地震動解析手法等に対して最新知見を反映し高精度化を行った。
- 活断層の地震発生モデルにおける不確かさの取り扱い及び単一地点における地震動モデルの不確かさについて調査し、確率論的地震ハザード評価を行った。
- 断層変位評価について、衛星データ解析及び現地調査を行うとともに、室内模擬実験及び数値解析を実施した。

3. 研究成果

- 内陸地殻内地震等の地震動解析から、震源断層パラメータの知見を蓄積するとともに、それらのパラメータの不確かさや既往経験式との整合性を明確にした（一般財団法人地域地盤環境研究所、株式会社大崎総合研究所及び応用地質株式会社への委託研究の成果）。また、断層が地表に現れた国内外の地震を対象とした地震動検証解析等を実施し、浅部断層破壊を考慮した特性化震源モデルの構築方法を考案した（一般財団法人地域地盤環境研究所への委託研究の成果）。
- 新たに起きた地震の観測記録を収集し解析等を行い、標準応答スペクトルに与える影響はないことを確認した。また、最新知見を反映した複数の手法を用いてはぎとり解析等を試行し、各手法の改善度合い等を把握した。

- 国内の活断層を対象に、地震規模・発生頻度における不確かさ、及び単一サイトの地震動のばらつきについて調査し、確率論的地震ハザード評価を行い、それら不確かさによる影響度合いを把握した。
- 衛星データの干渉解析及び画像解析より、地震時地表変状箇所を客観的に識別し、副断層の変位を定量的に評価する手法を開発するとともに、室内模擬実験及び数値解析を実施し、断層変位評価に係る知見を蓄積した（株式会社パスコへの委託研究の成果）。

4. 事後評価結果

(1) 項目別評価

① 成果目標の達成状況：A

- 内陸地殻内地震等の地震動解析から、浅部断層破壊のモデル化を含めて震源断層パラメータの知見を蓄積した。また、新たに起きた地震の観測記録の解析、最新知見を反映した複数の手法に基づく解析等を行うことにより、地震動評価の精度向上に係る知見を蓄積した。そして、確率論的地震ハザード評価について調査し、活断層の地震発生モデル及び単一地点における地震動モデルの不確かさに関する知見を蓄積した。さらに、衛星データの干渉解析及び画像解析から、地震時の主断層及び副断層を機械的に抽出し、変位量を客観的に評価することにより、断層変位データ・知見を蓄積した。よって目標を達成したと考える。

② 成果の公表等の状況：A

- 原子力規制庁から NRA 技術ノート 1 件を公表した。委託先から査読付論文 1 件及び査読付プロシーディング 1 件を公表した。

③ 研究の進め方に関する技術的適切性：A

- 国内外の専門家との議論を通して、研究の進め方、成果の妥当性を確認している。また、国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえた上で、適切な手法にて研究を実施している。技術評価検討会での外部専門家からの意見も踏まえ、技術的適切性を有していると判断した。

(技術評価検討会における主な意見及びその対応)

- 震源を特定せず策定する地震動について、このような研究を継続すること自体は意義がある。一方で、基準地震動を応答スペクトルのみの関連から議論するだけでなく、残りの 2.3%の地震動で施設にどのような被害が生じうるのかという観点での検討が欠けており、今後、検討してほしいとの意見があった。標準応答スペクトルの基となった非超過確率 97.7% (平均+2 σ) の応答スペクトルに含まれない残りの 2.3%程度の地震動による施設への影響可能性については、今後、確率論的リスク評価等に関連する別プロジェクトとの連携も含め、課題として検討することとする。

- 断層変位の評価について、地表変状箇所を客観的に識別するために LC-InSAR（衛星データの干渉解析結果及び数値標高モデルデータを活用した手法）に着目したのは、評価手法としては適切である。一方で、変位については間接的な評価となるため、実際の地表面調査との対照が不可欠であり、画像的特徴と実際の調査結果を対比し学習データとして、AI を用いた解析が可能であり、一定精度を保つ解析手法になることが期待されるとの意見があった。本研究テーマは、令和5年度で終了となっており、能登半島地震に関する今後の研究動向及び知見収集を踏まえて、令和7年度以降のプロジェクトに反映していくかどうか検討することとする。
- 詳細は別表 1-1 参照。

④ 研究マネジメント及び予算・契約管理の適切性：A

- 委託先を含め適切な研究体制を構築し、計画どおりに進捗させ目標を達成していることから、研究マネジメントは適切であると評価する。予算執行、進捗管理及び検収を含めた契約業務を、法令等を遵守して実施しており、適切に業務管理が行われたと判断した。

⑤ 成果の規制への活用の状況・見通し：B

- 本プロジェクトで得られた “震源を特定せず策定する地震動の精度向上” に関する技術的知見は、既に規制に取り入れられた「標準応答スペクトルの策定」が、その後発生した地震記録を踏まえても妥当であることを確認するために必要な研究であり、成果がまとまり次第、規制で活用する。“震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化” に関する技術的知見は、震源の極近傍の定義やその地震動評価を行う際の要求事項が明確に整理されておらず、現時点で審査で用いる知見とはなっていない。（地震・津波審査部門）

(2) 総合評価：B（総合点：2.8）

● 担当安全技術管理官等による評価コメント

計画どおりに調査・研究が進められ、地震動評価手法について、浅部断層破壊を考慮した特性化震源モデルの設定手法を考案した。また、新たに起きた地震の観測記録を収集し解析等を行い、標準応答スペクトルに与える影響について確認できた。一方で、得られた知見の一部については、規制活動に活用できるほどの整理に至っていないところがあることから、上記評価とする。

5. 評価結果の今後の活用

- 本研究プロジェクトで得た成果のうち未公表の内容については、規制活動における活用を促進するため、論文等による公表を今後も進める。

(主な成果の公表)

(1) 原子力規制庁の職員が著者に含まれる公表

● NRA 技術ノート

1. 田島礼子、「震源を特定せず策定する地震動の標準応答スペクトルの妥当性確認—2018年から2022年の観測記録の追加—」、NRA 技術ノート、NTEN-2024-4001、令和6年

(2) 委託先による公表

● 論文 (査読付)

1. 吉田邦一、染井一寛、宮腰研、「レシーバー関数による石狩低地帯南東部の堆積層構造の推定」、地震 第2輯、75巻、pp.145-161、令和4年

● 学術会議のプロシーディング (査読付)

1. Dorjpalam, S., Okada, Y., Irie, K., Torita, H., “Study on the Strong Ground Motion Prediction Method by HERP, Japan, to 2010 Mw8.8 Maule Earthquake, Chile”, 26th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT-26), 2022.

別表 1-1

「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」
に対する外部専門家の評価意見及び専門技術者の意見並びにその回答

【外部専門家】

No.	評価項目	評価意見	回答
系井 達哉 氏			
1	① 国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	概ね適切である。	—
2	② 解析実施手法、実験方法が適切か。	震源を特定せず策定する地震動について、このような研究を継続すること自体は意義があると考ええる。一方で、基準地震動を応答スペクトルのみの関連から議論するだけでなく、設計で考慮しない残りの2.3%の地震動で施設にどのような被害が生じうるのかという観点での検討が欠けており、今後の検討が望まれる。	震源を特定せず策定する地震動の標準応答スペクトルの基となった非超過確率 97.7% (平均+2 σ) の応答スペクトルに含まれない残りの 2.3%程度の地震動による施設への影響可能性等については、事業者が実施する「発電用原子炉施設の安全性の向上のための評価」等の状況も踏まえつつ、将来的に、確率論的リスク評価等に関連する別プロジェクトとの連携も含め、課題として検討させていただきます。
3	③ 解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	報告書 2.3.2 の検討内容は、認識論的不確かさとは別の議論で、従来のエルゴディックな σ の評価をサイト固有の σ の評価に変更するという研究にすぎない。認識論的不確かさの記述については、全面的に削除する必要がある。	いただいたご意見について拝承致し、報告書 2.3.2 における「認識論的不確かさ」の記述を削除して適正化します。ただし、規制基準等では「不確かさ」の用語を決定論的評価も含め広義に使用しておりますので、報告書 2.3.2 の序文にて「ばらつき (不確かさ)」とした上で、一部の記述については「認識論的不確かさ」を「不確かさ」に置き換える修正とさせていただきます。

No.	評価項目	評価意見	回答
4	④ 重大な見落とし（観点の欠落）がないか。	浅部断層破壊を考慮した地震動予測手法の構築は学術的には意義があると考えられるが、活断層の上に重要施設が立地できない規制基準である現状で、このような地震動予測手法を構築する意義について、原子力安全規制の観点からの位置づけを明確にすることが望ましい。	設置許可基準規則第4条（地震による損傷の防止）に係る規則解釈では、基準地震動策定における地震動評価について、「内陸地殻内地震について選定した検討用地震のうち、震源が敷地に極めて近い場合は、地表に変位を伴う断層全体を考慮すること」が定められています。そのため、震源極近傍の地震動評価の観点から、浅部断層破壊を考慮した地震動予測手法の構築が重要です。それを受けて本検討では、特に敷地に極めて近い活断層による地震を検討用地震とした場合の基準地震動の妥当性判断に資することを目的とし、地表に断層が現れた内陸地殻内地震を対象にして、従来の地震本部の「強震動予測レシピ」による特性化震源モデルに加えて浅部断層破壊のモデル化及び地震動検証解析を行い、浅部断層破壊が地震動評価に及ぼす影響を把握しました。上記の経緯が分かりにくかったため、報告書 1.1 に規則解釈の記載を追記します。
5	その他	<p>○次の報告書が https://www.nra.go.jp/nra/chotatsu/yosanshikou/itaku_houkoku-r_r2.html などに公開されていないようで、見つかりません。成果報告書（案）には結論しか書かれていないことから、これらの内容については上記の評価ができていない。</p> <p>8 一般財団法人地域地盤環境研究所、“令和 2 年度原子力施設等防災対策等委託費（内陸型地震の特性化震源モデルに係る検討）事業業務報告書”、2021。</p> <p>9 一般財団法人地域地盤環境研究所、“令和 3 年度原子力施設等防災対策等委託費（内陸型地震の特性化震源モデルに係る検討）事業業務報告書”、2022。</p> <p>10 一般財団法人地域地盤環境研究所、“令和 4 年度原子力施設等防災対策等委託費</p>	<p>これらの委託事業の報告書については、受託者による論文投稿の予定があるため、成果報告書のウェブ公開を保留しています。そのため、当該報告書を別途送付させていただきますので内容をご確認ください。</p> <p>（ご確認いただき、当該報告書に記載された研究内容を含めて概ね適切に進めているとの評価をいただいた。）</p> <p>なお、論文の公表状況を踏まえて、適時に公開する予定です。</p>

No.	評価項目	評価意見	回答
		<p>(内陸型地震の特性化震源モデルに係る検討) 事業成果報告書”、2023.</p> <p>○報告書案の図 2.10 の凡例の線に色が無い。また、図全体として配置が乱れている。修正が必要。</p>	<p>いただいたご意見について拝承し、適正化致します。</p>
鎌滝 孝信 氏			
1	① 国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	<p>検討会の報告スライド, 報告書案などの参考文献リストにより, 国内外の過去の研究および最新知見を踏まえていると判断します.</p>	—
2	② 解析実施手法、実験方法が適切か。	<p>適切と判断します.</p>	—
3	③ 解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	<p>適切と判断します. 特に「地震動の不確かさの検討」について, 今後さらなる知見の蓄積を進めていただけることを期待します.</p>	<p>いただいたご意見について拝承致します.</p>
4	④ 重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	<p>重大な見落としはないと判断します.</p>	—
5	その他	<p>今後の予定も含めると成果の公表も適切になされていると判断でき, それら研究成果を踏まえた上で次期研究プロジェクトへと発展させていただきたいと思えます.</p>	<p>いただいたご意見について拝承致します.</p>
酒井 直樹 氏			
1	① 国内外の過去の	<p>2.2.3 距離減衰式の検討では, 多数の地震計データが必要であり, K-net, Kik-net の</p>	<p>いただいたご意見について拝承致します.</p>

No.	評価項目	評価意見	回答
	研究、最新知見を踏まえているか。	ような他機関でのデータも積極的に活用しているとみられるが、そこでの知見も積極的に生かしながら欧米の同種のデータも活用しながら進めて欲しい。	
2	② 解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③ 解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	2.4 断層変位のところで、地表変状箇所を客観的に識別するためにLC-inSARに着目したのは、評価手法としては適切と考えられる。一方で、変位については間接的な評価となるため、実際の地表面調査との対照が不可欠であり、画像的特徴と実際の調査結果を対比した学習データができると、AIを用いた解析が可能となり、ある一定精度を保つ解析手法になることが期待される。また低頻度の現象であるため模型実験による検証は重要であるが、確立された実験技術ではないので客観性の担保は重要である。断層変位評価式を確立することは有効であるが、精度を保ったデータの蓄積のもとで行う必要がある。	いただいたご意見について拝承致します。当該研究テーマは、令和5年度で終了となりますが、能登半島地震に関する今後の研究動向及び知見収集を踏まえて、令和7年度以降のプロジェクトに反映していくかどうか検討させていただきます。
4	④ 重大な見落とし（観点の欠落）がないか。	—	—
5	その他	衛星データの活用に関しては、政府としても活用していく方針を示していることから、小型衛星によるデータを含めて地表面の変動を把握できる評価技術を確立してほしい。	いただいたご意見について拝承致します。当該研究テーマは、令和5年度で終了となりますが、能登半島地震に関する今後の研究動向及び知見収集を踏まえて、令和7年度以降のプロジェクトに反映していくかどうか検討させていただきます。

