

## 安全研究に係る事後評価結果及び追跡評価結果について

令和2年6月17日  
原子力規制庁

### 1. 評価の概要

長官官房技術基盤グループ（以下「基盤G」という。）が実施する安全研究プロジェクトについては、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」（平成28年7月6日原子力規制委員会決定。以下「基本方針」という。）及び「安全研究プロジェクトの評価実施要領」（平成31年4月16日原子力規制庁長官決定。以下「評価実施要領」という。）に基づき、事前、中間及び事後評価を行うこととしている。今回は、令和元年度に終了した安全研究プロジェクト8件について、基盤Gにおいて事後評価に係る自己評価を実施し、原子力規制委員会による評価結果（案）を別紙1のとおり取りまとめた。

また、基本方針では、終了後一定期間が経過した安全研究プロジェクトを対象として、安全研究プロジェクトを分野ごとに束ね、数年分を取りまとめた上で成果の活用状況等について追跡評価を行い、原子力規制委員会に報告することとされている。今回は、平成27年度～29年度に終了した安全研究プロジェクト27件について、基盤Gにおいて取りまとめた追跡評価結果を別紙2のとおり報告する。

### 2. 自己評価の方法

基本方針及び評価実施要領に基づき、下記のとおり実施した。

#### 2.1 事後評価

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「安全研究成果報告」<sup>1</sup>として取りまとめ、これを用いて事後評価に係る自己評価を実施した。

具体的には、①成果目標の達成状況、②成果の公表等の状況、③研究の進め方に対する技術的適切性、④研究マネジメントの適切性、⑤業務管理の適切性、⑥成果の規制へ活用の状況・見通しの評価項目について項目別評価を行い、その結果を基にSABCによる総合評価を実施した。なお、評価においては、研究手法、成果の取りまとめ方法等の技術的妥当性の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、外部の専門家の意見を聴取した。また、⑥については、当該安全研究プロジェクトに係る原子力規制部等の評価を受けた。

<sup>1</sup> 安全研究成果報告は、令和元年度（2019年度）に終了した安全研究プロジェクトとして原子力規制委員会のホームページに掲載済（[https://www.nsr.go.jp/activity/anzen/seika/anzen\\_houkoku.html](https://www.nsr.go.jp/activity/anzen/seika/anzen_houkoku.html)）。

## 2. 2 追跡評価

追跡評価は、安全研究プロジェクトの成果の公表実績及び成果の規制活動における活用実績を取りまとめた結果を基に実施した。

### <別紙及び別添>

#### 別紙 1 安全研究に係る事後評価結果（案）

参考 「安全研究プロジェクトの評価実施要領」（平成 31 年 4 月 16 日原子力規制庁長官決定）（抜粋）

別添 1-1 安全研究に係る事後評価結果（自己評価概要）

別添 1-2 安全研究に係る事後評価結果（プロジェクトごとの自己評価）

#### 別紙 2 安全研究に係る追跡評価結果（自己評価）

別添 2-1 成果の公表実績及び活用実績の概要（研究分野ごとに集約）

別添 2-2 主な成果の公表実績（発行した NRA 技術報告）

別添 2-3 主な成果の活用実績（成果を活用して策定・改訂された基準類）

別添 2-4 成果の公表実績及び活用実績（プロジェクトごとのまとめ）

## 安全研究に係る事後評価結果

令和 2 年 6 月 1 7 日  
原子力規制委員会

### 1. 事後評価の進め方

#### 1.1 評価の対象

原子力規制庁長官官房技術基盤グループの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 8 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	軽水炉照射材料健全性評価事業	H18 - R1 (2006 - 2019)
2	電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価に係る研究	H29 - R1 (2017 - 2019)
3	軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験	H27 - R1 (2015 - 2019)
4	重大事故の事故シーケンスグループに係る事故進展解析	H29 - R1 (2017 - 2019)
5	緊急時活動レベル（EAL）に係るリスク情報活用等の研究	H29 - R1 (2017 - 2019)
6	地震ハザード評価手法の精度向上に関する研究	H29 - R1 (2017 - 2019)
7	地震の活動履歴評価手法に関する研究	H29 - R1 (2017 - 2019)
8	断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究	H25 - R1 (2013 - 2019)

#### 1.2 評価方法

評価実施要領（参考）に則って原子力規制庁が実施した自己評価（別添 1-1 及び 1-2）に基づき、評価プロセス及び評価結果の妥当性を確認した。

### 2. 事後評価結果

上記 8 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に係る自己評価は妥当である。

## 安全研究に係る事後評価結果（自己評価概要）

令和2年6月17日  
原子力規制庁

### 1. 評価対象プロジェクト

今回事後評価の対象としたのは、令和元年度に終了した安全研究プロジェクト8件である。自己評価の全体概要を以下に、安全研究プロジェクトごとの評価結果を別添1-2に示す。

### 2. 評価結果（自己評価概要）

(1) 「①成果目標の達成状況」、「③研究の進め方に対する技術的適切性」、「④研究マネジメントの適切性」、「⑤業務管理の適切性」について

いずれのプロジェクトにおいても、適切な研究体制を構築する等により、研究管理及び業務管理が行われるとともに、最新知見や外部専門家の意見を踏まえて技術的適切性をもって研究が実施され、設定した成果目標が達成された。

(2) 「②成果の公表等の状況」について

成果の公表については、4件（別表のNo. 2、3、6及び7）のプロジェクトで実施期間中に学術論文による積極的な研究成果の公表を行うことができた。一方、その他4件（別表のNo. 1、4、5及び8）については、成果公表の準備を進めたものの、プロジェクト終了までに公表に至らなかった。

(3) 「⑥成果の規制へ活用の状況・見通し」について

成果の規制への活用については、「軽水炉照射材料健全性評価事業」（別表のNo. 1）の成果が、原子炉圧力容器の健全性評価に関する学協会規格の技術評価で活用された。また、「地震ハザード評価手法の精度向上に関する研究」（別表のNo. 6）の成果が、公開会合における基準地震動に係る検討に活用され、規制に取り入れられることが決定した。その他のプロジェクトについても、成果の活用が見込まれている。

(4) 結論

以上のことから、令和元年度に終了した安全研究プロジェクトについては、いずれも計画的に実施され、規制活動に貢献できる成果が得られている。一方、半数のプロジェクトにおいてプロジェクト終了時点では成果の公表に至らなかったため、今後、速やかな公表を目指す。

別表 安全研究に係る事後評価結果（自己評価概要）

評価項目		1. 軽水炉照射材料健全性評価事業	2. 電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価に係る研究	3. 軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験	4. 重大事故の事故シナシケンスグループに係る事故進展解析	5. 緊急時活動レベル（EAL）に係るリスク情報活用等の研究	6. 地震ハザード評価手法の精度向上に関する研究	7. 地震の活動履歴評価手法に関する研究	8. 断層破砕物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究
項目別評価※1	①成果目標の達成状況	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)
	②成果の公表等の状況	C(1)	A(3)	S(4)	C(1)	C(1)	A(3)	A(3)	C(1)
	③研究の進め方に対する技術的適切性	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)
	④研究マネジメントの適切性	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)
	⑤業務管理の適切性	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)	A(3)
	⑥成果の規制への活用の状況・見通し	S(4)	A(3)	B(2)	B(2)	B(2)	S(4)	B(2)	B(2)
総合評価※2	項目別評価結果の総合点	17	18	18	15	15	19	17	15
	項目別評価結果の平均点	2.8	3.0	3.0	2.5	2.5	3.2	2.8	2.5
	評価結果(全体評語)	C	A	A	C	C	A	B	C

