

安全研究に係る事前評価結果

平成 31 年 1 月 23 日
原子力規制委員会

1. 事前評価の進め方

1.1 評価の対象

「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」（平成 31 年度以降の安全研究に向けて）（平成 30 年 7 月 18 日原子力規制委員会了承。以下「実施方針」という。）に従って計画された新規の安全研究プロジェクトを対象とした（表 1）。

表 1 事前評価対象プロジェクト

	プロジェクト名	実施期間
1	人間工学に基づく人的組織的要因の体系的な分析に係る規制研究	H31－H34
2	原子力プラントの熱流動最適評価に関する安全研究	H31－H34
3	事故時炉心冷却性に対する燃料破損の影響評価研究	H31－H35
4	大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究	H31－H35

1.2 評価方法

「今後の研究評価の進め方について」（平成 30 年 11 月 21 日原子力規制委員会報告）に基づき実施した。評価に当たり、技術評価検討会の外部専門家及び専門技術者の意見を聴取した。

2. 事前評価結果

各安全研究プロジェクトについては、実施方針と整合していることを確認した。また研究の実施に当たり、技術評価検討会の際の指摘や意見を踏まえた対応を行うことが適当であるとした。

各プロジェクトの事前評価結果は、別紙 1～4 のとおり。

人間工学に基づく人的組織的要因の体系的な分析に係る規制研究（H31～H34）の事前評価結果

1. 先行する研究プロジェクトの成果と課題（新規PJが後継PJである場合）

- 先行する研究プロジェクト「人間・組織に係るソフト面の安全規制への最新知見の反映」（H26～H30）において、人間工学を設計段階から体系的に考慮する規制要件を明確にするため関連する規制や技術の最新動向を調査した。調査の結果、人間の活動が直接関わる原子炉制御室等の人間工学設計評価のあり方について技術的知見を得た。
- 調査において、不確実な状況下にある重大事故時等において対応する人間の複雑な認知行動を評価するためには、人間工学設計評価プロセスや、その主要な要素技術である人間信頼性解析手法を高度化する必要があることなどの研究課題が見いだされている。

2. 研究プロジェクトの目的

- 人間工学を体系的に考慮して原子炉制御室等の設計を評価するための技術的根拠の整備として、重大事故時等の対応に関する人間工学設計を評価するための方法論やその適用事例集の整備、及び人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備を行う。

3. 研究概要

- 原子力施設の高い安全性及び信頼性を確保していくためには、人間や組織の特性を踏まえて人的過誤の発生を抑制し、人間系の信頼度を向上させることが重要である。現在、原子力規制委員会では、IAEAによる規制総合評価サービスの指摘を踏まえ、人間工学を設計段階から体系的に考慮するべく規制要件を高度化するとともに、高度化した規制要件を審査・検査で確認するガイド「人間工学設計評価ガイド」の作成を進めている。
- 本研究プロジェクトでは、重大事故時等において複雑さが増す人間の行動に適用可能な人間工学設計の評価方法を整備する。また評価にあたっては、状況の理解や意思決定等の認知的な特性を分析する必要がある。このため、認知的特性を分析可能な人間信頼性解析手法を開発するとともに、その分析結果を人間工学設計評価に適用する方法論を整備する。

4. プラント安全技術評価検討会における主な意見及びその対応

- 計画期間での検討範囲をあらかじめ明確にすべきとの意見があったことから、初年度（平成 31 年度）に個人、チーム、組織に関して人間工学設計評価の対象とする範囲を明確にするるとともに、それらの対象についての評価方法を具体化することとする。

- 安全上重要な人的タスクの抽出、認知的メカニズムを踏まえたタスクの分析、タスク分析の結果の人間工学設計への反映等において、良好事例の反映方法も含まれるべきとの意見があったことから、評価に携わる人の参考になるような評価方法適用の良好事例を作成することとする。
- タスク分析の結果を人間工学設計に反映するにあたっては、事業者側の教育・訓練の改善にも繋げられるような成果が得られれば良いとの意見があったことから、人間工学設計の一環として手順書や教育訓練方法の改善点が明確になるような評価方法の構築を行うこととする。

5. 事前評価結果

(1) 研究計画（案）の適切性

- 研究計画（案）は実施方針と整合し、論文公表も含め最終目標を明確に設定している。

(2) 研究内容の技術的妥当性

- 技術評価検討会において確認されたように、研究内容は技術的におおむね妥当である。なお、実施にあたっては技術評価検討会で出された意見を参考に、国内外の最新の知見を常に収集し海外機関との情報交換を行いながら、技術的妥当性を高めることに努めること。

原子力プラントの熱流動最適評価に関する安全研究（H31～H34）の事前評価結果

1. 先行する研究プロジェクトの成果と課題（新規PJが後継PJである場合）
 - 先行研究プロジェクトでは、設計基準事故及びそれを超える事故において想定される物理現象のうち、重要かつ機構が未解明な熱流動現象の実験的知見を取得した。また、システム解析コードを開発し既存最適評価コードとほぼ同等の機能を持つ熱水力コードのプログラミングを行った。さらに、BEPU（不確かさを考慮した最適手法）によって最適評価解析を実施した。最適評価手法の確立のためには上記熱流動現象の詳細なモデル化、開発したコードの系統的なV&V、及び個々の物理現象の不確かさ（分布、幅等）の知見が必要である。
2. 研究プロジェクトの目的
 - 本プロジェクトの目的は、事業者が実施する安全解析の妥当性判断に活用できる最適評価手法を整備することである。具体的には、重要な熱流動現象に関する機構論的モデルを作成し不確かさ評価手法に関する知見を取得し最適（BE）コードの整備を行う。
3. 研究概要
 - 上記目的を達成するために、先行プロジェクトの知見を活用して以下を実施する。
 - ・ 未だ詳細が不明な熱流動現象に関する実験結果に基づく機構論的モデルの開発
 - ・ 最適評価に活用できる信頼性の高いBEコードの整備
 - ・ BEPU手法の確立に向けて不確かさ評価手法の検討具体的には、物理現象のモデル化として、原子炉停止機能喪失(ATWS)等における液膜ドライアウト挙動等、反応度投入事象(RIA)で想定されるボイド挙動、LOCA時の現象(FFRD, 再冠水現象)および蒸気発生器伝熱管複数破損(マルチSGTR)時のプラント挙動に関するモデル化及び実験を実施する。また、開発したシステム解析コード(AMAGI)のV&Vを実施し、BEPU手法の高度化として不確かさ評価手法、感度解析手法等のBEPU手法の高度化を検討する。
4. プラント安全技術評価検討会における主な意見及びその対応
 - 詳細が不明な熱流動現象について、どのように機構論的モデルを開発するのかとの意見があった。先行する研究プロジェクトで物理現象の素過程のモデル化に資する実験データを取得しているため、これを活用してモデルの高度化を進めることとした。
 - 本研究が対象として具体的な現象(ATWS, RIA, FFRD, LOCAなど)が挙げられているが他にも重要な熱流動現象はないか整理すべきとの意見があった。予め重要度の高い熱流動現象を整理し、重要かつ詳細な機構が未解明な現象として抽出した結

果であるが、必要に応じ随時優先度の見直しを行っていくこととする。

- OECD 等の国際ベンチマーク問題や個別効果試験のプロジェクトに規制庁が参画すべきとの意見があった。OECD/NEA/CSNI において予定されている関連プロジェクトには積極的に参加することとしており、取得した詳細な実験データ等をモデル高度化に活用することを検討する。

5. 事前評価結果

(1) 研究計画（案）の適切性

- 実施方針と整合した研究計画案となっており、先行研究の成果を踏まえて、最終の目標に向けた実施内容が明確に策定されている。さらに、見込まれる審査での活用に向けた手法整備を着実に進めるための研究計画となっている。

(2) 研究内容の技術的妥当性

- 専門家により確認されたように、研究内容の技術的におおむね妥当である。なお、実施にあたっては技術評価検討会で出された意見を参考に、国内外との協力や情報交換に努め、技術的妥当性を常に確認しながら進めること。

事故時炉心冷却性に対する燃料破損の影響評価研究（H31～H35）の事前評価結果

1. 先行する研究プロジェクトの成果と課題（新規PJが後継PJである場合）
 - 平成 30 年度までに、海外商業炉において高燃焼度まで照射された改良型燃料を用いて事故模擬試験を実施し、改良型燃料が国内に導入される際の適合性審査の判断根拠となる技術的知見を取得するとともに、高燃焼度で顕在化する事故時燃料挙動の有無を確認した。そこで実施した試験において、現行の指針類が策定された当時には観察されていなかった燃料破損挙動が確認された。
2. 研究プロジェクトの目的
 - 設計基準事故時の燃料破損に起因する炉心冷却性喪失に関連し、最近の研究で新たに観察された燃料破損挙動について、発生条件やメカニズム等に関する知見を得る。また、炉心の著しい損傷の開始となる燃料棒の形状喪失が起こる条件に関する知見を得る。得られた知見を基に、指針類の見直しの検討など規制判断に資するための評価を行う。
3. 研究概要
 - 事故模擬試験で観察されている燃料ペレットの細片化挙動、被覆管破損挙動、被覆管破損に伴う燃料ペレット片の燃料棒外放挙動などについて、試験及び解析を実施して、知見を取得する。また、現在は、設計基準事故である LOCA に対して定められた基準を用いて、炉心の著しい損傷の開始と拡大防止策の有効性を判断しているが、実際に燃料の著しい損傷が起こる条件を明確にするために、LOCA 基準を超えるような高温条件での燃料損傷挙動について知見を取得する。
4. 燃料技術評価検討会における主な意見及びその対応
 - 実験で得られる多くの結果をどのようにまとめるかが重要であるとの意見があった。本プロジェクトでは規制への活用という最終的なアウトプット・アウトカムを意識して結果をまとめ、論文等により適宜公表していくこととする。
 - 海外でも同様の事象が観察されているか等を確認しておくようとの意見があった。本プロジェクト策定の際には、海外での関連研究の動向等を確認しているが、今後も情報収集を行いながら、研究を進めることとする。
 - 研究であるからには、課題を解決するだけでなく、新規性や一般性を成果として創出してほしいとの意見があった。本プロジェクトとしては、課題の解決や規制への反映を主目的としているが、基礎的な試験も実施する等して、研究に幅を持たせ、一般性のある成果も創出するよう努力することとする。

5. 事前評価結果

(1) 研究計画（案）の適切性

- 実施方針と整合し、また、先行研究等による知見を基に最終目標が明確に設定され、それに向けた研究計画が策定されている。さらに、軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針等、目的とする活用先に必要な知見を取得するための研究計画となっている。

(2) 研究内容の技術的妥当性

- 技術評価検討会において確認されたように、研究内容は技術的におおむね妥当である。なお、技術的妥当性を維持するために、技術評価検討会でのコメント及び類似の研究を行う海外機関の動向も参考にして効率的に研究を進めること。

大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究（H31～H35）の事前評価結果

1. 先行する研究プロジェクトの成果と課題（新規PJが後継PJである場合）

- 平成 30 年度までに過去に巨大噴火を起こしたいくつかの火山の噴火直前のマグマ溜まりの定置深さが明らかになり、その深さを探査する手法を示すことができた。一方、マグマが蓄積するまでの時間的な変化や、空間的な変化を捕らえるため、より深部のマグマを捕らえる方法を確立することが新たな課題として挙げられた。また、巨大カルデラのマグマ活動を評価する手法の 1 つとして、火山性地殻変動を捕らえる手法を整備することの必要性が示された。

2. 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、巨大噴火の準備段階からのプロセスについての知見を得る。それに基づき、過去の噴出物の調査及び分析に基づく過去のカルデラ火山活動の長期的な活動評価の手法及びマグマ・火山活動に関するデータを蓄積し、モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方を提案する。

3. 研究概要

- 過去の巨大噴火の準備過程をより詳細に明らかにする。具体的には、マグマプロセスとして、噴火直前のマグマ溜まりの時空間変化を地質学的調査及び岩石学的手法により推定し、巨大噴火のマグマの蓄積過程から噴火のシーケンス、ポストカルデラの火山活動までの一連の火山活動のシナリオを作成する。また、活動的なカルデラ火山を中心に地下構造と火山性地殻変動の関係を地球物理学的な調査と粘弾性緩和の効果を考慮した火山性地殻変動モデルを用いて解析し、地下のマグマ活動起因の地殻変動に解釈を与える。さらには、深部流体の地球化学的分析によりカルデラ地下に存在するマグマ特性を推定する手法を確立する。これらの知見を基に、巨大噴火を起こした火山の過去の噴出物の調査及び分析に基づく過去のカルデラ火山活動の長期的な活動評価の手法及びマグマ・火山活動に関するデータを蓄積し、モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方を提案する。

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

- 現行の研究計画では地球物理・地球化学的な調査・研究の内容が不明確と指摘されたことから、より具体的に研究計画を記載した。
- 研究項目間の連携を明確化すべきとの指摘を受けたことから、地質学、岩石学、地球物理学及び地球化学の各研究項目の関係性について研究計画に反映した。