【専門技術者】

No.	意見の観点	意見	回答
梅木 芳人 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	3.4 断層変位評価に係る知見の蓄積 ・『断層の活動性評価に関する研究』においても断層変位に関する検討がなされていますが、相互で情報共有していますか。	両プロジェクトの着眼点が異なりますが、研究の計画、進捗及び成果に係る報告会の開催等により、情報共有をしています。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価方法が適切か。	3.1 a.内陸型地震の特性化震源モデルに係る知見の蓄積 成果3:浅部断層破壊を考慮した特性化震源モデルの構築手法の考案(2/2) ・ハイブリッド合成法の際の接続周期の情報がありません。情報を追加した方が良いと思います。 ・結論の「断層近傍の観測点の地震動の特徴を概ね説明できる」に具体性がなく、結果の信頼性の検証ができません。何がどのように説明できるのかななどを考察した方が良いと思います。 3.2 b.はぎとり解析の精度向上 成果2:地震基盤面のはぎとり波を算出する新たな手法の施行(手法5・6) ・標準応答スペクトルは地震基盤で定義されていますが、現在は地中地震計位置を地震基盤に補正した記録を用いているため不確かさが内在しています。将来的には手法5・6のような地震基盤で定義する手法を採用することも検討すべきと思います。	いただいたご意見について拝承し、安全研究成果報告に追記致します。 いただいたご意見について拝承し、安全研究成果報告に追記致します。 いただいたご意見について拝承致します。令和6年度以降に実施予定の各手法の適用に係る研究成果等を踏まえて、将来的な方針を検討させていただきます。
4	④重大な見落とし(観点)	—	—

No.	意見の観点	意見	回答
	の欠落)がないか。		
5	その他	<p>4.2 成果の活用等</p> <p>・規制にとどまらず、例えば、規制庁の主導で日本として統一した距離減衰式の策定を目指すなど、日本全体の地震動評価向上に役立つことを期待します。</p>	<p>いただいたご意見について拝承致します。令和6年度以降の安全研究において、距離減衰式の構築を目指す予定ですので、原子力規制の観点で重要な条件に加え、波及的効果として一般防災等の観点からも広く活用される成果となるように検討を進めます。</p>
土志田 潔 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	—	—
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	<p>(3.4 断層変位評価)</p> <p>LC-InSAR 法について、国内外で近年地震が発生した地域に適用し、一般化を図ることが望ましい。この手法については、プロジェクト「断層活動性評価」の二次断層の分布に関する研究と連携していくことが望ましい。</p> <p>今後の技術開発においては、LC-InSAR 法において、機械学習等の手法を用い、断層位置の識別、移動量の計測を自動化することが考えられる。また、携帯電話基地局の GNSS を用いた稠密観測手法など、他の手法開発を行う事も考えられる。</p>	<p>いただいたご意見について拝承致します。本プロジェクトにおいて、LC-InSAR 法に基づいて断層を機械的に抽出する方法を試みました。当該研究テーマは、令和5年度で終了となりますが、能登半島地震に関する今後の研究動向及び知見収集を踏まえて、令和7年度以降のプロジェクトに反映していくかどうか検討させていただきます。</p>
4	④重大な見落とし(観点	—	—

No.	意見の観点	意見	回答
	の欠落)がないか。		
5	その他	(3.4 断層変位評価) 断層変位評価により得られた知見を、敷地内断層による建屋の変位等の検討に適用していくことが望ましい。	実務として活用するためには、まだ解決すべき課題が多くあります。まずは、本プロジェクトで得られた知見について受託者による論文投稿等により第三者の評価を受けることが必要だと考えております。
松山 昌史 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	—	—
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	<p>スライド 13 について、検討会における説明において、A 法と B 法の比較結果について、言及すること必要である。例えば、2 つの結果に差がないのであれば、それを文字にして記述するなど 2 つの方法を実施した結果に対する考察が必要である。</p> <p>スライド 13 について、「地震動の特徴を概ね説明できる」とあるが、何の特徴が説明できるのか記述があると理解しやすい。最大振幅であるのかと個人的には考えているが、スペクトルレベルの比較なども必要ではないのか。</p>	<p>いただいたご意見について拝承致します。両手法の結果の比較について、大きな差異は認められないことを安全研究成果報告に記載しています。</p> <p>ここでの地震動の特徴は、加速度波形や変位波形の最大振幅のみではなく、擬似速度応答スペクトルも比較しています。安全研究成果報告に追記致します。</p>
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	—	—

No.	意見の観点	意見	回答
5	その他	<p>研究の目的に対して、適切に研究が進められ、一定の成果が出ているものと判断します。資料において、その成果の内容を定量的に表現されることを希望します。</p> <p>スライド 4 に「地震による地盤の変位(ずれ)の評価も重要である」とあり、断層変位量に関する研究に加えて、それが原子力発電所施設に与えるリスクを定量化する研究が期待される。</p>	<p>いただいたご意見について拝承し、定量化できる箇所について安全研究成果報告に追記致します。</p> <p>施設への影響評価については、本プロジェクトの対象外になっていますが、そのような研究動向及び知見、並びに IAEA 等の国際動向にも注視して参ります。</p>

Ⅱ. 断層の活動性評価に関する研究 (R2 年度～R5 年度)

1. 研究プロジェクトの目的

- 断層の活動性評価に関する知見は、地震動及び津波の評価の最も基礎となる情報である。また、変位・変形の成因に関する知見は、重要施設の立地評価上重要な情報となる。そこで、断層の活動性評価に基づく活断層の認定手法（断層破碎物質、火山灰年代を用いた手法）及び変位・変形の成因を評価する手法に関する知見を蓄積する。
- 確率論的地震ハザード評価の実施には地震履歴に関するデータが必要であるが、海域の活断層等ではデータが得られ難い。そこで、地震履歴の情報を含むと考えられる海底のイベント堆積物（タービダイト）及び離水海岸地形に着目し、隣接する海底堆積物の対比、年代測定等を通じてこれらの形成年代を評価するとともに、評価上の具体的な留意事項及び知見を蓄積する。

2. 研究概要

- 断層破碎物質から断層の活動性を判断する手法を用いて、より確度の高い断層活動性評価を行うため、応力解析、結晶構造解析等を用いた総合的な評価手法の適用性を確認した。また、古海底地すべり等と地震を生じさせる断層に対して応力解析、化学分析等を実施し、両者を識別するための手法としての適用性を確認した。
- 西日本を対象に中期更新世以降の火山灰年代評価に向けた知見を蓄積するため、深海底に堆積した火山灰の年代を高精度に決定し、陸域に分布する火山灰との対比を実施した。
- 確率論的地震ハザード評価に資するため、タービダイトを含む海底堆積物及び離水海岸地形を構成する岩石を対象にして、 ^{14}C 年代測定、宇宙線生成核種（ ^{10}Be 及び ^{26}Al ）等を用いた年代測定を実施した。

3. 研究成果

- 断層破碎物質の性状に基づく断層の活動性評価手法についての知見を蓄積し、応力解析、破碎部の微細構造観察等が断層活動性評価にとって有効であることを示した。また、古海底地すべり等と地震を生じさせる断層の識別にとって応力解析と周辺地質を考慮した化学分析が有効であったこと（国立大学法人新潟大学との共同研究の成果を含む）、さらに受動的な断層変位が断層の活動性評価に与える影響を具体的に示すことができた。
- 西日本を対象にした中期更新世以降の火山灰年代評価手法についての知見を蓄積し、阿蘇起源の火山灰等、深海底に堆積した火山灰の年代の高精度な決定及び陸域に分布する火山灰との対比の具体例を示すことができ、断層の活動性評価に用いられる地形面及び地層の形成年代の妥当性評価に活用できる見通しを得た。

- 海域の古地震履歴評価手法及び離水海岸地形の形成年代評価手法についての知見を蓄積し、タービダイトの認定に基づく南海トラフ周辺海域における地震の発生間隔、足摺岬等における宇宙線生成核種を用いた海岸段丘の年代測定の適用性等に関する具体例を示すとともに、評価上の留意事項を整理した（国立大学法人東京大学への委託研究の成果を含む）。

4. 事後評価結果

(1) 項目別評価

① 成果目標の達成状況：B

- 断層の活動性評価及び変位・変形の成因評価に向け、各種の手法（応力解析、破碎部の微細構造観察、破碎部の微細構造観察等）の有効性及び西日本を対象にした中期更新世以降の火山灰に対する高精度な年代決定に関する知見を蓄積できた。また、確率論的地震ハザード評価に必要な地震履歴に関するデータの扱い方について、タービダイト及び海岸段丘の年代評価等に関する具体例を示すことができ、評価上の留意事項を整理できた。ただし、非地震性断層等の成因評価、離水海岸地形の形成年代評価及び海域の古地震履歴評価の各テーマにおいて、成果目標とした NRA 技術報告をまとめるほどに整理できなかつたため、成果目標の達成は限定的と考える。

② 成果の公表等の状況：A

- 原子力規制庁から査読付論文 5 件を公表した。また、委託先の東京大学大気海洋研究所から査読付論文 2 件を公表した。

③ 研究の進め方に関する技術的適切性：A

- 国内外の過去の研究および最新知見を取り入れつつ、古地すべり面の識別のための詳細な化学分析のアプローチ等、有効な手法が選択されており、技術評価検討会での外部専門家の評価意見及び専門技術者の意見を踏まえ、技術的適切性をもって研究が進められたと判断した。

(技術評価検討会における主な意見及びその対応)

- 古地すべり面の成因評価及び構造的断層との識別指標として MgO 含有量に注目しているが、非常に重要である。一つの手法での評価でなく、岩石学的、地質・地形学的、地球物理学的データを集約することで精度を上げた評価が可能となるため、根拠となるデータを集積してほしいとの意見があった。令和 6 年度から開始する安全研究プロジェクトにおいて、活断層と非活断層との識別手法に着目し、化学組成も含めた総合的評価の有効性を確認していくこととする。
- 二次断層の成因評価については、安全研究プロジェクト「震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究」と連携し、一般化を図ることが望ま

しいとの意見があった。また、断層変位については、令和6年能登半島地震の知見も踏まえた検討の進展と共に、施設の安全性、広域災害としての観点など工学的な観点も踏まえることを期待するとの意見があった。過去の地震における副断層、分岐断層（二次断層）等の調査を実施し、知見を蓄積していくとともに、既存の評価手法の適用性を確認していくこととする。

➤ 詳細は別表1-2参照。

④ 研究マネジメント及び予算・契約管理の適切性：A

- 委託先を含め適切な研究体制を構築し、計画どおりに進捗させ目標を達成していることから、研究マネジメントは適切であると評価する。予算執行、進捗管理及び検収を含めた契約業務を、法令等を遵守して実施しており、適切に業務管理が行われたと判断した。

⑤ 成果の規制への活用の状況・見通し：B

- 本プロジェクトで得られた知見である、“断層破碎物質の性状に基づく評価手法に関する研究”等は、断層の活動性評価に適用する際の留意点や課題等が、将来的には規制での技術的な判断材料として活用できると考えられるが、現時点までに得られている知見についてガイドに反映できていないことから、規制への活用は限定的である。（地震・津波審査部門）

(2) 総合評価：B（総合点：2.6）

- 担当安全技術管理官等による評価コメント

計画どおりに調査・研究が進められ、西日本を対象にした中期更新世以降の火山灰年代評価手法について、断層の活動性評価に用いられる地形面及び地層の形成年代の妥当性評価に活用できる見通しを得るとともに、査読付論文で成果の公表が行われた。ただし、成果目標である NRA 技術報告の公表には至らなかったこと、また、一部のテーマについては規制への活用が限定的であることから、安全研究プロジェクト全体としては上記評価とする。

5. 評価結果の今後の活用

- 本研究プロジェクトで得た成果のうち未公表の内容については、規制活動における活用を促進するため、論文等による公表を今後も進める。

(主な成果の公表)

(1) 原子力規制庁の職員が著者に含まれる公表

- 論文（査読付）

1. Matsu'ura, T., Ikehara, M., Ueno, T., “Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of core MD012422: Improving marine tephrostratigraphy of the NW Pacific”, Quaternary

- Science Reviews, Vol. 257, 106808, 2021.
doi:10.1016/j.quascirev.2021.106808
2. Matsu'ura, T., Ueno, T., “Late Quaternary tephrostratigraphy and pollen stratigraphy of Uwa Formation, Shikoku Island, SW Japan: Reconsidering the MIS 11 super-interglacial horizon” , Quaternary Geochronology, Vol. 73, 101383, 2022. doi:10.1016/j.quageo.2022.101383
 3. Matsu'ura, T., Komatsubara, J., Ikehara, M., “ Improving tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy since 1 Ma of Hole U1437B in the Izu-Bonin arc, NW Pacific: Differentiation of widespread tephra with similar shard chemistries” , Quaternary Science Reviews, Vol. 319, 108305, 2023. doi:10.1016/j.quascirev.2023.108305
 4. Matsu'ura, T., Komatsubara, J., “Ontake-Katamachi tephra: marine-terrestrial correlation of a time marker of marine isotopic stage 5b in NE Japan, the Japan Sea, and the NW Pacific” , Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 259, 105876, 2024. doi:10.1016/j.jseas.2023.105876
 5. Miyawaki, M., Sakaguchi, A., “Trench and drilling investigation of the Median Tectonic Line in Shikoku, southwest Japan: implications for fault geometry ” , Earth, Planets and Space, Vol. 73, 194, 2021. doi:10.1186/s40623-021-01526-w

(2) 委託先による公表

● 論文（査読付）

1. Leggett, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Ota, K., Fukuyo, N., Shirahama, Y., “Testing the potential of Serpulidae tubes as an indicator of past relative sea level collected from shored wave dissipating blocks along the Pacific and Japan sea coast of northeastern Japan” , Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, B, Vol. 538, pp. 58–63, 2023. doi:10.1016/j.nimb.2023.02.004
2. Lloyd, S.G., Yokoyama, Y., Aze, T., Miyairi, Y., Abe, K., Echigo, T., “Paleo tsunamis and storm surges recorded by fossil coral on Yakushima Island, Japan” , Radiocarbon, 2024. (in press)