※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⑥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。

## 安全研究に係る事後評価結果（プロジェクトごとの自己評価）

令和 2 年 6 月 1 7 日  
原子力規制庁

### I. 軽水炉照射材料健全性評価事業（H18～R1（2006～2019））

#### 1. 研究プロジェクトの目的

- 原子炉圧力容器の照射脆化について、加圧熱衝撃事象に係る原子炉圧力容器の健全性評価方法の保守性を検証するための試験方法を確立するとともに、学協会規格を技術評価するために必要な高温予荷重効果及び参照温度 ( $T_0$ ) に関する知見を拡充する。あわせて、改良された照射脆化予測法を技術評価する際に必要となり得る照射材料データを拡充する。また、照射誘起型応力腐食割れについて、メカニズムを含めた知見の拡充を図り、現状の亀裂進展評価方法の保守性を確認する。

#### 2. 研究概要

- 原子炉圧力容器の健全性評価については、実機規模の板厚を有する十字型試験体を用いて、2 軸荷重負荷領域に熱衝撃を与える試験の成立性を確認した。また、中性子照射による関連温度移行量の統計解析及び試験済みの監視試験片の微細組織分析を実施し、中性子照射条件や材料の化学成分など脆化に寄与する因子を抽出した。（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）
- 炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れについては、照射材等を用いた亀裂進展試験及び亀裂先端のミクロ組織観察を行い、照射誘起型応力腐食割れの亀裂進展挙動等に関する知見を得た。（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）

#### 3. 研究成果

- 原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究において、破壊力学評価に係る試験では、健全性評価手法の保守性を確認するため、実機規模の板厚を有する大型の十字型試験体を用いて、2 軸荷重負荷領域のステンレスクラッド下に半楕円亀裂を付与し、熱衝撃を与える試験の成立性を確認した。脆化予測法に係る研究では、国内原子炉圧力容器鋼の中性子照射データを用いて、中性子照射条件や材料の化学成分など脆化に寄与する因子等について分析した結果、ケイ素 (Si) の寄与が示唆された。
- 原子炉圧力容器鋼の破壊靱性の評価において、既往研究等で照射した材料及びその未照射材を用いて破壊靱性試験を実施し、限定された条件ではあるが、 $T_0$  に及ぼす試験片形状・寸法の影響を確認した。また、未照射材を用いた試験により、

高温予荷重効果の知見を取得した。さらに、未照射材及び照射材のシャルピー遷移温度と破壊靱性参照温度の相関があることを確認した。

- ステンレス鋼材料試験において、亀裂進展試験後の亀裂先端のミクロ組織観察を行い、亀裂先端の局所変形と酸化皮膜が進展速度に影響すること等の知見を得た。

#### 4. 技術評価検討会における主な意見及びその対応

- 基礎研究の面と規制研究の面を分けて考えれば、前者については学協会において十分な知見共有を図ることが重要と思われるとともに、また効率的な技術評価のためには、規制庁内での研究部門と規制部門との知見共有も有効であると思われるとの意見があった。研究計画の策定や研究の実施においては、学協会等の外部有識者や規制部門と知見の共有を図っており、今後もより一層、庁内外の関係者との意見交換に努めていく。
- 材料試験炉(JMTR)を用いた照射試験が中止となったことについて、代替の試験法が提案されていないのではないかと指摘があったが、既往研究で照射した材料を活用する試験法を検討して実施し、目標とした知見を取得できた。

#### 5. 事後評価結果

##### (1) 項目別評価

##### ① 成果目標の達成状況： A

- 原子炉圧力容器の加圧熱衝撃事象に係る健全性評価方法及び中性子照射脆化予測法の妥当性確認に必要な知見を取得しており、設定した目標を達成した。

##### ② 成果の公表等の状況： C

- 得られた成果に基づき、原子力規制庁と研究委託先の共著論文を公表する準備を進めているものの、プロジェクト終了時点において、査読付論文等の公表の手続きに至っていないため上記評価とした。なお、研究委託先からは査読付論文が4件公表されている。

##### ③ 研究の進め方に対する技術的適切性： A

- 取得すべきデータに対応して各種試験、統計解析及び微細組織分析を実施し的確なデータを取得して評価を行ったことから、技術的適切性をもって研究が進められた。

##### ④ 研究マネジメントの適切性： A

- 委託先を含め適切な研究体制を構築するとともに、研究施設を取り巻く環境の変化にも対応し、研究内容及び研究スケジュールを随時見直すなど、目標達成に向けて研究を柔軟にかつ着実に実施し目標を達成していることから、研究マネジメントが適切に行われたと判断した。

⑤ 業務管理の適切性： A

- 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。

⑥ 成果の規制への活用の状況・見通し： S

- 原子炉圧力容器の健全性評価に係る研究及び低合金鋼の材料試験は、日本電気協会の「原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の確認方法 (JEAC4206-2016)」及び「フェライト鋼の破壊靱性参照温度  $T_0$  決定のための試験方法 (JEAC4216-2015)」の技術評価に活用している。また、今後発行される予定の「原子炉構造材の監視試験方法 (JEAC4201-20XX)」の技術評価にも活用する予定である。
- 本研究により、原子炉圧力容器の中性子照射脆化及び炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れに関する技術的知見が蓄積された。高経年化対策や運転期間延長対策等の審査に直ちに参照可能な状態には至っていないが、蓄積された技術的知見は、今後の審査において、対策の妥当性を確認する際等に活用される見込みがある。

(2) 総合評価

- 評価結果：C<sup>注1</sup>
- 評価コメント：

目標とした原子炉圧力容器の加圧熱衝撃事象に係る健全性評価方法及び中性子照射脆化予測法の妥当性確認に必要な知見、並びに炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れの亀裂進展に関する知見を取得し、その成果の一部は既に学協会規格の技術評価に活用されているとともに、今後も活用が見込まれている。一方、成果の公表がプロジェクト期間中に行われていないことから、上記の評価とする。

6. 評価結果の今後の活用

- 本研究プロジェクトの成果を論文として取りまとめ、速やかに公表を行う。また、今後行う研究プロジェクトにおいては、成果の公表を研究計画に含め積極的な公表に努める。

(主な成果の公表)

- 論文 (査読付)

① K. Hata, T. Hojo, et al., “Grain-boundary phosphorus segregation in highly neutron-irradiated reactor pressure vessel steels and its effect on irradiation embrittlement” (作成中)

<sup>注1</sup> ②成果の公表等の状況に関する評語が最下位 (C) であったため、評価実施要領に従い、総合評価の基礎として算出した評語 (B) を一段階下げCとなる。