5. 事前評価結果

(1) 研究計画（案）の適切性

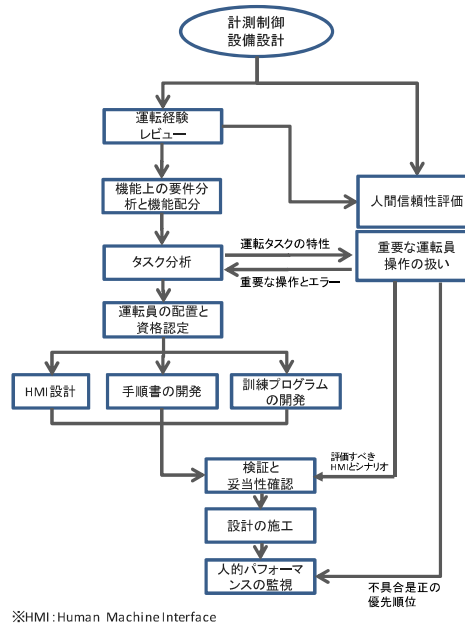
- 巨大噴火を対象として、噴火プロセスに関する知見を基にモニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方を提案することを研究目的としており、実施方針に対して研究計画は整合している。
- 火山研究に関する最新の知見、技術を取り入れた研究を行うとともに、成果は適時論文等で公表することとしており適切な実施計画となっている。
- 火山影響評価ガイドの運用等に資するものであり適切である。

(2) 研究内容の技術的妥当性

- 本研究は、人類が未経験の巨大噴火の過去の噴出物の調査及び分析に基づき、過去のカルデラ火山活動の長期的な活動評価の手法及びマグマ・火山活動に関するデータを蓄積し、モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方を提案するものであり、技術的に高度で挑戦的な要素も含まれる。研究は、国内外の研究動向を踏まえつつ最新知見を取り入れた計画となっており、調査・研究方法は妥当と考えられる。

研究計画（案）

1. プロジェクト	人間工学に基づく人的組織的要因の体系的な分析に係る規制研究	担当部署	技術基盤グループ システム安全研究部門
		担当責任者	畑 孝也 統括技術研究調査官
2. カテゴリー・研究分野	【横断的原子力安全】C) 人的組織的要因	主担当者	河合 潤 原子力規制専門職 堀内 友翔 技術研究調査官
3. 背景	<p>機械系と人間系で構成される原子力施設において、機械系と比較すると、人間系（運転員、保守作業員等）は、自律性や柔軟性、緊急時の対応能力等に優れる一方、そのパフォーマンスにはばらつきが大きく不安定な面がある。原子力施設の高い安全性及び信頼性を確保していくためには、そうした人間や組織の特性を踏まえて人的過誤の発生を抑制し、人間系の信頼度を向上させることが重要である。人的過誤の発生の抑制の手段として、ヒューマンマシンインタフェース、手順書、訓練等の改良が挙げられる。</p> <p>人間系に関する規制の国内外の動向として、原子力施設に関する我が国の規制に対して IAEA（国際原子力機関）が平成 28 年に行った総合規制評価サービス（Integrated Regulatory Review Service、以下「IRRS」という。）では“人的組織的要因を設計段階で体系的に考慮すること”が提言されている。これは IAEA の安全要件 SSR-2/1「原子力プラントの設計」の中の要件 32「運転員の最適な操作のための設計」において、「ヒューマンマシンインタフェースを含む人間工学の体系的な検討は、原子力発電プラントの設計プロセスの初期の段階に含まれ、また全体の設計プロセスを通して継続していなければならない」とされていることに対応するものである。また、この要件のもとに人間工学的設計に関する安全指針として、DS492「Human Factors Engineering in the Design of Nuclear Power Plants（原子力発電プラントの設計における人間工学）」が平成 30 年 11 月に IAEA の CSS（Commission on Safety Standards）会議で承認され、平成 31 年初には正式発行される予定となっている。</p> <p>このため原子力規制委員会では、IAEA の安全要件及び安全指針を参考とし、人的組織的要因を設計段階より体系的に考慮するべく規制要件を高度化するとともに、高度化した規制要件を審査・検査で確認するガイド「人間工学を考慮した原子炉制御室等に関する設計評価ガイド（以下「人間工学設計評価ガイド」という。）」の作成を進めている。また人間工学設計評価ガイドの作成に資するため、関連する規制や技術の最新動向の調査を実施している。調査の結果、人間とプラントの相互作用を扱う人間工学では、重大事故時等において、不確実な状況に対応する人間の複雑な認知行動を評価する方法論等について研究課題が見いだされた。</p>		
4. 目的	<p>本プロジェクトでは、人間工学を体系的に考慮して原子炉制御室等の設計を評価するための技術的根拠を整備し、原子力安全の一層の向上を図ることを目的とする。研究課題としては、重大事故時等における不確実な状況に対応する人間の複雑な認知行動を評価する方法論について、以下の 2 件を設定する。</p> <p>(1) 重大事故時等の対応における原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の整備 (2) 重大事故時等の対応において人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備</p>		
5. 知見の活用先	研究成果は、人間工学設計評価ガイドの技術的根拠として活用する。		
6. 安全研究概要 (始期：平成31年度/2019年度) (終期：平成34年度/2022年度)	<p>本プロジェクトの研究は、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」（平成 28 年 7 月 6 日原子力規制委員会決定）における安全研究の目的のうち以下の分類に基づき実施する。</p> <p>① 規制基準等の整備に活用するための知見の収集・整備（以下「分類①」という。） ② 審査等の際の判断に必要な知見の収集・整備（以下「分類②」という。） ③ 規制活動に必要な手段の整備（以下「分類③」という。）</p> <p>本プロジェクトの研究においては、我が国の規制において人的組織的要因を設計段階より体系的に考慮することで原子力安全の一層の向上を図るため、以下の(1)及び(2)を実施する。</p> <p>人間工学設計は基本的に、分析（運転経験レビュー、機能上の要件分析と機能配分、重要な運転員操作の扱い、タスク分析、運転員の配置と資格認定）、設計（ヒューマンマシンインタフェース設計、手順書の開発、訓練プログラムの開発）、検証と妥当性確認、設計の施工、人的パフォーマンスの監視というプロセスで行われる（図 1）。</p>		



※HMI: Human Machine Interface

図 1 人間工学設計の基本的なプロセス

(1) 重大事故時等の対応における原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の整備（分類①、②）

重大事故時等においては、プラント状況の不確実性が増し事故の進展推移も多様化するとともに、人間の対応にも複雑な認知的能力が求められる。このため重大事故時等の人間工学設計プロセスの評価においても、「重要な運転員操作の扱い」において多様な人的タスクの中から安全上重要なタスクを抽出すること、「タスク分析」において人的過誤を認知的モデルに基づいて予測的に特定すること、特定された人的過誤について後段の「設計（ヒューマンマシンインタフェース設計、手順書の開発、訓練プログラムの開発）」、「検証と妥当性確認」、「人的パフォーマンスの監視」において適切な対処がなされていることを確認すること等の、設計プロセス評価の高度化が必要となる。ここでは設計プロセス評価の高度化のフレームワークを検討しその実現可能性を確認する。

これらの高度化フレームワークについては、さらに、「重要な運転員操作の扱い」において重大事故時等の対応に必要な多様な人的タスクの中から、Fussell-Vesely 指標、Risk Achievement Worth 指標等を用いて安全上重要なタスクを抽出する方法論の具体化を検討する。

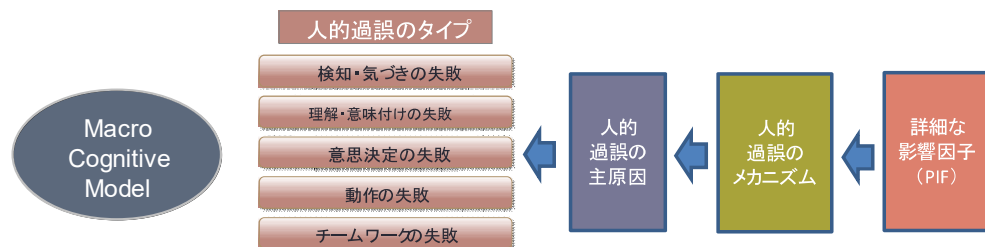
同様に、特定された人的過誤について後段の「設計（ヒューマンマシンインタフェース設計、手順書の開発、訓練プログラムの開発）」において適切な対処がなされていることや、その結果、「検証と妥当性確認」、「人的パフォーマンスの監視」において実際に人的過誤の低減が実現していることを確認するための方法論の具体化を検討する。

(2) 重大事故時等の対応において人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備（分類①、②、③）

人的過誤を認知的モデルに基づいて予測的に特定するための要素技術となる人間信頼性解析手法については、解析ツールを開発する。解析手法は、人的過誤に至る認知的な要因やメカニズムを明示的に構造化したモデルに基づいている必要がある。最新の人間信頼性解析手法の中では、米国 NRC（原子力規制委員会）が規制への適用を進めている IDHEAS（Integrated Human Event Analysis System）手法がこの目的において有望と考えられ、この手法を参考に解析ツールの開発を進める。なお、IDHEAS 手法は Macro Cognitive Model（図 2）と呼ばれる認知的モデルに基づいている。

IDHEAS 手法をはじめとする最新の人間信頼性解析手法の研究においては、手順書を逸脱する場合や、手順書の記載に自由度が大きい場合の運転員の対応への適用可能性について研究課題が認識されている。例えば、コミッションエラー（プラントの状態を誤って認識し余計な操作をしてしまった結果、プラントに悪影響を及ぼしてしまうエラー）や、火災、地震、津波対応、可搬型機器操作等の場合がある。これらの課題についても適用可能性を検討したうえ、解析ツールに適宜反映する。

専門家判断に依存する部分が多い人間信頼性解析手法において、解析者の主観的な判断に依らない再現性のある解析結果を得るため、また多種多様にわたる運転員対応を網羅的に考慮するために、人的過誤に至る認知的な要因やメカニズムとその結果発生する人的過誤のタイプとを定性的、定量的に関連付ける基礎データ等を体系的に取得する。



※出典 NUREG-2114, Cognitive Basis for Human Reliability Analysis, NRC, 2016

図 2 構造化された認知的モデルの例（Macro Cognitive Model）

項目		2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
(1) 重大事故時等の対応における原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の整備		高度化フレームワーク検討 (評価ガイド作成 ▽)	重要タスク抽出方法	人間工学設計低減策	論文等の公表 ▽ (評価ガイドへの反映 ▽)
(2) 重大事故時等の対応において人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備	人間工学設計に適用する人間信頼性解析ツールの開発		人間信頼性解析ツール		論文等の公表 ▽ (評価ガイドへの反映 ▽)
	人的過誤基礎データの取得			基礎データ取得	
7. 実施計画	【平成 31 年度 / 2019 年度の実施内容】				
	(1) 重大事故時等の対応における原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の整備 (分類①、②)				
	<ul style="list-style-type: none"> 設計プロセス評価の高度化フレームワークの検討及びその実現可能性の確認 「重要な運転員操作の扱い」における安全上重要なタスクの抽出方法の具体化 想定する成果： 高度化フレームワークの実現可能性の確認結果、適用対象・範囲の明確化				
	(2) 重大事故時等の対応において人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備 (分類①、②、③)				
	<ul style="list-style-type: none"> 人間工学設計に適用する人間信頼性解析ツールの開発 想定する成果： 認知的モデルに基づいた人間信頼性解析手法(内的事象)の具体化、適用事例				
【平成 32 年度 / 2020 年度の実施内容】					
(1) 重大事故時等の対応における原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の整備 (分類①、②)					
<ul style="list-style-type: none"> 「重要な運転員操作の扱い」における安全上重要なタスクの抽出方法の具体化 特定された人的過誤に対する人間工学設計における低減策の確認 想定する成果： 安全上重要なタスクの抽出方法の具体化、確率論的リスク評価手法の適用方法の明確化、抽出事例					
(2) 重大事故時等の対応において人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備 (分類①、②、③)					
<ul style="list-style-type: none"> 人間工学設計に適用する人間信頼性解析ツールの開発 想定する成果： 認知的モデルに基づいた人間信頼性解析手法(火災、外的事象、現場機器・可搬型機器操作等)の可能性検討、適用事例					
【平成 33 年度 / 2021 年度の実施内容】					
(1) 重大事故時等の対応における原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の整備 (分類①、②)					
<ul style="list-style-type: none"> 「重要な運転員操作の扱い」における安全上重要なタスクの抽出方法の具体化 特定された人的過誤に対する人間工学設計における低減策の確認 想定する成果： 人的過誤に対する人間工学設計における低減策の具体化、適用事例					
(2) 重大事故時等の対応において人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備					
<ul style="list-style-type: none"> 人間工学設計に適用する人間信頼性解析ツールの開発 人的過誤基礎データの取得 想定する成果： <ul style="list-style-type: none"> 認知的モデルに基づいた人間信頼性解析手法(コミッションエラー、支援組織等)の可能性検討、適用事例 解析ツール 					
【平成 34 年度 / 2022 年度の実施内容】					
(1) 重大事故時等の対応における原子炉制御室等の人間工学設計を評価するための技術的根拠の整備 (分類①、②)					
<ul style="list-style-type: none"> 特定された人的過誤に対する人間工学設計における低減策の確認 想定する成果： 高度化フレームワークの技術的根拠の取得、評価ガイドへの反映					
(2) 重大事故時等の対応において人間工学設計の評価に適用する人間信頼性解析手法の整備 (分類①、②、③)					
<ul style="list-style-type: none"> 人間工学設計に適用する人間信頼性解析ツールの開発 人的過誤基礎データの取得 想定する成果： <ul style="list-style-type: none"> 解析ツールに適用する人的過誤関連データ (人的過誤のタイプと人間工学設計要求との対応関係等) 認知的モデルに基づいた人間信頼性解析手法に関する技術的根拠の取得、評価ガイドへの反映 					
8. 実施体制	【システム安全研究部門における実施者】				
	○河合 潤 原子力規制専門職				
	堀内 友翔 技術研究調査官				
	今瀬 正博 原子力規制専門職				
	高田 博子 技術研究調査官				
9. 備考	本テーマは非常に幅広い分野を研究対象とするものであるため、人的組織的要因に係る規制の全体像の把握とその中で外的環境の変化を踏まえた優先順位付けの明確化を図り、適宜計画の見直しを実施するものとする。				

