

令和 8 年度安全研究に係る事後評価結果

令和 8 年 6 月 1 7 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す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、以下に示す 3 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）
1	重大事故時における重要物理化学現象の不確実さ低減に係る実験	R2 - R7 (2020 - 2025)
2	特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル（EAL）見直しに関する研究	R3 - R7 (2021 - 2025)
3	再処理施設及びMOX燃料加工施設における重大事故等の事象進展に係る研究	R3 - R7 (2021 - 2025)

2. 事後評価結果

上記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に係る自己評価（別添）は妥当である。

安全研究に係る事後評価結果

令和 8 年 6 月 1 7 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 7 年度に終了した以下の安全研究プロジェクト 3 件である。

- 1 重大事故時における重要物理化学現象の不確実さ低減に係る実験（以下「重要物理化学現象 PJ」という。）
- 2 特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル（EAL）見直しに関する研究（以下「緊急時活動レベル PJ」という。）
- 3 再処理施設及び MOX 燃料加工施設における重大事故等の事象進展に係る研究（以下「再処理 MOX 加工 PJ」という。）

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別表に示す。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

「3 件の安全研究プロジェクトはいずれも、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。

(2) 「②成果の公表等の状況」について

各プロジェクトの査読付論文及び査読付プロシーディングスの公表数を表 1 に示す。重要物理化学現象 PJ については、原子力の安全に資する質の高い査読付論文及び査読付プロシーディングスとして多数の成果を公表したことから、緊急時活動レベル PJ については、規制の現場で活用されやすい NRA 技術報告を公表

¹ 令和 7 年度（2025 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）。

した点及び学会から表彰を受けるような学術的価値を対外的に認められる査読付き論文を公表したことから、「S」評価とした。

一方、再処理 MOX 加工 PJ については、現時点では未公表であるものの査読付き論文 1 件を投稿中であり今後の公表が見込まれる状況と判断できること等から、「B」評価とした。

表 1 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	重要物理化学現象 PJ	緊急時活動レベル PJ	再処理 MOX 加工 PJ
NRA 技術報告	0	1	0
学会からの論文賞	0	1	0
査読付論文	19 (15)	2 (1)	0 (0)
査読付プロシーディングス	13 (12)	2 (0)	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

３件の安全研究プロジェクトはいずれも、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

３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、規制動向等を基に柔軟に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、３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

緊急時活動レベル PJ については、「緊急時活動レベルの見直し等への対応に係る会合」における EAL 見直し事業に大きく貢献したこと及び引き続き EAL 見直し事業に大きく貢献することが見込まれること並びに「原子力災害時の屋内退避の運用に関する検討チーム」における OSCAAR コードを用いた被ばく線量シミュレーションの実施に際し、解析結果の解釈及び検討において寄与するなど技術的な議論に活用されたことから、「S」評価とした。

再処理 MOX 加工 PJ については、得られた知見が核燃料施設等に対する原子力規制検査に対する有益な情報を含んでいること及び今後事業者と安全性に関する様々な議論を行う際の重要な基盤となりうることから、「A」評価とした。

一方、重要物理化学現象 PJ については、得られた知見が現時点では実用発電用原子炉施設の審査実務において直接活用できるものではないものの、更なる知見の収集・整理が進めば将来的には活用できる可能性があること等から、「B」評価とした。

3.2 総合評価

緊急時活動レベルPJについては、適切に管理されており、NRA 技術報告の公表及び学会論文賞の受賞に加え、それらが規制に大きく貢献した又は今後大きく貢献することが見込まれていることから、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、「S」評価とした。

重要物理化学現象PJについては、適切に管理され、多数の査読付論文及び査読付プロシーディングスを公表しており、成果の規制の活用は将来的には活用が見込まれていることから、基礎評語のとおり、「A」評価とした。

再処理 MOX 加工PJについては、適切に管理され、今後の規制に活用され得る成果が得られたが、成果の公表が不十分であったことから、基礎評語のとおり、「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、3 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、追跡評価で確認していく。

別表 安全研究に係る事後評価結果の全体概要

評価項目		重要物理化学現象 PJ	緊急時活動レベル PJ	再処理 MOX 加工 PJ
項目別評価※1	① 成果目標の達成状況	A(3)	A(3)	A(3)
	② 成果の公表等の状況	S(4)	S(4)	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)
	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)
	⑤ 成果の規制への活用の状況・見通し	B(2)	S(4)	A(3)
項目別評価結果の総合点		15	17	14
項目別評価結果の平均点及び基礎評語		3.0(A)	3.4(S)	2.8(B)
評価結果(全体評語)		A	S	B

※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。

技術評価検討会 名簿

(五十音順)

1. 第 14 回シビアアクシデント技術評価検討会（令和 8 年 4 月 16 日開催）

外部専門家

牟田 仁	東京都市大学 大学院総合理工学研究科 教授
守田 幸路	九州大学大学院 工学研究院 エネルギー量子工学部門 教授

専門技術者

井村 論	三菱重工業株式会社 原子力セグメント 炉心・安全技術部 次長
田原 美香	株式会社東芝 原子力安全システム設計部 安全システム技術第二グループ シニアエキスパート

2. 第 9 回核燃料サイクル技術評価検討会（令和 8 年 4 月 28 日開催）

外部専門家

浅沼 徳子	東海大学 工学部応用化学科 准教授
新井 剛	芝浦工業大学 工学部 物質化学課程担当 教授
本間 俊司	埼玉大学 オープンイノベーションセンター 教授

専門技術者

田口 茂郎	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 TRP 廃止措置技術開発部 技術主席 兼 分析課 課長
-------	--

安全研究のプロジェクトごとの事後評価結果

令和 8 年 6 月 17 日
原子力規制庁重大事故時における重要物理化学現象の不確実さ低減に係る実験（R2 年度～R7 年度）

1. プロジェクトの目的

軽水炉での重大事故の発生防止、拡大防止及び環境影響緩和の各段階において未だ大きな不確実さが残されている五つの物理化学現象（プールスクラビング、ソースターム、重大事故時に想定される雰囲気熱流動挙動、粒子状デブリの冷却性及びプール内温度成層化）について、その機構を把握するために実験データを取得する。また、取得した実験的知見に基づいて、重大事故の収束に向けた対策への実際的な影響の有無を確認する。

2. 研究概要

重大事故時の原子力施設の安全性を向上させるためには、重大事故の緩和策を踏まえて事象進展やソースタームを現実的に評価することが重要である。一方、重大事故時の格納容器機能維持や事象進展に影響する物理化学現象の評価では依然大きな不確実さが存在する。本プロジェクトでは、これらの物理化学現象の機構の把握に資する知見を拡充することを目的として、令和 2 年度から令和 7 年度までの 6 か年度計画で、重大事故時に想定される現象の評価において未だ大きな不確実さが残されている五つの現象を対象に実験データを取得した。

3. 研究成果

プールスクラビングについて、国立大学法人筑波大学及び国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）への委託事業により小規模及び中規模の実験を実施した。ここでは単一気泡及び気泡群におけるエアロゾル輸送の促進等の物理的機構やプール水温の除染係数への影響を明らかにした。ソースタームについて、JAEA への委託事業並びに JAEA 及び国立大学法人福井大学との共同研究により、化学反応、再移行挙動、気相化学・物質移行及びペレットからの放出の各現象に着目した基礎実験を実施した。ここでは燃料からの放射性物質の放出速度係数や気液間移行に係る物質移行係数について導出モデルを構築するとともに、CsI と MoO_3 の反応による再蒸発現象を確認した。重大事故時に想定される雰囲気熱流動挙動について、JAEA への委託事業により、 600°C 以上の高い温度を含む条件で実験を実施した。ここでは格納容器上部フランジ部における高温の噴流による壁面熱伝達、外面冷却時の自然循環による密度成層の解消、ベント及びスプレイの水素濃度分布への影響、原子炉建屋における水素移行挙動等、熱流動現象の機構を明らかにした。粒子状デブリの冷却性について、一般財団法人電力中央研究所への委託により個別効果実験及び総合効果実験を実施した。

ここでは粒子状デブリの伝熱特性や粒子層と壁面接触領域及び粒子層内の流動特性を明らかにした。プール内温度成層化について、学校法人早稲田大学との共同研究により、温度評価において着目すべき熱流動現象を対象に実験を実施した。ここでは温度成層化の形成及び解消機構を明らかにした。

4. 事後評価結果

(1) 項目別評価

① 成果目標の達成状況 : A

- 研究計画に記載された実施項目を完了し、重大事故時の格納容器機能維持や事象進展に影響する物理化学現象のなかで、依然大きな不確実さが存在する物理化学現象について、その機構の把握に資する知見を拡充できた。

② 成果の公表等の状況 : S

- 原子力規制庁から、査読付論文 4 件及び査読付プロシーディングス 1 件を公表した。
- 委託先から、査読付論文 15 件、査読付プロシーディングス 12 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)

- 既往の研究や国内外の情報や状況などを踏まえて研究を行っているとは評価する。
- 解析実施手法及び実験方法は、対象現象ごとの不確実さに対応して適切に設定されているとは評価される。
- 重大事故評価上の主要な物理化学現象は概ね網羅されており、重大な観点の見落としはないと判断される。
- どのような不確かさが存在しているか、体系的な分析が必要であるとの意見があった。これについては、令和 9 年度から開始する研究プロジェクトにおいて整理する予定である。
- 詳細は別表 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

- 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重大事故時の物理化学現象に関わる不確実さ低減のための技術的知見は、現時点では基礎的知見の蓄積段階にあり実用発電用原子炉施設の審査実務において直接活用できるものではないが、更なる知見の収集・整理が進めば将来的には活用できる可能性がある。（B、実用炉審査部門）
- 本プロジェクトで取得した原子炉建屋の壁面での蒸気凝縮に伴う水素の移行機構に関する知見は、東京電力福島第一原子力発電所3号機原子炉建屋水素爆発のメカニズム把握に係る継続的な調査・分析に活用され、同発電所における事故の分析に係る検討会での議論や、同発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめの別添資料執筆を通して、随時、検討結果の報告がなされている。（B、東京電力福島第一原子力発電所事故対策室）

(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、委託先を含め合計で19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、重大事故進展を踏まえた水素挙動等に関する研究のなかで解析評価モデルの構築等に活用しており、更なる知見の収集・整理を進めることで、将来的には実用発電用原子炉施設の審査実務等において直接活用できる可能性があると考えられる。

5. 評価結果の今後の活用

本研究で得られた成果は、静的冷却システム、コアキャッチャ等の建替原子炉で導入される可能性がある新しい技術に関する研究の企画に活用する。

(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 技術報告
なし
- NRA 技術ノート
なし
- 論文（査読付）
 1. Sekine, M., Tsukamoto, N., Masuhara, Y., Furuya, M., Experimental Study on Thermal Stratification in Water Pool with Vertical Heat Source, Annals of Nuclear Energy, Vol. 207, 110681, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2024.110681>.
 2. Taira, M., Fujiwara, T., Arita, Y., Study on CsI release rate coefficient from fuel for source term evaluation, Annals of Nuclear Energy, Vol.216, 111288, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2025.111288>.