## II. 電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価に係る研究 (H29～R1 (2017～2019))

### 1. 研究プロジェクトの目的

- 常設重大事故等対処設備に属する電気・計装設備のうち原子炉格納容器電線貫通部（電気ペネトレーション。以下「電気ペネ」という。）について、高経年化技術評価等における長期健全性評価の確認に活用できるよう、供用期間相当の経年劣化を付与した状態における重大事故（以下「SA」という。）時環境下での絶縁性能に係るデータ等を取得し、健全性を評価するための知見を蓄積する。

### 2. 研究概要

- 国内の加圧水型原子力発電所（以下「PWR」という。）と沸騰水型原子力発電所（以下「BWR」という。）において使用されている重大事故等対処設備に属する計測制御用モジュラー型電気ペネに対し、熱・放射線同時劣化処理により経年劣化を模擬した劣化供試体を作製した。また、国内発電所の SA シナリオ及び原子炉格納容器限界温度・圧力条件を基に、PWR 及び BWR 用にそれぞれ 2 種類の SA 模擬環境試験条件を設定し、劣化供試体を SA 環境模擬試験装置内に設置して、試験条件の蒸気暴露中における電気ペネの絶縁抵抗を測定した。（学校法人早稲田大学への委託研究を含む。以下同様。）
- 電気ペネに用いられているポッティング材及びケーブル絶縁材の高分子材料について、熱特性、機械特性及び電気特性の調査・試験を実施し、劣化メカニズムを検討した。
- 電気ペネに接続されているケーブルと同等のケーブルについて、ケーブル単独で絶縁性能を維持できる環境条件を調べるため、高温領域における各種環境下での絶縁性能の試験等を行った。

### 3. 研究成果

- PWR 及び BWR 用電気ペネとも、試験条件の蒸気暴露中に絶縁抵抗は低下し、一部の条件では、絶縁抵抗は  $10^5 \Omega$  を下回った。この絶縁抵抗の低下により計装システムの誤差が大きくなる懸念があり、電気ペネの SA 時の健全性評価においては、蒸気暴露中の絶縁抵抗を測定し、考慮することが重要であることが分かった。
- 蒸気暴露試験後、室温で気密性試験を行った。絶縁抵抗が低いものを含め、全ての電気ペネで気密性試験の結果は判定基準を満足することが分かった。
- 電気ペネのポッティング材及びケーブル絶縁材に用いられている高分子材料の熱・放射線の劣化特性を調査・試験し、劣化メカニズムを明らかにした。
- ケーブルについては、絶縁性能を維持できる高温、高圧の環境条件に関する知見を得た。

#### 4. 技術評価検討会における主な意見及びその対応

- SA 模擬環境下における絶縁抵抗を評価指標として、暴露時間との関係から絶縁抵抗が暴露時間とともに低下する知見を得ており、評価手法は適切との意見があった。
- 学術論文としても多数の論文発表が行われており、透明性ならびに公平性が担保されている点を高く評価された。
- 得られた結果は、原子炉の安全審査に関わる重要な知見であるとの意見があった。今後、高経年化技術評価等の審査における技術的根拠に資するため、NRA 技術報告等で成果を取りまとめる。

#### 5. 事後評価結果

##### (1) 項目別評価

##### ① 成果目標の達成状況： A

- 常設重大事故等対処設備に属する電気・計装設備のうち電気ペネについて、供用期間相当の経年劣化を付与した状態における重大事故時環境下での健全性を評価するための知見を取得しており、設定した目標を達成した。

##### ② 成果の公表等の状況： A

- 原子力規制庁から査読付論文1件を公表するとともに、さらに査読付論文1件を投稿中である。また、査読付プロシーディングを伴う国際会議で1件、その他国内外の学会等で6件の口頭発表を行った。なお、関連する先行安全研究プロジェクトと本プロジェクトの成果を合わせて NRA 技術報告を発行した。

##### ③ 研究の進め方に対する技術的適切性： A

- 重大事故時環境下における電気ペネの絶縁抵抗を評価指標として、的確なデータを取得して評価を行ったことから、技術的適切性をもって研究が進められた。

##### ④ 研究マネジメントの適切性： 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、研究マネジメントが適切に行われたと判断した。

##### ⑤ 業務管理の適切性： A

- 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。

##### ⑥ 成果の規制への活用の状況・見通し： A

- 安全系電気・計装設備のうちの原子炉格納容器電線貫通部の経年劣化が絶縁性に及ぼす影響に関する研究については、高経年化対策や運転期間延長対策等の審査に直ちに参照可能な状態には至っていないが、蓄積された技術的知見は、今後の

審査において、対策の妥当性を確認する際に活用される見込みがある。また、高温領域における蒸気雰囲気及び大気雰囲気でのケーブルの絶縁性能の調査・試験については、その結果が NRA 技術報告「重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析」としてまとめられ、高経年化対策や運転期間延長対策等の審査に活用できる技術的知見となった。

## (2) 総合評価

- 評価結果： A
- 評価コメント：

重大事故環境下における電気ペネの健全性評価に係る知見を目標どおりに取得するとともに、査読付論文の公表や国際会議等における成果の発表を積極的に行っており、その技術的妥当性が確認できる。また、今後、規制活動への成果の活用が見込まれていることから上記評価とした。

## 6. 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、適宜審査等の状況も踏まえながら、NRA 技術報告や論文等による公表を今後も進める。また、今後の安全研究プロジェクトにおいても、引き続き、積極的な成果の発信に努めていく。

### (主な成果の公表)

- NRA 技術報告
  - ① 皆川武史ほか、「重大事故環境下におけるケーブルの絶縁特性の分析」、NRA 技術報告、NTEG-2019-1002、令和元年（関連する先行安全研究プロジェクトの成果と合わせて公表）
- 論文（査読付）
  - ① 皆川武史ほか、「重大事故模擬環境に暴露したエチレンプロピレンジエンゴム絶縁ケーブルの劣化状態分析」、電気学会論文誌 A、139 巻 9 号、pp. 380-386、2019.
  - ② 皆川武史ほか、「重大事故時に噴霧される NaOH 水溶液による原子力発電所用シリコーンゴム絶縁ケーブルの劣化」、電気学会論文誌 A（投稿中）
- 国際会議のプロシーディング（査読付）
  - ① I. Minakawa, et al, “Aging state analysis of safety-related cables for nuclear power plants exposed to simulated accident conditions”, Proceedings of 2018 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP 2018), Cancun, Mexico, pp. 602-605, 2018.

