

# 安全研究に係る事前評価結果

平成28年9月21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29年度以降の安全研究に向けて）」（平成28年7月13日原子力規制委員会。以下「実施方針」という。）に基づき企画された新規の安全研究プロジェクト15件を対象とする（表1）。なお、No.31のプロジェクト「放射性同位元素等の規制の改善に資する調査研究」は公募型事業であることから、事前評価の対象外とした。

表1 事前評価対象プロジェクト

番号 (*1)	プロジェクト名
1	地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究
2	津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究
3	地震の活動履歴評価手法に関する研究
6	地震・津波及びその他の外部事象等に係る施設・設備のフラジリティ評価に関する研究
7	火災防護に係る影響評価に関する研究
9	規制へのPRAの活用のための手法開発及び適用に関する研究
11	軽水炉の重大事故時における不確かさの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発
12	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 (*2)
13	重大事故の事故シーケンスグループに係る事故進展解析
23	重大事故時の原子炉格納容器の終局的耐力評価に関する研究 (*2)
24	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
27	安全性向上評価に向けた加工施設及び再処理施設のリスク評価手法の高度化に関する研究
28	廃棄物埋設に影響する長期自然事象の調査方法及びバリア特性長期変遷の評価方法に関する研究
29	放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究
30	緊急時対応レベル（EAL）に係るリスク情報活用等の研究

(\*1) 実施方針の「安全研究プロジェクトの概要」に整理されたプロジェクト番号を記載した。

(\*2) 事前評価を踏まえて変更したプロジェクト名を記載した。

## 1. 2 評価方法

「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）では、事前評価において、外部専門家による技術的観点からの評価意見を参考として、当該分野の最新動向等を踏まえた成果目標及び研究手法・計画の技術的妥当性の評価を行うとしている。

その際、特に規制ニーズ等を踏まえて成果目標が明確に定められているかを評価する。

## 1. 3 技術評価検討会

プラント安全技術、燃料・材料技術、シビアアクシデント技術、核燃料サイクル技術、バックエンド技術及び地震・津波技術の分野ごとに設置した技術評価検討会において、外部専門家の評価意見を聴取した。その際、外部専門家以外に当該技術分野の実務経験及び詳細な技術的知見を有する者（以下「専門技術者」という。）からも意見を聴取し評価の参考とした。

評価意見を聴取する際の具体的な観点は、

- ・国内外の過去の研究成果及び最新知見を踏まえた研究内容であるか
- ・解析実施手法及び実験方法が適切であるか
- ・解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切であるか
- ・観点の欠落といった重大な見落としがないか

の4点とした。

今回開催した技術評価検討会の外部専門家及び専門技術者は別紙1のとおり。

## 2. 事前評価結果

15件全てのプロジェクトについて、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、事前評価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2のとおり。なお、実施方針の別添の各「安全研究プロジェクトの概要」については、評価案の作成過程で出された意見や知見を踏まえ必要に応じて修正し、別紙2の各プロジェクトの冒頭に「事前評価を踏まえた研究概要」として記載した。

## 技術評価検討会の外部専門家及び専門技術者

### (1) 燃料・材料技術評価検討会

#### 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工学部門助教  
兼松 学 東京理科大学理工学部建築学科教授  
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  
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

- 大塚 康介 東京電力ホールディングス株式会社原子力安全・統括部原子力安全グループマネージャー  
岡本 達希 東北大学先端電力工学共同研究講座客員教授  
(一財)電力中央研究所電力技術研究所首席研究員  
高畠 勇人 関西電力株式会社原子力事業本部原子力企画部門部長  
福田 龍 三菱重工業株式会社エネルギー・環境ドメイン原子力事業部炉心・安全技術部安全技術統括課主席技師

### (2) プラント安全技術評価検討会

#### 外部専門家

- 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  
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  
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 株式会社東芝原子力事業部技監  
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解析評価グループマネージャー

### (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準備室室長  
庄司 学 筑波大学大学院システム情報工学研究科  
構造エネルギー工学専攻准教授  
古屋 治 東京電機大学理工学部電子・機械工学系准教授

#### 専門技術者

- 梅木 芳人 中部電力株式会社原子力本部原子力土建部設計管理グループ課長  
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  
企画運営チーム副研究参事 兼  
地球工学研究所流体科学領域上席研究員

### (4) 核燃料サイクル技術評価検討会

#### 外部専門家

- 浅沼 徳子 東海大学工学部原子力工学科准教授  
榎田 洋一 名古屋大学大学院工学研究科マテリアル理工学専攻教授  
木倉 宏成 東京工業大学先端原子力研究所准教授  
高木 郁二 京都大学大学院工学研究科量子理工学教育研究センター教授  
村松 健 東京都市大学工学部原子力安全工学科客員教授

#### 専門技術者

- 石田 倫彦 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
再処理技術開発センター技術部計画管理課長代理  
眞部 文聡 三菱重工業株式会社エネルギー・環境ドメイン原子力事業部  
新型炉・原燃サイクル技術部長代理（燃料サイクル担当）

### (5) シビアアクシデント技術評価検討会

#### 外部専門家

- 飯本 武志 東京大学環境安全本部准教授  
糸井 達哉 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻准教授  
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

浦田 茂 関西電力株式会社原子力事業本部原子力安全主幹  
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  
主幹プロジェクト統括  
宮田 浩一 東京電力ホールディングス株式会社  
柏崎刈羽原子力発電所原子力安全センター所長  
守屋公三 日立GEニュークリア・エナジー株式会社技師長

(6) バックエンド技術評価検討会

外部専門家

小崎 完 北海道大学大学院工学研究院エネルギー環境システム部門教授  
新堀 雄一 東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教授  
山中 伸介 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  
山元 孝広 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査  
総合センター活断層・火山研究部門総括研究主幹

専門技術者

佐々木 泰 日本原燃株式会社埋設事業部開発設計部長  
中居 邦浩 日揮株式会社第3事業本部チーフエンジニア（原子力安全）兼  
プロジェクト第4部原子力ソリューショングループリーダー  
山内 豊明 日本原子力発電株式会社廃止措置プロジェクト推進室室長

(参考) 技術評価検討会の開催日程（事前評価）

燃料・材料技術評価検討会	第5回	平成28年7月22日（金）
プラント安全技術評価検討会	第4回	平成28年7月26日（火）
地震・津波技術評価検討会	第5回	平成28年7月27日（水）
核燃料サイクル技術評価検討会	第1回	平成28年7月28日（木）
シビアアクシデント技術評価検討会	第3回	平成28年7月29日（金）
バックエンド技術評価検討会	第2回	平成28年8月3日（水）

# 各安全研究プロジェクトの事前評価結果

## 1. 地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究（H29－H31）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

基準地震動の策定においては、地震の規模やその不確実さを適切に評価するために震源特性に係る知見を継続的に蓄積していく必要がある。そのため、熊本地震を含め近年活発化している国内の内陸地殻内地震を対象に、震源断層パラメータの精緻化を図るとともに不確実さについて評価を行う。また、地震動特性に関するデータが少ないプレート間地震等についても国内外のデータを合わせ震源断層パラメータの精緻化及び不確実さについて検討する。

さらに、今後実施される安全性に係る評価においては、地震に対する確率論的リスク評価（以下「地震PRA」という。）手法の活用が見込まれる。地震PRAを実施するに当たっては、確率論的地震ハザード評価手法について、地震の規模や発生頻度とその不確実さを適切に評価し同評価手法の信頼性向上を図り、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資することが重要である。震源が敷地に近い場合、地震動の影響をより精緻に評価するために断層モデルに基づく地震ハザード曲線を用いることが適切であり、その具体的な作成方法及び手順を明確にすることが重要である。また、新規制基準の地盤に対する要求に照らし、特に震源が敷地に近い場合に地震活動に伴う地盤の永久変位の有無を適切に評価することが重要である。そのため、震源断層パラメータ及びその不確実さの取扱い方法を検討し、断層モデルによる確率論的地震ハザード評価手法を整備する。これらの研究成果を論文として公表し、地震ハザード評価ガイドの作成及び安全性に係る評価の高度化に活用する。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（地震・津波技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 従来の研究で得られている知見や既往の研究実績を踏まえた研究計画となっている。ただし、今年発生した熊本地震を踏まえた安全研究計画を見直した点や課題の明確化が必要である。
- それぞれの課題を、キーとなる視点・手法を通じて明確にし、3年間で具体的な目標を設定すべきである。

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 実施内容の各論は学術的には分かりやすい内容となっており、リーズナブルで

あるが、解析手法及び実験方法についてより具体的に示す必要がある。

- プレート間地震、スラブ内地震について、国外の地震解析については、情報を国内並に収集することが困難である場合が多いと考えられるが、各方面の協力も含め進めること。解析を行うに当たっては、プレート境界の特性の相違性やスラブ内地震の相違性にも注視する必要がある。
  - c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か
    - 特段の指摘はない。
  - d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか
    - 重大な見落とし（観点の欠落）がないと判断し問題ない。
- 2) 専門技術者からの意見
- 図2における「不確かさを考慮した地震動発生シナリオ」において、距離減衰式の評価式が示されているので、断層モデルを用いた場合のシナリオに修正してはどうか。

## ② 総合評価

- 1) 実施方針の「(1) 横断的原子力安全①外部事象」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 「断層モデルを用いた地震動評価手法の整備」において、まずは「不確かさ」について判断の目安を整備するとともに、考慮事項や判断の考え方、具体的な方法を示す必要がある。また、実際に起きた地震規模とその地震により地表に現れた断層長さがその推定手法と必ずしも対応しない場合があり、地震規模を推定する適切な手法の策定が必要である。
- 3) 断層パラメータのばらつきやそのばらつきが地震動に与える影響を確認すること等により地震動算定における不確かさについての検討が重要である。
- 4) 成果の活用先について、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等により安全性に係る評価の高度化に資するよう見直す必要がある。
- 5) 本プロジェクトの実施に当たり、熊本地震を踏まえた課題、3年間での具体的な目標等を明確にするなどの、上記①での指摘事項並びに②の2)、3)及び4)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

## 2. 津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究（H29-H32）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

今後実施される安全性に係る評価においては、津波に対する確率論的リスク評価（以下「津波PRA」という。）手法の活用が見込まれる。特に津波PRA手法の構成要素である確率論的津波ハザード評価手法については、種々の津波発生要因とその不確実さを適切に評価し同評価手法の信頼性向上を図り、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資することが重要である。これまでにプレート間地震に伴う津波を対象に津波波源モデルの改良等を実施してきたが、そのほかの地震発生様式の違いや地震規模設定に係る不確実さの取扱い、地震以外の発生要因の特性も踏まえて、確率論的津波ハザード評価手法に反映していくことが必要である。平成23年東北地方太平洋沖地震津波の知見を踏まえた設定方法を構築し、確率論的津波ハザード評価手法に適用することにより、従来モデルと比較して評価結果に及ぼす影響を評価した。一方、津波波源モデルの設定方法については、津波を発生させる地震規模の不確実さや地震以外の発生要因の特性も考慮し、確率論的津波ハザード評価手法に反映していく必要がある。

そのため、確率論的津波ハザード評価手法の信頼性向上を図るため、地震起因の津波については津波波源や地震活動のモデル化に係る不確実さの影響評価を実施し、地震以外の発生要因については海底地すべりを対象とする確率論的津波ハザード評価手法の整備を行う。これらの研究成果を学術論文として公表し、津波ハザード評価ガイドの作成及び安全性に係る評価の高度化に活用する。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（地震・津波技術評価検討）

##### 1) 外部専門家の評価意見

- a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか
  - ・ 既往知見を踏まえた研究となっており問題ない。
- b. 解析実施手法及び実験方法が適切か
  - ・ 学術的に難解なテーマを取り上げている分、解析と実験の工程を具体化し研究計画の妥当性を吟味する必要がある。
  - ・ 地形変化を模擬した水理実験や海底地すべりの実験に際しては、検討手法として標準化できるよう進めるべきである。
  - ・ 遠心模型の海底地すべり実験では、粒子と水の粘性をどう評価するかが重要である。
- c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か
  - ・ 特段の指摘はない。
- d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか



- 常に新たな観点で研究を進めることで審査ガイドや安全審査へ研究成果を反映させることを検討されており、重大な見落とし（観点の欠落）はないと判断した。
- e. その他
  - 実験により新たな知見が得られた場合にも適切にその後の研究や実験に取り入れられるよう研究計画に裕度を設けていただきたい。
- 2) 専門技術者からの意見
  - 津波地震の研究について、地形が急勾配の場合の地殻変動の水平成分の変位の影響を検討してはどうか。また、引用しているインドネシアとフィリピンの地震について、津波地震であるかどうか整理することが望ましい。

## ② 総合評価

- 1) 実施方針の「(1) 横断的原子力安全①外部事象」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 「海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法の整備」では、「不確実さ」について判断の目安の整備が必要である。
- 3) 成果の活用先について、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等により安全性に係る評価の高度化に資するよう見直す必要がある。また、ガイド等への反映を見越し、論文の公表時期を再検討する必要がある。
- 4) 本プロジェクトの実施に当たり、水理実験及び海底地すべり実験は学術的に難解なテーマであることから工程を具体化して吟味するなどの、上記①での指摘事項並びに②の2)及び3)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

### 3. 地震の活動履歴評価方法に関する研究（H29-H31）

#### （1）事前評価を踏まえた研究概要

リスク評価における確率論的地震ハザード評価及び確率論的津波ハザード評価では、地震履歴（活動時期、活動間隔等）の情報が評価結果に大きく影響するため、これらの情報に係る技術的根拠を明確にすることが重要である。海域における内陸地殻内地震は、トレンチ調査の実施が困難であることから統計的に推定された活動間隔が用いられることが多く、評価結果に与える不確実さの幅が大きくなることが課題である。また、陸域で地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の活動履歴については、地層中の火山灰を用いて推定する方法があるが、火山灰の年代誤差が活動間隔の評価結果に大きく影響することが課題である。

そのため、海域における活断層を対象に、海底の微化石分析等に基づく活断層の活動履歴の評価に関する手順、方法を検討する。また、地表に明瞭な痕跡を残さない活断層に対しては、平成28年度までに構築した火山灰層序に基づく年代評価指標を活用し、評価対象地域の地層中の地域的火山灰との対比による活断層の活動履歴評価手法を検討する。得られた成果を論文として公表し、断層の活動履歴評価ガイドの作成等に活用する。

#### （2）事前評価結果

##### ① 技術的観点からの評価意見等（地震・津波技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 研究対象は大変難しい内容を含むと考えられるが、得られる成果の知見の積み重ねは、確からしさの高度化や精度の向上につながると判断できるため、問題ない。

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 実施内容が具体的に示されており、分析方法や評価手法のイメージがつきやすい。その上で、断層の長さが地表に現れる痕跡を残さない問題は空間スケールの扱いを明確に定義してほしい。地殻内地震については特に、どの程度の規模のものを対象とするのか。そういった意味から、1、2年でフォーカスする内容を見通しておくべきである。
- 活動履歴を明確に評価する手法の確立は、非常に重要なことであるのでぜひ進めるべきである。ただし、成果を明確にするためにも、具体的なテストサイトを設定し、そこから検討すべきことに留意する必要がある。

##### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 得られた結果を客観的に評価するとともに、収集したデータは広く活用できるようにすべきである。

d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 特段の指摘はない。

e. その他

- 収集したデータを広く活用してできるよう整理するとともに、関連学協会との研究協力体制の構築なども期待される。

2) 専門技術者からの意見

- タービダイトの研究は、プレート間地震（津波）の履歴だけでなく、広域調査を行うことで規模の評価もできる可能性があることから、慎重に検討することが望ましい。

② 総合評価

1) 実施方針の「（1）横断的原子力安全①外部事象」に整合した成果目標となっていると認められる。

2) 成果の活用先について、ガイド等への反映を見越し、論文の公表時期を再検討する必要がある。

3) 本プロジェクトの実施に当たり、地殻内地震については1、2年でフォーカスする内容を見通しておくなどの、上記①での指摘事項及び②の2)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

## 6. 地震・津波及びその他の外部事象等に係る施設・設備のフラジリティ評価に関する研究（H29-H32）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

地震・津波等の外部事象に関するリスク評価の精度向上の観点から、施設・設備のフラジリティに係る評価手法を精緻化することが重要である。また、地震・津波以外の外部事象に対しても、規制における妥当性判断のための新たな科学的・技術的知見の収集・整備を行い、衝突・衝撃に対する構造健全性評価手法に反映していく必要がある。各プロジェクトから得られた評価結果に基づく成果を論文として公表し、評価ガイド等の作成等に活用する。

#### ①津波に対するフラジリティ評価手法の検討（3年間）

平成28年度まで、防潮堤の耐津波設計手法のうち、持続波に対する既往の設計手法の適用範囲及び段波が防潮堤の構造健全性に与える影響等について研究を行った。平成29年度以降は、設計を超える津波を対象とし、津波PRAにおける施設・設備のフラジリティ評価の精度向上を目的に、防潮堤を越流する津波に対する防潮堤の応答及び耐力の評価を行う。

#### ②地震に対するフラジリティ評価手法の検討（3年間）

平成28年度までに、地震に対する施設・設備のフラジリティ評価手法の整備を終了した。平成29年度以降は、地震PRAにおける施設・設備のフラジリティ評価の精度向上を目的に、設計を超える地震に対する建屋・機器等の三次元挙動に係る評価手法を検討するとともに、これまで実施してきた耐震重要設備の限界加振試験データを活用して耐震重要設備の現実的な耐力の分析・評価を行う。

#### ③外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討（4年間）

飛翔体等の衝突・衝撃時の構造物の健全性評価手法の整備を目的とし、平成28年度まで平板等の比較的単純な構造物を対象に、局部損傷に係る試験を実施して既往評価手法の適用性を検討した。平成29年度以降は、建屋・構築物・機器等の複雑構造物を対象に、飛翔体等衝突時における衝撃波伝播特性等の評価に係る知見を拡充するとともに、機器等の応答・耐力への影響を評価する。

また、輸送容器を対象に、落下時の衝撃挙動に関する知見を拡充し、構造健全性への影響を評価する。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（地震・津波技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 地震に対するフラジリティ評価、飛翔体衝突等に関する既往研究の知見を調査する必要がある。

b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 大変重要な観点の解析及び実験内容であると判断する。なお、実験についてはできるだけ実規模レベルに近いものでの実施されることが望ましい。
- 配管亀裂における低サイクル疲労に関する荷重モデルの見通しを立てておくことが望ましい。

c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 詳細3次元建屋モデルの検討から質点系への技術移行方法の検討など、得られた知見をできるだけ簡略化した手法について、研究成果の展開がしっかりと計画されていると判断する。

d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 重大な見落とし（観点の欠落）がないと判断し問題ない。

e. その他

- この章のテーマは一つ一つが大きく研究内容の適切な評価を行うことが難しい。あらかじめ全体計画のなかの位置付けなど検討を要するとともに、分割等の対策が必要と思われる。

2) 専門技術者からの意見

- 落下試験はこれまでの事例を確認されてはどうか。
- 地震に対する耐震重要設備の耐力評価では財団法人原子力発電技術機構（NUPPEC）、独立行政法人原子力安全基盤機構（JNES）以外のデータも参考にすることが望ましい。

② 総合評価

- 1) 実施方針の「（1）横断的原子力安全①外部事象」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 地震PRAについて、炉心損傷直結事象としている事象のうち、原子炉建屋損傷、原子炉格納容器損傷、制御建屋損傷及び複数の信号系損傷の評価に際しては、詳細な分析方法を確立する必要がある。
- 3) 成果の活用先について、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等により安全性に係る評価の高度化に資するよう見直す必要がある。
- 4) 本プロジェクトの実施に当たり、地震フラジリティなどについては多くなされている既往研究の知見をより多く調査する、配管亀裂の低サイクル疲労に関する荷重モデルの見通しを立てるなどの、上記①での指摘事項並びに②の2）及び3）を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。今後、プロジェクトの分割を検討する必要がある。

## 7. 火災防護に係る影響評価に関する研究（H29-H32）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

火災は共通原因故障を引き起こす起回事象の中でも重要な事象の一つであることから、様々な火災事象についてリスクの低減を図るための研究を継続的に行うことが重要である。そのため、原子力施設における対象可燃物（有機溶媒、高分子材料等）の火災試験データの取得、高エネルギーアークによる爆発的影響等の火災試験結果のモデリングによる定量的な火災影響評価手法・解析コードの整備、火災時のばい煙の影響に関する調査等を行い、火災防護に関する規制基準類の見直しに資するとともに、火災PRAへの活用を図る。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（プラント安全技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- HEAFに関連した分野（ガス遮断器など）に多くの実験や研究が実施されていると思われるので、そちらも十分調査する必要がある。

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 本計画が①現象解明を目的にしているのか、②原因はともかくとして発生したエネルギーの伝搬による影響評価が主体的なのか明確でない。
- HEAFの評価に用いる解析コードの検証と妥当性確認について、具体的な方法が不明である。またHEAFの爆発評価に用いる衝撃解析コードの改良整備についても、現状の不足や改良・整備の計画が不明であり、利用する解析コードを選んだ理由を明記すべきである。
- 研究の全体的な形が見えにくい。多少の専門外の技術者等にも理解できる概要（図化及びシナリオ）が欲しい。
- 各項目について、改良、整備とするだけでなく、可能であれば目標を定量化できる点を明確にする方が良い。
- 実験に当たってのパラメータの設定の妥当性、十分性を示してほしい。

##### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 特段の指摘はない。

##### d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- HEAFにおいて、プラズマやアブレーションの影響はシナリオに含まれているのか。そこで見落とししている現象はないか。

##### e. その他

- 学会等で成果だけでなく研究計画についても公表することにより、原子力規制庁での安全研究の取組を示すことが望ましい。

## 2) 専門技術者からの意見

- H E A Fについては国際的に重要な課題だと認識している。
- 計装系の検討については、これまでの成果をフォローアップしてほしい。
- 試験結果については、利用可能な形で整理することが望ましい。

## ② 総合評価

- 1) 実施方針の「(1) 横断的原子力安全②火災防護」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 実験数はそれほど多くできないなら試験対象の代表性、パラメータの選定範囲などについて検討する必要がある。また、成果の活用先や影響評価の活用方法を明確にする必要がある。
- 3) 本プロジェクトの実施に当たり、原子力以外の関連した分野で実施されている研究について調査する、H E A Fの解析コードの整備の目標をより明確にするなどの、上記①での指摘事項及び②の2)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

## 9. 規制へのPRAの活用のための手法開発及び適用に関する研究（H29-H33）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

安全性向上評価等のガイドの策定・改定等による安全性に係る評価の高度化に資するため、レベル1PRAに関する手法開発や適用に関する研究を行う。これまでに、重大事故等対処設備を考慮した代表的なPWR、BWRプラントのレベル1PRAモデルの整備を進めてきたが、平成29年度からは火災及び溢水のPRAモデルを整備する。また、新たなPRA技術として地震随件事象、ダイナミックPRA等の手法開発を行う。さらに、PRAから得られる炉心損傷頻度等のリスク情報を検査制度に活用するための研究を進める。これまでに、性能指標（PI）、重要度決定プロセス（SDP）等でのリスク指標の活用方法を検討してきたが、平成29年度からはこれらの指標を検査に導入できるよう、当該リスク指標の評価ツール等を実用に向けて整備する。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（シビアアクシデント技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

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

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

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

##### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か



- P R A手法の規制活動への適用性、検査制度へのリスク情報の活用方策が計画されており、いずれも適切である。

d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 重大な見落としはないと判断し問題ない。

2) 専門技術者からの意見

- 外部事象評価ではリカバリが重要であり、有効なP R Aモデルの構築が望ましい。
- 内部溢水の知見が得られたら事業者と共有又は公開してはどうか。

② 総合評価

- 1) 実施方針の「(2) 原子炉施設 ①リスク評価」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 地震P R Aの整備において、炉心損傷直結事象としている事象のうち蒸気発生器伝熱管破損（複数本破損）の評価に際しては、詳細な分析方法を確立する必要がある。
- 3) 本プロジェクトの実施に当たり、外部事象P R Aにおいてリカバリを考慮した事象の扱いを検討する、外部ハザードの優先度について研究を進める過程で調整するなどの、上記①での指摘事項及び②の2) を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

## 1 1. 軽水炉の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発（H29-H34）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

発電用軽水型原子炉施設の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象を定量化するために、重大事故に係る解析コードを開発する。これまでに、デブリベッド形成及び冷却性等に係る解析コードの開発を進めてきたが、平成29年度からは、熔融燃料-冷却材相互作用、熔融炉心-コンクリート相互作用、デブリ内流動に伴う冷却性、燃料デブリからの放射性物質放出等の解析コードを整備する。解析コードの開発に当たっては、軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験等で取得した最新の試験結果を活用し、解析における不確実さの低減を図る。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（シビアアクシデント技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

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

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

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

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

c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

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

d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 重大な見落としはない。

2) 専門技術者からの意見

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

② 総合評価

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

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

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資するため、レベル2及びレベル3確率論的リスク評価（PRA）モデルを整備する。これまでに整備したレベル2 PRAモデルに重大事故等対処設備を追加し、更にメルトスプレッドと溶融炉心-コンクリート相互作用の重畳や経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）が行うBIP3やSTEM2計画で得られたヨウ素挙動に関する解析モデル等を構築することによって、格納容器イベントツリーの分岐確率の解析手法及び放射性物質の放出頻度の解析手法等を整備し、レベル2 PRA評価に必要な実機解析モデルを整備する。この際、OECD/NEAが行う福島第一原子力発電所事故に関する実機評価を対象にしたベンチマーク解析（BSAF）等の国際共同プロジェクトに参加し、解析結果を提示するとともにレベル2 PRAモデルの整備に必要な情報を収集する。また、将来的に原子炉施設においてサイト特性を踏まえたリスクの評価を行うため、重大事故等対処設備を考慮したレベル1からレベル3までのPRA結果から、濃度、線量等のリスクの指標を検討するとともに、代表プラントのリスク評価を行い、防護措置による被ばく低減効果等に係る技術的知見を整備する。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（シビアアクシデント技術評価検討会）

##### 1）外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

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

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

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

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

c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

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

d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 重大な見落としはない。

e. その他

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

2) 専門技術者からの意見

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

② 総合評価

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

### 1.3. 重大事故の事故シーケンスグループに係る事故進展解析（H29-H31）

#### （1）事前評価を踏まえた研究概要

重大事故等対策の有効性評価における事故シーケンスグループの検討のために、PRAで用いられる炉心損傷前後のイベントツリーを基に、重大事故等対処設備を含めた事故緩和系の作動・不作動の組合せに沿って各種事故シーケンスの事故進展解析を行う。これまでに、全交流電源喪失及び高圧・低圧注水失敗に起因する代表的な事故シーケンスの解析を実施した。平成29年度からは、各種事故シーケンスにおける炉心損傷、原子炉（圧力）容器の損傷、格納容器破損等の事象発生時期、水素発生量、水素量分布等の解析結果を集約して、重大事故等対処設備を含めた事故シーケンスグループに係る知見を整備する。また、安全性に係る評価の高度化に資するため、各事故シーケンスにおける事故の進展に係る知見を整備する。

#### （2）事前評価結果

##### ① 技術的観点からの評価意見等（シビアアクシデント技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 国内外の既往の事故進展解析手法に関する最新の知見を踏まえており、過去に行われた研究との重複はない。

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 事故シーケンスの選定やグループ化、類似性を使った評価等の事故進展解析に関する実施項目は、最新の知見を踏まえており、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。
- レベル3につながるレベル2について、代表シーケンスを選択することの弊害も念頭に入れておくべき。
- 今後、事故進展解析の手法に個別現象解析コードの成果や最新の実験的知見を取り込むことで、より高度な解析手法の整備へ発展させることが望ましい。
- 将来的には、重大事故発生後の地震発生等の外的事象の影響を考慮した研究とすべきであると考えられ、研究の工程もそこまでのロードマップを明示することが望ましい。

##### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- シビアアクシデント総合解析コード(MELCOR)による事故進展解析結果をPRAの定量化に関わる知見の整備、事故シーケンスグループ化に関わる検討に反映することが計画されており、いずれも適切である。

##### d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 重大な見落としはないと判断し問題ない。

##### 2) 専門技術者からの意見

- PRAにどのように反映していくかを考え、感度解析を実施することが望ましい。

## ② 総合評価

- 1) 実施方針の「(2) 原子炉施設 ②シビアアクシデント」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 重大事故等対処設備を考慮した解析を実施することで、最新知見に基づくリスクプロファイルを検討することが重要である。
- 3) 本プロジェクトの実施に当たり、プロジェクトNo. 11における個別事象解析コード等の成果の取込を検討する、レベル3を含むPRAへの反映を考慮して解析を実施するなどの、上記①での指摘事項を踏まえた対応を行うことが適切であると評価する。

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

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

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

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（燃料・材料技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

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

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

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

##### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 特段の指摘はない。

##### d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

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

##### 2) 専門技術者からの意見

- PWRの格納容器としてPCCVを例示しているが、SCVも評価対象とする



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

- 試験結果については、利用可能な形で整理することが望ましい。

## ② 総合評価

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

## 2.4. 電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価に係る研究（H29-H31）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

常設重大事故等対処設備に属する電気・計装設備について、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、通常運転時相当の劣化を付与した状態における重大事故時環境下での絶縁性能に係るデータを取得し、限界条件等の裕度を評価するための手法を整備する。

具体的には、電気・計装設備のうち国内PWR・BWRプラントにおいて使用されている原子炉格納容器電線貫通部（電気ペネトレーション）から主要な複数の型式を選定してこれらを構成する高分子材料に着目し、電気ペネトレーション試験体に対し通常運転時相当の経年劣化を加速劣化処理により付与した後、その試験体を重大事故模擬環境条件下に曝露して絶縁抵抗の変化等のデータを取得し、絶縁性能の評価を行う。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（燃料・材料技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 既往研究として過去に国内で行われたもののみが挙げられているが、本当にこれで必要十分なのか疑問が残る。また、多種多様な高分子材料の熱・放射線耐性に関する研究として、もっと基礎的なもの（化学的・材料科学的観点から研究が行われ考察されているもの）もレビューしておく必要がある。

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 加速試験（高温及び高照射場）により長期を模擬できるか否かの判断のため、経年劣化の促進倍率の考え方については、使用する活性化エネルギーを明確にした上で慎重な検討を行う必要がある。
- 高分子材料の長期健全性を評価する手法を確立することが目的なのか、あるいは、様々な条件下での各種高分子材料の劣化状況を取りまとめることが目的なのか等、目的がはっきりしないため明確にする必要がある。
- 試験対象となる高分子材料の特定や組成は、かなり広範囲にわたって変化すると考えられるため、試験対象設定のプロセスを明確にする必要がある。
- ポッティング材及びケーブルの劣化機構について、その背景に潜む物理や化学を理解し、熱や放射線に対する高分子材料の劣化のメカニズムの解明や、またそのような劣化機構をどこまで解明するかについて示す必要がある。

##### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 特段の指摘はない。

##### d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

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

## 2) 専門技術者からの意見

- 電気ペネトレーションに対し、運転期間相当の経年劣化を加速劣化により付与するとのことだが、電気ペネトレーションは原子炉格納容器の外周近傍の比較的放射線線量率の低い場所に設置されていることから、加速劣化試験は実機条件を踏まえて過剰に厳しいものとならないよう留意することが適切であると考ええる。
- 電気ペネトレーションに対し、S A 環境条件を模擬した試験を実施するとのことだが、試験条件はS A 環境の格納容器内における電気ペネトレーションの位置を考慮してはどうか。

## ② 総合評価

- 1) 実施方針の「(2) 原子炉施設⑤材料・構造」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 背景・目的については、本研究で新知見が得られた場合には、必要に応じ現行の高経年化技術評価等で適用されている長期健全性評価手法の見直し・高度化を図るという趣旨で見直す必要がある。また、成果の反映先として、評価ガイドを作成することとし、ガイド作成の時期を明記する必要がある。
- 3) 本プロジェクトの実施に当たり、基礎的な研究をレビューしつつ高分子材料の劣化のメカニズムを解明する、経年劣化の促進倍率に関する慎重な検討を行うなどの、上記①での指摘事項及び②の2) を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

## 2.7. 安全性向上評価に向けた加工施設及び再処理施設のリスク評価手法の高度化に関する研究（H29-H32）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

今後実施される安全性向上評価の手法等の確認に活用するため、リスク評価の実施手法の例、種々の事象について必要なデータ等を整備する。平成28年度に、再処理施設及び加工施設の内部事象（機器の故障及び人的過誤）及び地震を対象として「安全性向上評価に関するリスク評価実施手法の例」を作成する。平成29年度以降は、内部事象及び地震に続くフェーズとして内部火災等について手法を整備する。また、リスク評価における事象シーケンスの定量化に必要な解析手法及び関連データの適切性の確認や不確実性の低減のために、個々の事象のより詳細な解析やそれらに必要なデータを整備するための試験について関係機関を活用して実施する。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（核燃料サイクル技術評価検討会）

##### 1）外部専門家の評価意見

###### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 平成28年度までに得られた知見及び最新知見を踏まえており問題ない。

###### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 解析実施手法及び実験手法が適切であると判断できる。ただし、従来の解析手法で困難と思われる水素爆発（爆ごう）については十分な検討が必要である。

###### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 適切であると判断する。ただし、結果を評価する手法についてはあらかじめ検討しておく必要がある。
- 現時点では評価できない項目があった。
- 放射性物質の漏えいの成果を取りまとめるに当たっては、再処理施設で想定されるリスクを考慮しリスク評価のモデルとの関連を考察して整理することに留意する。

###### d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 計算コードにより検討する事象でのデータの十分性や確認試験を行った際の解析コード等による検討の有無を示す必要がある。
- 水素爆発（爆ごう）などの検討を行うに当たって、見落としがないようにする。

###### e. その他

- このリスク評価手法の高度化に関する研究の成果は、リスク評価を活用した研究に反映できるよう、よく連携を取って進める必要がある。

##### 2）専門技術者からの意見

- ヒューマンエラーについて検討していくことが望ましい。

② 総合評価

- 1) 実施方針の「(3) 核燃料サイクル・廃棄物①核燃料サイクル施設」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 本プロジェクトの実施に当たり、個別事象に関する成果のリスク評価の高度化への反映方法を検討する、使用する解析コードや手法の妥当性に関する十分な検討を行うなどの、上記①での指摘事項及び②の2)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

## 28. 廃棄物埋設に影響する長期自然事象の調査方法及びバリア特性長期変遷の評価方法に関する研究（H29-H32）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

廃炉等に伴う放射性廃棄物の埋設のうち、中深度処分に係る規制については、これまでの第二種廃棄物埋設等に関する研究の成果を用いて規制基準等の検討が進められている。今後、具体的な規制基準等を策定するに当たっては、隆起・侵食、断層活動等の地質学的事象を考慮する必要があることから、それらを把握する調査の方法について検討を行う必要がある。また、これらの地質環境条件の調査に用いられるボーリング等は同時に水質、水圧等の状況を擾乱するため、調査項目に応じて取得が必要な時期と、それらによる擾乱を避けて取得する方法、調査後に擾乱を拡大しないよう埋戻す方法等について検討する。

埋設された放射性物質による影響評価に関しては、これまで地下水流動評価、核種移行評価、それらに影響するバリア特性の長期的変遷評価等の解析コードについて整備してきたが、水質条件等について、より幅広い条件について対応できるものとする。また、地下水流況のモデル化について、地下水位、水圧等の観測データからキャリブレーションする方法について検討する。

国が科学的有望地を今年中に示すとして検討が進められている高レベル放射性廃棄物の地層処分については、長半減期核種を含み、天然バリアとしての地質環境条件への依存性が高いこと等が中深度処分と共通している。地層処分に関し隆起・侵食、断層活動等を把握する調査の方法について、中深度処分に関する研究成果を発展させつつ検討する。

これらの成果は、中深度処分等の第二種廃棄物埋設の規制基準に反映するとともに、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（平成27年5月22日閣議決定）において、地層処分について概要調査地区等の選定時に示すことになっている「安全確保上少なくとも考慮すべき事項」に反映する。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（バックエンド技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 国内外の既往研究及び最新知見に基づいた安全研究計画となっており問題ない。ただし、「長期間を対象とした複数の手法による隆起及び侵食速度の評価手法」、「低活動性断層に関する応力場の評価手法と活動可能性評価手法」及び「処分環境下における人工バリアの変質挙動に関するデータ整備」について目標をより明確にする必要がある。

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 実施手法及び実験方法について適切であると判断できる。
  - c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か
    - 解析結果及び実験結果の評価手法は適切であり問題ない。
  - d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか
    - 重大な見落とし（観点の欠落）がないと判断し問題ない。ただし、「立地基準及び調査方法に関する研究」及び「廃棄物埋設地の安全性評価に関する研究」について目標等をより明確にする必要がある。
- 2) 専門技術者からの意見
- 断層が中深度処分の埋設施設に影響を与える可能性がある地下での空間的な範囲を把握する研究も行ってはどうか。

## ② 総合評価

- 1) 実施方針の「(3) 核燃料サイクル・廃棄物②放射性廃棄物」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) 断層の活動可能性の評価における対象等を明確にする必要がある。
- 3) 廃棄物埋設施設の立地基準についてどの時期にどこまで整備する必要があるかを整理し、それに合わせて研究を実施する。
- 4) 本プロジェクトの実施に当たり、断層の活動可能性の評価における対象等をより明確にするなどの、上記①での指摘事項並びに②の2)及び3)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

## 29. 放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究（H29-H32）

### （1）事前評価を踏まえた研究概要

放射性廃棄物に係る事業者の申請値が技術上の基準を満足しているか否かを判断する必要があるが、廃棄物確認については新たな廃棄体に対する確認方法を整備する必要があること、クリアランスについては、規則（「製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則」）において対象物が限定されていることとクリアランスレベル評価に係る具体的判断基準を記載した審査ガイドは策定されていないこと、廃止措置の終了確認については具体的な確認方法が整備されていないことという課題がある。いずれにおいても、放射能濃度評価を適切に行うことが重要であり、放射能濃度評価の評価精度に影響する対象物の性状及び測定方法に係るパラメータ等を把握するための検討を行う必要がある。具体的には、廃棄物確認については、中深度処分及びトレンチ処分採用が想定される、ピット処分採用されている200Lドラム廃棄体とは異なる新たな廃棄体の放射性濃度評価方法の妥当性に係る判断根拠を整備する。クリアランスについては、現在の規則では規定されていない新規対象物に関し再利用等を考慮した被ばくシナリオに基づく被ばく線量と放射能濃度との関係の明確化及び測定方法の妥当性についての判断根拠を整備する。廃止措置については、終了確認の際に線量基準を満たすことを確認するための放射能濃度へ換算する具体的方法及び広大な原子力施設の敷地に分布する極微量の放射能濃度を効率的かつ精度よく確認するための評価技術について判断根拠を整備する。

### （2）事前評価結果

#### ① 技術的観点からの評価意見等（バックエンド技術評価検討会）

##### 1) 外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 国内外の既往研究及び最新知見に基づいた安全研究計画となっており問題ない。

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 実施手法及び実験方法について適切であると判断できる。ただし、廃棄物確認については放射性核種の拡散等による移行がスケールリングファクター法や放射能濃度測定精度に及ぼす影響を評価するとともに、放射化計算と組み合わせた手法も検討に含める必要がある。また、検出下限と測定時間の関係など測定器の作業合理性も含めた検討が必要である。
- 廃止措置の確認において、広い範囲で比較的均一に分布している福島第一原子力発電所事故による汚染に対して地球統計学的手法を適用することと廃止措置時のサイトへの適用性の検討との関連を詳細に説明する必要がある。

##### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か



- 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法は妥当であると判断できる。
- d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか
- 重大な見落とし（観点の欠落）がないと判断し問題ない。
- 2) 専門技術者からの意見
- 「廃止措置の終了確認」において、東京電力福島第一原子力発電所事故によるフォールアウトの影響を受けた施設でのバックグラウンド設定方法についても検討してはどうか。
- ② 総合評価
- 1) 実施方針の「(3) 核燃料サイクル・廃棄物③廃止措置・クリアランス」に整合した成果目標となっていると認められる。
  - 2) 本プロジェクトの実施に当たり、放射性核種の拡散等による移行がスケーリングファクター法や放射能濃度測定精度に及ぼす影響を評価するなどの、上記①での指摘事項を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

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

#### （1）事前評価を踏まえた研究概要

原子力災害対策指針で要求される緊急時対応レベル（EAL）については、これまでに原子炉施設の種類に応じて、EALの確認項目を取りまとめてきた。平成29年度からは、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のリスク情報を用いて、EALを構成するプラントパラメータ及びその指標値の技術的根拠等を整備する。

#### （2）事前評価結果

##### ① 技術的観点からの評価意見等（シビアアクシデント技術評価検討会）

##### 1）外部専門家の評価意見

##### a. 国内外の過去の研究及び最新知見を踏まえているか

- 関係機関と連携協力し、原子力災害対策指針におけるEALの確認に資するための研究であり、国内外研究状況と最新知見に関する事前の調査が適切になされ最新の知見を踏まえており、過去に行われた研究との重複はない。

##### b. 解析実施手法及び実験方法が適切か

- 関係機関と連携協力し、原子力災害対策指針におけるEALの確認に資するための研究であり、実施項目はいずれも最新の知見を踏まえており、解析手法の選択などの解析実施方法は適切である。

##### c. 解析結果の評価手法及び実験結果の評価手法が適切か

- 整備する被ばく低減解析手法について検証解析が計画されているが、その内容について記載がないため明記する必要がある。

##### d. 重大な見落とし（観点の欠落）がないか

- 重大な見落としはないと判断し問題ない。

##### e. その他

- 研究の背景、目的等適切であると考えられるが、我が国における規制を考えると外的事象による事故発生を前提とした研究の道筋を明確にした計画に基づいて研究を推進することが必須である。本プロジェクトが内的事象PRAのみを実施する研究であるとする、研究としての重要度はそれほど高くなく、結果の活用の際にも限定的なものに留まる点に注意する。

##### 2）専門技術者からの意見

- 防災実務に有効に反映できるよう、担当組織にも検討の過程で入ってもらうようにしてはどうか。
- プロジェクトNo. 13の事故進展解析の結果を活用してはどうか。

② 総合評価

- 1) 実施方針の「(4) 原子力災害対策・放射線規制等 ①原子力災害対策」に整合した成果目標となっていると認められる。
- 2) EALにリスク情報を取り入れることは適切であり、防災実務に活用できるようにプロジェクトを進める必要がある。
- 3) 本プロジェクトの実施に当たり、内的事象のみならず外的事象による事故発生に留意した研究とする、プロジェクトNo. 13の成果を活用するなどの、上記①での指摘事項及び②の2)を踏まえた対応を行うことが適当であると評価する。

## 平成29年度新規プロジェクトの安全研究計画

平成28年9月21日  
原子力規制庁

事前評価の結果を踏まえるとともに表現の適正化を行い、平成29年度に開始する新規プロジェクトの安全研究計画の見直しを実施した。見直した安全研究計画は添付のとおり。なお、今後の情勢の変化等を踏まえ、当該計画から必要に応じて適宜変わる可能性があるものである。