1. プロジェクト	原子カプラントの熱流動最適評価に関する安全研究	担当部署	技術基盤グループ システム安全研究部門
		担当責任者	井上 正明 上席技術研究調査官
2. カテゴリー・研究分野	【 原子炉施設 】 F) 熱流動・核特性	主担当者	小野 寛 主任技術研究調査官 金子 順一 技術研究調査官 江口 裕 技術研究調査官
3. 背景	<p>現行の規制制度においては、原子炉施設の安全設計が設置許可基準に適合していることを確認するため「運転時の異常な過渡変化」(AOO)、「設計基準事故」(DBA)及び「重大事故に至るおそれがある事故」(BDBA)における原子炉の安全性の評価を要求している。BDBAについては最適評価手法を用いた評価が行われているのに対し、AOO及びDBAの評価においては実炉の詳細な体系や複雑な現象を単純化した物理モデル及び仮想的な想定を用いているため、実炉の現実的な挙動を模擬しておらず、原子炉施設が有する安全余裕の定量評価及び改善点の検討につながりにくい。これらの課題を解決するためには、実炉の詳細な体系、複雑な現象等を現実的に予測できる最適評価コードを用いた最適評価手法及び不確かさを考慮した最適評価(BEPU: Best Estimate Plus Uncertainty)手法が不可欠である。近年の国内外の動向[*]を考慮すると、今後はAOO及びDBAについては従来の評価手法に代わってBEPU手法、BDBAについては最適評価手法が用いられることが見込まれる。</p> <p>これまで原子力規制庁において最適評価手法及びBEPU手法の整備を実施してきたが、審査において事業者が実施する安全性の評価に対する妥当性の判断に活用するためには、これまで取得した知見に基づく事故時の重要な物理現象のモデル化、近年整備された最適評価コードへの要件を踏まえた体系的な検証及び妥当性確認(Verification and Validation: V&V)、BEPUにおける個々のモデルの不確かさ(幅、分布等)の正確な定量化等を実施して、最適評価手法及びBEPU手法の課題を解決する必要がある。これらの作業により手法を高度化することで、事故等における実炉の安全余裕を定量的に評価して、その改善点を検討することが期待できる。</p> <p>※IAEA安全指針SSG-2「原子力発電所に対する決定論的安全解析」、日本原子力学会標準「統計的安全評価の実施基準:2008」等</p>		
4. 目的	<p>最適評価手法及びBEPU手法における課題を解決するため、安全解析における実炉の安全余裕の定量的な評価及び改善点の検討を継続的に実施できるように、最適評価手法を整備する。</p>		
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトで確立した最適評価手法及びBEPU手法並びに整備した最適評価コードを、事業者が実施するAOOからBDBAにおける原子炉の安全性の評価に対する妥当性確認、事故・トラブルの原因究明等に活用する。</p>		
6. 安全研究概要 (始期: H31年度) (終期: H34年度)	<p>(1) 事故時の物理現象に係る物理モデルの高度化【分類②③④】</p> <p>事故等において重要であり、詳細な機構の把握及びモデル化が必要な以下の物理現象について、実験データ等に基づいて物理モデルを高度化する。高度化したモデルについて妥当性確認を行うとともに、実機を対象とした解析を実施して適用性を確認する。</p> <p>本プロジェクトでモデル高度化の対象とする物理現象は、前プロジェクト「事故時等の熱流動評価に係る実験的研究(H24~H30)」において、PIRT(Phenomena Identification and Ranking Table; 現象重要度ランク表)を作成し、PWR及びBWRの運転時の異常な過渡変化から重大事故に至るおそれがある事故までにおいて原子炉の各領域で想定される熱流動現象について、その重要度及び詳細機構のモデル化の充実度によって抽出したものである。前プロジェクトにおいては、各現象について更に細分化した素過程の現象を把握できる詳細実験を実施しており、取得した実験データを本プロジェクトにおけるモデル高度化に活用する。</p> <p>モデルの高度化及び妥当性確認に必要な実験は、国内外の関係機関と協力して実施する。また、実験データ及び実験で取得した知見の積極的な公開を検討する。</p> <p>(a) 原子炉停止機能喪失(ATWS)時等における液膜ドライアウト及びリウエットに係る現象把握及びモデルの高度化</p> <p>ATWS等において燃料被覆管の熱伝達に影響することから重要な液膜の喪失(液膜ドライアウト)及びその後の液膜の再進展(リウエット)について、スぺーサによる液滴付着効果及びリウエット時の先行冷却に係る詳細モデルの高度化を実施する。前プロジェクトでは、大気圧条件下で種々のスぺーサを設置した試験体に液滴を注入した実験を実施し、スぺーサ近傍の液膜厚さ分布、液滴の径及び速度分布、気相の速度分布等の詳細データを取得した。また、大気圧条件下でリウエット先端の可視化実験を実施して、先行冷却機構に係る詳細データを取得した。これらの詳細データをモデル高度化に活用する。</p> <p>前プロジェクトにおいて整備した高圧高温の炉心熱伝達実験装置HIDRA(High pressure thermal hyDRAulic loop)を用いてATWS事象を模擬した過渡実験等を実施し、その実験データを用いて高度化モデルの妥当性を確認する。</p> <p>(b) 反応度投入事象(RIA)で想定されるボイド挙動に係る現象把握及びモデルの高度化</p> <p>RIA(特に低圧サブクール条件)において核熱結合挙動(ボイド反応度フィードバック)に影響することから重要な出力急昇時の局所的なボイドの発生、横方向への伝播、凝縮について、前プロジェクトで取得した実験データに基づいた詳細解析手法を整備する。前プロジェクトでは、低圧サブクール沸騰についての実験を実施し、沸騰開始点、沸騰核密度、気泡離脱等に係る詳細デー</p>		

タを取得した。また、RIA を想定した局所的な出力急昇による気泡の発生及びその横方向伝播挙動等について詳細データを取得した。これらの詳細データをモデル高度化に活用する。

(c) LOCA 等における現象に係る現象把握及びモデルの高度化

近年明らかになった LOCA 等発生時の高燃焼度燃料ペレットの細片化、その被覆管膨れ部への移動及び破裂部からの放出現象 (FFRD) の燃料冷却性への影響を評価する。前プロジェクトで作成した簡易なモデルに代わる、FFRD 現象を機構論的に扱うモデルを燃料解析コードに組み込み、燃料被覆管の膨れ・破裂で生じる流路閉塞による燃料冷却性への影響を考慮できるようにモデルを高度化する。また、再冠水時（特に代替冷却水注入設備を想定した低速度の再冠水時）の液滴挙動、気液 3 次元挙動等の詳細現象についての知見を拡充するとともに、取得した知見に基づいて再冠水モデルを高度化する。なお、モデル高度化にあたっては、OECD/NEA/CSNI において予定されている再冠水実験に係るプロジェクトへ参加し、取得した詳細な実験データ等をモデル高度化に活用することを検討する。

(d) 蒸気発生器伝熱管複数破損(マルチ SGTR)及び非常用炉心冷却系 (ECCS) 再循環機能喪失時のプラント挙動の把握

地震による共通要因故障に伴って想定されるマルチ SGTR について、事象進展に影響を与える現象、事象収束のための機器、運転員操作等を把握する必要がある。前プロジェクトではマルチ SGTR の実験を実施したが、炉心の露出に至るようなより厳しいシナリオの実験データが不足している。また、重大事故にいたるおそれのある事故の一つである非常用炉心冷却系 (ECCS) 再循環機能喪失において重要となる炉心から SG にかけての複合的な現象についての実験データを拡充する必要がある。これらの事象について、総合効果試験装置を用いた PWR のプラント挙動を模擬した総合効果実験を実施し、解析コードの妥当性を確認する。なお、本項目においては、OECD/NEA の国際共同研究プロジェクト (PKL) に参画して取得した、重大事故に至るおそれがある事象の安全解析手法に関する海外の最新知見及び実験データを活用する。

(2) 解析コードの V&V 【分類③】

日本原子力学会の標準^{※※}等において整備されている系統的な V&V の方法論を参考に、AMAGI コード (国産システム解析コード) を対象に V&V を実施する。検証においては、個別現象を対象とする解析により網羅的な機能確認を実施する。妥当性確認では、PIRT (Phenomena Identification and Ranking Table) 及び評価マトリクスに基づいた実験解析により、解析コードの不確かさを評価する。また、V&V を通じて、AMAGI の計算速度、ロバスト性等について改良を実施する。なお、AMAGI の開発にあたっては、産・学の専門家から構成する技術検討グループを設立して専門家の意見等を参考にする。

※※日本原子力学会標準「統計的安全評価の実施基準：2008」及び「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」

(3) BEPU 手法の高度化及び安全解析への適用 【分類②】

これまでに実施した PWR プラントの大破断 LOCA への BEPU 手法の適用等を通して、以下の項目について BEPU 手法を高度化する必要があることを抽出した。

- ・個々のモデルの不確かさ（幅、分布等）についての正確な定量化。
- ・特定パラメータに不確かさを考慮した場合の他パラメータへの影響の把握。

これらの課題について検討し、PWR プラントの大破断 LOCA、BWR プラントの発電機負荷遮断等を対象に BEPU を適用した安全解析を実施し、技術的知見を取りまとめる。

		工程表			
		H31年度	H32年度	H33年度	H34年度
(1) 事故時の物理現象に係る物理モデルの高度化		各物理モデル、解析手法等の高度化			▽論文公表等「各物理モデルの開発」
		妥当性確認のための実験データ取得			-----
		実験解析による解析コードの妥当性確認			BDBA のプラント挙動に係る解析論文公表等▽ 「解析コードの妥当性確認」 -----
(2) 解析コードのV&V	V&VのためのPIRT等作成	AMAGI（国産システム解析コード）のV&V		▽論文公表等 解析コードのV&V、 コード設計書等 -----	
(3) BEPU 手法の高度化及び安全解析への適用	BEPU 手法の高度化		安全解析への BEPU 適用		▽論文公表等 実プラントへの適用 -----

7. 実施計画	<p>【H31年度の実施内容】</p> <p>(1) 事故時の物理現象に係る物理モデルの高度化【分類②③④】</p> <p>(a) ATWS 時等における液膜ドライアウト及びリウェットに係る現象把握及びモデルの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> 前プロジェクトで取得したスパーサ近傍の液滴挙動を把握するための液滴付着効果に係る詳細実験データに基づき、液滴挙動モデルを高度化する。 前プロジェクトで取得した先行冷却実験に基づき、リウェット時の先行冷却モデルを高度化する。 HIDRA を用いて、スパーサ無し試験体を対象に出力変動、流量変動等の ATWS 時に想定される熱流動挙動を模擬した過渡実験を実施し、高度化モデルの妥当性確認のための実験データを取得する。 <p>(b) RIA で想定されるボイド挙動に係る現象把握及びモデルの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> 前プロジェクトで開発した低圧時サブクール沸騰モデルを燃料集合体内の熱流動挙動を評価できる詳細解析コードに実装するとともに、RIA 時横方向ボイド挙動実験を対象に試験解析を実施して、その適用性について課題を抽出する。 <p>(c) LOCA 等における現象に係る現象把握及びモデルの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> FFRD 現象を機構論的に扱うモデル及び流路閉塞による燃料冷却性への影響の評価手法について検討する。 国内又は国外で実施された再冠水実験の結果に基づいて燃料集合体内再冠水における液滴挙動、気液 3 次元挙動等の詳細現象の知見を拡充するとともに、再冠水実験を対象とした解析を実施して既存のモデルの課題等を抽出する。 <p>(d) マルチ SGTR 及び ECCS 再循環機能喪失時のプラント挙動の把握</p> <ul style="list-style-type: none"> PWR のマルチ SGTR 時のプラント挙動に係る現象把握のため、炉心露出を想定した事象シナリオを模擬した総合効果実験を実施する。 <p>(2) 解析コードの V&V【分類③】</p> <p>AMAGI の V&V の準備として以下を実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術検討グループを活用して PIRT を見直し、安全解析において対象とする事象及び領域毎に、安全評価の上で着目すべきパラメータ、そのパラメータに影響を与える熱流動現象及び重要度を再整理する。 PIRT に基づいて、AMAGI の妥当性確認に必要な個別効果実験、総合効果実験等を抽出した評価マトリクスを作成する。また、抽出された実験について実験解析に必要な情報を整理する。 計算速度及びロバスト性の向上を目指して、AMAGI の計算アルゴリズムの改良方法を検討する。 <p>(3) BEPU 手法の高度化及び安全解析への適用【分類②】</p> <p>モデルの不確かさ（幅、分布等）及びパラメータの不確かさの他パラメータへの影響について検討する。</p>
---------	--

【H32年度の実施内容】

(1) 事故時の物理現象に係る物理モデルの高度化【分類②③④】

(a) ATWS 時等における液膜ドライアウト及びリウエットに係る現象把握及びモデルの高度化

- ・ H31 年度に引き続き、液滴挙動モデルの高度化を継続する。
- ・ H31 年度に引き続き、リウエット時の先行冷却モデルの高度化を継続する。
- ・ HIDRA を用いて、丸セル形状のスペーサを設定した試験体等を対象に ATWS 時に想定される熱流動挙動を模擬した過渡実験を実施し、高度化モデルの妥当性確認のための実験データを取得する。