別表 1-2

「断層の活動性評価に関する研究」
に対する外部専門家の評価意見及び専門技術者の意見並びにその回答

【外部専門家】

No.	評価項目	評価意見	回答
系井 達哉 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	適切である。	—
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	適切である。	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	適切である。	—
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	適切である。	—
5	その他	断層変位については、能登半島地震の知見も踏まえて検討が進展することを期待します。この際、施設の安全性、広域災害としての観点など工学的な観点も踏まえることを期待します。	いただいたご意見について拝承致します。
鎌滝 孝信 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	検討会の報告スライド、報告書案などの参考文献リストにより、国内外の過去の研究および最新知見を踏まえていると判断します。	—

No.	評価項目	評価意見	回答
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	適切と判断します。	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	適切と判断します。「活断層の認定及び変位・変形の成因の評価に関する課題」、「活断層の活動履歴の評価に関する課題」ともに現在の知見では評価に限界がある分野と考えられるため、今後新たな手法を確立していただけることを期待します。「海域の古地震履歴評価手法」については、海溝型地震と海底活断層の地震の両者を適切に評価する手法の確立を期待します。	—
4	④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ます。	—
5	その他	今後の予定も含めると成果の公表も適切になされていると判断でき、それら研究成果を踏まえた上で次期研究プロジェクトへと発展させていただきたいと思えます。	いただいたご意見について拝承致します。
酒井 直樹 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	—	—
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	2.1.2.1「古地すべり面の成因評価及び構造性断層との識別」では、MgO に注目し識別指標となるかの検討をしているが、非常に重要であると考えられる。このような地中内の構造を推定するために	いただいたご意見について拝承致します。活断層と非活断層との識別という観点で、令和6年以降、化学組成も含めて検討する予定であり、総合的評価の観点の重要性を意識して取り組みたいと思

No.	評価項目	評価意見	回答
		は、一つの手法での評価でなく、岩石学的事実、地質・地形学的事実、地球物理学的事実と根拠のあるデータが集まれば精度をあげた評価が可能となるよりどころとなるデータを集積してほしい。	ます。
4	④ 重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	令和6年度能登半島地震が発生したこともあり、より陸域海域の活断層の評価は精度を求められる。特に海洋に関しては、海洋研究開発機構や海上保安庁などの調査、研究結果を大いに活用しながら海底地形における微地形判読のような評価手法の確立に挑戦するなど、精度を高める技術開発を行うこと期待される。	いただいたご意見の観点について、重要性を認識しているところです。他の研究プロジェクトも含め、限られたリソースの中で、費用対効果を見定めながら、必要に応じて適用していきたいと思いません。
5	その他	—	—

【専門技術者】

No.	意見の観点	意見	回答
梅木 芳人 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	<p>3.(1) ② b.誘発された断層変位の累積性が活断層評価に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・『震源近傍の地震ハザード評価手法の高度化に関する研究』においても断層変位に関する検討がなされていますが、相互で情報共有していますか。 <p>3.(2) ③中期更新世以降の火山灰年代評価調査方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・『大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究』と相互で情報共有していますか。 	<p>相互に関連する研究については、庁内での報告会の開催、部門内の査読等を通じて、担当職員同士で日常的に情報共有を図っています。</p> <p>同上。</p>
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価方法が適切か。	<p>3.(1) ①断層破碎物質の性状に基づく断層の活動性評価手法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・応力場の比較により最近の断層活動の有無を評価していますが、古応力場解析の信頼性が結果を左右すると思われるので、その点に関する考察が必要とと思います。 <p>3.(1) ② b.誘発された断層変位の累積性が活断層評価に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「主な成果とその意義」において地震ハザード評価への適用の記載がありますが、具体性がありません。例えばロジックツリーの分岐や重みづけ等、使い方を示した方が良いと思います。 	<p>いただいたご意見について拝承致します。解析結果の客観性を担保するために、応力解について、ミスフィット角による応力場の検証や K-means 法を考慮した Otsubo et al. (2006)の手法を用いて決定することで、信頼性の向上に努めています。そのことが分かるように成果報告に追記致します。また、個別の応力解に対する信頼性については、今後、解が実際に存在し得たかという考察も含め論文化を予定しています。</p> <p>安全研究成果報告(案)2.1.2.2.において、本研究は新規基準に則った断層の活動性評価であることを明示し、対応する審査ガイド「4.4. 震源断層の評価」に従って鞍岳断層群を対象にした活断層情報(変位量及び活動間隔等)を収集することを主要な目的としています、また、ガイドではハザ</p>

No.	意見の観点	意見	回答
			<p>ード評価は参照扱いであるものの、ハザード評価における大地震の規模及び頻度の推定に活断層情報は必要不可欠であることから、これにも触れた上で、本研究の実施内容を「誘発された断層変位の累積性と活断層の累積変位量との関係を検討する」と明記しました。その成果として鞍岳断層群の活断層情報(特に累積変位における非地震性変位の比率)を報告しました。これら研究目的と成果の記載は整合しており、また活断層情報も具体性を持って提示しています。しかし、現時点では調査対象断層が少ない上、複数の仮定を含むことから、地震ハザード評価において実用的な活断層情報というよりは、最新知見を用いた試算として扱うべき段階であると認識しています。ご指摘の「ロジックツリーの分岐や重みづけ等」については、ニーズとしては認識していますが、今後の調査・解析によって得られる活断層情報のレベルや不確かさを踏まえた上で将来的に検討すべき課題として捉え、具体化・実用化が可能か否かを判断していく必要があると考えています。</p>
4	④ 重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	—	—
5	その他	<p>4.2 成果の活用等</p> <p>・規制にとどまらず、日本全体の断層活動性評価向上に役立つことを期待します。</p>	<p>研究成果については、波及的効果として原子力規制以外の一般防災の観点からも広く活用されるよう、継続的に公知化を進めていきます。</p>
土志田 潔 氏			
1	① 国内外の過去の研究、最新知	<p>参考資料 3-2、2.2.3 節(p.47-49)に関連し、阿蘇 3 テフラの分布については、星住・他(2024)大規模火砕流分布図 No.4 等、最新の文献も参照されると良い。</p>	<p>ご指摘の参考資料 3-2(安全研究成果報告(案))2.2.3 節における阿蘇 3 テフラの記載について、MD012422 サイト(Matsu'ura et al., 2021)、宮崎県(町田・新井、1994)、琵琶</p>

No.	意見の観点	意見	回答
	見を踏まえているか。		琵琶湖高島沖（長橋他、2004）、伊豆沖 U1437B サイト（Schindlbeck et al., 2018）等、オリジナル文献を適切に引用しています。一方、ご提案の星住他（2024）は、タイトル「阿蘇カルデラ阿蘇 3 火砕流堆積物分布図」に示されるとおり、阿蘇 3 火砕流堆積物の分布に主眼を置いた内容です。そのため、参考資料 3-2 の 2.2.3 節のメインテーマである阿蘇 3 テフラの年代評価において、Schindlbeck et al. (2018)、Matsu'ura et al.(2021)等の重要な海底コアの成果を参照しておらず、最新情報を含んでいないため、星住他（2024）は引用文献として相応しくないと判断しました。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	<p>(1)② a. 資料 1-2p.16、参考資料 3-2p.17 等「MgO 含有量は…一般的に適用できる…指標とはならない可能性がある」とあるが、日本列島では苦鉄質火山岩・深成岩が比較的広域に分布しており、当該地域では指標となる可能性があると考えられる。また、他の地点でも事例研究を行う事が望ましい。</p> <p>(1)② c. 二次断層の成因評価については、プロジェクト「震源近傍の地震ハザード評価」の 3.4 断層変位評価と連携し、一般化を図ることが望ましい。</p>	<p>いただいたご意見について拝承致します。活断層と非活断層との識別という観点で、令和 6 年以降、化学組成も含めて検討する予定です。</p> <p>当該テーマについては令和 6 年能登半島地震の発生を受け、過去の地震における副断層、分岐断層（二次断層）等の調査を実施し、知見を蓄積する予定です。</p>
4	④重大な見落とし（観点の欠落）がないか。	—	—
5	その他	参考資料 3-2 p.65 執筆者一覧について	いただいたご意見について拝承し、適正

No.	意見の観点	意見	回答
		て、記された分担が資料の章立てと異なっている。	化致します。
松山 昌史 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	—	—
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	検討会においてスライド 33 の「地震の発生履歴に関する情報をロジックツリーに展開する方法」については、回答いただいた内容に賛同します。本文への反映いただくとともに、外部発表時にも内容に加えていただきたい。	いただいたご意見について拝承し、検討会において回答した例示について、成果報告に反映いたします。なお、委託先による論文発表の後にはなりますが、ロジックツリーを構築する際に、本研究で取得したような地質データを解釈する際の留意事項を活用する具体例について、今後、論文化を予定しています。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	—	—
5	その他	研究の目的に対して、適切に研究が進められ、一定の成果が出ているものと判断します。	—

Ⅲ. 大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究（R1年度～R5年度）

1. 研究プロジェクトの目的

巨大噴火を起こした火山を対象に、過去の巨大噴火に至るまでの準備・開始プロセスについての知見を蓄積し、過去のカルデラ火山の長期的な活動を評価することに加え、マグマ・火山活動に関するデータを蓄積し、火山活動を捉える観測項目の検討及びそれらの関係についての考え方を整理する。

2. 研究概要

(1) 地質学的手法による火山噴火準備及び進展過程に関する調査・研究

地質調査やボーリング調査から過去の火山活動に関する噴火履歴を詳細に解析し、噴火進展プロセス等の火山の特性に関する知見を蓄積した。また、降灰時の火山灰の空間密度、凝集効果及び粒径に関する特性を地質調査や観測から詳細に解析し、降灰時のプロセス等に関する知見を蓄積した。

(2) 岩石学的手法によるマグマプロセスに関する調査・研究

過去に大規模な噴火（カルデラ形成噴火）をした火山が噴火に至るまでのマグマプロセスを解明するため、マグマの温度・圧力条件や組成の変化からマグマの時空間変化を詳細に解析し、噴火の準備段階におけるマグマ状態の変化（深さ及び滞留時間）に関する知見を蓄積した。

(3) 地球物理及び地球化学的手法による観測手法に関する調査・研究

地球物理学的手法による地下構造調査及び深部流体の同位体分析等の地球化学的手法によるマグマの種別推定に関する調査・研究を実施し、カルデラ火山の観測に有効な探査手法に関する知見を蓄積した。また、水域を含むカルデラの地下構造及び地殻変動を観測する手法を確立した。さらには、地表で観測される地殻変動からマグマの状態変化を評価するためのシミュレーションモデルを構築した。

(4) 観測項目の検討及びそれらの関係についての考え方の検討

上記の(1)～(3)の知見に基づいて、過去のカルデラ火山の長期的な活動を評価した。それらを踏まえ、観測項目の検討及びそれらの関係についての考え方を検討した。

3. 研究成果

(1) 国内の6火山の噴火に至る準備過程

カルデラ形成噴火に至るまでのプレカルデラ期の活動度が低い(3回以下の噴火)火山(支笏、洞爺、十和田)と、プレカルデラ期の活動度が高い(4回以上の噴火を繰り返す)火山(阿蘇、始良)がある(国立研究開発法人産業技術総合研究所の委託研究の成果を含む)。プレカルデラ期の活動度が高い火山で噴出するマグマは、苦鉄質から珪長質マグマへ変化するパターン(阿蘇カルデラ)と、珪長質マグマを噴出し続けるパターン(始良カルデラ)を示した(国立研究開発法人産業技術総合

研究所の委託研究の成果)。カルデラ形成噴火を起こしたマグマ溜まりの上面深さは、地殻浅部の約4-7 kmと推定され、マグマの蓄積時間(大規模なマグマ溜まりを形成してから噴火に至るまでの最短時間)は百年~数千年程度と推定された(国立研究開発法人産業技術総合研究所の委託研究の成果を含む)。

(2) 巨大噴火のマグマプロセスのモデル・シナリオ

カルデラ形成噴火を経て次のカルデラ形成噴火へ向かうような輪廻カルデラに共通するマグマプロセスのモデルとして、地殻浅部(上面深さ4-7 km)に大規模なマグマ溜まりを形成すること、そのマグマ溜まりの形成には、最短でも数百~千年程度の時間スケールが必要となること、そして、この期間は噴火活動が低下することを提案した(国立研究開発法人産業技術総合研究所の委託研究の成果を含む)。

(3) カルデラ火山モニタリングの新たな観測項目となり得る手法

カルデラ下の地震波速度構造が得られている始良カルデラにおいて人工地震を用いた反射法探査を実施した結果、地下の地震波低速度領域の上面で反射する地震波を捉えるとともに、低速度領域内の物性変化を検知できる可能性があることが示され、本手法は新たな観測項目となり得ることを提案した(国立大学法人京都大学の委託研究の成果)。

(4) カルデラ火山の現状評価の考え方

地震活動や広域での地殻変動が認められない静穏な状態にあるカルデラ火山においてこれらの変化が観測された場合、第一に、その時点でのカルデラの地下構造を得ることが必要であり、それには広帯域電磁気探査が有効であることを示した(国立研究開発法人産業技術総合研究所及び国立大学法人京都大学の委託研究の成果を含む)。ゆえに、カルデラ火山の現状評価及びモニタリング評価の基礎となる情報として地下構造の調査を行うことが望ましい。

4. 事後評価結果

(1) 項目別評価

① 成果目標の達成状況 : A

- 過去にカルデラ形成噴火をした火山の噴火の準備過程として、カルデラ形成噴火に至るまでの活動履歴及びマグマプロセスに関する知見を蓄積し、始良、阿蘇及び十和田カルデラの現在の地下構造の状態を示すデータを得た。これらを踏まえ、カルデラ形成噴火に至るモデル・シナリオ、現状評価の考え方を提案した。よって目標を達成したと考える。