表 平成29年度安全研究を実施するプロジェクト

番号(*)	プロジェクト名	計画期間
1	地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究	H29-H31
2	津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究	H29-H32
3	地震の活動履歴評価手法に関する研究	H29-H31
6	地震・津波及びその他の外部事象等に係る施設・設備のフラジリティ評価に関する研究	H29-H32
7	火災防護に係る影響評価に関する研究	H29-H32
9	規制へのPRAの活用のための手法開発及び適用に関する研究	H29-H33
11	軽水炉の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発	H29-H34
12	軽水炉の重大事故における格納容器機能喪失及び確率論的リスク評価に係る解析手法の整備	H29-H34
13	重大事故の事故シーケンスグループに係る事故進展解析	H29-H31
23	重大事故時の原子炉格納容器の終局的耐力評価に関する研究	H29-H33
24	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-H31
27	安全性向上評価に向けた加工施設及び再処理施設のリスク評価手法の高度化に関する研究	H29-H32
28	廃棄物埋設に影響する長期自然事象の調査方法及びバリア特性長期変遷の評価方法に関する研究	H29-H32
29	放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究	H29-H32
30	緊急時対応レベル(EAL)に係るリスク情報活用等の研究	H29-H31

(\*) 実施方針の「安全研究プロジェクトの概要」に整理されたプロジェクト番号を記載した。

## (プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	1. 地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(地震・津波担当)付
2. カテゴリー・研究分野	(1) 横断的原子力安全 ①外部事象		
3. 背景	<p>「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」では、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に基づき策定する基準地震動に対し、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について、「敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなどの適切な手法を用いて評価すること」とされている。平成7年兵庫県南部地震を契機に地震観測網が整備されたことから、平成28年熊本地震を含め国内の内陸地殻内地震に関する詳細な強震動記録が得られ、それらに基づく震源特性に係る多くの研究報告がなされている。このため、最新の研究動向を踏まえつつ地震の規模やその不確かさを適切に評価するために震源特性に係わる知見を継続的に蓄積していくことが重要である。また、地震動特性に関するデータが少ないプレート間地震等についても、国内外のデータを合わせ震源断層パラメータの精緻化及び不確かさについて検討することが重要である。</p> <p>平成25年に改正された「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」の実施が規定された。安全性向上評価においては、地震に対する確率論的リスク評価(以下「地震PRA」という。)手法の活用が見込まれる。地震PRAを実施するに当たっては、地震PRA手法の構成要素である確率論的地震ハザード評価手法について、地震の規模や発生頻度とその不確かさを適切に評価し同評価手法の信頼性向上を図り、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資することが重要である。</p> <p>地震PRAに用いられる地震ハザード曲線は、一般的に距離減衰式に基づき作成されているが、震源が敷地に近い場合、地震動の影響をより精緻に評価するために断層モデルに基づく地震ハザード曲線を用いることが適切である。しかしながら、断層モデルに基づく地震ハザード曲線については具体的な適用例が少なく、震源断層パラメータ及びその不確かさの取扱い方法を明確にすることが重要である。また、地震PRAにおいては、構造物及び設備の応答を評価するためのより現実的な入力地震動の評価が重要である。</p> <p>地震ハザード評価の観点からは、地震動に加え、地震による地盤の変位(ずれ)の評価も重要である。新規基準では、耐震重要施設を変位が生ずるおそれがない地盤に設けることを要求している。また、当基準では、地盤に変位を与える要因として、「震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む」としており、特に震源が敷地に近い場合に地震活動に伴う地盤の永久変位の有無を適切に評価することが重要である。</p>		
4. 目的	<p>本プロジェクトでは、関連評価ガイドの策定及安全性に係る評価の高度化に資するため、また、将来の規制活動への反映に向けた科学的・技術的知見を蓄積するため以下の地震ハザード評価に係る研究を行う。</p> <p>(1) 断層モデルを用いた地震動評価手法の整備 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について震源断層パラメータ及び不確かさについて検討し、それぞれの地震による地震動評価手法を整備する。</p> <p>(2) 確率論的地震ハザード評価手法の整備 地震ハザード曲線作成における震源断層パラメータ及びその不確かさの取扱い方法を検討し、断層モデルによる確率論的地震ハザード評価手法を整備する。また、サイト特性に基づく現実的な入力地震動の評価手法を検討し地盤の伝播特性に係る応答係数の精緻化を図る。</p> <p>(3) 断層変位評価手法の整備 断層変位として特に副断層に着目し、数値解析に基づく決定論的な断層変位評価手法及び断層変位距離減衰式に基づく確率論的な断層変位評価手法を整備する。</p>		
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトの項目(1)断層モデルを用いた地震動評価手法の整備及び(2)確率論的地震ハザード評価手法の整備で得られた成果は、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」に関連する評価ガイドの策定及び安全性に係る評価の高度化に資する。項目(3)断層変位評価手法の整備は、検討状況の進展に応じて技術的知見をまとめて公表していく。</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。

- 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。）
- ④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。）

(1) 断層モデルを用いた地震動評価手法の整備【分類①】

a. 内陸地殻内地震による地震動の評価手法の整備

平成28年度までの国内の内陸地殻内地震の震源断層パラメータに関する検討結果から、アスペリティの面積割合やライズタイムなど既往の経験式と傾向が異なる断層パラメータもあり、地震動評価に影響することが考えられるため更なる検討が重要である。本研究では、熊本地震をはじめ近年得られた内陸地殻内地震の強震動記録を解析し、地震の特性及び不確実さに関する検討を行い、断層モデル法の精度向上を図ること及び熊本地震を踏まえた震源断層長さに係る調査の適用性を検討することを目的に、関係機関と協力して以下の作業を行う（図1参照）。

(a) 国内の内陸地殻内地震による地震動解析及び観測記録による検証を行うとともに、震源断層パラメータの不確実さの評価及び不確実さの地震動評価への影響を検討し、基準地震動を評価する上で、不確実さのより適切な反映方法について検討する。（平成29年度～31年度）

(b) 変動地形学、地質学、地球物理学及び地震学の多分野の調査データに基づく活断層の既往の検討事例を蓄積するとともに、熊本地震を含め震源断層に係る分析データを有する既往地震を対象に、地球物理学的調査を実施し、震源断層長さの把握に係る調査の適用性について検討する。（平成29年度～31年度）

b. プレート間巨大地震等による地震動の評価手法の整備

「プレート間地震及び海洋プレート内地震に関しては、国内のみならず世界で起きた大規模な地震を踏まえ、地震の発生機構及びテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で震源領域の設定を行うこと」が新規規制基準で規定されている。地震調査研究推進本部のプレート間地震の特性化震源モデルの設定手法は、東北地方太平洋沖地震以前の知見に基づいたものであり、世界で起きたプレート間巨大地震に関する研究で得られた知見を反映することが重要である。平成28年度までは、東北地方太平洋沖地震に対する震源逆解析、地震動再現解析等を実施し、強震動生成メカニズムの解明を検討したが、一般化した特性化震源モデルの設定手法には至っていない。また、地震調査研究推進本部は、海洋プレート内地震のうち、沈み込んだ海洋プレート内地震（以下「スラブ内地震」という。）の震源特性に関する近年の研究成果を基に、スラブ内地震の特性化震源モデルの設定手法を新たに追加し、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ）」」を更新した。ただし、国内で起きたスラブ内地震に関する研究事例に限られているため、海外で起きた地震を含めてより数多くの地震を調査し、地域的な特性及び沈み込むプレートの特性を明確にすることが重要である。本研究では、プレート間巨大地震を含む沈み込み帯巨大地震による地震動評価手法を整備することを目的に、関係機関と協力して以下の作業を行う。

(a) 国内外で発生した沈み込み帯巨大地震に対する地震動再現解析を行い、特性化震源モデルの設定手法及び不確実さの考慮を検討する。（平成29年度～31年度）

(b) (a)で構築した特性化震源モデルの設定手法に対する検証解析を実施する。（平成31年度）

(2) 確率論的地震ハザード評価手法の整備【分類①】

a. 断層モデルを用いた地震ハザード評価に関する不確実さの検討

震源が敷地に近い場合に地震動の影響をより精緻に評価することで、地震PRAに用いる確率論的地震ハザード評価の信頼性の向上を図るために、断層モデル法を用いた地震ハザード曲線の算定法について検討する。この中で断層モデルの不確実さの取り扱いとして専門家意見を反映した確率論的地震ハザード評価手法を整備することを目的に以下の作業を行う（図2）。

(a) 断層モデル法に基づく地震ハザード解析事例調査及び感度解析を行い、震源断層パラメータのうち確率論的ハザード解析結果への影響が大きな支配的パラメータを特定し、その不確実さがハザード解析結果に与える影響を定量的に把握する。

(b) 不確実さの要因を偶然的な不確実さ及び認識論的不確実さに分類するための基準を明確にし、認識論的不確実さに分類される要因についてはロジックツリーに基づくハザード評価法を想定し専門家意見の反映方法について検討する。

b. 現実的入力地震動の評価手法の整備

地震PRAにおいて構造物・設備の現実的な応答を評価するための手法として、応答係数による方法がある。本研究では、応答係数のうち地盤の伝播特性に係る応答係数の精緻化を図るため、地震動観測、地質調査、物理探査等に基づき、敷地内における観測地震動の空間変動、地盤物性のばらつき等を考慮した現実的な入力地震動の評価手法を検討する。得られた入力地震動を用い、伝播特性に係る応答係数の大きさ及びばらつきの評価を行う。

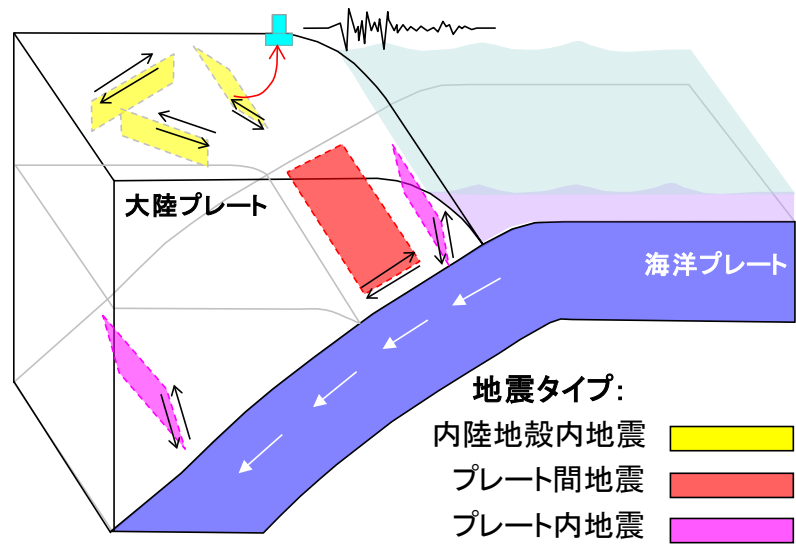
(3) 断層変位評価手法の整備【分類④】

地震活動に伴って地盤に生じる永久変位を評価するため、特に主断層トレスから外れている場所で連続性が乏しく副次的に新たに生じる断層（以下「副断層」という。）に着目し、敷地内の副断層の発生の可能性について数値解析に基づく決定論的な断層変位評価手法及び断層変位の不確実さを勘案した確率論的な断層変位評価手法の整備を目的とする（図3）。平成28年度までは、集集地震（台湾）など断層変位に関する観測記録が多い地震を中心にデータ収集を行い、断層変位評価のための基礎的な数値解析手法及び断層変位距離減衰式を得た。本研究では、熊本地震を含めた国内の内陸地殻内地震への適用性確認のため、関係機関と協力して国内の横ずれ断層及び逆断層地震を対象に以下の作業を行い、断層変位評価手法を整備する。

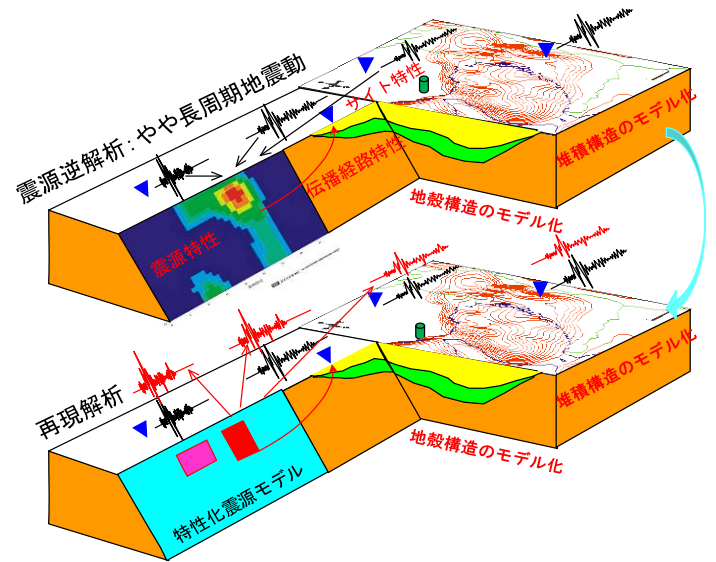
(a) 地表に断層変位が現れた地震を対象として、深部地盤から地表まで進展する断層破壊をシミュレーションする数値解析手法等を用いた検証を行い、より一般性の高い断層変位評価の数値解析手法を整備する。（平成29年度～31年度）

(b) 国内の内陸地殻内地震による断層変位データの拡充により断層変位距離減衰式の改良を図るとともに、確率論的断層変位ハザード解析を実施し、確率論的な断層変位評価手法を整備する。（平成29年度～31年度）

6. 安全研究概要  
（始期：平成29年度）  
（終期：平成31年度）



(a) 地震発生様式分類



(b) 特性化震源モデル構築の概念図

図1 断層モデルを用いた地震動評価手法の整備

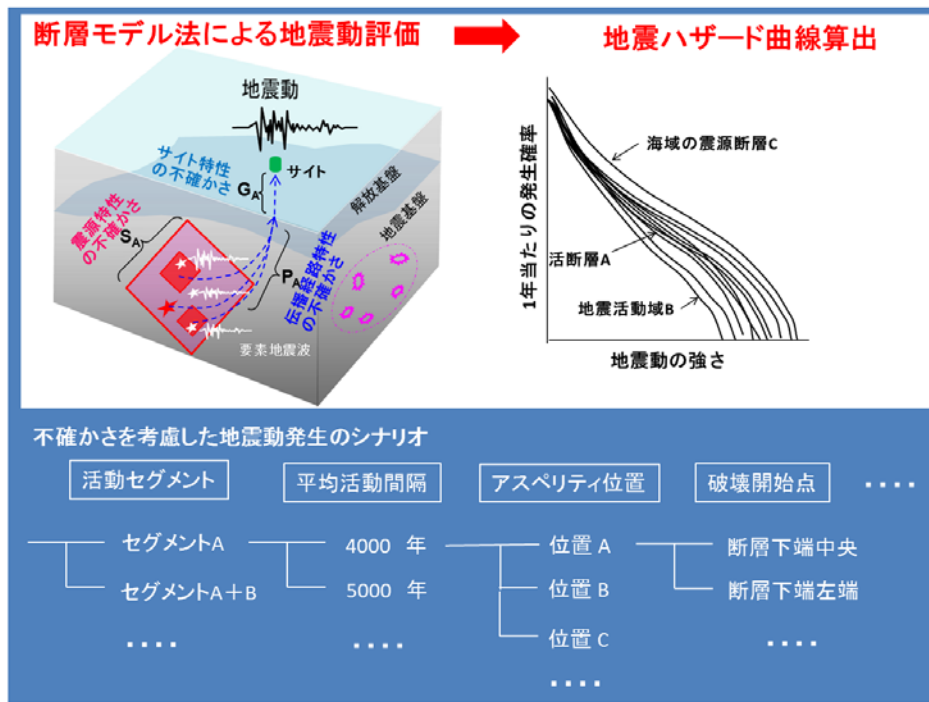


図2 確率論的地震ハザード評価手法の整備

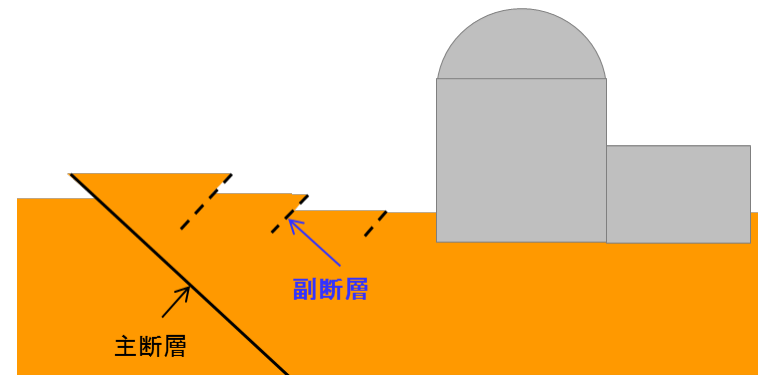


図3 断層変位評価手法の整備

工程表

項目	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度
(1) a. 内陸地殻内地震による地震動の評価手法の整備	震源逆解析・地震動再現解析	地震動再現解析・結果分析	検証解析・手法まとめ	▽論文公表 ▽NRA 技術報告作成 ↓ 関連評価ガイド
(1) b. プレート間巨大地震等による地震動の評価手法の整備	データ収集・震源逆解析	国内地震の地震動再現解析	海外地震の地震動再現解析、特性化震源モデルの設定手法の検討	▽論文公表 ↓ 関連評価ガイド
(2) a. 断層モデル法に基づく確率論的ハザード評価	断層モデル法によるハザード評価の調査	不確かさ要因調査・寄与度分析	地震ハザード評価実施における留意事項の整理	▽論文公表 ↓ 関連評価ガイド
(2) b. 現実的入力地震動の評価手法の整備	観測記録による地震動空間変動評価	地盤不均質性による地震動空間変動評価	より現実的な入力地震動評価手法の整備、まとめ	▽論文公表 ↓ 関連評価ガイド
(3) 断層変位評価手法の整備	国内（横ずれ）地震の検証解析	国内（逆断層）地震の検証解析	検証解析・手法整備・まとめ	▽論文公表

(注1) 有用な研究成果は、研究期間中においても適宜論文として公表する。

7. 実施計画	<p>【平成 29 年度の実施内容】</p> <p>(1) a. : 内陸地殻内地震を対象とし、地下構造に関する多分野情報の収集及び分析並びに地震動解析を実施し、震源断層パラメータ設定の検討事例を蓄積するとともに、特性化震源モデル設定の精緻化を検討する。</p> <p>b. : 国内外で発生した沈み込み帯巨大地震に対する地震動再現解析等を行い、特性化震源モデルの設定手法に関する検討事例を蓄積する。</p> <p>(2) a. : 断層モデル法を用いた地震ハザード解析の文献調査を行い、課題を整理する。また、断層パラメータのばらつきのモデル化を試み、感度解析により不確かさ要因のハザード結果への影響について整理する。</p> <p>b. : 実観測記録(「第四紀地盤サイト(つくば)における地表 10 点の水平アレー地震動観測」等)に基づき地震動の空間変動(相関係数及びばらつき)を評価し、地盤の不均質・不整形性が地震時の地盤応答(入力地震動の不確か性)に与える影響を検討する。</p> <p>(3) : 平成 28 年度までに検討した手法を用いて、地表に断層変位が現れた国内の内陸地殻内地震(横ずれ断層)を対象に、検証解析を実施する。</p>
	<p>【平成 30 年度の実施内容】</p> <p>(1) a. : 内陸地殻内地震を対象とし、震源断層設定のための地下構造調査及び分析並びに地震動解析を実施し、震源断層パラメータ設定の検討事例を蓄積するとともに、特性化震源モデル設定の精緻化を検討する。</p> <p>b. : 国内外で発生した沈み込み帯巨大地震に対する地震動再現解析等を行い、特性化震源モデルの設定手法に関する検討事例を蓄積する。</p> <p>(2) a. : 断層パラメータのばらつきにより生じる地震動のばらつき及び観測地震動又は経験式で得られたばらつきの比較を行い、断層パラメータのばらつきが地震ハザード評価へ及ぼす影響を評価するとともに、ばらつきを生じる不確かさの要因分析を行う。</p> <p>b. : 原位置調査により得られる地盤不均質性から地震動の空間変動を評価する手法を検討し、地盤不均質性が地震時の地盤応答(入力地震動の不確か性)に与える影響を把握する。</p> <p>(3) : 平成 28 年度までに検討した手法を用いて、地表に断層変位が現れた国内の内陸地殻内地震(逆断層)を対象に、検証解析を実施する。</p>
	<p>【平成 31 年度の実施内容】</p> <p>(1) a. : 内陸地殻内地震を対象とし、検証解析等の実施により、特性化震源モデル設定の精緻化による地震動評価への影響を検討する。</p> <p>b. : 国内外で発生した沈み込み帯巨大地震に対する地震動再現解析等を行い、特性化震源モデルの設定手法を検討する。</p> <p>(2) a. : ばらつきを生じる不確かさの各要因について、地震ハザード評価に及ぼす影響の定量的な把握を行い、地震ハザード評価において考慮すべきばらつきの範囲を把握するとともに、断層パラメータのばらつきを考慮した地震ハザード評価実施における留意点について整理する。</p> <p>b. : 地震 PRA に用いるサイト特性に基づくより現実的な入力地震動評価手法を整備する。</p> <p>(3) : 平成 29 年度及び平成 30 年度において課題となった事項について検証解析を行い、手法の分析及び適用性のまとめを実施し、断層変位評価手法を整備する。</p>
8. 備考	



## (プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	2. 津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(地震・津波担当)付
2. カテゴリー・研究分野	(1) 横断的原子力安全 ①外部事象		
3. 背景	<p>平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波(以下「東北地震津波」という。)は、福島第一原子力発電所に襲来し、重大な事故を引き起こした。この津波は、同発電所の設計津波水位を上回り、設計津波水位を超える津波の発生に備えることの重要性を示した。更には、原子力発電所の津波リスクに対する認識の重要性を改めて示した。この事故を踏まえた政府報告書<sup>*1</sup>でも、「設計用津波を上回る津波に対して施設の重要な安全機能を維持できるよう対策を講じることや、確率論的安全評価手法を活用したリスク管理を実施すること」等が教訓として示された。</p> <p>東北地震津波後、平成 25 年に福島第一原子力発電所の事故を教訓に新規基準及び審査ガイドを施行し、これに基づき既設原子力発電所の適合性審査が行われてきた。特に本プロジェクトに関連する規定としては、新たに「基準津波の策定」が明記され、また、これを補足するガイドとして「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」が策定された。一方、これまでの津波ハザードに係る安全研究としては、平成 23 年に東北地震津波の発生メカニズムを推定、平成 24 年にプレート間地震による津波水位予測のための津波波源モデルの設定方法を構築、そして、平成 25 年には、確率論的津波ハザード評価手法にこの津波波源モデルを適用し、影響を評価した。このほかにも、平成 28 年までに津波痕跡高及び津波堆積物に関するデータベースや津波堆積物に基づく津波波源推定手法を整備してきた。これらの成果の一部は、上記の審査ガイドに反映され、既設発電所の適合性審査においても有用な知見の一つとして活用されてきた。</p> <p>平成 25 年に改正された「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、今後、適合性審査を終えた既設発電所から順次、安全性向上評価の定期的な実施が見込まれる。</p> <p>この安全性向上評価では、津波に対する確率論的リスク評価(以下「津波 PRA」という。)手法の活用が見込まれる。特に津波 PRA 手法の構成要素である確率論的津波ハザード評価手法については、種々の津波発生要因とその不確実さを適切に評価し同評価手法の信頼性向上を図り、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資することが重要である。</p> <p>これまでに上述のとおり、プレート間地震に伴う津波を対象に津波波源モデルの改良等を実施してきたが、そのほかの地震発生様式の違いや地震規模設定に係る不確実さの取扱い、地震以外の発生要因の特性も踏まえて、確率論的津波ハザード評価手法に反映していくことが必要である。</p> <p><sup>*1</sup> 「原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書-東京電力福島原子力発電所の事故について」(平成 23 年 6 月原子力対策本部)</p>		
4. 目的	<p>本プロジェクトでは、関連評価ガイドの策定及び安全性に係る評価の高度化に資するため、確率論的津波ハザード評価手法の信頼性向上を図る。</p> <p>(1) 地震起因の津波の確率論的ハザード評価手法の信頼性向上</p> <p>a. 津波発生モデルの不確実さ評価手法の整備 津波波源の特性化及び地震活動のモデル化等に係る不確実さ解析の検討を行い、津波の規模や発生頻度等に係る不確実さをより適切に評価するための手法を整備する。</p> <p>b. 津波地震による津波の特性化波源モデルの構築 津波地震の観測事例及び水理実験を踏まえた津波地震の発生メカニズムの解明とその特徴を考慮した津波波源モデルの設定方法を構築する。</p> <p>c. 中小規模及び大規模津波の特性化波源モデルの適用性検証 平成 28 年度までに整備してきた津波痕跡データベースを活用し、中小規模及び大規模のプレート間地震による津波波源モデルの設定方法の適用性を検証する。</p> <p>(2) 地震以外の発生要因の津波の確率論的ハザード評価手法の整備</p> <p>a. 海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法の整備 実験等により、海底での斜面安定性に関する既往モデルの適用性及び不確実さを把握し、海底地すべり起因の津波を考慮した確率論的津波ハザード評価手法を整備する。</p>		
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトの実施項目で得られた成果等は、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」に関連する評価ガイドの策定及び安全性に係る評価の高度化に資する。</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。

- 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。）

(1) 地震起因の津波の確率論的ハザード評価手法の信頼性向上

a. 津波発生モデルの不確かさ評価手法の整備【分類①】

確率論的津波ハザード評価手法では、津波波源の位置、規模、地震発生頻度等の津波発生に関するモデル化並びに津波伝播及び遡上に関するモデル化を行い、それに伴う各種モデル化による不確かさを考慮する（図1）。平成23年東北地震津波の発生以降、主に津波波源のモデル化のうち、発生位置及び断層すべり分布の不均一さ並びに断層破壊伝播特性について検討を進めてきた。しかし、地震規模及び地震発生頻度に係るモデル化上の不確かさは、確率論的津波ハザード評価結果に大きく影響することが予想され、より詳細に検討を行い、影響を評価しておくことが重要である。本研究では、津波発生に係る地震規模及び地震発生頻度の不確かさの影響を適切に評価するため、これらのモデル化上の不確かさを定量評価し、確率論的津波ハザード評価手法への反映方法を構築する。

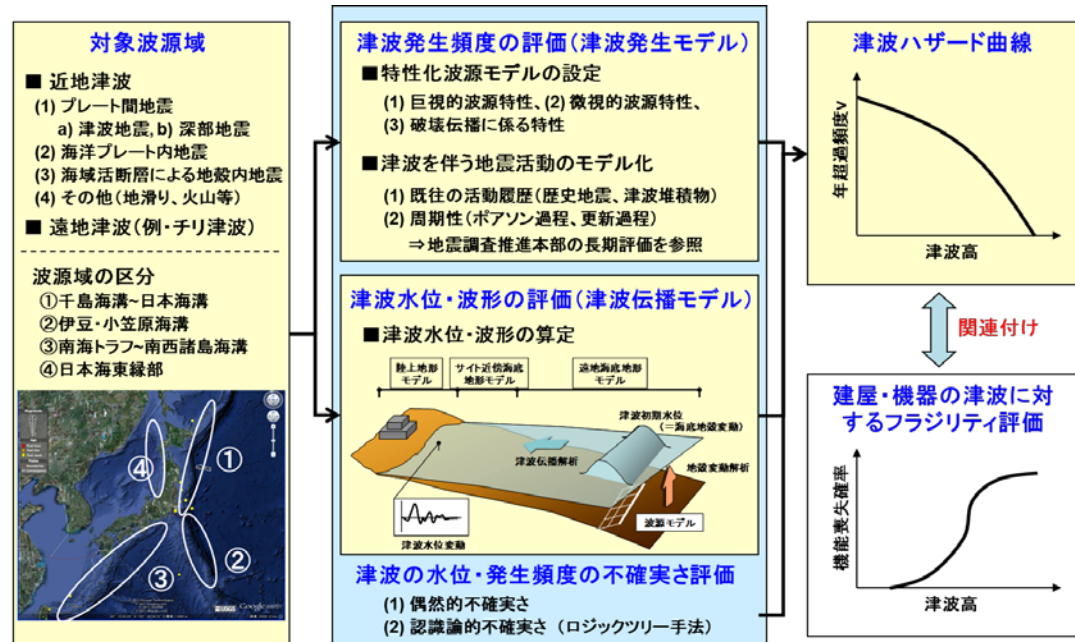


図1 確率論的津波ハザード評価手法の概要（杉野他、2015）

6. 安全研究概要  
（始期：平成29年度）  
（終期：平成32年度）

b. 津波地震による津波の特性化波源モデルの構築【分類①】

津波地震の波源のモデル化手法は、深部のプレート間地震と同様に、従来の弾性体理論に基づく地殻変動解析による海底面変位量の鉛直成分を海水面に与えて評価される。しかし、Tanioka & Satake (1996) は、地殻変動の水平成分も津波の発生に寄与することを海外の既往津波（1994 Indonesia, earthquake, 1994 Philippines, earthquake）の再現により確認している。プレート間の海溝軸付近で発生する津波地震でも地殻変動の水平成分の影響が考えられる。津波地震単独又は深部プレート間地震との連動発生は、今後も、南海トラフ、日本海溝及び千島海溝でも可能性がある。本研究では、海溝軸付近における地殻変動の水平成分の効果を把握し評価方法を構築するために国内外の関係機関と協力して以下の作業を行う（図2）。

(a) 海底面の地殻変動の水平成分と海水面の水位変動との関係を明らかにするために、海底面の水平方向の地形変化を模擬した水理実験を行い、海水面の水位変動に関するデータを取得する。

(b) 津波地震における地殻変動の水平成分を考慮した津波想定を可能にするために、上記の水理実験の結果を踏まえた特性化波源モデルの設定方法を構築し、既往津波による検証を行う。

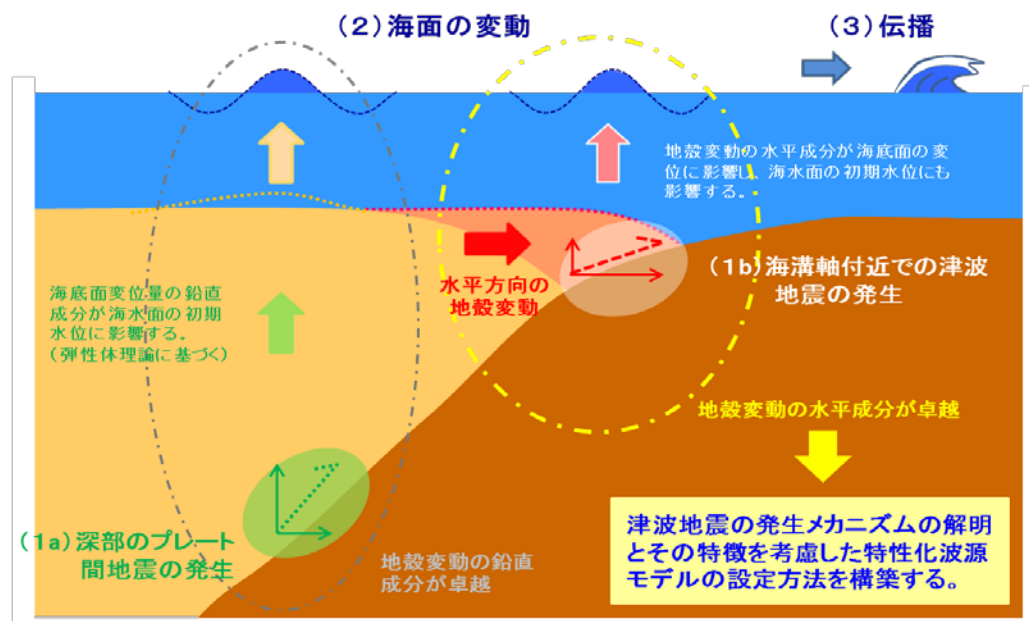


図2 津波地震による地殻変動のイメージ

c. 中小規模及び大規模津波の特性化波源モデルの適用性検証【分類①】

東北地震津波の知見を基に構築したプレート間地震による津波の特性化波源モデル（図3）は、Mw8.9以上については東北地震津波の痕跡記録に対して適用性の検証が行われた。しかし、中小規模（～Mw8.2）及び大規模（Mw8.3～8.8）の特性化波源モデルについては、適用性の検証が課題として残されている。中小規模及び大規模の特性化波源モデルの検証を行うことで、その適用性が明確となり、また、巨大規模の検証結果と合わせ確率論的津波ハザード解析におけるばらつき $\beta$ を評価す

るに当たって重要な情報として活用できる（図 4）。本研究では、中小規模及び大規模の特性化波源モデルの適用性を検証することを目的に以下の作業を行う。

- (a) これまでに整備してきた津波痕跡データベースを活用し、プレート間地震による既往津波の再現解析を行い、再現性の程度を評価する。
- (b) 地震発生様式がプレート間地震とは異なる内陸地殻内地震についても既往津波の再現解析を行い、再現性の程度を評価する。

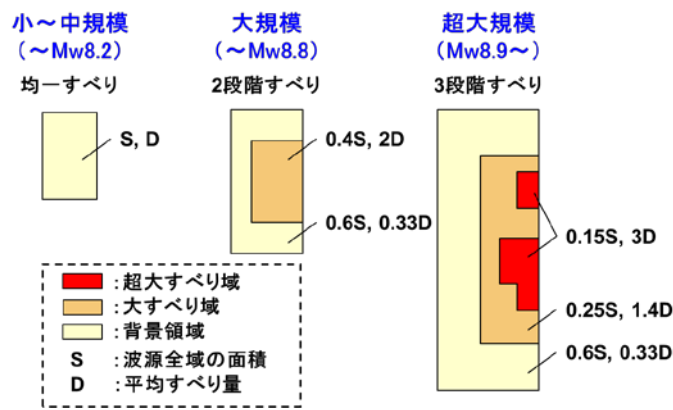


図 3 特性化波源モデルの不均一すべり分布の概念図 (杉野他 2014)

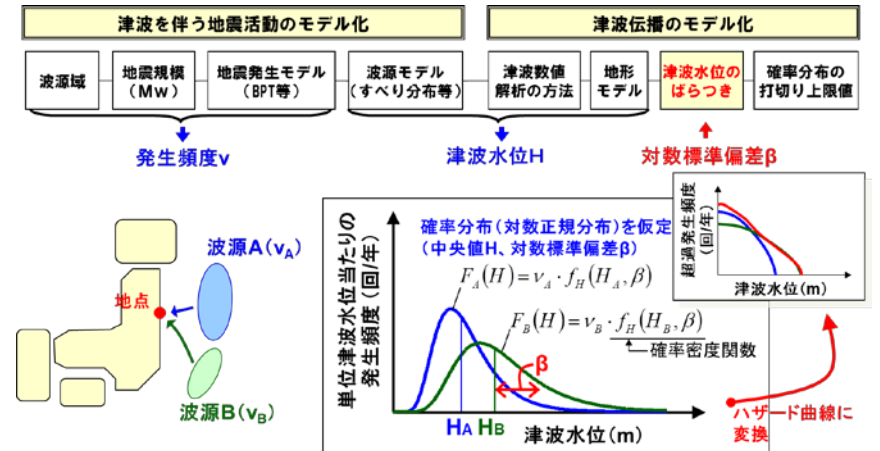


図 4 確率論的津波ハザード評価における津波水位のばらつき  $\beta$  の取扱方法の概念図 (原子力安全基盤機構 2014)

(2) 地震以外の発生要因の津波の確率論的ハザード評価手法の整備

a. 海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法の整備【分類①】

地震による断層運動のほかに津波の発生要因として、海底及び海岸付近の地すべりが挙げられる。これまでの海底地すべり起因津波に関する安全研究では、既往研究を基にして地すべり起因の津波解析コードを作成し、地すべりの継続時間や崩壊土量によって沿岸部に到達する津波の波形や津波高への影響を定量的に示した。また、海底における将来の地すべり発生の可能性に着目し、海底地すべり発生危険度判定方法（暫定版）を整備し、モデル海域における海底地すべりマップを作成している。本研究では、これまでの研究成果を踏まえつつ、海底地すべり発生危険度判定方法の精緻化と確率論的津波ハザード解析手法の整備のため国内外の関係機関と協力して以下の作業を行う（図 5）。

- (a) 複数の斜面勾配を模擬した海底地すべりの遠心力模型実験を行い、海底地すべりの安定性評価モデルを検証する（図 6）。
- (b) 海底地すべり起因の津波解析コード及び海底地すべり発生危険度判定方法を組み合わせた、確率論的津波ハザード解析手法を整備する。

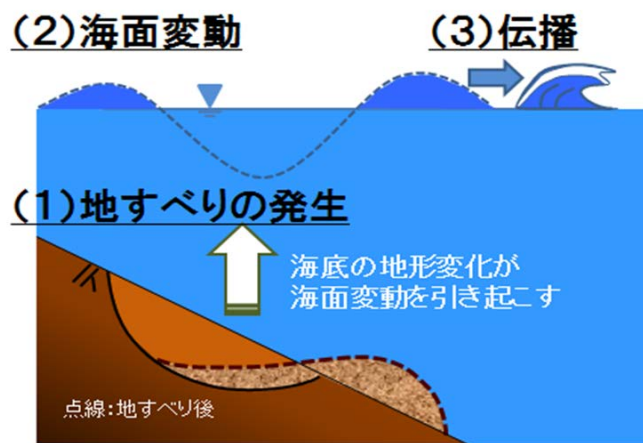


図 5 海底地すべりによる津波発生のイメージ

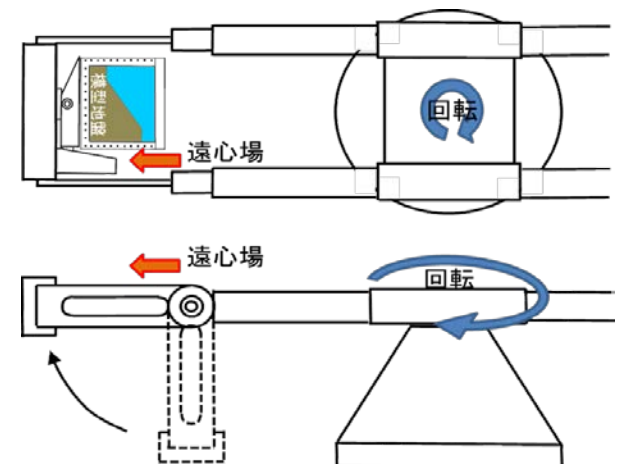


図 6 遠心力模型実験のイメージ

工程表

	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度
(1) a. 津波発生モデルの不確かさ評価手法の整備	既往研究の調査分析	不確かさ要因の確率モデル構築とハザード解析への適用	評価手法のまとめ・公表 論文投稿 ▽	関連評価ガイド ..... ↓
(1) b. 津波地震による津波の特性化波源モデルの構築	既往研究の調査分析	水理模型実験と検証解析	実地形への適用解析 論文投稿 ▽	評価手法のまとめ・公表 ..... ↓
(1) c. 中小規模及び大規模津波の特性化波源モデルの適用性検証	既往津波の再現解析 (大規模津波)	既往津波の再現解析 (中小規模津波)	ハザード解析への適用とまとめ・公表 論文投稿 ▽	..... ↓ 関連評価ガイド
(2) a. 海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法の整備	地すべり模型実験 (急勾配斜面)	地すべり模型実験 (緩勾配斜面)	地すべり模型実験の検証解析とハザード試解析 論文投稿 ▽	..... ↓ 関連評価ガイド

(注 1) 有用な研究成果は、研究期間中においても適宜論文として公表する。



	<p>【平成 29 年度の実施内容】</p> <p>(1) a. 津波発生モデルの不確かさ評価手法の整備【分類①】 平成 30 年度以降の各種不確かさ要因の確率モデルの構築のために、津波発生に係る地震規模及び地震発生頻度に係るモデル化に関する既往研究を調査する。</p> <p>(1) b. 津波地震による津波の特性化波源モデルの構築【分類①】 過去にプレート間の海溝軸付近で発生した津波地震を対象に、波源域、地殻変動の鉛直及び水平成分挙動、津波高さ等に関する既往研究を調査し、津波地震の発生メカニズムに関する知見を整備する。また、既往研究を踏まえて、地殻変動の水平成分を考慮した津波初期水位解析コードを整備する。さらに、平成 30 年度以降に地殻変動の水平成分挙動が海水面に与える影響について水理模型を用いて確認するため、水理模型を製作する。</p> <p>(1) c. 中小規模及び大規模津波の特性化波源モデルの適用性検証【分類①】 大規模津波 (Mw8.3~8.8) を対象に、特性化波源モデルを用いた津波伝播モデルによる津波高のばらつき <math>\beta</math> の検討を行い、同波源モデルの適用性を検証する。</p> <p>(2) a. 海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法の整備【分類①】 海底環境下における急勾配の斜面崩壊挙動及び斜面安定性に関する遠心力模型実験を行い、既往の斜面安定性モデルの適用性を検証するための斜面強度に関するデータを取得する。</p>
7. 実施計画	<p>【平成 30 年度の実施内容】</p> <p>(1) a. 津波発生モデルの不確かさ評価手法の整備【分類①】 津波発生に係る地震規模及び地震発生頻度のモデル化上の不確かさを定量的に評価し、確率論的津波ハザード評価手法に適用し、これらの影響を評価する。</p> <p>(1) b. 津波地震による津波の特性化波源モデルの構築【分類①】 平成 29 年度に製作した水理模型を用いて実験を行い、地殻変動の水平成分を与えたときの海水面の状況を調査する。実験結果に基づいて津波初期水位解析コードの検証を行う。</p> <p>(1) c. 中小規模及び大規模津波の特性化波源モデルの適用性検証【分類①】 中小規模 (~Mw8.2) を対象に、特性化波源モデルを用いた津波伝播モデルによる津波高のばらつき <math>\beta</math> の検討を行い、同波源モデルの適用性を検証する。</p> <p>(2) a. 海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法の整備【分類①】 海底環境下における緩勾配の斜面崩壊挙動及び斜面安定性に関する遠心力模型実験を行い、既往の斜面安定性モデルの適用性を検証するための斜面強度に関するデータを取得する。</p>
	<p>【平成 31 年度の実施内容】</p> <p>(1) a. 津波発生モデルの不確かさ評価手法の整備【分類①】 平成 30 年度までに実施した、既往研究の調査及び各種不確かさ要因の定量化評価、さらには確率論的津波ハザード評価手法における影響評価の結果を取りまとめる。</p> <p>(1) b. 津波地震による津波の特性化波源モデルの構築【分類①】 平成 30 年度に整備した津波初期水位解析コードを実地形に適用し、海溝軸付近の海底地形の地域性が沿岸部の津波水位に及ぼす影響を評価する。</p> <p>(1) c. 中小規模及び大規模津波の特性化波源モデルの適用性検証【分類①】 平成 30 年度までに津波規模ごとに検証した特性化波源モデルのばらつき <math>\beta</math> を津波ハザード解析に適用する。</p> <p>(2) a. 海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法の整備【分類①】 平成 30 年度までに遠心力模型実験にて取得したデータを用いて既往の斜面安定性モデルの適用性の検証を行う。加えて、既往の斜面安定性モデルの適用性を踏まえ海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価を実施する。</p>
	<p>【平成 32 年度の実施内容】</p> <p>(1) b. 津波地震による津波の特性化波源モデルの構築【分類①】 津波地震における地殻変動の水平成分を考慮した津波想定を可能にするために、平成 31 年度までに実施してきた観測事例、水理実験、検証解析及び実地形への適用解析の結果を踏まえた特性化波源モデルの設定方法を構築する。</p> <p>(2) a. 海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法の整備【分類①】 平成 31 年度までの成果を踏まえ、海底地すべり起因津波の確率論的津波ハザード評価手法として取りまとめる。</p>
8. 備考	