3. Nanjo, K., Ishikawa, J., Sugiyama, T., Pellegrini, M., Okamoto, K., Revolatilization of iodine by bubbly flow in the suppression pool during an accident, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.59, No.11, pp. 1407-1416, 2022, <https://doi.org/10.1080/00223131.2022.2062065>.
4. Nanjo, K., Shiotsu, H., Maruyama, Y., Sugiyama, T., Okamoto, K., Estimation for mass transfer coefficient under two-phase flow conditions using two gas components, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.60, No.7, pp.816-823, 2023, <https://doi.org/10.1080/00223131.2022.2146015>.

- 学術会議のプロシーディングス（査読付）

1. Sekine, M., Furuya, M., A novel method for measuring temperature and velocity fields with metal-coated optical fiber, ISMTMF 2023, 2023.

- 表彰・受賞
なし

（２）委託先による公表

- 論文（査読付）

1. Fujiwara, K., Yoshida, K., Kaneko, A., Abe, Y., Experimental and numerical investigations of aerosol transportation phenomena from single bubbles, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 195, 123160, 2022, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123160.
2. Yoshida, K., Fujiwara, K., Nakamura, Y., Kaneko A., Abe, Y., Experimental Study of Interfacial Area of Bubble Plume Based on Bubble Tracking by Wire-Mesh Sensor, Nuclear Engineering and Design, Vol. 388, 111645, 2022, doi: 10.1016/j.nucengdes.2021.111645.
3. Sun, H., Leblois, Y., Gelain, T., Porcheron, E., Experimental and analytical investigations on aerosol washout in a large vessel with high spray coverage ratio simulating PWR containment spray, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 257, 2055673, 2022, doi: 10.1080/00223131.2022.2055673.
4. Fujiwara, K., Yoshida, K., Nakamura, Y., Kadoma, S., Kaneko, A., Abe, Y., Investigation of aerosol transportation phenomena in pool scrubbing by combining bubble plume measurements and single-bubble mass transfer analysis, Annals of Nuclear Energy, Vol. 196, 110207, 2024, doi: 10.1016/j.anucene.2023.110207.
5. Rizaal, M., Nakajima, K., Suzuki, E., Miwa, S., Impact of molybdenum on iodine chemistry during fission product transport phenomenology, Annals

- of Nuclear Energy, Vol. 218, 111433, 2025, doi: 10.1016/j.anucene.2025.111433.
6. Sun, H., Sibamoto, Y., Hirose, Y., Kukita, Y., The dependence of pool scrubbing decontamination factor on particle number density: modeling based on bubble mass and energy balances, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 58, No.9, pp.1048–1057, 2021, doi: 10.1080/00223131.2021.1907254.
 7. Abe, S., Hamdani, A., Ishigaki, M., Sibamoto, Y., Experimental investigation of natural convection and gas mixing behaviors driven by outer surface cooling with and without density stratification consisting of an air-helium gas mixture in a large-scale enclosed vessel, Annals of Nuclear Energy, Vol. 166, 108791, 2022, doi: 10.1016/j.anucene.2021.108791.
 8. Ishigaki, M., Abe, S., Hamdani, A., Hirose, Y., Numerical analysis of natural convection behavior in density stratification induced by external cooling of a containment vessel, Annals of Nuclear Energy, Vol. 168, 108867, 2022, doi: 10.1016/j.anucene.2021.108867.
 9. Hamdani, A., Abe, S., Ishigaki, M., Sibamoto, Y., Yonomoto, T., CFD analysis on stratification dissolution and breakup of the air-helium gas mixture by natural convection in a large-scale enclosed vessel, Progress in Nuclear Energy, Vol. 153, 104415, 2022, doi: 10.1016/j.pnucene.2022.104415.
 10. Abe, S., Sibamoto, Y., Large-eddy simulation on gas mixing induced by the high-buoyancy flow in the CIGMA facility, Nuclear Engineering Technology, Vol. 55, No.5, pp.1742–1756, 2023, doi: 10.1016/j.net.2023.01.019.
 11. Hamdani, A., Soma, S., Abe, S., Sibamoto, Y., Non-condensable gas accumulation and distribution due to condensation in the CIGMA facility: Implications for Fukushima Daiichi Unit 3 (1F3), Progress in Nuclear Energy, Vol. 185, 105771, 2025, doi: 10.1016/j.pnucene.2025.105771.
 12. Soma, S., Ishigaki, M., Sibamoto, Y., Experimental study on light gas transport during containment venting by using the large-scale test facility CIGMA, Annals of Nuclear Energy, Vol. 219, 111455, 2025, doi: 10.1016/j.anucene.2025.111455.
 13. Abe, S., Hirose, Y., Sibamoto, Y., On turbulence production in a jet passing through a grid-type obstacle: An LES approach, Results in Engineering, Vol. 27, 106307, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.106307.
 14. Ueda, S., Arai, T., Furuya, M., Okawa, R., Multidimensional measurement of air-water two-phase flow in particulate bed using refractive-index-

- matching method and wire-mesh sensor, Mechanical Engineering Journal, Vol. 11, No. 2, 2024, doi: 10.1299/mej.23-00496.
15. Shiotsu, H., Kinetic and thermodynamic controls on CsI-Mo gas-phase reactions under varying oxygen potentials, Progress in Nuclear Energy, Vol. 195, 106300, 2026, doi: 10.1016/j.pnucene.2026.106300.

● 学術会議のプロシーディングス（査読付）

1. Kadoma, S., Fujiwara, K., Yoshida K., Kaneko, A., Measurement of Gas-Liquid Interfacial Area Concentration and its Effect on Aerosol Behavior in Pool Scrubbing, 29th International Conference on Nuclear Engineering, 90448, 2022, doi: 10.1115/ICONE29-90448.
2. Yoshida, K., Fujiwara, K., Kaneko A., Abe, Y., Experimental Study on Bubble and Aerosol Behavior During Pool Scrubbing, 28th International Conference on Nuclear Engineering, 61490, 2021, doi: 10.1115/ICONE28-61490.
3. Soma, S., Ishigaki, M., Abe, S., Sibamoto. Y., Measurement of velocity and temperature profiles in boundary layer with steam condensation, Proc. of the 19th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-19), 35503, 2022.
4. Hamdani, A., Soma, S., Abe, S., Sibamoto, Y., CFD Analysis of Thermal Radiation Effects on Large Containment CIGMA Vessel with Weighted Sum of Gray Gases (WSGG) Model, Proceedings of International Symposium on Zero-Carbon Energy System (IZES), A13-5, 2023.
5. Yamashita, A., Ishigaki, M., Abe, S., Soma, S. Sibamoto, Y., Nagai, T., Numerical evaluation of influence of radiative heat transfer model on containment thermal-hydraulics, Proceeding of the 13th Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety, 1138, 2024.
6. Hamdani, A., Soma, S., Abe, S., Sibamoto, Y., Experimental Analysis of Non-Condensable Helium and Steam Distribution Due to Condensation in the CIGMA Facility Simulating the Reactor Building, Proceedings of 21st International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-21), 2025.
7. Abe, S., Sibamoto, Y., Hamdani, A., Soma, S., A LES-Based Investigation of Natural Convection in the CIGMA Vessel under Localized Outer Surface Cooling: Application to the CC-PL-26 Experiment, Proceeding of CFD4NRS-10, P-0059, 2025.
8. Okagaki, Y., Takeda, T., Wada, Y., Abe, S., Ichihara, K., Shiotani, H., CFD SIMULATION OF CORE EXIT TEMPERATURE BEHAVIOR DURING LSTF SMALL-BREAK LOCA EXPERIMENT, Proceedings of CFD4NRS-10, P-0050, 2025.

9. Ishigaki M., Hirose, Y., Sibamoto, Y., Investigation of High Accurate Numerical Simulation for Steam Condensation Behavior in a Containment Vessel by Data Assimilation, Proceedings of CFD4NRS-10, P-0048, 2025.
10. Ueda, S., Arai, T., Furuya, M., Okawa, R., Visualization of two-phase flow in particulate bed by refractive index matching method using CYTOP, Proceedings of the 11th International Conference on Multiphase Flow (ICMF2023), 2023.
11. Ueda, S., Arai, T., Furuya, M., Okawa, R., Multi-dimensional two-phase flow measurements in simulated particle debris using wire-mesh sensors and high-speed camera, Proceedings of The International Conference on Nuclear Engineering (ICONE) 30, 2023.
12. Ueda, S., Arai, T., Furuya, M., Okawa, R., BOILING FLOW THROUGH HEATED PARTICULATE BEDS FABRICATED BY METAL 3D PRINTER, Proceedings of the 13th Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (NTHAS 13), 2024.