② 成果の公表等の状況 : S

- 委託先から査読付論文14件を公表した。
- 委託先が日本火山学会論文賞を受賞した。

③ 研究の進め方に関する技術的適切性 : A

- 国内外の専門家との議論を通して、研究の進め方、成果の妥当性を確認している。

また、国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえた上で、適切な手法にて研究を実施している。技術評価検討会での外部専門家からの意見も踏まえ、技術的適切性をもって研究が進められたと判断した。

(技術評価検討会における主な意見及びその対応)

- 解析実施手法、実験方法については適切であるが、結論を導くにあたり、様々な仮定（前提条件）に基づいていること、それらの仮定が成り立たない場合にどのようなようになるのかといった検討に資するような取りまとめがされているとより望ましいとの意見があった。また、原子力規制の観点から想定外は許されないので、このような大規模噴火プロセスやモニタリング技術確立へ向けた研究は続けて欲しいとの意見もあった。今後、これらの不確実さを低減する研究や大規模噴火を起こした火山のモニタリング評価に資する研究を展開することとする。
- 解析結果の評価手法、実験結果の評価手法については、カルデラ火山ではカルデラ形成噴火以降も珪長質マグマが活動することがしばしば観察されることから、全岩化学組成だけではカルデラ形成噴火との区別が難しいことも予想されるため、他の指標としてマグマ溜まりの温度等にも着目する必要があるとの意見があった。今回の安全研究プロジェクトでは、6火山の調査から、珪長質マグマの噴出が必ずしもカルデラ形成噴火の前兆となるとは限らないことを示したが、今後は他の指標での活動可能性評価についても検討を行っていくこととする。
- 詳細は別表 1-3 参照。

④ 研究マネジメント及び予算・契約管理の適切性：A

- 委託先を含め適切な研究体制を構築し、計画どおりに進捗させ目標を達成していることから、研究マネジメントは適切であると評価する。予算執行、進捗管理及び検収を含めた契約業務を、法令等を遵守して実施しており、適切に業務管理が行われたと判断した。

⑤ 成果の規制への活用の状況・見通し：B

- 本プロジェクトで得られた“巨大噴火を起こすソースとなる巨大なマグマ溜まり生成のプロセスやマグマが蓄積する時間的なスケールについての知見”等は、今後、得られた知見を評価対象となる火山の状態評価に活用できるように整理されれば、規制へ活用できると考えられる。(地震・津波審査部門)

(2) 総合評価：A (総合点：3.0)

- 担当安全技術管理官等による評価コメント
計画どおりに調査・研究が進められ、カルデラ形成噴火に至るモデル・シナリオを提案することができた。また、規制に活用できる整理には至っていないが、本プ

プロジェクトの成果は多くの論文として発表され、そのうち一編の論文が学術的価値を認められ、日本火山学会論文賞を受賞したことから、上記評価とする。

5. 評価結果の今後の活用

- 本研究プロジェクトで得た成果のうち未公表の内容については、規制活動における活用を促進するため、技術評価検討会でいただいた意見を踏まえて、論文等の公表を進める。
- また、技術評価検討会でいただいた意見のとおり、過去のカルデラ形成噴火に関する研究については、一定程度の仮定に基づいており、得られた知見には不確かさが含まれる。そのため、いただいた意見を踏まえ、これらの不確かさを低減する研究、大規模噴火を起こした火山のモニタリング評価に資する研究、降灰による機器への影響評価に関する研究として展開する予定である。

(主な成果の公表)

(1) 原子力規制庁の職員が著者に含まれる公表
なし

(2) 委託先による公表

- 論文 (査読付)
 1. Matsushima, N., Utsugi, M., Takakura, S., Yamasaki, T., Hata, M., Hashimoto, T., Uyeshima, M., "Magmatic-hydrothermal system of Aso Volcano, Japan, from electrical resistivity structures", *Earth Planets Space*, Vol. 72, No. 57, 2020. doi:10.1186/s40623-020-01180-8
 2. Yamasaki, T., Sigmundsson, F., Iguchi, M., "Viscoelastic crustal response to magma supply and discharge in the upper crust: Implications for the uplift of the Aira caldera before and after the 1914 eruption of the Sakurajima volcano", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 531, 115981, 2020. doi:10.1016/j.epsl.2019.115981
 3. 筒井智樹、為栗健、井口正人、「人工地震記録による始良カルデラ西部の地殻内S波地震反射面の推定」、*火山*、66巻、2号、pp. 71-81、令和3年
 4. 奥野充、井口正人、三好雅也、三浦大助、小林淳、橋本武志、大場武、佐藤鋭一、宝田晋治、「特集「噴火史研究と火山観測を統合した新たな火山像の確立」について」、*火山*、66巻、2号、pp. 65-70、令和3年
 5. Yamasaki, T., Sigmundsson, F., Iguchi M., "Variable inflation rate of a magmatic deformation source beneath Aira caldera after the 1914 eruption of Sakurajima volcano: Inferences from a linear Maxwell viscoelastic model constrained by geodetic data", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 421, 107446, 2022. doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107446

6. 為栗健、八木原寛、筒井智樹、井口正人、「高分解能な3次元地震波速度構造解析による始良カルデラ下のイメージング」、火山、67巻、1号、pp. 69-76、令和4年
7. 星住英夫、宮縁育夫、宮城磯治、下司信夫、宝田晋治、「阿蘇火山、阿蘇4/3降下テフラ群の層序と噴火活動史—阿蘇4火砕流噴火への準備過程—」、火山、67巻、1号、pp. 91-112、令和4年
8. Nakatani, T., Kudo, T., Suzuki T., "Experimental Constraints on Magma Storage Conditions of Two Caldera-Forming Eruptions at Towada Volcano, Japan", *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, Vol. 127, No. 5, e2021JB023665, 2022. doi:10.1029/2021JB023665
9. 大沢信二、網田和宏、三島壮智、齋藤圭、政本風人、高橋浩、森川徳敏、「火山性流体の沿岸海底流出検出のための地球化学曳航観測システムの試作と火山性CO₂湧昇域における性能評価」、日本水文科学会誌、52巻、3号、pp. 107-121、令和4年
10. Miyagi, I., Hoshizumi, H., Suda, T., Saito, G., Miyabuchi, Y., Geshi, N., "Importance of long-term shallow degassing on the genesis of massive felsic magma: A case study of Aso caldera, Kyushu, Japan", *Journal of Petrology*, Vol. 64, No. 3, egad009, 2023. doi:10.1093/petrology/egad009
11. Iwamori, H., Nakamura, H., Morikawa, N., Takahashi, M., Inamura, A., Haraguchi, S., Nishizawa, T., Sakata, S., "Groundwaters and deep-seated fluid circulation around Aso Volcano, Southwest Japan, revealed by multivariate statistical analysis of the geochemical data", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 433, 107739, 2023. doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107739
12. Hasegawa, T., Greve, A., Gravley, D. M., Kusu, C., Kaneda, Y., Shibata, S., Okada, M., Kó sik, S., Mochizuki, N., Turner G., "Paleomagnetic constraint of the age and duration of the Taupō Eruption, New Zealand", *Earth Planets Space*, Vol. 75, No. 23, 2023. doi:10.1186/s40623-023-01779-7
13. Yamasaki, T., Sigmundsson, F., Tameguri, T., Iguchi, M., "Influence of a low viscosity zone on the evolution of post-eruption deformation: A case study of the crustal deformation of Aira Caldera after the 1914 eruption of Sakurajima Volcano", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 441, 107871, 2023. doi:10.1016/j.jvolgeores.2023.107871
14. Geshi, N., Miyagi, I., Saito, G., Conway, C. E., "Caldera collapse thresholds correlate with magma chamber dimensions", *Scientific Reports*, Vol. 13, No. 7463, 2023. doi:10.1038/s41598-023-34411-5

- 表彰・受賞

星住英夫、宮縁育夫、宮城磯治、下司信夫、宝田晋治、「阿蘇火山、阿蘇 4/3 降下テフラ群の層序と噴火活動史—阿蘇 4 火砕流噴火への準備過程—」、火山、67 巻、1 号、pp. 91-112、令和 4 年、2024 年度日本火山学会論文賞

別表 1-3

「大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究」
に対する外部専門家の評価意見及び専門技術者の意見並びにその回答

【外部専門家】

No.	評価項目	評価意見	回答
系井 達哉 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	適切である。	—
2	②解析実施手法、実験手法が適切か。	適切であるが、結論が様々な仮定に基づいていること、それらの仮定が成り立たない場合にどのようなになるのかといった検討に資するような取りまとめがされているとより望ましいと考えられる。	ご意見の通り、地球科学分野では過去の現象や地下の現象を取り扱うため、様々な仮定のもとで推定を行っています。この一定程度の仮定の不確実さについては、今後、低減を図る研究として展開するとともに、ご意見の観点でも取りまとめていきたいと考えます。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	『「現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではない」と評価できる。』という主要成果に関する記載は『「現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではない」という評価を行うための、観測の在り方を含む技術基盤の構築に貢献した。』といった表現の方が適切に感じる。	ご意見、拝承致します。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	適切である。	—
5	その他	今後も何らかの形で継続的に検討を継続することが望まれる。また、工学的検討への橋渡しをするような形で研究が発展していくのであればよりよい。	過去のカルデラ形成噴火に関する研究については、一定程度の仮定に基づいており、得られた知見には不確実さを含んでいます。今後は、これらを低減する研究として展開していく予定です。また、工学的検討への橋渡しをする形で、降灰

No.	評価項目	評価意見	回答
			による機器への影響に関する研究として展開する予定です。
鎌滝 孝信 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	検討会の報告スライド、報告書案などの参考文献リストにより、国内外の過去の研究および最新知見を踏まえていると判断します。	—
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	適切と判断します。	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	適切と判断します。大規模噴火については事象の発生する間隔が地震以上に長く、評価手法の確立も困難ということは理解できます。その上で、規制分野に必要な手法を整理して今後の研究プロジェクトへとつなげていただくことを期待します。	過去のカルデラ形成噴火に関する研究については、一定程度の仮定に基づいており、得られた知見には不確実さを含んでいます。そのため、今後は、これらの不確実さを低減する研究、大規模噴火を起こした火山のモニタリング評価に資する研究として展開する予定です。
4	④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ます。	—
5	その他	今後の予定も含めると成果の公表も適切になされていると判断でき、それら研究成果を踏まえた上で次期研究プロジェクトへと発展させていただきたいと思えます。	ご意見、拝承致します。
酒井 直樹 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	ここでは大規模噴火に関わる研究を行っているが、事象は低頻度であるが起こったときの影響は大きいため、非常に重要な研究であるが、過去のデータが少ないことが課題であると考えられる。そのため他機関との連携、データ共有が重	本研究プロジェクトで公表された日本の大規模噴火を起こした火山に関する研究成果をトリガーとして、国内外で類似の研究事例が報告され始めております。まだ公表されていない成果についても、公表をすすめるとともに、研究機関や大

No.	評価項目	評価意見	回答
		要であるので、積極的に行って欲しい。政府も火山研究推進本部が立ち上がったこともあり、そういうところとの連携も重要である。	学と情報交換を行っていく予定です。また、新設された火山研究推進本部とも情報交換を行えればと考えています。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	2.4「観測項目の検討及びそれらの関係についての考え方の検討」では、シナリオを検討して各種モニタリング手法を考えているが、従来あまり使われていない技術を活用することも考えられる。例えば、ALOS-2などのLバンド衛星や小型衛星、ミューオン等を使った探査技術など、空からのデータを定期的に多数取得して、AIで様々な変化の連動をシミュレーションしながら検討することも重要だと思われる。ここでは既存の手法の延長だけでなく、新しい手法の開発にも挑戦してもらいたい。	ご指摘いただいた新たな技術についても研究動向を注視しているところです。今後、活用や応用が期待できる技術については、NRAが行うべき火山モニタリング評価に資する安全研究として取り上げていきたいと考えています。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	原子力の観点からいくと、想定外というのは許されないのので、このような大規模噴火プロセスやモニタリング技術確立へ向けてこのような研究は続けて欲しい。	過去のカルデラ形成噴火に関する研究については、一定程度の仮定に基づいており、得られた知見には不確実さを含んでいます。そのため、今後は、これらの不確実さを低減する研究、大規模噴火を起こした火山のモニタリング評価に資する研究として展開する予定です。
5	その他	ここでは降灰現象の研究も行われているが、噴火したときに一番広域に影響するのが降灰であるので、降灰の物理特性や施設や周辺インフラへの影響度や対策技術も重要な研究対象と考えられる。また降灰時には降雨によって土石流が発生しやすくなることが考えられる。このような噴火に関する二次的な影響について	ご意見の通り、降灰現象は広域に影響を及ぼすものですので、降灰に関する研究では、機器への影響評価に関する研究として展開していく予定です。