## (プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	3. 地震の活動履歴評価手法に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(地震・津波担当)付
2. カテゴリー・研究分野	(1) 横断的原子力安全 ①外部事象		
3. 背景	<p>「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」(以下「審査ガイド」という。)では「将来活動する可能性のある断層等」が定義されている。また、「その認定に当たって、後期更新世(約12~13万年前)の地形面又は地層が欠如する等、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」とされており、断層の活動性評価に係る知見を継続的に蓄積していくことが重要である。</p> <p>さらに、リスク評価における確率論的地震ハザード評価及び確率論的津波ハザード評価では、地震履歴(活動時期、活動間隔等)の情報が評価結果に大きく影響するため、これらの情報に係る技術的根拠を明確にすることが重要である。</p> <p>内陸地殻内地震のうち、地表に明瞭な痕跡を残す活断層について、陸域では基本的にトレンチ調査により活動性が評価されているが、海域ではトレンチ調査が実施できない。そのため、統計的に推定された活動間隔が用いられることが多く、評価結果に与える不確かさの幅が大きくなることが課題である。また、地表に明瞭な痕跡を残さない活断層については、広域的に変形した地形面及び地層の形成年代を、火山灰を用いて推定し、それを基に活動性を評価する方法があるが、火山灰の年代誤差が活動性評価の結果に大きく影響することが課題である。この課題は地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の認定にも直結している。断層の活動性に関し、「審査ガイド」では、「起震断層及び活動区間や震源領域の活動性は、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査の結果に基づく平均変位速度、変位量及び活動間隔等により推定されていることを確認する。」とされている。中期更新世以降の断層の活動性に関し、「審査ガイド」では、「中期更新世以降の断層等の評価には、この時代の地形面や地層の変位・変形に注目することが一般的である。中でも酸素同位体ステージ7、9、11の温暖期(高海水準期)に対応づけられる段丘面や地層の利用が有効である。」とされている。さらに、「審査ガイド」では、断層等の評価方法として「火山灰を利用する方法」や、「微化石分析(花粉、珪藻、有孔虫、貝形虫等)や化学分析から古環境変遷を明らかにし、上記の温暖期(高海水準期)と対応づける方法」が挙げられており、これらの方法を具体化し、断層の活動性評価手法として整備していくことが重要である。</p> <p>一方、プレート間地震の履歴については、これまで主として歴史地震の情報が利用されてきた。しかしながら、平成23年東北地方太平洋沖地震から得られた教訓を踏まえると、活動間隔が長い地震も対象にした先史時代における地震履歴の情報を整理し、その扱い方を検討することが重要である。「審査ガイド」では、津波の発生履歴に関し、「津波堆積物の調査においては、地形の形成過程や周辺の堆積物の分布条件に応じて適切な手法を組み合わせで行われていることを確認する。また、深海底の崩壊堆積物(地震性タービダイト)についても資料等の調査が行われていることを確認する」とされている。平成28年までに津波堆積物データベースを構築したが、先史時代におけるプレート間地震の履歴評価として、津波堆積物データベースと深海底の堆積物の情報を統合的に活用することが有効であると考えられる。</p>		
4. 目的	<p>本プロジェクトでは、関連評価ガイドの策定に資するため断層の活動性評価に係る知見を蓄積する。</p> <p>(1) 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</p> <p>a. 地表に明瞭な痕跡を残す活断層の活動性評価手法の検討 海域において地表に明瞭な痕跡を残す活断層の活動性評価に有用な古環境学的イベントに係る地質情報を整理し、地震履歴の情報としての適用性を検討する。</p> <p>b. 地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の活動性評価手法の検討 地域的火山灰を用い、地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の活動性評価手法を整備する。</p> <p>(2) プレート間地震の履歴に関する評価手法の整備 深海底の地震性タービダイト等の地質情報を整理し、プレート間地震の履歴の情報としての適用性を検討する。</p>		
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトの項目(1)b. 地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の活動性評価手法の検討は、「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に関連する評価ガイドの策定に資する。本プロジェクトの項目(1)a. 地表に明瞭な痕跡を残す活断層の活動性評価手法の検討及び項目(2)プレート間地震の履歴評価手法の整備は、検討状況の進展に応じ技術的知見を論文として公表していく。</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。

- 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。）
- ④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。）

(1) 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

a. 地表に明瞭な痕跡を残す活断層の活動性評価手法の検討【分類④】

海域における内陸地殻内地震で、海底表面に明瞭な痕跡を残す活断層であっても、断層変位指標（特徴的な地層、地形及び火山灰）が少ない場合又は年代測定試料が少ない場合には、その活動性の評価が困難となる。このような場合には、群列ボーリング調査等を通じ、微化石分析による古気候学的調査等が有効と考えられる（図1）。そこで、海域における内陸地殻内地震の履歴を評価するため、断層変位指標となる古環境学的イベント（古環境変動に鋭敏に反応する生物群集変化、堆積物の物理・化学的变化、沿岸隆起に起因する離水生物群集等）に関連する情報を整理する。そして、海域における内陸地殻内地震の履歴評価に有効な情報を抽出し、地震履歴の情報としての適用性を検討する。

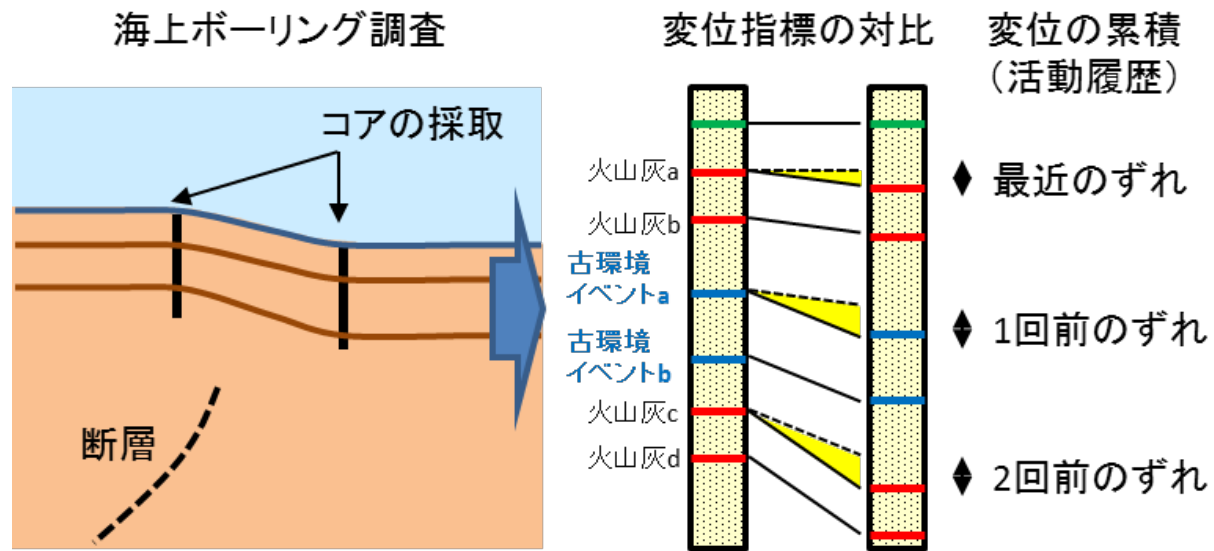


図1 海域における内陸地殻内地震の履歴評価に古環境学的イベントを適用するイメージ

6. 安全研究概要

(始期：平成29年度)

(終期：平成31年度)

b. 地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の活動性評価手法の検討【分類①】

地表に明瞭な痕跡を残さない活断層では、トレンチ調査等により断層変位を直接確認することができないため、広域的に変形した地形面及び地層の年代、並びに累積変位量を利用して活動性を把握することが重要である。しかし、後期更新世の地形面及び地層は広域の変形の累積が乏しいため、地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の活動期間及び変位速度の推定が困難なことが多い（図2）。一方、中期更新世の地形面及び地層は広域の変形の累積が明瞭で、有効な断層変位指標になることが期待されるが、年代評価に用いられる中期更新世以降の地域的火山灰の年代誤差によって、活動性評価の信頼性が大きく損なわれる。そこで、深海底コア（堆積物）中に挟まれる年代決定精度の高い広域火山灰を指標にして、コア深度を年代に変換する「年代モデル」の信頼性を向上させる（図3）。次に海域の「年代モデル」による精度の高い年代を、陸域の地域的火山灰に付帯させ、断層変位指標（地形面・地層）を編年するために、海域・陸域の地域的火山灰を対比する手順を整備する。

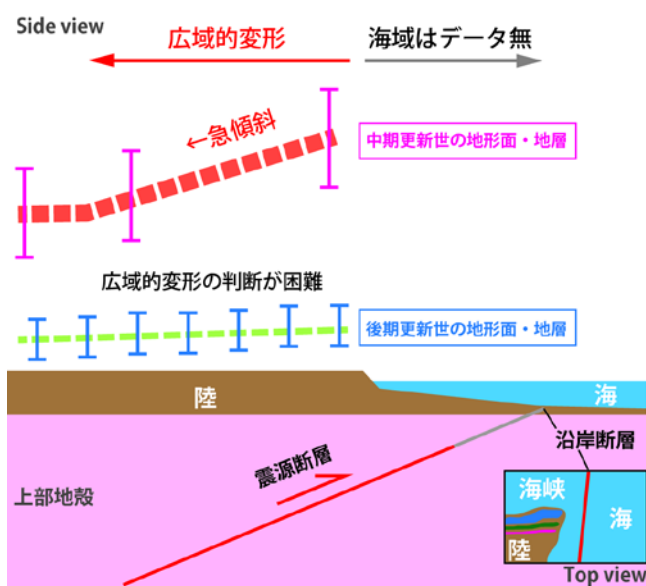


図2 断層変位指標である地形面の広域的変形の例

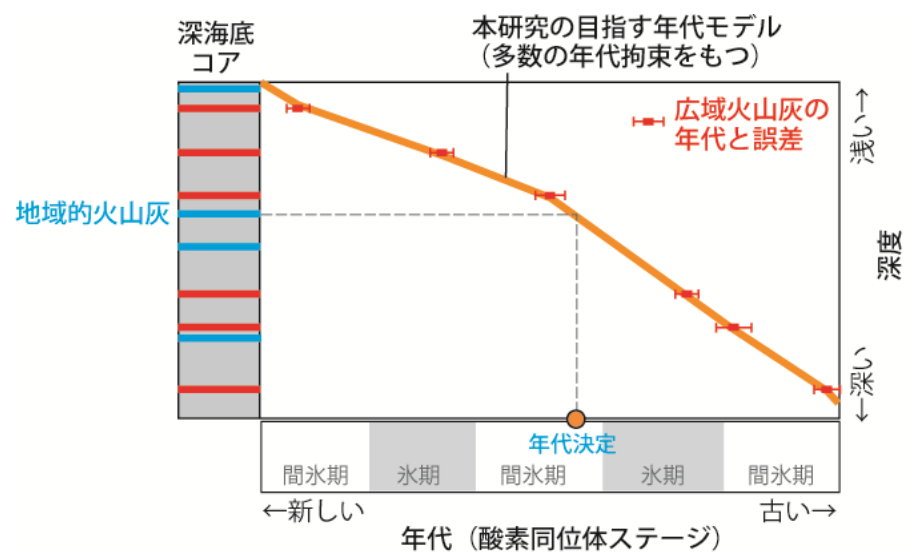


図3 深海底コア（堆積物）中の火山灰の定量的な年代決定の例

(2) プレート間地震の履歴に関する評価手法の整備【分類④】

プレート間地震のうち活動間隔が長い地震の履歴評価については、深海底コア（堆積物）中のイベント堆積物の情報を利用する方法があるが、利用に当たっては、イベント堆積物をもたらした可能性のある要因が整理されていることが重要である。そこで、先史時代のプレート間地震の履歴を評価するため、海域における古地震学的調査に基づいた地震性タービダイト等の地震イベント情報の候補を検出し、地震履歴の情報としての適用性を検討する（図4）。



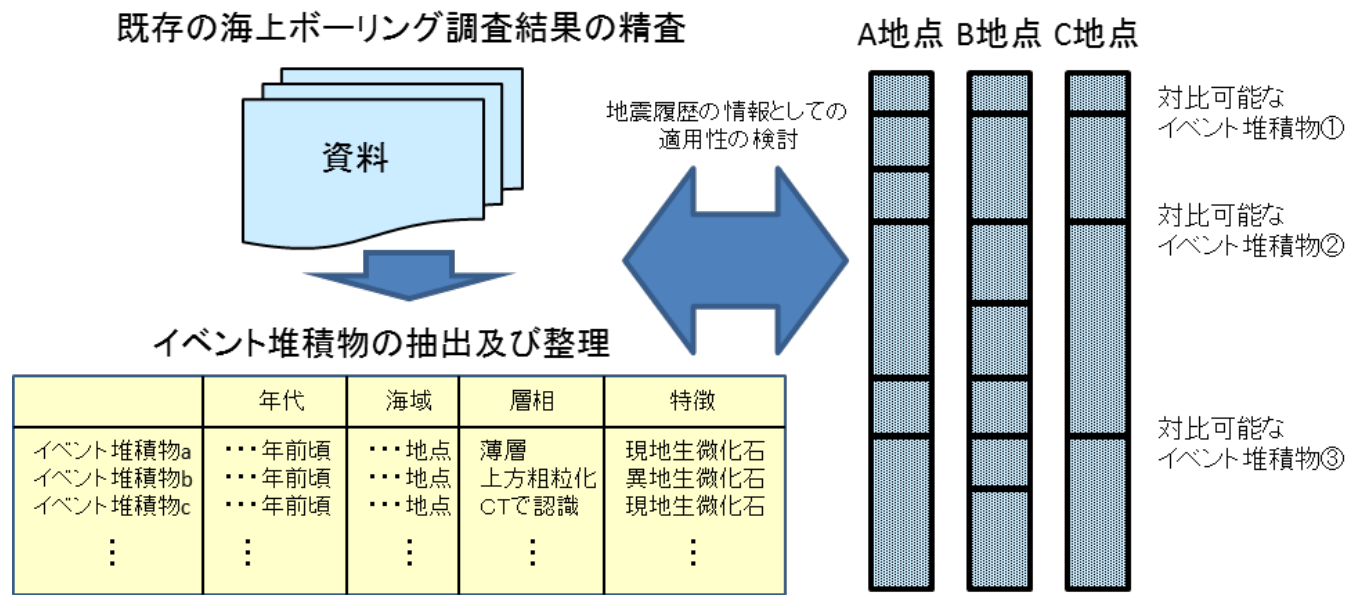


図4 海域におけるプレート間地震の活動履歴として有効な情報の抽出手順の例

**工 程 表**

実施項目番号	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	
(1) a. 地表に明瞭な痕跡を残す活断層の活動性評価手法の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用可能な資料及び試料の調査</li> <li>断層変位指標（特徴的な地層、地形及び火山灰）の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>古環境学的イベントの候補の抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震履歴の情報としての適用性検討</li> </ul>	▽論文公表	
	(1) b. 地表に明瞭な痕跡を残さない活断層の活動性評価手法の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>陸域の風化した地域的火山灰の層序構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風化に抵抗性のある火山灰粒子（鉱物）の化学特性確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風化に抵抗性のある鉱物の化学組成を指標にした火山灰対比の精度把握</li> </ul>	▽論文公表
					NRA 技術報告 評価ガイド案の検討
(2) プレート間地震の履歴評価手法の整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用可能な資料及び試料の調査</li> <li>対象海域の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震イベントの候補の抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震履歴の情報としての適用性検討</li> </ul>	▽論文公表	

【今後の展開、発展性】

- 海域における地震履歴の概査
- 海域における地震履歴の詳細調査
- 海域における内陸地殻内地震の履歴評価手順・手法の取りまとめ

【今後の展開、発展性】

- 複数の火山灰粒子（対比指標）を用いた陸域・海域の地域的火山灰対比の試み
- 深海底コア中及び陸域（段丘面や地層）間における地域的火山灰の対比手順・手法の取りまとめ

【今後の展開、発展性】

- イベント堆積物の地域間対比
- プレート間地震の履歴評価手順・手法の取りまとめ

(注1) 有用な研究成果は、研究期間中においても適宜論文として公表する。

7. 実施計画

【平成 29 年度の実施内容】

- (1) a. : 利用可能な資料及び大陸棚上で得られた海洋コア試料の調査を行う。その中で、最新知見を踏まえ、特徴的な地層、火山灰、微化石（放散虫、有孔虫等）の産出量の変動パターン、物理化学的特徴等（古地磁気等）に関する情報を整理し、断層変位指標となり得る項目を検討する。
- (1) b. : コア中の地域的火山灰に含まれる火山ガラスの化学特性を把握し、その化学特性を既存の調査結果と参照することで、火山灰の給源火山と噴出時代を推定する。また、推定された火山の近傍及び風下地域で、地域的火山灰の層序を構築する。
- (2) : 利用可能な資料及びイベント堆積物が挟まれている深海底コア試料の調査を行う。その中で、最新知見を踏まえ、イベント堆積物の堆積構造の特徴及び物理化学的特徴等を整理する。また、実際に本手法の適用が可能な海域を検討する。

【平成 30 年度の実施内容】

- (1) a. : 平成 29 年度に取得した断層変位指標となり得る項目の情報から、古環境学的イベントとの関連性を調査し、広域的に利用可能な古環境学的イベントの候補を抽出する。また、最新知見を踏まえた追加分析の必要性を検討する。
- (1) b. : 平成 29 年度に取得した火山灰試料において、陸域の長期的な風化に対する火山灰粒子の抵抗性を把握する。特に火山灰粒子の種類別残存度、化学組成範囲の均質性又は不均質性に基づく風化程度、並びに粒子中の累帯構造の存否及び化学組成変化の有無を確認する。
- (2) : 平成 29 年度に取得したイベント堆積物に関する情報と、最新知見を踏まえた既往の地震性タービダイトの特徴とを比較し、地震イベントの候補を抽出する。その際、相互に対比可能なイベント堆積物であることが重要となるため、イベント堆積物を認定するための年代測定、化学分析、微化石群集解析等を行う。

【平成 31 年度の実施内容】

- (1) a. : 平成 30 年度までの検討状況を踏まえ、断層変位指標として有用な古環境学的イベントの認定手順及び地震履歴の情報としての適用性を検討する。
- (1) b. : 平成 30 の結果に基づき、風化に抵抗性のある鉱物の化学組成を指標にした海域・陸域の火山灰対比の可能性及び精度を把握する。

(2) : 平成 30 年度までの検討状況を踏まえ、地震性タービダイトを用いた地震イベントの認定手順及び地震履歴の情報としての適用性を検討する。

8. 備考



## (プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	6. 地震・津波及びその他の外部事象等に係る施設・設備のフラジリティ評価に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(地震・津波担当) 付
2. カテゴリー・研究分野	(1) 横断的原子力安全 ①外部事象		
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、「地震による損傷の防止」(第四条)のみならず「津波による損傷の防止」(第五条)が強化されるとともに、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。また、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」(昭和五十三年十二月二十八日総理府令第五十七号)において、特別の試験条件として「核燃料輸送物が最大の破損を受けるよう」落下試験を実施した場合の要件が規定されている。</p> <p>一方、平成 25 年に改正された「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た。安全性向上評価においては、外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)の活用が見込まれる。</p> <p>このため、地震・津波等の外部事象に関するリスク評価の精度向上の観点から、施設・設備のフラジリティに係る評価手法を精緻化することが重要である。また、地震・津波以外の外部事象に対しても、規制における妥当性判断のための新たな技術的知見の収集・整備を行い、衝突・衝撃に対する構造健全性評価手法に反映していくことが必要である。</p> <p>(1) 津波に対するフラジリティ評価手法の検討</p> <p>津波に関する前プロジェクトでは、防潮堤の耐津波設計手法のうち、持続波に対する既往の設計手法の適用範囲を明らかにするとともに、適用範囲を超える場合の評価手法及び段波が防潮堤の構造健全性に与える影響について研究を実施し、その成果を公表した。今後は、設計を超える津波を対象とし、津波 PRA における施設・設備のフラジリティ評価の精度向上を目的に、防潮堤を越流する津波に対する防潮堤の応答及び耐力の評価を行う。この評価に基づいて、地震との組合せを考慮した防潮堤等の構築物の津波フラジリティ評価に係る影響検討を行う。</p> <p>(2) 地震に対するフラジリティ評価手法の検討</p> <p>地震に対する前プロジェクトにおいて、施設・設備のフラジリティ評価手法に関する整備を終了した。今後は、地震 PRA における施設・設備のフラジリティ評価の精度向上を目的に、設計を超える地震に対する建屋・構築物等の三次元挙動に係る評価手法を検討し、これによる機器設備の現実的な応答への影響を評価するとともに、これまで実施してきた耐震重要設備の限界加振試験データを活用して耐震重要設備の現実的な耐力の分析・評価を行う。</p> <p>(3) 外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討</p> <p>地震・津波以外の外部事象に対する構造健全性評価のため、飛翔体等の衝突・衝撃時の構築物の健全性評価手法の整備を目的として、前プロジェクトでは平板等の比較的単純な構築物を対象に、局部損傷に係る試験を実施して既往評価手法の適用性を検討した。今後は、建屋・構築物等の複雑構築物を対象に、飛翔体等の衝突時における衝撃波伝播特性等の評価に係る知見を拡充するとともに、機器等の応答・耐力への影響を評価する。また、輸送容器を対象に、落下時の衝撃挙動に関する知見を拡充し、構造健全性への影響を評価する。</p> <p>(4) 地震時亀裂進展評価手法の検討</p> <p>技術基盤の維持として、亀裂を有する配管等に複数回の設計を超える地震動が作用する場合の累積影響を考慮した亀裂進展評価手法の精緻化に係る検討を行う。</p>		
4. 目的	<p>本プロジェクトでは、外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)に関する科学的・技術的知見の蓄積及び関連評価ガイド策定のための知見の拡充に資するため、また、将来の規制活動への反映に向けて地震時亀裂進展に係る知見を蓄積することを目的に以下の研究を行う。</p> <p>(1) 津波に対するフラジリティ評価手法の検討</p> <p>a. 防潮堤を越流する津波に対する応答評価</p> <p>b. 地震との組合せを考慮した構築物等の津波フラジリティ評価</p> <p>(2) 地震に対するフラジリティ評価手法の検討</p> <p>a. 地震時の建屋・構築物等の三次元挙動評価</p> <p>b. 地震に対する耐震重要設備の耐力評価</p> <p>(3) 外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討</p> <p>a. 飛翔体等による衝突・衝撃挙動に係る応答・耐力評価</p> <p>b. 輸送容器の落下による衝撃挙動に係る構造健全性評価</p> <p>(4) 地震時亀裂進展評価手法の検討</p> <p>a. 地震時亀裂進展評価</p>		
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトの項目(1)津波に対するフラジリティ評価手法の検討及び(2)地震に対するフラジリティ評価手法の検討で得られた成果は、地震・津波に対する応答及び耐力の評価に関連する評価ガイドの策定及び将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資する。また、項目(3)外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討で得られた成果は、衝突・衝撃に対する構造健全性に関連する評価ガイドの策定及び事業者の評価手法等の妥当性判断に資する。項目(4)地震時亀裂進展評価手法の検討については、検討状況の進展に応じて、技術的知見をまとめて公表していく。</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。

- 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。）
- ④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。）

(1) 津波に対するフラジリティ評価手法の検討【分類①】

a. 防潮堤の津波に対する応答評価

設計条件を超えて防潮堤を越流する津波によって防潮堤に作用する波力及び漂流物による衝突荷重に関する水理試験等を関係機関と協力して実施し、越流の程度に応じた波力の変動や漂流物による影響等を把握し、津波に対する防潮堤のフラジリティ評価の精緻化に向けた知見を拡充する。(図1-1、図1-2)

b. 地震との組合せを考慮した構築物等の津波フラジリティ評価

設計条件を超える地震によって弾塑性領域を経験した構築物等に対して、津波が来襲した場合の構築物等の応答及び耐力に係る調査・検討を行い、津波フラジリティへの影響を整理する。(図1-1)

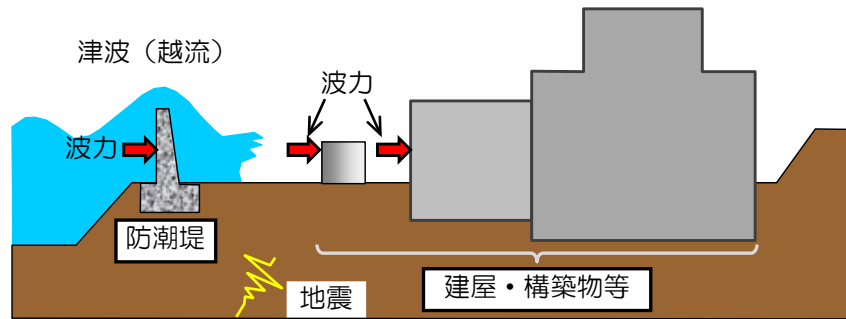


図1-1 津波に対するフラジリティ評価の概要

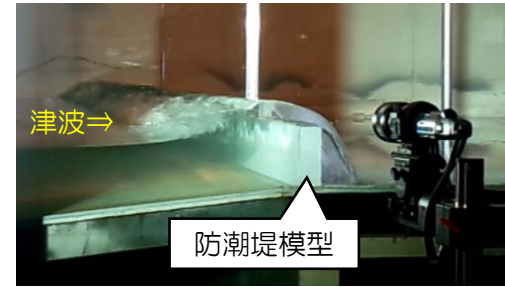


図1-2 津波越流試験の例

(2) 地震に対するフラジリティ評価手法の検討【分類①】

a. 地震時の建屋・構築物等の三次元挙動評価

地震力が設計条件を超える場合の建屋・構築物内に設置された耐震重要設備の精緻な地震応答を評価し、地震フラジリティの精度向上に資するため、建屋・構築物等の三次元挙動に係る評価手法を精緻化するとともに、地震動レベルに応じた非線形性を考慮することにより、建屋・構築物等の現実的な地震応答を予測する評価手法を検討する。また、ここでの検討結果に基づいて、簡易な質点系モデル等への適用に関する技術的知見を蓄積し整理する。

b. 地震に対する耐震重要設備の耐力評価

地震フラジリティの精度向上のため、機器耐力の既往試験データ (NUPEC 及び JNES) を再整理してデータベースを構築し、試験時に実施したシミュレーション解析データ等を活用して耐震重要設備の現実的な耐力の分析・評価を行う。(図2-2)

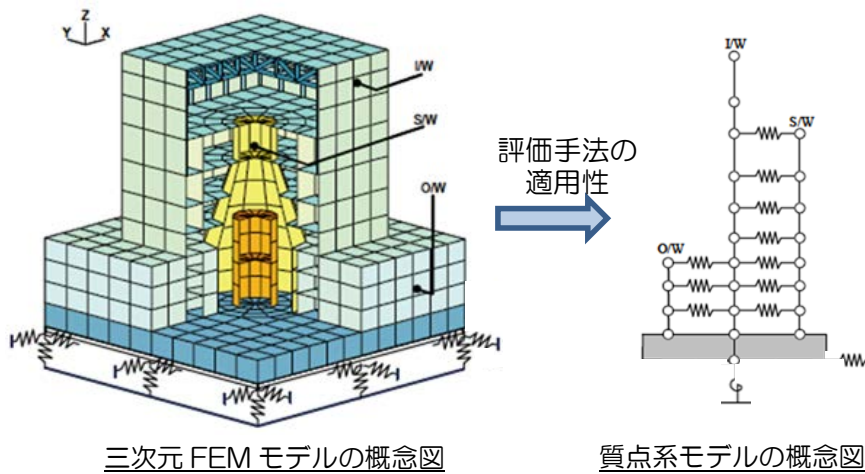


図2-1 建屋・構築物等の三次元評価の概要

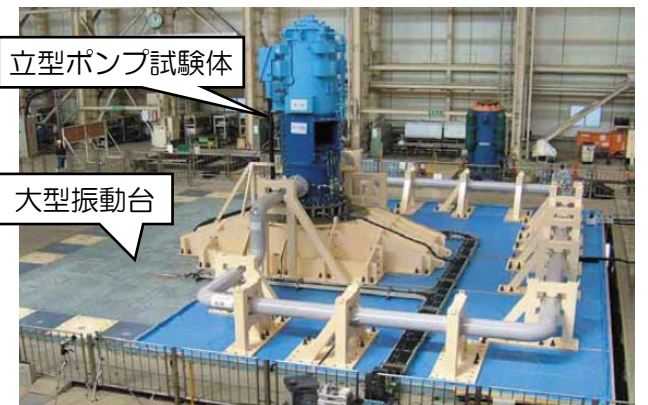


図2-2 振動台加振試験の例

(3) 外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討【分類①】

a. 飛翔体等による衝突・衝撃挙動に係る応答・耐力評価

飛翔体等による建屋・構築物の全体損傷及び衝撃波伝播等に係る調査並びに試験を関係機関と協力して実施し、評価モデル及び評価手法の適用性に係る検討を実施する。また、建物・構築物を伝播した衝撃波による機器設備の応答及び耐力への影響に係る調査及び試験を実施し、既往知見の適用性を確認する。(図3-1)

b. 輸送容器の落下による衝撃挙動に係る構造健全性評価

スラップダウン落下 (水平に近い浅い傾斜角度での落下) 時の衝撃挙動に関する知見を拡充するための調査及び試験を実施するとともに、スラップダウン落下に対する構造健全性評価手法の適用性を確認する。(図3-2)

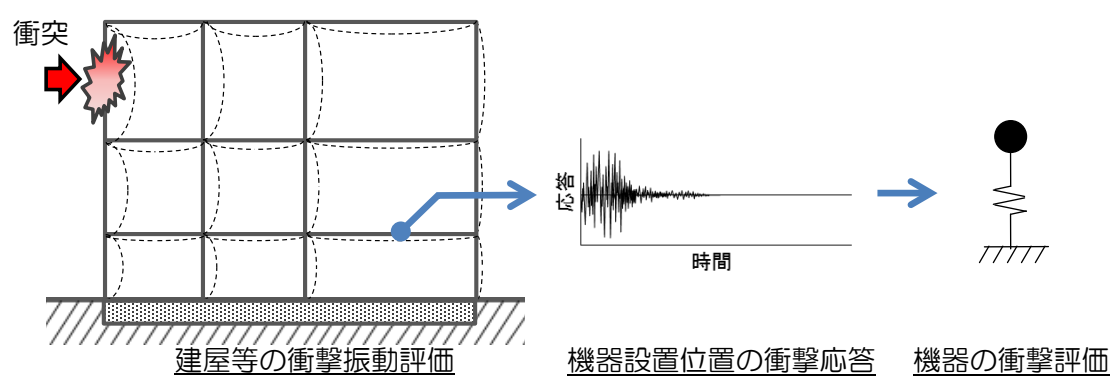


図3-1 飛翔体等による衝突・衝撃挙動評価の概要

6. 安全研究概要  
(始期：平成 29 年度)  
(終期：平成 32 年度)

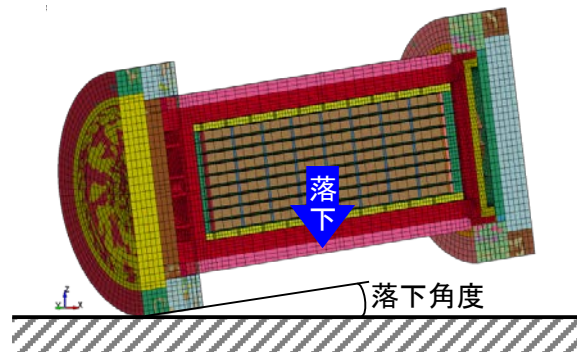


図3-2 輸送容器スラップダウン落下解析モデルの概念図

(4) 地震時亀裂進展評価手法の検討【分類④】

a. 地震時亀裂進展評価

亀裂を有する配管等に複数回の設計を超える地震力が作用する場合の累積影響を考慮した亀裂進展に対する評価手法に関し、関係機関と協力して調査及び試験を実施し、既往の亀裂進展速度に係る適用性を検証する。(図4)

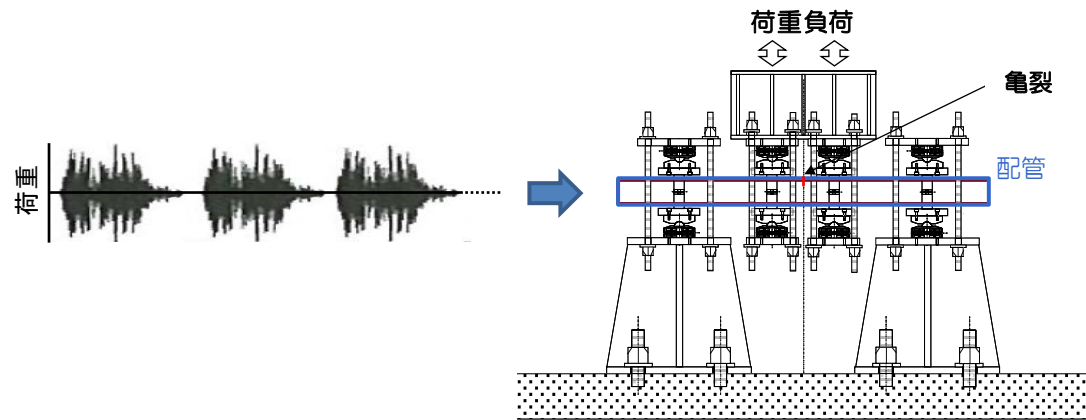


図4 亀裂配管の繰返し荷重試験の概念図

工程表

	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度
(1) a.	津波越流時の防潮堤作用荷重、洗掘挙動及び津波漂流物に関する試験。	津波越流時の防潮堤作用荷重、洗掘挙動及び津波漂流物に関するシミュレーション解析。 ↓ 随時反映	防潮堤の津波に対するフラジリティ評価手法の精緻化。	▽論文公表等 ↓ 評価ガイド案の検討	
		津波フラジリティ算定に関する将来的な安全性に係る評価の高度化			
(1) b.	設計を超える地震後の津波フラジリティ評価の適用性に係る検討。	設計を超える地震後の構築物等の剛性低下等の状況を踏まえた津波フラジリティへの影響評価手法の検討。 ↓ 随時反映	設計を超える地震による影響を考慮した津波フラジリティへの影響整理。	▽論文公表等	
		津波フラジリティ算定に関する将来的な安全性に係る評価の高度化			
(2) a.	地震観測記録に基づく建屋・構築物等の三次元挙動評価解析に用いるモデル化手法の検討。	建屋・構築物等の三次元挙動に係るパラメトリック解析及び機器設備への影響評価。 ↓ 随時反映	建屋・構築物等の三次元挙動を考慮した応答評価手法に係る技術的知見の整理。	▽論文公表等 ↓ 評価ガイド案の検討	
		地震フラジリティ算定に関する将来的な安全性に係る評価の高度化	建屋等の応答精緻化		
(2) b.	機器耐力に係る既往試験データの再整理及び耐力評価手法の検討。	静的設備の現実的な耐力評価に係る分析・整理。 ↓ 随時反映	動的設備の現実的な耐力評価に係る分析・整理。 ↓ 電機設備の耐力	▽論文公表等	
		地震フラジリティ算定に関する将来的な安全性に係る評価の高度化			
(3) a.	建屋を模擬した衝撃に係る試験体の設計・製作及び予備試験。 機器設備の試験・解析に係る実施計画の立案及び要素試験。 ↓ 電機品等の応答・耐力	衝撃に係る試験データ取得及びシミュレーション解析。 機器設備試験体の設計・製作及び予備試験。	衝撃に係る解析評価手法の適用性確認。 機器設備の応答・耐力に係る試験データ取得及びシミュレーション解析。 ↓ 機器設備の応答・耐力	▽論文公表等 ↓ NRA 技術報告 ↓ 評価ガイド案の検討	
		衝突・衝撃に対する事業者評価手法の確認			
(3) b.	輸送容器のスラップダウン落下試験に係る試験体の設計・事前解析及び要素試験。	輸送容器試験体の製作及びスラップダウン落下試験に係る試験データ取得。 ↓ 随時反映	輸送容器のスラップダウン落下試験に係るシミュレーション解析。	▽論文公表等 ↓ NRA 技術報告 ↓ 評価ガイド案の検討	
		衝撃に対する事業者評価手法の確認			
(4) a.	設計を超える複数回の地震による累積影響を考慮した亀裂進展に係る試験データの取得。	設計を超える複数回の地震による累積影響を考慮した亀裂進展に係るシミュレーション解析。	設計を超える複数回の地震による累積影響を考慮した亀裂進展評価手法の検証。	▽論文公表等	



【平成 29 年度の実施内容】

(1) 津波に対するフラジリティ評価手法の検討

a. 防潮堤の津波に対する応答評価

設計条件を超えて防潮堤を越流する津波を模擬した水理試験を実施し、防潮堤への作用荷重、洗掘の影響及び津波漂流物の衝突荷重に係るデータを取得する。

b. 地震との組合せを考慮した構築物等の津波フラジリティ評価

設計を超える地震に対する防潮堤の弾塑性解析を実施して防潮堤の剛性低下等の程度を把握するとともに、設計を超える津波が作用する場合の津波フラジリティ評価手法の適用性に関する検討を実施する。

(2) 地震に対するフラジリティ評価手法の検討

a. 地震時の建屋・構築物等の三次元挙動評価

地震観測記録に基づく現実的な建屋・構築物等の応答を模擬できる三次元 FEM 解析に用いるモデル化手法（地盤との相互作用に係る検討を含む）について検討する。

b. 地震に対する耐震重要設備の耐力評価

既往研究等により機器設備の耐力評価を実施した際の試験データ（NUPEC 及び JNES）を分析・評価してデータベースを構築するとともに、試験のシミュレーション解析に基づいて耐力評価手法の検討を実施する。

(3) 外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討

a. 飛翔体等による衝突・衝撃挙動に係る応答・耐力評価

飛翔体衝突時の建屋の全体損傷及び衝撃波伝播に係る特性を把握することを目的として、関連する調査を行うとともに、建屋を模擬したボックス構造の試験体を設計・製作し、試験装置、計測装置等の確認を含めた予備試験を実施する。

また、機器設備の衝撃に対する応答及び耐力評価手法に係る調査・分析結果を踏まえ、試験及び解析に係る実施計画を立案するとともに、構成部品等を対象とした要素試験を実施する。

b. 輸送容器の落下による衝撃挙動に係る構造健全性評価

輸送容器のスラップダウン落下時の衝撃特性を把握することを目的として、輸送容器を模擬した試験体の設計及び事前解析を行うとともに、輸送容器の主要な評価部位を模擬した要素試験を実施する。

(4) 地震時亀裂進展評価手法の検討

a. 地震時亀裂進展評価

設計を超える複数回の地震が作用する配管の亀裂進展特性を把握することを目的として、亀裂進展に係る試験データを取得する。

7. 実施計画

【平成 30 年度の実施内容】

(1) 津波に対するフラジリティ評価手法の検討

a. 防潮堤の津波に対する応答評価

設計条件を超えて防潮堤を越流する津波を模擬した水理試験結果のシミュレーション解析を実施し、防潮堤への作用荷重、洗掘及び津波漂流物による影響を評価する。

b. 地震との組合せを考慮した構築物等の津波フラジリティ評価

設計を超える地震後の防潮堤に津波が作用する場合の防潮堤の剛性低下等の状況並びに不確実さ要因を検討し、津波フラジリティへの影響評価手法を検討する。

(2) 地震に対するフラジリティ評価手法の検討

a. 地震時の建屋・構築物等の三次元挙動評価

平成 29 年度に整備した建屋・構築物等の三次元 FEM 解析モデルを用いて、モデル化手法や物性値等をパラメータとした解析を実施し、質点系モデルへの適用を検討するとともに、ここでの建屋・構築物等の応答を入力条件とする機器設備の応答評価への影響を検討する。

b. 地震に対する耐震重要設備の耐力評価

平成 29 年度の検討に基づき、静的設備の現実的な耐力評価に係る分析・整理を実施する。

(3) 外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討

a. 飛翔体等による衝突・衝撃挙動に係る応答・耐力評価

建屋構造、飛翔体形状、衝突速度等をパラメータとした試験を行い、衝撃波伝播挙動に係る試験データを取得するとともに、シミュレーション解析を行って、全体損傷及び衝撃波伝播に係る解析手法を検討する。

平成 29 年度の実施計画に基づき、機器設備に係る試験環境の確認、試験体設計・製作及び事前解析を実施し、基本データ取得等に係る予備試験を行う。

b. 輸送容器の落下による衝撃挙動に係る構造健全性評価

輸送容器の試験体を製作してスラップダウン落下試験を行い、落下時の衝撃挙動に係る試験データを取得する。

(4) 地震時亀裂進展評価手法の検討

a. 地震時亀裂進展評価

設計を超える複数回の地震が作用する場合の試験結果に基づいて、亀裂を有する配管の亀裂進展に係るシミュレーション解析を実施し、亀裂進展速度について既往知見との比較検討を実施する。

【平成 31 年度の実施内容】

(1) 津波に対するフラジリティ評価手法の検討

a. 防潮堤の津波に対する応答評価

平成 30 年度までに実施した試験及び解析評価結果を踏まえ、設計条件を超えて防潮堤を越流する津波に対するフラジリティ評

価手法を精緻化する。

b. 地震との組合せを考慮した構築物等の津波フラジリティ評価

平成 30 年度までに実施した検討結果に基づき、設計を超える地震による影響を考慮した津波フラジリティへの影響を整理する。

(2) 地震に対するフラジリティ評価手法の検討

a. 地震時の建屋・構築物等の三次元挙動評価

平成 30 年度までに実施した検討結果に基づき、建屋・構築物等の三次元挙動を考慮した応答評価手法に係る技術的知見を整理する。

b. 地震に対する耐震重要設備の耐力評価

平成 30 年度の検討に基づき、動的設備の現実的な耐力評価に係る分析・整理を実施する。

(3) 外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討

a. 飛翔体等による衝突・衝撃挙動に係る応答・耐力評価

平成 30 年度に実施した試験及びシミュレーション解析に基づいて、建屋の全体損傷及び衝撃波伝播に係る解析手法の適用性を確認する。

衝撃に対する機器設備の応答及び耐力に係る試験を実施してデータを取得し、平成 30 年度までの試験・解析に対する分析を実施するとともにシミュレーション解析を実施する。

b. 輸送容器の落下による衝撃挙動に係る構造健全性評価

平成 30 年度までに実施した輸送容器のスラップダウン落下試験結果に基づいてシミュレーション解析を実施し、各評価部位での衝撃による影響を検討する。

(4) 地震時亀裂進展評価手法の検討

a. 地震時亀裂進展評価

平成 30 年度までに実施した試験及びシミュレーション解析に基づいて、設計を超える複数回の地震による累積影響を考慮した亀裂進展評価手法に係る検証を実施する。

【平成 32 年度の実施内容】

(3) 外部事象等による衝突・衝撃に対する評価手法の検討

a. 飛翔体等による衝突・衝撃挙動に係る応答・耐力評価

平成 31 年度までの機器設備の試験及びシミュレーション解析に基づいて、飛翔体等による衝撃に対する機器設備の評価手法の適用性を確認する。

b. 輸送容器の落下による衝撃挙動に係る構造健全性評価

平成 31 年度までに実施したスラップダウン落下試験及びシミュレーション解析に基づいて、輸送容器のスラップダウン落下に対する構造健全性評価手法の適用性を確認する。