別表 1

重大事故時における重要物理化学現象の不確かさ低減に係る実験 の評価意見及び専門技術者の御意見並びに回答

(外部専門家からいただいた評価意見及び回答)

牟田 仁 氏

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	既往の研究や国内外の情報や状況などを踏まえて研究を行っている」と評価します。本項目については、不確かさの低減を行うための実験や検討を行っていますが、低減の検討の前段階として、どのような不確かさが存在しているか、体系的な分析が必要であると考えます。先行する研究に基づいて選定した経緯があり、当日の説明ではあまり触れていなかったということで問題はありますが、まずは不確かさの整理とその扱いについての説明を経て、研究の実施項目の説明というステップの踏んだ方が良かったかと考えます。	拝承致しました。今後の説明では、頂いたご指摘を踏まえ行なって参ります。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	実験条件の設定については、種々検討された上で設定されているものと推察します。どのような根拠、あるいは考えから設定されたものなのか、考え方を明示するのは重要です。検討会の時間でそこまで説明するのは難しいと思われしますが、実験の妥当性を評価するのに重要と考えますので、説明に含めていただきますよう、今後の要望として挙げさせていただきます。	個々の実験の条件設定についての詳細をご説明することは時間の制約から難しい状況です。今後は、技術的な妥当性についてご意見を頂くため、その根拠、考え方についてご説明をさせて頂くように致します。なお、個々の実験条件の設定などの妥当性については、安全研究成果報告書で引用している公開済みの論文等に記載しています。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	各項目の実験結果の反映について、もう少し具体的な説明があると良かったと考えます。実験結果、成果に関しては、例えば解析モデル等にすぐに反映できるものや、この先いくつかのステップを経て反映されていくもの、知見としてまとめられるものなど、様々な属性があると考えられます。このような観点から、現状を詳しく記載することで、ここまでの研究ではどこまで達成できたかがより明確になり、全般的なロードマップへのフィードバックも有効に働くと思われ	シビアアクシデント技術評価検討会では、時間の制約から個々の実験結果の反映について説明することは難しい状況でした。一方、安全研究成果報告書において、個々の実験内容を説明する各章の最後に「総合評価」を設けており、「解析手法の高度化」ではモデルへの反映状況を説明しております。後継の研究プロジェクトでは、この反映状況も踏まえて研究計画を立案いたします。
4	④重大な	本研究において検討すべき「不確かさ」とし	拝承致しました。今後の説明では、頂いた

	見落とし (観点の 欠落)が ないか。	て挙げられた項目は、様々検討された重 大事故時における重要物理化学現象の不 確かさの項目から、優先的に検討すべきと の判断に基づいて選定されているものと思 います。①で記載した内容とダブるところ がありますが、この研究で対象とした不確 かさ項目の選定過程についての説明を何 処かにまとめておくことを希望します。	ご指摘を踏まえ行って参ります。
5	その他	特になし。	—

守田 幸路 氏

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	国内外の過去の研究及び最新知見は、プロジェクト全体として十分に踏まえられていると評価されます。本研究では、OECD/NEA 関連プロジェクト、PHEBUS FP、1F 事故分析、前プロジェクト成果等を踏まえ、重大事故進展評価上重要で、かつ不確実さが大きい5つの現象を対象としており、研究対象の選定は妥当と判断されます。一方で、既往研究との関係をより明確に示す観点からは、従前から残されている主要な課題や知見の限界と、本研究成果により新たに明らかになった事項との対応関係を、さらに整理する余地があると考えられます。特に、機構解明の進展や取得データの意義を先行研究との対比の中で示すことで、国内外の最新知見を踏まえた成果としての位置づけがより明確になると考えられます。	拝承致しました。今後の説明では、頂いたご指摘を踏まえ行なって参ります。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	解析実施手法及び実験方法は、対象現象ごとの不確実さに対応して適切に設定されていると評価されます。五つの物理化学現象を対象に、既往知見や解析モデル上の課題を整理した上で、各現象の支配機構や目的に応じて、個別効果実験、総合効果実験及び解析が選定・組み合わせられています。対象とする現象スケールや取得すべきデータの性質に応じて、基礎的な現象把握から実機条件への展開を意識した実験まで段階的に構成されており、課題、目的、手法の対応関係は明確であると考えられます。また、実験データと解析を相互に用いて妥当性を確認する構成となっており、現象機構に対応した手法選定がなされていることから、実験・解析方法は妥当と判断されます。	拝承致しました。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	解析結果及び実験結果の評価手法は、プロジェクト成果全体として概ね適切であると判断されます。取得された実験データを解析コード、理論モデル、既往相関式と比較することで、その妥当性やモデル上の課題、適用限界を具体化している点は、有用な成果であると評価されます。特に、プールスクラビングにおける気液界面積評価や物質移動係数の取り扱い、ソースターム分野における化学反応モデルの検証は、解析モデルの高度化に資する実践的な知	拝承致しました。今後の説明では、不確実さの低減の程度など、頂いたご指摘を踏まえ行なって参ります。

		見を与えるものと期待されます。一方で、対象とした各物理化学現象について総合評価を行い、現象理解、モデル化、不確実さ低減への反映可能性が整理されているものの、モデルやデータの真値からのずれである推定誤差と、ばらつきとしての不確かさを含む広い意味での「不確実さ」が、どの観点でどの程度低減されたのかについては、今後さらに明確に整理することが望まれます。	
4	④重大な見落とし（観点の欠落）がないか。	重大事故評価上の主要な物理化学現象は概ね網羅されており、重大な観点の見落としはないと判断されます。本研究では、重大事故時の事象進展や格納容器機能維持に影響する物理化学現象について、不確実さの要因を整理した上で、未解明性が大きい5つの現象を対象としています。これらにより、FP移行、格納容器及び原子炉建屋内の熱流動・水素挙動、デブリ冷却、SFP等の重要観点が幅広く扱われています。また、国内外の既往研究、1F事故分析、前プロジェクト成果を踏まえて課題を抽出し、解析コード開発、格納容器機能喪失評価、PRA関連手法等への活用も整理されており、評価対象の設定は妥当であると判断されます。一方で、機構解明で得られた知見を不確実さ評価やリスク評価へどのように接続し、評価の改善にどう反映するかについては、今後さらに整理することが重要であると考えられます。	本プロジェクトでは実験による現象の機構解明を目的としており、得られた知見を不確実さ評価やリスク評価への反映については今後の安全研究プロジェクトにおける課題とさせていただきます。
5	その他	特になし。	—

(専門技術者からいただいた評価意見及び回答)

井村 諭 氏

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	・物理化学現象の不確かさに関して、今後の研究計画に関するロードマップはありますか？例えば、SA 時の物理化学現象にはどのような現象が有って、これまでの国内外の知見で分かっていることや今回の研究で分かったことが整理され、今後の課題と取組方針等が整理されていることが望ましいと考えます。 ・報告書 2.1 章の P7 に「一方で、PWR の蒸気発生器伝熱管破損時の蒸気発生器内でのジェットスクラビングに関しては、非凝縮性ガスを用いた条件 36 及び凝縮性ガスを用いた条件 で実験が実施されている。しかし、より信頼性が高い実験データにより、SPARC-90 モデル 7 の妥当性確認や適用条件の拡張等を実施する必要がある。」と記載されています。本記載に関して、PWR 向け SGTR の実験がなされているのに、なぜより信頼性の高い実験が必要なのか？との疑問が生じます。本記載を充実化されることが望ましいと考えます。	・令和 9 年度から新規の安全研究プロジェクトを計画しており、現行基準制定後に明らかになったシビアアクシデント時の物理化学現象を整理し、東京電力福島第一原子力発電所の格納容器内の状況を踏まえつつ、格納容器の閉じ込め機能の維持に脅威となる現象を整理する予定です。 ・当該の既往研究において、凝縮性ガスを用いた条件では、凝縮性ガス成分が極めて高く放出後に直ぐに凝縮しました。そのため、水中でのジェットとしての振る舞いを確認するため実験を考案しました。本研究では、それらにも着目しより高い信頼性のデータを取得しました。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	・なし	—
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 4.5(スプレイ時熱流動実験)にて、容器上部に空気とヘリウムの雰囲気(モル濃度比 50:50)を成層させた上でスプレイによる攪拌効果を確認されていますが、スプレイを成層下端高さより下から注入した場合、10000 秒が経過してもヘリウム成層は解消しなかったとのことで、この結果に対する考察をご教示いただけないでしょうか。PWR では CV 下部より水蒸気発生や 1 次系からの放熱による上昇流、及び CV 壁面での除熱による下降流が形成されることも相まって、スプレイ注入時には CV 内はよく攪拌されると考察しております。本実験のうちスプレイを成層下端高さより下から注入した条件では、その上昇流・下降流が無いこと、あるいは成層部での過剰に高いヘリウム濃度による密度差によりヘリウム成層が解消されなかったと	・本実験では濃度比 50:50 とヘリウムのモル濃度比が大きく、初期に成層化を形成した状態でスプレイ注入を開始しており、そのためヘリウム成層化が解消されなかったと考えます。本研究では、まずは現象メカニズムの同定を主目的として、既往実験を参考に実験条件を設定しました。ご指摘いただいた実機条件へ拡張したとき影響については今後の検討事項と考えております。

	推察いたしましたが、お考えがあればご教示いただけますでしょうか。 ・報告書 4.7(壁面凝縮時水素移行実験)にて、シャピロ線図で爆轟領域に入る結果となっておりますが、これは水蒸気凝縮に加え、ヘリウム・蒸気の注入に伴い実験容器内の空気が外部へ排出されることが一因であると推察いたしますが、いかがでしょうか。実機においては、時間帯にもよるかとは思いますが、CV からの空気あるいは窒素の流出も考えられますので、原子炉建屋での水素濃度は緩和される方向に向かうかと考えます。 ・報告書 6.5.2 において、「容器サイズを変えたパラメトリック研究では、温度分布の傾向は一致するものの上部領域における自然対流の発達に差異が認められ、実験結果と CFD 解析結果の間に不一致が観察された。しかし、温度成層化時の三つの領域を再現できたことは実験と同様の結果であり、容器サイズによらず温度成層化時の傾向を評価できた。」とありますが、容器サイズを変えたパラメトリックな研究では、上部領域における自然対流の発達に差異が認められた一方、温度成層化時の三つの領域を再現できた要因について、CFD 解析において具体的にどのような現象を再現できたことによるものか、お考えがあれば教えてください。 ・報告書 6.6(4)において、「安全評価等で用いられている崩壊熱と蒸発量を一点近似計算では、加熱部下端より下の領域の保有水量を考慮しないことが対応として考えられる。これにより、温度成層化によって加熱部下端より下の領域の水が温度上昇せず、冷却に寄与できないことを考慮でき、温度成層界面が下降する際には保守的に評価することが可能」との記載があります。この意味を「成層化が生じる場合は、界面より下を死水として扱い、保有水量から除外することで高めの水温評価となる」と理解しました。この理解が正しければ、保有水量を除外すれば最高水温が高めに評価されるように思えますが、実際には、最高水温発生時において「発熱量＝水面から	・ご指摘のとおり、ヘリウム・蒸気の注入により空気が押し出されることもヘリウム濃度が上昇した一因と考えられます。一方で、仕切りで区切られた中層階や下層階においてヘリウム濃度が他に比べて大きくなることを説明するには、それだけではなく、今回の実験で明らかになった水蒸気凝縮の影響が大きいと考えます。また、実機においては、CV からの空気・窒素の流出等、様々な因子が影響すると考えられますが、それは今後の検討事項と考えます。 ・容器サイズを変えたパラメトリック研究として、容器の幅や奥行きを大きくした実験及び解析を実施しています。実験結果では、図 6.1 の基本体系と比べて、容器を大きくすることで上部領域の浮力による速度が遅くなります。解析結果でも同様に容器サイズを大きくすることで上部領域の速度が遅くなる傾向を再現しています。しかし、容器を大きくした場合の解析結果は上部領域の速度を実験よりも速く評価し、自然対流の発達が早くなりました。この点が実験結果と CFD 解析結果の間に不一致が観察された箇所になります。その上で、CFD 解析により、基本的に実験で確認された自然対流の領域、温度成層化時の温度分布を再現できたと考えています。一方、加熱部により生じる浮力による上昇流の広がり等の再現には課題があると考えます。 ・「死水を除外することは水の熱容量を減少させ、水温上昇速度を大きくするものの、最高水温にはあまり影響しない」というご意見について、加熱部下端より下の領域の保有水量を考慮しないことで、水温上昇速度を大きくするというのはご理解のとおりです。また、最高水温については、水面からの放熱が一番大きいものの、壁面からの放熱もあるため、加熱部下端の位置に依存して水温が上昇すると考えます。
--	---	--