No.	評価項目	評価意見	回答
		も検討する研究は必要であると考えられる。	

【専門技術者】

No.	意見の観点	意見	回答
梅木 芳人 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	<p>全般</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2021年8月の小笠原諸島火山「福德岡ノ場」噴火から得られた知見は考慮されていますか。 ・『断層の活動性評価に関する研究』においても Aso-3 等の火山灰年代評価に関する検討がなされていますが、相互で情報共有していますか。 	<p>本研究プロジェクトでは主にカルデラ形成噴火を研究対象としているため、考慮しておりません。しかしながら、暫定値で VEI4 と比較的規模も大きく、また、大量の漂流軽石も発生させたことから、今後、海域火山についての研究も視野に入れていきたいと考えます。</p> <p>相互に関連する研究については、庁内での報告会の開催、部門内の査読等を通じて、担当職員同士で日常的に情報共有を図っています。</p>
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	<p>4. (1) b. 降灰プロセス等に関する地質調査及び観測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・降灰現象の直接観察に関して、湿度、風速、風向などの外気状況の影響についての考察があると良いと思います。 <p>4. (4) <巨大噴火のマグマプロセスのモデル・シナリオ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・地殻浅部の上面深さを「4-7km」とした根拠の考察があると良いと思います。なお、深さの値が「資料1-3」と「参考資料3-3」で異なっていますので確認してください。 	<p>ご意見の観点、重要かと思えます。今回のプロジェクトでは、降灰中の粒子の大きさと落下速度、その後に堆積した火山灰の粒度分布を計測し、降灰時の空間密度に着目した観測手法に関する研究を行いました。機器への影響の観点では、湿度等の気象条件も効き得るので、今後、視野に入れていきたいと考えます。</p> <p>マグマの蓄積深度の推定には、噴出物に含まれる結晶の含水量を測定する手法を用いています。そのため、得られる値は一定程度のばらつきや仮定があることから、最も浅い値を示した深さをマグマ溜まりの上面深さとして記載しております。また、深さの値が「資料1-3」と「参考資料3-3」で異なっている点ですが、4-7 kmと修正すべき箇所と、4-8 kmで正しい箇所があるので、前後の表現を含め、安全研究成果報告では適正に修正いたします。</p>

No.	意見の観点	意見	回答
4	④ 重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	—	—
5	その他	全般 ・次期研究プロジェクトの実施が実現されることを期待します。	ご意見、拝承致します。
土志田 潔 氏			
1	① 国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	委託研究で実施された箇所において、成果を発表した文献や参考文献が記されていない項目がある。 粒子気中濃度、凝集等(参考資料 3-3 p.8-11)や、十和田火山の MT 法による比抵抗構造探査(資料 1-3 p.14、主要成果 9/16)について、学術論文等による成果公表が期待される。	委託研究の成果をもとに査読付き論文が公表されたものについてはそちらを引用し、査読付き論文が公表されていないものについては委託成果報告書を引用しています。一方で、本プロジェクトは委託研究が中心ではありますが、主要成果の説明資料スライド 16 で示した一部の成果には規制庁職員が実施した成果も含まれています。参考文献を記していない項目については、規制庁職員の成果ですが、未発表の内容となります。 未発表の成果については、順次公表を進めていく予定です。
2	② 解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③ 解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	資料 1-3 p.20(主要成果 15/16)等では、「珪長質マグマを…カルデラ噴火の前兆であるか…判断は難しい」と記されているが、カルデラ火山ではカルデラ形成噴火以降も珪長質マグマが活動することがしばしば観察される。このため、全岩化学組成だけではカルデラ噴火との区別が難しい事も予想される。他の指標、例えばマグマ溜まりの温度にも着目する必要があると考えられる。	ご意見の観点、重要かと思えます。今回のプロジェクトでは、6 火山の調査から、珪長質マグマの噴出が必ずしもカルデラ形成噴火の前兆となるとは限らないことを示しました。今後、他の指標での活動可能性評価について検討を行っていくことを考えています。 調査対象とした6火山に共通する活動履歴やマグマの状態を基にモデル・シナリオを作成、提案しています。このモデル・シナリオに照らすと、始良カルデラ、阿蘇カルデ

No.	意見の観点	意見	回答
		<p>参考資料 3-3 2.4 (3) p.35 には、国内の3つのカルデラ火山について、「2.4(1)で述べたように…マグマのモデル・シナリオに該当する状態ではないと評価できる」とあるが、2.4(1)ではよく読み取れなかった。各火山に特定のモデル・シナリオを適用する事の妥当性、モデルへの該当の有無を判定する基準、各火山がモデル・シナリオに該当しないと評価する根拠等を記述いただく事が望ましい。</p>	<p>ラ、十和田カルデラでは、地殻浅部(4～7km)にマグマ溜まりに相当する地震波低速度領域や低比抵抗領域が観測されなかったことから、差し迫っていない状況にあると考えられます。</p>
4	④ 重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	—	—
5	その他	<p>大規模噴火等の研究は今フェーズで一区切りとのご説明があったが、火山活動のモニタリング手法等に関する技術開発を継続される事が望ましい。例えば断層変位分野で実施されている測地学的手法を活用する事が考えられる。また、カルデラ火山のモニタリングを電力会社に行わせているが、今後は新設された火山調査研究推進本部と連携し、全国での観測体制を敷く事が望ましい。</p> <p>用語について、資料 1-3 p.4 目的、参考資料 3-3 要旨には「過去のカルデラ火山」とあるが、「過去のカルデラ火山」は地質時代に活動を終了した火山を指すとも読め、紛らわしい表現である。「カルデラ火山」で過去にカルデラ形成噴火が発生した火山を意味しており、単に「カルデラ火山」が良いと思われる。</p> <p>資料 1-3 p.9, 10 地殻密度 2500 km/m³ は単位の誤記と思われる。また、参考資料 3-3 p.25 に参考文献の記載漏れがある。</p>	<p>カルデラ火山のモニタリング手法の研究については継続する予定です。また、大規模噴火等の研究についても、不確かさを低減するための研究を進める予定であります。規制庁の安全研究プロジェクトとして、観測体制の整備を実施することは難しいですが、新設された火山調査研究推進本部とは、情報交換を行えればと考えております。</p> <p>ご意見の通り、「過去の～」の表記が紛らわしさを生んでいるところもございますが、現時点でのカルデラ火山の活動評価と区別する表現として、修飾しているものになります。説明資料及び参考資料中に誤記等がありましたこと、失礼いたしました。安全研究成果報告では訂正させていただきます。</p>
松山 昌史 氏			

No.	意見の観点	意見	回答
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	—	—
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	—	—
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	原子力発電所の安全審査で行われている火山評価との関係では、巨大噴火の差し迫り状況の判断との説明である、実務の安全審査では火砕流などの立地評価に加えて、火山降灰による影響評価も行われており、後者の火山降灰の評価との関係も示せると考えられるので、その点も背景もしくはまとめて触れてもよいのではないか。	技術評価検討会の説明では、時間の制約上、割愛いたしましたが、降灰に関する影響評価に資する調査研究を行っており、参考資料3-3の安全研究成果報告に記載しております。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	—	—
5	その他	研究の目的に対して、適切に研究が進められ、一定の成果が出ているものと判断します。 火山評価に関する知見は十分とは言えない状況と考えており、今後も研究の継続が望まれる。	ご意見、拝承致します。

IV. 事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究 (R1 年度～R5 年度)

1. 研究プロジェクトの目的

高燃焼度燃料の冷却材喪失事故（以下「LOCA」という。）模擬試験において、細片化した燃料ペレットの燃料棒外への放出（FFRD）、反応度投入事故（以下「RIA」という。）模擬試験におけるペレット被覆管機械的相互作用（PCMI）破損しきい値より低い投入エネルギー（エンタルピ）での燃料棒破損等、現行指針類策定当時には観察されていない高燃焼度燃料に特異な破損挙動が観察されており、それら破損の発生条件等について知見を取得する。また、LOCA 基準を超えるような高温条件での燃料損傷状態については、従来、保守的に評価されてきたが、より正確に評価するため、また、開発が進められている事故耐性燃料（ATF）の評価基盤構築のため、高温条件での燃料損傷挙動について知見を拡充する。

2. 研究概要

- FFRD に関するデータを取得するために、高燃焼度まで使用された燃料の LOCA 模擬試験等を実施した。また、LOCA 後の燃料の耐震性に関して知見を得るために、LOCA 時の温度履歴を経験した被覆管を対象として機械試験を実施するとともに、地震を想定した燃料の振動解析を実施した。
- RIA 模擬実験において低エンタルピで破損した燃料及び内圧破裂破損した高燃焼度燃料について、被覆管の金相観察、実験条件を模擬した燃料棒挙動解析等を実施し、破損原因を調査した。
- LOCA 基準を超える高温条件での燃料損傷挙動について文献調査及び簡易的な解析を実施した。

3. 研究成果

- FFRD 現象について、燃焼に伴う燃料ペレットの微細組織変化と細片化挙動との相関及び高温破裂時の燃料棒内圧が被覆管の破裂開口や燃料ペレット細片化挙動に及ぼす影響について知見を得た。また、LOCA 後の燃料の耐震性について、LOCA 後の地震及び燃料棒状態が本研究で想定した範囲である限り、LOCA 後の地震に対しても燃料棒は形状を維持すると評価した（一部、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構への委託研究）。
- 低エンタルピで破損した燃料について、添加物燃料ペレットの使用により、通常運転中の円周方向引張応力が大きくなった結果、被覆管水素化物の管半径方向への配向割合が増加し、被覆管の延性が低下したことが破損時エンタルピの低下の主な原因であることを示した。また、高燃焼度 MOX 燃料を用いた RIA 模擬試験で見られた内圧破裂破損については、過渡時初期の PCMI 過程を経た後に被覆管温度が上昇して被覆管強度が低下し、さらに、過渡時 FP ガス放出に伴い上昇した内圧に駆動され、燃料棒破裂に至ったと考えられることを示した（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構への委託

研究)。

- 文献調査及び簡易的な解析結果は、炉心の著しい損傷の開始と事故拡大防止策の有効性判断に適用されている現行の LOCA 基準（被覆管最高温度 1200℃）については、過度に保守的でなく、妥当な判断基準であることを示した（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構への委託研究）。

4. 事後評価結果

(1) 項目別評価

① 成果目標の達成状況：A

- 研究計画策定時に予定した項目を計画どおり達成し、FFRD 発生条件や低エンタルピでの PCMI 破損の原因等、高燃焼度燃料に特異な破損挙動について知見を取得することができた。また、知見の少ない LOCA 後の燃料耐震性や高温条件での燃料損傷挙動についても解析等を実施し知見を拡充することができた。

② 成果の公表等の状況：A

- 原子力規制庁から、査読付論文 3 件を公表した。
- 委託先から、査読付論文 11 件、学術会議のプロシーディングス 6 件を公表した。

③ 研究の進め方に関する技術的適切性：A

- 国内外の専門家との議論を通して、研究の進め方、成果の妥当性を確認した。また、国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえた上で、適切な手法にて研究を実施しており、技術評価検討会での外部専門家からの意見も踏まえ、技術的に適切であると判断した。

(技術評価検討会における主な意見及びその対応)

- 本研究の成果を ATF への展開を期待するとの意見があった。これについては、令和 6 年度から新しく始まる研究プロジェクトにおいて、Cr コーティング Zr 合金被覆管を対象に実験を実施し、さらに被覆管の高温挙動等を調査し、知見を取得する予定である。
- 学術的に非常に優れた多くの成果が得られている一方で、それをどう規制に反映するかという展開・展望はあまり見えてこなかったとの意見があった。得られた成果は学術論文等で積極的に公表して広く共有するとともに、論文等の中で、規制との関係や規制への反映についても説明していくこととする。
- 詳細は別表 1-4 参照。

④ 研究マネジメント及び予算・契約管理の適切性：A

- 委託先も含め適切な実施体制を構築して研究を進めた。計画どおりに研究成果が得られたこと、また、原子力規制庁及び委託先から計画的に研究成果を公表できたことから、適切なマネジメントのもとに研究が行われたと評価した。

- 予算執行、進捗管理及び検収を含めた契約業務を、法令等を遵守して実施しており、適切に業務管理が行われたと判断した。

⑤ 成果の規制への活用の状況・見通し：A

- 本プロジェクトから得られた知見のうち、炉心の著しい損傷判断基準に関して新たな知見のないことの確認、および、添加物入り燃料の反応度投入模擬実験での損傷原因に関する検討は、燃料破損基準に関する規制に直ちに反映する事項がない確認として活用された。(技術基盤課)

(2) 総合評価：A (総合点：3.0)

- 研究を適切に遂行して、成果目標を達成するとともに、14 編の査読付論文を公表することができた。また、研究成果は、燃料に関する規制基準値の妥当性確認に活用することができ、さらには、今後の改良型燃料の審査等にも活用できると考えられる。

5. 評価結果の今後の活用

- 本研究プロジェクトで得た成果のうち未公表の内容については、論文等で公表を進める。また、得られた研究結果の規制上の解釈や規制との関係についても、論文等の中で示していく。

(主な成果の公表)

(1) 原子力規制庁の職員が著者に含まれる公表

- 論文 (査読付)
 1. Yamauchi, A., “Study on the relationship between fuel fragmentation during a LOCA and pellet microstructure”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 58, No. 12, pp. 1330-1342, 2021. doi: 10.1080/00223131.2021.1943556
 2. Kitano, K., Akiyama, H., “Research on the properties of high-burnup and high plutonium content mixed-oxide fuels”, Journal of Nuclear Materials, Vol. 572. 2022. doi: 10.1016/j.jnucmat.2022.154075
 3. Kitano, K., Ozawa, M., “The effect of spacer grids on the stress applied to a post-LOCA cladding tube under horizontal vibrations”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 61, No. 4, pp. 498-508, 2023. doi: 10.1080/00223131.2023.2243935

(2) 委託先による公表

- 論文 (査読付)
 1. Udagawa, Y., Sugiyama, T., Amaya, M., “Thresholds for failure of high-burnup LWR fuels by Pellet Cladding mechanical interaction under