8. 備考

## (プロジェクト個票)

1. プロジェクト	7. 火災防護に係る影響評価に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(システム安全担当)付 安全技術管理官(核燃料廃棄物担当)付
2. カテゴリー・研究分野	(1)横断的原子力安全 ②火災防護		
3. 背景	<p>火災は共通原因故障を引き起こす起因事象の中でも重要な事象の一つであることから、様々な火災事象について更なるリスクの低減を図るための研究を継続的に行うことが重要である。</p> <p>これまで、東日本大震災時に東北電力女川原子力発電所で発生したアーク火災に着目し、高エネルギーアーク損傷（以下「HEAF」という。）試験を実施し現象解明に必要なデータを取得するとともに、ケーブル等の可燃物について火災データの取得と解析コードの整備を行ってきた。今後は、これら成果のリスク評価手法への活用を目指すとともに、平成 25 年度に策定した「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」、「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」及び「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」の見直しの要否の検討に向けた火災試験によるデータの取得、火災影響評価手法・解析コードの整備及び火災防護に係る情報の収集・分析を行う。本研究で実施する項目の背景は以下のとおりである。</p> <p>(1)HEAF の影響評価 国際的な火災事象を取りまとめている OECD/NEA/CSNI/FIRE データベースプロジェクトでは炉心損傷に至る可能性の高い火災事象の一つとして、HEAF を抽出している。HEAF はその現象の複雑さ及び重大な影響を与える可能性から国際的に注目されており、OECD/NEA では CSNI の下で国際共同研究プロジェクト HEAF が進行中である。OECD/NEA 及び原子力規制庁長官官房技術基盤グループの試験結果から HEAF 時のアーク放電に伴うアーク火災についてはその発生メカニズムの解明等が進んでいるが、HEAF 初期の爆発的現象に伴う隣接盤等への影響についてはまだ十分な知見が得られていない。したがって、爆発的現象における圧力の急激な発生や伝播等の定量的評価手法を中心に知見を拡充することが重要である。</p> <p>(2)電気ケーブルの熱劣化評価 これまでの電気ケーブルの火災試験では、主にその延焼性の確認等を行ってきた。一方、火災源近傍における電気ケーブルの外部被覆はその熱により絶縁抵抗が急激に低下し、特に計装・制御ケーブルの場合には誤信号を発信する可能性がある。また、電気ケーブルの熱劣化（損傷）により外部被覆の絶縁抵抗は更に低下し短絡・地絡（ホットショート）するおそれがある。さらに、熱が加え続けられると電気ケーブル自体が難燃性であっても発火し火災源になり得る。ケーブル火災に至る前までのケーブルの熱劣化に伴うホットショートによる誤信号の発信も、プラントの安全にとっては脅威の一つと成り得る。このため、火災に至る前までの電気ケーブルの熱劣化評価に係る評価手法を整備することとした。</p> <p>(3)火災影響評価手法・解析コード等の整備 平成 25 年に改正された「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」の実施が規定された。運用ガイドにおいて PRA 対象事象は段階的に拡張していくこととしており、その一つとして火災 PRA を挙げているなど、規制活動において火災防護対策を検討する上で、火災 PRA 手法の整備は重要である。この検討においては火災解析コードにより対象区域（区画）をモデル化し、想定シナリオに基づく解析を実施する。また、この検討の基盤となるデータ及び評価モデルの構築を目的に、火災影響評価手法・解析コード等を整備する。さらに、HEAF については爆発的事象及び電気盤のアーク火災に関する評価モデルを構築する。</p> <p>(4)核燃料施設等の火災防護に係る評価手法の整備 核燃料施設等に対して設計基準条件を超えた条件で発生する可能性がある火災等の重大事故が想定されており、将来的な安全性向上評価等に活用できるよう、対象可燃物の火災試験により関連するデータを取得するとともに重大事故時の火災影響評価に係る技術的知見を拡充することが重要である。これまでの核燃料施設等の火災試験では、主に有機溶媒の火災事象進展を把握するため小規模の火災試験を実施するとともに実機相当のフィルタを対象とした大型試験装置の整備を行った。今後は大型試験装置を用いた有機溶媒の火災試験を実施して閉じ込め性に関する知見を拡充するとともに、核燃料施設等における他の対象可燃物（グローブボックス等の材質である高分子材料）の重大事故時の核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失に係る技術的知見を整備することとした。</p>		
4. 目的	<p>「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」、「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」及び「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」の見直しの要否の検討に必要な技術的知見を整備する。また、安全性向上評価等の高度化にも資する火災影響評価手法等を整備する。</p> <p>(1)HEAF の影響評価 爆発的事象に係る HEAF の影響評価手法を整備する。</p> <p>(2)電気ケーブルの熱劣化評価 加熱による計装・制御ケーブルの誤信号及び電気ケーブルの外部被覆が損傷することによる短絡、地絡（ホットショート）等に係る火災時熱劣化の技術的知見を整備する。</p> <p>(3)火災影響評価手法・解析コード等の整備 火災 PRA 手法に資する火災影響評価手法・解析コード等を整備する。</p> <p>(4)核燃料施設等の火災防護に係る評価手法の整備 想定火災における対象可燃物の火災試験により関連するデータを取得するとともに技術的知見を整備する。</p>		

<p>5. 知見の活用先</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（平成 31 年度に反映）</li> <li>・ 原子力発電所の内部火災影響評価ガイド（平成 31 年度に反映）</li> </ul>
<p>6. 安全研究概要 （始期：平成 29 年度） （終期：平成 32 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。） ③ 規制活動に必要な手段の整備（以下「分類③」という。） ④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。）</p> <p>本研究で実施する項目の研究概要は以下のとおりである。なお、試験については、必要な試験装置を保有する関係機関で実施する。</p> <p>(1) HEAF の影響評価(分類①)</p> <p>爆発的現象等の現象解明を行うため HEAF に係る要素試験（図 1 (a)）を実施する。要素試験によって、爆発的現象により圧力が急激に発生・解放される現象及びアーク放電（図 1 (b)）によって発生する熱量のうち電気盤内の温度上昇に寄与する熱量の割合を把握する。取得データから得られた知見を取りまとめ、HEAF の爆発的現象の解析を実施し、その技術的知見を整備する。最終的にはその影響評価手法に基づいた評価結果により基準類の見直し及び追加の可否を検討する。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="688 884 991 1104"> <p>(a) ボックス内でのアーク放電発生の一例</p> </div> <div data-bbox="1352 866 1713 1121"> <p>(b) アーク放電におけるアークエネルギー及びアークパワーの一例</p> </div> </div> <p>図 1 HEAF に係る要素試験のイメージ</p> <p>(2) 電気ケーブルの熱劣化評価(分類①)</p> <p>誤動作や炉停止の失敗に係るケーブルの熱劣化によるホットショート（図 2 (a), (b)）の発生確率については、ケーブルの種類やトレイ内外のケーブル配置等で異なることが知られており、米国等でデータが蓄積されつつある。これらのデータを拡充するため、我が国で使用されているケーブルについて、ケーブルの外部被覆の熱による損傷速度を把握し、その速度から加熱による絶縁抵抗の低下予測式等を整備して取得データを解析するとともにホットショートの発生確率評価のためのケーブルの熱劣化に係る技術的知見を整備する。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="688 1567 1066 1816"> <p>(a) ケーブル内ホットショートの一例</p> </div> <div data-bbox="1276 1525 1646 1816"> <p>(b) ケーブル間ホットショートの一例</p> </div> </div> <p>図 2 ケーブルの熱劣化によるホットショートのイメージ</p> <p>(3) 火災影響評価手法・解析コード等の整備(分類③)</p> <p>平成 29 年度以降に届出が見込まれている安全性向上評価については、運用ガイドにおいて示す PRA 対象事象は段階的に拡張していくこととしている。今後拡張を検討している対象事象の一つとして、火災 PRA で必要となる火災解析コードに対して、国際的な火災試験プロジェクト（OECD/NEA/CSNI/PRISME 等）の試験による検証と妥当性確認を行い解析コードの信頼性の向上を図る。また、HEAF に対しては爆発現象のモデル化を進めるとともに、火災解析コード(FDS)と爆発現象に対応する衝撃解析コード(AUTODYN 等)を組み合わせた HEAF 解析コードを整備する。</p> <p>(4) 核燃料施設等の火災防護に係る評価手法の整備(分類④)</p> <p>関係機関と協力して核燃料施設の想定火災における対象可燃物（有機溶媒（図 3 (a), (b)）や核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失に影響を与える構成部材等）の火災試験によりデータを取得するとともに核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失に係る技術的知見を整備する。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="638 2487 1033 2724"> <p>(a) 有機溶媒火災のイメージ</p> </div> <div data-bbox="1327 2499 1612 2736"> <p>(b) 有機溶媒火災試験装置</p> </div> </div> <p>図 3 有機溶媒火災試験の概要</p>



工程表（例）

	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度
(1) HEAF の影響評価	HEAF 試験の実施 (爆発的現象の圧力把握)	HEAF 試験の実施 (アークエネルギーが熱に変換する割合把握)	取得データから得られた知見を取りまとめ、解析実施 ↓ 基準類の見直し等	▽論文公表等
(2) 電気ケーブルの熱劣化評価	電気ケーブルの種類を変えた熱劣化試験の実施 (絶縁抵抗測定) 電気ケーブルの熱劣化特性等の調査	トレイ内での電気ケーブルの配置を考慮した熱劣化試験の実施 (絶縁抵抗測定) 電気ケーブルの絶縁低下予測式等の構築	取得データから得られた知見を取りまとめ、解析実施 ホットショート発生確率等の検討	▽論文公表等 基準値案の作成 ↓ 基準案の検討
(3) 火災影響評価手法・解析コード等の整備	火災試験プロジェクトの試験による煙濃度評価モデルの検証と妥当性確認 電気盤のアーク火災試験による解析モデルの検証と妥当性確認 衝撃解析モデルの改良・整備	火災試験プロジェクトの試験によるケーブル延焼モデルの検証と妥当性確認 電気盤のアーク火災試験による解析モデルの検証と妥当性確認 熱変換モデルの改良・整備	火災試験プロジェクトの試験による消火モデルの検証と妥当性確認 電気盤のアーク火災試験による解析コードの検証と妥当性確認 衝撃及び火災を組み合わせた HEAF 解析コードの改良・整備	▽論文公表等 ↓ 火災影響評価手法の整備
(4) 核燃料施設等の火災防護に係る評価手法の整備	対象可燃物の火災試験の実施 (有機溶媒火災) 核燃料施設等火災の調査	対象可燃物の火災試験の実施 (グローブボックス火災等) 核燃料施設等火災の調査	対象可燃物の火災試験の実施 (グローブボックス火災等) 取得データから得られた知見を取りまとめ、解析実施	▽論文公表等 取得データから得られた知見を取りまとめ、解析実施 ↓ 技術的知見の整備

7. 実施計画

【平成 29 年度の実施内容】

(1) HEAF の影響評価

- 爆発的現象の最大圧力・圧力上昇速度把握のために筐体の内容積等を変えた HEAF 試験を実施する。

(2) 電気ケーブルの熱劣化評価

- 原子力施設で使用されている電気ケーブルの種類を変えた熱劣化試験を実施し、絶縁抵抗を測定する。
- 電気ケーブルの熱劣化特性等を調査する。

(3) 火災影響評価手法・解析コード等の整備

- 火災試験プロジェクトの試験及び電気盤のアーク火災試験結果により、解析モデルの検証と妥当性確認を実施する。
- HEAF に係る衝撃解析モデルの改良・整備を実施する。

(4) 核燃料施設等の火災防護に係る評価手法の整備

- 大型試験装置及び実寸大の HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) フィルタを用いた有機溶媒の火災試験を実施する。

【平成 30 年度の実施内容】

(1) HEAF の影響評価

- アークエネルギーが熱に変換する割合把握のためにアーク放電の発生条件を変えた HEAF 試験を実施する。

- (2) 電気ケーブルの熱劣化評価
  - ・トレイ内での電気ケーブルの配置を考慮した熱劣化試験を実施し、絶縁抵抗を測定する。
  - ・電気ケーブルの絶縁低下予測式等を構築する。
- (3) 火災影響評価手法・解析コード等の整備
  - ・火災試験プロジェクトの試験及び電気盤のアーク火災試験結果により、解析モデルの検証と妥当性確認を実施する。
  - ・HEAF に係るアークエネルギーの熱変換モデルの改良・整備を実施する。
- (4) 核燃料施設等の火災防護に係る評価手法の整備
  - ・核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失に影響を与える構成部材等の材質を変えた火災等の試験を実施する。

【平成 31 年度の実施内容】

- (1) HEAF の影響評価
  - ・取得データから得られた知見を取りまとめ、解析を実施する。
  - ・基準類の見直し等を検討する。
- (2) 電気ケーブルの熱劣化評価
  - ・取得データから得られた知見を取りまとめ、解析を実施する。
  - ・ホットショート発生確率等を検討する。
- (3) 火災影響評価手法・解析コード等の整備
  - ・火災試験プロジェクト試験及び電気盤のアーク火災試験結果により、解析コードの検証と妥当性確認を実施する。
  - ・HEAF に係る衝撃及び火災を組み合わせた解析コードの改良・整備を実施する。
- (4) 核燃料施設等の火災防護に係る評価手法の整備
  - ・核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失に影響を与える構成部材等の材質を変えた火災等の試験を実施する。
  - ・取得データから得られた知見を取りまとめ、解析を実施する。

【平成 32 年度の実施内容】

- (2) 電気ケーブルの熱劣化評価
  - ・基準値案の検討を行う。
- (3) 火災影響評価手法・解析コード等の整備
  - ・試験及び解析モデルの整備結果に基づき火災影響評価手法を整備する。
- (4) 核燃料施設等の火災防護に係る評価手法の整備
  - ・取得データから得られた知見を取りまとめ、解析を実施する。
  - ・解析結果を検討し、火災影響評価手法を整備する。

8. 備考

(プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	9. 規制への PRA の活用のための手法開発及び適用に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官 (シビアアクシ デント担当) 付
2. カテゴリー・研究分野	(2) 原子炉施設 ①リスク評価		
3. 背景	<p>新規制基準では重大事故対策の規制要件化が一つの柱となっており、重大事故対策の有効性を評価する際の事故シーケンスグループの選定のために確率的リスク評価 (以下「PRA」という。) が活用されている。また、平成 25 年に改正された「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「安全性向上のための評価」の実施が規定された。これまでに、内部事象レベル 1PRA 及び地震レベル 1PRA を対象にした評価手法を整備し、新規制基準、審査ガイド、安全性向上評価の運用ガイド等に反映してきた。また、将来的に事業者による安全性向上評価等において実施が見込まれる内部火災 PRA 及び内部溢水 PRA について、評価手法の整備を行ってきた。今後も最新知見の導入を含めて PRA の技術基盤の整備を継続していく必要がある。さらに、運用ガイドでは、PRA の評価手法の成熟状況に応じて段階的に拡張していく対象事象の例として、地震及び津波の重畳事象並びに地震及び津波以外の外部事象、多数基で同時に発生する事象等が挙げられている。このため、これらの外部事象 PRA についても手法を整備することが重要である。</p> <p>原子力規制委員会では、IAEA の総合規制評価サービス (IRRS) の勧告等を踏まえて、原子炉等規制法における検査制度の見直しの方向性や内容について検討を進めるとしている。新たな検査制度では事業者の保安活動全てを対象にその実施状況、継続的改善の取組みについて実効的な監視・評価制度を設けることが検討されている。この監視・評価制度では、リスク情報の活用 (リスク・インフォームド) 及び事業者の保安活動の実績の反映 (パフォーマンス・ベース) の考え方を取り入れたものとし、保安活動を監視・評価した結果を踏まえ、機動的かつ柔軟に行政上の措置を適用する方法が検討されている。これまで、保安検査等にリスク情報から得た指標を活用する方法を検討してきたが、今後は、新たな検査制度に採用される可能性のある保安活動の監視・評価にこれらの指標を活用できるよう、評価手法及び評価ツールを実用に向けて整備する必要がある。</p>		
4. 目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>● レベル 1PRA の技術基盤への最新知見の反映を行い、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資するレベル 1PRA 手法の技術的知見を得る。さらに、将来の規制活動に役立つ新たな知見の創出として、新たな PRA 評価手法の導入を進める。</li> <li>● 内部火災及び内部溢水、地震及び津波以外の外部事象 PRA 並びに多数基で同時に発生する事象を対象とした PRA の手法の技術的知見を整備し、将来的に安全性向上評価等の対象となるレベル 1PRA 手法の技術的知見を得る。</li> <li>● 新たな検査制度にリスク情報を活用するための技術的知見を得る。</li> </ul>		
5. 知見の活用先	<p>将来的な安全性向上評価等のガイドの策定・改訂等のため、PRA の手法及びその技術的根拠を整備し、安全性に係る評価の高度化に資する。</p> <p>新たな検査制度の構築ため、リスク情報を活用した評価の導入に資する技術的知見を整備する。</p>		
6. 安全研究概要 (始期:平成 29 年度) (終期:平成 33 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> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 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。)</li> <li>● 規制活動に必要な手段の整備 (以下「分類③」という。)</li> <li>● 技術基盤の構築・維持 (以下「分類④」という。)</li> </ul> <p>(1) PRA の最新知見の反映</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ レベル 1PRA に係る最新知見として、関係機関と協力して、時間に依存して変化するプラント状態を考慮できるダイナミック PRA 手法及びプラント挙動解析コードを組み込んだ解析ツールを整備する。また、PWR プラント及び BWR プラントを対象に炉心損傷頻度の試解析を実施し、リスク情報を活用した規制活動へのダイナミック PRA 手法及び解析ツールの適用性を検討する。【分類④】</li> <li>・ 重大事故等対処設備の信頼性評価に必要な信頼性パラメータ及び重大事故等対処設備の操作に係る人間信頼性評価手法を整備する。【分類①】</li> </ul> <p>(2) 内部火災 PRA 及び内部溢水 PRA の整備</p> <p>a. 内部火災 PRA の整備</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 隣接した領域への火災伝播の解析を実施するとともに、高エネルギーアーク火災 (以下「HEAF」という。)、爆発事象等を対象に内部火災の原因を拡充して、内部火災レベル 1PRA 手法及びモデルを整備する。【分類①】</li> </ul> <p>b. 内部溢水 PRA の整備</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 溢水の隣接した領域への伝播及び溢水に伴って発生する蒸気についての挙動解析を行う。また、没水、被水以外の溢水モードの影響を考慮した内部溢水レベル 1PRA 手法及びモデルを整備する。【分類①】</li> </ul> <p>(3) 地震・津波等に係る PRA の整備</p> <p>a. 地震 PRA 及び津波 PRA の整備</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重大事故等対処設備を組み込んだ地震レベル 1 PRA モデルを整備する。【分類①】</li> <li>・ 地震時に想定される複数本 SGTR 等について、事故シナリオの詳細検討を行い、地震レベル 1PRA モデルを整備する。【分類③】</li> <li>・ 津波による建屋への浸水量、浸水経路及び浸水による影響を評価する手法を検討して、建屋内の浸水量を定量的に評価するための津波レベル 1 PRA モデルを整備する。【分類①】</li> </ul>		

- ・地震時に起因事象が重畳した場合の事故シナリオの検討を行い、起因事象の重畳を考慮した地震レベル1PRA 手法及びモデルを整備する。【分類④】
  - b. 多数基立地サイトを対象とした地震PRAの整備
    - ・炉心損傷状態の組み合わせと頻度を算出できる多数基の地震レベル1PRAモデルを整備し、PWRプラントが2基立地されているサイトを対象とした地震レベル1PRAを実施する。【分類④】
    - ・複数基発災時の作業環境の悪化を考慮したレベル1PRA手法を整備する。【分類④】
  - c. その他の外部事象に係るPRAの整備
    - ・強風等の外部事象に対するレベル1PRA手法及びモデルを整備する。【分類③】
    - ・地震・津波等の外部ハザードが重畳する事象について、発生頻度及び機器の損傷確率に関するデータ、レベル1PRA手法及びモデルを整備する。【分類④】
- (4) 検査制度へのリスク情報の活用方策の検討
- ・新たな検査制度に採用される可能性のある保安活動の監視・評価にこれらの指標を活用できるよう、PRAモデルを整備するとともに、評価手法及び評価ツールを整備する。また、評価ツールを用いた試運用を行い、評価ツールの適用性を確認する。【分類①】

工程表

項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度	平成33年度
(1) PRAの最新知見の反映		ダイナミックPRA手法及び解析ツールの整備			
		信頼性パラメータ及び人間信頼性評価手法の整備	▽学会発表		学会発表▽
			将来的な安全性に係る評価の高度化		
(2) 内部火災PRA及び内部溢水PRAの整備	隣接した領域への火災伝播の解析手法の整備及び解析				
a. 内部火災PRAの整備		HEAF等による内部火災レベル1PRA手法及びモデルの整備			
			▽NRA技術報告の作成(実施例)		
		保安活動の監視・評価への適用検討			
		将来的な安全性に係る評価の高度化			
b. 内部溢水PRAの整備	隣接した領域への溢水伝播の解析手法及びPRAモデルの整備				
			▽NRA技術報告の作成(実施例)		
		ジェットアタック等による内部溢水レベル1PRA手法及びモデルの整備			
		保安活動の監視・評価への適用検討			
		将来的な安全性に係る評価の高度化			
(3) 地震・津波等に係るPRAの整備	重大事故等対処設備を組み込んだ地震レベル1PRAモデルの整備				
a. 地震PRA及び津波PRAの整備		▽NRA技術報告の作成(実施例)	複数本SGTRのモデル整備	複数本破断LOGAのモデル整備	
			▽学会発表		学会発表▽
		将来的な安全性に係る評価の高度化			
	浸水解析等に基づく津波レベル1PRA手法及びモデルの整備				
				▽NRA技術報告の作成(実施例)	
				将来的な安全性に係る評価の高度化	
b. 多数基立地サイトを対象とした地震PRAの整備	起因事象の重畳を考慮した地震レベル1PRA手法及びモデルの整備				
	多数基立地サイトの地震レベル1PRA手法及びモデルの整備				
			(レベル2PRA)		学会発表▽
c. その他の外部事象に係るPRAの整備	強風等に係るレベル1PRA手法の整備				
			外部ハザードの重畳に係るレベル1PRA手法の整備		学会発表▽
(4) 検査制度へのリスク情報の活用方策の検討	リスク情報を活用した保安活動の評価手法及び評価ツールの整備				
	保安活動の監視・評価手法の検討				
				リスク情報を活用した保安活動の評価の運用	

7. 実施計画

【平成29年度の実施内容】

(1) PRAの最新知見の反映

ダイナミックPRA解析ツールのプロトタイプを構築する。また、重大事故等対処設備の操作に係る人間信頼性解析手法を整備する。

(2) 内部火災PRA及び内部溢水PRAの整備

a. 内部火災PRAの整備

隣接した領域への火災伝播の解析手法等を整備する。また、HEAF等による機器の損傷程度と影響範囲を明らかにする。

b. 内部溢水PRAの整備

隣接した領域への没水の伝播現象の解析を実施し、この結果を基にPRAモデルを整備する。また、溢水に伴う蒸気による機器損傷の程度と影響範囲を解析する手法を検討する。

(3) 地震・津波等に係るPRAの整備

a. 地震PRA及び津波PRAの整備

重大事故等対処設備を組み込んだ地震レベル1PRAモデルを整備する。また、津波による建屋内への浸水量、浸水経路及び浸水による影響を評価する手法を整備する。代表的なBWRプラントを対象とした地震PRAの実施例の報告書を作成する。

b. 多数基立地サイトを対象とした地震PRAの整備

PWRプラントが2基立地されているサイトを対象とした地震レベル1PRAモデルを整備する。

c. その他の外部事象に係るPRAの整備

強風を対象としたレベル1PRA手法及びモデルを整備する。

(4) 検査制度へのリスク情報の活用方策の検討

保安活動の評価にリスク情報を活用するためのPRAモデルを整備するとともに、評価手法及び評価ツールを整備する。

【平成30年度の実施内容】

(1) PRAの最新知見の反映

ダイナミックPRA解析ツールにプラント挙動解析コードを組み込む。また、重大事故等対処設備の操作に係る人間信頼性解析を実施するとともに、人間信頼性解析手法及びその実施例をまとめる。

(2) 内部火災PRA及び内部溢水PRAの整備

a. 内部火災PRAの整備

隣接した領域への火災伝播の試解析を実施する。また、HEAF等の火災伝搬解析手法の整備を継続して実施する。内部火災PRAの手法及びその実施例の報告書を作成する。

b. 内部溢水PRAの整備

溢水に伴う蒸気の影響に関する解析を行い、この結果を基にPRAモデルを整備する。内部溢水PRAの手法及びその実施例の報告書を作成する。

(3) 地震・津波等に係るPRAの整備

a. 地震PRA及び津波PRAの整備

地震による複数本SGTRの事故シナリオ及び成功基準を検討する。建屋内の浸水量を定量的に評価するためのレベル1津波PRA手法を整備する。

b. 多数基立地サイトを対象とした地震PRAの整備

複数基発災時の作業環境の悪化を考慮したレベル1PRA手法を整備する。

c. その他の外部事象に係るPRAの整備

火山を対象としたレベル1PRA手法及びモデルを整備する。

(4) 検査制度へのリスク情報の活用方策の検討

保安活動の評価にリスク情報を活用するためのPRAモデルを整備するとともに、評価手法及び評価ツールの整備を継続して実施する。

【平成31年度の実施内容】

(1) PRAの最新知見の反映

ダイナミックPRA解析ツールを用い、過渡事象を対象にした試解析を行う。

(2) 内部火災PRA及び内部溢水PRAの整備

a. 内部火災PRAの整備

隣接した領域への伝播解析等を実施する。また、爆発等による機器の損傷の程度と影響範囲を明らかにする。

b. 内部溢水PRAの整備

ジェットアタックの到達範囲及び機器への負荷荷重を評価する手法を整備する。

(3) 地震・津波等に係るPRAの整備

a. 地震PRA及び津波PRAの整備

地震による複数本SGTRの事故シナリオを対象に地震レベル1PRAモデルを整備する。また、建屋内の浸水量を考慮した津波レベル1PRAモデルを整備する。津波PRAの手法及びその実施例の報告書を作成する。

b. 多数基立地サイトを対象とした地震PRAの整備

複数基発災時の作業環境の悪化を考慮したレベル1PRA手法の整備を継続して実施する。

c. その他の外部事象に係るPRAの整備

外部ハザードの重畳事象に関するレベル1PRA手法を整備する。

(4) 検査制度へのリスク情報の活用方策の検討

保安活動の評価にリスク情報を活用するための評価ツールを用いた試運用を行い、評価ツールの適用性を確認する。

【平成32年度の実施内容】

(1) PRA の最新知見の反映

ダイナミック PRA 解析ツールを用い、LOCA を対象にした試解析を行う。

(2) 内部火災 PRA 及び内部溢水 PRA の整備

a. 内部火災 PRA の整備

隣接した領域への火災伝播解析を継続して実施する。また、爆発等による機器の損傷の程度と影響範囲について評価する。

b. 内部溢水 PRA の整備

ジェットアタックの到達範囲及び機器への負荷荷重を評価して、この結果をもとにレベル 1PRA モデルを整備する。

(3) 地震・津波等に係る PRA の整備

a. 地震 PRA 及び津波 PRA の整備

地震時の設計基準を上回る LOCA の事故シナリオについて検討する。地震時に起因事象が重畳した場合の事故シナリオを検討する。

c. その他の外部事象に係る PRA の整備

外部ハザードが重畳する事象について、発生頻度及び機器の損傷確率に関するデータ及びモデルの整備を行う。

(4) 検査制度へのリスク情報の活用方策の検討

保安活動の評価にリスク情報を活用するための評価ツールの本格運用を行い、必要であれば評価手法の改善を行う。

【平成33年度の実施内容】

(1) PRA の最新知見の反映

ダイナミック PRA 解析ツールを用い、PWR プラント及び BWR プラントを対象に炉心損傷頻度の試解析を実施する。ダイナミック PRA の手法を確立する。

(2) 内部火災 PRA 及び内部溢水 PRA の整備

a. 内部火災 PRA の整備

HEAF 等の火災原因を拡充した内部火災 PRA モデルを整備し、炉心損傷頻度を算出する。

b. 内部溢水 PRA の整備

パイプホップの到達範囲を評価する手法を検討し、機器損傷の程度と影響範囲を考慮したレベル 1 PRA モデルを整備する。

(3) 地震・津波等に係る PRA の整備

a. 地震 PRA 及び津波 PRA の整備

設計基準を上回る LOCA の事故シナリオを反映した地震レベル 1PRA モデルを整備する。起因事象の重畳を考慮した地震レベル 1 PRA モデルを整備する。

c. その他の外部事象に係る PRA の整備

外部ハザードの重畳事象のレベル 1PRA モデルを整備し、炉心損傷頻度を算出する。

(4) 検査制度へのリスク情報の活用方策の検討

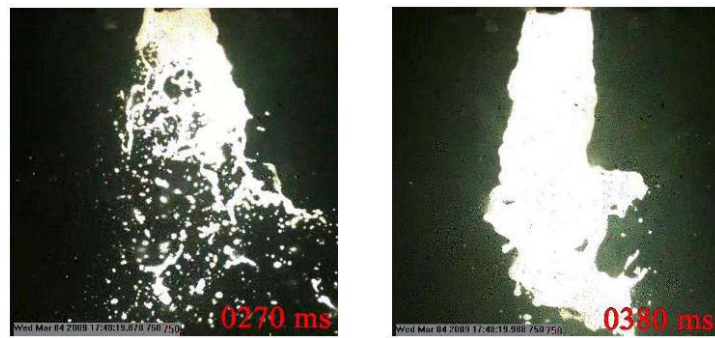
保安活動の評価にリスク情報を活用するための評価ツールの本格運用を行い、評価手法の改善を継続して実施する。

8. 備考

## (プロジェクト個票) (案)

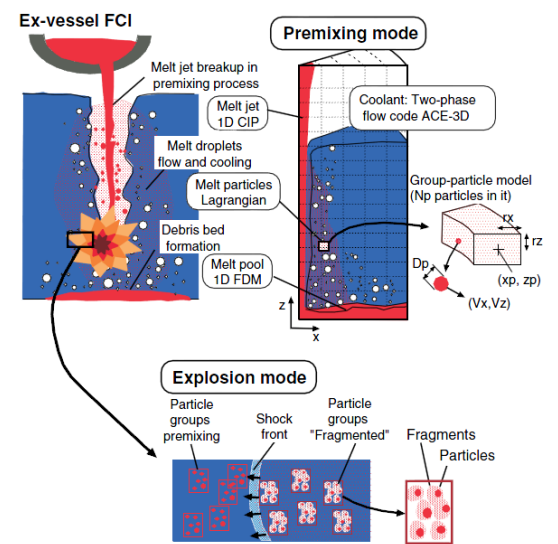
1. プロジェクト	11. 軽水炉の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(シビアアクシデント担当) 付
2. カテゴリー・研究分野	(2) 原子炉施設 ②シビアアクシデント		
3. 背景	<p>重大事故時の格納容器機能維持に係る物理化学現象については、現在の解析コードによる予測には不確実さが大きな領域が存在し、これらに関して継続的研究が国内外において進められている。ここから得られる知見を反映した解析コードを開発し、適合性審査やガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資する知見を継続的に拡充していくことが重要である。</p> <p>原子炉圧力容器外の溶融燃料 - 冷却材相互作用及び溶融炉心 - コンクリート相互作用（以下「MCCI」という。）については、国際協力実験等を通じて知見が得られているが、現象解明及び実機プラント予測における不確実さは大きい。このため、国内外の動向、最新の文献、国際協力プロジェクトへの参加等を通じて得た知見により、解析モデルの改良を進め、精度を向上していくことが重要である。</p> <p>キャビティへの先行注水時のデブリベッド冷却性に着目し、デブリベッド形成及びデブリベッド内伝熱流動に関連する諸現象に関する実験的研究が近年国内外で活発化しており、ここから得られる知見に基づき、デブリベッド冷却性に対する解析モデルの精度を向上させることが重要である。</p> <p>エアロゾル状又はガス状の放射性物質は、種々の物理化学的現象を含む除去現象を経たのちに環境に移行する。こうした除去及び移行プロセスについては、経済協力開発機構原子力機関原子力施設安全委員会（以下「OECD/NEA/CSNI」という。）、欧州共同体等、国内外において継続的に実験的研究が進められている。ここから得られる知見に基づき詳細な化学反応を含む解析モデルを開発し、MELCOR等の総合重大事故解析コードに反映することは、ソースターム評価における精度を向上する観点から重要である。</p>		
4. 目的	<p><b>(1) 解析コードの開発</b></p> <p>新たに導入された重大事故対策及びリスク低減の視点から重要であり、かつ既存コードによる評価の不確実さが大きい溶融燃料 - 冷却材相互作用、溶融炉心 - コンクリート相互作用、キャビティ注水時のデブリ冷却性及び放射性物質生成・移行・除去挙動の4つの物理化学現象を対象として、不確実さの幅を温度、圧力等の状態変数で定式化することによって、実規模スケールの解析に適用できる解析コードを開発する。</p> <p><b>(2) 解析コードの検証及び妥当性確認</b></p> <p>国際協力プロジェクト実験、公開された実験及び別プロジェクトにおいて取得した実験データベースに基づき、解析コードの予測性を確認し解析結果の精度の向上を図る。</p>		
5. 知見の活用先	将来的な安全性に係る評価の高度化に資するため、 <u>成功基準の検討、事故進展解析及び分岐確率等の確率論的リスク評価技術の向上</u> 、さらには規制庁が実施する代表プラントの確率論的リスク評価技術の改良等に活用する。		
6. 安全研究概要 (始期：平成29年度) (終期：平成34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> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 規制活動に必要な手段の整備（以下「分類③」という。）</li> </ul> <p>これまでに、デブリベッド形成及び冷却性等に係る解析コードの開発を進めてきたが、平成29年度からは、実機プラントにおける重大事故評価の精度向上の観点から課題の優先順位を検討した結果、溶融燃料 - 冷却材相互作用、MCCI、キャビティ内デブリベッド形成及び冷却性、燃料デブリからの放射性物質放出の4分野を対象として、これらに関する解析コードの開発を進める。解析コードの開発に当たっては、国内外の研究の成果及び評価技術の現状を踏まえて、軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験等で取得した最新の試験結果を活用し、実験条件から実機プラント条件への外挿における不確実さの評価を含めた評価手法の整備を図る。</p> <p><b>(1) 溶融燃料 - 冷却材相互作用解析コードの開発</b></p> <p>OECD/NEA/CSNI が実施した二酸化ウラン-金属混合物を用いた SERENA2 実験シリーズ（図1(a)）によって、二酸化ウラン溶融物の挙動及びこれに関する多次元コード JASMINE コードのモデル不確実さを含む予測性に関する知見（溶融ジェットブレイクアップ、粗混合液滴の分布、細粒化と二相流動場の相互効果等）が得られている（図1(b)）。</p> <p>これらの知見を活用し、実規模スケールにおける現象予測の精度を向上する手法を整備する。まず、実験と実機プラントにおける条件の相違が発生する機械的エネルギーに及ぼす影響度から、多段階の溶融物落下及び大量な溶融物落下時の水中での二相挙動、二酸化ウランにおける機械的エネルギー変換に関する現象を同定し、これらに関する国内外の研究動向、解析モデルについて調査し、数値モデルを開発する。また、空中でのデブリ粒子化、水中での粒子化デブリの集積挙動等の同伴現象に関する解析モデルは、より現実的な予測のために必要な要素であり、これらの同伴現象に関する解析モデルを備えたコードの開発を進める。【分類③】</p>		





出典：NKS-34, M. Strandberg, Analyzing Steam Explosions with MC3D (2015).

(a) 溶融物落下状況 (TROI TS-3 ケース)



出典：JAEA-Data/Code 2008-014 K. Moiriyama et al., Steam Explosion Simulation Code JASMINE v.3 User's Guide (2008).

(b) 溶融燃料 - 冷却材相互作用モデル

図1 OECD/NEA/CSNI-SERENA2 における TROI 実験における溶融燃料 - 冷却材相互作用解析例

### (2) 溶融炉心 - コンクリート相互作用解析コードの開発

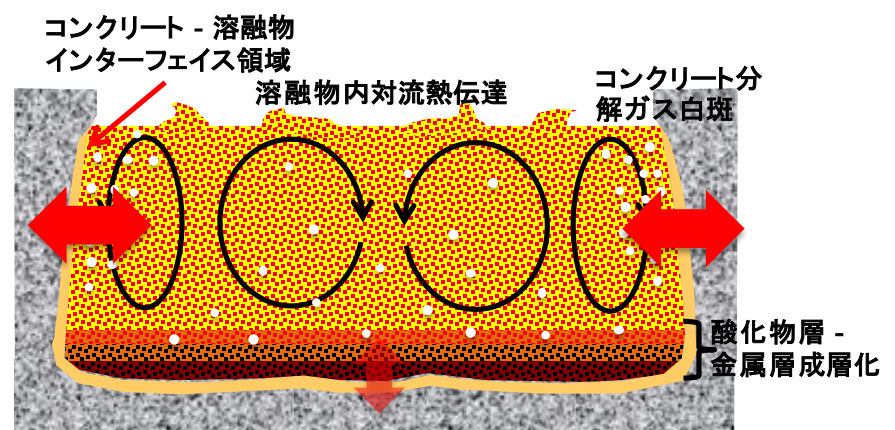
OECD/NEA/CSNI が実施した二酸化ウランを用いた MCCI 実験により、珪質岩系コンクリートに関する異方性侵食挙動、上部注水時の上面クラストを介した除熱挙動に関する系統的なデータが得られている。(図 2(a)) また、注水時の上面クラスト除熱現象については、亀裂発生、水の侵入、溶融物の噴出等による除熱メカニズムについての定性的挙動は知られているものの、実験装置においてはクラストが装置側壁に固着し溶融物とクラストの間にギャップが生成される等の効果が存在することも分かっており、実験結果を解釈するには、こうした効果に対する考慮も必要である。これらの現象を扱うため、これまで 2 次元解析コードの開発を進めてきたが、実規模スケールへの外挿評価における不確かさについては課題として残っている。

今後専門家との情報交換及び公開された文献等に基づき異方性侵食を含む数値モデルを開発し、キャビティ周辺位置へ堆積したデブリによる侵食などの現実的問題を扱うことができる 3 次元解析コードを開発する。(図 2(b)) また、開発した解析コードについては、OECD/NEA/CSNI-MCCI、SURC 等、これまで取得している実験データベースに基づき不確かさを含めた予測性の評価を行う。さらに、実験から実機プラントに外挿する上で、コンクリート侵食の観点から影響度の大きな溶融物 - コンクリートインターフェイス挙動、上面クラスト伝熱挙動、落下直後のコンクリート壁との接触による初期クラスト生成(侵食における潜伏期)等について、解析モデルに基づく評価により精度の向上を図る。【分類③】



出典：OECD/MCCI-2005-TR06, M.T.Farmer et al., OECD MCCI Project Final Report(2008).