		の放熱量」の熱バランスが成り立つように水面近傍の温度が決まり、これが最高水温になると思われます。ここで、水面からの放熱量は伝熱面積に比例するため、結局「伝熱面積(上部水面の面積)に応じて最高水温が決まる」こととなり、死水の取り扱いによらず最高水温が決まるということにはならないでしょうか。言い換えれば、「死水を除外することは水の熱容量を減少させ、水温上昇速度を大きくするものの、最高水温にはあまり影響しない」と思われますが、如何でしょうか。	
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	・なし	—
5	その他	・なし	—

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	・本研究は、OECD/NEA プロジェクトや PHEBUS FP 等の既往研究で課題として残されていた現象を対象に、近年の研究動向も踏まえて実験テーマを設定しており、研究対象の選定という観点で適切であると考えます。特に、プールスクラビング、ソースターム化学反応、雰囲気熱流動、粒子状デブリ冷却、温度成層化といった、重大事故進展評価上の重要度が高く、かつ依然として不確実さが大きい現象を幅広く包含している点で評価できます。一方で、「不確実さ低減」という観点から見ると、既往研究でどの要因が不確実さの主要因として残されていたのか、また本研究の成果がそれらに対してどのような位置づけにあるのかについての整理が、必ずしも十分に明確ではない印象を受けました。特に、機構解明の進展と、不確実さの定量的な低減との関係について、先行研究との対比の中で整理されていると、成果の意義がより分かりやすくなると考えます。	本研究で実施した実験により、各現象の理解が深まりましたが、実機の評価における不確実さ低減は、得られた実験データを活用して、今後も継続する必要があります。ご指摘のような既往研究成果との比較等は、不確実さの要因分析、定量的な評価につながりますので、後継プロジェクトにおいても取り組んで参ります。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	・各研究項目において、対象とする現象スケールや目的に応じて、個別効果実験から比較的大規模な実験まで段階的に実施されており、実験アプローチは適切と考えます。特に、プールスクラビングにおける単一気泡・気泡群実験や、ソースターム分野での TeRRa 装置を用いた化学反応・再移行挙動実験などは、既存データが不足していた領域に対する有用な知見と評価できます。一方で、例えばプールスクラビング実験においては、気泡分裂・合体といった現象自体が本来的にばらつきや確率性を内包しているため、実験条件の違いによる結果のばらつきが、誤差なのか不確実さなのか、その整理がやや分かりにくい印象を受けました。この点については、実験条件に依存する再現性の限界や、現象の確率論的な性質をどのように扱うかを明示した上で、実験手法の位置づけを整理すると、より説得力のある説明になると考えます。	プールスクラビング実験における気泡の分裂・合体は、多岐にわたる不確実さによって影響を与えるものと認識しています。その中でも、本プロジェクトで得られた実験データは、現象解明のみならず前述したような不確実な現象について、代表値を持って計算する MELCOR の物理モデルへの反映及び解析結果の妥当性確認に活用されるものと位置づけしております。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法	・実験結果と既存解析コード (SPARC-90、MELCOR、VICTORIA 等) との比較を通じて、モデルの課題や適用限界を具体化している点は、本研究の大きな成果の一つと考えます。とくに、プールスクラビングにお	本プロジェクトでは安全研究報告書の「用語の定義」のとおり、モデル誤差と不確実さの両方を総称して「不確実さ」と定義しました。ご指摘のとおり、両者を区別して、どの程度低減されたか説明することは重要

	が適切か。	ける気液界面積評価や物質移動係数の取り扱い、ソースターム分野における化学反応モデルの検証などは、解析モデル高度化に向けた実践的な知見を提供していると評価できます。一方で、「不確実さを低減できた」という結論については、モデル誤差の低減と、不確実さの低減とが概念的に混同されている可能性があるように感じました。例えば、相殺されていた複数の誤差要因を個別に修正した結果、モデル予測精度が改善している場合、それは誤差低減としては妥当である一方、不確実さがどの程度縮小したのかという説明は別途必要になると考えます。不確実さ評価の観点で、どのパラメータの分布やばらつきがどのように変化したのかといった整理が加わると、評価手法として一層明確になると思われる。	ですが、現段階ではそこまでには至っておりません。今後の安全研究プロジェクトにおける課題と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。	・全体として、重大事故評価上の主要な物理化学現象は網羅されていると考えますが、いくつか補足的に気になる点があります。一つは、機構解明の結果を、今後どのように不確実さ評価やリスク評価に接続していくのかという視点です。多くの成果が「機構を明らかにした」と整理されていますが、機構が明らかになったことによって、評価上の変数の扱いがどの程度改善されるのか、あるいは確率分布として取り込むべき新たな不確実さが見えてきたのか、といった整理があると、活用イメージがより具体化すると感じました。また、ソースターム分野では、酸素の存在がヨウ素生成・再移行に与える影響が示されていますが、BWR のように格納容器が窒素置換されている体系において、この知見をどのように位置づけるのかについて、今後の検討の方向性が示されると、適用範囲の理解が進むと考えます。	拝承致しました。ご指摘の「評価上の変数の扱いがどの程度改善されるのか、あるいは確率分布として取り込むべき新たな不確実さが見えてきたのか、といった整理」については、関連するモデル式やその係数の関係を改めて確認して実験結果を係数に反映させ、別途評価を行うことでそれらの影響度を整理できると考えております。今後それらの整理を検討致します。また、ご指摘の「BWR のような格納容器が窒素置換されている体系」にて、「酸素の存在がヨウ素生成・再移行に与える影響をどのように位置づけるのか」については、重大事故総合解析コードを併用して酸素濃度が上昇する事故シーケンスや条件等を確認し、本現象を考慮すべき場合について整理することを検討致します。
5	その他	・本研究全体として、重大事故時の複雑な物理化学現象に対して、実験に基づく理解を着実に積み上げている点は高く評価できます。一方で、「不確実さ低減」という目的に照らすと、機構解明・モデル改良・不確実さ定量化の三者をどのように位置づけ、今後どの段階まで持っていくのかを、総括部分でより明示していただけると、成果の意義が一層分かりやすくなると感じました。	本プロジェクトでは実験による現象の機構解明を目的としており、他プロジェクトにおいて、その知見を活用してモデルの改良等を進めていく予定です。頂いたコメントを踏まえて、不確実さの低減がどの程度進み、今後どの段階までもっていくかはその中で整理したいと考えます。

特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル（EAL）見直しに関する研究（R3年度～R7年度）

1. プロジェクトの目的

本安全研究プロジェクトでは、特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル（以下「EAL」という。）の見直しに資するための評価手法を整備するとともに、確率論的環境影響評価手法を適用し、現在より実効的な防護措置（避難、屋内退避、安定ヨウ素剤服用等）の枠組みを検討するために必要となる知見を取得することを目的とする。

2. 研究概要

特定重大事故等対処施設等を考慮した EAL の見直しのため、設計基準対象施設、重大事故等対処施設に加え、特定重大事故等対処施設、多様性拡張設備等を考慮したモデルを作成し、複数のシナリオでの試解析を実施し、これらのシナリオの特徴を分析した。また、シナリオと防護措置を組み合わせた試解析を行い、EAL の高度化に必要な技術的知見を取りまとめた。くわえて、EAL の判断根拠の整理のため、国際的な EAL の判断根拠、EAL の相互関係等について調査した。

また、原子力災害時における防護措置を踏まえた確率論的環境影響評価手法を作成し、これを用いた試解析を行うことで、原子力災害の中長期対策も含めた防護措置の効果等に係る技術的知見を取得した。

3. 研究成果

EAL の設定の条件、根拠等について、海外事例を調査して取りまとめ、我が国の設定条件と比較した。次に、EAL 見直しに資する技術的知見の整理のため、参考事故シナリオの事故進展解析及び環境影響評価を実施し、公衆被ばくの特徴を分析した。特に、核分裂生成物（以下「FP」という。）の環境への放出時期（スクラムから放出までの時間、早期／晩期）、FP 放出の形態（格納容器破損、管理放出等）について、特徴を整理した。

また、EAL 判断基準と防護措置の組合せが被ばく線量等に及ぼす影響を検討するための解析手法を整備することを目的として、確率論的環境影響評価コード OSCAAR の改良を実施して公開するとともに、防護措置の条件の差異が被ばく線量に与える影響を分析した。さらに、被ばく線量評価の精緻化のため、高分解能の大気拡散シミュレーションに基づく評価手法及び複雑な地形や構造物による遮蔽を反映できる評価手法を構築した。くわえて、モニタリングポストデータの活用手法を作成するとともに、防護措置の判断基準値に対する線量係数の影響評価を行った。なお、被ばく線量評価手法の整備及び解析については国立研究開発法人日本原子力研究開発機構への委託事業において研究を実施した。

4. 事後評価結果

(1) 項目別評価

① 成果目標の達成状況 : A

- EAL の高度化に資するための評価手法を整備するとともに、確率論的環境影響評価手法を高度化し、現在より実効的な防護措置（避難、屋内退避、安定ヨウ素剤服用等）の枠組みを検討するために必要となる知見を拡充できた。