(b) RIA で想定されるボイド挙動に係る現象把握及びモデルの高度化

- ・ H31 年度に実施した解析により抽出した課題を踏まえて、低圧時サブクール沸騰モデルの高度化を行う。また、燃料棒間クロスフロー、界面せん断力、界面熱伝達、スペーサによる気泡の攪拌効果等の横方向ボイド挙動に係るモデル（以下、「ボイド挙動モデル」という。）の開発及び高度化を検討する。

(c) LOCA 等における現象に係る現象把握及びモデルの高度化

- ・ H31 年度に検討した FFRD モデルを燃料挙動解析コードに実装し、実験データ（ハルデン、スタズピック実験等）による妥当性確認を実施するとともに、流路閉塞による燃料冷却性への影響の評価手法について検討する。
- ・ H31 年度に引き続き、燃料集合体内再冠水挙動に係る知見の拡充及び既存モデルの課題抽出を継続する。

(d) マルチ SGTR 及び ECCS 再循環機能喪失時のプラント挙動の把握

- ・ PWR のマルチ SGTR 時のプラント挙動に係る現象把握のため、H31 年度に実施した実験から事象想定を一部変更した総合効果実験を実施する。

(2) 解析コードの V&V【分類③】

AMAGI の V&V として以下を実施する。

- ・ H31 年度において作成した評価マトリクスに基づいて抽出された、界面せん断力、壁面せん断力、界面熱伝達、壁面熱伝達等に係る個別効果実験を対象に試解析を実施する。ここでは対象とする実験の入力データ等を整備して解析を実施し、個々のモデルに係る不確かさを評価する。
- ・ AMAGI の機能確認及び解検証に向けて、個別現象を対象とする単純な体系の解析について入力データ等を整備して試解析を実施する。
- ・ 上記の解析結果に応じて、AMAGI の構成式を見直す。

(3) BEPU 手法の高度化及び安全解析への適用【分類②】

モデルの不確かさ（幅、分布等）及びパラメータの不確かさの他パラメータへの影響について検討する。

【H33年度の実施内容】

(1) 事故時の物理現象に係る物理モデルの高度化【分類②③④】

(a) ATWS 時等における液膜ドライアウト及びリウエットに係る現象把握及びモデルの高度化

- ・ 高度化した液滴挙動モデルおよび先行冷却モデルを燃料集合体内の熱流動挙動を評価できる詳細解析コードに実装して試解析を実施する。
- ・ HIDRA を用いて、旋回羽形状のスペーサを設定した試験体等を対象に ATWS 時に想定される熱流動挙動を模擬した過渡実験を実施し、高度化モデルの妥当性確認に用いる実験データを取得する。

(b) RIA で想定されるボイド挙動に係る現象把握及びモデルの高度化

- ・ H32 年度に高度化した低圧時サブクール沸騰モデル及びボイド挙動モデルを詳細解析コードに実装して RIA 時横方向ボイド挙動実験を対象に試解析を実施する。

(c) LOCA 等における現象に係る現象把握及びモデルの高度化のため以下を実施する。

- ・ FFRD モデルの妥当性確認を継続するとともに、流路閉塞による燃料冷却性への影響の評価手法を整備する。
- ・ 前年度までに取得した燃料集合体内再冠水挙動に係る知見に基づいて再冠水モデルを高度化する。

(d) マルチ SGTR 及び ECCS 再循環機能喪失時のプラント挙動の把握

- ・ PWR の ECCS 再循環機能喪失時のプラント挙動に係る現象把握のため、大破断 LOCA 及び ECCS 作動の状態から ECCS を停止させたシナリオを模擬した総合効果実験を実施する。また、国際共同研究プロジェクトでの最新知見や実験データを活用して、原子炉システム解析コードの妥当性確認を実施する。

(2) 解析コードの V&V【分類③】

AMAGI の V&V として以下を実施する。

- ・ H31 年度において作成した評価マトリクスに基づいて抽出された、PWR 及び BWR における AOO、DBA を対象とした総合効果実験を対象に試解析を実施する。ここでは対象とする実験の入力データ等を整備して解析を実施し、当該事象に係る AMAGI の不確かさを評価する。また、解析結果に応じて、AMAGI の構成式を見直す。
- ・ 総合評価として、V&V において定量化した AMAGI の不確かさを整理し、各事象に対する AMAGI の適用性をまとめる。

(3) BEPU 手法の高度化及び安全解析への適用【分類②】

実機プラントの AOO、DBA 事象に対して BEPU 手法を適用した安全解析を実施する。

	<p>【H34年度の実施内容】</p> <p>(1) 事故時の物理現象に係る物理モデルの高度化【分類②③④】</p> <p>(a) ATWS 時等における液膜ドライアウト及びリウエットに係る現象把握及びモデルの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ATWS を模擬した過渡実験を対象とした解析による高度化モデルの妥当性確認を継続する。 ・ 実機の ATWS 解析を実施して、高度化モデルの適用性を確認する。 <p>(b) RIA で想定されるボイド挙動に係る現象把握及びモデルの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ これまでに整備した解析手法を用いて実機の RIA 事象を対象に解析を実施し、その適用性を確認する。 <p>(c) LOCA 等における現象に係る現象把握及びモデルの高度化のため以下を実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高度化した FFRD モデル及び再冠水モデルを用いて、LOCA に係る総合効果実験及び実機を対象に解析を実施し、その適用性を確認する。 <p>(d) マルチ SGTR 及び ECCS 再循環機能喪失時のプラント挙動の把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ PWR の ECCS 再循環機能喪失時のプラント挙動に係る現象把握のため、H33 年度に実施した実験より厳しい事象シナリオを模擬した総合効果実験を実施する。また、国際共同研究プロジェクトでの最新知見や実験データを活用して、原子炉システム解析コードの妥当性確認を実施する。 <p>(3) BEPU 手法の高度化及び安全解析への適用【分類②】</p> <p>実機プラントの AOO、DBA 事象に対して BEPU 手法を適用した安全解析を実施し、成果を取りまとめる。</p>
8. 実施体制	<p>【システム安全研究部門における実施者（主担当者には○を記載）】</p> <p>○小野 寛 主任技術研究調査官</p> <p>金子 順一 技術研究調査官</p> <p>江口 裕 技術研究調査官</p> <p>塚本 直史 技術研究調査官</p> <p>上原 宏明 技術研究調査官</p> <p>関根 将史 技術研究調査官</p>
9. 備考	

研究計画（案）

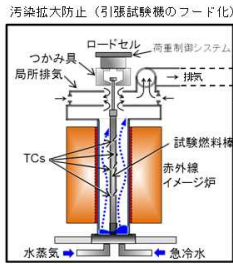
<p>1. プロジェクト</p>	<p>事故時炉心冷却性に対する燃料破損影響評価研究</p>	<p>担当部署</p>	<p>技術基盤グループ システム安全研究部門</p>
<p>2. カテゴリー・研究分野</p>	<p>【原子力施設】G)核燃料</p>	<p>担当責任者</p>	<p>北野 剛司 企画調整官</p>
<p>3. 背景</p>	<p>平成 30 年度までに、海外商業炉において高燃焼度まで照射された改良型燃料を用いて、改良型燃料が国内に導入される際の適合性審査の判断根拠となる技術的知見の取得及び高燃焼度で顕在化する事故時燃料挙動の有無の確認のため、試験研究を実施してきた。そこで実施した反応度事故（RIA）模擬試験及び国際共同プロジェクトとして海外で実施された冷却材喪失事故（LOCA）模擬試験において、従来とは異なる燃料破損挙動が観察された。「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（平成二十五年原子力規制委員会規則第五号）」（以下、規則という。）の「解釈」において引用され、適合性審査に用いられている燃料に関する判断基準を示した指針類は、旧原子力安全委員会が策定当時の知見に基づき、決定あるいは了承したものである。そのため、指針類策定時には観察されていなかった燃料破損挙動や現在まで十分に検討が進められていない燃料損傷挙動については、その現象を確認するとともに発生条件やメカニズムを調べ、指針類見直しの要否を検討するとともに、審査等の際の判断に必要な知見として収集・整備する必要がある。</p>		
<p>4. 目的</p>	<p>設計基準事故（以下、事故という。）時及びその後の炉心の冷却性や未臨界性等の安全性維持に関して、現行指針類策定時には観察されていなかった燃料破損挙動等の新しい知見を取り込んだより確かな規制のために、事故時の燃料ペレットの細片化挙動、被覆管破損挙動、被覆管破損に伴う燃料ペレット片の燃料棒外放出挙動などに係る知見を取得する。また、現在は、設計基準事故である LOCA の基準を用いて、炉心の著しい損傷の開始と拡大防止策の有効性を判断しているが、実際に燃料の著しい損傷が起こる条件を明確にするために、LOCA 基準を超えるような高温条件での燃料損傷挙動について知見を取得する。</p>		
<p>5. 知見の活用先</p>	<p>本プロジェクトで得られた知見は、高燃焼度燃料を含む炉心の事故時及び事故後の安全性に関して規制判断を行う際の技術的根拠として活用するとともに、旧原子力安全委員会の指針類及び当時の知見との比較検討を行うことにより、LOCA 及び反応度投入事象（RIE）/RIA に関する指針類見直しの要否判断に活用する。</p>		
<p>6. 安全研究概要 （始期：平成 31 年度） （終期：平成 35 年度）</p>	<p>本プロジェクトの研究は、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」（平成 28 年 7 月 6 日原子力規制委員会決定）に示された以下の四つの安全研究の目的のうち、①、②、④に基づき実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 規制基準等の整備に活用するための知見の収集・整備（以下「分類①」という。） ② 審査等の際の判断に必要な知見の収集・整備（以下「分類②」という。） ③ 規制活動に必要な手段の整備（本プロジェクトでは対象外） ④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。） <p>(1) 冷却材喪失事故(LOCA)時燃料破損が炉心冷却性に与える影響に関する研究（分類①②④）</p> <p>指針類に基づく現行の LOCA 安全評価では、被覆管の膨れ破裂に伴う燃料棒内の燃料ペレット片の集積及び燃料棒外への燃料ペレット片の放出を想定していない。また、規則では、事故収束後も炉心冷却機能の維持を求めているが、LOCA 後長期冷却中の燃料形状維持に関する研究はほとんど実施されておらず、地震に対する燃料形状の維持が明確となっていない。そこで、LOCA 時の燃料ペレット片の燃料棒外への放出等の影響や LOCA を経験した燃料の機械特性を明らかにするために、以下の研究を実施し、得られた結果をもとに LOCA 時及び LOCA 後の炉心冷却性維持等に関する基準改定や基準制定の要否について検討する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ LOCA 時の燃料ペレット細片化による燃料棒内再配置及び燃料ペレットの棒外放出に関するデータを取得するために、欧州の商用炉にて高燃焼度まで使用された改良型燃料の LOCA 模擬試験等を実施する。 ・ LOCA 後の燃料の耐震性に関して評価を行うために、LOCA 時の温度履歴を経験した燃料被覆管及び燃料集合体部材を対象とした機械試験を実施する。また、地震を想定した燃料の振動解析を実施する。 <p>(2) 反応度投入事故(RIA)時燃料破損が炉心安全性に与える影響に関する研究（分類①②④）</p> <p>RIE 評価に関する指針類では、策定当時の知見に基づき、燃焼度に応じて、ペレット-被覆管機械的相互作用（PCMI）破損しきい値の目安を定め、運転時の異常な過渡変化時には PCMI 破損しきい値を越えないこと、及び事故時には PCMI 破損しきい値を用いて破損する燃料棒の本数を算定し、原子炉の停止能力及び冷却性並びに原子炉圧力容器の健全性を損なわないことを確認することを求めている。現行指針類においては PCMI 破損しきい値を燃料の燃焼度に着目して定めているが、平成 30 年度までに実施した高燃焼度燃料を対象とした RIA 模擬試験において、燃焼度以外の因子に起因すると考えられる破損形態の変化及び破損限界の低下が観察されていることから、これらを考慮し、RIA 時の炉心安全性に係る現行指針類の見直し要否を検討する必要がある。このため、以下の研究を実施し、現行指針類の見直し要否の検討に必要な知見を取得する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料破損形態の変化及び破損限界低下への寄与が推測される因子（製造仕様、ベース照射条件、添加物や Pu スポットの介在によるペレットの FP ガス挙動の変化、燃焼度、試験時温度）について、それぞれの影響の有無が個別に確認可能となるよう、欧州の商用炉にて高燃焼度まで使用された改良型燃料から試験燃料を選定するとともに、適切に試験条件を設定して原子炉安全性研究炉（NSRR）において試験を行い、破損挙動に生じた変化の原因解明及び各因子の影響評価を行う。 ・ NSRR での RIA 試験時の燃料挙動と商用炉で想定される RIA 時の燃料挙動とを比較し、NSRR で取得された試験結果の商用炉への適用性について評価する。 ・ RIA 時の燃料変形を模擬した被覆管の多軸引張試験を実施し、応力条件に依存した破損形態の変化等に関する知見を得て、 		