(a) OECD/MCCI-CCI3 における異方性侵食



(b) MCCI モデル

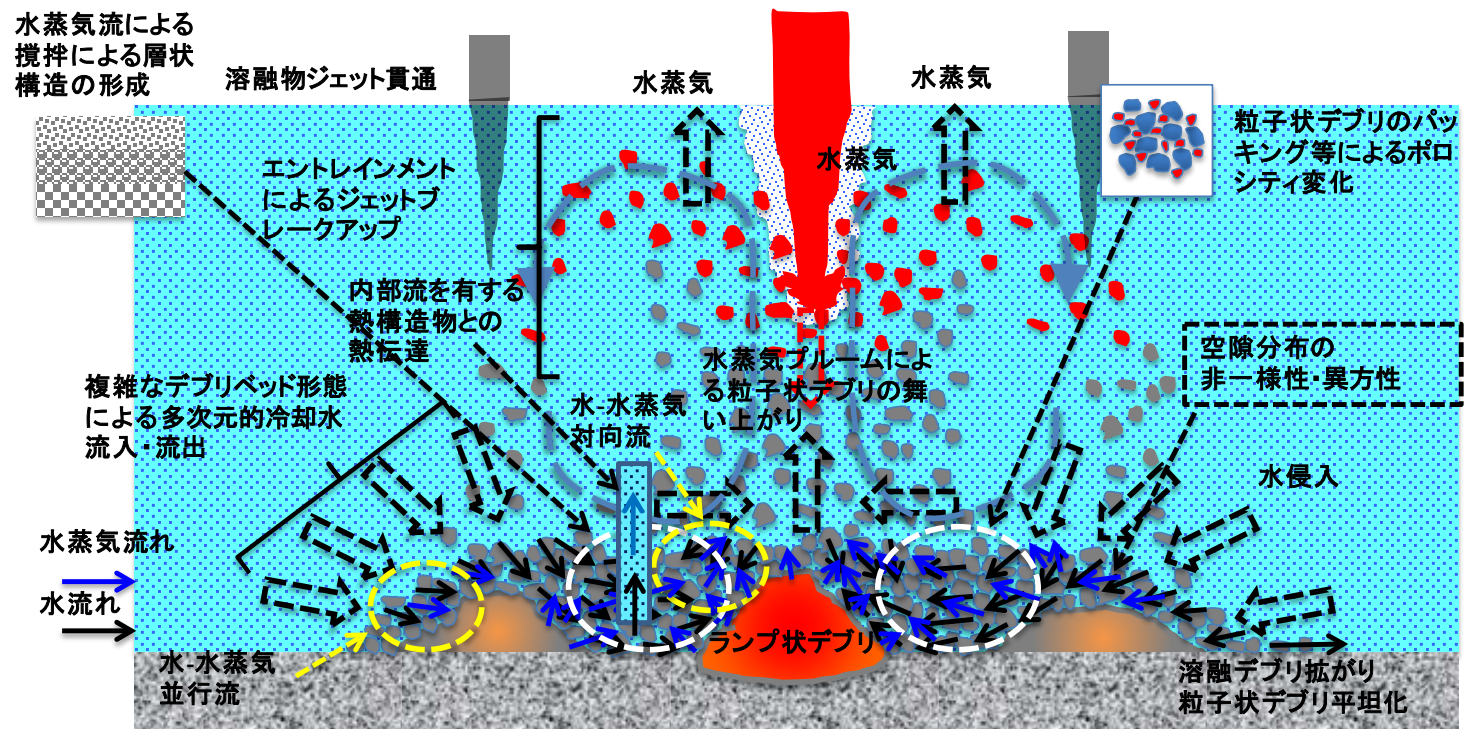
図2 OECD/NEA/CSNI-MCCI におけるコンクリート侵食解析例

### (3) キャビティ注水時のデブリ冷却性解析コードの開発

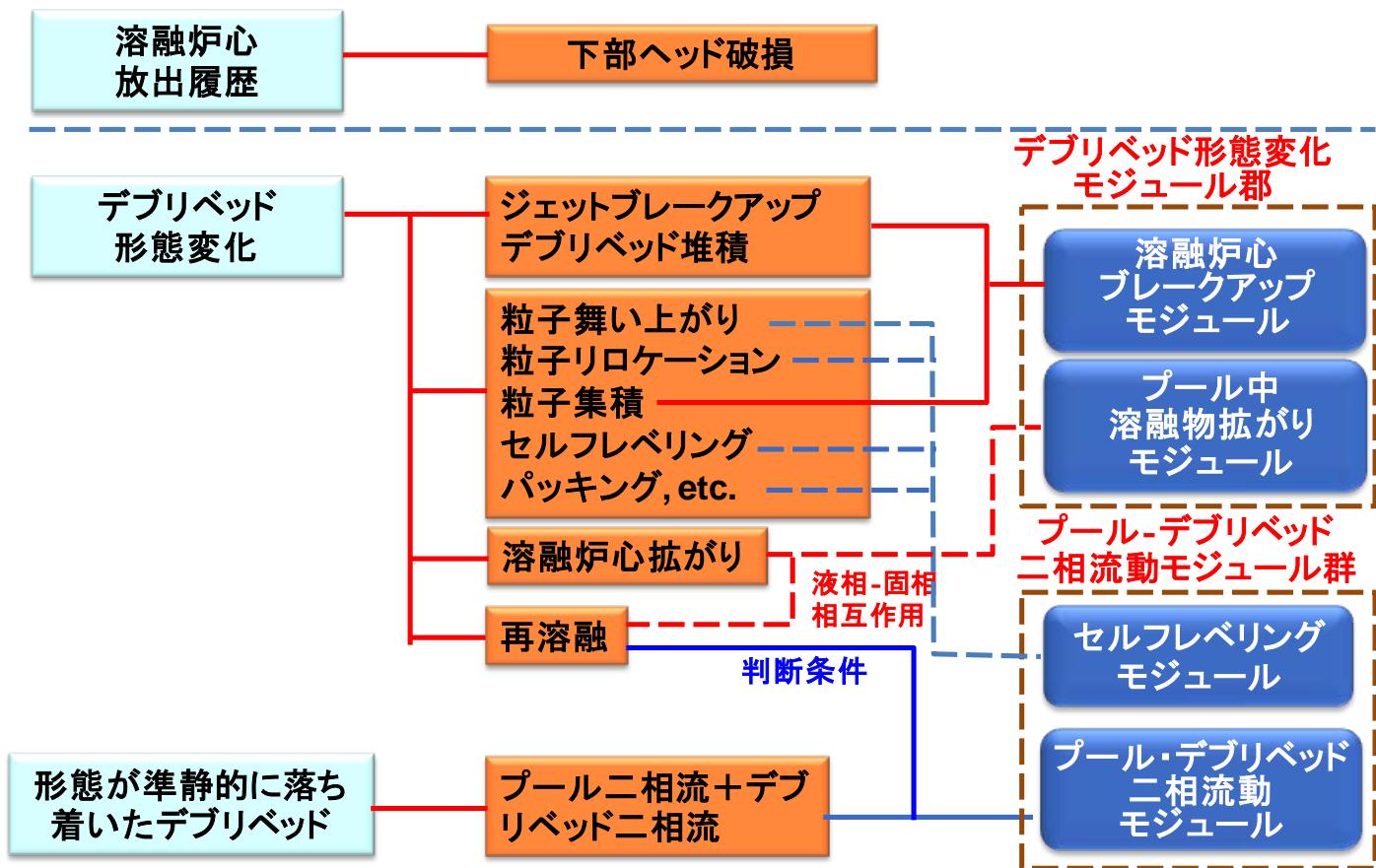
我が国の軽水炉において事業者が採用するキャビティへの先行注水では、プール水中に高温の発熱溶融デブリが落下する場合には、溶融デブリの一部は水との相互作用によって一部は細粒化し、その他は塊のまま床面に堆積する。(図3 (a)) このようなデブリベッド形成の詳細な過程を個別現象に分解した。(図3 (b)) これまでに複雑な多孔質体であるデブリベッド内の熱流動に係る数値モデルを開発している。ここでは、国内機関との協力を含めてこの解析コードの開発をさらに進め、複数箇所からの多段階溶融物放出への対応や、水中における溶融物のジェットブレイクアップモデル、水中の床面上における溶融物の拡がり等、非定常かつ非一様なデブリベッド形成に関するモジュールを開発し、これを堆積したデブリベッド - プール体系の冷却を扱うモジュールと結合し、格納容器キャビティ内でのデブリ冷却性に関する種々のシナリオを扱うことができる解析コード体系を開発する。

また、開発したコードについては、IKE 等が実施したデブリベッド実験との比較及び「軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験」において取得する KTH が行うデブリ形成過程に関する実験データベースに基づき不確かさを含めた予測性の評価を行う。さらに、既往の実験にこれらの実験を併せた実験データベースと、ここで開発する解析コード体系に基づき、実機において想定される種々のシナリオに対応したデブリベッド形態に対応し、不確かさの評価を含めた評価手法を構築することができる。【分類③】





(a) デブリベッド形成概念図



(b) デブリベッド形成に係る現象の分解

図3 溶融デブリ落下後のデブリベッド形成及び冷却性モデル

#### (4) 放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発

重大事故時のソースタームの評価では、放射性物質の燃料からの放出、原子炉冷却系から格納容器への移行、環境への放出等のそれぞれの移行挙動の考慮が課題として残っている。環境への移行量の不確かさには、発生、放射性物質の形態（ガス状、エアロソル状等）、格納容器内での除去メカニズム（重力沈降、泳動等）、緩和設備の効果（スプレー、プールスクラビング等）等が複合的に影響するため、精度の向上のためには、国内機関との協力を含めたこれらの移行挙動に対する解析モデルの開発が重要である。

図4に示すように、ソースターム評価に関連する種々の実験が国際共同実験等で実施されており、これらで得られたデータ及び知見を取り入れ、ソースターム評価モデルを開発する。ただし、これらの実験には個別効果実験等も含まれており、実規模スケールの評価に適用する場合には不確かさを評価する必要がある。最終的に、これらの評価モデルは、計算効率やシステムレベル解析において得られる変数のスケールに合わせて縮約し、MELCORに組み込むことを目的として開発する。MELCORへの組み込みは「軽水炉の重大事故における格納容器機能喪失及び確率的リスク評価に係る解析手法の整備」において実施する。【分類③】

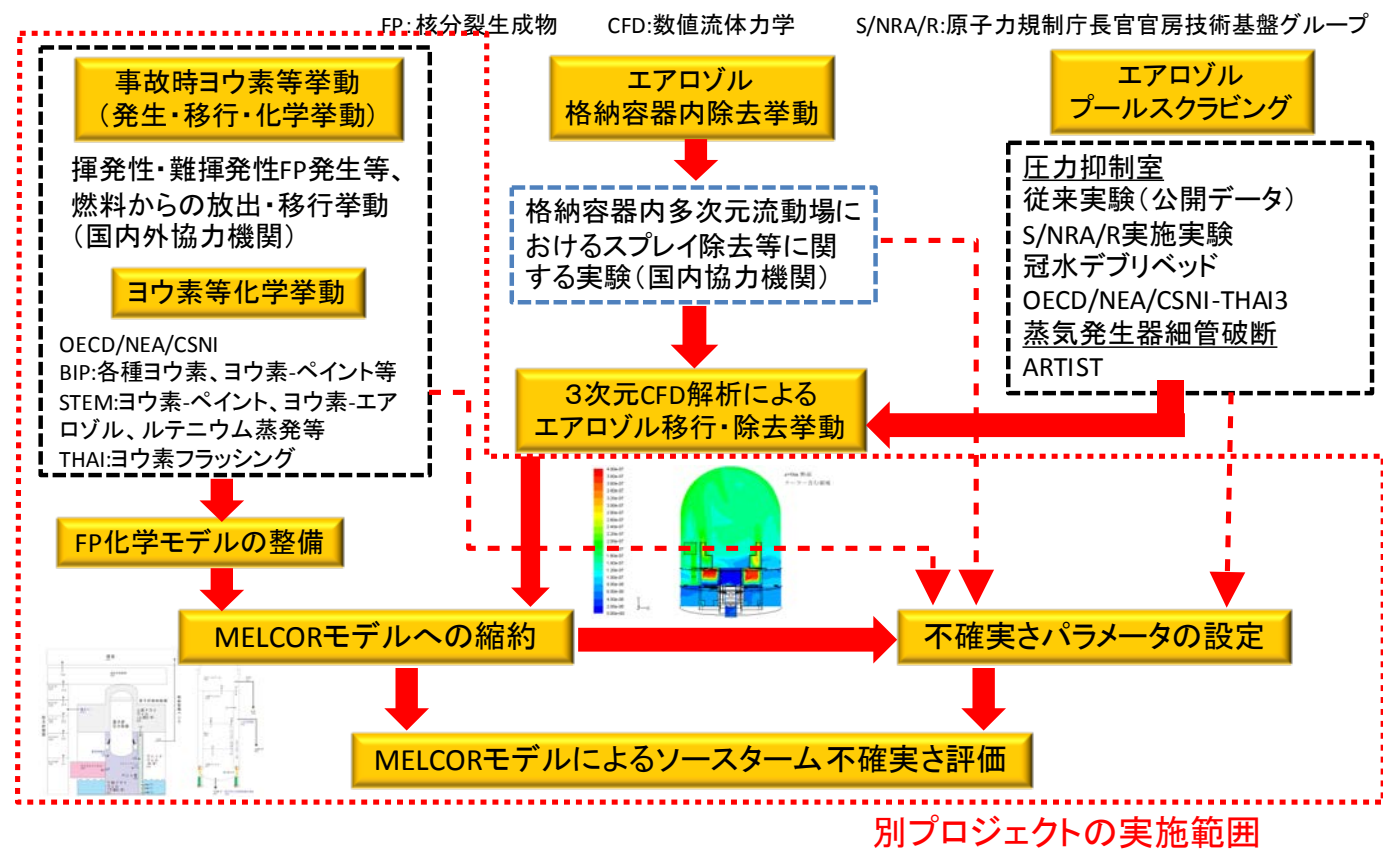


図4 放射性物質生成・移行・除去モデル開発

工程表

	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度	平成33年度	平成34年度
(1)	溶融燃料 - 冷却材相互作用解析コードの開発 数値モデル検討 既往コード改良 単体検証 論文公表	数値モデル検討 既往コード改良 単体検証	数値モデル検討 コード開発 結合検証 妥当性確認 不確かさ評価	技術報告 公表		
(2)	溶融炉心 - コンクリート相互作用解析コードの開発 数値モデル検討 コード開発 単体検証	数値モデル検討 コード開発 単体検証 学会公表	数値モデル検討 コード開発 結合検証 妥当性確認 不確かさ評価	技術報告 公表		
(3)	キャピティ注水時のデブリ冷却性解析コードの開発 数値モデル検討 コード開発 単体検証 妥当性確認 論文公表	コード開発 単体検証 妥当性確認	コード開発 結合検証 妥当性確認 不確かさ評価 論文公表			
(4)	放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発 数値モデル検討 コード開発	単体 3次元解析手法の開発 単体コード開発	単体 3次元解析手法の開発 妥当性確認	3次元解析手法の開発 妥当性確認 論文公表	3次元解析手法の開発 妥当性確認 論文公表	感度解析 不確かさ評価 技術報告 公表
	随時反映	随時反映	随時反映	随時反映	随時反映	随時反映
	安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化					

7. 実施計画

【平成29年度の実施内容】

(1) 溶融燃料 - 冷却材相互作用解析コードの開発

- a. 数値モデル検討：MC3D等によるSERENA2多次元流動現象データの分析結果、KTHにおけるPULiMS実験結果等を調査し、新知見としてモデルに取り入れるべき項目を抽出する。さらに、JASMINEの改良を念頭に必要な現象モデルの数値化を開始する。
- b. 既往コード改良：既往コードの構造を調査し、上記数値モデルの組み込みを実施する。
- c. 単体検証：組み込んだ数値モデルの機能を単体検証する。

(2) 溶融炉心 - コンクリート相互作用解析コードの開発

- a. 数値モデル検討：CORQUENCHコード等の公開されているMCCIコードにおける上面クラスト熱伝達モデル、異方性侵食に関する欧州を中心としたモデル化に関する文献を調査し、コードの仕様を検討する。実施計画を立案して目標を設定し、このために必要な現象モデルの数値化を実施する。
- b. コード開発：上記数値モデルの組み込みを実施する。
- c. 単体検証：組み込んだ数値モデルの機能を単体検証する。

(3) キャピティ注水時のデブリ冷却性解析コードの開発

- a. 数値モデル検討：IVMR (In-Vessel Melt Retention) 及びEVDC (Ex-Vessel Debris Cooling)に関する文献を調査し、圧力容器貫通、デブリベッド形成等に関するモデル化に関する情報を整理する。実施計画を立案して目標を設定し、このために必要な現

	<p>象モデルの数値化を実施する。</p> <p>b. コード開発：上記数値モデルの組み込みを実施する。</p> <p>c. 単体検証：組み込んだ数値モデルの機能を単体検証する。</p> <p>d. 妥当性確認：実験の存在する現象について予測計算を実施する。</p> <p><b>(4) 放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発</b></p> <p>a. 数値モデル検討：酸化雰囲気でのルテニウムの酸化挙動、燃料からの放出挙動及び原子炉冷却系での移行挙動を調査し、モデル化に関する情報を整理する。実施計画を立案して目標を設定し、このために必要な現象モデルの数値化を実施する。</p> <p>b. コード開発：上記数値モデルの組み込みを実施する。</p>
	<p>【平成30年度の実施内容】</p> <p><b>(1) 溶融燃料 - 冷却材相互作用解析コードの開発</b> 数値モデル検討、JASMINE コード改良及び追加モジュールを開発し、仮想問題に基づく単体検証を実施する。</p> <p><b>(2) 溶融炉心 - コンクリート相互作用解析コードの開発</b> 数値モデル検討、コード開発を進め、仮想問題に基づく単体検証を実施する。</p> <p><b>(3) キャピティ注水時のデブリ冷却性解析コードの開発</b> コード開発を進め、単体検証及び実験データに基づく妥当性確認を実施する。さらに、不確かさ評価法を開発する。</p> <p><b>(4) 放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発</b></p> <p>a. プールスクラビング：単体3次元解析手法の開発</p> <p>b. エアロゾル移行：単体3次元解析手法の開発</p> <p>c. ヨウ素等：単体コード開発</p>
	<p>【平成31年度の実施内容】</p> <p><b>(1) 溶融燃料 - 冷却材相互作用解析コードの開発</b> 数値モデル検討及びコード開発を進め、結合検証及び実験データに基づく妥当性確認を実施する。また、実験及び実規模スケールにおける不確かさ評価を実施する。</p> <p><b>(2) 溶融炉心 - コンクリート相互作用解析コードの開発</b> コード開発を進め、結合検証及び実験データに基づく妥当性確認を実施する。また、実験及び実規模スケールにおける不確かさ評価を実施する。</p> <p><b>(3) キャピティ注水時のデブリ冷却性解析コードの開発</b> コード開発を進め、結合検証及び実験データに基づく妥当性確認を実施する。また、実験及び実規模スケールにおける不確かさ評価を実施する。</p> <p><b>(4) 放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発</b></p> <p>a. プールスクラビング：単体3次元解析手法の開発、実験データに基づく妥当性確認</p> <p>b. エアロゾル移行：単体3次元解析手法の開発、実験データに基づく妥当性確認</p> <p>c. ヨウ素等：単体コード開発、実験データに基づく妥当性確認</p>
	<p>【平成32年度の実施内容】</p> <p><b>(4) 放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発</b></p> <p>a. プールスクラビング：結合評価、3次元解析手法の開発、実験データに基づく妥当性確認</p> <p>b. エアロゾル移行：結合評価、3次元解析手法の開発、実験データに基づく妥当性確認</p> <p>c. ヨウ素等：結合評価、コード開発、実験データに基づく妥当性確認</p>
	<p>【平成33年度の実施内容】</p> <p><b>(4) 放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発</b></p> <p>a. プールスクラビング：結合評価、3次元解析手法の開発、実験データに基づく妥当性確認</p> <p>b. エアロゾル移行：結合評価、3次元解析手法の開発、実験データに基づく妥当性確認</p> <p>c. ヨウ素等：結合評価、コード開発、実験データに基づく妥当性確認</p>
	<p>【平成34年度の実施内容】</p> <p><b>(4) 放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発</b></p> <p>a. プールスクラビング：感度解析、不確かさ評価法の開発</p> <p>b. エアロゾル移行：感度解析、不確かさ評価法の開発</p> <p>c. ヨウ素等：感度解析、不確かさ評価法の開発</p>
8. 備考	

(プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	12. 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	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官 (シビアアクシデント担当) 付
2. カテゴリー・研究分野	(2) 原子炉施設 ②シビアアクシデント		
3. 背景	<p>重大事故における格納容器破損防止に係る実機解析においては、事故の影響が及ぶ広範な領域における幅広い事故シナリオに対する既存解析コードの改良及びこれらを用いた評価手法の整備を進め、レベル 2 及びレベル 3 確率論的リスク評価 (以下「PRA」という。) 手法等の安全評価に対して最新知見を継続的に反映していくことが重要である。</p> <p>(1) 格納容器破損防止対策の評価手法の整備          実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈 (平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定) では、重大事故時の格納容器破損防止対策の有効性確認について、沸騰水型原子炉 (以下「BWR」という。) 及び加圧水型原子炉 (以下「PWR」という。) に対して 6 つの「必ず想定する格納容器破損モード」を定め格納容器破損防止対策の有効性を確認している。加えて PRA を実施し、「有意な頻度又は影響をもたらす格納容器破損モード」があれば新たに追加することが求められている。</p> <p>重大事故時の格納容器内事故進展の解析では、プラント全体を考慮し、幅広いスケールに及ぶ多数の物理化学現象の相互作用を扱う総合重大事故現象解析コード (Integral Code) を用いるアプローチにより基本的な格納容器負荷を評価する。同時に、特定の複雑な物理化学現象の相互作用については、空間及び時間的に高い解像度を有する個別現象解析コード (Dedicated Code) を用いるアプローチを併用している。格納容器破損に係る物理化学現象及びこれらに対するプラント応答の解析コードによる予測の不確かさを低減するため国内外において研究活動が活発に継続している。ここでは、国際協力実験等への参加による実験データの取得並びに解析コード及びその用法に関する最新の知見を反映し、上記 2 種類のアプローチを併用した解析手法の整備を進めていくことは、広いスケールに及ぶ物理化学現象を適切に扱う必要がある重大事故解析において重要である。</p> <p>(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備          これまでに、内部事象を対象としたレベル 2 PRA 評価手法の整備を進めてきた。平成 25 年に改正された「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、安全性向上評価において個別プラントのリスクプロファイルを明確化するために、レベル 2 PRA の実施が見込まれている。レベル 2 PRA 評価手法を改良するとともに、外部事象等にその適用範囲を拡大し、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資することが重要である。</p> <p>東京電力福島第一原子力発電所事故 (以下「1F 事故」という。) 後の国際的な動向を踏まえて、これまでにレベル 3 PRA 手法の整備を進めてきた。今後、確率論的リスク評価 (PRA) の成熟状況に応じて、将来的に実用発電用原子炉施設においてサイト特性評価を踏まえたサイト外に対するリスクの評価を実施するため、レベル 3 PRA を活用したリスク評価に向けた検討を開始する。</p> <p>(3) 環境影響評価手法の整備          1F 事故では、1 号機から 3 号機までが炉心損傷し、大量の放射性物質が環境に放出され、大気中及び海洋に拡散した。ソースターム評価の精度向上のために、敷地境界近傍等の計測値及び数値解析等を組合わせた放射性物質の環境への放出量を推定する評価手法の整備が重要である。</p> <p>また、緊急時対策所等の居住性に係る被ばく評価の精度向上のため、直接線及びスカイシャインによる被ばく評価の不確かさ等について知見を得ることが重要である。</p>		
4. 目的	<p>(1) 格納容器破損防止対策評価手法の整備          基準類策定、安全性向上評価、重大事故対策の有効性判断、1F 事故の分析等に適用できる総合現象解析コード及び個別現象解析コードによる評価手法を整備し、必要な場合にはモデル改良を実施する。また、実機相当レベルのデータを含む妥当性確認用データの取得を行い不確かさの定量評価手法を整備する。</p> <p>1) 総合現象解析コードによる評価手法の整備          重大事故総合解析コード MELCOR により 1F 事故分析に資する解析を実施する。これにより、実機解析におけるモデル化、境界条件等の課題を抽出し、同プラントの事故分析及び実機プラントに対する解析技術を整備する。また、ヨウ素及びルテニウムの化学的挙動に関する解析モデルを整備する。別プロジェクトにて実施するエアロゾルの移行に関する詳細評価手法を合わせ、これを MELCOR 内に縮約して組み込むことにより事故進展解析における放射性物質放出挙動評価の精度を向上する。</p> <p>2) 個別現象解析コードによる評価手法の整備          水素燃焼、メルトスプレッド/熔融炉心-コンクリート相互作用の重畳現象、及び静的・動的負荷に対する格納容器閉じ込め機能に関する詳細解析手法及び不確かさの低減のためのモデル整備を行う。個別現象に関する経済協力開発機構原子力機関原子力施設安全委員会 (以下「OECD/NEA/CSNI」という。) が主催する実験等に参加し、実験データ等の成果を取得する。</p> <p>(2) 確率論的リスク評価に関連する評価手法の整備          1) 外部事象に係るレベル 2 PRA 手法の整備          レベル 2 PRA 評価においては、物理化学現象に加えて、格納容器イベントツリ上にシステム非信頼性解析モデルを一括して扱う手法を整備し、これにより外部事象を考慮した格納容器破損頻度及び環境への放射性物質放出量評価手法、複数立地評価手法等を整備する。</p> <p>2) レベル 3 PRA 手法の整備          重大事故等対処設備を考慮したレベル 1 からレベル 3 までの PRA 結果から、濃度、線量等のリスクの指標を検討するとともに、</p>		



	<p>リスク指標を評価するためのレベル 3PRA 手法を整備する。また、代表プラントのリスク評価を行い、防護措置の効果等に係る技術的知見を取得する。</p> <p>(3) 環境影響評価手法の整備</p> <p>1) 放射性物質の環境拡散評価手法の整備</p> <p>1F 事故における環境への放射性物質の放出量の推定のために、地形影響等を考慮した大気拡散モデル、海洋拡散モデル及び陸上動態モデルを統合した環境拡散評価手法を整備する。</p> <p>2) 遮蔽解析に係る技術的知見の整備</p> <p>緊急時対策所等の居住性等に係る被ばく評価について、直接線及びスカイシャイン線に対する建屋等による遮蔽評価の確認に資する技術的知見を取得し被ばく評価手法を整備する。</p>
5. 知見の活用先	<p>解析コードによる評価及び PRA は、新規規制基準における事故シーケンス選定、有効性評価等の適合性審査の確認に資する。また、事故進展解析、分岐確率、放射性物質放出挙動評価等について、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資する。さらには代表プラントの PRA の信頼性の継続的な改善等に資する。</p> <p>また、原子力災害対策指針の防護措置に係る参考情報に資する。</p>
6. 安全研究概要 (始期：平成 29 年度) (終期：平成 34 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> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 規制活動に必要な手段の整備 (以下「分類③」という。)</li> </ul> <p>格納容器破損防止対策評価手法、PRA 及び環境影響評価に関する評価手法を整備するとともに、OECD/NEA/CSNI が行う国際共同プロジェクトに参加し、評価手法の妥当性確認のための実験データベース等の取得を行う。</p> <p>(1) 格納容器破損防止対策評価手法の整備【分類③】</p> <p>1) 総合現象解析手法の整備</p> <p>① MELCOR による実機規模解析技術の整備</p> <p>MELCOR を用い、1F 事故解析を実施し、これに基づき実機規模の解析評価モデル及び評価手法を整備する。さらに、事故時の詳細な計測結果が存在する福島第二原子力発電所について MELCOR による解析を実施する。両ケースを比較することにより実機規模解析における課題を抽出する。</p> <p>② ヨウ素及びルテニウム化学挙動並びにエアロソルの移行に関する評価手法の整備</p> <p>「④ OECD/NEA/CSNI 主催の実験、解析及び調査プロジェクトからの情報収集」の一環として参加する放射性物質放出挙動関連国際実験プロジェクト BIP3 及び STEM2 において得られたヨウ素(無機、有機)及びルテニウムの化学的挙動に関するデータに基づき、ヨウ素(無機、有機)及びルテニウムに関する評価モデルを整備する。</p> <p>「軽水炉の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発」の一環として開発する格納容器内でのエアロソルの除去メカニズム(重力沈降、泳動等)、緩和設備の効果(スプレー、プールスクラビング等)等に関する詳細解析モデルを MELCOR スケールのモデルに適用するように縮約する。</p> <p>2) 個別現象解析手法の整備</p> <p>① 格納容器破損モード(水素燃焼)評価の整備</p> <p>詳細数値流体力学(以下「CFD」という)解析による水素燃焼解析手法は研究途上の段階にあるが、遅い火炎から中速度の火炎については、均一水素濃度場を中心とした実用的な CFD 解析モデルが提案されている。こうしたモデルにより、格納容器破損のみならず、水素が停留する可能性のある安全系の機能に関する詳細な評価手法を整備する。「④ OECD/NEA/CSNI 主催の実験、解析及び調査プロジェクトからの情報収集」の一環として参加する水素リスク関連国際実験プロジェクト THAI3、HYMERES 等で得られた実験データに基づき、噴流による成層崩壊に対する予測性を確認した乱流モデルを適用して、クーラー、スプレー等の安全機器による格納容器雰囲気流れ場への影響を CFD 解析により評価し、格納容器内の局所的な温度及び濃度等を定量的に評価する手法を整備する。</p> <p>a. 水素混合解析の整備</p> <p>汎用 CFD 解析コード及び原子力専用詳細解析コードを用い、比較的詳細なメッシュに基づき、安全上重要な水素の大局的流動現象(対流、成層化等)とその形成・崩壊過程及び局所的流動現象(区画内の滞留等)に関する解析手法を整備する。また、構造体表面での凝縮熱伝達、スプレー、クーラ等複数の安全機器の作動時に生じる熱流動上の相互作用、静的触媒式水素再結合器(PAR)及びイグナイター等のモデルパラメータはメッシュサイズによる影響を受けることが考えられる。</p> <p>こうしたメッシュ詳細化によるモデル適用法の課題が存在することを踏まえて、格納容器内の多次元空間熱流動に及ぼす影響を把握するため、国際協力プロジェクト(OECD/NEA/CSNI-HYMERES)及び「軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験」にて国内協力機関が実施する「重大事故時格納容器熱流動実験(CIGMA)」等にて得られるデータに基づく実験解析を行い、実機評価のための技術的知見を整備する。さらに、静的触媒式水素再結合器(PAR)に関する THAI 実験シリーズのデータを利用し、その起動、配置、処理能力、設置数等に関する評価手法を整備する。次の b. の水素燃焼解析手法を併用し、重大事故時に想定される水素漏えいモードに対する水素濃度制御を評価する。</p> <p>b. 水素燃焼解析の整備</p> <p>国際協力プロジェクト実験(OECD/NEA/CSNI-THAI 計画等)として実施された既往水素燃焼実験及び同 THAI3 で実施される燃焼区間伝播実験に対して CFD 解析を実施し、非均一水素濃度場及び水蒸気混合気場における水素燃焼モデルの適用性拡大を図る</p>

とともに、火災加速領域に適用できる水素燃焼解析評価手法を整備する。本評価により、実装可能な水素濃度制御によって局在化する可能性がある水素の燃焼についての影響等を評価する。

② 格納容器破損モード（メルトスプレッド/溶融炉心-コンクリート相互作用の重畳現象）評価手法の整備

溶融炉心が落下後キャビティ床面上を拡がり、更に溶融炉心-コンクリート相互作用によりコンクリートが侵食する総合的挙動を評価する。使用する解析コードは、別プロジェクトにおいて開発する溶融炉心のキャビティ床面拡がり解析コード及び MELCOR 内蔵の CORCON とする。国内外において公開されているドライ条件及びウェット条件での実験データを整理し、本評価システムの妥当性確認のために利用する。

③ 格納容器破損モード（静的・動的負荷）評価手法の整備

既往の国内外の静的・動的負荷に対する格納容器閉じ込め機能の維持に関する実験結果及び解析結果に基づき、特に格納容器機能喪失に係る物理化学現象に伴って発生する動的荷重に対する格納容器機能の維持に関する評価手法を整備する。

④ OECD/NEA/CSNI 主催の実験、解析及び調査プロジェクトからの情報収集

以下のプロジェクトに参加し、関係機関と協力して解析コードの妥当性確認のためのデータ取得及び専門家との情報交換を通じての現象理解及び解析手法に関する知見を取得する。

プロジェクト	取得対象	活用先
BIP3	ヨウ素化学的挙動に関する実験データ	別プロジェクトの「軽水炉の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発」で実施する「放射性物質生成・移行・除去解析コードの開発」、本プロジェクトの「ヨウ素及びルテニウム化学挙動並びにエアロソルの移行に関する詳細評価手法の整備」において活用。
STEM2	ヨウ素及びルテニウムの化学的挙動に関する実験データ	同上
THAI3	水素混合、水素燃焼、ヨウ素移行、プールスクラッピング等に関する実験データ	本プロジェクトの「水素混合・燃焼解析の整備」において活用。
HYMERES2 (予定)	水素混合に関する実験データ	同上
SAREF 後継 プロジェクト (予定)	1F 事故の教訓に基づく安全研究に関する知見	総合現象レベル及び個別現象レベルにおける優先順位を本プロジェクトに適切にフィードバック。

(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備【分類③】

1) 外部事象に係るレベル 2PRA 手法の整備

重大事故等対処設備の信頼性を格納容器イベントツリに組み込むことにより、設備間の相互依存性等を考慮したレベル 2PRA 評価手法を整備する。本評価手法を適用しレベル 2 地震 PRA 及び複数立地を含む代表プラントの評価を行う。

2) レベル 3PRA 手法の整備

重大事故等対処設備を考慮したレベル 1 からレベル 3 までの PRA 結果から、濃度、線量等のリスクの指標を検討するとともに、リスク指標を評価するための手法を整備する。また、代表プラントのリスク評価を行い、防護措置による被ばく低減効果、複数基立地の影響等に係る技術的知見を整備する。

(3) 環境影響評価手法の整備【分類③】

1) 放射性物質の環境拡散評価手法の整備

地形影響等を考慮した詳細評価手法を用いた大気拡散モデル、海洋拡散モデル及び陸上動態モデルを統合した評価手法を整備し、国内の代表プラントに対する環境影響解析に適用する。

2) 遮蔽解析に係る技術的知見の整備

点減衰核法、 $S_N$ 法及びモンテカルロ法を用いて原子力発電所を対象とした解析を行い、原子炉建屋、放射性雲等からの直接線及びスカイシャイン線に対する建屋等による遮蔽評価の確認に資する技術的知見を整備する。

工程表

	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度	平成33年度	平成34年度
(1) 1)	OMELCORによる実機規模解析技術の整備 1F事故進展解析					解析手法の妥当性確認
			福島第二原子力発電所事故進展解析 入力整備	炉心損傷防止事例解析	圧力抑制室温度分布評価	
(1) 2)	○ヨウ素及びルテニウム化学挙動並びにエアロゾルの移行に関する評価手法の整備 無機ヨウ素評価モデル・エアロゾル		有機ヨウ素評価モデル・エアロゾル			技術報告
					ルテニウム評価モデル・エアロゾル	
(1) 2)	○格納容器破損モード（水素燃焼）評価手法の整備 水素混合解析手法の整備		水素燃焼解析手法の整備			
			CIGMA試験(JAEA)			
(1) 2)	○格納容器破損モード（溶融炉心・コンクリート相互作用）総合評価手法の整備 溶融物のキャビティ床面拡がり（ドライ）		溶融物のキャビティ床面拡がり（ウェット）			炉外デブリの冷却性
(1) 2)	○格納容器破損モード（雰囲気圧力・温度による静的負荷）評価手法の整備 格納容器等の静的・動的負荷に対する構造応答					
(1) 2)	OOECD/NEA/CSNI主催の実験、解析及び調査プロジェクトからの情報収集 BIP3（事故時ヨウ素挙動） STEM2（放射性物質放出挙動に関する実験） TAH3（格納容器内水素挙動） HYMERS2（水素成層化等の解析評価：予定） SAREF後継プロジェクト（1F事故に関する研究：予定）					
	随時反映	随時反映	随時反映	随時反映	随時反映	技術報告
(2) 1)	○外部事象に係るレベル2PRA手法の整備 外部事象の緩和策への影響評価					
			複数基立地の影響評価			放射性物質放出挙動評価
(2) 2)	○レベル3PRA手法の整備 リスク指標の検討					
			リスク評価手法の整備		代表プラントにおけるリスク評価	
(3) 1)	○放射性物質の環境拡散評価手法の整備 大気拡散モデル及び海洋拡散モデルの整備					
			陸上動態モデルの整備		モデル統合化及び解析	論文公表
(3) 2)	○遮蔽解析に係る技術的知見の整備 点減衰核法及びS <sub>1</sub> 法を用いた遮蔽解析に係る技術的知見の整備					論文公表
		モンテカルロ法を用いた遮蔽解析手法及びその適用事例に関する調査			モンテカルロ法を用いた遮蔽解析に係る技術的知見の整備	
随時反映						
原子炉制御室等居住性に係る被ばく評価に関する新規基準への適合性評価						

7. 実施計画

- 【平成29年度の実施内容】  
 (1) 格納容器破損防止対策の評価手法の整備  
 1) 総合現象解析手法の整備

MELCOR を用いた 1F 事故進展解析及び無機ヨウ素の詳細評価モデルを整備する。

2) 個別現象解析手法の整備  
格納容器破損モードに係る水素混合解析手法の整備 (CFD)、溶融物のキャビティ床面拡がり (ドライ)、鋼補強及び鉄筋コンクリートに関する構造応答解析モデルの検討。  
国際共同プロジェクト (ヨウ素挙動: BIP3、放射性物質放出挙動: STEM2、水素挙動: THAI3) に参加して、データを蓄積する。

(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備  
1) 外部事象に係るレベル 2PRA 手法の整備  
代表的な原子炉施設を対象にして重大事故等対処設備を考慮した格納容器イベントツリを構築する。  
2) レベル 3PRA 手法の整備  
国内 3 ループ PWR プラントを対象に、重大事故等対処設備を考慮したソースタームによるレベル 3PRA を行い、濃度、線量等のリスク指標を検討する。

(3) 環境影響評価手法の整備  
1) 放射性物質の環境拡散評価手法の整備  
公開モデルを用いた三次元大気拡散モデル及び海洋拡散モデルを整備する。  
2) 遮蔽解析に係る技術的知見の整備  
軽水炉を対象に点減衰核法を用いた解析を行い、遮蔽解析手法を原子炉施設に適用するための妥当性確認手法を整備する。

【平成 30 年度の実施内容】

(1) 格納容器破損防止対策の評価手法の整備  
1) 総合現象解析手法の整備  
前年度に引き続き、MELCOR を用いた 1F 事故進展解析及び無機ヨウ素の詳細評価モデルを整備する。  
2) 個別現象解析手法の整備  
水素混合解析手法の整備 (CFD)、溶融物のキャビティ床面拡がり (ドライ)、格納容器等の静的・動的負荷に対する構造応答解析手法の整備を進める。  
国際共同プロジェクト (BIP3、STEM2 及び THAI3) に参加して、データを蓄積する。

(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備  
1) 外部事象に係るレベル 2PRA 手法の整備  
前年度に引き続き、格納容器イベントツリ及びレベル 2PRA における外部事象の緩和策への影響を分析する。  
2) レベル 3PRA 手法の整備  
国内 4 ループ PWR プラント及び ABWR プラントを対象とした重大事故等対処設備を考慮したソースタームによるレベル 3PRA を行い、濃度、線量等のリスク指標を検討する。また、検討したリスク指標を評価するためのレベル 3PRA 手法を整備する。

(3) 環境影響評価手法の整備  
1) 放射性物質の環境拡散評価手法の整備  
前年度に引き続き、公開モデルを用いた三次元大気拡散モデル及び海洋拡散モデルの整備を進める。  
2) 遮蔽解析に係る技術的知見の整備  
前年度に引き続き、原子力発電所を対象に  $S_N$  法を用いた解析を行い、遮蔽解析手法を原子炉施設に適用するための妥当性確認手法を整備する。

【平成 31 年度の実施内容】

(1) 格納容器破損防止対策の評価手法の整備  
1) 総合現象解析手法の整備  
MELCOR による 1F 事故進展解析を進めるとともに、福島第二原子力発電所事故進展解析及び有機ヨウ素評価モデルの整備を進める。  
2) 個別現象解析手法の整備  
水素燃焼解析手法の整備を進めるとともに、平成 31 年度からは、条件を変更した溶融物のキャビティ床面拡がり (ウェット) の解析手法、格納容器等の静的・動的負荷に対する構造応答解析の整備を進める。  
国際共同プロジェクト (STEM2 及び THAI3) に参加して、データを蓄積する。

(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備  
1) 外部事象に係るレベル 2PRA 手法の整備  
前年度までに整備したレベル 2PRA 手法を適用して、複数基立地の影響評価を実施する。  
2) レベル 3PRA 手法の整備  
前年度に引き続き、リスク指標を評価するためのレベル 3PRA 手法を整備する。

(3) 環境影響評価手法の整備  
1) 放射性物質の環境拡散評価手法の整備  
前年度に引き続き、公開モデルを用いた三次元大気拡散モデル及び海洋拡散モデルの整備を進めるとともに、陸上動態モデルの整備に着手する。

【平成 32 年度の実施内容】

(1) 格納容器破損防止対策の評価手法の整備  
1) 総合現象解析手法の整備  
MELCOR による 1F 事故進展解析、福島第二原子力発電所事故進展解析、有機ヨウ素評価モデルの整備を進める。  
2) 個別現象解析手法の整備  
水素燃焼解析手法の整備、溶融物のキャビティ床面拡がり (ウェット) に関する解析手法の整備を進める。

(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備  
1) 外部事象に係るレベル 2PRA 手法の整備  
前年度に引き続き、複数基立地の影響評価を実施する。  
2) レベル 3PRA 手法の整備  
前年度までに整備したリスク評価手法及び被ばく低減解析手法を用いて、代表プラントにおけるリスク評価を行い、防護措置による被ばく低減効果、複数基立地の影響等に係る技術的知見を整備する。

(3) 環境影響評価手法の整備  
1) 放射性物質の環境拡散評価手法の整備



	<p>前年度に引き続き、公開モデルを用いた陸上動態モデルの整備を進める。</p> <p>2) 遮蔽解析に係る技術的知見の整備 モンテカルロ法を用いた遮蔽解析手法及びその適用事例に関する調査結果を整理し、原子力発電所を対象にモンテカルロ法を用いた解析を行い、分散低減手法等の妥当性確認に係る技術的知見を整備する。</p> <p>【平成33年度の実施内容】</p> <p>(1) 格納容器破損防止対策の評価手法の整備</p> <p>1) 総合現象解析手法の整備 MELCORによる1F事故進展解析、福島第二原子力発電所事故進展解析及び本年度から酸化ルテニウムの原子炉冷却系内移行挙動評価モデルの整備を進める。</p> <p>2) 個別現象解析手法の整備 水素燃焼解析手法の整備を進めるとともに、前年度までの成果を参考として炉外デブリの冷却性評価手法を整備する。</p> <p>(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備</p> <p>1) 外部事象に係るレベル2PRA手法の整備 格納容器イベントツリ及び放出カテゴリーに沿って、放射性物質放出頻度の計算に必要な放射性物質放出挙動評価を実施する。</p> <p>2) レベル3PRA手法の整備 前年度に引き続き、代表プラントにおけるリスク評価をを行い、防護措置による被ばく低減効果、複数基立地の影響等に係る技術的知見を整備する。</p> <p>(3) 環境影響評価手法の整備</p> <p>1) 放射性物質の環境拡散評価手法の整備 大気拡散、海洋拡散、陸上動態の各モデルを一体化し、統合的評価手法を整備するとともに、1F事故を対象に解析を行い、環境への放射性物質の放出量を推定する。</p> <p>2) 遮蔽解析に係る技術的知見の整備 原子力発電所を対象にモンテカルロ法を用いた解析を行い、モンテカルロ法を用いた遮蔽解析手法を原子炉施設に適用するための妥当性確認手法を整備する。</p> <p>【平成34年度の実施内容】</p> <p>(1) 格納容器破損防止対策の評価手法の整備</p> <p>1) 総合現象解析手法の整備 MELCORによる1F事故進展解析、福島第二原子力発電所事故進展解析を進める。 酸化ルテニウムの格納容器内移行挙動評価の詳細モデルを整備する。</p> <p>2) 個別現象解析手法の整備 前年度に引き続き、水素燃焼解析手法の整備、炉外デブリの冷却性評価手法の整備を進める。</p> <p>(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備</p> <p>1) 外部事象に係るレベル2PRA手法の整備 放射性物質放出挙動評価の結果を取りまとめ、事故シーケンスごとの格納容器機能喪失頻度、放射性物質の放出頻度及び放出量を明らかにする。</p>
8. 備考	<p>レベル2PRA及びレベル3PRAに係る研究を進める上で、次のレベル1PRA研究プロジェクトと協力する。</p> <p>9. 規制へのPRAの活用のための手法開発及び適用に関する研究 屋内退避などの防護措置による被ばく低減解析手法については、次のプロジェクトからの成果を反映する。</p> <p>30. 緊急時対応レベル(EAL)に係るリスク情報活用等の研究のうち、(2)被ばく低減解析手法の整備</p>

## (プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	13. 重大事故の事故シーケンスグループに係る事故進展解析	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官 (シビアアクシデント担当) 付
2. カテゴリー・研究分野	(2) 原子炉施設 ②シビアアクシデント		
3. 背景	<p>(1) 事故シーケンスグループの検討</p> <p>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。以下「設置許可基準規則」という。) では、炉心の著しい損傷を防止するための必要な措置を要求しており、その解釈の中で、炉心の著しい損傷の防止対策の有効性評価において想定する事故シーケンスグループを示している。</p> <p>発電用原子炉設置者は、設置許可基準規則の要求を満たすため、炉心の著しい損傷を防止するための必要な措置等である重大事故等対処設備を追加している。追加した重大事故等対処設備を考慮したレベル 1 確率論的リスク評価 (以下「PRA」という。) モデル及びレベル 2PRA モデルから、重大事故等対処設備の作動及び不動作を組み合わせた事故シーケンスを抽出することができる。さらに、これらの事故シーケンスの特徴等から、重大事故等対処設備の作動及び不動作を組み合わせた事故シーケンスグループを特定することができる。</p> <p>今後、重大事故等対処設備の作動及び不動作を組み合わせた事故シーケンス毎の格納容器内の事故の進展及びソースタームに係る知見を用いて、設置許可基準規則の解釈における事故シーケンスグループへの影響を確認することは、継続して種々の事故シーケンスに対する安全性を確認するために重要である。</p> <p>(2) 安全性に係る評価の高度化</p> <p>平成 25 年に改正された「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、その運用ガイドでは、発電用原子炉設置者は「原子炉等規制法第 43 条 3 の 6 及び第 43 条の 3 の 1 4 の基準その他関係法令を踏まえ、レベル 1 PRA 及びレベル 2 PRA を内部事象及び外部事象を対象に実施する」こと、そして原子力規制委員会は、「発電用原子炉設置者が採用した評価手法及びその技術的根拠を確認」することとしている。</p> <p>これまで、加圧水型原子炉施設 (以下「PWR プラント」という。) は代表的な 3 ループ PWR プラントについて、沸騰水型原子炉施設 (以下「BWR プラント」という。) は代表的な BWR5 プラントについて、レベル 1PRA から得られた主要な事故シーケンスを対象に、事故の進展に係る知見を整備してきた。</p> <p>今後、種々のプラントにおける重大事故等対処設備の作動及び不動作を組み合わせた事故シーケンスを対象にした事故の進展に係る知見を整備し、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による安全性に係る評価の高度化に資することが重要である。</p>		
4. 目的	<p>安全性に係る評価の高度化に資するため、種々の重大事故等対処設備の作動及び不動作を考慮した事故シーケンスにおける事故の進展に係る知見を整備する。</p> <p>また、PRA で使用する緩和設備の台数等の条件、緩和操作開始までの余裕時間の変化等を整理する。</p>		
5. 知見の活用先	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設置許可基準規則の解釈における事故シーケンスグループの検討。</li> <li>● 種々の事故シーケンスにおける事故進展解析の方法及びその技術的根拠について、将来的な安全性向上評価等のガイドの改訂等による、安全性に係る評価の高度化に資する。</li> <li>● レベル 1PRA モデル及びレベル 2PRA モデルの整備。</li> </ul>		
6. 安全研究概要 (始期:平成 29 年度) (終期:平成 31 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> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 技術基盤の構築・維持 (以下「分類④」という。)</li> </ul> <p>(1) 事故進展解析</p> <p>PWR プラント及び BWR プラントの種々のプラントについて、重大事故等対処設備を考慮した PRA のイベントツリーを分析し、LOCA 及び過渡事象の炉心注水失敗 (高圧系機能喪失、低圧系機能喪失)、崩壊熱除去機能喪失、補機冷却系機能喪失、格納容器バイパス等から解析対象とする事故シーケンスを選定する。選定した事故シーケンスについて、事故発生から格納容器破損までの事故進展解析を実施する (図 1)。また、選定した各事故シーケンスの事故進展の現象を支配する主要なパラメータを抽出し、事故発生から格納容器破損までの事故進展に係る感度解析を実施する。【分類④】</p>		