② 成果の公表等の状況 : S

- 原子力規制庁から、NRA 技術報告 1 件、査読付論文 1 件及び査読付プロシーディングス 2 件を公表した。また、学会から表彰を 1 件受けた。
- 委託先から、査読付論文 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)

- 国内外の過去の研究及び最新知見を十分に踏まえていると評価される。
- 解析実施手法は、研究目的に照らして適切と評価される。
- 解析結果の評価手法は、EAL 見直し及び防護措置検討という研究目的に照らして、適切であると評価される。
- 事態の深刻度の指標をどのように考えるか、実運用上の意思決定や事故時プラントパラメータの活用等は、今後の実装段階で具体化すべき発展的課題であるとの意見があった。これらについては、令和 9 年度から開始する研究プロジェクトで検討していく予定である。
- 詳細は別表 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

- 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・見直し : S

- 本プロジェクトで得られた緊急時活動レベル(EAL)に関する技術的知見は、「緊急時活動レベルの見直し等への対応に係る会合」において、IAEA、米国及び日本の EAL の比較を行った際活用されるとともに、現在、事故進展における発生イベントの時系列を網羅的に分析している中で、分析結果の妥当性の判断材料として活用されてい

ることから、同会合の EAL 見直し事業に大きく貢献した。今後も EAL 見直しの結論を導出していく上で、リスク情報、避難モデル等に係る技術的知見の活用が期待できることから、引き続き EAL 見直し事業に大きく貢献することが見込まれる。(S、緊急事案対策室)

- 本プロジェクトで得られた屋内退避等の防護措置の効果を測る評価手法の高度化に係る技術的知見は、原子力災害時の屋内退避の運用に関する検討チームにおける OSCAAR コードを用いた被ばく線量シミュレーションの実施に際し、解析結果の解釈及び検討において寄与するなど技術的な議論に活用された。(S、防企課)

(2) 総合評価：S (総合点：3.4)

- 研究を適切に遂行して、目標とした知見の取得を達成するとともに、1 件の NRA 技術報告及び委託先を含め合計で 2 編の査読付論文を公表することができ、1 件の表彰を受けた。また、本プロジェクトで得られた知見は、プロジェクト期間中にもかかわらず、緊急時活動レベルの見直し等への対応に係る会合及び原子力災害時の屋内退避の運用に関する検討チームにおいて必要となる技術的知見を提供するなど、タイムリーに規制活動に活用された。なお、本プロジェクトで得られた知見は、今後、EAL 見直しの結論を導出していく上で、リスク情報、避難モデル等に係る技術的知見として活用できる。

5. 評価結果の今後の活用

「緊急時活動レベルの見直し等への対応に係る会合」における、緊急時活動レベルの判断基準の検討に活用する。

(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 技術報告
 1. 小城烈，和田山晃大，「緊急時対応技術マニュアル」の解説 ―公衆被ばくの評価方法―，NRA 技術報告，原子力規制委員会，NTEC-2025-2002，2025，<https://www.nra.go.jp/data/000477426.pdf>，(2025-11-05 確認)。
- NRA 技術ノート
なし
- 論文 (査読付)
 1. Wadayama, K., Kojo, R., Niisoe, T., The effect of using Filtered Containment Venting System on variation in dose with distance in the prompt accident consequence assessment, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 61, No. 9, pp. 1248-1264, 2024, doi:10.1080/00223131.2024.2313551.

- 学術会議のプロシーディングス（査読付）

1. Van Oudenaren, G.I.L., Grupa, J.B., Kim, S., Suzuki C., Wadayama, K., Nagakubo, A., A Benchmark Comparison of Level 3 Probabilistic Safety Assessment Codes: Preliminary Results from First Calculations, Proceedings of PSAM17&ASRAM2024, 2024.
2. Wadayama, K., Kojo. R., Narukawa. T., Takata. T., STUDY ON A CONSEQUENCE-INFORMED DECISION MAKING FOR EMERGENCY PLANNING ZONE DISTANCE WITH DOSE VERSUS DISTANCE CURVE, Asian Symposium on Risk Assessment and Management 2025 (ASRAM2025), 2025.

- 表彰・受賞

1. 日本原子力学会 保健物理・環境科学部会 部会論文賞(和田山、小城、新添)

(2) 委託先による公表

- 論文（査読付）

1. Hirouchi, J., Takahara, S., Watanabe, M., Evaluating the effect of temporal variations in wind speed on sheltering effectiveness and developing a simplified correction method to account for these variations, Journal of Radiological Protection, Vol. 45, No. 2, 021506, 2025, doi: 10.1088/1361-6498/add53e.

- 学術会議のプロシーディングス（査読付）

なし

別表2

特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル(EAL)見直しに関する研究 の評価意見及び専門技術者の御意見並びに回答

(外部専門家からいただいた評価意見及び回答)

牟田 仁 氏

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	既往の研究や国内外の情報や状況などを踏まえて研究を行っているとは評価します。ただ、本研究で対象としている事故シナリオの包絡性に関する説明があった方が良かったかと感じます。例えば、OSCAARを使用する際の気象条件については、一年間の平均的な気象データを使用するケースが多いですが、平均的な気象データが本研究の目的に相応しいかどうか、検討の余地があると思われます。今後の研究において検討いただければと思います。	事故シナリオの包絡性の説明については、成果報告書の2.2.1に追記しました。OSCAARの気象条件については、ご指摘のとおり、目的に応じて適切に検討する必要があると考えております。本研究では、検討内容に応じ標準的な気象条件と1年分の気象条件(50%値、95%値等を提示)を使用した解析をそれぞれ実施しております。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	①と重なりますが、事故シナリオの十分性、代表性について、さらには気象条件設定の考え方の説明があると良かったと思います。本研究の目的はより実効的な防護措置の検討のために必要となる知見を取得することですので、「実効的な」という部分をどのように考えたか、明確になると考えるからです。この研究を継続することで、将来的に、実効的な防護措置への反映に繋がっていくと思いますので、次第に明確になっていくことに期待します。	事故シナリオの代表性、気象条件の設定については上記と同じ解答となります。 全ての事故シナリオを包含し、全ての気象条件を含めた解析が実施出来たとは考えておりませんが、「より実効的な」という視点から、従来解析対象となっていなかった事故シナリオを含めて、重要な視点を整理しました。これまでの代表性を持った事故シナリオに対して、拡張した点が重要と考えておりますが、十分性示すには至っておりません。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	検討会当日のご説明と質疑を通して、考えていらっしゃることは大枠で理解できました。また、当日少し議論をさせていただきましたが、事態の深刻度の指標をどのように考えるかにつきましては、今後も検討を重ねていかれることを希望します。	深刻度を示す指標については重要な論点であると認識しており、次期プロジェクトでも検討いたします。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	これまでの検討においては、大きな見落とし等はないと考えます。今後研究を進めていく上で、解像度を上げて検討していくことが求められますが、考えてきたことが適切であるか、そのステップ毎にレビューすることになるはずで、場合によっては、ある程度立ち戻って考える方がよいこともあるはずで、そのときに立	今後は解像度を高め、各ステップで妥当性を確認しながら研究を進めてまいります。また、ご指摘のように、必要に応じて立ち戻る判断も大切にし、検討を重ねてまいります。

		ち戻る勇気を持っていただければと思います。	
5	その他	特になし。	—

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	国内外の過去の研究及び最新知見を十分に踏まえていると評価されます。本研究では、IAEA、米国 NEI/NRC 及び日本の EAL 設定を比較し、緊急事態区分、EAL カテゴリ、判断基準、深刻度の相違が整理されています。また、PRA に基づくリスク情報を活用した海外研究、MACCS 等による防護措置評価、国内で継続的に整備されてきた OSCAAR の成果を踏まえ、事故進展解析、確率論的環境影響評価、防護措置効果の解析に反映されています。さらに、屋内退避・避難・安定ヨウ素剤服用モデル、高分解能大気拡散評価、線量換算係数に関する最新知見も取り込まれており、EAL 見直し及び防護措置検討に必要な技術的知見が体系的に整理されていると判断されます。	今後も、整理した知見を基盤として、EAL 見直しおよび防護措置検討に資する検討を深化させてまいります。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	解析実施手法は、研究目的に照らして適切と評価されます。EAL 見直しに関しては、重大事故等対処設備及び特定重大事故等対処施設等の緩和手順を反映した事故進展解析を行い、事故進展、放射性物質放出量、放出開始時刻等がシナリオごとに整理されています。また、事故シナリオの特徴把握には、NUREG-1465 を用いた保守的な公衆被ばく線量の概算手法を整備し、多様な緩和効果や放出条件の違いが比較されています。さらに、PRA モデルにより EAL 発出条件と炉心損傷・格納容器機能喪失確率の関係を評価し、防護措置の検討では OSCAAR、高分解能大気拡散評価、遮蔽評価等が組み合わされています。以上より、解析対象、手法、評価指標はいずれも体系的であり、EAL 高度化に必要な技術的知見を得る手法として妥当であると判断されます。	ご確認頂きありがとうございます。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	解析結果の評価手法は、EAL 見直し及び防護措置検討という研究目的に照らして、適切であると評価されます。本研究では、MELCOR による事故進展解析、NUREG-1465 を用いた保守的な被ばく概算評価、PRA による条件付き確率評価、OSCAAR による防護措置効果評価、高分解能大気拡散解析や観測値との比較を組み合わせ、事故進展、放射性物質の放出量・放出開始時刻、防護措置判断への影響を多面	ご指摘のとおり本報告書における事故進展解析の結果については、事故シナリオの多様性に主眼をおいて報告書を作成いたしました。 主要パラメータの感度解析及び不確実さ解析が重要である点は非常に重要な視点であることを認識しております。リスク情報の活用に向けた研究において、今回解析した事故シナリオから重要な事故シナリオに対して、重要な感度パラメータを選定し、