NSRR 実験での応力条件の把握や燃料特性に依存した破損挙動の評価を行う。

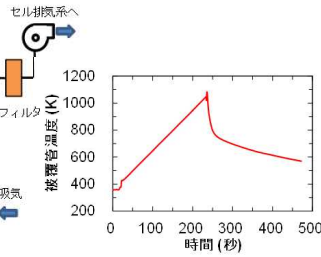
(3) 事故時の燃料損傷状態変化に関する研究 (分類①②④)

規則では、重大事故等への拡大防止として炉心の著しい損傷の防止、並びに、著しい炉心損傷に至った場合には原子炉格納容器の破損の防止を求めている。また、規則の解釈では、炉心の著しい損傷防止の要件として、LOCA 基準 (被覆管最高温度 $\leq 1200^{\circ}\text{C}$ 、被覆管酸化量 $\leq 15\%$ ECR) を示している。すなわち、現状の規則では、設計基準事故に関する基準を炉心の著しい損傷が開始する条件としているが、これは燃料の著しい損傷が開始する条件が十分に把握されていないためである。そこで、以下に示す試験研究を実施して、LOCA 基準を越えるような高温条件での燃料損傷挙動について知見を拡充する。

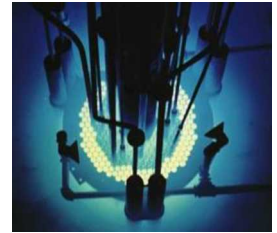
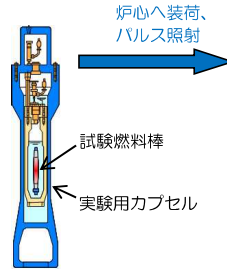
- 事故時に想定される高温での燃料ペレットや被覆管の状態 (燃料棒の損傷状態等) を確認するために試験炉での実験を行い、燃料材料間で生じた反応物の分析等を行う。また、試験炉での実験に必要な実験技術開発を実施する。
- 上記の実験結果及び計算コードを利用した燃料挙動解析を実施し、事故時に燃料棒が形状喪失する温度等の条件を評価する。



(a) 試験装置の概略図



(b) 試験時の温度履歴の例



(a) 試験装置の概略図 (b) RIA 模擬試験用研究炉 (NSRR)

LOCA 模擬試験の概要

RIA 模擬試験の概要

		H31年度	H32年度	H33年度	H34年度	H35年度
(1) 冷却材喪失事故(LOCA)時燃料破損が炉心冷却性に与える影響に関する研究	LOCA 模擬試験装置のホットセル内設置			LOCA 模擬試験の実施		論文発表▽
	LOCA 模擬試験用燃料棒の製作			LOCA 模擬試験後の分析・評価		
				LOCA 模擬試験により得られたデータを入力情報とし、計算コードによる解析実施		
	燃料ペレットの LOCA 時温度変化模擬加熱試験の実施					
	燃料ペレットの LOCA 時温度変化模擬加熱試験後の分析・評価					
	被覆管曲げ疲労試験装置の整備	水素添加被覆管の製作				
		LOCA 時の温度履歴を経験した燃料被覆管の機械試験				
				機械試験後の分析・評価		
						総合評価
				▽学会発表	▽論文発表	▽論文発表
(2) 反応度投入事故(RIA)時燃料破損が炉心安全性に与える影響に関する研究	RIA 模擬試験の実施及び準備	RIA 模擬試験、試験前後の照射後試験				
	被覆管多軸引張試験準備	被覆管多軸引張試験	被覆管多軸引張試験及び試験片分析			
	RIA 予備解析により試験条件を決定	RIA 解析実施				総合評価
(3) 事故時の燃料損傷状態変化に関する研究	試験炉を用いた試験条件の検討及び試験準備	燃料ペレットや被覆管の状態(燃料棒の損傷状態等)を確認するための試験準備及び実験技術開発				▽論文発表
		燃料ペレットや被覆管の状態(燃料棒の損傷状態等)を確認するための照射試験、照射後試験				
		計算コードを利用した燃料挙動解析評価の検討	計算コードを利用した燃料挙動解析評価			総合評価

7. 実施計画

【H31年度の実施内容】

(1) 冷却材喪失事故(LOCA)時燃料破損が炉心冷却性に与える影響に関する研究 (分類①②③)

- LOCA 模擬試験の準備として、LOCA 模擬試験装置をホットセルに設置する。並行して LOCA 模擬試験に供する試験燃料棒を製作する。
- 燃料ペレットの LOCA 時温度変化模擬加熱試験を実施し、細片化発生しきい値の評価に必要なデータを取得する。
- LOCA 時の温度履歴を経験した燃料被覆管に対し、地震時に燃料棒に加わる荷重を適切に模擬し、繰り返し荷重負荷できる曲げ試験装置を整備する。

(2) 反応度投入事故(RIA)時燃料破損が炉心安全性に与える影響に関する研究 (分類①②③)

- RIA 模擬試験及びその照射後試験を実施し、燃料材料条件が燃料挙動の変化に及ぼす影響、及び FP ガス挙動の燃料破損に及ぼす影響に関するデータを取得する。また計算コードを用いた解析を実施し、実験結果を分析及び次年度以降の試験条件を検討する。
- RIA 模擬機械特性試験の準備として、水素吸収した試料の作製を進める。

(3) 事故時の燃料損傷状態変化に関する研究 (分類①②③)

- 事故時に想定される高温での燃料ペレットや被覆管の状態(燃料棒の損傷状態等)を確認するための試験炉を用いた試験条件の検討及び試験準備を実施する。

【H32年度の実施内容】

(1) 冷却材喪失事故(LOCA)時燃料破損が炉心冷却性に与える影響に関する研究 (分類①②③)

- 高燃焼度燃料被覆管を対象に LOCA 模擬試験を実施する。燃料ペレットの LOCA 時温度変化模擬加熱試験で取得した細片化しきい値に関するデータを入力情報として LOCA 模擬試験の試験条件を設定する。
- H31 年度に引き続き、燃料ペレットの LOCA 時温度変化模擬加熱試験を実施する。また、当該試験後の燃料ペレットについ

<p>てマイクロ組織観察等の分析・評価を実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・LOCA 時の温度履歴を経験した非照射の燃料被覆管を対象に、曲げ試験装置を用いた機械試験を実施する。また、高燃焼度燃料を模擬した水素添加被覆管を製作する。 <p>(2) 反応度投入事故(RIA)時燃料破損が炉心安全性に与える影響に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・RIA 模擬試験及びその照射後試験を実施し、RIA 時のペレット内 FP ガス挙動の燃料破損に及ぼす影響に関するデータを取得する。また計算コードを用いた解析を実施し、FP ガス挙動と燃料破損の相関を分析する。 ・水素吸収した試料を対象とした RIA 模擬機械特性試験を実施し、破損限界に関するデータを取得する。 <p>(3) 事故時の燃料損傷状態変化に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事故時に想定される高温での燃料ペレットや被覆管の状態(燃料棒の損傷状態等)を確認するための試験準備及び実験技術開発を実施する。 ・計算コードを利用した燃料挙動解析評価の検討を実施する。
<p>【H33年度の実施内容】</p> <p>(1) 冷却材喪失事故(LOCA)時燃料破損が炉心冷却性に与える影響に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・H32 年度に引き続き、高燃焼度燃料被覆管を対象とした LOCA 模擬試験を実施する。また、同試験後の燃料被覆管を対象にマイクロ組織観察等の分析・評価を実施する。 ・H32 年度に引き続き、燃料ペレットの LOCA 時温度変化模擬加熱試験及び同試験後の分析・評価を実施する。 ・LOCA 模擬試験により得られた細片化ペレットの膨れ部における充填率等のデータを入力情報として、事故時燃料挙動解析コードを利用した LOCA 時の燃料棒の熱過渡解析に着手する。 ・LOCA 時の温度履歴を経験した非照射の燃料被覆管(水素添加被覆管を含む)を対象に、曲げ試験装置を用いた機械試験を実施する。また、同機械試験後の被覆管を対象にマイクロ組織観察等の分析・評価を実施する。 <p>(2) 反応度投入事故(RIA)時燃料破損が炉心安全性に与える影響に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・H32 年度に引き続き、RIA 模擬試験及びその照射後試験を実施し、燃料材料条件の違いによる燃料被覆管破損挙動、及び RIA 時のペレット内 FP ガス挙動の燃料破損に及ぼす影響に関するデータを取得する。過年度に実施した試験との比較及び計算コードを用いた解析を実施し、破損メカニズムを検討する。 ・H32 年度に引き続き、水素吸収した試料を対象とした RIA 模擬機械特性試験を実施し、破損限界に関するデータを取得する。さらに、試験後試料について外観観察及び断面金相観察等により破損形態に関するデータを取得する。 <p>(3) 事故時の燃料損傷状態変化に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事故時に想定される高温での燃料ペレットや被覆管の状態(燃料棒の損傷状態等)を確認するための実験技術開発を実施する。 ・事故時に想定される高温での燃料ペレットや被覆管の状態(燃料棒の損傷状態等)を確認するための照射試験、照射後試験を実施する。 ・計算コードを利用した燃料挙動解析評価の検討を実施する。
<p>【H34年度の実施内容】</p> <p>(1) 冷却材喪失事故(LOCA)時燃料破損が炉心冷却性に与える影響に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・H33 年度に引き続き、高燃焼度燃料被覆管を対象とした LOCA 模擬試験及び同試験後の分析・評価を実施する。 ・H33 年度に引き続き、燃料ペレットの LOCA 時温度変化模擬加熱試験及び同試験後の分析・評価を実施する。 ・H33 年度に引き続き、事故時燃料挙動解析コードを利用した LOCA 時の燃料棒の熱過渡解析を実施する。 ・H33 年度に引き続き、LOCA 時の温度履歴を経験した非照射の燃料被覆管(水素添加被覆管を含む)を対象とした機械試験及び同機械試験後の分析・評価を実施する。 <p>(2) 反応度投入事故(RIA)時燃料破損が炉心安全性に与える影響に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・H33 年度に引き続き、RIA 模擬試験及びその照射後試験並びに計算コードによる解析を実施し、燃料材料条件と FP ガス挙動の変化との関連性についてデータを取得し、破損メカニズムを検証する。 ・H34 年度までの試験で取得したデータを用いて NSRR での RIA 試験時の燃料挙動と商用炉で想定される RIA 時の燃料挙動との違いについて評価を行う。 ・H33 年度に引き続き、水素吸収した試料を対象とした RIA 模擬機械特性試験を実施し、破損限界・形態に関するデータを取得する。また、得られたデータを評価し、解析コードに組み込む。 <p>(3) 事故時の燃料損傷状態変化に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・H33 年度に引き続き、事故時に想定される高温での燃料ペレットや被覆管の状態(燃料棒の損傷状態等)を確認するための照射試験、照射後試験を実施する。 ・H33 年度に引き続き、計算コードを利用した燃料挙動解析評価の検討を実施する。
<p>【H35年度の実施内容】</p> <p>(1) 冷却材喪失事故(LOCA)時燃料破損が炉心冷却性に与える影響に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・H34 年度までに取得した試験データ、及び解析データ等を基に、LOCA 時の燃料破損が燃料棒の冷却可能形状の維持に及ぼす影響に関する総合評価を実施する。 ・H34 年度までに取得した試験データを基に、LOCA 時及び LOCA 後の燃料集合体冷却性維持に係る総合評価を実施する。 <p>(2) 反応度投入事故(RIA)時燃料破損が炉心安全性に与える影響に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・H34 年度に引き続き、RIA 模擬試験、試験前後の照射後試験及び解析を実施し、これまでに取得した試験データ及び解析データ等を基に、燃料材料条件及び RIA 時のペレット内 FP ガス挙動が RIA 時の燃料被覆管破損限界・形態に及ぼす影響に関する総合評価を実施する。 <p>(3) 事故時の燃料損傷状態変化に関する研究(分類①②③)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・H34 年度までに取得した試験データ、及び解析データ等を基に、LOCA 基準を越えるような高温条件において形状喪失する温度等の条件を評価する。

8. 実施体制	<p>【システム安全研究部門における実施者】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 北野 剛司 企画調整官 山内 紹裕 技術研究調査官 小澤 正明 技術研究調査官 秋山 英俊 技術研究調査官
9. 備考	—