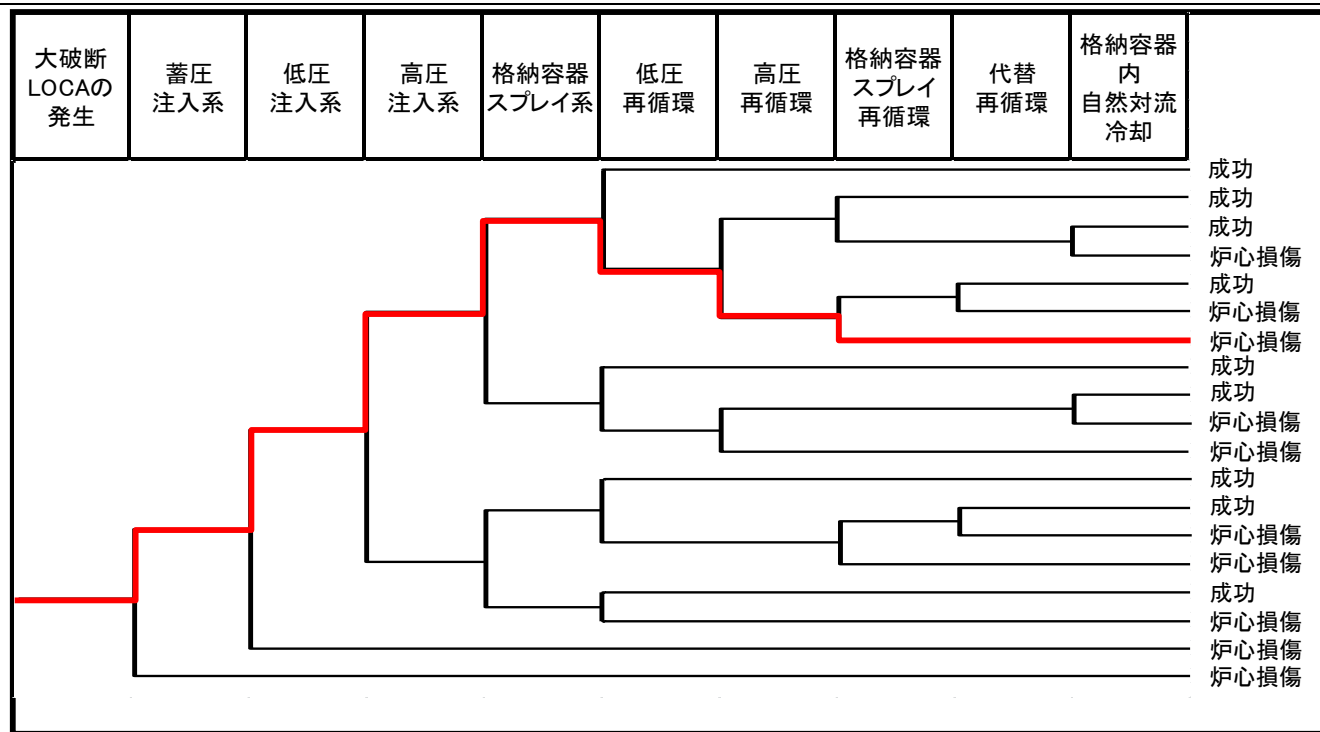
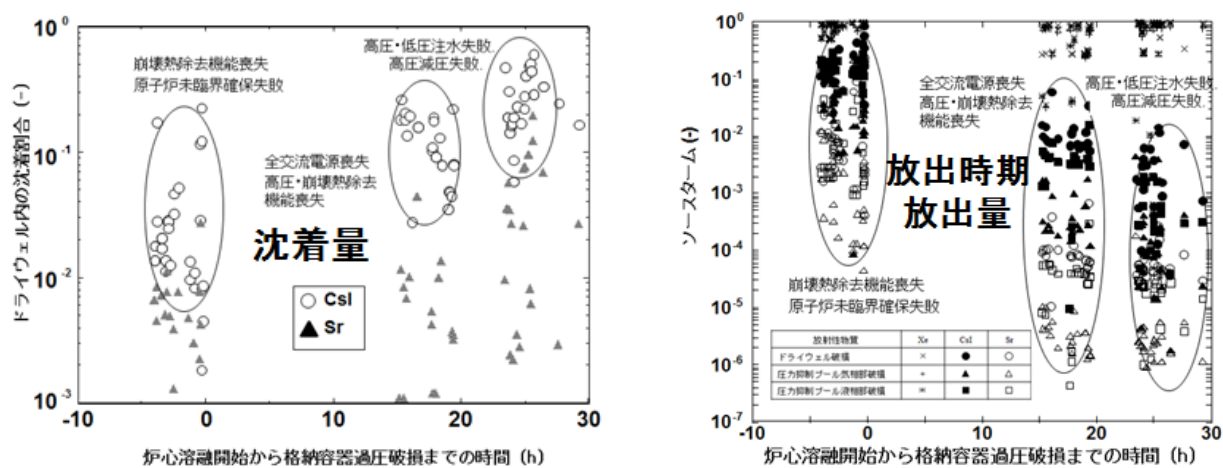


図 1. イベントツリーを用いて選定した事故シーケンスの例

(2) PRA の定量化に係る知見の整備

上記の(1)の結果に基づいて、炉心損傷もしくは格納容器破損に至る時間が早い事故シーケンスや、炉心損傷発生頻度もしくは格納容器機能喪失頻度の高い事故シーケンスの事故進展解析結果から、原子炉（圧力）容器及び格納容器の破損の発生時期、水素発生量、格納容器内の水素分布、放射性物質の沈着量等の解析結果を整理する（図 2）。また、感度解析の結果から、PRA で使用する緩和設備の台数等の条件、緩和操作開始までの余裕時間の変化等を整理する。【分類④】

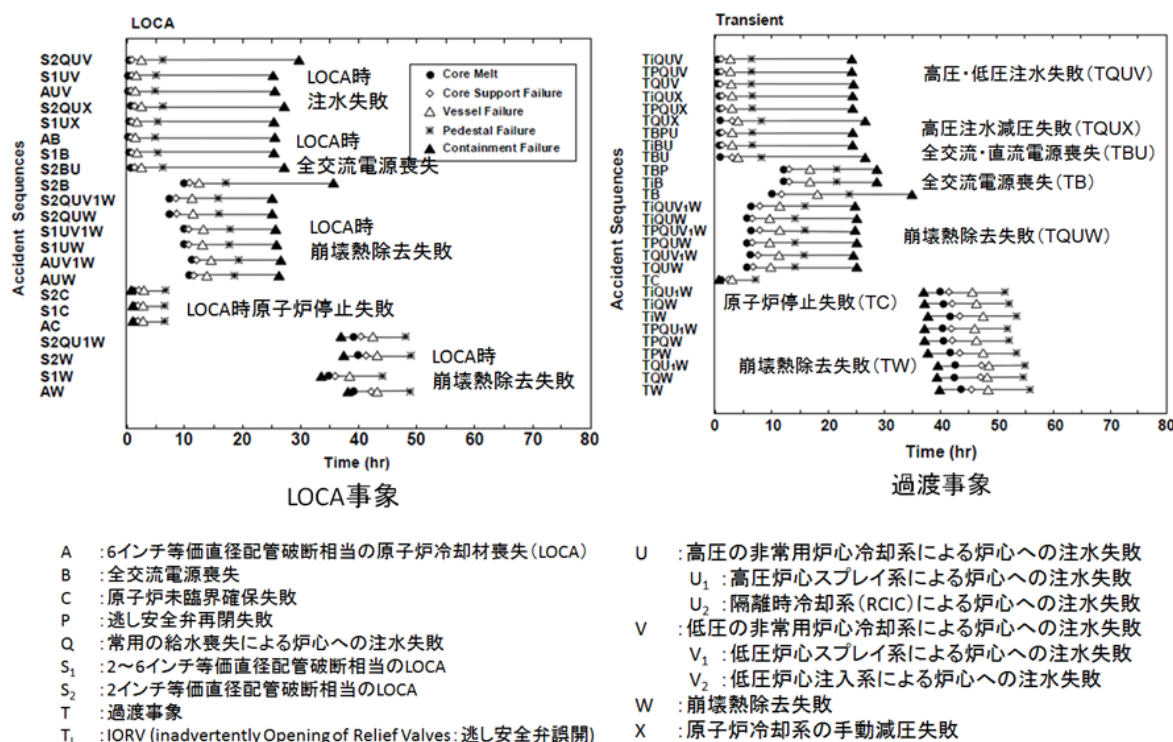


Ref. OECD/NEA/CSNI Report No.176 (1990)に修正加筆

図 2. 放射性物質の沈着量分布（イメージ図）

(3) 事故シーケンスのグループ化に係る検討

上記の(1)及び(2)の結果に基づいて、図 3 に示すようにプラント挙動、格納容器の状態及びソースタームの類似性から事故シーケンスをグループ化し、重大事故等対処設備を考慮した事故シーケンスグループの特徴に係る知見を整理する。また、整理した事故シーケンスから重要な事故シーケンスを抽出する。【分類④】



Ref. OECD/NEA/CSNI Report No.176 (1990)に修正加筆

図 3. 事故シーケンスグループの整理の例（イメージ図）

工程表

	平成29年度	平成30年度	平成31年度
(1) 事故進展解析	解析対象事故 事故シーケンスの選定 (炉心注水機能喪失)	事故進展解析、感度解析 (ECCS再循環失敗) (崩壊熱除去機能喪失)	(2次系除熱機能喪) (高圧注水・減圧失敗)
(2) PRAの定量化に係る知見の整備		上記事故シーケンスの事象発生時期、水素、放射性物質等の結果を集約 緩和設備の台数の条件等の知見の整備	学会発表 告書作成 NRA技術報 PRAモデルへ反映
(3) 事故シーケンスのグループ化に係る検討		事故シーケンスのグループ化及び事故シーケンスのグループに係る知見の整備 (事故シーケンスグループの特徴、類似性の分析)	(事故シーケンスグループの結果の集約) (重要事故シーケンスの抽出) 事故シーケンスグループの検討

7. 実施計画

【平成29年度の実施内容】

(1) 事故進展解析

- PWRプラント及びBWRプラントの代表的なプラントについて、炉心損傷に至るイベントツリー及び炉心損傷後のイベントツリーを基に、解析対象とする事故シーケンスを選定する。
- 代表的なPWRプラント及び代表的なBWRプラントの冷却材喪失事故（以下「LOCA」という。）及び過渡事象について、非常用炉心冷却系による事故シーケンスを対象に、シビアアクシデント総合解析コード（以下「MELCOR等」という。）を用いて事故シーケンスの事故進展を解析する。
- また、これらの事故シーケンスについて、LOCA時の破断口径等の想定事故の規模や緩和設備の動作開始時間等を対象にして、MELCOR等を用いて感度解析を実施し、事故進展への影響をまとめる。

【平成30年度の実施内容】

(1) 事故進展解析

- 代表的なPWRプラントのECCS再循環機能喪失の事故シーケンス（LOCA及び過渡）及び代表的なBWRプラントの崩壊熱除去機能喪失（LOCA及び過渡）の事故進展を解析する。
- また、これらの事故シーケンスについて、想定事故の規模や緩和設備の動作開始時間等を対象に、MELCOR等を用いて感度解析を実施し、事故進展への影響を分析する。

(2) PRAの定量化に係る知見の整備

- 事故進展の解析結果から、原子炉（圧力）容器及び格納容器の破損の発生時期、水素発生量、格納容器内の水素分布等の解析結果を事故シーケンス毎に整理する。
- 感度解析の結果から、PRAで使用する緩和設備の台数等の条件、緩和操作開始までの余裕時間の変化等を事故シーケンス毎に整理する。

(3) 事故シーケンスのグループ化に係る検討

- 上述の(1)及び(2)の結果からプラント挙動、格納容器の状態及びソースタームの類似性の観点から重大事故等対処設備を考慮した事故シーケンスグループの特徴をまとめる。

【平成31年度の実施内容】

(1) 事故進展解析

- 代表的な PWR プラントの 2 次冷却系からの除熱機能喪失の事故シーケンス及び代表的な BWR プラントの高圧注水・減圧機能喪失の事故シーケンスについて、MELCOR 等を用いて事故シーケンスの事故進展を解析する。
- これらの事故シーケンスについて、想定事故の規模や緩和設備の動作開始時間等を対象に、MELCOR 等を用いて感度解析を実施し、事故進展への影響を分析する。

(2) PRA の定量化に係る知見の整備

- 事故進展の解析結果から、原子炉（圧力）容器及び格納容器の破損の発生時期、水素発生量、格納容器内の水素分布、放射性物質の沈着量等の解析結果を事故シーケンス毎に整理する。
- 感度解析の結果から、PRA で使用する緩和設備の台数等の条件、緩和操作開始までの余裕時間の変化等を事故シーケンス毎に整理する。

(3) 事故シーケンスのグループ化に係る検討

- 上述の（1）及び（2）の結果からプラント挙動、格納容器の状態及びソースタームの類似性の観点から事故シーケンスグループの特徴をまとめる。
- 平成 29 年度、平成 30 年度及び平成 31 年度の解析結果をとりまとめ、重大事故等対処設備を考慮した事故シーケンスグループの炉心損傷、圧力容器破損、格納容器破損等の事象発生時期、水素発生量分布、放射性物質の放出量、ソースターム、等の特徴を明らかにする。各事故シーケンスのグループから重要な事故シーケンスを抽出する。

8. 備考

## (プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	23. 重大事故時の原子炉格納容器の終局的耐力評価に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(システム安全、シビアアクシデント、地震・津波担当)付
2. カテゴリー・研究分野	(2)原子炉施設 ⑤材料・構造		
3. 背景	<p>平成 25 年に改正された「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、その運用ガイドでは、設計上の想定を超える事象の発生を仮定し、評価対象の発電用原子炉施設が、どの程度の事象まで燃料体等の著しい損傷を発生させることなく、また、格納容器機能喪失及び放射性物質の異常放出をさせることなく耐えることができるか、安全裕度評価の実施手法を参考として例示している。</p> <p>これまでに、重大事故時の格納容器機能喪失を想定した格納容器の終局的耐力<sup>*1</sup>に係る主要な試験としては、財団法人原子力発電技術機構による一連の縮尺試験体の実証試験<sup>*2</sup>(以下「NUPEC 構造挙動試験」という。)があり、代表的な型の格納容器の終局的耐力に係る基礎データを提供している。これらの試験結果は、格納容器の終局的耐力に余裕があることを示しているが、溶接部を含む構造不連続部や金属ライナ等の破壊に関する試験データを拡充することにより、局部破壊を含む終局的耐力評価の信頼性を、より高めることができる。</p> <p>また、近年になって、海外の規制機関、国内の学会等で、格納容器の重大事故時の終局的耐力評価のための指針や標準<sup>*3</sup>が整備されつつある。これらの指針・標準では、弾性構造解析に基づく建設時の設計解析法とは異なり、非線形構造解析により大ひずみ域の構造挙動を予測するとともに、局部的な破壊モードを考慮した評価手法が導入されている。</p> <p>今後、格納容器の安全裕度評価に係る技術的知見を拡充するために、局部的な破壊等の試験データの取得を進めるとともに、大ひずみ域の構造挙動や破壊モード、フランジ等の機械接合部や格納容器貫通部等の閉じ込め性等に係る終局的耐力評価手法の整備が重要である。</p> <p>*1) ここでは、評価対象が所定の機能を保つことができる最終的な耐力をいう。 *2) 財団法人原子力発電技術機構「原子炉格納容器信頼性実証事業」(昭和 62 年度～平成 14 年度) *3) Regulatory Guide 1.216 “Containment Structural Integrity Evaluation for Internal Pressure Loadings above Design-Basis Pressure”, 2010,等</p>		
4. 目的	安全性向上評価における、格納容器の安全裕度評価の高度化に資するため、構造不連続部の局部破壊及び機械接合部等からの漏えいを含む格納容器の総合的な安全裕度を把握する終局的耐力評価手法を整備する。		
5. 知見の活用先	<p>安全性向上評価の運用ガイドにおいて、格納容器の終局特性を温度・圧力マップとして整理する手法を提示するなどを含め、将来的なガイド類の改訂等により、安全性に係る評価の高度化に資する。</p> <p>なお、格納容器の終局的耐力評価手法は、上記に加えて、安全性向上評価における確率論リスク評価の格納容器機能喪失モードの設定や、重大事故時の格納容器の破壊防止対策の有効性評価等の妥当性確認にも資する。</p>		
6. 安全研究概要 (始期：平成 29 年度) (終期：平成 33 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</p> <p>(1) 基礎検討 要素試験や実機相当モデルの終局的耐力評価に先立ち、評価部位を抽出し、適切な試験方法を検討するとともに、評価手法の原型を作成して、適用性を事前検討する。これら基礎検討の結果に従い、試験計画や耐力評価の方法を修正、最適化する。</p> <p>a) 評価部位抽出 重大事故時の閉じ込め性能維持の観点から、技術資料・文献に基づき、国内 BWR 及び PWR の代表的な格納容器型において相対的に弱い部位を評価部位として抽出する。評価部位には、重大事故時の過圧・過温下で、応力・ひずみが集中する構造不連続部とフランジやハッチのような機械接合部が含まれる。想定される評価部位と破壊モードの例を BWR MARK-II 型格納容器及び PWR のプレストレストコンクリート製格納容器(以下「PCCV」という。)について図 1 に示す。</p>		



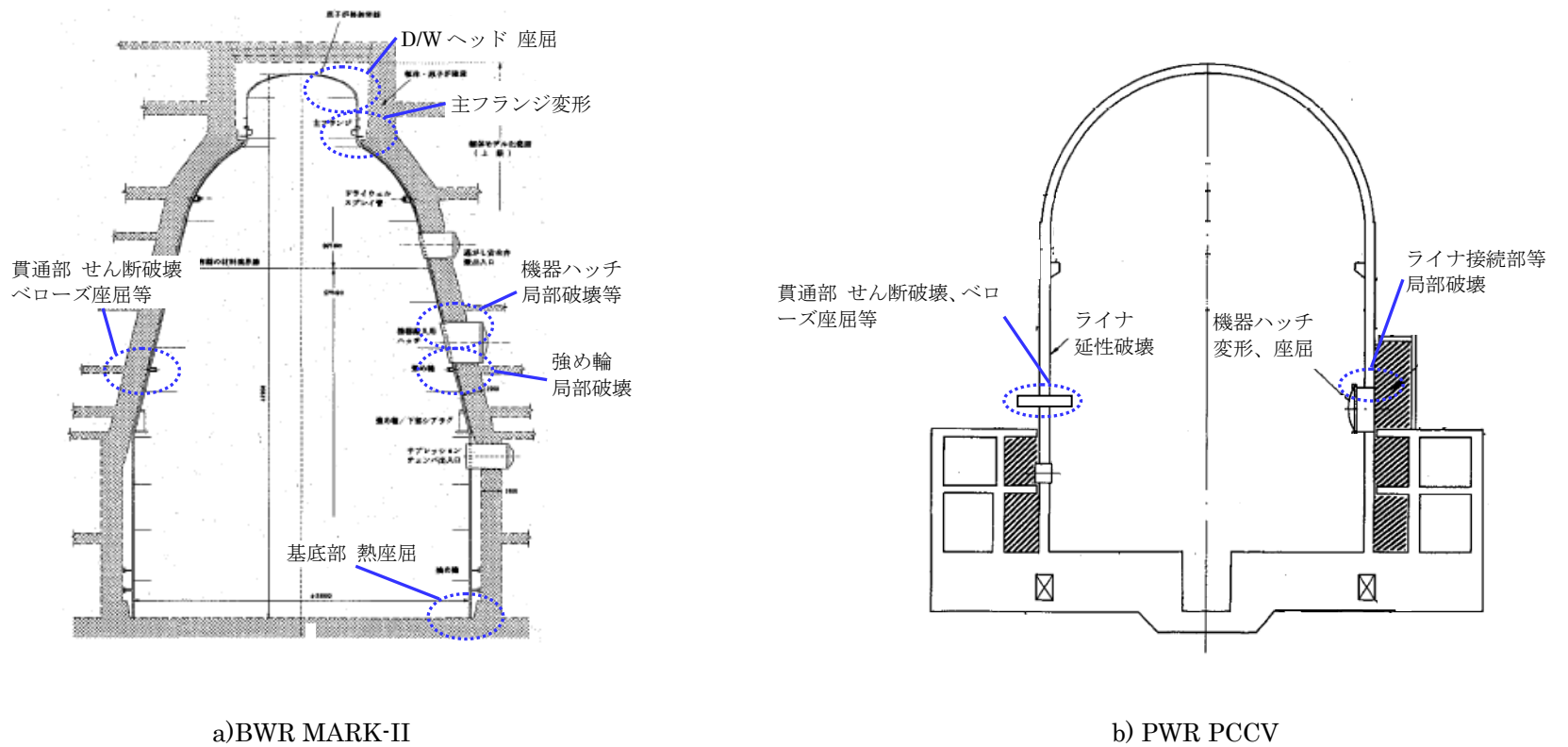


図1 格納容器の想定される評価部位の例

b) 終局的耐力評価手法の整備

格納容器の終局的耐力評価では、設計条件を超える高圧・高温下における構造の変形挙動を、有限要素法（以下「FEM」という。）を用いた非線形構造解析により追跡し、想定される破損モードに適した破壊クライテリア（破壊の決定条件）を用いて、構造の局部的な破壊挙動及び閉じ込め性を予測することが必要になる。このため、まず試験片レベルの基礎的な解析・評価や格納容器の接合部等のモデル化手法を選定するための部分モデルによる解析・評価を実施し、必要に応じて解析コードに改良を加える。なお、破壊クライテリアとしては、応力三軸度に基づく局部破損評価法、損傷力学に基づく方法等を検討する。

これらの試験片レベル及び部分モデルの解析・評価結果を踏まえて、NUPEC 構造挙動試験の格納容器縮尺試験体の全体を対象とした解析・評価を実施する。この試験では、BWRの鋼製格納容器（以下「SCV」という。）、PWRのPCCVの縮尺試験体の加圧試験及び ABWRの鉄筋コンクリート製格納容器（以下「RCCV」という。）の縮尺基礎要素の引張試験が実施されている。これらより重要度の高い試験体・部位を選定し、加圧試験時の構造挙動を把握する非線形構造解析及び破壊評価を行い、局部的な破壊挙動を評価するために適切な解析手法を検討する。

c) 要素試験の事前解析

要素試験の試験体及び試験条件を検討するために、非線形構造解析及び破壊評価を行う。特に後述する二軸破壊試験や構造不連続部の破壊試験では、非線形構造解析によりひずみ集中が生じる場所や限界荷重を事前に推測した上で、試験体の形状・寸法及び試験条件を決定する必要がある。

d) 局所環境条件及び構造的影響の検討

格納容器が局所的に高温にさらされるような事象の発生可能性（シナリオ）について分析し、非線形構造解析のための局所環境条件（熱過渡条件）及び構造的影響について検討を行う。

e) 実機相当モデルの予備解析・評価

実機相当の格納容器の解析モデルを試作し、重大事故時の構造挙動を把握する非線形構造解析及び破壊評価を行う。これにより、NUPEC 構造挙動試験等の解析・評価に用いた評価手法を、実機スケールに拡張した場合の問題点を抽出し、必要に応じて改良を加える。

(2) 要素試験

実機相当モデルの終局的耐力評価を行う上で、破壊特性等の基礎的な知見を拡充することが必要なもの、また部分的な構造要素について試験により構造挙動を確認する必要があるものについて、要素試験を実施する。要素試験は、実機相当の試験モデルによる実証試験を単発に実施するのではなく、終局的耐力評価手法の整備及び確認に必要な試験データを取得する目的で実施する。このため試験片レベルから部材レベルまでの階層的なV&V（検証と妥当性確認）を実施する。要素試験の詳細は(1)基礎検討を踏まえて決定するが、現状での検討案（構想）を以下に示す。

a) 破壊クライテリアに係る材料試験

設計条件を超える熱過渡条件における格納容器の構造不連

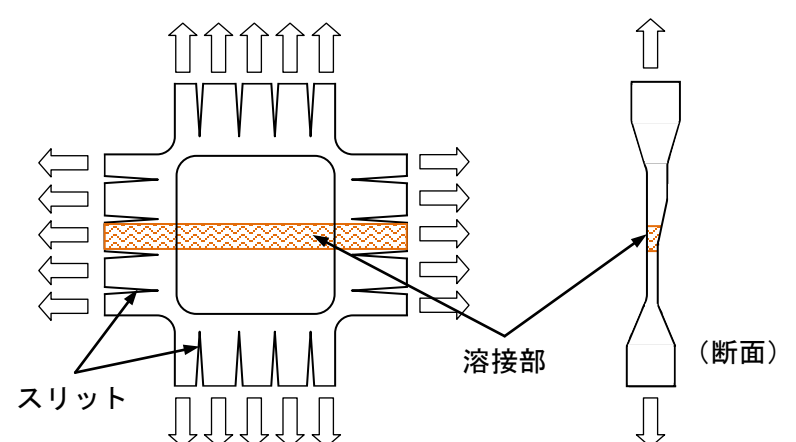


図2 溶接部の二軸破壊試験の概念



続部の破壊挙動は複雑であり、既往の試験においても、比較的大きな不確かさ・余裕を見込んだ破壊クライテリアを適用せざるを得ない結果となっている。特に、溶接部を含む不連続部の多軸状態における破壊条件については、基礎的な試験データが不足している。そこで、溶接部を含む構造要素の破壊特性を取得するための材料試験を計画し実施する。

b) 構造不連続部の破壊試験

格納容器の想定される評価部位（図 1 参照）のうち、実験的な知見を拡充する必要があるものについて、破壊試験を実施する。破壊試験と共に非線形構造解析を行い、試験結果と比較することにより解析手法の妥当性を確認した上で、実機相当モデルの終局的耐力評価に適用する。破壊試験の検討例を以下に示す。

- ・ SCV 溶接部の破壊試験：ハッチ開口部の補強板とドライウエルの溶接部のように板厚の異なる板が接合される部位、強め輪とドライウエルの溶接部等は、重大事故時の過温・過圧下でひずみが集中し、着目すべき評価部位である。補強板とドライウエルの溶接部を想定した二軸破壊試験の概念を図 2 に示す。過圧下の応力状態を模擬して二方向に引張荷重を加え、局部破壊に至る挙動を観察する。
- ・ PCCV 及び RCCV の金属ライナの破壊試験：金属ライナは閉じ込め機能維持に対して特に重要な機器であり、実機相当のライナ試験体の二軸破壊試験により構造的な終局条件を把握する。あわせて、非線形構造解析を行い、ライナの破損を予測できる破壊モデルの妥当性を確認する。
- ・ 格納容器貫通部等の破壊試験：配管の貫通部においては、重大事故時の格納容器の熱膨張により、生体遮蔽壁等に拘束されて大きなせん断荷重を受ける場合が想定される。また、貫通部等に設置されたベローズが内圧及び相対変位により変形・破損する場合等も想定される。これらの部位から特に評価の重要度の高い部位を抽出し、想定される負荷形態に基づいた試験を実施することにより、終局特性を把握する。

c) 機械接合部のシール挙動試験

格納容器の閉じ込め機能維持の観点から、重要性の高いドライウエル主フランジ、機器ハッチ等の機械接合部のシール挙動試験を実施し、ボルト・フランジ構造の締結部における構造の変形とシール材の追従性に係る限界特性を把握する。なおドライウエル主フランジのシール挙動については、軽水炉の重大事故時の重要物理化学現象に係る実験（以下「CIGMA 実験」という。）<sup>1)</sup>のトップフラッディング（原子炉ウエル水張り）試験におけるデータの活用を検討する。

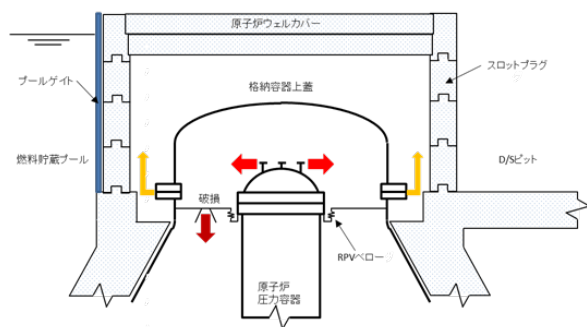
(3) 実機相当モデルの終局的耐力評価

a) 一様温度・圧力条件における終局的耐力評価

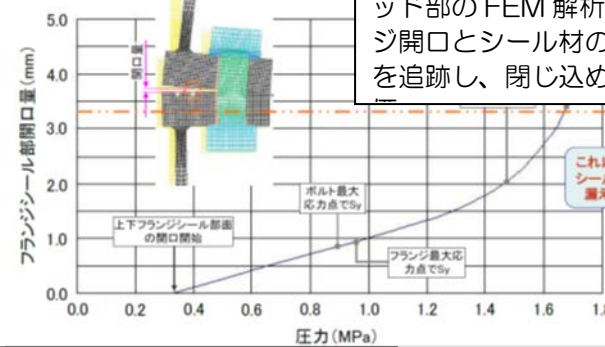
基礎検討の結果を踏まえ、実機相当の格納容器の構造モデルを用いて、格納容器の終局的耐力評価を行う。評価対象は、BWR 及び PWR の主要な格納容器型（SCV、PCCV 及び RCCV）とし、圧力・温度を一様とした上で、順次加圧・加温して格納容器全体の構造の変形挙動を追跡する非線形構造解析を行う。次に想定される評価部位について局部解析用の FEM モデルを作成し、考慮すべき破壊モードに対する破壊評価を行う。またハッチ等の接合部に対しては、シール部を含む局部モデルを用いて閉じ込め性を評価する。

b) 局所環境を考慮した終局的耐力評価

想定される起因事象における炉心損傷後の格納容器内の局所的な環境を詳細に検討し、実機相当の格納容器の構造モデルを用いて格納容器の終局特性に係る解析を行う。ここでは、局所的に高温にさらされるような事故事象を検討し、想定事象の熱過渡解析結果に基づいて格納容器の終局的耐力評価を行う。これらの解析により、局所的に高温になるような事故事象における格納容器の破損及び閉じ込め機能喪失のリスクを明らかにする。局所環境を考慮した終局的耐力評価の例として、図 3 に、想定される起因事象に対して、熱過渡解析を実施し、局所的な過熱状態を求め、非線形構造解析によりフランジ部の閉じ込め性を評価する手順（イメージ）を示す。



想定起因事象例：ドライウェル主フランジ周辺の局所過温



主フランジを含むトップヘッド部のFEM解析：フランジ開口とシール材の追従性を追跡し、閉じ込め性を評価

非線形構造解析(FEM)によるフランジ部変形解析

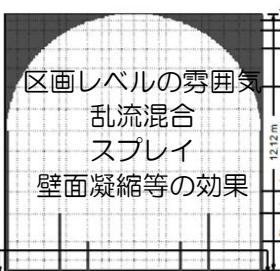
フランジ温度分布・圧力等

MELCOR コード



大局的な雰囲気条件の評価

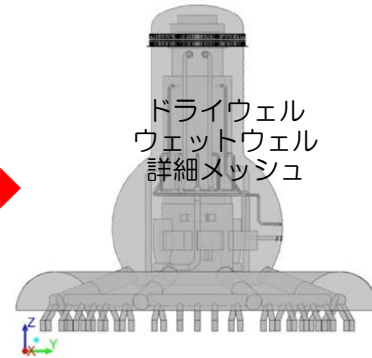
GOTHIC コード



区画レベルの雰囲気乱流混合  
スプレー  
壁面凝縮等の効果

集中定数又は中規模メッシュCFDによる事故進展

ドライウェル  
ウェットウェル  
詳細メッシュ



大規模CFDによる格納容器雰囲気伝熱流動解析

図3 局所環境を考慮した終局的耐力評価の手順 (イメージ)

工程表

	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度
(1) 基礎検討	a) 評価部位抽出				
	b) 終局的耐力評価手法の整備(1) c) 要素試験の事前解析(1) d) 局所環境及び構造的影響の検討	b) 終局的耐力評価手法の整備(2) c) 要素試験の事前解析(2) e) 実機相当モデルの予備解析・評価 論文公表 Review	要素試験の反映	要素試験の反映	
(2) 要素試験		a) 破壊クライテリアに係る材料試験 試験体製作	破壊試験		
			b) 構造不連続部の破壊試験 試験体製作	破壊試験	
			c) 機械接合部のシール挙動試験 試験体製作	破壊試験	
(3) 実機相当モデルの終局的耐力評価			a) 一様温度・圧力条件における終局的耐力評価 全体構造モデル	局部モデル等	追加解析等
		b) 局所環境を考慮した終局的耐力評価 熱過渡解析	構造解析(1)	構造解析(2)	追加解析等 論文公表 まとめ ガイド類整備

7. 実施計画

【平成29年度の実施内容】

(1)a) 評価部位抽出

国内 BWR 及び PWR の代表的な格納容器型について、技術資料・文献等に基づき、評価部位を抽出する。

(1)b) 終局的耐力評価手法の整備  
 局部破壊挙動を予測するための破壊クライテリアの適用性を評価することを目的に、試験片レベルの構造モデルを作成し、既往の試験結果等と比較する。破壊クライテリアとしては、三軸応力度や損傷力学に基づく評価法を適用し、必要に応じて解析コードに改良を加える。さらに、NUPEC 構造挙動試験のうち、SCV 試験体等の構造諸元を収集・整理し、構造モデルを構築し、汎用構造解析コードを用いて予備的な解析を実施し、既に実施された解析結果との比較を行い、既存解析結果との比較を行い、解析上の課題を整理する。

(1)c) 要素試験の事前解析  
 二軸破壊試験を想定した非線形構造解析及び破壊評価を実施し、試験体の形状・寸法及び試験条件を検討する。

(1)d) 局所環境条件及び構造的影響の検討  
 BWR 格納容器を対象として、代表シナリオにおける格納容器内の熱流動解析結果を整理し、局所的な過温に対する評価部位の洗い出しを行う。さらに、得られた熱流動解析結果を用いて、重大事故時の評価部位の一つとして想定されている BWR 格納容器のトップヘッドフランジ部相当に対して、汎用構造解析コードを用いて予備的な構造解析を実施し、局所的な過温等の構造的影響を検討する。また、CIGMA 実験のトップフラッディング試験において、トップフランジ部のシール挙動を観察することを想定して、実験条件を検討するための非線形構造解析を実施する。

【平成30年度の実施内容】

(1)b) 終局的耐力評価手法の整備  
 三軸応力度や損傷力学に基づく破壊クライテリアを適用した破壊評価手法を試作し、NUPEC 構造挙動試験の非線形構造解析及び破壊評価を行う。これにより実機相当モデルの構造健全評価に適用する破壊評価手法及びモデル化手法の有効性を確認する。

(1)c) 要素試験の事前解析  
 構造不連続部の破壊試験を想定した非線形構造解析及び破壊評価を実施し、試験体の形状・寸法及び試験条件を決定する。

(1)e) 実機相当モデルの予備解析・評価  
 実機相当の格納容器の解析モデルを試作し、非線形構造解析及び破壊評価を行い、検討した終局的耐力評価手法を、実機スケールに拡張した場合の問題点を抽出し、必要に応じて改良を加える。

(2)a) 破壊クライテリアに係る材料試験  
 格納容器の母材及び溶接部の引張試験を実施し、終局ひずみ等破壊クライテリアを構築するのに必要な材料パラメータを取得する。

(3)b) 局所環境を考慮した終局的耐力評価  
 想定される起因事象における格納容器内の局所的な環境に係る熱過渡解析を実施し、非線形構造解析に用いる熱過渡条件を生成する。

【平成31年度の実施内容】

(1)b) 終局的耐力評価手法の整備  
 材料試験により得られた材料パラメータを用いて、破壊クライテリアを中心に改良を加える。

(2)a) 破壊クライテリアに係る材料試験  
 格納容器の母材及び溶接部に対して、切欠（応力集中部）付き試験片の引張試験あるいは二軸引張試験を実施して、材料パラメータを取得し、破壊クライテリアを最適化する。

(2)b) 構造不連続部の破壊試験  
 BWR 及び PWR の想定される評価部位を模擬した試験体を製作する。

(2)c) 機械接合部のシール挙動試験  
 ヘッドフランジ及びハッチ等の機械的な締結部に係る要素試験のための試験体を製作する。

(3)a) 一様温度・圧力条件における終局的耐力評価  
 実機相当の格納容器の全体構造モデルを作成し、非線形構造解析を行う。評価対象は、BWR 及び PWR の主要な格納容器型（SCV、PCCV 及び RCCV）とし、全体挙動の把握を目的とする。

(3)b) 局所環境を考慮した終局的耐力評価  
 局所的な熱過渡条件を用いて、実機相当の格納容器の構造モデルを用いて非線形構造解析及び破壊評価を行う。

【平成32年度の実施内容】

(1)a) 終局的耐力評価手法の整備  
 構造不連続部の破壊試験及び機械接合部等シール試験の結果に基づき、破壊クライテリア及び構造解析のモデル化手法を最適化する。

(2)b) 構造不連続部の破壊試験  
 構造不連続部を含む試験体の破壊試験を実施する。さらに、要素試験の非線形構造解析を行い、解析手法の妥当性を評価する。

(2)c) 機械接合部のシール挙動試験  
 試験体の加圧試験を実施し、ボルト・フランジ構造の締結部における構造の変形とシール材の追従性に係る終局特性を把握する。

(3)a) 一様温度・圧力条件における終局的耐力評価  
 実機相当の格納容器の局部構造モデルを作成し、非線形構造解析及び破壊評価を行う。

(3)b) 局所環境を考慮した終局的耐力評価  
 局所的な熱過渡条件（平成31年度と異なる事故事象）を用いて、実機相当の格納容器の構造モデルを用いて非線形構造解析及び破壊評価を行う。

	<p>【平成33年度の実施内容】</p> <p>(3)a) 一様温度・圧力条件における終局的耐力評価 一連の解析結果及び要素試験の結果を踏まえ、追加すべき解析条件における、非線形構造解析及び破壊評価を行う。</p> <p>(3)b) 局所環境を考慮した終局的耐力評価 一連の解析結果及び要素試験の結果を踏まえ、追加すべき解析条件における、非線形構造解析及び破壊評価を行う。</p> <p>さらに、評価結果を基に、下記の観点から研究成果を取りまとめる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実機相当モデルの終局的耐力評価結果及び要素試験結果を整理し、格納容器の破損及び閉じ込め性の終局特性に係る技術的知見を取りまとめる。終局特性に関しては、代表的な格納容器型について、可能な範囲で温度・圧力の終局マップのテンプレート（雛形）を例示する。</li> <li>・ 実機相当モデルの終局的耐力評価及び要素試験を通じて、終局的耐力評価手法の有効性を評価し、代表的な評価手法等、評価ガイド等へ反映すべき内容をまとめる。</li> </ul>
8. 備考	<p>※重大事故時の格納容器の終局的耐力評価に係る研究進める上で、今後、プラント情報や試験データの交換等事業者との連携が望まれる。</p> <p>【関連事業】</p> <p>1) 軽水炉の重大事故の重要物理化学現象に係る実験（平成27年度～平成31年度）：ドライウェル主フランジの閉じ込め性に関するデータ取得</p>

## (プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	24. 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	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(システム安全担当)付
2. カテゴリー・研究分野	(2)原子炉施設 ⑤材料・構造		
3. 背景	<p>原子力発電所で使用されている安全系電気・計装設備(ケーブル、電気ペネトレーション(以下「電気ペネ」という。)等)には、設計基準事故(以下「DBA」という。)時に原子炉を安全に停止し、事故を収束するために必要な安全機能が要求されている。これらの電気・計装設備で使用される高分子材料は、通常運転時の熱・放射線等により徐々に劣化が進行し、さらに、DBA 環境下で高放射線量及び高温水蒸気にさらされると急激に劣化が進行する。このため、供用期間中の通常運転時の経年劣化と DBA の環境を模擬した耐環境性能試験により、電気・計装設備の長期健全性が検証されており、高経年化技術評価及び運転期間延長認可制度に係る劣化状況評価において、長期健全性が評価されている。</p> <p>平成 25 年に新規制基準が施行され、新たに常設重大事故等対処設備に属する機器に対する要求事項が追加となった。これにより、常設重大事故等対処設備に属する電気・計装設備については、通常運転時の経年劣化を受けた後であっても、重大事故(以下「SA」という。)時環境下において必要な機能を維持することが必要となったことから、高経年化技術評価及び運転期間延長認可に係る劣化状況評価においても、通常運転時の経年劣化と SA を考慮した長期健全性評価が行われている。電気・計装設備の長期健全性評価手法については、国内外の試験研究、規格基準類の制定・改訂、運転経験等の最新の技術動向を踏まえた安全研究を実施し、現在適用されている手法の確認を行うとともに必要に応じ見直しを行い、高度化を図っていくことが重要である。</p> <p>これまでに、安全系電気・計装設備のうち特に長期の供用が想定される主要な機器としてケーブル及び電気ペネについて先行研究において検討を実施してきた。絶縁性能については、「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究」、「電気・計装設備の健全性評価技術調査研究」及び「運転期間延長認可制度及び高経年化対策制度に係る技術的知見の整備に関する研究」のうち「常設重大事故等対処設備のうち、ケーブルの健全性評価手法の策定(平成 25 年度～平成 28 年度)」において、DBA 時及び SA 時のケーブル、DBA 時の電気ペネを対象とした研究が行われている。また、高温・高圧下での電気ペネのシール材からの漏えい発生については、過去に財団法人原子力発電技術機構において研究が行われた。</p> <p>電気ペネについては、今後、SA 時環境下における絶縁性能の限界条件等の裕度を評価するためのデータを取得し、同データを用いて現在適用されている電気ペネの長期健全性評価手法の確認を行うとともに、必要に応じ見直しを図っていくことが重要である。</p>		
4. 目的	常設重大事故等対処設備に属する電気・計装設備のうち電気ペネについて、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、通常運転時相当の劣化を付与した状態における SA 時環境下での絶縁性能に係るデータを取得し、限界条件等の裕度を評価するための手法を整備する。		
5. 知見の活用先	電気ペネトレーションについて、供用期間中の経年劣化及び SA 環境を考慮した健全性評価手法に係る評価ガイドを平成 32 年度に作成し、電気・計装設備に関する高経年化技術評価及び運転期間延長の審査における確認に資する。		
6. 安全研究概要 (始期：平成 29 年度) (終期：平成 31 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>② 審査等の際の判断に必要な知見の収集・整備</p> <p>安全系電気・計装設備(図 1 参照)のうち常設重大事故等対処設備に属する電気ペネ(図 2 参照)について、これを構成する高分子材料の絶縁性能に係る試験データを関係機関と協力して取得する。試験結果は、電気ペネの健全性の確認を行うための手法として取りまとめる。</p> <p>(1) 評価対象電気ペネの選定、SA 時の環境調査及び SA 時環境模擬試験条件の設定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>国内 PWR・BWR プラントにおいて SA 時環境下で機能維持が求められる機器として使用されている電気ペネから主要な複数の型式の電気ペネを評価対象として選定し、これを構成する電気ペネ内部の絶縁体(ポットング材)及び電気ペネに接続しているケーブルの絶縁体(ケーブル絶縁材)に用いられている高分子材料を特定する。(図 3 参照)</li> <li>評価対象とする電気ペネが使われている通常運転時の環境条件及び SA 時の環境条件を調査する。通常運転時の環境条件については、電気ペネに使われている高分子材料の劣化要因として考えられる熱と放射線を考慮することとし、これらの条件を調査する。SA 時の環境条件については、先行実施しているケーブル研究(DBA・SA を考慮)及び電気ペネの研究(DBA を考慮)の試験条件・試験結果、新規制基準適合性審査資料、国内外の SA を想定した試験事例等を調査し、これらを踏まえて試験条件を複数設定する。</li> </ul> <p>(2) 高分子材料劣化特性調査・試験(関係機関等において実施)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ポットング材及びケーブル絶縁材の高分子材料の熱及び放射線劣化特性を調査・試験し、劣化機構を明らかにする。ここでは過去に実施した電気ペネの研究(DBA を考慮)で取得したデータについても参考とする。また、高分子の熱・放射線劣化特性に関する既往の研究を調査する。この結果を基に、電気ペネに 60 年運転時相当の劣化を付与するための熱・放射線同時照射による加速劣化の条件を設定する。試験条件は、高分子材料の曲げ弾性率あるいは破断時のび率等の物性を考慮し、実機環境における経年劣化を反映して的確に模擬できるように設定する。</li> <li>電気ペネに接続されているケーブルについて、ケーブル単独で絶縁機能を維持できる環境(高温、高圧の蒸気環境)の限界条件を試験により求める。</li> <li>ケーブルの限界条件の試験結果と(1)の SA 時の環境調査結果を基に、電気ペネの SA 時環境模擬試験の環境条件を設定する。</li> </ul> <p>(3) 電気ペネ(供試体)の作製(関係機関等において実施)</p> <p>評価試験に供する電気ペネ(供試体)の作製を行う。</p> <p>(4) 電気ペネの熱・放射線同時劣化(関係機関等において実施)</p> <p>(1)及び(2)の調査結果を基に、60 年運転期間相当の経年劣化を、熱・放射線同時照射により SA 時模擬環境試験に供する</p>		