### III. 軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験 (H27～R1 (2015～2019))

#### 1. 研究プロジェクトの目的

- 重大事故時の原子炉格納容器の機能維持に係る物理化学現象には、解析上の不確実さが大きな現象が存在する。これを低減するための解析コードの開発には、対象となる物理化学現象の理解を深めるとともにモデルの高度化や検証に用いられる実験データが必要である。本安全研究プロジェクトでは、格納容器機能維持への影響が大きいと考えられる課題あるいは東京電力福島第一発電所事故の分析で挙げられた解明すべき課題について、国内外の施設を用いた実験により最新知見を拡充する。

#### 2. 研究概要

- 解析上の不確実さが大きい課題である、格納容器外面冷却等への非凝縮性ガスの影響、制御棒材が放射性物質の移行挙動へ及ぼす影響、及びデブリ冷却挙動について、解析コードの開発に必要な実験データを取得した。(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を含む。)
- 東京電力福島第一発電所事故の際に課題となった、プール水による放射性物質の除去効果及び海水注入による炉心冷却性について、実験データを取得し、解析モデルの高度化を検討した。(国立大学法人筑波大学、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電力中央研究所への委託研究を含む。)

#### 3. 研究成果

- 格納容器外面冷却等への非凝縮性ガスの影響について、重力等の影響を考慮した大規模実験を実施し、容器内の初期ガス分布が、内部流動引いては冷却挙動に大きく影響を及ぼす知見が得られた。
- 制御棒材(ホウ素)が放射性物質の移行挙動へ及ぼす影響に関し、事故時に想定される各種雰囲気条件で放射性または非放射性物質を用いた実験を実施し、本実験範囲内では全ての条件でホウ素が化学挙動に影響を与えることが示された。
- デブリ冷却挙動では、熔融ジェットの粒子化、水中での床面拡がり及び粒子堆積状デブリへの熔融金属の浸透挙動に関する実験を実施し、解析モデル開発のためのデータを取得した。
- プール水による放射性物質の除去効果に関し、大規模実験により、実機事故シーケンスを模擬した条件範囲内ではプール水の減圧沸騰がエアロゾル粒子の捕獲効果へ有意な影響を及ぼさない結果を得た。また、解析モデル高度化に向け、小規模試験により、気泡とエアロゾル粒子挙動の微視的な詳細データを取得した。
- 海水注入による炉心冷却性については、燃料集合体内における塩析出層の成長挙動と燃料棒の伝熱劣化に関する実験データを取得し、それらを簡易的に模擬可能な解析手法を開発した。

#### 4. 技術評価検討会における主な意見及びその対応

- 原子力プラントの安全性の向上にはプラント挙動のより適切な予測が不可欠であり、今後もコード開発側や安全規制上の課題からのニーズを適宜取込み、継続的な研究を期待するとの意見があった。継続プロジェクトにおいて、規制ニーズ等を踏まえ、必要な解析手法の高度化に資する実験研究を継続的に行う。
- 本研究は不確かさの低減に向けたものであるが、本研究で明確にされた不確かさの項目以外も含め、全体の整理をして頂きたいとの意見があった。継続プロジェクトや、関連する別プロジェクトにおいて検討を進める。

#### 5. 事後評価結果

##### (1) 項目別評価

##### ① 成果目標の達成状況： A

- 重大事故時の格納容器機能維持に係る重要な物理化学現象（プールスクラビング、デブリの冷却性、海水注入の炉心冷却への影響等）について国内外の施設を用いた実験を行い、最新知見を拡充したことから、設定した目標を達成した。

##### ② 成果の公表等の状況： S

- 原子力規制庁から査読付論文3件を公表するとともに、さらに査読付論文1件を投稿中であり、積極的な研究成果の発信に努めた。

##### ③ 研究の進め方に対する技術的適切性： A

- 既往研究を踏まえた上で解析コード開発に必要な実験を実施し、論文投稿や学会発表等での専門家による検討を通じて実験内容や分析の妥当性等も議論しており、技術的適切性をもって研究が進められた。

##### ④ 研究マネジメントの適切性： A

- 委託先も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、研究マネジメントが適切に行われたと判断した。

##### ⑤ 業務管理の適切性： A

- 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。

##### ⑥ 成果の規制への活用の状況・見通し： B

- 本研究により、重大事故時に格納容器内で生じる物理化学現象に関する技術的知見が蓄積された。実用炉審査に直ちに参照可能な状態には至っていないが、物理化学現象理解の精緻化につながる知見が解析コードに反映されれば、今後の審査において、事業者の申請内容の技術的論点抽出や論点对応整理の際に参照するなど、審査の有効性向上等に活用される見込みがある。

## (2) 総合評価

- 評価結果 : A
- 評価コメント :  
シビアアクシデント解析の不確かさ低減に向けた実験的知見を目標どおりに取得しており、査読付論文が積極的に公表されていることから、上記評価とした。

## 6. 評価結果の今後の活用

- 技術評価検討会で頂いた意見や内外の研究及び規制の動向を十分に考慮し、後継の安全研究プロジェクト「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」(R2~R7年度)において、重大事故時の重要物理化学現象の不確かさの低減に向けた実験を進める。

## (主な成果の公表)

- 論文 (査読付)
  - ①秋葉美幸ほか、「粒子状放射性物質のプールスクラビングに関する実験的研究」、日本原子力学会和文誌、Vol.19、No.01、2020.
  - ②A. Hotta, et al., “Experimental and analytical investigation of formation and cooling phenomena”, J. Nucl. Sci. Technol. Published online: 20 Nov 2019, <https://doi.org/10.1080/00223131.2019.1691078>.
  - ③M. Akiba, et al., “Characterization of salt deposit layer growth and prediction of cladding temperature of heated rod bundles under long-term seawater injection and pool boiling conditions”, Nuclear Engineering and Design, Vol. 337, 2018.
  - ④S. M. Hoseyni, A. Hotta, et al., “Metal-melt infiltration through a heated debris bed and the solidification effect”, Nuclear Engineering and Design. (投稿中)

## IV. 重大事故の事故シーケンスグループに係る事故進展解析 (H29～R1 (2017～2019))

### 1. 研究プロジェクトの目的

- 重大事故等対処設備の動作を組み込んだレベル 1 及びレベル 2 の確率論的リスク評価 (PRA) の整備に向けて、代表的な事故シーケンスについて、レベル 1PRA に必要な情報である成功基準に係る知見、レベル 2PRA に必要な情報である放射性物質の環境への放出割合等の主要な物理量及び事故シーケンスのグループ化に係る知見を蓄積し、代表的な事故シーケンスの特徴を把握することを目的とする。

### 2. 研究概要

- 重大事故等対処設備の動作を組み込んだ PRA モデルから代表的な事故シーケンスを抽出し、原子力プラントシステム解析コード (Apros) を用いて、設備及び緩和策の条件等を変化させた事故進展解析を行い、炉心損傷防止に必要となる緩和策の条件等を検討した。
- また、総合シビアアクシデント解析コード MELCOR を用いて、炉心損傷及び格納容器機能喪失に至る事故シーケンスの事故進展を解析し、原子炉 (圧力) 容器及び格納容器の破損の時間、放射性物質の環境への放出割合等の主要な物理量を算出した。また、これら主要な物理量を基に、事故シーケンスのグループ化を検討した。

### 3. 研究成果

- 代表的な事故シーケンスについて、炉心損傷を防止するための緩和策の条件を整理し、重大事故等対処設備を考慮したレベル 1PRA を行う上で必要となる成功基準に係る知見を蓄積した。
- 代表的な事故シーケンスの事故進展解析及びソースターム解析を実施することによって、炉心損傷時期、格納容器機能喪失時期、ソースターム等の格納容器機能喪失に至る事故シーケンスの特徴を整理した。これにより、環境への放射性物質の放出に至る事故シーケンスの発生頻度とソースタームを評価するレベル 2PRA に係る知見を蓄積した。