		的に整理しており、体系的な評価手法として妥当と判断されます。一方で、MELCORによる事故進展解析結果には、入力条件、モデルパラメータ、緩和操作の想定、格納容器機能喪失条件、ソースターム評価等に起因する不確実さが含まれるため、今後は主要パラメータに対する感度解析や不確実さ解析を通じて、放出開始時刻、放出量、放出継続時間等の評価幅を整理し、それらが EAL 見直しや屋内退避、避難、安定ヨウ素剤服用等の防護措置判断に及ぼす影響を確認することが重要と考えられます。	感度解析を実施し、不確実さ解析を進めて参ります。これらは現在取り組み中ですので、成果がまとまり次第、公表を進めて参ります。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	重大な見落としや主要な観点の欠落は認められず、研究目的に照らして必要な技術的観点は適切に整理されていると評価されます。本研究では、EAL 見直しに関して、国内外の EAL 体系の比較、国際的な判断根拠、EAL 間の相互関係、特定重大事故等対処施設等を考慮した事故シナリオ、事故進展解析、放射性物質の放出時期・形態、被ばく評価、PRA に基づくリスク情報の活用が扱われています。また、防護措置についても、OSCAAR による避難、屋内退避、安定ヨウ素剤服用の評価、高分解能大気拡散評価、空間線量率評価、モニタリングポストデータ活用、線量換算係数の最新知見の反映まで検討されています。以上より、EAL 高度化及び防護措置の実効性評価に必要な主要項目は体系的に網羅されており、研究成果として妥当と判断されます。一方、実運用上の意思決定や事故時プラントパラメータの活用等は、今後の実装段階で具体化すべき発展的課題と整理されると考えられます。	今後の実運用上の意思決定や事故時のプラントパラメータ等の活用等について、本研究の結果の一部を用いて、緊急事案対策室が所管する検討会合等での活用が始まっております。
5	その他	特になし。	—

(専門技術者からいただいた評価意見及び回答)

井村 諭 氏

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	・国内の EAL と IAEA および米国 NEI 99-01 との比較が詳細に実施され、国内の EAL では軽微な事故状態でも SE や GE が発出されることによる防護措置の早期実施が必要となる点についてまとめられています。本件について、国際的な EAL との整合性(とる必要有るのか含めて)をとるための案などを検討されてはいかがでしょうか。	本研究の成果は、緊急時活動レベルの見直し等への対応に係る会合において活用されています。本会合では、本研究成果を元に、国際的な EAL との整合性も踏まえて、EAL の具体的な見直しに着手しております。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	・PWR のイベント時系列(報告書 図 2.3)のうち、一部のシーケンス (Non/SPR/FVCS(代替炉注失敗/スプレイ成功/ベント成功)及び CIR/SPR/FVCS(代替炉注成功/スプレイ成功/ベント成功)の再循環失敗シーケンス(AL/SL/TL))では、事故後 12h 前にベントを実施している。これらのシーケンスでは CV への注水制限後すぐベント開始する想定であり、この再循環失敗シーケンスでは本設注入に成功しているので注水制限到達が早く事故後 12h という早期にベントする想定になったと理解していますが、現実的には放射性崩壊を考慮しもっと遅くにベントすると考えられます。ベント開始時期を保守的に想定したとの理解でしょうか？ ・報告書図 3.7 の解析ケース①、②において、最近傍の評価点の実効線量比が下がっていない理由は何でしょうか？	・本解析における炉心注水に関しては、停止基準が主に加圧器水位での判定となります。LOCA 時に加圧器水位が低下した場合には、炉心水位が不明となると想定し、注水を崩壊熱に応じて絞ることをモデル化しませんでした。これにより、外部注水量を増加させ、FCVS のタイミングを早めている可能性があります。この内容は、成果報告書の本文に明記させていただきます。(2.2.2 に追記修正) ・図 3.7 の解析ケースでは、放出点最近傍では甲状腺等価線量が低く基準に達しなかったため、安定ヨウ素剤の服用が実施されずに実効線量比が下がらなかったと考えられます。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	・報告書図 3.8 において Johnson モデルと COSYMA モデルの TD-100(放出開始 100 時間前の安定ヨウ素剤服用ケース)において差が出ていますが、国内適用においてどちらのモデルが推奨されるのでしょうか？また、この時間に関する感度解析が必要ではないのでしょうか？ ・報告書図 3.9 は積算線量(Sv)ではなく、線量率(Sv/h)を示しているように見えます。(放出継続時間後の値がゼロになっているので、積算線量ではないと理解)。安定ヨウ素剤を服用する前の被ばくまで低減	・安定ヨウ素剤の服用タイミングが変化する場合には時間経過に伴う安定ヨウ素剤の効果の減衰を考慮可能な Johnson モデルが適していると考えます。安定ヨウ素剤単体の効果に着目した感度解析に対しては既往知見が存在します。本研究の特徴は、OSCAAR にこれらの知見を取り入れることで、ソースターム、気象、防護措置等の条件の組み合わせに対する評価が可能となったことにあります。 ・報告書図 3.9 は当該時刻に吸入した放射性物質に対する将来的な被ばくも含めた線量(預託線量)を示しています。内部被ばくの場合、体内動態に従って将来にわたり被ばくが継続するため、預託線量を用い

		する理由が不明です。	て評価します。放射性ヨウ素を吸入した場合にも、甲状腺に集積するまでには一定の時間を要するため、放射性物質の吸入後に安定ヨウ素剤を服用した場合であっても、被ばくが一部抑制されることになります。このため安定ヨウ素剤服用前の吸入による線量も低減しています。
4	④重大な見落とし（観点の欠落）がないか。	・なし	—
5	その他	・なし	—

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	・本研究は、IAEA、米国(NEI 99 01)および我が国(JEAG 4102)の EAL 設定の考え方を体系的に整理・比較するとともに、近年の規制基準強化(特定重大事故等対処施設等の導入)を踏まえた事故進展解析・被ばく評価・リスク評価を組み合わせた検討を行っており、研究の枠組みとしては十分に国際的な知見を踏まえたものとなっていると考えられます。特に、事故進展が遅いシナリオ、部分的な緩和が成功するシナリオなど、従来の EAL 検討では十分に扱われてこなかったケースを対象としている点は、今後の EAL 見直し議論にとって有用であると感じました。	ご確認頂きありがとうございます。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	・事故進展解析(MELCOR)、被ばく評価、リスク情報(PRA)を組み合わせる EAL の深刻度を整理しようとする解析フロー全体は合理的であり、解析実施手法としての枠組みは適切であると考えます。一方で、リスク情報を用いた解析における前提条件の置き方について、技術的に分かりにくい点があると感じました。具体的には、NUREG/CR-7154 では、「EAL 発生条件成立を前提とした条件付き確率」を用いて、EAL の深刻度を確認していますが、本報告書に示されている CCDP や CCFP の整理は、起因事象発生条件付き確率としているように読める記載となっています。現状の記載では、NUREG/CR-7154 と同じ手法を意図しているのか、それとも異なる整理を意図しているのかが判然とせず、解析の前提条件(どの事象を条件として確率を評価しているのか)が分かりにくい印象を受けました。この点は、解析実施手法として明確にしておくべき重要なポイントだと考えます。	本研究では、NUREG/CR-7154 に沿った計算方法を採用しております。この点、成果報告書の2. 4. 1及び2. 4. 2に記載内容を補足、変更いたしました。また、検討会でご指摘をいただいた図 2.9 につきましても軸タイトルを変更いたしました。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	・事故進展解析結果を基に、放出形態や放出時期を整理し、それらを被ばく評価や防護措置の検討へと接続している点は、本研究の中核的な成果であり評価できる点です。一方で、解析結果の整理・解釈の仕方について、技術的に気になる点がいくつかありました。まず、図 2.1 において、TW シナリオで PCV が先行して破損したタイミングが Environmental Release としてプロットされ	成果報告書の図 2.1 については、Environmental Release を Containment Failure に変更しました。また、図 2.2 及び図 2.4 もご指摘のとおり、核種グループについても補足を追加いたしました。高分解能被ばく評価では、より広い区域を解析対象とすることとして、UPZ を選定いたしました。

		ていますが、この時点では炉心損傷は生じておらず、放射性物質の「環境への放出」という意味ではまだ発生していないと理解しています。そのため、このイベントを Environmental Release と表現すると、環境への放射性物質放出が既に発生しているという誤解を与える可能性があると感じました。また、図 2.1 の CIR のケースでは No Release として整理されている一方で、図 2.2 では希ガスの環境放出割合が示されており、設計漏えいによる環境放出が想定されていると読み取れます。これらを踏まえると、図 2.1 における Environmental Release という表現については、「格納容器機能喪失」や「PCV 破損」といった、状態を直接表す用語で整理した方が、解析結果の評価としてより適切ではないかと感じました。 さらに、図 2.2 および図 2.4 における核種グループの整理についても補足説明があった方が理解しやすいと感じました。セシウムは Cs、CsI、CsM と形態別に整理されている一方、図 2.2 ではヨウ素 I の放出割合が示されていません。安定ヨウ素剤服用を防護措置として議論していることを踏まえると、ヨウ素の扱い(化学形・代表性)について、説明があると望ましいと考えます。 本研究では UPZ を対象とした屋内退避や防護措置の検討に重点が置かれていますが、なぜ本研究では PAZ 側の検討を深掘りせず、UPZ に重点を置いているのかという研究対象の限定理由が、必ずしも明確には記載されていない点がやや気になりました。今後の EAL の見直しによって PAZ における過剰避難が解消されることを前提として、研究対象を UPZ に絞る整理は合理的です。その点を明示しておくことで、研究対象選定に対する理解がよりスムーズになると考えます。	
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	・本研究では UPZ を対象とした屋内退避や防護措置の検討に重点が置かれていますが、なぜ本研究では PAZ 側の検討を深掘りせず、UPZ に重点を置いているのかという研究対象の限定理由が、必ずしも明確には記載されていない点がやや気になりました。今後の EAL の見直しによって PAZ における過剰避難が解消されることを前提として、研究対象を UPZ に絞る整理は合理的です。その点を明示しておくことで、研究対象選定に対する理解がよりス	PAZ を対象とした解析も実施しましたが、本研究では UPZ を対象とした成果を主にまとめました。これは、現行の原災指針に沿って、全面緊急事態時には PAZ の避難が開始され、放出開始時には避難が完了していることを想定しているためです。ご指摘のとおり、選定理由について、成果報告書の 2.3.2 において、この点を明記しました。高分解能被ばく評価では、より広い区域を解析対象とすることとして、UPZ を選定いたしました。