- reactivity-initiated accident conditions” , Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 56, No. 12, pp.1063–1072, 2019. doi: 10.1080/00223131.2019.1637795
2. Narukawa, T., Amaya, M., “Four-point-bend tests on high-burnup advanced fuel cladding tubes after exposure to simulated LOCA condition” , Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 57, No. 7, pp.782–791, 2020. doi: 10.1080/00223131.2020.1724207
 3. Narukawa, T., Amaya, M., “Fracture limit of high-burnup advanced fuel cladding tubes under loss-of-coolant accident conditions” , Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 57, No. 1, pp.68–78, 2020. doi: 10.1080/00223131.2019.1659873
 4. Udagawa, Y., Mihara, T., Taniguchi, Y., Kakiuchi, K., Amaya, M., “The Effect of base irradiation on failure behaviors of UO₂ and chromia-alumina additive fuels under simulated reactivity-initiated accidents: A Comparative analysis with FEMAXI-8” , Annals of Nuclear Energy, Vol. 139, 107268, 2020. doi: 10.1016/j.anucene.2019.107268
 5. Li, F., Mihara, T., Udagawa, Y., Amaya, M., “Fracture-mechanics-based evaluation of failure limit on pre-cracked and hydrided Zircaloy-4 cladding tube under biaxial stress states” , Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 57, No. 6, pp.633–645, 2020. doi: 10.1080/00223131.2019.1709996
 6. Kakiuchi, K., Udagawa, Y., Amaya, M., “Fission gas release from irradiated Mixed-oxide fuel pellet during simulated reactivity-initiated accident conditions: Results of BZ-3 and BZ-4 tests” , Annals of Nuclear Energy, Vol 155, 108171, 2021. doi: 10.1016/j.anucene.2021.108171
 7. Li, F., Narukawa, T., Udagawa, Y., “Evaluation of anisotropic elastic and plastic parameters of zircaloy-4 fuel cladding from biaxial stress test data and their application to a fracture mechanics analysis” , Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 59, No. 12, pp.1455–1464, 2022. doi: 10.1080/00223131.2022.2062474
 8. Li, F., Narukawa, T., Udagawa, Y., “The effect of a cyclic bending load on the bending resistance of ballooned, ruptured, and oxidized Zircaloy-4 cladding” , Journal of Nuclear Science and Technology, doi: 10.1080/00223131.2023.2293100
 9. Li, F., Mihara, T., Udagawa, Y., “A study on the fracture pattern change of high-burnup fuel cladding failed by pellet-cladding mechanical interaction failure under reactivity-initiated accident conditions” . Journal of Nuclear Science and Technology, 2023. doi:

doi.org/10.1080/00223131.2024.2313553

10. Mihara, T., Kakiuchi, K., Taniguchi, Y., Udagawa, Y., “Behavior of high-burnup BWR UO₂ fuel with additives under reactivity-initiated accident conditions”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 60, No. 5, pp.512-525, 2023. doi: 10.1080/00223131.2022.2122616
11. Taniguchi, Y., Mihara, T., Kakiuchi, K., Udagawa, Y., “High-temperature rupture failure of high-burnup LWR-MOX fuel under a reactivity-initiated accident condition”, Annals of Nuclear Energy, Vol. 195, 110144, 2024. doi: 10.1016/j.anucene.2023.110144

● 学術会議のプロシーディングス（査読付）

1. Amaya, M., Mihara, T., Kakiuchi, K., “Irradiation growth Behavior of improved Zr-based alloys for fuel cladding”, TopFuel 2019, 2019.
2. Mihara, T., Udagawa, Y., Amaya, M., Taniguchi, Y., Kakiuchi, K., “Behavior of LWR fuels with additives under reactivity-initiated accident conditions”, TopFuel 2019, 2019.
3. Taniguchi, Y., Mihara, T., Udagawa, Y., “Simulation of the effect of radially oriented hydride precipitates on failure limit of high-burnup BWR fuel cladding under PCMI loading”, TopFuel2021, 2021.
4. Mihara, T., Kakiuchi, K., Taniguchi, Y., Udagawa, Y., “Follow-up experimental study on causes of the low-enthalpy failure observed in the reactivity-initiated-accident-simulated test on LWR additive fuels”, TopFuel2021, 2021.
5. Narukawa, T., Udagawa, Y., “Study on mechanism and threshold conditions for fuel fragmentation during loss-of-coolant accident conditions,” TopFuel2021, 2021.
6. Li, F., Udagawa, T., Amaya, M., “Effects of pre-crack depth and hydrogen absorption on the failure strain of Zircaloy-4 cladding tubes under biaxial strain conditions”, ICONE2020, 2020.

別表 1-4

「事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究」
に対する外部専門家の評価意見及び専門技術者の意見並びにその回答

【外部専門家】

No.	評価項目	評価意見	回答
有馬 立身 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	ATF への展開を期待しております。	今年度から新しく始まる研究プロジェクトでは、Cr コーティング Zr 合金被覆管を対象に実験を実施し、被覆管の機械特性等を調査していく予定です。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	特に、問題ありません。	今年度から新しく始まる研究プロジェクトでも、解析手法及び実験方法をよく検討し、適切な手法・方法で研究を進めていきます。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	スライド 12:「破損エンタルピーの低下の原因は半径方向水素化物の生成と判断される。」との結論が出ておりますが、ADOPT ペレットを使用したことと本結論の間の論理が分かりにくい。技術検討会での説明、質問等の回答により理解はできたが、最終的な報告書ではこの辺りをもっとすっきりまとめれると良いと思います。	「安全研究成果報告(案)」の 2.2.1 節において ADOPT ペレットと破損エンタルピー低下との関係について説明していますのでご参照ください。なお、「安全研究成果報告(案)」最終版の説明内容については、いただいたコメントの観点で見直して分かりやすく記載いたします。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	スライド 9: FFRD 事象発生の条件やそれによる被覆管への影響(ここでは温度)が示されているが、ここで重要なことは、スライドのタイトルにもある通り炉心冷却性に与える影響であり、その事故後の冷却性への影響が明瞭ではない。別途、FFRD により放出された量と冷却性能の変化の検討は行っているとのことであったが、もっとこの辺りを明記すべきではないか。	スライドの説明が分かりにくく申し訳ありません。参考資料としてお示しした「安全研究成果報告(案)」の 2.1.1 節に冷却性への影響について説明が記載されておりますのでご参照ください。なお、「安全研究成果報告(案)」の最終版では、いただいたコメントの観点で見直して、分かりやすく記載いたします。

No.	評価項目	評価意見	回答
5	その他	成果の公表・とりまとめについて、黒崎先生からも意見が出ておりましたが、原子力学会での発表を検討会のスライドで見つけられません。学会での発表は他の専門家からも意見をいただける貴重機会であるので、是非積極的に活用して欲しい。	スライドに載せておらず恐縮ですが、「安全研究成果報告(案)」では3.3.2において学会発表を含め成果公表について記載させて頂いております。今後も積極的に原子力学会での発表を活用していきます。
黒崎 健 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	踏まえている。	今後も、燃料関連の国際プロジェクトに参画するとともに、国際学会・国内学会にも参加して、情報を収集し、研究へ反映していきます。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	適切である。	今年度から新しく始まる研究プロジェクトでも、解析手法及び実験方法をよく検討し、適切な手法・方法で研究を進めていきます。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	適切であるが、一点だけ、「著しい炉心損傷の判断基準 1200℃の保守性調査」において、最終的には「1200℃による著しい炉心損傷の判断は、過度に保守的なものではない」との結論に至っているが、その根拠（調査結果のどこを見てそう判断したのか）が、提供された資料だけではよくわからなかった。	解析から、現実的な注水量100m ³ /hであれば、被覆管温度が1300℃に到達するまでに注水することにより、その後の被覆管温度上昇を抑えられることがわかりましたが、1200℃付近からの被覆管温度の上昇速度が大きく、短時間で1200℃から1300℃に到達し、時間的余裕も少ないことから、1200℃を基準として冷却を求めることは過度に保守的でないと判断しました。 上記内容を安全研究成果報告に追記いたします。
4	④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ように見える。	今年度から新しく始まる研究プロジェクトでも、見落としがないよう、関連する情報収集も進めて、研究を進めていきます。
5	その他	従来の想定とは異なる燃料破損挙動を理解することの必要性・意義は非常に高	安全研究から得られた成果につきましては、現行規制基準の見直し要否検討や

No.	評価項目	評価意見	回答
		<p>く、そのニーズに応えるべく理にかなった研究が行われている。将来の ATF 導入に向けた評価基盤構築も重要な課題であり、そちら側も並行して研究がすすめられている。必要不可欠な研究が着実になされているという印象を受けている。学術的に非常に優れた多くの成果が得られている一方で、それをどう規制に反映するかということが本当は重要だと思うが、そのあたりの展開・展望はあまり見えてこなかった。また、受託者任せにするのではなく、規制庁自身が自分事としてとらえることの重要性も常に意識してほしい。要は、得られた成果を理解し、自身の考えを持ち、それを自身の言葉できちんと表現することが重要であるのだが、その意味でいうと、「原子力規制庁の職員が著者に含まれる公表」がもう少し多くあってもよかったかもしれない。</p>	<p>審査での判断根拠として活用しています。スライド 15 ページでも説明させていただいたとおり、OS-1 の低エンタルピー PCMI 破損については、金相観察結果及び解析結果に基づき、現行 PCMI 破損しきい値の見直しは不要であるとの意見を技術情報検討会に報告しました。また、BWR10×10 燃料の型式証明審査も始まりましたが、得られた成果は、申請側評価の妥当性判断の根拠として活用します。</p> <p>安全研究の実施につきましては、その計画策定から得られた成果の取りまとめまで主体的に取り組んでおり、事前・中間・事後評価では規制庁として計画や成果、また、規制への活用の見通しについて説明しております。引き続き、主体的に安全研究に取り組むと同時に、得られた成果については、学術論文としても積極的に公表するとともに、規制上の解釈も示して、事業者申請内容の妥当性判断の根拠や現行規制の見直しに活用していきます。</p>

【専門技術者】

No.	意見の観点	意見	回答
大塚 康介 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	最新の知見が踏まえられていると考えます。今後も国際プロジェクト等と適切に連携していただけますようお願いします。	今後も、OECD/NEAの燃料関連の国際プロジェクトである FIDES-II、SCIP に参画し、情報を収集するとともに、必要な試験を提案する等、連携していきたいと思えます。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	適切と考えます。	今年度から新しく始まる研究プロジェクトでも、解析手法及び実験方法をよく検討し、適切な手法・方法で研究を進めていきます。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	適切と考えます。いくつかの評価結果については、分かりやすさの観点で検討いただいても良いと考えます。 (資料1の10スライド:グラフの情報量が多いため、傾向が分かりにくい。 資料1の14スライド:グラフと結論の関係が分かりにくい。)	スライドの説明が一部分かりにくく申し訳ありません。今後はわかりやすい説明を心がけます。参考資料としてお示しした「安全研究成果報告(案)」ではより詳細な説明を載せておりますので、そちらをご覧くださいれば幸いです。説明内容について、最終の安全研究成果報告ではグラフを追加するなどして修正するようにします。14スライドの結論(1200℃の保守性)につきまして、「安全研究成果報告(案)」の最終版では、いただいたコメントの観点で見直して、分かりやすく記載いたします。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	特にありません。	今年度から新しく始まる研究プロジェクトでも、見落としがないよう、関連する情報収集も進めて、研究を進めていきます。
5	その他	—	—
坂本 寛 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	今回の研究課題は、過去に実施したRIA試験結果の解釈や、SCIPなどで新たに明らかになった現象の理解など、国内外の過去の研究、最新知見を踏まえていると考えられます。一方で、それら背景情報との比較や、比較により導き出される新たな疑問	RIA試験結果の解釈や、SCIPなど国際共同プロジェクトで共有された新たな疑問点につきましては、今年度から始まる新規プロジェクトにおいて随時取り組んでいきたいと考えております。

No.	意見の観点	意見	回答
		点などについてはあまり言及されておらず、今後の取り組みでは考慮いただけると良いかと思います。	
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	会議中にもコメントいたしましたが、特に照射燃料を用いた照射後試験は実施体系を構築すること自身の難易度が高く、また、試験の実施にも相当の困難を伴います。まずは、困難な内容に果敢に取り組んだことを評価いたします。試験方法については、必ずしも最先端技術ではないと感じましたが、実験方法として適切なものであると思われる。一方で、(これも会議中にコメントいたしましたが)解析結果の利用が消極的に見受けられたため、今後の取り組みでは考慮いただけると良いかと思います。	会議中にご指摘頂きました試験結果と解析のリンクですが、本プロジェクトにおいても FEMAXI-8 及び RANNS を始めとする解析コードにより試験の再現解析等を実施しましたが、今後の取り組みにおいては、さらに試験結果の理解のために、また、実炉での影響評価のために解析を利用していきたいと思います。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価方法が適切か。	②に対するコメントとも一部重複いたしますが、実験結果の評価手法として解析結果をより積極的に活用された方が良かったと思われる。	今年度から新しく始まる研究プロジェクトでは、実験結果の評価に、積極的に解析を利用するよう心がけます。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	ATF に対する取り組みも開始されておりますが、まだ予備的な取り組みの範囲であると思われる。従来材と異なり新たな材料であるため、どのような規制が必要になるか等の検討が必要であり、取り組み項目の抽出にあたっては更なる検討が必要であると思われる。	本研究プロジェクトでは、予備的な取組の段階でしたが、今年度から新しく始まる研究プロジェクトでは、Cr-Zr の共晶反応の影響等について、国内で使用される予定の製造法で製造した Cr コーティング Zr 合金被覆管を対象とした実験を実施して、得られた結果をもとに、どのような規制が必要になるか等の検討を行っていく予定です。また、実験の実施にあたっては、事前に、取り組むべき内容及び研究項目をよく検討するようにします。
5	その他	-	-
高畠 勇人 氏			