### 4. 技術評価検討会における主な意見及びその対応

- 成功基準解析、ソースターム解析等に関する実施項目は、最新の知見を踏まえており、用いた解析手法の選択などの解析実施方法について適切であるとの評価を受けた。
- 本研究の成果を PRA の技術的根拠及び PRA 解析モデルの改良へ活用していくことが期待されるとの意見があったが、今後、規制庁としても本研究の成果を PRA の高度化に活用することとしている。
- 外的事象や複数基立地に対する PRA の成功基準の検討も今後重要であるとの意

見があった。これらについては、「規制への PRA の活用のための手法開発及び適用に関する研究」において、本研究の手法の適用性を検討していく予定である。

## 5. 事後評価結果

### (1) 項目別評価

#### ① 成果目標の達成状況： A

- PRA の定量化に基づく事故シーケンスを抽出し、成功基準解析及び事故進展解析を行い、レベル 1PRA における成功基準に係る知見、レベル 2PRA における事故シーケンスの類型化に係る知見等を整備したことから、設定した目標を達成した。

#### ② 成果の公表等の状況： C

- 原子力規制庁において、得られた成果を査読付論文として取りまとめて令和 2 年度中の公表に向けて準備を進めているものの、プロジェクト終了時点において、査読付論文等の公表の手続きに至っていないため上記評価とした。

#### ③ 研究の進め方に対する技術的適切性： A

- 国内外の最新知見並びに原子炉発電所の設備及び操作手順に係る最新の情報に基づき解析条件を設定し、解析を実施したことから、技術的適切性をもって研究が進められた。

#### ④ 研究マネジメントの適切性： A

- 職員作業を主とした研究体制を構築し、職員の解析能力向上を図りつつ、計画どおりに進捗させて目標を達成していることから、研究マネジメントが適切に行われたと判断した。

#### ⑤ 業務管理の適切性： A

- 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する。

#### ⑥ 成果の規制への活用の状況・見通し： B

- 本研究により、重大事故時の事象進展に関する技術的知見が蓄積された。実用炉審査に直ちに参照可能な状態には至っていないが、レベル 1PRA やレベル 2PRA のモデルの改良等に反映されれば、今後の審査において、事業者の申請内容の技術的論点抽出や論点对応整理の際に参照するなど、審査の有効性向上等に活用される見込みがある。



## (2) 総合評価

- 評価結果： C<sup>注2</sup>
- 評価コメント：

計画どおりに事故進展の解析を実施し、事故シーケンスの特徴を把握して目標を達成している。成果の公表がプロジェクト期間中に行われなかったことから上記評価とする。なお、令和2年度中の公表を目指して準備を進めている。

## 6. 評価結果の今後の活用

- 本研究プロジェクトの成果を論文として取りまとめ、速やかに公表を行う。
- 技術評価検討会で頂いた意見は、安全研究プロジェクト「規制へのPRAの活用のための手法開発及び適用に関する研究」及び「軽水炉の重大事故における格納容器機能喪失及び確率論的リスク評価に係る解析手法の整備」において活用していく。

### (主な成果の公表)

- 論文（査読付）
  - ①城島洋紀ほか、「レベル1PRAのための成功基準及び余裕時間並びにそれらのPRAモデルへの組み込み」（作成中）

---

<sup>注2</sup> ②成果の公表等の状況に関する評語が最下位（C）であったため、評価実施要領に従い、総合評価の基礎として算出した評語（B）を一段階下げCとなる。

## V. 緊急時活動レベル (EAL) に係るリスク情報活用等の研究 (H29～R1 (2017～2019))

### 1. 研究プロジェクトの目的

- より効果的な防護措置の実施可能性を検討するために、炉心損傷、格納容器機能喪失、早期大規模放出等に係る事象の発生確率情報のみならず、それらの事象進展の時間及びソースターム放出量等のリスクに係る情報を活用して、各緊急時活動レベル (EAL) におけるリスクの定量的評価手法を整備することを目的とする。併せて防護措置の被ばく低減効果を評価するための解析手法の整備を目指した。

### 2. 研究概要

- 既存の研究成果から放射性物質の環境中への放出量及び放出開始までの時間、炉心損傷確率といったリスクを評価するパラメータを収集し、EAL 及び緊急事態区分 (EC) の評価方法を検討した。加えて、放射性物質の環境放出時における屋外移動時の被ばく線量を様々な仮定の下で行った試算結果、自然災害時の避難に係る調査結果をまとめることで防護措置実施の最適化のための知見を蓄積した。
- 避難及び屋内退避の効果を把握するための評価モデルを検討した。(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。)

### 3. 研究成果

- 米国の研究を参考に条件付炉心損傷確率 (CCDP) を基準として EAL ごとの EC の妥当性を評価するための手法を整備した。
- 条件付格納容器破損確率 (CCFP)、格納容器破損までの時間、空間線量率を含めたリスク情報から、炉心損傷時点でのプラント状態の評価手法を検討した。
- 避難開始時刻を全面緊急事態 (GE) 発出直後に限定せずに被ばく線量を試算した結果から、事故シナリオと気象等の条件によっては、GE 発出後直ちに避難をすることが必ずしも最適であるとは限らない可能性が示唆された。
- 過去の自然災害による避難行動中の事故事例を調査し、事態の切迫性あるいは避難に関する情報の確実な伝達が重要であることが確認された。
- 屋内退避及び避難のモデルに係る知見を調査し、確率論的環境影響評価コード OSCAAR に反映した。

### 4. 技術評価検討会における主な意見及びその対応

- EAL の評価手法研究について、事故シナリオごとに EC の背景となるリスクの大きさを定量的に示すことで、よりきめ細かく事態の緊急度を把握できる優れたアイデアである。また CCFP、被ばく量及び経過時間の組合せによりプラント状態の深广度を多角的に評価できる有用な評価手法であり、今後も継続的に検討することが期待されるとの意見があった。
- 確率論的環境影響評価において、事故後に経時変化する影響を検討することが重要との意見があった。本評価で整理可能な時系列情報の検討を実施する。

## 5. 事後評価結果

### (1) 項目別評価

#### ① 成果目標の達成状況 : A

- 事故進展解析の結果等を踏まえて、EAL の判断基準とリスク情報（炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度、早期大規模放出頻度等）との対応を分析し、EAL に係る技術的知見を取得した。また、防護措置（避難、屋内退避等）に係る最新知見を確率論的環境影響評価コードに反映したことから、設定した目標を達成した。

#### ② 成果の公表等の状況 : C

- 原子力規制庁において、得られた成果を査読付論文として取りまとめて令和2年度中の公表に向けて準備を進めているものの、プロジェクト終了時点において、査読付論文等の公表の手続きに至っていないため上記評価とした。なお、研究委託先である国立研究開発法人日本原子力研究開発機構から査読付論文 1 件が投稿中である。