電気ペネに付与する。

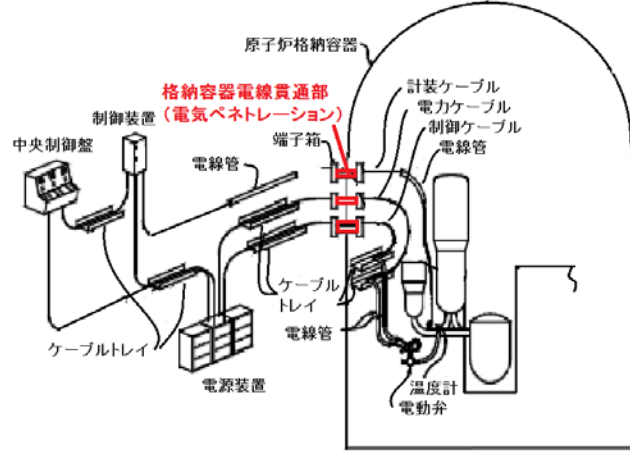


図1 安全系電気・計装設備

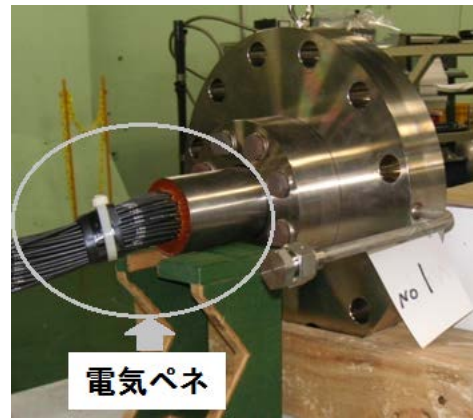


図2 電気ペネトレーション

(5) SA 時環境模擬試験 (関係機関等において実施)

経年劣化を付与した電気ペネを用いて、SA 時環境模擬試験を実施し、SA 時模擬環境下における絶縁性能の評価を実施する(図4参照)。また、試験前後の高分子材料の劣化状態の変化を機器分析及び状態監視手法により評価する。これらより、電気ペネが絶縁機能を維持できる環境の限界条件を評価する。

(6) 評価まとめ

(1)～(5)の試験結果を踏まえ、電気ペネの供用期間中の経年劣化及びSA環境を考慮した健全性評価手法を取りまとめる。(評価ガイドの作成は平成32年度に実施する。)また、得られた成果は、適宜論文等で公表する。

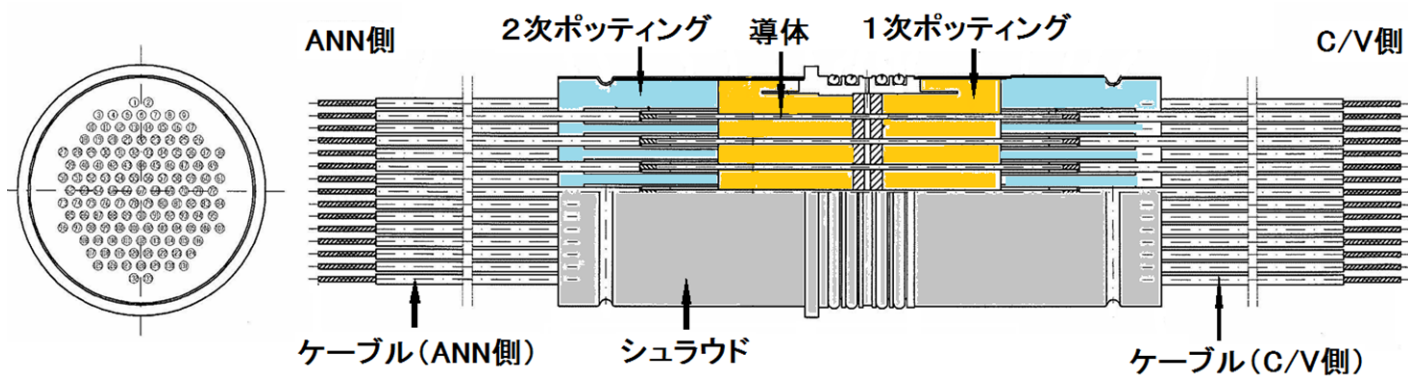


図3 電気ペネトレーションの構造



(a) 試験装置全景



(b) ケーブル試験状況

図4 SA 時環境模擬試験 (平成27年度ケーブル試験の例。関係機関等において実施。)

工程表

項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度
(1) 評価対象電気ペネの選定、SA時環境調査及びSA時環境模擬試験条件設定	→		
(2) 高分子材料劣化特性調査・試験	→		
(3) 電気ペネ(供試体)の作製	→		
(4) 電気ペネの熱・放射線同時劣化		→	
(5) SA時環境模擬試験			→
(6) 評価まとめ			→
			・絶縁性能の評価 ・劣化状態の分析 ・限界条件の評価 ・技術報告書・評価ガイドの作成

7. 実施計画

【平成29年度の実施内容】

(1) 評価対象電気ペネの選定、SA時の環境調査及びSA時環境模擬試験条件の設定

- ・評価試験に供する電気ペネを選定し、これを構成するポッティング材とケーブル絶縁材に用いられている高分子材料を特定する。
- ・それぞれの高分子材料について、その組成を調査・試験する。
- ・SA時環境模擬試験の条件設定のため、電気ペネが使われている通常運転時の環境条件及びSA時の環境条件に関する情報を収集する。

(2) 高分子材料劣化特性調査・試験 (関係機関等において実施)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポットイング材及びケーブル絶縁材に使用されている高分子材料の熱及び放射線劣化特性を調査・試験し、劣化機構を検討する。</li> <li>・ケーブル部分について、ケーブル単独で熱・放射線同時照射により 60 年運転期間相当の劣化を付与し、劣化付与したケーブルについて、高温・高圧蒸気下における絶縁抵抗の温度特性を試験する。</li> </ul> <p>(3) 電気ペネ（供試体）の作製（関係機関等において実施） 試験に供する電気ペネ（供試体）の作製を行う。</p> <p>【平成 30 年度の実施内容】</p> <p>(1) 評価対象電気ペネの選定、SA 時の環境調査及び SA 時環境模擬試験条件の設定 SA 時環境模擬試験の条件設定のため、平成 29 年度に引き続き情報収集を行う。</p> <p>(2) 高分子材料劣化特性調査・試験（関係機関等において実施）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 29 年度に引き続き、高分子材料の熱及び放射線劣化特性を試験・調査し、劣化機構を検討する。この結果を基に、60 年運転期間相当の劣化を付与するための熱・放射線同時照射による加速劣化の条件を設定する。</li> <li>・平成 29 年度に引き続き、60 年運転期間相当の劣化を付与したケーブルの限界条件を試験する。この調査結果は、(1) の電気ペネの SA 時環境模擬試験の条件設定のために使用する。</li> </ul> <p>(4) 熱・放射線同時劣化（関係機関等において実施） 試験に供する電気ペネに熱・放射線同時照射により劣化を付与する。</p> <hr/> <p>【平成 31 年度の実施内容】</p> <p>(1) 評価対象電気ペネの選定、SA 時の環境調査及び SA 時環境模擬試験条件の設定 平成 29 年度から平成 30 年度までの調査結果を基に SA 時環境模擬試験条件を確定する。</p> <p>(2) 高分子材料劣化特性調査・試験（関係機関等において実施） 平成 29 年度から平成 30 年度までの調査結果を基に、試験に供する電気ペネに使用されている高分子材料の熱及び放射線による劣化機構をまとめる。</p> <p>(4) 熱・放射線同時劣化（関係機関等において実施） 平成 30 年度に引き続き、試験に供する電気ペネに熱・放射線同時照射により劣化を付与する。</p> <p>(5) SA 時環境模擬試験（関係機関等において実施） 劣化を付与した電気ペネを用い、SA 時を模擬した環境下における絶縁性能の評価試験を実施する。また、試験前後の高分子材料の劣化状態の変化を機器分析及び状態監視手法により評価する。</p> <p>(6) 評価まとめ (1)～(5) の試験結果を踏まえ、電気ペネの供用期間中の経年劣化及び SA 環境を考慮した健全性評価手法を取りまとめる。（評価ガイドの作成は平成 32 年度に実施する。）</p>
8. 備考	



(プロジェクト個票)(案)

1. プロジェクト	27. 安全性向上評価に向けた加工施設及び再処理施設のリスク評価手法の高度化に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(核燃料廃棄物担当)付
2. カテゴリー・研究分野	(3) 核燃料サイクル・廃棄物 ①核燃料サイクル施設		
3. 背景	<p>核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和32年法律第166号。以下「原子炉等規制法」という。)第22条の7の2第1項では、「加工事業者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、当該加工施設における安全性の向上を図るため、原子力規制委員会規則で定める時期ごとに、当該加工施設の安全性について自ら評価をしなければならない。」(ここで、安全性の向上を図るため事業者が自ら行う評価を以下「安全性向上評価」という。)としており、加工事業者に対し安全性向上評価の実施を要求している。また、同法第50条の4の2第1項では、再処理事業者に対しても同様の要求をしている。</p> <p>この安全性向上評価を運用するガイドとして、原子力規制委員会が策定した「加工施設及び再処理施設の安全性向上評価に関する運用ガイド」(平成25年11月27日原子力規制委員会決定。以下「運用ガイド」という。)では、安全性向上評価において実施する「事故の発生及び拡大の防止措置を講じたにもかかわらず、重大事故の発生に至る可能性がある場合、その可能性」に関する調査及び分析の方法として、「適切な評価方法」によりリスク評価を行うこととされている。その際、事業者が行うリスク評価に対し、原子力規制委員会は事業者が採用した評価手法、その技術的根拠等を確認することが定められている。</p> <p>しかしながら、この運用ガイドでは、加工施設及び再処理施設に係るリスク評価手法については、現在その手法が必ずしも成熟していないと記されており、原子力規制委員会が安全性向上評価におけるリスク評価の適切性確認を行う際に活用できる技術的知見を整備しておくことが重要である。</p> <p>このような状況を踏まえ、加工施設及び再処理施設に関して、実用発電用原子炉と同様に、運用ガイドの参考資料として、リスク評価を実施するに当たっての必要事項を例示する「安全性向上評価に関するリスク評価実施手法の例」の案を、平成28年度までの安全研究の成果を活用して作成する予定である。</p> <p>一方で、安全性向上評価は原則として5年ごとに改訂することに加え、大規模な工事を行うなど、リスク評価又は安全裕度評価の結果が変わるようなことが見込まれる場合においても改訂するものとしており、第一回目の安全性向上評価以降もリスク評価手法等に関する継続的な改善が求められている。</p> <p>そこで、平成28年度までの安全研究で得られた技術的知見、施設の特徴等を踏まえ、平成29年度以降、以下の検討を実施し、リスク評価手法の高度化に資することが重要である。</p> <p>なお、リスク評価手法の検討に際しては、これまでも、国内外のリスク評価手法について調査し、参考として実施している。例えば、ウラン加工施設の内部事象を対象とした総合安全解析(以下「ISA」という。)実施手順の取りまとめに当たっては、米国ISAを参考に、再処理施設の確率論的リスク評価実施手順の検討に当たっては、国内の発電用原子炉施設に対する実施手順を参考にしている。さらに、米国で提唱されている簡易ハイブリッド法に関する検討も実施している。</p> <p>また、日本原子力学会核燃料施設リスク評価分科会における検討状況に関する情報収集を実施している。</p> <p>(1) 内部火災等を起因としたリスク評価手法の検討</p> <p>a) 平成28年度までに得られた知見</p> <p>加工施設及び再処理施設の内部事象(機器のランダム故障及び人的過誤)及び地震に関するリスク評価試解析を実施し、それらの事象を対象としたリスク評価手法等の適切性確認のための着眼点及び留意点(案)を整理中である。</p> <p>上記検討結果を反映して、加工施設及び再処理施設の「安全性向上評価に関するリスク評価実施手法の例」の案を平成28年度末までに作成する予定である。</p> <p>b) 平成29年度以降に検討が必要な事項</p> <p>平成28年度末までに作成する「安全性向上評価に関するリスク評価実施手法の例」においては、下記の事象については包含されておらず、段階的に拡張していく予定である。</p> <p>① 内部事象として、内部溢水及び内部火災</p> <p>② 外部事象として、津波、地震及び津波の重畳事象並びに地震及び津波以外の外部事象</p> <p>このため、これらの事象を対象としたリスク評価に関する技術的知見を収集・蓄積することが重要であり、本プロジェクトにおいては、加工施設及び再処理施設において重要な事象であり、かつ、先行して実施されている発電用原子炉施設における検討が参考になることから、内部火災を起因としたリスク評価実施手法の例の整備に係る技術的知見を収集・蓄積することを優先的に進めることが重要である。</p> <p>また、リスク評価において想定している人的過誤に関する評価方法についても平成28年度までに得られた成果に加え、重大事故発生時の人的過誤確率などについて更なる技術的知見の収集・蓄積が重要である。</p> <p>(2) リスク評価に向けた重大事故等に関する技術的検討</p> <p>加工施設及び再処理施設における主な重大事故としては、臨界、蒸発乾固、水素爆発、火災又は爆発などがある。</p> <p>それぞれの事象に関するリスク評価を実施するためにはそれぞれの事象の進展及び影響を過度に保守的な評価となることなく適切に評価するとともに、それぞれの事象の発生頻度を評価し、それらに基づきリスクを評価することが重要である。そのうち、本プロジェクトでは以下の重大事故に係る事象の影響評価等に関する解析コードの整備又はデータの取得を行い、事象進展及び影響評価をより適切に行うとともに、将来的には事象の発生及び進展のための条件を把握し、最終的に頻度評価及びリスク評価に資することが重要である。</p> <p>① 火災又は爆発</p> <p>a) 平成28年度までに得られた知見</p>		

	<p>再処理施設のセル内での有機溶媒火災、混合酸化燃料（以下「MOX 燃料」という。）加工施設におけるグローブボックス火災等の施設内で発生する火災事象について、関連する換気システムへの影響を含めた解析コードの整備に着手した。これまでの安全研究では、フランス放射線防護原子力安全研究所が開発した SYLVIA コードを用いて試解析を行い、加工施設及び再処理施設の火災影響評価に用いるデータ及び留意点を収集した。</p> <p>b) 平成 29 年度以降に検討が必要な事項</p> <p>内部火災リスク評価においては、火災影響評価又は火災時の放射性物質の漏えい量評価の不確かさの低減のため、SYLVIA コードに加え、同コードでは扱わない詳細な条件を考慮し、火災の発生及び対象領域の熱流動についての解析が可能なコード（CFD（Computational Fluid Dynamics））を用いた評価を行うことが重要である。また、このような詳細解析コードを用いるに際しては、加工施設及び再処理施設での特徴的な火災（グローブボックス火災等）に対する解析コード適用の妥当性を確認することが重要である。</p> <p>② 水素爆発</p> <p>a) 平成 28 年度までに得られた知見</p> <p>再処理施設内で発生する水素の爆発（爆燃）について、貯槽等の気相部形状及び構造物が爆燃現象に与える影響を含む解析コード FLACS の整備に着手した。再処理施設における水素の発生の要因は放射線分解が主であり、発電炉と比べて水素濃度の上昇速度が遅いという特徴を踏まえた上で、これまでの安全研究では、再処理施設の代表的な貯槽をモデル化し、そこで発生する爆燃を対象とした試解析を行い、技術的知見を収集・蓄積している。</p> <p>b) 平成 29 年度以降に検討が必要な事項</p> <p>一般に、高濃度の水素が蓄積した場合には、爆ごうの発生の可能性が生じる。そこで、爆ごうに転移した際の影響等についても、リスク評価上は考慮可能としておくため、再処理施設の特徴を踏まえた上で、代表的な貯槽における爆ごうの発生条件、構造物等への影響などに関する技術的知見として、FLACS コードに加え、貯槽等の気相部形状及び構造物を考慮する爆ごう現象及びこの現象が構造物等に及ぼす影響を含めた解析を行うため、水素爆発（爆ごう）現象及びそれによる貯槽等の構造物への影響を同時に評価可能な解析コード AUTODYN を整備することが重要である。</p> <p>③ 蒸発乾固</p> <p>a) 平成 28 年度までに得られた知見</p> <p>高レベル濃縮廃液の蒸発乾固事象を対象に、事象進展の把握並びに核種の液相から気相への移行及び放出経路中での気相から液相への移行に伴う放射性物質（難揮発性物質及び揮発性ルテニウム（Ru））の放出量を評価するための基礎的なデータ（例：難揮発性物質の移行率、揮発性 Ru の移行率、水蒸気の凝縮等による揮発性 Ru の気相から液相への移行挙動等）を取得・分析し、技術的知見を収集・蓄積した。</p> <p>b) 平成 29 年度以降に検討が必要な事項</p> <p>これまでに得られたデータを適切に使用することにより、蒸発乾固事象時の放射性物質放出量を保守的に評価することは可能ではあるが、蒸発乾固事象全体にわたり事象の進展に沿ってより精緻な評価を行うためには、NO<sub>x</sub> を含む様々の気相条件を対象とした際の揮発性 Ru の熱分解、水蒸気の凝縮等による揮発性 Ru の気相から液相への移行挙動、高レベル濃縮廃液中に共存し Ru の挙動に影響を与える可能性のある物質等を考慮したデータが重要である。</p> <p>④ 機器の経年劣化</p> <p>a) 平成 28 年度までに得られた知見</p> <p>機器の経年劣化に伴う放射性溶液（溶解液、プルトニウム溶液等）の漏えいについて、安全上重要な施設に該当する異材接合継ぎ手に使用されているジルコニウム及びタンタルにおける水素吸収ぜい化割れの可能性に関する技術的知見を収集・蓄積した。しかし、これらは、通常運転時の硝酸環境中における水素吸収ぜい化割れに関する知見である。</p> <p>b) 平成 29 年度以降に検討が必要な事項</p> <p>機器の点検や補修等の保全活動を行うための除染作業時にアルカリ溶液（水酸化ナトリウム）が使用される。アルカリ溶液はタンタルの表面皮膜を腐食させ、除染作業後の表面皮膜には不純物が含まれることから、通常運転（硝酸環境中）において耐食性が低下する可能性がある。また、最新知見によれば水素を吸収させたタンタルは時間の経過とともに機械的特性が低下（水素吸収ぜい化）することから、アルカリ腐食によって発生した水素を吸収したタンタルについても同様の可能性が否定はできない。本事象は、重大事故に位置づけられるものではないが、放射性溶液の漏えいの起因となり得るこれらの事象に係る技術的知見を収集・蓄積することが重要である。</p> <p>なお、リスク評価の対象となる加工施設及び再処理施設における主な重大事故のうち、臨界事故については、臨界評価解析コード（MVP、KENO、MCNP）が整備されており、また、使用済燃料貯蔵設備における使用済燃料の著しい損傷については、発電用原子炉施設の同施設に関する検討状況を参考にする。</p>
4. 目的	<p>原子力規制委員会が安全性向上評価におけるリスク評価手法及びその技術的根拠に関する適切性確認をする際に活用できるリスク評価手法等の適切性確認のための着眼点及び留意点を抽出する。また、本目的を達成するために以下の作業を行う。</p> <p>(1) 内部火災等を起因としたリスク評価手法の検討</p> <p>① 加工施設及び再処理施設の内部火災リスク評価手法の検討</p> <p>② 加工施設及び再処理施設での重大事故の同時発生を踏まえたリスク評価手法の検討</p> <p>(2) リスク評価に向けた重大事故等に関する技術的検討</p> <p>① 火災又は爆発</p> <p>② 水素爆発</p>

	<p>③ 蒸発乾固 ④ 機器の経年劣化</p>
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトで得られた知見は、将来的に「安全性向上評価に関するリスク評価実施手法の例」を改訂する際に活用する。改訂は、加工施設及び再処理施設の第2回の安全性向上評価（安全性向上評価は原則として5年ごとに改訂する）の実施までに行うものと考えられることから、本安全研究（平成32年度終了）の成果は適切に活用できる。</p>
6. 安全研究概要 （始期：平成29年度） （終期：平成32年度）	<p>リスク評価に係る技術的知見の収集・蓄積に資するため、以下の研究を実施する。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」に基づき実施する。</p> <p>(1) 内部火災等を起因としたリスク評価手法の検討</p> <p>① 加工施設及び再処理施設の内部火災リスク評価手法の検討 内部火災のリスク評価を実施するために代表的な事故シナリオの選定等を行い、選定した代表事故シナリオを対象にリスク評価試験解析を実施する。試験解析結果を基に、内部火災を対象としたリスク評価実施の基本フローの例を作成する。</p> <p>② 加工施設及び再処理施設での重大事故の同時発生を踏まえたリスク評価手法の検討 再処理施設内での内部火災を対象に、火災の発生による複数の重大事故の同時発生を踏まえたリスク評価試験解析を実施し、重大事故の同時発生を踏まえた評価手順の例を作成する。</p> <p>なお、3. (1)で述べた内部事象（内部火災を除く。）、外部事象、使用済燃料貯蔵槽で発生する事象及び人的過誤については、発電用原子炉施設における検討状況に応じて平成33年度以降の安全研究において適宜実施していくものとする。</p> <p>(2) リスク評価に向けた重大事故等に関する技術的検討</p> <p>① 火災又は爆発 文献調査等を実施し、解析に必要なデータを取得し、解析コード（ゾーンモデルコード及びCFDコード）によるベンチマーク解析により、解析モデル及び解析コードの適用範囲及び特性について確認する。また、MOX燃料加工施設の代表的な火災シナリオに対して、火災影響評価解析を実施し、上記と合わせて火災事象評価方法に関する技術的知見を収集・蓄積する。なお、使用する解析コードは、(i) 対象現象の評価について実績のあるコードを使用し、(ii) ベンチマーク解析によりその適用性を確認した上で試験解析を実施する。必要と判断された場合にはさらに解析コードの調査などを実施する。</p> <p>② 水素爆発 AUTODYNコードを用いてベンチマーク解析を実施し当該コードの特徴や適用性を検討する。再処理施設の特徴を踏まえた上で、代表的な機器を抽出して試験解析を実施し、上記と合わせて水素爆発発生時の構造の健全性等に関する技術的知見を収集・蓄積する。 なお、ここでは、水素爆発（爆発）現象とそれによる構造物への影響との相互作用を同時に評価可能な解析コードであるAUTODYNについて、これを用いて本ベンチマーク解析の結果により適用性を評価した上で（必要と判断された場合にはさらに解析コードの調査などを実施する）試験解析を実施する。</p> <p>③ 蒸発乾固 沸騰晩期及び乾固段階で発生が想定される揮発性Ru等について、NOxが共存した際の揮発性Ruの熱分解反応等に着眼した試験データを取得し、蒸発乾固事象に関する技術的知見を収集・蓄積する。試験概要は以下のとおり。なお、これらの試験は関係機関と協力して実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ NOx が共存した際の揮発性 Ru の熱分解反応等を把握するための試験を実施する。</li> <li>・ 高レベル濃縮廃液（模擬廃液）中の共存物質の影響等を踏まえた揮発性 Ru の移行挙動を把握するための試験を実施する。</li> <li>・ 高レベル濃縮廃液（模擬廃液）の沸騰晩期及び乾固状態での注水時における放射性物質の移行挙動を把握するための試験を実施する。</li> </ul> <p>④ 機器の経年劣化 機器の経年劣化に伴う放射性溶液（溶解液、プルトニウム溶液等）の漏えいについて、その原因となりうる異材接合継ぎ手で使用されているタンタルの経年劣化事象（腐食及び水素ぜい化）に関する試験を行い、放射性溶液の漏えい事象の発生の可能性を確認するための技術的知見を収集・蓄積する。試験概要は以下のとおり。なお、これらの試験は関係機関と協力して実施する。</p> <p>a) 腐食</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アルカリ腐食がタンタルの表面皮膜に及ぼす影響を確認するために、水酸化ナトリウムによりアルカリ腐食させた試験片の表面皮膜の性状をX線を利用した方法及び電気化学インピーダンス法により確認する。</li> <li>・ 一旦アルカリ腐食を受けたタンタルの硝酸溶液中における耐食性に及ぼす影響を確認するために、水酸化ナトリウムによりアルカリ腐食させた試験片を用いて硝酸溶液（通常運転中環境下模擬）における電気化学特性を確認するとともに腐食試験を実施する。</li> </ul> <p>b) 水素ぜい化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水酸化ナトリウム溶液濃度とタンタルに吸収される水素量との相関を確認するために、水酸化ナトリウム溶液中でタンタルの試験片をアルカリ腐食させ吸収水素量を測定する。</li> <li>・ 水素吸収及び時効が機械的特性低下に及ぼす影響を確認するために、アルカリ腐食に伴い水素吸収した試験片及び電気化学的に水素を吸収させた試験片をさらに時効処理し引張試験を行う。</li> </ul>

(3) リスク評価手法等の適切性確認のための着眼点及び留意点の抽出（関連事項）

上記(1)及び(2)で得られた成果を基に、重大事故の同時発生も考慮した内部火災等に対するリスク評価手法を明確にするとともに、安全性向上評価におけるリスク評価手法及びその技術的根拠の適切性を原子力規制委員会が確認するための着眼点及び留意点を抽出する。

なお、前述の通り、本プロジェクトで得られた知見は、将来的に「安全性向上評価に関するリスク評価実施手法の例」を改訂する際に活用する。

工程表

	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度
(1) 内部火災等を起因としたリスク評価手法の検討	① 加工施設及び再処理施設の内部火災リスク評価手法の検討 代表事故シナリオの検討	試解析		
	② 重大事故の同時発生を踏まえたリスク評価手法の検討	試解析	リスク評価実施の基本フローの例の作成 同時発生を踏まえたリスク評価手順の例の作成	※
(2) リスク評価に向けた重大事故等に関する技術的検討	① 火災又は爆発調査	解析データの整備、ベンチマーク解析		※
	② 水素爆発ベンチマーク解析代表機器の選定	構造健全性解析		※
	③ 蒸発乾固予備試験	熱分解・凝縮試験、共存物質を踏まえた移行挙動試験、注水時の移行挙動試験		※
	④ 機器の経年劣化 a) 腐食 試験装置整備	表面皮膜確認試験、電気化学特性確認試験、腐食試験		※
	b) 水素ぜい化 試験装置整備	吸収水素量測定試験、機械的特性確認試験		※
(3) リスク評価手法等の適切性確認のための着眼点及び留意点の抽出			リスク評価手法等の適切性確認のための着眼点及び留意点の抽出	※
(3) は、(1) 及び (2) の全ての成果を総合的に反映して作成する。				

7. 実施計画

【平成 29 年度の実施内容】

(1) 内部火災等を起因としたリスク評価手法の検討

① 加工施設及び再処理施設の内部火災リスク評価手法の検討

再処理施設及び MOX 燃料加工施設における火災源、火災が影響する区画、火災の影響を受ける可能性のある安全機能等を整理し、次年度以降の試解析対象となる代表的な事故シナリオを選定する。また、MOX 燃料加工施設を対象に、発電炉の内部火災 PRA 等の手法を用いて試解析を行い、内部火災における事故シナリオを体系的に抽出する手順を検討する。

(2) リスク評価に向けた重大事故等に関する検討

① 火災又は爆発

過去に行われた火災試験を調査し、グローブボックス火災を解析する際に必要となる試験（文献）データを収集する。

② 水素爆発

水素爆発を評価するために、AUTODYN コードを用いてベンチマーク解析を実施し当該コードの特徴や適用性を検討するとともに、再処理施設の特徴を考慮し、FLACS コード等による評価結果も踏まえて、試解析対象とする代表的な機器を抽出する。

③ 蒸発乾固

- ・ 高レベル濃縮廃液の蒸発乾固時に発生が想定される揮発性 Ru について、NOx が共存した際の揮発性 Ru の熱分解反応等を同定するための試験条件等を検討した上で、予備試験を実施する。
- ・ 高レベル濃縮廃液（模擬廃液）中の共存物質の影響等を踏まえた揮発性 Ru の移行挙動を把握するための試験条件等を検討した上で、予備試験を実施する。
- ・ 高レベル濃縮廃液（模擬廃液）の沸騰晩期及び乾固状態での注水時における放射性物質の移行挙動を把握するための試験条件等を検討した上で、予備試験を実施する。

④ 機器の経年劣化

a) 腐食

- ・ アルカリ腐食による影響を確認するための試験として、表面皮膜確認試験、電気化学特性確認試験及び腐食試験に関する試験片製作、試験装置の整備を行い、予備試験を実施する。

b) 水素ぜい化

- ・ 吸収した水素の影響を確認するための試験として、吸収水素量測定試験及び機械的特性確認試験に関する試験片製作、試験装置の整備を行い、予備試験を実施する。

【平成 30 年度の実施内容】

(1) 内部火災等を起因としたリスク評価手法の検討

① 加工施設及び再処理施設の内部火災リスク評価手法の検討

平成29年度に整理した再処理施設内での火災発生時における代表的な事象進展シナリオを対象に、内部火災の発生から代表的な重大事故の発生に至るまでのリスク評価試解析を実施する。

(2) リスク評価に向けた重大事故等に関する検討

① 火災又は爆発

文献調査で入手したデータを用いた解析コード（ゾーンモデルコード及びCFDコード）によるベンチマーク解析を実施し、解析モデル及び解析コードの適用範囲及び特性について確認し、火災事象評価方法に関する技術的知見を収集・蓄積する。

② 水素爆発

平成 29 年度に抽出した代表的な機器を対象に試解析を実施し、水素爆発発生時の機器の構造の健全性等に関する技術的知見を収集・蓄積する。

③ 蒸発乾固

平成 29 年度に実施した予備試験結果を踏まえ、下記の試験を実施し、技術的知見を収集・蓄積する。

- ・ NOx が共存した際の揮発性 Ru の熱分解反応等を把握するための試験（平成 30 年度は沸騰晩期に想定される状態を中心にデータを取得）
- ・ 高レベル濃縮廃液（模擬廃液）中の共存物質の影響等を踏まえた揮発性 Ru の移行挙動を把握するための試験
- ・ 高レベル濃縮廃液（模擬廃液）の沸騰晩期及び乾固状態での注水時における放射性物質の移行挙動を把握するための試験（平成 30 年度は沸騰晩期に想定される状態を中心にデータを取得）

④ 機器の経年劣化

a) 腐食

- ・ X 線を利用した方法及び電気化学インピーダンス法により水酸化ナトリウム浸漬後の皮膜の性状を確認するため表面皮膜確認試験を実施する（パラメータ：水酸化ナトリウム濃度、溶液温度及び浸漬時間）。
- ・ アルカリ腐食が硝酸溶液（通常運転中環境下模擬）中における耐食性に及ぼす影響を確認するため電気化学特性確認試験及び腐食試験を実施する（パラメータ：水酸化ナトリウム濃度、硝酸濃度、溶液温度、腐食加速金属イオン濃度及び浸漬時間）。
- ・ なお、年度ごとに上記パラメータから実施項目を抽出し、適宜平成 32 年度までに実施する。

b) 水素ぜい化

- ・ 水酸化ナトリウム溶液濃度と水素吸収量との相関を確認するため吸収水素量測定試験を実施する（パラメータ：水酸化ナトリウムの濃度、溶液温度及び浸漬時間）。
- ・ 水酸化ナトリウム溶液中で水素吸収させた試験片及び電気化学的に水素を吸収させた試験片を用いて機械的特性低下への影響を確認するため機械的特性確認試験（引張試験）を実施する（パラメータ：吸収水素量、時効中温度、時効時間）。
- ・ なお、年度ごとに上記パラメータから実施項目を抽出し、適宜平成 32 年度までに実施する。

【平成 31 年度の実施内容】

(1) 内部火災等を起因としたリスク評価手法の検討

① 加工施設及び再処理施設の内部火災リスク評価手法の検討

平成 30 年度の試解析結果を基に、代表的な重大事故の発生から放射性物質の放出に至るまでのリスク評価試解析を実施する。

② 加工施設及び再処理施設での重大事故の同時発生を踏まえたリスク評価手法の検討

再処理施設内での内部火災を対象に、火災の発生による複数の重大事故の同時発生を踏まえたリスク評価試解析を実施し、技術的知見を収集・蓄積する。

(2) リスク評価に向けた重大事故等に関する検討

① 火災又は爆発

<p>文献調査で入手したデータを用いた解析コード（ゾーンモデルコード及びCFDコード）によるベンチマーク解析を実施し、解析モデル及び解析コードの適用範囲及び特性について確認し、火災事象評価方法に関する技術的知見を収集・蓄積する（前年度からの継続）。</p> <p>② 水素爆発 平成 30 年度の試解析で対象とした機器に加えて、排気系ダクトも考慮した試解析を行い、水素爆発発生時のこれらの構造の健全性等に関する技術的知見を収集・蓄積する。</p> <p>③ 蒸発乾固 平成 30 年度に引き続き、以下の試験を実施し、技術的知見を収集・蓄積する。 ・ NO<sub>x</sub> が共存した際の揮発性 Ru の熱分解反応等を把握するための試験（平成 31 年度は乾固時に想定される状態を中心にデータを取得） ・ 模擬廃液の乾固後の注水時への放射性物質の移行挙動を把握するための試験（平成 31 年度は乾固時に想定される状態を中心にデータを取得）</p> <p>④ 機器の経年劣化 平成 30 年度に引き続き、前述のパラメータから実施項目を抽出し、以下の試験を実施することにより技術的知見を収集・蓄積する。 a) 腐食 ・ アルカリ腐食が硝酸溶液（通常運転中環境下模擬）中における耐食性に及ぼす影響を確認するため電気化学特性確認試験及び腐食試験を実施する。 b) 水素ぜい化 ・ 水酸化ナトリウム溶液濃度と水素吸収量との相関を確認するため吸収水素量測定試験を実施する。 ・ 水酸化ナトリウム溶液中で水素吸収させた試験片及び電気化学的に水素を吸収させた試験片を用いて機械的特性低下への影響を確認するため機械的特性確認試験（引張試験）を実施する。</p>	<p>【平成 32 年度の実施内容】</p> <p>(1) 内部火災等を起因としたリスク評価手法の検討</p> <p>① 加工施設及び再処理施設の内部火災リスク評価手法の検討 ・ 平成 31 年度までに実施した試解析結果を参考に、MOX 燃料加工施設の代表的な火災シナリオに対して試解析を実施する。 ・ 平成 32 年度までに実施した試解析結果を基に、加工施設及び再処理施設における内部火災のリスク評価実施の基本フローの例を作成する。</p> <p>② 加工施設及び再処理施設での重大事故の同時発生を踏まえたリスク評価手法の検討 平成 31 年度に実施した試解析結果を基に、加工施設及び再処理施設での重大事故の同時発生を踏まえたリスク評価手順の例を作成する。</p> <p>(2) リスク評価に向けた重大事故等に関する検討</p> <p>① 火災又は爆発 MOX 燃料加工施設の代表的な火災シナリオに対して、火災影響評価解析を実施し、評価結果について検討する。</p> <p>④ 機器の経年劣化 平成 31 年度に引き続き、前述のパラメータから実施項目を抽出し、以下の試験を実施することにより技術的知見を収集・蓄積する。 a) 腐食 ・ アルカリ腐食が硝酸溶液（通常運転中環境下模擬）中における耐食性に及ぼす影響を確認するため電気化学特性確認試験及び腐食試験を実施する。 b) 水素ぜい化 ・ 水酸化ナトリウム溶液濃度と水素吸収量との相関を確認するため吸収水素量測定試験を実施する。 ・ 水酸化ナトリウム溶液中で水素吸収させた試験片及び電気化学的に水素を吸収させた試験片を用いて機械的特性低下への影響を確認するため機械的特性確認試験（引張試験）を実施する。</p> <p>(3) リスク評価手法等の適切性確認のための着眼点及び留意点の抽出 上記(1)及び(2)で得られた成果を基に、重大事故の同時発生も考慮した内部火災等に対するリスク評価手法を明確にするとともに、安全性向上評価におけるリスク評価手法及びその技術的根拠の適切性を原子力規制委員会が確認するための着眼点及び留意点を抽出する。</p>
8. 備考	



(プロジェクト個票)(案)

1. プロジェクト	28. 廃棄物埋設に影響する長期自然事象の調査方法及びバリア特性長期変遷の評価方法に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(核燃料廃棄物担当)付
2. カテゴリー・研究分野	(3) 核燃料サイクル・廃棄物 ②放射性廃棄物		
3. 背景	<p>廃棄物埋設に係る規制基準としては、第一種廃棄物埋設については未整備、第二種廃棄物埋設についてはトレンチ処分及びピット処分について整備済みであり、現在中深度処分の規制基準の制定へ向けて検討が進められている。また、対象となる廃棄物の発生施設としては主に原子炉施設の運転と解体に伴うものについて整備が進められており、今後、再処理等のサイクル施設からの廃棄物及び研究施設等からの廃棄物について、対象を拡大する必要がある。</p> <p>現在検討されている中深度処分は、潜在的な影響が残る炉内等廃棄物等を、10 万年程度の期間、火山、断層活動及び隆起・侵食の影響について安全上の観点から問題ない場所と深さに、放射性物質の環境への漏えいをできる限り抑制する設計の施設に埋設する概念とし、対象となる廃棄物は、10 万年後の時点で直接人と接触することがあっても大きな影響を与えない濃度まで放射性物質が減衰するものに制限されるものとしている。現在、規制に係る基本的考え方を検討しており、これに引き続き、許可基準規則及びその解釈、立地評価ガイド、調査手法に関するガイド、安全評価ガイド等を整備し、さらに審査に向けてそれらの判断基準の整備及び後続規制に向けて廃棄物確認、施設確認、モニタリング等の基準を整備する必要がある。</p> <p>中深度処分の安全機能は、埋設施設と埋設施設が設置される地質環境に依存し、適切な場所の選定と選ばれた場所でのそれらの長期間にわたる機能の発揮を要求する考え方は、今後整備が必要な第一種廃棄物埋設とも、対象とする期間の長さ以外は共通する点が多い。したがって、まず安全研究の成果及び現在までの知見を用いて中深度処分に係る規則、規則の解釈、ガイド等を整備しつつ、今後、第一種廃棄物埋設についても、必要な部分の検討を加えることにより同様の整備を行うことが適切であると考えられる。また、これらの埋設事業はその事業期間が300～400年程度にわたることが予想されているため、継続した検討を行い、新知見を反映していくことになる。</p> <p>最終処分関係閣僚会議(平成27年12月)において、平成28年中に国により特定放射性廃棄物の最終処分に関する科学的有望地の提示を目指すことを示すことを決定しており、その後文献調査、概要調査、精密調査を経て最終処分建設地が選定され、事業許可の申請が行われることとされている。これに対する規制の関わりとしては、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針(平成27年5月閣議決定)において、「原子力規制委員会は、最終処分に関する安全確保のための規制に関する事項について、順次整備し、それを厳正に運用することが必要である」及び「原子力規制委員会は、概要調査地区等の選定が合理的に進められるよう、その進捗に応じ、将来の安全規制の具体的な審査等に予断を与えないとの大前提の下、概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮すべき事項を順次示すことが適当である」とされている。このため、事業の進捗に応じ、立地条件及びその調査の適切性を中心として、安全研究の成果を反映して、これらを示していくことになる。</p> <p>第二種廃棄物埋設については、廃炉の計画が進むに従い、トレンチ処分及びピット処分の事業化が進み、更に炉心の解体が進むに当たって中深度処分の事業化も具体化されることが予想される。また、研究施設等廃棄物の埋設については、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が実施主体となることが法律で定められており、その実施計画ではトレンチ処分及びピット処分から事業化するとされている。</p> <p>諸外国における我が国の第一種廃棄物埋設に相当するガラス固化体等の地層処分に関しては、フィンランド、スウェーデン、フランス等において、国ごとの進捗の相違はあるものの、許可基準及びガイドが策定され、フィンランド等では建設許可申請の審査が完了している。諸外国における地層処分の規制基準のポイントとしては、サイト選定における水理条件、地球化学環境条件等の地質環境特性とその長期的安定性、天然バリア機能の安定性と調査手法の適切性、人工バリアの閉じ込め機能の立証、安全評価手法と閉鎖後の線量拘束値、低頻度事象の定義、発生確率及び線量との関連性等が示されていることである。また、諸外国、特にフランスにおいては、規制当局が実施主体の立地調査結果に対する意見を求められ、調査の品質及び評価の妥当性等に関する意見書を提出している。我が国における規制の関与は、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律(平成12年法律第117号)で定められた、経済産業大臣が最終処分に関する基本方針及び最終処分計画を定めようとするときに、最終処分の実施に関する事項及び最終処分に係る技術の開発に関する事項の安全確保のための規制に関するものについて、原子力規制委員会の意見を聴かなければならないとされている時点及び事業許可申請以降の段階である。一方、水圧、水質等の調査のように、擾乱を受けていない初期状態から継続的に実施し、調査や建設に伴う擾乱の程度を把握する必要のある調査もある。事業許可申請は適切な項目と品質に裏付けられたものである必要があり、そのためには、あらかじめ、申請に必要となる地質環境及び長期の変動予測を行うための調査・評価手法とその品質保証に関する知見の整理と妥当性を評価する指標を提示することが必要となる。</p> <p>我が国の事業者等における研究としては、総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会地層処分技術WGにおいて、地層処分施設の立地に適切な科学的有望地の要件と基準に関する検討結果が平成28年8月に公開され、そこでは断層、火山、隆起、侵食、地熱、熱水活動及び鉱物資源に関しては、回避すべき範囲及び回避が好ましい範囲の基準が提示され、さらに輸送などの観点から、港湾(海岸)から20km程度の範囲の沿岸域及び海岸線より15km程度以内の海底下が好ましい範囲として提示された。しかしながら、事業者等においては、将来10万年までの自然事象の予測可能性に関する研究開発は行われているが、10万年を超える期間に関しては、起因事象となるプレート運動の変動パターンを幾つか仮定した上での定性的分析が主な評価手段であり、実際の予測可能期間の検討及び10万年を超える予測可能期間内での自然事象、地下水流動場等の地質環境変動の予測に関する検討は行われていない。</p> <p>これまでの安全研究においては、第一種廃棄物埋設について、立地基準の整備に活用可能な活断層、第四紀火山などの地質関連の各種データベース及び10万年程度の地質事象を対象に、将来予測に活用可能な調査評価手法に関する知見の整理並びに審査に活用可能な安全評価手法の構築を行ってきた。これらの安全研究の成果は中深度処分の立地基準の考え方に反映されている。また、中深度処分に関連して、基準策定の検討に反映するため、諸外国の基準及び国際基準、地下利用状況等の調査を実施するとともに、将来の安全審査に関連する重要事象として、基本的な地下水流動、核種移行評価技術に加えて、ガス発生の影響、地震影響等の検討を行ってきた。</p>		