研究計画（案）

1. プロジェクト	大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究	担当部署	技術基盤グループ 地震・津波研究部門
		担当責任者	飯島 亨 首席技術研究調査官
2. カテゴリー・研究分野	【横断的原子力安全】 A) 外部事象（地震、津波、火山等）	主担当者	安池 由幸 専門職
3. 背景	<p>平成 25 年 7 月に施行された「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」（平成 25 年原子力規制委員会規則第 5 号）において、地震・津波以外の「外部からの衝撃による損傷の防止」（第六条）が明記された。その中で安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないとしており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。火山影響を適切に評価する一例を示した「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（以下「評価ガイド」という。）が作成されているが、巨大噴火のメカニズムや前駆活動を把握するための国内のカルデラ火山について調査例が少ないこと等から、海外の研究事例等を基に総合的な評価を行っているため、巨大噴火を伴う火山の活動に関する過去のカルデラ火山活動の長期的な活動評価の手法には不確定性を伴う。</p> <p>これまでに、過去に長期の休止期間があり大規模噴火を起こした火山の評価手法を整備するための知見や国内外の巨大噴火を起こした火山の噴火直前のマグマ溜まりの深度、当該深度領域の地下構造を探查する手法について知見が蓄積されつつある。一方、巨大噴火を起こすソースとなる巨大なマグマ溜まりがどのようなプロセスを経て生成したか、マグマが蓄積する時間的なスケールについても海外の研究事例が基本となっている。また、評価ガイドで求めている火山モニタリングは、審査時に評価された静穏状態が継続していることを確認することであるが、変化が生じた際の判断の基準は明確になっていない。</p> <p>施設の安全は継続的改善が求められていることから、引き続き、国内外の火山研究の最新動向や最新知見を収集するとともに、これまでに得られた研究成果を踏まえつつ、低頻度の自然現象である巨大噴火の評価に関する精度向上を図ることが重要である。</p>		
4. 目的	<p>本研究プロジェクトでは、巨大噴火を起こした火山を対象に、巨大噴火の準備・開始プロセスについての知見を得る。それに基づき、過去のカルデラ火山活動の長期的な活動評価の手法及びマグマ・火山活動に関するデータを蓄積し、モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方の策定に資する研究を実施する。</p> <p>(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 過去の火山活動に関する詳細な噴火履歴を調べるため、噴出物の分布や層序を地質調査やボーリング調査から詳細に解析し、噴火進展プロセス等の火山の特性について知見を蓄積する。また、降灰時の火山灰の空間密度、凝集効果と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の知見を蓄積する。</p> <p>(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の岩石学的な調査として、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調べ、噴火の準備段階におけるマグマ状態の変化（深さ、滞留時間）に関する知見を蓄積する。</p> <p>(3) 地球物理及び地球化学的手法によるモニタリング手法に関する調査・研究 地球物理及び地球化学的手法に基づくカルデラ火山のモニタリング手法に関する知見を蓄積する。具体的には、地震波トモグラフィやネットワーク MT による地球物理学的手法と、深部流体等の分析手法に基づく地球化学的手法に関する調査・研究を実施し、カルデラ火山のモニタリングに有効な探査手法に関する知見を蓄積する。また、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する。さらには、海底下の地下構造、地殻変動を観測する手法を確立する。</p> <p>(4) モニタリングすべき項目の抽出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活動の長期的な活動評価の手法及びマグマ・火山活動に関するデータを蓄積し、モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方を提案する。</p>		
5. 知見の活用先	本プロジェクトの実施項目で得られた成果は、評価ガイド等の改定に資する。また、得られた知見は審査等に活用する。		

本プロジェクトの研究は、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」（平成28年7月6日原子力規制委員会決定）における安全研究の目的のうち、① 規制基準等の整備に活用するための知見の収集・整備（以下「分類①」という。）の分類に基づき実施する。

本プロジェクトの研究は、平成31年度以降の実施方針（平成30年7月18日原子力規制委員会決定）における中長期的課題として、過去に大規模噴火を起こした火山を対象に、マグマ溜まりの深さやマグマ滞留時間等の噴火に至る準備過程に関する知見の蓄積等を行う（課題 A-1-4）ことが承認されている。本プロジェクトの具体的な実施内容は、火山噴出物の物質科学的な調査、地球物理学的及び地球化学的調査等、最新の調査手法に基づく火山活動に起因する事象に関する知見を蓄積するため、以下に示す（1）～（3）の項目について調査・研究を行う。巨大噴火（火山爆発指数（VEI）6以上の規模の噴火）を起こした火山（屈斜路、洞爺、始良、鬼界、十和田）について、巨大噴火の準備・開始プロセスに関する調査・研究として、巨大噴火及びその前後の火山噴出物の層序や岩石学的な調査を行う。また、火山モニタリング評価のための調査・研究として、活動的カルデラ火山の地下構造の調査（地震波トモグラフィやMT法）、活動的カルデラ火山周辺の地殻変動調査、地下水等の深部流体の調査を行う。そして、得られた知見に基づいて、過去のカルデラ火山活動の長期的な活動評価の手法及びマグマ・火山活動に関するデータを蓄積し、モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方を提案する。

(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【分類①】

a. 大規模噴火の噴火準備・進展過程に関する調査・研究

平成30年度までの調査で、洞爺-支笏火山エリアや阿蘇、始良カルデラにおいて火山活動の変遷（図1参照）が明らかになりつつある。例えば、洞爺-支笏火山エリアは、約12万年前頃に洞爺火山で珧長質なマグマを噴出する火山活動が始まり、その後活動域は次第に東方へ移動し、クッタラ火山、支笏火山、羊蹄火山の活動へと変遷していき、約4万年前頃に支笏火山でカルデラが形成された。その後は、後カルデラ火山の活動として、中島火山や有珠火山（洞爺）、不風死火山、恵庭火山、樽前火山（支笏）がVEI=3-4程度の噴火を繰り返して現在に至っている。阿蘇カルデラでも、阿蘇4噴火に先行して珧長質マグマが準備されていたことが明らかになった。また、これまで、大規模なカルデラを形成する噴火は、噴火開始からカルデラ陥没により活動が収束するまで一連の活動であると考えられていたが、古地磁気学的調査により数年～数十年の時間間隙の存在を示唆する調査結果が得られている（図2参照）。

本調査・研究では、平成30年度までの調査結果を踏まえて、始良カルデラ火山等について、大規模噴火の長期的・短期的推移の具体的な時間スケールを制約するため、大規模噴火及びその前後の主要な噴火について、複数の年代測定手法を組み合わせることで噴火年代を与える。また、カルデラ近傍でのボーリング調査、巨大噴火及びその前後の噴出物の分布や層序関係、斑晶や組成の特性、古地磁気方位測定等の地質学的手法を用いて調査し、噴出物の時間的及び空間的な分布と噴火史に基づく噴火の準備・進展過程を検討する。さらに、中小規模の噴火についても同様の調査を行い、大規模噴火における噴火の準備・進展過程と比較検討する。

b. 降灰プロセス等に関する地質調査及び観測

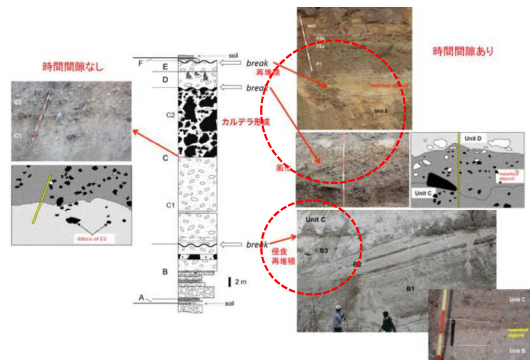
本調査・研究では、平成30年度までの調査及び検討結果を踏まえて、降下火砕物による影響評価に資するため、降灰中の火山灰の量、粒子の数及び粒子の落下速度をリアルタイムで観測し降灰量と降灰時の空気中火山灰濃度の関係を調査するとともに、地質調査から得られる粒径等のデータを踏まえ、過去の噴火における降灰時のプロセスを検討する。

6. 安全研究概要
(始期：H31年度)
(終期：H35年度)

噴火サイクル	年代	サブユニット	本質物	全岩化学組成(SiO ₂)		
阿蘇中央火口丘 (90 ka)		溶岩、地下火砕物	溶岩、スコリア>軽石	49-72%		
		阿蘇4A火砕流堆積物	軽石>>>スコリア	64-70, 54%		
		阿蘇4KS火砕流堆積物(九ノ峰スコリア流)	スコリア	50-52%		
		阿蘇4T火砕流堆積物	軽石	67-69%		
		阿蘇4S火砕流堆積物(糸糸スコリア流)	スコリア>軽石	51-67%		
		阿蘇4M火砕流堆積物(雨木軽石流)	軽石	67-70%		
		阿蘇4Y火砕流堆積物(八女軽石流)	軽石	67-70%		
		阿蘇4H火砕流堆積物(庵平軽石流)	軽石	67-70%		
		阿蘇4O火砕流堆積物(小谷軽石流)	軽石>>>スコリア	64-69, 52%		
		阿蘇4A火砕流堆積物	軽石>>>スコリア	67-70, 52%		
阿蘇4	90 ka	阿蘇4T火砕流堆積物(高尾野火砕流)	軽石>>>スコリア	50, 60%		
		阿蘇4S火砕流堆積物(密雲火砕流)	軽石	67-71%		
		阿蘇4L降下火山灰*	火山灰			
		阿蘇4X火砕流堆積物/降下軽石層	軽石	68-69%		
		大峰火山	90 ka	大峰火砕流、高尾原溶岩	溶岩、軽石、スコリア	63-65%
		阿蘇4/3		Y降下軽石層	軽石	68%
				ABCD降下軽石層	軽石	62-65%
				EF降下軽石層	軽石	67-71%
				GH降下軽石層	軽石	66%
				IL降下軽石層	軽石	65-66%
JKL降下軽石層	軽石			64-66%		
MN降下軽石層	軽石			66%		
Z降下軽石層	軽石			69%		
Z6降下軽石層	軽石			65%		
Z16降下スコリア層	スコリア			51%		
Z20降下スコリア層	スコリア	56%				
Z27降下スコリア層	スコリア	56%				
Z28降下スコリア層	スコリア	51%				
Z29降下スコリア層	スコリア	53%				

図1 阿蘇4噴火に至るマグマの変遷

阿蘇4に向かって珧長質マグマが噴出



古地磁気学的な検討（UnitBとC1：0～数十年、UnitCとD、UnitEとF：数百年の時間間隙があることを示唆）の結果は、層序学的な所見と整合

図2 支笏カルデラ噴出物のモード柱状図とユニット境界の産状

(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【分類①】

平成30年度までの調査により、阿蘇、鬼界カルデラ等の火山において巨大噴火直前のマグマの温度・圧力条件が推定されている。阿蘇カルデラでは、最大の噴火である阿蘇4噴火のマグマ溜まりは、実験岩石学的手法及びマグマ化学組成の熱力学的平衡条件検討から、深さ4～8kmにあったと推測された。また、鬼界カルデラを形成した鬼界アカホヤ噴火マグマ溜まりの主体は、メルト包有物の揮発成分分析結果から深さ3～7kmにあったと推定された。これらのマグマ溜まりの定置条件及び準備過程の情報は、カルデラ噴火に至るシナリオ推定及びカルデラ火山の活動性を評価する一つの指標として整備されつつある。さらに、支笏カルデラのマグマ蓄積タイムスケールについて、支笏カルデラ噴出物の斑晶鉱物の累帯構造の拡散組織から、

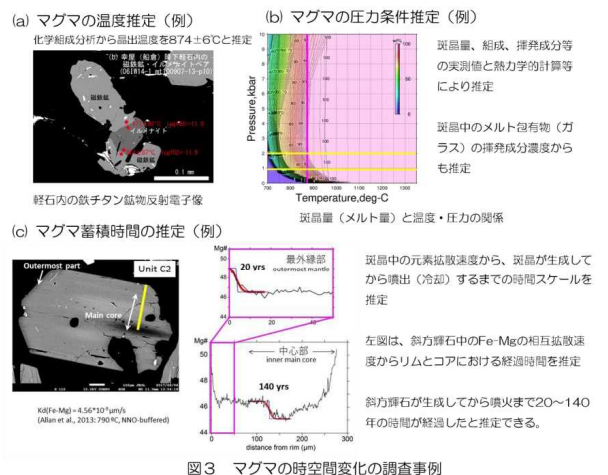


図3 マグマの時空間変化の調査事例

斑晶鉱物がマグマ溜まり中に滞留していた時間スケールについての予察的な検討結果が得られている(図3参照)。

本調査研究では、(1)の地質学的調査に基づく大規模噴火の長期的・短期的推移の復元結果と合わせて、噴出物の岩石学的検討による巨大噴火に至る過程のマグマ供給系の時間・空間発達過程の検討を行う。具体的には(1)で復元された噴火活動の推移に沿って、噴出物の岩石学的解析を行い、大規模噴火を引き起こすマグマ溜まりの温度・圧力・マグマ組成等の時間変化を追跡する。

(3) 地球物理及び地球化学的手法によるモニタリング手法に関する調査・研究【分類①】

本調査・研究では、既存の物理探査手法によるカルデラ火山直下の地下構造を調べるとともに、地球物理及び地球化学的手法のモニタリング手法としての適応性について検討を行う。また、現時点でカルデラ火山のモニタリングとして有効と考えられる火山性地殻変動を解釈するためのシミュレーションモデルによる数値実験と実際に変動が生じているカルデラの地殻変動観測を実施し、シミュレーションモデルによる再現検討を行う。

a. 活動的カルデラ火山の地下構造調査

平成30年度までの調査で、活動的カルデラである始良カルデラの地震波観測による地下構造探査やMT法による阿蘇カルデラの地下構造探査が行われた。その結果、阿蘇カルデラにおいてはカルデラ周辺を高密度でMT法による観測を行うことで、概ね地下10km付近の領域までは、マグマを示唆する流体の蓄積の有無を評価することが可能な解像度で地下構造を調べることができることが明らかになった。一方、10km以深では十分な解像度が得られなかった。また、始良カルデラでの観測では有効な地震波が十分に得られなかったため、解像度の高い地下構造を把握するためには、観測を継続する必要があることも明らかになった(図4、5参照)。