#### ③ 研究の進め方に対する技術的適切性 : A

- 国内外の既往の主要研究、評価手法等に関する最新知見を踏まえており、適切な解析実施手法が取られていることから、技術的適切性をもって研究が進められた。

#### ④ 研究マネジメントの適切性 : A

- 委託先を含め適切な研究体制を作り、計画どおりに進捗させ目標を達成していることから、研究マネジメントが適切に行われたと判断した。

#### ⑤ 業務管理の適切性 : A

- 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。

#### ⑥ 成果の規制への活用の状況・見通し : B

- 本研究の成果は、工学的安全設備や AM 策を考慮した事故進展シナリオについての検討結果であり、現段階で成果の活用に至っていないものの、今後 EAL を検討する際の基礎的情報として活用できると考えられることから、本判断とした。なお、新規制基準を踏まえ、重大事故等対処設備や特定重大事故等対処施設を考慮した EAL の検討が始まっていることから、本研究の成果に加え、これらの施設等を考慮した事故進展シナリオについて検討を進めていただきたい。

## (2) 総合評価

- 評価結果： C<sup>注3</sup>
- 評価コメント：

EAL に該当する緊急事態の事象と炉心損傷、格納容器機能喪失等のリスク指標との関係や、EAL の判断基準とリスク情報との対応を分析する等、EAL に係る技術的知見を計画どおりに拡充した。また、原子力災害時における屋内退避による被ばく線量の低減効果等に係る技術的知見を計画どおり取得した。しかし、成果の公表がプロジェクト期間中に行われなかったことから、上記評価とした。なお、令和2年度内の公表に向けて準備が進められている。

## 6. 評価結果の今後の活用

- 本研究プロジェクトの成果を論文として取りまとめ、速やかに公表を行う。また、今後行う研究プロジェクトにおいては、成果の公表を研究計画に含め積極的な公表に努める。
- 技術評価検討会で頂いた意見や規制への活用の観点で得た評価結果は、EAL の見直しに関連する技術的知見を整理するために令和3年度(2021年度)から開始予定の安全研究プロジェクトの計画に反映する。

### (主な成果の公表)

- 論文(査読付)
  - ① I. Shibata, “Protective action planning based on risk insight” (作成中)

---

<sup>注3</sup> ② 成果の公表等の状況に関する評語が最下位(C)であったため、評価実施要領に従い、総合評価の基礎として算出した評語(B)を一段階下げCとなる。

## VI. 地震ハザード評価手法の精度向上に関する研究 (H29～R1 (2017～2019))

### 1. 研究プロジェクトの目的

- 現行規制基準では、基準地震動を策定するに当たって、各種の不確かさの考慮や最新知見の反映等により、「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」について適切な評価を行うことを求めている。本安全研究プロジェクトでは、内陸地殻内地震による強震動記録等を活用することにより、震源特性における不確かさの評価に関わる知見を蓄積するとともに、震源を特定せず策定する地震動のレベルを把握することを目的とする。

### 2. 研究概要

- 内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震、それぞれの震源特性に着目して、地震動の評価手法の検討を行った（一般財団法人地域地盤環境研究所及び株式会社大崎総合研究所への委託研究を含む。）。また、2016年熊本地震を対象に、内陸地殻内地震の断層長さに係る調査手法の適用性を検討した。
- 震源を特定せず策定する地震動に関する検討を行い、震源近傍での地震基盤相当面における標準応答スペクトルの設定を検討した。
- トレンチ調査や数値解析等に基づく決定論的な断層変位評価手法及び断層変位評価式に基づく確率論的な断層変位評価手法の適用性を検討した。（株式会社構造計画研究所への委託研究を含む。）

### 3. 研究成果

- 内陸地殻内地震等の地震動解析から、震源特性を表す断層パラメータの既往経験式との整合性やばらつき分布に関する知見を蓄積し、断層パラメータの不確かさによる地震動評価への影響度を把握した。また、熊本地震で明瞭な地表地震断層のない阿蘇カルデラ内部において、反射法地震探査等の地質学・地球物理学的調査を実施した結果、地震動解析等で得た震源断層長と同程度の断層長を推定できた。
- 対象地震の地震動観測記録を用いた地震基盤相当面における非超過確率別応答スペクトルを求め、それを基に全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」の標準応答スペクトルを設定した。
- 衛星観測データの活用及びトレンチ調査の実施により、主断層トレースから離れた副断層の形状を把握するとともに、最新データを用いて副断層変位評価式を更新し、断層変位ハザードに係る知見を得た。

### 4. 地震・津波技術評価検討会における主な意見及びその対応

- 研究全体としては、丁寧な分析が行われており、今後の適用にあたり、有益な情報を提供できる研究成果が得られている、また、今後も国内外の学界の動向を踏まえた調査を継続することがある、と評価された。

- 断層変位に関して、本研究プロジェクトで提案した衛星データの活用による断層変位の検出手法が非常に有効であり、今後、副断層起因の変位の判別法等の研究が望ましいと評価された。また、主断層と副断層の定義や識別について更なる検討が必要であるとの意見があった。令和2年度(2020年度)から開始する安全研究プロジェクトにおいて断層変位評価に係る研究を推進していくこととする。

## 5. 事後評価結果

### (1) 項目別評価

- ① 成果目標の達成状況 : A
  - 内陸地殻内地震やプレート間地震等の断層モデルパラメータ設定手法の精緻化、観測地震動に基づいた震源を特定せず策定する地震動の評価手法の高度化、断層変位評価手法の適用性等に関する知見が蓄積できたことから目標を達成した。
- ② 成果の公表等の状況 : A
  - 原子力規制庁から査読付論文2件を公表した。なお、研究委託先から、査読付論文及び査読付の国際会議プロシーディングが計13件公表されている。
- ③ 研究の進め方に対する技術的適切性 : A
  - 国内外の最新知見を踏まえた上で、適切な実施手法により必要な調査データや解析結果が得られていることから、技術的適切性をもって研究が進められたと判断した。
- ④ 研究マネジメントの適切性 : 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。
- ⑤ 業務管理の適切性 : A
  - 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。
- ⑥ 成果の規制への活用の状況・見通し : S
  - 「震源を特定せず策定する地震動に関する検討」は、「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」における議論及び全国共通に考慮すべき「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策定」に寄与し、当該標準応答スペクトルについては、「震源を特定せず策定する地震動(全国共通)」として規制に取り入れられることが決定した。
  - 「断層モデルを用いた地震動評価手法の整備」については、今後、地震動評価で考慮すべき不確かさの妥当性を確認するうえでの参考知見として活用される。

## (2) 総合評価

- 評価結果： A
- 評価コメント：

計画どおりに調査・研究が進められ、地震動評価における不確かさの取り扱いに係る知見を目標どおりに取得するとともに、研究成果をまとめた査読付論文の公表も行われた。また、本安全研究成果の一部は規制に取り入れられることが決定されたほか、その他の成果は、今後、規制活動への成果の活用も見込まれていることから上記評価とした。

## 6. 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、適宜審査等の状況も踏まえながら、NRA 技術報告や論文等による公表を今後も進める。

### (主な成果の公表)

- 論文（査読付）
  - ①小林源裕ほか、「地震の高域遮断周波数  $f_{max}$  の生成要因に関する基礎的検討」、日本地震工学会論文集、第 18 巻、第 4 号、pp. 1-24、2018.
  - ②小林源裕ほか、「地震の高域遮断周波数  $f_{max}$  の生成要因に関する基礎的検討（その 2）—観測サイトの基盤特性と伝播経路特性を考慮した震源スペクトルの推定—」、日本地震工学会論文集、第 18 巻、第 4 号、pp. 100-121、2019.