		ムーズになると考えます。	
5	その他	・本研究は、EAL の見直しを、事故進展、放出影響、リスク情報、防護措置という複数の視点から包括的に捉えようとする意欲的な取り組みであり、今後の規制上の議論に対して有用な基盤的知見を提供していると評価できます。一方で、EAL の適切性をどの指標で判断するのか(放出・被ばくの深刻度か、炉心損傷の蓋然性か、あるいはその組合せか)について、解析手法と結果評価の対応関係を総括的に整理すると、成果の活用場面がより明確になると感じました。	本研究の成果は、成果報告書の 4.4 に示すように活用が開始されているものを多く含んでおり、今後も規制庁の EAL 見直し検討会合等において適切に活用してまいります。 特に安全研究における手法開発や技術的知見を成果報告書に取りまとめました。実際の成果の活用の際は、前提条件等が異なることも考えられることから、本研究成果が活用される場合には、技術根拠等の文書を公表するなど、都度明確な対応関係を示したいと考えます。 ご参考までに、成果報告書の 2.3 で実施した被ばく評価手法は、一部追加検討を加えることで緊急事案対策室が発行した「緊急事対応技術マニュアル」に活用されました。これに対して、解説文書として「NRA 技術報告」をまとめました。この際には、本研究報告で記載した内容以外にも、成果の活用のために実施した追加検討事項とその根拠をまとめました。

再処理施設及びMOX燃料加工施設における重大事故等の事象進展に係る研究（R3年度～R7年度）

1. プロジェクトの目的

令和2年4月に施行された原子力規制検査では、合理的な範囲でリスク情報を活用し、効率的かつ効果的な検査の実施に努めることとされている。そのような検査について、多数の機器・設備を有する核燃料施設では、重要度（リスク情報）評価が有効であり、対象機器・設備が関係する事故シナリオにおける不確かさを低減して、重大事故等の影響（注1）の評価精度を高めることで、対象機器・設備の重要度及びこれに基づく検査優先度をより明確にできる。そこで、本研究では、再処理施設の蒸発乾固事象及びMOX燃料加工施設のグローブボックス（GB）火災を対象に、事故シナリオの不確かさを低減を目的として試験等を行う。

注1：公衆への被ばく量、放射性物質の環境への放出量等

2. 研究概要

蒸発乾固事象に関する研究では、高レベル濃縮廃液の沸騰初期段階から乾固後の温度上昇段階までの事象進展を体系的に整理し、放射性物質、特にRu及びCsの移行挙動に着目して、事故対策やその際に想定される機器・設備環境を考慮した条件下での基礎データ及び知見の取得を行った。また、蒸発乾固事象に関する事象進展解析コードの整備方針を検討した。

GB火災に関する研究では、GB火災に関する試験データを取得して解析を実施することにより、GB火災の事象進展に関する知見を拡充した。また、MOX燃料加工施設等でのGB火災を想定した火災事象進展シナリオを評価するための解析手法を整備した。

3. 研究成果

蒸発乾固事象に関する研究では、事故対策やその際に想定される機器・設備環境を考慮した条件下で、Ruの揮発抑制に必要な亜硝酸濃度、亜硝酸の生成・分解挙動及び気体状RuO₄がNO_xにより分解阻害を受ける影響に係るデータを取得し、それらの挙動を把握することができた。また、亜硝酸濃度や温度など広範な条件下での凝縮液へのRuの移行挙動に係るデータを取得し、反応モデル式の選定及びその適用範囲を明らかにするとともに、乾固後の温度上昇段階でのCs等の揮発挙動及び温度挙動に係るデータを取得し、Cs等の移行挙動等を把握することができた（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成果）。加えて、蒸発乾固事象に関する事象進展解析コードについて調査を行い、当該事象への適用性を検討した上で、コード整備に関する課題を整理した。

GB火災に関する研究では、仏国原子力安全・放射線防護機関（ASNR）が実施した中規模及び実規模のGB火災の試験データ（注2）を取得し、これらのデータに基づく解析を実施することにより、GB火災の事象進展に関する知見を拡充することができた。

また、MOX 燃料加工施設等を想定し、GB 火災及び火災対策による影響を評価する際の着眼点・留意点を抽出するための GB 火災解析の手順を構築するとともに、本手順に従って試解析を行い、着眼点・留意点を抽出することができた。

注 2：仏国 ASNR と原子力規制庁との間で締結された協定に基づく試験で取得。

4. 事後評価結果

(1) 項目別評価

① 成果目標の達成状況：A

- 本安全研究は、再処理施設及び MOX 燃料加工施設における原子力規制検査に資するため、両施設における事故シナリオの不確かさの低減を目的としている。蒸発乾固事象に関する研究においては、同事象の事象進展に伴う放射性物質の挙動をより詳細に把握できるようになった。また、GB 火災に関する研究では、様々な火災防護対策を考慮した事象進展について把握することが可能となった。これらの結果、事故シナリオにおける不確かさの低減を図ることが可能となったことから、本安全研究の目的を達成することができたと評価する。

② 成果の公表等の状況：B

- 原子力規制庁から、蒸発乾固事象に関する査読付き論文を 1 件投稿中で、GB 火災に関する査読付き論文については投稿準備中である。一方、委託先では査読付き論文は 0 件であるが、今後の公表が予定されている。学会発表については原子力規制庁から 1 件、委託先から 2 件の発表があった。以上、査読付の論文等の公表には至っていないが、公表に向けて手続中であり、査読付の論文等の公表が見込まれる状況である。

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及び最新知見を踏まえており、解析実施手法、実験方法及び実験結果の評価手法はいずれも適切である。また、得られた解析結果及び評価結果は妥当であり、重大な見落としは認められない。以上、技術評価検討会での外部専門家からの意見も踏まえ、本安全研究は技術的に適切であると評価する。

(技術評価検討会における主な意見及びその対応)

＜蒸発乾固事象に関する研究について＞

- Ru の気相移行抑制、分解、凝縮液への取り込み等、事象進展の各段階が適切に整理されているとの意見があった。なお、これらに関する知見については、現在、査読付き論文として投稿しており、公表に向けた対応を行っている。
- 亜硝酸の挙動について、単純な系での検証が有効との意見があった。今後は、特定の金属イオンのみを変動させた試験により各成分の影響を検証していく予定である。

- 再現性の低いデータについては、重要な因子を見落とさぬよう試験条件と結果を整理し、現象の把握に努めてもらいたいとの意見があった。この意見については、試験条件の整理や単純化を進める際の重要な観点として考慮することとした。
- スケール効果については、今後の検討が重要との意見があったが、既往試験の範囲では、Ru の気相移行割合に対する顕著なスケール効果は確認されていない。一方で、エアロゾル成分については内壁沈着等によるスケール効果が確認されており、これらの知見を今後の検討に活かしていくこととした。

<GB 火災に関する研究について>

- 火災進展メカニズムの把握は概ね達成され、今後は複合事象を対象とした解析手法の高度化が期待されとの意見があった。この意見を踏まえ、考慮すべき複合事象について検討し、解析手法の高度化に努めていくこととした。
- 実際の MOX 燃料加工施設を想定した事象進展評価のため、不足する情報及び必要な情報を整理して今後につなげていただきたいとの意見があり、これらの情報を整理して今後の評価手法の検討に活かすこととした。
- 詳細は別表 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評価する。

⑤ 成果の規制への活用の状況・見通し：A

- プロジェクトで得られた再処理施設及び MOX 燃料加工施設における重大事故等の事象進展に関する技術的知見は、核燃料施設等に対する原子力規制検査に際して、将来指摘事項等に関連するリスク情報を参照しようとした場合、有益な情報を含んでいる。現時点では事業者において、特に再処理施設については、将来の操業開始に備え、リスク情報を活用するための基盤技術の構築が進められているところであるが、その進捗を待つことなく、今後、原子力規制検査だけでなく安全性向上評価届出書等の内容を分析し、事業者と安全性に関する様々な議論を行うことを考慮しても、本検討による技術的知見は、その際の重要な基盤となり得る。（A、検査評価室）

(2) 総合評価：B（総合点：2.8）

- 本安全研究は、再処理施設及び MOX 燃料加工施設における重大事故等の事象進展に係る不確かさ低減を目的として実施され、蒸発乾固事象及び GB 火災に関する

重要な知見を取得し、成果目標を達成した。研究手法及び成果の評価は適切であり、研究マネジメント等も適切に実施された。成果の公表は現時点では限定的であるものの、着実に進められており、今後の進展が見込まれる。また、得られた知見は検査等の規制実務への活用が期待される。以上より、本安全研究は総合的に適切に実施されたと評価する。

5. 評価結果の今後の活用

本安全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、論文等による公表を進める。外部専門家・専門技術者による意見については、蒸発乾固事象に関する研究では、令和8年度から開始する安全研究に反映し、また、GB火災に関する研究では、今後の知見の拡充、評価手法の検討及び本安全研究プロジェクトから得られた知見の整理に活用することとする。その際、関係課室からのコメントを踏まえ、原子力規制検査での活用の観点からも研究成果を整理していくこととする。

（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. 山口晃範，天野祐希，吉田尚生，吉田涼一郎，山根祐一，再処理施設における高レベル濃縮廃液の蒸発乾固時の事象進展の整理—Ruに加えCs等揮発性物質を含む乾固後温度上昇段階までの拡張整理—，日本原子力学会和文誌（投稿中）。

（２）委託先による公表

なし

別表3

再処理施設及びMOX燃料加工施設における重大事故等の事象進展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御意見並びに回答

(外部専門家からいただいた評価意見及び回答)

浅沼 徳子 氏

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	蒸発乾固事象に関する研究は、原子力機構との連携によりこれまで多くの実績を積んできており、担当者らがこの分野でもっとも多くの知見を有しているものとする。また、GB 火災に関する研究では、仏国と共同で実規模 GB の燃焼試験まで実施しており、国内外の最新知見に基づいていると判断する。	拝承。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	蒸発乾固事象に関する研究において、亜硝酸の挙動の追跡及び影響の確認については、様々な困難が伴っているものと推察する。模擬廃液による試験から得られた情報を整理し、より単純な系で検証していくことも必要と考える。	拝承。 本研究では、模擬廃液中の複数成分を同時に変化させ、亜硝酸挙動の傾向把握を行いました。今後も模擬廃液を用いますが、特定の金属イオンのみを変動させた、より単純な系での試験により、各成分の影響を検証していく予定です。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	蒸発乾固事象に関する研究の中でも、移行経路におけるRuの化学吸収に関する検討では、Ruに関する気液間の化学反応についておおむね予測可能な状況であり、反応速度の議論も行われ、順調に評価検討が行われている。 GB 火災に関する研究では、火災試験データと解析がおおむね一致する結果を得ており、課題や留意点の抽出も行われ、予定通りの成果が得られたものとする。	拝承。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	蒸発乾固事象に関する研究において、再現性の低いデータには、試験担当者が把握しきれていない因子が含まれている可能性もある。重要な因子を見落とさぬよう試験条件と結果を整理し、現象の把握に努めてもらいたい。	拝承。 本研究では、試験条件及び結果を体系的に整理した上で試験を実施し、現象理解を進めてきました。一方で、蒸発乾固事象の複雑性を踏まえると、把握しきれていない因子が残る可能性を否定することは困難と考えることから、今後は、試験条件の単純化や整理を進めることで、重要因子の見落としを防ぎつつ、再現性及び現象理解のさらなる向上につなげます。
5	その他	GB 火災に関する研究では、実際に燃焼試験を行う機会は限られていると考える。本	拝承。 本研究で取得したデータ及び知見に加え、