No.	意見の観点	意見	回答
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	回り込み亀裂発生の判定条件の検討に際して、過去のRIA試験のデータを再整理されている他、SCIPのデータを活用するなど、適切に評価されているものと考えます。	今後も、OECD/NEAの燃料関連の国際プロジェクトである FIDES-II、SCIP に参画し、そこで得られた成果を活用していきます。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	LOCA基準の1200℃の保守性の検討に際して、冷却水注入開始温度をパラメータにして解析評価し、結論を導出されていて適切だと考えます。 ただ、発表資料や報告書案には1300℃時注水の結果のみで、引用文献12をHP探索してみましたが、口頭発表資料しか閲覧できず、当該研究の資料が確認できなかったため、1200℃注水時の解析結果を報告書に追記されるなど、その妥当性の裏付け根拠を記載される必要があると考えます。	1200℃の保守性については、ご指摘を踏まえて、安全研究成果報告の2.3節に1200℃注水時の解析結果及び説明を追記いたします。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	ナノインデンテーション法による直接測定手法の開発は素晴らしい成果だと考えます。 LOCA時の燃料被覆管機械特性に関する評価において、荷重-変位曲線から得られる塑性仕事割合が延性を表す指標として有効であることの導出過程が報告書(案)に記載されていなかったため、追記する必要があると考えます。	コメントありがとうございます。詳細な導出過程については、既発行の報告書において述べられているため、安全研究成果報告ではそちらを引用するとともに、簡単に導出過程を説明するようにします。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	②と③項に記載したように、結論につながる検討プロセスの記載の足りないものがないか、今一度、全体を見返していただきたいと考えます。	コメントありがとうございます。該当項の記載を修正するとともに、記載の足りないものがないか全体を見返すようにします。
5	その他	特になし。	—

V. 使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る 評価手法の研究 (R2 年度～R5 年度)

1. 研究プロジェクトの目的

許認可等の審査の遮蔽分野において、モンテカルロコード及び専用の連続エネルギー断面積ライブラリを用いた遮蔽評価結果に対する妥当性確認を適切に実施するために、当該コードの V&V 手法（検証と妥当性確認；Verification and Validation）及び遮蔽評価結果の信頼性確認手法の知見を拡充する。成果物として、前者に対しては、モンテカルロコードを遮蔽解析に適用する場合の V&V 手順の具体的な要件をまとめた V&V 手順書を作成し、後者に対しては、解析条件の設定から解析結果の妥当性までの確認項目、判断指標等をまとめた信頼性確認に係る技術文書を作成する。

2. 研究概要

●モンテカルロコードの V&V 手法

V&V 手法に関連する日本原子力学会標準「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン：2015」を基礎として当該コードを対象とした際の要求項目を検討し、国産コードの PHITS をモデルケースとした検証作業の試行や、妥当性確認実験（中性子透過実験）の実施をとおして不確かさの定量評価に係る知見を拡充し、V&V 手順書として取りまとめた。

●遮蔽評価結果の信頼性確認手法

輸送容器の遮蔽解析を対象とした先行研究成果を参照し、米国製モンテカルロコード MCNP により定量的な検証解析等を実施し、それらから得られた知見を信頼性確認に係る技術文書として取りまとめた。

3. 研究成果

●モンテカルロコードの V&V 手法

モンテカルロコードに対する V&V 手法について学会標準を基礎として、外部有識者による検討会を 4 回／年、個別テーマの意見交換会合を 5 回／年程度開催し、専門的な意見を取り入れながら具体的な要件について検討した。検討の過程では、PHITS コードをモデルケースとした V&V 手順の試行作業をとおして不確かさの感度の傾向が判明し、それらの知見は V&V 手法の検討に反映した。また、3 種類の妥当性確認実験では、放射線源として RI 標準線源を使用することで線源条件を明確にし、検出器校正にも同一の線源を用いることで、遮蔽実験で生じる不確かさを大きく抑制するとともに、不確かさの定量評価に必要な情報を網羅的に揃えた高精度な実験データを得た。更に、世界的にも実験例が非常に少ない二次ガンマ線に対する実験データについても詳細な不確かさ情報とともに取得した。これらの作業により得られた知見は V&V 手法の検討に反映し、最終成果として許認可等の審査の際に判断の技術的根拠として参照が可能な V&V 手順書として取りまとめた。（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構及び一般財団

法人高度情報科学技術研究機構への委託研究の成果を含む。)

● 遮蔽評価結果の信頼性確認手法

モンテカルロコードによる遮蔽評価結果の信頼性確認手法について外部有識者による検討会を4回／年程度開催し、専門的な意見を取り入れながら検討した。検討の過程では、放射性物質輸送容器の遮蔽解析を対象とした先行研究の成果を参照し、貯蔵容器・施設に範囲を拡大するとともに、現状で許認可等の申請に最も頻繁に使用されている米国製のモンテカルロコードであるMCNPコードを用いた検証解析を実施し、入力条件の変化が評価結果に与える影響やモンテカルロ計算特有の統計的な信頼性の確認方針等、得られた結果や知見を反映した。最終成果として許認可等の審査の際に判断の技術的根拠として参照可能な信頼性確認に係る技術文書として取りまとめた。

4. 事後評価結果

(1) 項目別評価

① 成果目標の達成状況：A

- モンテカルロコードのV&V手法の知見拡充については、当初の計画どおりに各作業を完了し、得られた知見をV&V手順書の形で取りまとめた。モンテカルロコードによる遮蔽評価結果の信頼性確認手法の知見拡充についても計画どおりに各項目の作業を完了し、得られた成果を信頼性確認に係る技術文書として取りまとめた。本研究で作成した技術文書及び研究過程で得られた知見は許認可等の審査を実施する上で有効なものであり、本安全研究プロジェクトの目標を達成した。

② 成果の公表等の状況：B

- プロジェクト期間中の論文等の公表には至らなかったものの、現在、本安全研究プロジェクトで作成したV&V手順書及び信頼性確認に係る技術文書等を取りまとめてNRA技術報告を作成中であり、着実に進んでいることから、公表が見込まれる状況であると判断できる。さらに、本安全研究プロジェクトで実施した妥当性確認実験の国際遮蔽実験データベースへの登録申請のため、論文を作成する作業に着手したところである。なお、日本原子力学会での口頭発表を3件、同学会放射線工学部会主催の研究会等での講演を4件実施した。

③ 研究の進め方に関する技術的適切性：S

- 本プロジェクトでは、年に10回以上の検討会等を開催し(通常は年に1~2回)、外部有識者とともに技術的適切性を丁寧に確認しながら研究を進めた。その結果、(1)解析コードV&V手法については、網羅的かつ詳細な不確かさの定量評価を取り込み、遮蔽解析コードに特化したこれまでにない手法として高度化することができた。(2)遮蔽評価結果の信頼性確認手法については、先行研究例が乏しい統計精度の評価方法等に関して多くの新しい知見が得られた。
- さらに、技術的適切性を丁寧に確認しながら研究を進めたことにより、本プロジェクトで実施した妥当性確認実験においては、国際的に信頼性の高い遮蔽実験及

び解析データを収集している国際遮蔽実験データベースに掲載されている他の実験と比べても、取得データの精度が高く、かつ、不確かさ情報を網羅的に評価するなど、優れたデータを取得しており、遮蔽解析コードの検証や改良に非常に有用であることから、検討会に参加した外部有識者から本実験の国際遮蔽実験データベースへの登録が推奨された。

- 外部有識者と連携しながら研究を進めた結果、解析コード V&V 手法等を高度化できたことに加え、OECD/NEA において、多数の専門家によって有用性が審査・確認される国際遮蔽実験データベースへの登録が期待される貴重な実験を行ったこと、また、それらについて技術評価検討会での評価が高かったことから、技術的適切性に優れていると評価した。

(技術評価検討会における主な意見及びその対応)

- モンテカルロ解析コードの V&V については、非常に地道で慎重さを必要とする大変な作業であるが、まさに安全審査評価の基盤技術であり、このような研究で成果を出されたことに敬意を表すとの評価を受けた。また、今後、乾式貯蔵や輸送容器の審査が増える見通しの中で、研究成果は審査に大いに役立ち、時宜にかなった研究であったとの評価を受けた。これらの意見に対して、本研究成果を活用して、審査を支援していくこととする。
- 本プロジェクトで実施した妥当性確認実験のデータは非常に有用であり、国際遮蔽実験データベースへの登録は非常に大きな研究成果となるので、是非実現してほしいとの意見が複数あった。これらの意見に対して、本妥当性確認実験に関して、論文を作成し、国際遮蔽実験データベースへ登録申請することとする。
- 遮蔽評価結果の信頼性確認手法においては、先行研究及び最新知見を取り入れ非常に有意な取り組みであり、適切な成果が得られているとの評価を受けたが、定量的な信頼性判断基準について知見が不足しているとの意見があった。これらの意見に対して、本安全研究プロジェクトでは、様々な設計や状況に対して一律に定量的判断基準を設定することは困難であると考え、信頼性判断基準の根拠に対して論理的・定性的な説明を求めるとの方針としたが、今後の審査等において定量的な判断基準を設定すべきと判断された項目については具体的に検討することとする。
- 詳細は別表 1-5 参照。

④ 研究マネジメント及び予算・契約管理の適切性 : A

- 研究内容に関連する様々な分野の専門的知見を有する多数の外部有識者による検討会等を複数開催し、委託研究の成果も含め、多様な意見を踏まえて最終成果を取りまとめた。また、研究期間中の許認可審査の動向から各検討項目の重要度を検討し、研究計画に随時反映させた。これらにより適切な研究マネジメントが行われたと判断した。

- 予算の執行及び契約業務を、法令等を遵守して実施しており、適切に予算・契約管理が行われたと判断した。

⑤ 成果の規制への活用の状況・見通し：A

- 本プロジェクトで得られた遮蔽解析の信頼性確認手法等に関する技術的知見は、特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査において、MCNP 5コードを用いて遮蔽評価結果を確認する際の技術的判断根拠として活用された。(実用炉審査部門)
- 本プロジェクトで得られた遮蔽解析の信頼性確認手法等に関する技術的知見は、現行の審査プロセスにおいて既に確認している事項も多く、また、審査に取り入れていない部分については、得られた知見を適合性の判断に活用できる状態には整理されていない。(核燃料施設審査部門)

(2) 総合評価：B (総合点：3.0)

- 適切に研究を遂行し、成果目標を達成することができた。本研究では、外部有識者との検討会等を毎年それぞれ複数回開催して、研究進捗状況を共有するとともに、外部有識者の意見を聴取し、研究へ反映してきた。その結果として、本研究では、国際遮蔽実験データベース登録相当の高精度な妥当性確認実験を実施することができた。今後、国際遮蔽実験データベースへの登録活動を進めるが、登録された場合は、国内外の遮蔽技術や放射線測定技術の向上に貢献することができる。項目別評価結果の平均から得られた評語はAであるが、成果の公表についてはNRA技術報告を作成中であり、公表が見込まれると判断できる一方で、論文及びNRA技術報告の公表には至らなかったことから、総合評価はBとする。

5. 評価結果の今後の活用

未公表の成果については、妥当性確認実験のデータや取りまとめた技術文書を基に、論文及びNRA技術報告として速やかに公表できるよう作業を進め、委託先からも論文等が公表予定となっており、公表される成果は審査の判断根拠に活用する等、許認可プロセスでの有効活用が見込まれる。

(主な成果の公表)

- (1) 原子力規制庁の職員が著者に含まれる公表
なし

- (2) 委託先による公表
なし

別表 1-5

**「使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における最新解析手法に係る評価手法の研究」
に対する外部専門家の評価意見及び専門技術者の意見並びに回答**

【外部専門家】

No.	評価項目	評価意見	回答
浅沼 徳子 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	輸送容器や乾式貯蔵施設に関わる許認可申請における現状の課題が的確に整理され、国内外の許認可プロセスにおける対応状況を踏まえて研究課題が設定されており、非常に有意な取り組みとなっている。また、学会標準を規制に活用する場合の要件を明確にし、その要件に沿った検討がなされており、理に叶った研究と考えられる。遮蔽評価結果の信頼性確認手法の知見拡充においても同様に、先行研究を踏まえ、かつ最新知見を取り入れた検討がなされている。	拝承いたしました。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	V&V 手法の知見拡充においては、不確かさの定量評価を目的として実験計画が立案され、各所の協力を得て測定値を取得しており大変重要な取り組みであると評価する。実際とは異なり、線源強度などの情報が既知の放射線源を用いた測定ではあるが、不確かさを詳細評価するための実測値を得たことは高く評価できる。	拝承いたしました。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	MCNP コードを用いた検証解析の実例 2 件を見る限り、遮蔽評価結果の信頼性確認における解析結果の評価は適切であると判断する。一方で、V&V 手法に関する取り組みにおいては、実験結果に含まれる不確かさが大きいことは理解できたが、パラメータが多数存在し、それぞれが不確かさを有するため複雑化すること	遮蔽評価結果の信頼性確認についてのご意見は拝承いたしました。 V&V 手法における実験結果に含まれる不確かさにつきましては、本研究で実施した単純体系での実験と金属キャスク等の実機を対象とした実験との比較検証は今後の課題の一つであると認識しておりますので、申請の動向や規制ニーズを確

No.	評価項目	評価意見	回答
		を回避した評価となっている。現状は問題ないと判断できたが、今後も知見拡充のために取り組みを続けた方が良いと感じた。	認しながら、検討していきたいと考えております。
4	④ 重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	検討する中で難易度が高いと判断し、実際とは異なる形で評価検討を行った部分がある。また、予測性能の定量化の項目では、解析値と実測値の差に対して考えられる要因が挙げられている。これらは、今後取り組むべき課題として改めて整理されたものと考えられ、現時点で重大な見落としはないとしても、国内外の動向も見つつ継続的に取り組むと良いと考える。	上記のとおり、拝承いたしました。
5	その他	研究成果は許認可申請の審査に大いに役立つものと考えられる。乾式貯蔵や輸送容器の審査が今後増える見通しの中で、時宜にかなった取り組みと言える。	拝承いたしました。
木倉 宏成 氏			
1	① 国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	設定した目標を達成した成果が得られている。 過去の研究結果を踏まえているのはもちろんであるが、本報告作成時点(2024年3月末)での最新知見も反映されていると判断できる。	拝承いたしました。
2	② 解析実施手法、実験手法が適切か。	設定した目標を達成した成果が得られている。 遮蔽解析に特化してモンテカルロ法解析コードのV&Vを実施した手法及び実験は適切と考えられる。	拝承いたしました。
3	③ 解析結果の評価手法、実験結果の	設定した目標をおおむね達成した成果が得られているが、一部十分ではないと考える。	ご指摘、ありがとうございます。 Verification 及び Validation の説明としては、本研究で取りまとめた V&V 手順