## VII. 地震の活動履歴評価手法に関する研究 (H29～R1 (2017～2019))

### 1. 研究プロジェクトの目的

- 現行規制基準では、「将来活動する可能性のある断層等」が定義されており、その認定に当たっては、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約 40 万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価することを求めている。そこで、中期更新世以降の火山灰層序学的年代評価手法に関する具体的な留意点及び知見を蓄積する。
- 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律により、事業者に対する「安全性の向上のための評価の実施」が規定され、これに関連する「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」では、確率論的地震ハザード評価の実施が挙げられている。こ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にくい。そこで、活断層に起因する内陸地殻内地震及びプレート間地震の履歴に関する評価手法を整備するため、完新統（完新世の地層）を対象にした帯磁率測定及び微化石分析等による断層変位指標としての適用性、イベント堆積物を用いた古環境イベント（微化石の産出変動パターン、離水海岸地形等）の年代評価に関する精度向上に関する具体的な留意点及び知見を蓄積する。

### 2. 研究概要

- 新規規制基準に対応する最近約 40 万年間の火山灰層序学的年代評価手法を整備するため、深海底堆積物（ちきゅう C9001C コア）及び陸域堆積物に含まれる火山灰（テフラ）の対比を検討した。
- 完新統（完新世の地層）を対象に帯磁率測定及び微化石分析を実施し、断層変位指標及びイベント堆積物を対比する上で、これらの分析の適用性を検討した（国立大学法人東京大学への委託研究を含む。）。また、離水海岸地形の高度分布及びその地形面が形成された年代を検討した（国立大学法人東京大学への委託研究を含む。）。

### 3. 研究成果

- 中期更新世以降の火山灰年代を高精度に決定するとともに、深海底堆積物中の火山灰と陸成堆積物中の火山灰とを対比し、断層変位指標である海成段丘の年代評価に信頼性の高い火山灰年代を活用できる見通しを得た。
- 微化石分析等を実施した結果、地震時の隆起・沈降の傾向を反映していると考えられることができる断層変位指標の検出及びイベント堆積物の対比を実施し、微化石分析等が有用であることを確認した。また、離水海岸地形が形成された年代について、従来の放射性炭素年代測定による結果のばらつきを把握し、さらに先駆的な宇宙線生成核種を適用できる見通しを得た。



#### 4. 技術評価検討会における主な意見及びその対応

- 宇宙線核種を用いた年代測定は、断層運動等の年代測定を進めるためには必要な技術であるので、適用例を踏まえて、その信頼度や精度、適用範囲を確認するとともに、国内外の学界での動向を常にモニターし、幅広く手法の高度化を進められるような体制を整えていただきたい、との意見があった。令和2年度（2020年度）から開始する安全研究プロジェクトにおいて適用例を増やし、国内外の動向を注視しつつ、その信頼度や精度、適用範囲を確認していくこととする。
- 年代測定技術はサイトの安全性の判断に大きな影響を及ぼすこと、またその決定に関して透明性・合理性を担保するための事例の蓄積が非常に重要であることから、積極的に成果を公表して第三者の意見を参考にするとともに、具体的なガイドラインを充実させていくことが必要である、との意見があった。年代測定技術については今後も積極的な成果の公表を進め、透明性・合理性を確保した知見の蓄積及び審査ガイド等を補強する NRA 技術報告等に繋げていくこととする。

#### 5. 事後評価結果

##### (1) 項目別評価

##### ① 成果目標の達成状況： A

- 内陸地殻内地震及びプレート間地震の履歴評価に向け、深海底コア（堆積物）間の対比精度の向上、信頼性の高い火山灰年代、離水海岸地形を対象とした年代測定結果のばらつき等に関する知見が蓄積できたことから目標を達成した。

##### ② 成果の公表等の状況： A

- 原子力規制庁から査読付論文1件を公表した。

##### ③ 研究の進め方に対する技術的適切性： A

- 詳細な化学分析及び深海底堆積物の特性を生かし、高精度に火山灰年代を決定した。また、高密度の微化石分析等により断層変位指標の検出及びイベント堆積物の対比を実施し、さらに試料を分離した年代測定により、離水海岸地形の年代評価のばらつきを把握でき、技術的適切性をもって研究が進められたと判断した。

##### ④ 研究マネジメントの適切性： 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。

##### ⑤ 業務管理の適切性： A

- 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。

⑥ 成果の規制への活用の状況・見通し： B

- 「プレート間地震の履歴に関する評価手法の整備」のうち、宇宙線生成核種による隆起年代評価手法の整備の検討では、今後の規制活動に当たって、申請者の評価結果の妥当性を判断する際に留意すべき点としての知見が得られたと考える。
- 「活断層に起因する内陸地殻内地震の履歴に関する評価手法の整備」については、海域、陸域においての信頼性の高いテフラ年代を共有するための手法に関する知見として、段丘編年の妥当性を判断する際に活用できる可能性があると考えられる。
- 本研究の知見は、今後の規制活動に必要な知見となることが考えられるものの、現時点では規制への活用は限定的である。

(2) 総合評価

- 評価結果： B
- 評価コメント：

計画どおりに調査・研究が進められ、断層変位指標である海成段丘の年代評価に信頼性の高い火山灰年代を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。本研究で得られた火山灰年代に関する知見の一部が規制に活用されたものの、安全研究プロジェクト全体としては限定的であったことから上記評価とする。

6. 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、適宜審査等の状況も踏まえながら、論文等による公表を今後も進める。

(主な成果の公表)

- 論文（査読付）
  - ① T. Matsu' ura, et al., “Accurate determination of the Pleistocene uplift rate of the NE Japan forearc from the buried MIS 5e marine terrace shoreline angle”, Quaternary Science Reviews, Vol. 212, pp. 45–68, 2019.
  - ② T. Matsu' ura, et al., “Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of core MD012422: Improving marine tephrostratigraphy of the NW Pacific”, Quaternary Science Reviews. (投稿中)

## VIII. 断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究 (H25～R1 (2013～2019))

### 1. 研究プロジェクトの目的

- 現行規制基準では、「将来活動する可能性のある断層等」が定義されており、その認定に当たっては、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約 40 万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価することを求めている。そこで、地球物理学的調査、深部ボーリング調査等に基づく地質構造の把握に関する具体的な留意点及び知見を蓄積する。
- 断層の活動年代は通常、断層の上部に堆積した地層の年代に基づき特定又は推定するが、断層本体の性状や物質（断層破碎物質）から直接的な年代値を定量的に示すことができれば、断層の活動性を効率的に評価できる。そこで、断層破碎物質を用いた断層の定量的、定性的な活動性評価手法の整備に関する具体的な留意点及び知見を蓄積する。