本調査は、活動的カルデラの地下構造の調査として、始良カルデラ火山について、カルデラ内の無人島や岩礁等への地震計の設置を検討し、観測点を増やすとともに、地震波観測を引き続き実施する。また、地下15km付近(図5参照)に観測された低速度領域の反射面を定常的に捕らえる長期連続反射法探査について検討し、その結果、有効な反射波が得られた場合、低速度領域の変化を捕らえるモニタリング手法としての有効性を検討する。また、10km以深の地下構造を把握するため長周期のシグナルを安定して長期間観測できるネットワークMT法による観測を行う。さらに、次項の地球化学的調査と合わせてMT法による浅部低比抵抗領域の連続観測によるモニタリング手法への応用を検討する。

b. 活動的カルデラ火山の地球化学的調査

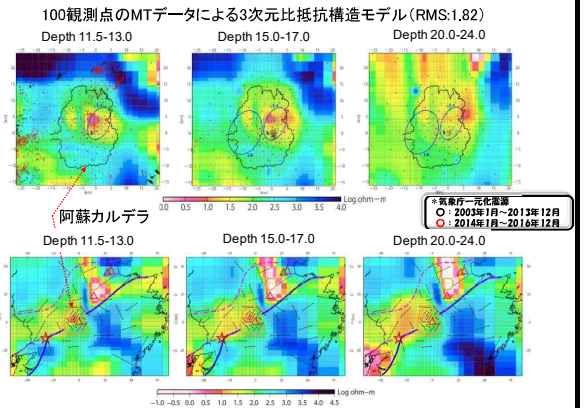
前述のように、地球物理学的な探査や観測では、地下に存在する流体を低速度領域や低比抵抗領域として捕らえることは可能であるが、その流体がマグマか否かについて明確にすることは難しい。平成30年度までの調査で、活動的カルデラ火山の深部流体(地下水やガス)の化学組成や同位体分析を実施し、マグマの揮発成分(水、炭酸ガス、塩素、硫黄成分)の化学形態や同位体濃度比等とマグマの種類(熔融過程 or 固化過程)を判別する指標となり得ることを示唆する調査結果が得られた(図6参照)。

本調査は、国内のカルデラ火山について上記の深部流体の分析に加えて、地下水の希土類元素組成及び重元素同位体組成の分析を行い、マグマの種類及び熱水上昇過程の推定を試みる。

また、(2)の調査結果と(1)の調査においてボーリング掘削を予定しているカルデラ火山での長期の地下水採取等、火山活動の変化を捕らえるモニタリング項目としての適応性についても検討を行う。

c. 火山性地殻変動とマグマ活動に関する調査

一般に、活動的なカルデラ火山の深部には、過去又は現在の火山活動(ポストカルデラ火山活動)に関与するマグマが存在すると考えられている。実際、既往の地震波トモグラフィ解析でも低速度領域の存在が報告されている。本調査では、活動的なカルデラ火山において地殻変動観測を実施するとともに、地殻変動とマグマの時空間変化の関係について調べるためシミュレーションモデルによる数値実験を行い、地表面で観測される火山性地殻変動をカルデラ火



既存Network-MTデータによる3次元比抵抗構造モデル(RMS:1.45)

図4 阿蘇カルデラ周辺の3次元比抵抗構造

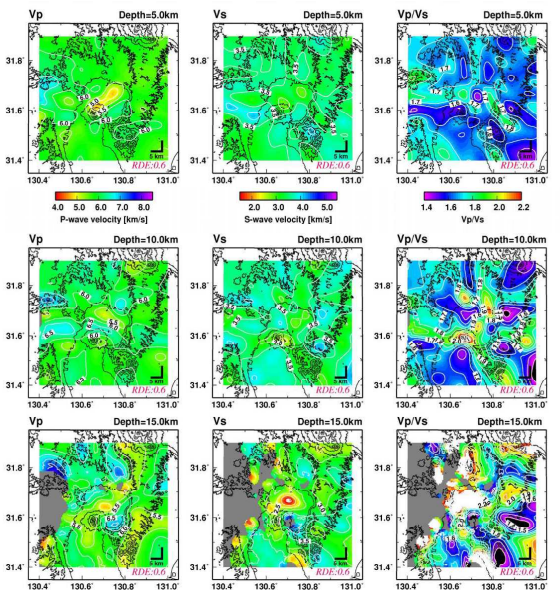


図5 始良カルデラ周辺の地震波速度構造(深さ5~15km)

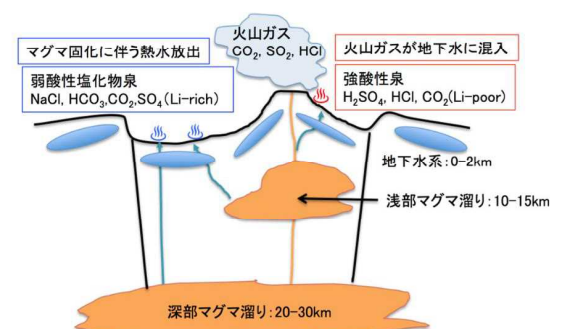
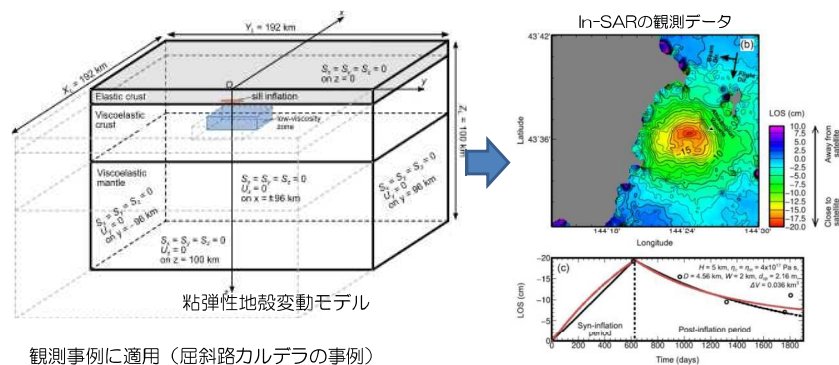


図6 マグマ溜りから放出される熱水流体の組成

山の地下構造と合わせて解釈するためのモデルを構築する。

c 1. シミュレーションモデルによる検討

平成 30 年度までに、地殻変動の観点からマグマの蓄積を理解していくために粘弾性地殻変動モデルを構築し、地下に存在するマグマの消長と地殻変動の関係について数値実験を行った。そして、実際にアトサヌプリ火山周辺で観測された火山性地殻変動に粘弾性地殻変動モデルを適用した結果、低粘性領域の粘性率及びその大きさ、位置関係を適切に設定することで、観測データと整合する隆起と沈降を再現できることがわかり、粘弾性地殻変動モデルの適用性を示した（図 7 参照）。本検討では、モデルで予測される地表面変動の振る舞いから地殻内のどの深さにどの程度のマグマが存在しているのかをとらえていく方法を検討する。具体的には、粘弾性地殻変動モデルをマグマの時空間変化に適用し、マグマ蓄積量を推定する科学的知見を蓄積する。



観測事例に適用（屈斜路カルデラの事例）

地盤変動（上下変動）を構築したモデルで解析すると、実際の変動を最も良く再現するケースは、局所的な低粘性領域（LVZ）の粘性率は $4\sim 5 \times 10^{17} \text{Pa} \cdot \text{s}$ 、水平幅 Ω ： $> 20 \text{km}$ 、厚さ θ ： $> 15 \text{km}$ となる。これらの結果は探査された地下構造と整合する。

図7 粘弾性緩和の効果を考慮したモデルとの適用事例

c 2. 地殻変動観測

平成 30 年度に引き続き始良カルデラの周辺において地殻変動の観測を継続する。一方、最も変動幅が大きいと考えられているカルデラ内は、海底にあるため地殻変動の観測が難しい。そこで、本検討では、錦江湾内に点在する岩礁や無人島への GNSS 設置を検討しカルデラ内の観測点拡充を図る。さらには、水没したカルデラ内での地殻変動を観測する手法としてイタリア国立地球物理学火山学研究所（以下 INGV とする）が行っている海底地殻変動観測手法について調査するとともに、始良カルデラに適用させ観測を開始する。得られる観測データ（GNSS、地震計）をカルデラ周辺に設置された地殻変動データと合わせて地下構造の解析や地下のマグマ溜まりの蓄積量の解析を行う。

(4) モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方の検討【分類①】

上記の（1）～（3）の知見を基に、カルデラ火山の噴火の準備段階から噴火に至るまでのマグマプロセスのモデル・シナリオを作成する。具体的には、次の噴火に向けた火山活動の変遷、噴出物の組成変化からマグマの蓄積過程（定置位置及び定置時間の変化）、噴火直前のマグマ定置位置及び最小定置時間等の情報から、巨大噴火マグマのモデルプロセス、噴火に至るシナリオを作成し、カルデラ火山が静穏な状態であることを判断するために過去のカルデラ火山活動の長期的な活動評価の手法を提案する。

また、活動的カルデラの火山性地殻変動と地下構造の関係を基礎とする地殻変動モデルに基づき、地殻変動に対する地下のマグマの上昇や貫入、蓄積速度の大幅な変化等について考え得る解釈を示し、カルデラ火山の静穏な状態からの変化の有無を判断するためにモニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方を提案する。

実施内容	H31	H32	H33	H34	H35
(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 a.大規模噴火に関する地質学的調査	▽ボーリング（洞爺、始良）		コア&噴出物サンプル（始良、洞爺）		
	洞爺、始良等の地質学的調査				
	中小規模火山活動文献調査		中小規模火山の地質学的調査		
	古地磁気学的検討（屈斜路、洞爺、始良）				
b.降灰プロセス等に関する地質調査及び観測	降灰プロセス等の検討			▽NRA技報又は論文化	
	▽ラマン、FE-SEM導入 岩石学的検討（屈斜路、洞爺、始良、鬼界、十和田）				
(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	鉱物分析、高温高压実験		マグマの定置位置、滞留時間の情報		
(3)地球物理及び地球化学的手法によるモニタリング手法に関する調査研究 a.活動的カルデラ火山の地下構造調査	▽ネットワークMT設置（阿蘇）				
	地震波、MT法による地下構造探査（始良、鬼界、十和田）				
	▽ICP-MS導入				
b.活動的カルデラ火山の地球化学的調査	マグマ起源の流体分析による地下構造の調査				
c.火山性地殻変動とマグマ活動に関する調査	マグマ、地下構造に関する情報に基づく数値実験			▽海底地殻変動観測開始	
	海底地殻変動観測手法検討 基本設計、詳細設計検討		▽製作・施工		
(4)モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方の検討				▽NRA技報 指標の提案	

【平成31年度の実施内容】

(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【分類①】

a. 大規模噴火に関する地質学的調査

洞爺及び始良カルデラ火山について、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に着手する。具体的には、カルデラ火山周辺の地表踏査を行い、巨大噴火及びその前後の噴火の噴出物の層序や噴出物の全岩組成等の変化から火山活動の時間的変遷を明らかにする。また、巨大噴火前後に発生したより小規模な噴火を探索するためカルデラ近傍でのボーリング調査や噴出物の時間及び空間的な分布を地質調査により明らかにする。

巨大噴火直前の噴出物は、直後の膨大な噴出物で埋没していることが多く、これまでその実態は明らかにされていない。そこで、過去の巨大噴火とその直前の噴出物の有無を調査することを目的としたボーリング掘削のための調査を実施する。さらに、大規模噴火進展プロセスを調査するため、始良カルデラ等の大規模噴火進展プロセスにおける時間スケールを古地磁気学的手法により検討する。また、中小規模の噴火についても噴火の準備・進展過程に関する文献調査結果を整理し取りまとめる。

b. 降灰プロセス等に関する地質調査及び観測

平成30年度までに、降灰中の火山灰の量、粒子の数及び粒子の落下速度をリアルタイムで観測することが可能になったが、実際に回収された火山灰粒子と観測データに違いがあり、その要因の一つが粒子の凝集効果であることが示唆された。そこで、平成31年度も観測を継続し、凝集効果について検討するとともに、観測データを蓄積し降灰中の火山灰濃度を調査する。

過去に噴出した大規模噴出物について、地質学的手法による降灰プロセスに関する調査に着手する。具体的には、噴出源から降灰軸方向に地表踏査を行い、噴出物の粒径及び構成比等の変化から噴出物の移送過程を明らかにする。また、降灰軸と直交する方向にも地表踏査を行い、分布特性も明らかにする。

(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【分類①】

洞爺、始良、鬼界、十和田について(1)の地質学的な調査結果と合わせて、噴出物の岩石学的検討により巨大噴火に至るまでのマグマの時空間変化の検討に着手する。具体的には、巨大噴火とその前後の噴出物の全岩化学組成（主要元素・微量元素・同位体化学組成）と含有される鉱物の化学組成を用い、含水量等を考慮した相平衡関係を解明し、噴火を起こしたマグマについてその定置条件である温度圧力等の物理条件を制約する。全岩組成分析には波長分散形蛍光X線装置を導入する。また、熱力学的モデル計算と、高温高压実験を併用して相平衡関係の制約を与えるとともに精度の向上を図る。また、ガラス包有物の分析には、従来の二次イオン質量分析計（Secondary Ion Mass Spectrometry : SIMS）による分析に加え、レーザーラマン分光計を用いる手法について検討する。マグマ滞留時間の検討では、結晶中の元素拡散法を中心に、晶出条件の異なる石英、輝石、斜長石等の各種結晶について分析し、マグマ滞留時間を検討する。

(3) 地球物理及び地球化学的手法によるモニタリング手法に関する調査・研究【分類①】

a. 活動的カルデラ火山の地下構造調査

本調査は、活動的カルデラ火山の地下構造の調査を行うため、始良、阿蘇カルデラで地震波及び電磁探査を行う。

7. 実施計画

始良カルデラについては、平成 27 年度に設置した地震計に加え、新たにカルデラ内の島に地震計を設置して地震波の観測を継続する。得られた地震波を解析し地震波トモグラフィ及びレシーバー関数解析による地下深部の構造境界の検討を行う。また、反射法によるカルデラ中心付近の深さ 15km 付近に存在する低速度領域の反射面の探査に着手する。