		研究で GB の規模(サイズ)や換気条件については知見を得ることができた。実際の MOX 加工施設を想定した事象進展が評価できるようにするには、どのような情報が不足し、今後何を求める必要があるのかを整理して今後につなげていただきたい。	国内外の最新知見を踏まえて、実施施設を想定した事象進展の評価において必要となる情報を整理し、今後の評価手法の検討に活かしてまいります。
--	--	--	--

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	本研究は、先行安全研究で得られた成果と課題を適切に踏まえ、蒸発乾固事象及びGB 火災に関する知見の拡充を図ったものと評価できる。蒸発乾固事象では、Ruの移行挙動について事故対策等に伴う条件変化を考慮するとともに、先行研究で十分に扱われていなかったCs等の移行挙動にも着目している。GB火災では、GBの大きさ、構造、換気条件が火災進展に及ぼす影響を検討している。さらに、国内外の関係機関との情報交換も行われており、過去の研究及び最新知見を適切に踏まえた内容である。	拝承。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	蒸発乾固事象に関する研究では、濃縮模擬廃液を用いたRu移行抑制試験、NOX含有気相でのRu分解挙動の評価、凝縮液への化学吸収、乾固後のCs等の揮発挙動評価など、事象進展の各段階に応じた試験が実施されている。GB火災研究についても、中規模及び実規模GB火災試験データを活用し、開放条件や換気条件を考慮した解析が行われている。以上より、解析実施手法及び実験方法は、研究目的に照らして適切であると評価できる。	拝承。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	蒸発乾固事象では、Ruの気相移行抑制、気相中での分解、凝縮液への吸収、Cs等の揮発挙動といった主要因を整理し、取得した試験データに基づいて評価している。GB火災についても、試験結果との比較を通じて火災解析手法の適用性を確認し、火災進展シナリオ評価へ展開している。これらの評価手法は適切であり、事故シナリオの不確かさ低減に資するものと考ええる。なお、Ruの気相移行について、揮発成分とエアロゾル成分の寄与を総合的に整理することで、成果の定量的な位置づけがさらに明確になると考えられる。	拝承。 Ruの気相移行においては、エアロゾル成分について、揮発成分と比較して寄与は限定的であることを確認しています。これらのデータを踏まえ、揮発成分及びエアロゾル成分の寄与を総合的に整理することで、Ruの定量的な気相移行挙動の検討に活かしてまいります。
4	④重大な見落とし（観点の欠落）がないか。	本研究では、蒸発乾固事象におけるRu及びCs等の移行挙動、GB火災における規模、構造、換気条件の影響など、事象進展評価に必要な主要観点が幅広く扱われており、重大な見落としはないと考える。特に蒸発乾固事象については、液相から気相への移行、気相中での変化、凝縮液への取り込み、乾固後の揮発までを対象として	拝承。 ご指摘のとおり、蒸発乾固事象におけるスケール効果については、実施条件への適用性を検討するうえで、留意すべき観点であると認識しています。エアロゾル成分の挙動については、過去の研究成果として、模擬廃液を用いた基礎試験（ビーカー規模）において飛沫同伴による生成挙動

		おり、検討範囲は概ね妥当である。一方で、実貯槽の形状、液位、気相空間等のスケール効果については、今後さらに検討を深めることで、実施条件への適用性がより高まると考えられる。	が確認されており、これを踏まえて実施した工学規模試験(円筒型缶・気相部高さ約2m 規模)では、缶内壁面への沈着等により缶外へ移行する量が減少する傾向が確認され、スケール依存性を確認しています。一方、Ru の揮発挙動については、基礎試験及び工学規模試験を比較した範囲では、スケールの拡大による Ru の気相への移行割合に顕著な変化は確認されておらず、Ru の生成・放出過程が支配的である可能性が示唆されています。これらの知見については、スケール効果の観点も含めて整理し、今後の蒸発乾固事象における気相移行挙動のスケールによる影響の整理を通じた実施条件への適用性評価に係る検討に活かしてまいります。
5	その他	特になし。	-

本間 俊司 氏

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	蒸発乾固事象およびグローブボックス火災に関する研究のいずれについても、国内外の既往研究を十分に踏まえた上で研究が進められていると評価できる。また、両研究分野とも類似事例が限られていることから、本研究は最新の知見を反映した先進的な取り組みであると考えられる。	拝承。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	蒸発乾固事象に関する研究では、時間経過に伴って進展様式が変化する複雑な現象について、適切に事象を区分した上で、限られた研究期間内に効率的かつ着実に研究が実施されている。解析手法および実験方法は、全体として妥当であると判断できる。 グローブボックス火災に関する研究では、実規模を模擬した実験が実施され、有用な知見が得られている。こちらについても、解析手法および実験方法は概ね適切であると評価できる。	拝承。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	蒸発乾固事象およびグローブボックス火災に関する研究のいずれについても、解析結果および実験結果の評価手法は概ね適切であると判断できる。 一方、蒸発乾固事象の研究における反応速度解析については、解析結果の妥当性をより明確に示すため、濃度の時間変化などの基礎データを提示し、個別実験結果との対応関係を確認することが望まれる。また、対象としている現象が極めて複雑であることから、将来的な蒸発乾固事象全体のシミュレーション展開を見据え、解析手法の適用範囲を明確化していくことが重要である。 グローブボックス火災に関する研究については、火災進展メカニズムの把握は概ね達成されていると考えられるが、今後は複合事象を対象とした解析手法の高度化が期待される。	拝承。 蒸発乾固事象の研究における反応速度解析については、本検討会の説明では時間的制約等から十分にお示しできませんでしたが、濃度の時間変化等を含む基礎データは取得しています。これらの基礎データと解析結果との対応関係を整理し、解析結果の裏付けを明確にすることで、解析結果の妥当性確認の精度向上に活かしてまいります。また、将来的な解析を見据え、蒸発乾固事象の全体像の理解に資するよう、解析手法の適用範囲についても整理を進めます。なお、モデルの適用範囲及び基礎データの詳細については、説明資料の参考文献に示した委託報告書に記載しています。 グローブボックス火災の解析手法については、本研究で取得したデータ及び知見に加えて、国内外の最新知見を踏まえ、考慮すべき複合事象について検討するとともに、当該事象に対する解析コードの適用性確認を行うなど、手法の高度化に努めてまいります。
4	④重大な見落とし（観点の欠落）が	重大な見落としや観点の欠落は確認されなかった。	拝承。

	ないか。		
5	その他	特になし。	-

(専門技術者からいただいた評価意見及び回答)

田口 茂郎 氏

No.	評価項目	評価意見	回答
1	①国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか。	蒸発乾固事象の研究では、先行研究で得られた現象を補完するため、Ru については溶液状態や気相条件の変化が放射性物質の移行挙動に及ぼす影響を考慮した条件でのデータを取得するとともに、先行研究で対象としていない Ru 以外の放出重要物質として Cs に着目し、Cs の移行挙動に関する知見を取得している。また、グローブボックス火災に関する研究では、従来の安全研究では扱われてこなかった、「グローブボックスの大きさ及び構造」の影響を検証しており、本研究は過去の研究を適切に踏まえたものとなっていると考えます。	拝承。
2	②解析実施手法、実験方法が適切か。	蒸発乾固事象の研究においては、濃縮倍率 2 倍の模擬廃液を用いることで蒸発濃縮状態を再現し、また、グローブボックス火災研究においては実規模のグローブボックスを用いた燃焼試験を実施するなど、実プラントの状態を模擬した実験条件でデータが取得されており、実験方法は適切であると考えます。	拝承。
3	③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。	本研究は、亜硝酸による Ru の気相移行抑制効果、NO _x 含有気相における Ru の分解挙動、および凝縮液への Ru の吸着挙動といった、事象進展の各段階で想定される Ru の気相移行に関わる化学的要因を網羅的に検討していると考えます。これらの挙動を明らかにするための試験データが取得され、それに基づいた評価が適切に実施されていると評価できます。一方で、気体として移行する Ru が「エアロゾルとして移行する分」と「揮発によって移行する分」という二つの経路の割合に関する情報を加えることで、本研究で評価された気相移行に係る各要因が、Ru の気相移行全体に与える影響度を推定するうえで、効果的かと考えます。	拝承。 Ru の気相移行においては、エアロゾル成分について、揮発成分と比較して寄与は限定的であることを確認しています。これらのデータを踏まえ、揮発成分及びエアロゾル成分の寄与を総合的に整理することで、Ru の定量的な気相移行挙動の検討に活かしてまいります。
4	④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。	Ru の気相への移行挙動を把握するうえで想定される化学的現象について、その挙動把握のための試験が網羅的に実施されており、重大な見落としはないと考えます。一方で、沸騰初期段階における Ru 揮発挙動を考えるうえで、関係するパラメータと	拝承。 ご指摘のとおり、Ru 揮発挙動を考えるうえでは、液相中の物質移動や貯槽の空間部における気相条件が、挙動に影響を及ぼす可能性についても考慮する余地があると考えます。

		して、液相における物質移動速度(物質移動係数)や、貯槽の空間部における蒸気圧の影響も否定できないかと思しますので、実貯槽の形状や液位を考慮したスケールアップ効果の影響を将来的に検討するとよいかと思ひます。	一方、スケールアップ効果については、過去の研究成果として、模擬廃液を用いた基礎試験(ビーカー規模)及び工学試験(円筒型・気相部高さ約2m規模)を比較した範囲では、スケールの拡大による Ru の気相への移行割合に顕著な変化は確認されておらず、現時点では Ru の生成・放出過程が支配的である可能性が示唆されています。なお、液位を考慮したスケールアップ効果の影響や物質移動係数の定量的取扱いについては、既存データの整理や解析的検討を踏まえつつ、今後の Ru の気相移行挙動における各要因の影響の把握及び挙動理解に係る検討に活かしてまいります。
5	その他	特になし。	-