### 2. 研究概要

- 下北半島、若狭地域及び茨城北部地域を対象に地球物理学的調査、深部ボーリング調査等を実施し、断層に関連する地下構造、速度構造等を把握するための手法及び断層の検出に関する物理探査手法の適用性を検討した（株式会社地球科学総合研究所、国立大学法人東北大学及び株式会社フグロジャパンへの委託研究を含む。）。
- 野島断層を対象にしたボーリング調査及びトレンチ調査を実施し、異なる深度から得られた断層破碎物質の年代測定及び高速摩擦実験により、断層の直接的年代測定法の有効性について検証した（国立大学法人京都大学への委託研究を含む。）。また、野島断層等を対象にした応力場の測定による断層活動性評価（国立大学法人京都大学への委託研究を含む。）並びに中央構造線を対象にした断層破碎物質の微細構造観察及び鉱物脈の化学分析に基づく断層の活動性評価の事例を蓄積した。

### 3. 研究成果

- 下北半島陸域の中軸部における深部地下構造及び地下 3km 程度までの中部の精緻な速度構造を把握した。また、若狭地域では、CSAMT 法電磁探査が硬質岩盤中の横ずれ断層の検出に対して適用性が高いこと、茨城北部地域では空中重力偏差法探査が海陸境界の断層構造調査に有効であることを確認した。
- 野島断層を対象にした直接的年代測定及び高速摩擦実験を実施し、深度増加に伴う摩擦発熱の増大が年代リセットに寄与していること、特にルミネッセンス年代測定法（OSL 及び TL）は、後期更新世以降の断層活動の年代測定に有効であることが分かった。また、野島断層等を対象にした応力場の測定の結果、現在の広域

応力場と同様の水平圧縮場が特定され、これらの手法の有効性を確認した。さらに、中央構造線では断層を横断する鉱物脈及びその生成地温を推定し、中央構造線の非活動区間は少なくとも後期更新世以降は活動していないことを把握し、本手法の有効性を改めて確認した。

#### 4. 技術評価検討会における主な意見及びその対応

- 電磁気探査により地下の活断層形状を認識する方法は興味深いところではあるが、調査であぶりだされるのは比抵抗構造であり、それから（活）断層構造を理解するにはいくつかの仮定もしくは付随的な情報が必要であり、探査方法のひとつとして認識する必要がある、との意見があった。調査手法の組合せが重要と考えていることから、報告書内においてその旨の記載を追記することとする。
- 上載地層法に代わる、適切な断層の活動性評価法の開発はとても重要なことであるため、国内外の学界でのチャレンジを適切に確認しながら、取り組んでほしい、との意見があった。継続プロジェクトにおいては、さらに適用例を増やしていくこととする。
- 今後は各テーマの主要技術について、論文化を進め客観的な評価を受けることが必要である、との意見があった。今後、論文等として成果を公表していくこととする。

#### 5. 事後評価結果

##### (1) 項目別評価

##### ① 成果目標の達成状況： A

- 地質構造全体の把握から応力場解析等に基づくテクトニクスの把握及び断層の活動性の評価といった、巨視的視点から微視的視点に至る総合的な断層の活動性の評価手法に関する知見が蓄積できたことから目標を達成した。

##### ② 成果の公表等の状況： C

- 原子力規制庁において、得られた成果を NRA 技術報告として取りまとめ、令和 2 年度上期に公表する予定であるものの、プロジェクト終了時点において、査読付論文等の公表の手続きに至っていないため上記評価とした。なお、研究委託先から、7 件の査読付論文等が公表されている。

##### ③ 研究の進め方に対する技術的適切性： A

- 検討対象とする地下構造、速度構造の規模、断層の形態を考慮し、地球物理学的調査、深部ボーリング調査等について適切な仕様を選定した。また、断層の活動性評価については年代測定のみならず実験的手法も併用してその有効性を検討したことから、技術的適切性をもって研究が進められたと判断した。

④ 研究マネジメントの適切性： A

- 委託先を含め適切な研究体制を構築した。野島断層を対象にしたボーリング調査では断層破碎帯を貫くための工事が難航し、試料の分析に一部遅れが生じたものの、研究計画の適切な見直しにより期間内に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。

⑤ 業務管理の適切性： A

- 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。

⑥ 成果の規制への活用の状況・見通し： B

- 「断層破碎物質を用いた断層の定量的な活動性評価手法の整備」については、将来的には、それぞれの手法を断層の活動性評価に適用する際の留意点や課題等が、規制活動での技術的な判断材料として活用される可能性がある。
- 「断層破碎物質を用いた断層の定性的な活動性評価手法の整備」については、実際の断層の活動性評価の事例となる。
- 本研究の知見は、今後の規制活動に必要な知見となることが考えられるものの、現時点では規制への活用は限定的である。

(2) 総合評価

- 評価結果： C<sup>注4</sup>
- 評価コメント：

おおむね計画どおりに調査・研究が進められ、断層破碎物質を用いた断層の定量的及び定性的な活動性評価手法に関する知見を得ることができたものの、プロジェクト終了時点において、査読付論文等の公表に至っていないこと、また地質構造の把握に関する知見の一部が規制に活用されたものの、安全研究プロジェクト全体としては限定的であったことから上記評価とする。

6. 評価結果の今後の活用

- 本研究プロジェクトの成果を NRA 技術報告等として取りまとめ、速やかに公表を行う。また、今後行う研究プロジェクトにおいては、成果の公表を研究計画に含め積極的な公表に努める。

(主な成果の公表)

- NRA 技術報告
  - ①宮脇昌弘、「断層破碎物質を用いた断層の直接的な活動年代評価手法」、NRA 技術報告 (作成中)

<sup>注4</sup> ②成果の公表等の状況に関する評語が最下位 (C) であったため、評価実施要領に従い、総合評価の基礎として算出した評語 (B) を一段階下げCとなる。

# 材料技術評価検討会 名簿

(五十音順)

## 委員

- |       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 笠原 直人 | 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授      |
| 松本 聡  | 芝浦工業大学大学院理工学研究科電気電子情報工学専攻教授 |
| 望月 正人 | 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻教授   |

## 専門技術者

- |       |                  |
|-------|------------------|
| 岡本 達希 | 関東学院大学工学総合研究所研究員 |
|-------|------------------|

# シビアアクシデント技術評価検討会 名簿

(五十音順)

## 委員

- |       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 糸井 達哉 | 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻准教授       |
| 牟田 仁  | 東京都市大学大学院総合理工学研究科共同原子力専攻准教授 |
| 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

- |       |  |
|-------|--|
| 倉本 孝弘 | 株式会社原子力エンジニアリング解析サービス本部<br>リスク評価グループ担当部長                     |
| 高橋 浩道 | 三菱重工業株式会社原子力事業部炉心・安全技術部<br>主幹プロジェクト統括                        |
| 田原 美香 | 東芝エネルギーシステムズ株式会社磯子エンジニアリングセンター<br>原子力安全システム設計部安全システム技術第二担当主幹 |

# 地震・津波技術評価検討会委員 名簿

(五十音順)

## 委員

- |       |   |
|-------|---|
| 岩田 知孝 | 京都大学防災研究所教授                               |
| 酒井 直樹 | 国立研究開発法人防災科学技術研究所<br>先端的研究施設利活用センター副センター長 |

## 専門技術者

- |       |   |
|-------|---|
| 梅木 芳人 | 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<br>研究コーディネーター（自然外部事象分野） |
| 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上席研究員                    |
| 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<br>企画運営チーム研究副参事         |