電磁探査では、新たに十和田カルデラの探査の準備に着手するとともに、阿蘇カルデラではネットワークMT法による長期間探査を実施するための観測網を整備し、本格的な観測に向けた準備観測を開始する。

b. 活動的カルデラ火山の地球化学的調査

本調査は、地下のマグマ溜まりの状態（活性度）を把握する手法を確立するため、活動的カルデラ火山の深部流体（地下水やガス）の化学組成や同位体分析を実施する。具体的には、図 6 に示す火山性流体に多く含まれる硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）や塩素イオン（Cl）濃度や He 同位体比に加え、流体に含まれる微量の希土類元素やアルカリ金属の同位体比についても質量分析計（ICP-MS）を導入し分析する。調査対象とする火山は、始良、鬼界及び十和田カルデラを対象として、カルデラ内外の流出分布や長期間のサンプル採取・分析を行い、湖水あるいは海水で満たされた火山における熱水フラックス評価手法確立のために水中ラドン測定を行う。

c. 火山性地殻変動とマグマ活動に関する調査

一般に、活動的なカルデラ火山の深部には、過去又は現在の火山活動（ポストカルデラ火山活動）に関与するマグマが存在すると考えられている。実際、既往の地震波トモグラフィ解析でも低速度領域の存在が報告されている。本調査では、活動的なカルデラ火山において地殻変動観測を実施するとともに、地殻変動とマグマの時空間変化の関係について調べるためシミュレーションモデルによる数値実験を行う。

c 1. シミュレーションモデルによる検討

平成 30 年度までに、地殻変動の観点からマグマの蓄積を理解していくために粘弾性地殻変動モデルを構築した。本検討では、モデルで予測される地表面変動の振る舞いから地殻内のどの深さにどの程度のマグマが存在しているのかをとらえていく方法を検討する。具体的には、始良カルデラ及びその周辺の地殻変動を対象とし、その時間スケールは GPS や水準のデータといった 10~100 年オーダーの地殻変動データだけでなく、鹿児島湾周辺の堆積物や海岸の汀線変化を用いた 1,000~10,000 年オーダーの変動解析を組み合わせることで、中長期的なカルデラの地盤変動を明らかにすることを旨とする。

c 2. 地殻変動観測

これまで始良カルデラ周辺に設置した GNSS において地殻変動の観測を継続していくが、最も変動幅が大きいと考えられているカルデラ内には観測機器が設置できていない。そこで、INGV が行っている海底地殻変動観測技術を調査するとともに、当該技術を始良カルデラに導入するための基礎的な調査を行う。また、カルデラ内にある無人島や岩礁に地震計や GNSS 等の観測機器の設置準備等を行う。

【平成 32 年度の実施内容】

(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【分類①】

a. 大規模噴火に関する地質学的調査

洞爺及び始良カルデラ火山について、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を継続する。本年度は、過去の巨大噴火とその直前の噴出物の有無を調査することを目的としたボーリング掘削を洞爺カルデラについて実施する。大規模噴火進展プロセスの調査においては、平成 31 年度の調査結果に基づいて、引き続き始良カルデラ等の古地磁気学的調査を行う。また、過去の記録や文献調査結果に基づいて中小規模の噴火についても火山活動の推移と噴出物の関係について調査を開始する。

b. 降灰プロセス等に関する地質調査及び観測

観測を継続し、凝集効果について検討するとともに、観測データを蓄積し降灰中の火山灰濃度を調査する。

平成 31 年度に引き続き、過去に噴出した大規模噴出物について、地質学的手法による降灰プロセスに関する調査を実施する。具体的には、平成 31 年度に実施した噴出物とは異なる噴出物を対象とし、噴出物間の類似点や相違点についての検討を行う。

(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【分類①】

屈斜路、洞爺、始良、十和田について（1）の地質学的な調査結果と合わせて、噴出物の岩石学的検討により巨大噴火に至るまでのマグマの時空間変化の検討を継続する。また、平成 31 年度の結果を踏まえた高温高压実験装置による相平衡実験による再現実験を継続する。

(3) 地球物理及び地球化学的手法によるモニタリング手法に関する調査・研究【分類①】

a. 活動的カルデラ火山の地下構造調査

始良、阿蘇及び十和田カルデラで地震波及び電磁探査を継続する。始良カルデラについては新たにカルデラ内の無人島や岩礁に設置した地震計のデータを含めた解析を行うとともに、反射法による長期の地震波観測のため、エアガン及びアレイ観測のための地震計を設置する。阿蘇カルデラについては平成 31 年度に設置したネットワークMT法による観測データを基に解析を行う。

b. 活動的カルデラ火山の地球化学的調査

始良、鬼界及び十和田カルデラを対象としたカルデラの深部流体（地下水やガス）の化学組成や同位体分析を実施し、カルデラ内外の流出分布や長期間のサンプル採取・分析を行い統計学的な解析を行う。また、（1）（2）の調査結果を踏まえカルデラ内にボーリング抗を掘削し定常的な採水観測を行うための井戸の掘削を始良カルデラにおいて行う。また、前年度に引き続き始良カルデラ内の水中ラドン測定を行う。

c. 火山性地殻変動とマグマ活動に関する調査

c 1. シミュレーションモデルによる検討

始良カルデラ及びその周辺の地殻変動について構築したシミュレーションモデルによる数値実験を継続する。

c 2. 地殻変動観測

海底地殻変動観測のための設備の詳細設計を行うとともに、地殻変動観測施設設置のための準備を行う。

【平成33年度の実施内容】

(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【分類①】

a. 大規模噴火に関する地質学的調査

洞爺及び始良カルデラ火山について、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を継続する。本年度は、過去の巨大噴火とその直前の噴出物の有無を調査することを目的としたボーリング掘削を始良カルデラについて実施する。大規模噴火進展プロセスの調査においては、31年度の調査結果に基づいて、始良カルデラ等の古地磁気学的調査を継続する。また、中小規模の噴火についても推移と噴出物の関係についての調査を行い、大規模噴火における噴火の準備・進展過程と比較検討する。

b. 降灰時のプロセスに関する調査・研究

観測を継続し、凝集効果について検討するとともに、観測データを蓄積し降灰中の火山灰濃度を調査し取りまとめる。平成32年度までに実施した検討内容を基に、地質学的手法から得られた降灰プロセスについてとりまとめるとともに、過去の噴出物に基づく火山灰濃度の設定に資する評価指標を策定する。

(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【分類①】

屈斜路、洞爺、始良、鬼界、十和田について(1)の地質学的な調査結果と合わせて、噴出物の岩石学的検討により巨大噴火に至るまでのマグマの時空間変化の検討を継続する。なお、本年度は鬼界及び十和田について取りまとめる。

また、平成32年度の結果を踏まえた高温高圧実験装置による相平衡実験による再現実験を継続する。

(3) 地球物理及び地球化学的手法によるモニタリング手法に関する調査・研究【分類①】

a. 活動的カルデラ火山の地下構造調査

始良、阿蘇で地震波及び電磁探査を継続する。始良カルデラについては反射法による長期の地震波観測を開始する。阿蘇カルデラについてはネットワークMT法による観測データを基に解析を継続して実施する。

b. 活動的カルデラ火山の地球化学的調査

始良、鬼界、十和田及び屈斜路カルデラを対象としたカルデラの深部流体(地下水やガス)の化学組成や同位体分析を継続し、平成32年度に掘削した井戸における採水データも含めた、カルデラ内外の流出分布や長期間のサンプル採取・分析を行い統計学的な解析を行う。

c. 火山性地殻変動とマグマ活動に関する調査

c1. シミュレーションモデルによる検討

始良カルデラ及びその周辺の地殻変動について構築したシミュレーションモデルによる数値実験を継続する。

c2. 地殻変動観測

海底地殻変動観測のための施設を設置し、観測を開始する。

【平成34年度の実施内容】

(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【分類①】

a. 大規模噴火に関する地質学的調査

屈斜路、洞爺及び始良カルデラ火山について、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を継続する。

(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【分類①】

屈斜路、洞爺、始良カルデラについて(1)の地質学的な調査結果と合わせて、噴出物の岩石学的検討により巨大噴火に至るまでのマグマの時空間変化の検討を継続する。また、平成33年度の結果を踏まえた高温高圧実験装置による相平衡実験による再現実験を継続する。

(3) 地球物理及び地球化学的手法によるモニタリング手法に関する調査・研究【分類①】

a. 活動的カルデラ火山の地下構造調査

始良及び鬼界カルデラで地震波及び電磁探査を継続する。始良カルデラについては反射法による長期の地震波観測を継続する。また、始良カルデラにおけるネットワークMT法による調査を検討する。

b. 活動的カルデラ火山の地球化学的調査

始良、阿寒及び屈斜路カルデラを対象としたカルデラの深部流体(地下水やガス)の化学組成や同位体分析を継続し、平成32年度に掘削した井戸における採水データも含めた、カルデラ内外の流出分布や長期間のサンプル採取・分析を行い統計学的な解析を行う。

c. 火山性地殻変動とマグマ活動に関する調査

c1. シミュレーションモデルによる検討

始良カルデラ及びその周辺の地殻変動について構築したシミュレーションモデルによる数値実験を継続する。

c2. 地殻変動観測

海底地殻変動観測を継続する

(4) モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方の検討【分類①】

マグマの時空間変化に関する知見と(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・研究の成果と合わせて、噴火の準備過程における十和田カルデラをモデルケースとした、マグマプロセスのモデル・シナリオを作成する。

【平成35年度の実施内容】

(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【分類①】

a. 大規模噴火に関する地質学的調査

屈斜路、洞爺及び始良カルデラ火山について、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結果を取りまとめる。

	<p>(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【分類①】 屈斜路、洞爺、始良カルデラについて(1)の地質学的な調査結果と合わせて、噴出物の岩石学的検討により巨大噴火に至るまでのマグマの時空間変化の検討結果を取りまとめる。</p> <p>(3) 地球物理及び地球化学的手法によるモニタリング手法に関する調査・研究【分類①】</p> <p>a. 活動的カルデラ火山の地下構造調査 始良及び鬼界カルデラで地震波及び電磁探査、反射法による長期の地震波観測結果を取りまとめる。</p> <p>b. 活動的カルデラ火山の地球化学的調査 始良、屈斜路及び阿寒カルデラを対象としたカルデラの深部流体(地下水やガス)の化学組成や同位体分析結果、平成32年度に掘削した井戸における採水データも含めた、カルデラ内外の流出分布や長期間のサンプル採取・分析を行い統計学的な解析について取りまとめる。</p> <p>c. 火山性地殻変動とマグマ活動に関する調査</p> <p>c 1. シミュレーションモデルによる検討 地殻変動シミュレーションモデルと活動的カルデラ火山への適応について取りまとめる。</p> <p>c 2. 地殻変動観測 海底地殻変動観測の観測結果を取りまとめる。</p> <p>(4) モニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方の検討【分類①】 マグマの時空間変化に関する知見と(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・研究の成果と合わせて、噴火の準備過程における調査対象としたカルデラ火山についてマグマプロセスのモデル・シナリオを作成する。 また、地殻変動観測手法及び反射法による長期地震波観測手法の有効性を評価するとともに、これらの観測手法に基づきカルデラ火山においてモニタリングすべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方を提案する。</p>
8. 実施体制	<p>【地震・津波研究部門における実施者(主担当者には○を記載)】</p> <p>○ 安池 由幸 専門職 西来 邦章 技術研究調査官 廣井 良美 技術研究調査官</p>
9. 備考	

技術評価検討会の外部専門家及び専門技術者

(1) プラント安全技術評価検討会

外部専門家

北田 孝典 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻教授
 功刀 資彰 京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻教授
 五福 明夫 岡山大学大学院ヘルスシステム総合科学研究科教授
 田中 伸厚 茨城大学工学部機械工学科教授

専門技術者

新井 健司 東芝エネルギーシステムズ株式会社
 原子力安全システム設計部担当部長
 梅澤 成光 MHIニュークリアシステムズ・ソリューション
 エンジニアリング株式会社技師長
 溝上 伸也 東京電力ホールディングス株式会社福島第一廃炉推進カンパニー
 プロジェクト計画部安全・解析グループ課長

(2) 燃料技術評価検討会

外部専門家

有馬 立身 九州大学大学院工学研究院エネルギー量子部門助教
 黒崎 健 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻准教授

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
 原子力人財育成センター所長
 高島 勇人 関西電力株式会社原子燃料サイクル室
 原子燃料サイクル部長
 平井 睦 日本核燃料開発株式会社上席主幹研究員

(3) 地震・津波技術評価検討会

外部専門家

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
 先端的研究施設利活用センター戦略推進室長
 古屋 治 東京電機大学理工学部機械工学系教授

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
研究コーディネーター（自然外部事象分野）

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
企画運営チーム研究副参事

（参考）技術評価検討会の事前評価開催日程

プラント安全技術評価検討会	第8回検討会 書面審議	平成30年11月29日(木) 平成30年12月17日(月) ～平成30年12月18日(火)
燃料技術評価検討会	第2回検討会 書面審議	平成30年11月30日(金) 平成30年12月17日(月) ～平成30年12月18日(火)
地震・津波技術評価検討会	第7回検討会 書面審議	平成30年12月 4日(火) 平成30年12月21日(金) ～平成30年12月25日(火)