No.	評価項目	評価意見	回答
	評価手法が適切か。	<p>数値解法による不確かさの定量評価が Verification になること、及び実験結果の不確かさを定量評価することが Validation になることの説明が不足しているように思われる。また、遮蔽評価結果における信頼性確認の判断基準を定量的に確認されていないと見受けられる。</p>	<p>書の冒頭に次のように記載しております。</p> <p>「コードの検証 (Verification) とは、計算機により解を求める一連の実施プロセスが正しく実行されているかを確認すること、コードの妥当性確認 (Validation) とは、コードによる計算結果と実験結果を比較し、コードの予測性能を評価することを意味する。」</p> <p>上記の記載でも Validation においては実験の不確かさの定量評価が重要であることに触れられておらず、本論の Validation に係る章で説明されておりますので、初出の定義において明確となるよう修正を検討し、後日作成予定の NRA 技術報告においても明確となるよう留意いたします。</p> <p>遮蔽評価結果の信頼性確認における判断基準の定量化については、研究に協力いただいた外部有識者の皆様ともかなり議論を重ねましたが、様々な設計や状況に対して一律に判断基準を設定して規制要求とすることは困難であると考えられるため、判断基準の設定は基本的に計算者側に任せ、その設定根拠に対して論理的な説明を求めるとの方針となりました。研究事業で実施した検証解析の結果等は、それらの説明に対する妥当性判断に用いられます。以上をご理解いただきましたら幸いです。</p>
4	④ 重大な見落とし (観点の欠落) がなにか。	<p>設定した目標を達成した成果が得られている。</p> <p>重大な見落としはないと考えられる。</p> <p>ただし、解析コードの権利や機能・品質の維持可能性等から V&V は極めてむずかしいと考えられ、報告書案 (参考資料 3) にあるように、今回は PHITS コード</p>	<p>V&V 手法でコードのソースプログラムを検証する数学的モデル化作業 (Verification) については、申請者である事業者が独自に実施するにはハードルが高く、コード開発者に依頼することが現実的であろうと、研究事業に協力いただいた外部有識者の皆様の間でも議論</p>

No.	評価項目	評価意見	回答
		<p>が国産でソースプログラムが公開されていたため V&V できたのではないか。他コード(特に外国起源のもの)に対して V&V がどのくらい普及できるか。</p>	<p>がありました。国産コードである PHITS については開発者に委託して検証作業を実施していただきましたので、公表された検証結果を事業者が活用できることとなります。海外コードについては同様にコード開発者に検証作業を依頼することが現実的でない場合は、モンテカルロ法による放射線粒子輸送計算の基本概念がコードによらず同一であることから、公表済みの検証文献と PHITS コードに対する検証結果との比較による評価も可能であろうと考えております。</p> <p>また研究で取りまとめた V&V 手順書では、コードのバージョン管理に係る考え方についても言及しております。</p>
5	その他	<p>報告書案(参考資料3)の参考文献は全て参照可能(公開)か、確認されたい。公開されていないものがあれば、時宜を得た(本報告書の公開に合わせて)公開をお願いしたい。</p>	<p>研究期間(令和2年度~5年度)内の請負成果報告書及び委託事業報告書は現在未公開となっております。これらの報告書については、研究成果をまとめた NRA 技術報告を公表した後に国会図書館に納入され、公開となる予定です。</p>
千葉 敏 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	<p>本研究で解析に用いた PHITS は臨界性の計算は(意図的に)できないものの、放射線輸送計算コードとしては他の国際的コードとも詳細に比較検討され、精度は検証されている。また JENDL-5 は国際的にも最新の核データである。従って本研究で用いられている計算手法、データはすべて現時点で最新であり、過去の研究の成果を踏まえた最新知見を踏まえていると判断される。</p>	<p>拝承いたしました。</p>
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	<p>本研究でスコープとした解析および実験は貯蔵キャスクの遮蔽解析という観点から計算と実験が実行されており適切で</p>	<p>拝承いたしました。</p>

No.	評価項目	評価意見	回答
		ある。実験はすべての条件をカバーできるものではないが、要点を抑えたものであると判断され、新たな知見も得られている。	
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	多岐に渡る不確かさ解析を行っており、具体的な値は論文公表前のため公開されなかったが、得られた結果の評価手法は適切であると判断される。	拝承いたしました。不確かさ評価に対する具体的な結果の数値については、NRA技術報告の中での定量的な議論に活用し、公表する予定となっております。
4	④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。	拝承いたしました。
5	その他	本研究の実験結果は、遮蔽ベンチマークデータとして国際データベースへの登録を是非実現していただきたいと思えます。また、本研究のスコープ外ではありますが、計算コードや核データについて、規制担当機関から研究機関へ適宜、適切なリクエストを表明し、必要であれば支援を実施することが原子力分野の健全な発展にとって非常に有効です。そのためには貴庁において第一線を担う研究が必要ですから、引き続き当該分野における研究を着実に行っていただきたいと希望します。	<p>実験結果については、協力いただいた外部機関の研究者の方々とも連携し、国際データベースへの登録が実現できるように進めてまいります。</p> <p>本研究事業では PHITS コードに対して、分散低減機能や統計指標確認機能の強化を開発者に委託し、コード改良も実施いたしました。これらは PHITS コードの許認可活用を考える上でも有効な機能と考えられます。</p> <p>また核データについても、本研究の経緯や実験解析の結果より、実績のあるデータを盲目的に信頼することのリスクを考慮する必要があると考えられますので、新しい解析技術やデータの開発及び活用環境の整備について検討を進めていきたいと考えております。</p>
村松 健 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	国内外の既往の試験データベース等を調べて行っていること、専門家の助言を受ける委員会を組織して見落としを避ける努力を行っていることから適切と考える。	ご指摘、ありがとうございます。本研究内容については仏国との研究協定に基づく非公開会合で海外の専門家と議論する機会はありませんでしたが、多数の専門家が参加する国際会議での意見交換は行って

No.	評価項目	評価意見	回答
		<p>ただし、本研究の中間段階で国際会議への発表がない（報告書に記載されていない）点については、成果として完結していない情報であっても、計画の考え方や進め方について同分野の海外の専門家の意見を聞く機会になるので、国際会議への参加があるとより良い成果につながった可能性があると考え。（OECD/NEA等での情報交換があれば、それも有効と考えられるので、そうした情報も報告書又は本コメントへの回答に記載されてもよいかと考える。）</p>	<p>おりませんでしたので、今後の研究でより良い成果を出していくうえで、国際会議への参加は重要な点として認識し、計画的に参加するようにいたします。</p>
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	<p>検証のために、試験条件等の詳細を把握できる形で新たな試験データの取得を行うとともに、その不確実さ評価を行い、さらに解析結果との照合から確認すべき点が出てきた場合には見直しを行うという手順を取って、コード検証に用いるという手順を取ったことは、遮蔽解析という複雑な物理現象のシミュレーションの実験的検証という点で、極めて合理的かつ適切と考える。</p>	<p>拝承いたしました。</p>
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	<p>②に合わせて記載。事業の目的を十分に達成していると判断する。</p>	<p>拝承いたしました。</p>
4	④重大な見落とし（観点の欠落）がないか。	<p>特に、重大な見落とし（観点の欠落）と思われる気づき事項はない。</p> <p>なお、現在世界標準的存在である MCNP コードには、ソースコードが非公開という重要な制限があることから、MCNP と国内で開発され詳細まで把握されている PHITS コードとを、可能な範囲で両方使用しながら PHITS の検証を進めたこと</p>	<p>拝承いたしました。</p>

No.	評価項目	評価意見	回答
		<p>は、重大な欠落を防ぐ意味でも、有効であったと考える。</p>	
5	その他	<p>(1) 本研究は、当初の目標を達成しているだけでなく、遮蔽分野で解析コードを用いる際に、コードの検証実績だけを頼りにするのではなく、当該適用事例における評価結果の不確かさ評価を併せて行う新たな評価手法への見通しを与えたものとする。不確かさ評価付き解析結果を準備することはコスト的にも技術的にも負担が大きいので、被ばく線量の程度や設計の新しさなど、評価対象のリスクの特性に応じて選択せねばならないが、一方で、遮蔽容器や施設の設計者にとっても設計段階で不確かさ評価を取り入れることで、より合理的かつ効率的な設計手法に繋がる可能性もあるので、遮蔽技術の進歩にも大きく貢献していると考え。</p> <p>(2) 試験データの不確かさ評価及びコード検証解析で得られた不確かさの要因や寄与度の知見は、今後の安全規制への反映、コード開発、適用解析の各段階で役立つので、今後の論文化、文書化にあたっては将来の継続的な知見蓄積に繋げることを意識して進めていただきたい。</p> <p>(3) 本事業で得られた試験データについては、国際ベンチマーク問題として世界に公開することが検討されているとのことであるが、それが実現されれば、それも重要な成果となるので、ぜひ実現させていただきたい。</p>	<p>(1) 拝承いたしました。</p> <p>(2) 拝承いたしました。不確かさに係る情報が充実した実験データは現状で不足しておりますので、今後の原子力安全の向上に重要な事項であることを認識し、成果の公表や周知等に努めたいと存じます。</p> <p>(3) 実験結果については、協力いただいた外部機関の研究者の方々とも連携し、国際データベースへの登録が実現できるように進めてまいります。</p>

【専門技術者】

No.	意見の観点	意見	回答
中林 弘樹 氏			
1	①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。	国際的に著名な遮蔽ベンチマーク実験のデータベースや、国内の使用済燃料乾式貯蔵事業のために実施された大規模な模擬実験等を調査し、課題出しを行った上で研究方針や研究計画を立案しており、過去の知見を適切に反映したものであると考えます。	拝承いたしました。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	<p>学会標準である「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン」をフルスコープで参照し、V&Vの流れを可能な範囲で適用して試行を行っており、適切な実施計画・方法に基づく研究であると考えます。</p> <p>なお、遮蔽評価結果の信頼性確認手法の知見拡充の際には MCNP6.2 を使用している一方、審査で妥当性を確認する事業者側の使用コードは MCNP5 であることや、研究のなかの Verification の試行では PHITS コードを使用していることについて、それらのバージョン間あるいはコード間で数学的モデルに起因する有意な差異が認められないことは確認済みであると注記しておいてはいかがでしょうか？</p>	<p>許認可申請において事業者が使用する MCNP コードについては、現状では MCNP5 が主軸ですが、一部で MCNP6 も活用されており、原子力分野の遮蔽解析に使用する機能の範囲では有意な差異を生むような違いはないことが確認されています。</p> <p>PHITS コードについては、本研究で実施した実験に対するベンチマーク解析結果の MCNP コードとの比較において、統計誤差の範囲を超える差異が確認されたものもあり、これが両コードの数学的モデルの差に起因するものかどうかを開発者が確認しています。</p> <p>上記の情報については、安全研究成果報告の確定版や後日作成予定の NRA 技術報告において、執筆時の最新の情報を反映したいと考えております。</p>
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	<p>エレメント 4「予測性能の定量化」のプロセスにおいて、実験データと解析結果の比 (C/E 値) に大きなバラツキやバイアスが認められた際に、解析の条件を変更して C/E 値の誤差が基準内に収まるようにイテレーションを行うとしていることについて、それらの変更が単なるフィッティングではなく、初めに観測されたバラツキやバイアスについての物理的な根拠・理由の分析を行って妥当性を確</p>	<p>ご指摘の点については、研究で取りまとめた V&V 手順書に次のように記載しております。</p> <p>「一致していないと判断される場合には、「3.3 物理的モデル化」の手順に戻り、実験、実験ベンチマーク解析、不確かさ評価に問題がないか見直した上で、一致した結果が得られるまで評価しなおす必要がある。ただし、実験ベンチマーク解析の条件などを見直してもこの判定方法</p>

No.	意見の観点	意見	回答
		<p>認した上で変更するものであること（モデルの変更の妥当性に対する説明を求めること）を信頼性確認手法に明記されてはいかがでしょうか？</p>	<p>において一致の判断に至らない、又は実験を再度実施することが困難な場合には、工学的判断により一致した結果が得られるまで不確かさを積み増すことも可能である。」</p> <p>後日作成予定の NRA 技術報告では、さらに補足や具体例を交えて、丁寧に説明してまいります。</p>
4	④ 重大な見落とし（観点の欠落）がないか。	<p>本研究ではスコープ外とした核データライブラリの信頼性や、分散低減法（自動分散低減プログラム）の妥当性についても、その影響度やスコープ外とする場合の扱いを認識し、明確化した上で実施していることから重大な見落としはないと考えます。</p>	<p>拝承いたしました。</p>
5	その他	<p>本研究はこれまで行われてきた同種の取組みに比べて、数学的モデルと物理的モデルを同時に扱いつつ、より詳細にシミュレーションの V&V を実施したという点で重要な成果が得られた研究であったと考えます。一方で、単純な科学研究ではなく安全審査に反映・活用していく研究との位置づけであることから、規制や審査結果の妥当性に対するアカウンタビリティとして、本研究のように専門性が高くかつ詳細な技術成果を社会に向けて分かり易く説明していく取組みが為されれば、成果の有効性がさらに高まるものと考えます。</p>	<p>規制庁で実施している安全研究は、行政機関が進める行政事業の一環ですので、その内容や成果を分かりやすく社会に発信していく取組みは組織的に実施しております。</p> <p>また、安全研究の成果を許認可審査で活用する際には、審査の内容や結果は広く一般に公開されることから、分かりやすい説明や文章作成を意識し、今後も規制活動に貢献したいと存じます。</p>