	<p>これらを背景とし、中深度処分等の立地基準の策定においては、将来予測のための過去長期間の地質環境安定性の評価基準、断層、侵食等の地質事象に関する評価が可能な期間と評価が必要な期間の関係等を整理した上で、取得可能な各種情報に基づいて、種々の地質事象に対して必要な期間中の安定性を示すための技術的知見の取得と考え方の整理が必要である。それらの情報を取得する調査に求める品質を示す調査ガイドの整備のために、必要な情報とその取得方法、それによる擾乱の範囲等を検討する必要がある。また、長期の安全評価については、沿岸域（陸側及び海側）の特性まで評価技術の適用範囲を広げる必要があるほか、埋設施設内で発生するガスの影響、バリア材料の長期的な力学的変形等十分な結論が得られていない課題等について、新規の知見を反映した継続的な検討が必要である。</p>
4. 目的	<p>中深度処分の立地基準、調査ガイド等及び地層処分の立地選定において安全確保上少なくとも考慮すべき事項等の整備を行う際に必要となる、天然バリアとなる地質環境の長期安定性及び人工バリア隔離性能と長期安定性の適切な評価手法を構築するための知見を蓄積する。</p>
5. 知見の活用先	<p>本プロジェクトで得られた成果は、第二種廃棄物埋設の中深度処分の立地基準、調査ガイド、安全評価ガイド等に反映するとともに、第一種廃棄物埋設に対して、立地条件及びその調査の適切性を中心として、概要調査地区等の選定時に示す安全確保上少なくとも考慮すべき事項に反映する。</p>
6. 安全研究概要 (始期：平成 29 年度) (終期：平成 32 年度)	<p>規制基準、解説及び評価ガイドを整備するために、立地に関する地質環境及び自然事象の評価手法及びその不確かさの把握手法に関する科学的知見を整理する必要がある。また、モニタリングに関しては、廃止までの期間の長期にわたる各種のモニタリングについて検討を行う必要がある。したがって、評価ガイド等の整備のために必要な課題を抽出するために、以下の項目に関する安全研究を関係機関と協力して実施し、科学的知見を整理する。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以下の分類に基づき実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 規制基準等の整備に活用するための知見の収集・整備</li> <li>② 審査等の際の判断に必要な新たな知見の収集・整備</li> </ul> <p>1) 立地基準及び調査方法に関する研究</p> <p>立地に関する規制基準、評価ガイド等の作成においては、対象となる廃棄物の特性にあった評価期間をそれぞれ設定する必要がある。これまでの研究成果により多くの科学的知見が整理されているが、現在、ガイド等の作成に当たって不足している科学的知見としては、長期間の隆起と複数回の海水準変動サイクルを経た場合の侵食による埋設深度変化の評価手法、第四紀の明瞭な活動履歴が認められない断層の活動可能性評価及び水理環境の安定性評価としての隆起・侵食と海水準変動に伴う地下水流動場の評価手法が挙げられる。個々の課題に関して、以下のように研究を進め、ガイド等の整備に活用可能な知見を整備し、最終年度に成果の内容を取りまとめる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 長期間を対象とした複数の手法による隆起及び侵食速度の評価手法       <p>隆起速度評価に関して、現状において基準指標面による年代評価によって過去数十万年までの評価が可能であるが、より長期間での評価手法を確立するため、適用される時間スケール等が異なる複数の手法を用いた評価手法の適用性を確認する。また、一般的に用いられる隆起速度を侵食速度の指標とする考え方は地形が長期的に変化しないことを仮定しているため、複数の海水準変動サイクルを考慮すると不確かさが大きい。したがって、長期的な埋設深度の変動を評価するためには過去長期間にわたる侵食速度の評価を併用することが重要であり、現在、宇宙線生成核種等の地球化学指標を用いた評価手法の適用が進められているが、ボーリング孔等の点での評価が中心であり、また適用事例が十分得られていない。そのため、面的な侵食速度を評価するために、土石流等、短時間に堆積した堆積物を用いた地球化学的手法の適用性を検証するとともに、同一地域における変動地形学的手法等による隆起速度評価との比較検討を行い、深度の減少評価に用いられている隆起速度による評価の適切性を判断し、廃棄物埋設地における深度変化の評価手法を構築する。</p> </li> <li>➤ 第四紀の明瞭な活動履歴が認められない断層に関する応力場の評価手法と活動可能性評価手法       <p>処分施設の安全性に影響を及ぼし得る断層の活動可能性を評価するためには、一般的に用いられる過去の活動履歴を外挿する方法のみでは評価期間が長期にわたる場合には不確かさが大きく、第四紀における明瞭な活動履歴が認められない断層が活動した事例も存在する。活動可能性評価を補完する手法として、力学的指標を用いた断層活動性の検討が実施され、一部地域においては活動履歴と整合性がとれた結果となっている。しかしながら、力学的指標に関しては、入力パラメータとなる摩擦係数や間隙水圧、境界条件である主応力等不確定な要因が多く、特に応力状態が複雑な地域等では十分に活動性の分別ができていない状況である。したがって、力学的指標による評価の客観性の向上と評価ガイド等への反映を目的として、第四紀に明瞭な活動履歴が認められていなかったが近年活動した断層に対する評価を実施し、各パラメータが力学的指標に与える影響を定量的に評価する。また、微小地震データ等を用いた断層周辺における地域応力場の評価手法の構築と、評価結果を利用した力学的指標による第四紀における明瞭な活動履歴が認められない断層の活動可能性評価手法の整備を行う。さらに、長期的な活動性変化の要因となる周期的な海溝型巨大地震や長期的なプレート運動の変化による断層周辺の応力状態の変化を考慮した評価手法を構築する。これらに加えて、露頭調査が不可能で堆積物からの断層活動の評価が困難となる海域（海底）における断層の活動性評価手法に関しては、物理探査等の実際の調査データが得られている地域を対象とした試験的な評価を行い、立地調査等において実施すべき項目として評価ガイド等に記載すべき手法を抽出する。</p> </li> <li>➤ 水理環境安定性評価としての地下水流動場の評価手法       <p>淡水－塩水が複雑な分布で存在する沿岸域においては、約 10 万年周期で起きる海水準変動等の影響によって、地下水流動系が変動するため、現在の状態において卓越した地下水流動が存在しない場においても、長期的に流動場が発生しないとは判断できない。地下水流動系の長期的な変動を評価するためには、過去の海水準変動等に伴う地下水流動と水質の変動に関するエビデンス並びにそれらを用いた予測手法の整備が必要である。したがって、淡水－塩水等の混合した状況での同位体水文学的評価手法の整備とそれらの結果からの地下水流動系変動の評価手法の整備、長期的な水質履歴の指標となる地球化学的評価手法の整備を行うとともに、塩水－淡水混合系において、海水準変動や隆起・侵食の影響による地下水流動系の変化に関するモデル化を行い、エビデンスに基づく長期地下水流動系の評価手法構築を行う。</p> </li> <li>➤ 調査データの品質に関する評価手法       <p>廃棄物埋設施設の立地調査においては、物理探査、ボーリング調査等によって、対象となる地下の地質構造、水理、地球化学、力学等のデータが取得され、各種評価に用いられる。しかしながら、地質環境による各種調査手法の適用性、ボーリング調査や地下の坑道</p> </li> </ul>

掘削による地下環境の擾乱等によって、特に水理、同位体、地球化学に関する取得データが地下環境を十分に反映していない可能性を考慮しなければならない。地下水流動場等の評価を行うためには、調査データの品質を評価し、十分な品質のデータを用いた評価を行う必要があるため、調査ガイド等に、データ品質に関する言及が必要となる。ここでは、処分施設の立地が進んでいる海外、あるいは国内の地下実験施設等における調査データの品質評価の方法の取りまとめと実際の調査事例に基づく地下環境の擾乱の評価を行い、調査対象となるパラメータ等に応じたデータの品質を確保するための調査手法や留意点を抽出する。

地層処分における規制の基本的考え方と中深度処分の規制の考え方は重なる部分が多いと考えられる。しかし、地層処分は長半減期核種の濃度制限を行えないことから、安全性の立証を要求する期間、シナリオ設定、代替指標の考え方を構築する上での自然事象の長期的不確実さ等の特有の課題もある。このため、以下の整理が必要である。

➤ 自然事象の変動に関して定量的な予測が可能な期間に関する整理

我が国の過去の自然事象（特に隆起・侵食及び火山活動）の発生事例及び発生メカニズムを踏まえた上で、長期的な将来において、現在の活動が継続すると考えられる期間と、長期の不確実さによりその継続に影響を与えると考えられる期間の整理を行う。また、不確実さを評価するための科学的知見（追補的な予測評価：断層の再活動可能性評価手法等の適用性と必要性の整理を含む）の収集を行う。

2) 廃棄物埋設地の安全性評価に関する研究

評価ガイド、規制基準等を作成するに当たっては、多重バリアシステムとしての人工バリア、天然バリアの長期安全性を評価するための適切な調査・評価手法の記載に加え、それぞれの長期的変動の安全評価上の留意事項に関する記載が必要となる。現状の成果としての室内実験、原位置試験及び安全評価コード内でのモデル化手法の成果を鑑み、特に十分な研究が行われていない沿岸域の特性を考慮して、以下の知見の整備が必要となる。以下の研究によって新たに得られた知見と従来研究成果を合わせて、安全評価に必要な知見を取りまとめ、最終年度に成果として取りまとめる。

➤ 処分環境下における人工バリアの変質挙動に関するデータ整備

人工バリアの長期変質挙動に関しては、現在まで主に淡水系地下水環境下を想定した室内実験及び解析コードの開発を実施している。しかしながら、淡水-塩水混合系地下水環境におけるオーバーパックの腐食、緩衝材の透水・拡散特性や変質挙動等、隔離・遅延性能とその変質挙動に関しては十分なデータが得られておらず、評価手法及びモデルの構築が必要となる場合もある。設計に関する適切な評価ガイド等策定のためには想定される実環境下におけるデータ及び解析コードを保有する必要があるため、淡水-塩水混合系地下水環境下における室内実験とモデル解析を中心として人工バリアの変質挙動に関する評価手法の構築を行う。また、フランス放射線防護原子力安全研究所（以下「IRSN」という。）との協力関係を強化し、IRSNの地下実験施設において実施している人工バリア-天然バリア相互作用に関する研究プロジェクトへの一部参加等によって、人工バリア材料の変質モデルの改良を行う。

➤ 天然バリアの核種移行遅延機能の評価手法

天然バリアとして機能する低透水性岩盤の透水性、拡散特性等の核種移行の遅延効果に関する評価手法は、現在までの研究においてかなりの部分が実用化されている。しかしながら、海水準変動及び隆起・侵食によって地形及び動水勾配が大きく変化する地域においては、地形変化等に応じた水理特性・拡散特性等の変化に関する物理化学モデルの整備及び安全評価コードへの実装は実用化されていない。そのため、主に文献調査等による情報収集及びデータ整備を行い、地形変化等に対応した物理化学モデルを整備し、安全評価コードへの実装を進める。また、立地調査等による天然バリア機能に対する擾乱と長期的な回復過程の評価、擾乱を最小化する調査手法等の検討を国内あるいは海外の地下実験施設における調査データを用いた数値解析等によって検討する。

➤ 低頻度事象のシナリオ設定

安全評価に関する評価ガイド作成に当たって、長期的に発生する可能性がある事象（低頻度事象）を考慮した評価シナリオの設定及び評価手法に関する留意事項を定める必要がある。現時点では安全評価手法に関しては、一部が安全評価コードに実装されている状況であるが、基本的なシナリオ設定の考え方が整備されていないため、以下の課題に対する研究が必要となる。

廃棄物埋設施設の評価期間の中で、処分システムの安全機能に影響を与えることが懸念される地質事象は、立地において可能な限り発生可能性を排除する必要がある。しかし、立地によって排除しきれない低頻度の地質事象に関しては、時間の経過による低頻度事象の発生確率の取扱い、評価基準及び評価方法に関して、シナリオ作成を行うとともに、その評価手法を整備する。

3) 埋設段階及び保全段階における地下水の水位等のモニタリングに関する研究

管理要求としての埋設段階及び保全段階における放射線・非放射線モニタリングに関する要求は、中深度処分と地層処分の両者において含まれる。しかしながら、特に核種の遅延効果としての地下水水質及び人工バリアのバリア機能のモニタリングに関しては、現在までの基盤研究及び規制支援研究においても機器開発等の基礎的な段階であるため、モニタリングに関する基準等において適切なモニタリング手法を示す際に、以下の観点からの研究が必要となる。

➤ 地下水流動、人工バリア性能等の長期モニタリング

少なくとも廃止までの期間の長期にわたる各種のモニタリングに関する要求を基準等で示す必要がある。具体的に示すためには、最新の技術を用いて現実的に可能な範囲内での各種モニタリング手法及び概念を構築する必要があるため、現在国際プロジェクトに参画しているIRSNとの協力関係を強化し、地下研究施設におけるモニタリング技術研究開発に関する最新知見の収集、IRSNのTournemire地下実験場における研究プロジェクトへの部分的参加等を通じ、モニタリングに関する知見を整備する。

		平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
放射性廃棄物埋設の規制の考え方及び許可基準規則の整備のための検討		中深度処分 (平成28年度中に規制の考え方、放射線防護の考え方を整備)			
		許可基準規則及びその解釈の整備 廃棄体、埋設施設の技術基準の整備			
		トレンチ処分、 ピット処分 (平成28年度中に廃棄体、埋設施設の技術基準の整備(性能規定化))			
1) 立地基準及び調査方法に関する研究		研究施設等廃棄物 (平成28年度中に廃棄物性状調査及び論点整理)			
		技術的検討	許可基準規則及びその解釈の整備		
					▽論文公表
2) 廃棄物埋設地の安全性評価に関する研究		隆起・侵食量評価手法の構築と適用性の確認 断層の再活動性評価手法の構築	面的な隆起・侵食量評価手法の構築 地域応力場の評価手法の構築	従来の隆起と侵食量の関係性の考え方の妥当性評価 応力変化を考慮した断層再活動性評価の課題の整理	隆起・侵食量評価のための考え方の整理 応力変化を考慮した断層再活動性評価手法の構築
		沿岸域における地下水流動場評価手法の適用性検討	地下水流動履歴のデータの蓄積	地下水流動系変動モデルの構築	海水準変動等を考慮した地下水流動場変動評価手法の構築
		中深度処分立地基準の整備	第一種廃棄物埋設の安全確保上少なくとも考慮すべき事項	中深度処分調査ガイドの整備	
3) 埋設段階及び保全段階における地下水の水位等のモニタリングに関する研究		人工バリア変質挙動に関する室内実験と天然バリアの核種移行評価のための課題整理	人工バリア変質挙動に関するコード構築と天然バリアの核種移行に関する文献調査	人工バリアの変質挙動評価手法の構築と天然バリアの核種移行モデル整備	成果の取りまとめ、評価手法の構築、ガイド改訂のための論点整理
				低頻度地質事象の基本的なシナリオ設定の課題を整理	低頻度地質事象の基本的なシナリオ設定の影響評価手法の検討
		モニタリング技術に関する最新知見の情報収集、地下水モニタリングによる地下水流動場の検証技術の検討、モニタリング項目および手法の整理			中深度処分の安全評価ガイドの整備

7. 実施計画

【平成29年度の実施内容】

1) 立地基準及び調査方法に関する研究においては、既往研究によって隆起速度が得られている地域にて、時間スケールの異なる複数の新たな評価手法の適用性を確認することで、長期間の定量的な隆起速度評価手法を構築する。また、断層の再活動性評価に関しては、第四紀における明瞭な活動履歴が認められていない断層が、近年活動した事例を対象とした力学的指標による評価を実施し、力学的評価に必要な各パラメータの影響を定量的に評価する。また、沿岸域における長期的な地下水水質履歴と地下水流動系の変動を評価するための地球化学的及び同位体水文学的手法の適用性検討を行う。

2) 安全評価に関する研究では、塩水-淡水混合系地下水環境下を想定した環境において、人工バリアの長期変質挙動を評価するため

	<p>の室内実験を行い、モデル構築やコード開発に必要なデータを取得する。また、従来の天然バリアの核種移行評価手法を、海水準変動、隆起、侵食等の地形変化によって動水勾配が大きく変化する可能性のある沿岸域に適応する際の課題を整理する。これらの研究成果を踏まえ、立地評価ガイド及び立地調査ガイド作成のために必要な知見を整理する。</p> <p>【平成30年度の実施内容】</p> <p>1) 立地基準及び調査方法に関する研究としては、面的な侵食速度を定量的に評価するための手法を開発するとともに、同一地域において隆起・侵食を評価するためのデータを蓄積し、正確な変動履歴を評価する。微小地震データを用いた断層周辺の地域応力場の評価手法を検証し、評価結果を利用して力学的指標による断層活動性評価手法を開発する。さらに、地下水の水質履歴を評価するためのデータ及び地下水流動系変動履歴を評価するためのデータの蓄積を行う。</p> <p>2) 安全評価研究に関しては、沿岸域における人工バリアの変質挙動解析を行うため、解析モデルの構築を行うとともに、必要があれば追加的な室内実験を行う。また、天然バリアの核種移行評価手法を構築するため、沿岸域特有の地形変化に応じた水理特性・拡散係数の変化等に対応した物理化学モデルの整備のための情報収集を行う。</p> <p>【平成31年度の実施内容】</p> <p>1) 立地基準及び調査方法に関する研究として、隆起・侵食活動が起きている地域を対象として、隆起速度と侵食速度の関係性を評価し、隆起量を侵食量とする従来の考え方の妥当性を評価する。また、周期的な海溝型巨大地震や長期的なプレート運動の変化による断層周辺の応力状態の変化が、長期的な断層活動性変化の要因となる可能性を考慮し、力学的指標を用いた断層活動性評価手法の課題を整理する。さらに、地下水の水質履歴を評価するためのデータの蓄積を行うとともに、過去の海水準変動に伴う地下水流動の変動に関するエビデンスから、地下水流動系の変動モデルを構築する。</p> <p>2) 安全評価研究に関しては、室内実験の結果と構築したモデルから、人工バリアの変質挙動に関する解析コードの開発を行う。また、沿岸域の特徴に対応した、核種移行に関する新たな物理化学モデルを整備し、安全評価コードへの実装を準備する。立地によって排除しきれない低頻度地質事象に関して、現状の基本的なシナリオ設定を整理して課題を抽出し、新たなシナリオ作成を行う。</p> <p>3) モニタリングに関する研究については、国際プロジェクト等に参加している外国機関と協力して、モニタリング技術に関する最新知見の情報収集を行い、立地段階においてモニタリングすべき項目の整理及びモニタリング手法の整理を行う。</p> <p>【平成32年度の実施内容】</p> <p>1) 立地基準及び調査方法に関する研究としては、隆起・侵食速度の新たな評価手法から得られた侵食に関する考え方の整理、応力場の変動を考慮した断層再活動性評価手法の構築、海水準変動や隆起・侵食の影響による地下水流動系の変化に関するモデル構築及び沿岸域における地下水流動場変動評価手法の構築を行う。また、立地基準及び調査方法に関する研究から得られた知見を取りまとめ、研究成果として公表する。</p> <p>2) 安全評価研究に関しては、人工バリア変質挙動解析に向けたコードの改良を行い、変質挙動に関する評価手法を構築する。また、天然バリアの核種移行解析コードを整備し、沿岸域特有の地形変化に対応した、天然バリアの核種移行遅延機能の評価手法を構築する。立地によって排除しきれない低頻度地質事象に関して、基本的なシナリオ設定の影響評価手法の検討を行う。</p> <p>3) モニタリングに関する研究については、情報収集によって得られた知見を整理し、立地調査段階においてモニタリングすべき項目およびモニタリング手法について整理する。</p> <p>これらの研究成果から得られた知見は、中深度処分だけでなく、地層処分にも適応した立地評価ガイド及び立地調査ガイドに改訂するために活用する。</p>
8. 備考	



(プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	29. 放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(核燃料廃棄物担当) 付
2. カテゴリー・研究分野	(3) 核燃料サイクル・廃棄物 ③廃止措置・クリアランス		
3. 背景	<p>廃棄物確認(核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和32年法律第166号)第51条の6第2項)、クリアランスの確認(同法第61条の2第1項)及び廃止措置の終了確認(同法第43条の3の33第3項)では、対象となる放射性廃棄物等の放射能濃度を原子力規制委員会が確認する必要がある(図1参照)。</p> <p>(1) 廃棄物確認</p> <p>現在日本原燃(株)が低レベル放射性廃棄物埋設センターを操業しており、同施設に埋設される廃棄体(放射性廃棄物を200Lドラム缶に封入又は固型化したもの)について廃棄物確認を実施しているが、今後中深度処分施設や日本原子力発電(株)のトレンチ処分施設等の操業に伴い、200Lドラム缶の廃棄体とは異なる新たな廃棄体(遮蔽材が含まれる角形容器を用いたもの)及びコンクリート等廃棄物(容器封入又は固型化されていない放射性廃棄物。廃棄体と合わせて、以下「廃棄体等」という。)の発生が想定されることから、これらの新たな廃棄体等に対する具体的な確認方法を整備することが重要である。特に、放射能濃度の評価方法については、200Lドラム缶の廃棄体では、スケリングファクタ法、原廃棄物分析法等の測定値に基づく手法が主に用いられているが、新たな廃棄体等では、放射化計算等に基づく手法が用いられると考えられる。また、放射能濃度の評価精度は対象物の性状(材質、形状、充填状態、核種組成等)に依存する。以上より、新たな廃棄体等についてはその性状を踏まえて既存技術の適用性を確認するとともに、必要に応じて新たに確認手法を整備することが重要である。</p> <p>(2) クリアランス検認</p> <p>日本原子力発電(株)東海発電所の金属くず、中部電力(株)浜岡原子力発電所のタービンロータを始め、これまで4施設から発生した対象物に対してクリアランスを適用した実績がある。一方で、原子炉施設の解体の進展に伴い、クリアランスレベル相当以下の放射能濃度であるものの、製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則(平成17年経済産業省令第112号)で規定されているクリアランス対象物(金属くず、コンクリートの破片及びガラスくず)以外の対象物(アスベスト、ケーブル等)の発生が見込まれており、これら対象物にクリアランスを適用することが考えられる。放射能濃度の測定方法は対象物によって異なるため、このような新規の対象物にクリアランスを適用する場合のクリアランスレベル及び国による検認※方法を整備することが重要である(※クリアランスレベルを用いて、放射性物質として扱う必要がない物であることを事業者が判断し、その判断に加えて国が適切な関与を行うことを「クリアランスレベル検認」というが、ここでは、事業者が認可申請するクリアランス対象物の測定・評価手法の妥当性を確認すること及び事業者が実施した測定結果の妥当性を確認することを合わせて「国による検認」という。)</p> <p>(3) 廃止措置の終了確認</p> <p>平成39年に日本原子力発電(株)東海発電所の廃止措置の終了が予定されているが、国際原子力機関による総合規制評価サービスでも指摘を受けているとおり、サイト解放の具体的な基準が規定されていないために、基準に適合していることの終了確認方法が整備されていない。サイト解放基準については、現在、原子力規制委員会において年線量基準として検討が進められている。年線量基準となった場合、終了確認では年線量を直接測定することはできないので、年線量基準に相当する誘導放射能濃度を導出し、この誘導放射能濃度を満足しているか否かを確認することになる。誘導放射能濃度の算出については、日本では旧原子力安全委員会においてクリアランスレベルの検討に用いられたコードをベースとしたJAEA開発のPASCLR-Releaseコード、米国では米国規制委員会が認可するRESRAD<sup>1)</sup>コード、ドイツではRESRADをベースにして開発したコードがある。また、サイト解放時の放射能濃度の測定・評価マニュアルとしては米国においてMARSSIM<sup>2)</sup>が制定されているが、それとは別の手法として限られた測定点数から広域放射能濃度分布を推定する地球統計学的手法も研究されている。この手法は、MARSSIMでは評価対象領域全体をカバーするように測定点を選定するのに対して、評価対象領域内の限られた測定点での測定値の空間的な相関を用いて評価対象領域全体の放射能濃度分布を推定するものである。</p> <p>誘導放射能濃度の導出はサイト固有の地形等の条件に依存することから、これら条件が線量評価に及ぼす影響及び広範囲でかつ微量な残留放射能濃度を合理的に確認する方法を検討し、廃止措置終了確認の具体的な方法を整備することが重要である。</p> <p>(1)http://www.evsnl.gov/resrad, 2)Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, DOE, EPA, NRC and DOD, 1997)</p>		
4. 目的	<p>原子力規制委員会による種々の確認において事業者の申請の妥当性を判断するために、測定装置の特性及び対象物の性状に応じた放射能濃度評価精度に影響するパラメータ等を把握する。</p> <p>(1) 廃棄物確認</p> <p>中深度処分及びトレンチ処分の廃棄物確認における廃棄体等の放射能濃度を確認するための判断根拠を整備する。</p> <p>(2) クリアランス検認</p> <p>今後、クリアランス制度が様々な施設において様々な対象物に対して適用されることを念頭に、従来のクリアランス対象物以外の対象物に対する濃度上限を検討するとともに、極めて低い放射能を対象物の性状に応じて適切に測定・評価する技術について整理し、国による検認に関する判断根拠を整備する。</p> <p>(3) 廃止措置の終了確認</p> <p>残留放射能による被ばく線量評価に及ぼすサイト固有の条件による影響を定量的に検討し、誘導放射能濃度を導出する際の留意事項を抽出するとともに、広い敷地に分布する極微量の放射性核種濃度を効率的かつ精度よく測定・評価する技術について整</p>		

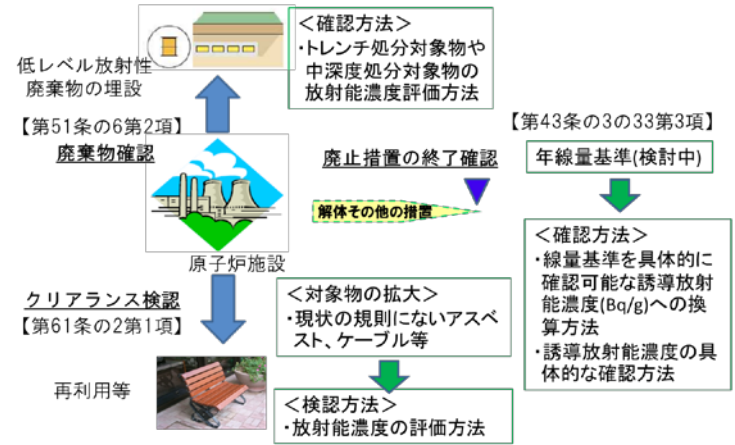


図1 本安全研究の概要

理し、終了確認に関する判断根拠を整備する。

5. 知見の活用先

- (1) 廃棄物確認  
廃棄物確認における放射能濃度等の具体的な確認方法を定めた廃棄物確認に関する運用要領に活用する。
- (2) クリアランス検認  
従来のクリアランス対象物以外の対象物にクリアランスを適用する場合のクリアランスレベル（基準）及び国による検認に活用する。
- (3) 廃止措置の終了確認  
廃止措置の終了に係る審査に活用する。

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以下の分類に基づき実施する。

- 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新たな知見の収集・整備（以下「分類②」という。）

(1) 廃棄物確認（分類②）

現在操業中の低レベル放射性廃棄物埋設センターに埋設される 200L ドラム廃棄体は、二次的な汚染である表面汚染を対象にしたものであり、主に図 2 に示す測定値に基づく手法によって放射能濃度を評価している。今後対象となる新たな廃棄体等は二次的な汚染だけでなく放射化汚染も対象であり、図 3 に示す放射能濃度評価になることが想定される。

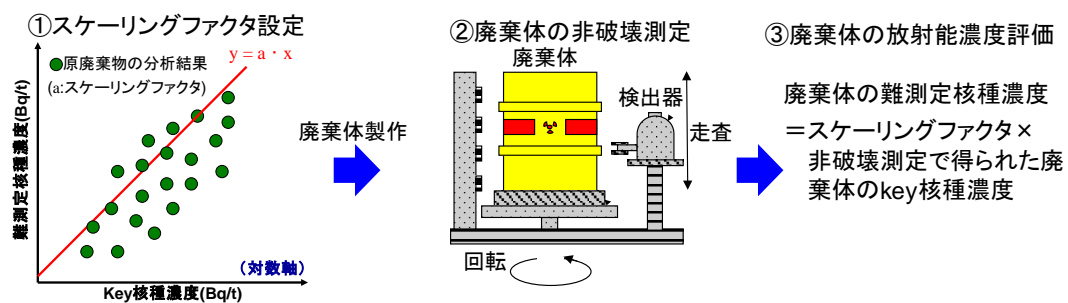


図 2 現状の廃棄体の放射能濃度評価の流れ（スケーリングファクタを用いる場合）

6. 安全研究概要

（始期：平成 29 年度）  
（終期：平成 32 年度）

放射化汚染		廃棄体等の放射能濃度評価
①放射化計算条件の設定 ・親元素濃度の設定 ・中性子条件の設定	➡	・廃棄体等の製作条件から算出 ・廃棄体等の非破壊測定
②放射化計算	➡	
③放射化計算結果の検証 ・核種の分析 ・分析結果と放射化計算結果の比較		
二次的な汚染（スケーリングファクタを用いる場合）		
①スケーリングファクタの設定 ・原廃棄物の核種の分析		

図 3 新たな廃棄体等の放射能濃度評価の流れ

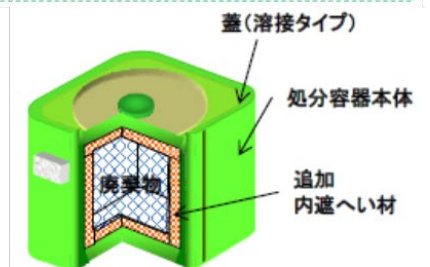
図 3 に示す放射能濃度評価の妥当性を判断するに当たっての検討項目は次のとおりである。

- ・放射化計算においては、処分上重要となる核種の炉内構造材等に含まれる親元素濃度が不明であるものがある。したがって、当該親元素の設定方法が適切であること
- ・放射化計算結果が放射化学分析等によって検証されていること
- ・廃棄体等の非破壊測定については、放射能濃度の評価精度は対象物の性状（材質、形状、充填状態、汚染の種類等に依存した核種組成の分布等）に依存することから、対象物の性状を考慮して測定精度や適用条件が評価されていること

中深度処分対象の廃棄体については、諸外国の中レベル処分（中深度処分相当）における事業者の廃棄体の放射能濃度評価方法及び当該評価方法に対する規制当局の妥当性評価方法を調査・整理する。当該廃棄体の性状から（図 4）、放射化計算を主体とした放射能濃度評価になることを想定し、諸外国の調査結果を踏まえ、次に示す事項を検討し、当該対象物の放射能濃度評価方法の妥当性に係る判断根拠を取りまとめる。

- ・放射化計算に用いる炉内構造材等に含まれる微量な親元素（Cl、U 等）の濃度の設定に用いられる代表値の設定方法を模擬試料（炉内構造材等の原材料）を用いて検討する。
- ・Zr-93、Sn-126 等の中深度処分固有の核種の分析方法の妥当性を模擬試料を用いて確認する。
- ・対象物を非破壊測定する場合（対象核種：Co-60 等の高エネルギーの  $\gamma$  線放出核種）を想定し、検出器応答シミュレーション等により測定時間と測定精度の関係を適用検出器を含めた種々の測定体系ごとに整理し、適用条件を検討する。
- ・対象物を非破壊測定する場合でも非破壊測定だけでは放射化汚染と二次的な汚染を厳密には識別できないので、放射化計算を組み合わせた放射能濃度評価方法における評価精度（放射化汚染と二次的な汚染の分布が異なることを考慮）等の適用条件を検討する。

外容器：圧延鋼板溶接（肉厚5cm）  
外寸法：縦1.6m×横1.6m×高1.6m(or1.2m)  
外容積：約4m<sup>3</sup> (or約3m<sup>3</sup>)  
最大重量：約28トン（内部充填要否検討中）



（第2回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合の電気事業連合会資料より）

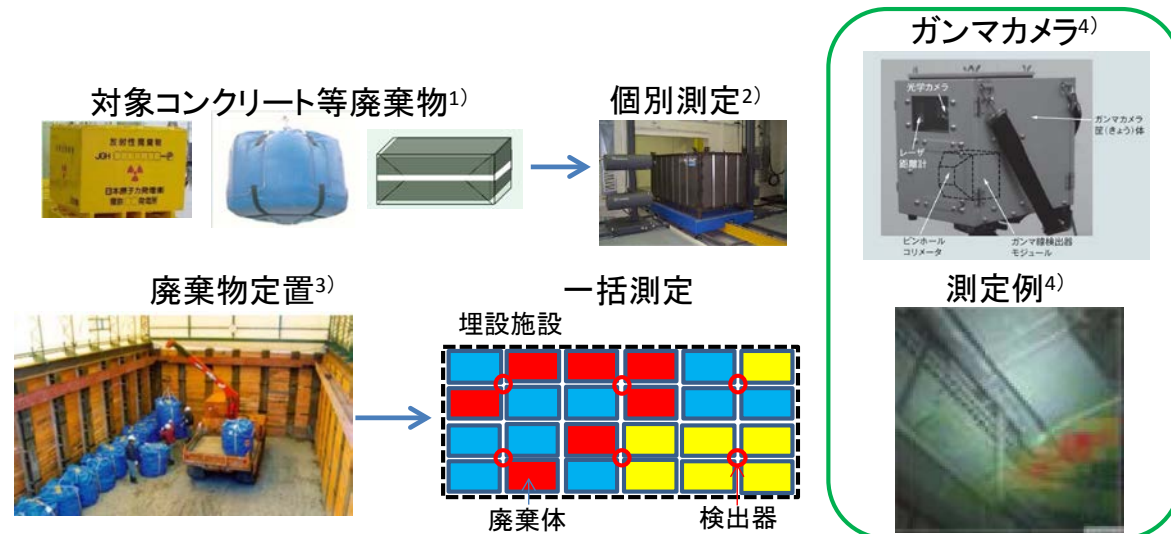
図 4 中深度処分対象廃棄体の例

トレンチ処分対象のコンクリート等廃棄物については、現状の 200L ドラム廃棄体の場合と同様に非破壊測定を適用した放射



能濃度評価になることを想定し、次に示す事項を検出器応答シミュレーション等によって検討し、当該対象物の放射能濃度評価方法の妥当性に係る判断根拠を取りまとめる。

- 現状の 200L 廃棄体より低濃度であることから、対象物中の非破壊測定可能核種 (Co-60 等) を廃棄体ごと (個別測定) 又は廃棄体定置工程ごと (一括測定) に測定することを想定し (図 5)、対象物表面での線量率分布測定値から代表点 (最大点等) を抽出するための線量率分布測定方法 (ガンマカメラ及びシンチレーションファイバー等) の測定性能 (測定核種ごとに測定時間と分布測定精度の関係) を検討する。
- 当該代表点で対象物中の非破壊測定可能核種 (Co-60 等) の放射能濃度を測定する方法の測定性能 (測定核種と適用検出器ごとの測定時間と測定精度の関係) を評価する。
- 非破壊測定だけでは放射化汚染と二次的な汚染を厳密には識別できないので、放射化計算を組み合わせた放射能濃度評価方法における評価精度 (放射化汚染と二次的な汚染の分布が異なることを考慮) 等の適用条件を検討する。検討に際しては、コンクリート中では放射性核種が拡散等で移行することも考慮する。



1) 東海発電所の廃止措置で発生する放射能レベルの極めて低い L3 廃棄物の埋設について、日本原子力発電(株)、平成 27 年 9 月  
 2) 平成 20 年度放射性廃棄物処分に関する調査 (浅地中処分に関する調査) 報告書、(独)原子力安全基盤機構、平成 21 年 8 月  
 3) 研究施設等廃棄物の埋設事業について、(国研)日本原子力研究開発機構埋設処分業務・評価委員会、平成 21 年 12 月 25 日  
 4) 上野雄一郎他、ガンマ線強度分布を可視化するガンマカメラの開発、日立評論、平成 25 年 6 月 7 日

図 5 トレンチ処分対象物の放射能測定のイメージ

(2) クリアランス検認 (関係機関と協力して実施) (分類①及び②)

原子炉施設の廃止措置等に伴う廃棄物の量及び種類の増加により発生する新規の対象物 (以下「新規クリアランス対象物」という。) について (図 6)、種類、物量及び払出し後の処理経路 (再利用先等) を整理する。これらの情報を基に新規クリアランス対象物を再利用・処分する場合の被ばくシナリオ (評価経路及び評価パラメータ) を設定し、核種ごとの放射能濃度上限値を計算し、評価経路と放射能濃度上限値の関係を整理、現行のクリアランスレベルと比較することでクリアランス対象物の拡大の可否について整理する。

また、新規クリアランス対象物に対する国の検認において、事

業者の放射能濃度評価手法の妥当性を判断するための留意事項を整理することを目的として、模擬線源を用いた試験、検出器応答シミュレーション等により測定精度を検討し、放射能濃度の検認における判断根拠として取りまとめる。

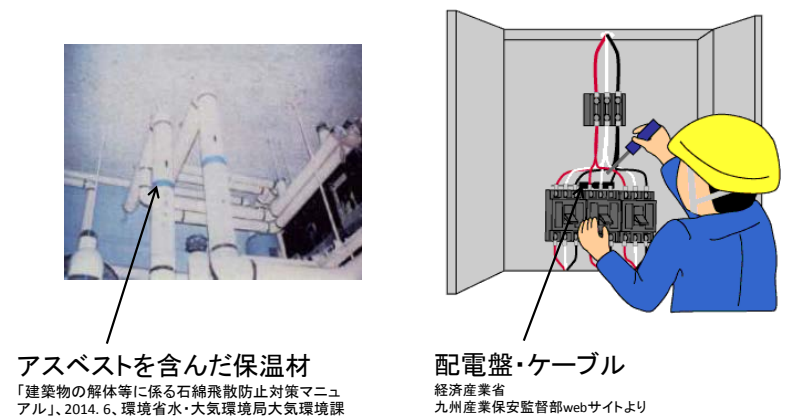


図 6 新規クリアランス対象物の例

(3) 廃止措置の終了確認 (関係機関と協力して実施) (分類②)

サイト解放時に敷地に残留する放射能による被ばく線量は、平面及び深さ方向の放射能濃度汚染分布、地形、水理、水系の条件等のサイト固有条件による依存性が大きいことから、次の事項を検討し、誘導放射能濃度を導出する際の留意事項として取りまとめる。

- サイトの無制限解放を想定した場合の残留放射能による被ばく線量の予察的評価 (PASCLR-Release コード使用) を行い、誘導放射能濃度の導出に影響するパラメータを検討する。
- サイト固有条件を考慮した被ばく線量評価ができるように解析コードを整備し、当該コードを用いてサイト固有条件が誘導放射能濃度の設定に影響する度合いを定量的に把握する。

サイト解放時に放射能濃度が誘導放射能濃度以下であることを合理的に確認する方法については、対象領域内の限られた測定値 (サンプル測定又は図 7 のような放射線測定) から対象領域全体の主に表層土壌中の放射能濃度分布を推定する地球統計学的手法の適用が考えられる (図 8)。次の事項を検討し、終了確認に係る判断根拠を取りまとめる。

□地球統計学的手法の適用性の検討では、対象領域内に種々の放射能濃度分布が存在する場合の放射能濃度分布の推定精度を計算機シミュレーションで評価し、放射能濃度分布状態と図 8 に示すようなメッシュ分割 (図 7 に示すような放射線測定の場合には測定視野依存、サンプル測定の場合にはサンプル採取方法に依存) 及び測定点の取り方との関係を整理する。検討に当たっては、統計的手法 (MARSSIM) との定量的な比較を行う。

- 廃止措置終了確認で対象となる残留放射能濃度は、汚染水の漏えいによる局所的な汚染を別にすれば、主として運転中及び廃止措置中の建屋等から排出された気体状の放射能であると想定されることから、測定対象となる放射能濃度分布は東京電力福島第一原子力発電所事故 (以下「1F 事故」という。) によって生じたオフサイトにおける放射性 Cs によるフォールアウト分布に近いと考えられる。そこで、放射性 Cs によるフォールアウト分布測定値を用いて、地球統計学的手法



の適用性を検討する。検討に当たっては、統計的手法（MARSSIM）との定量的な比較を行う。

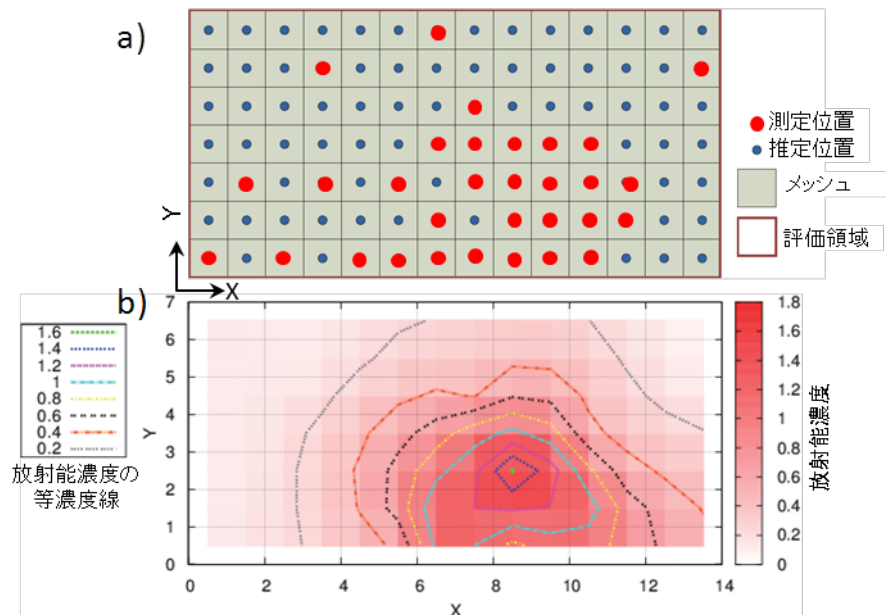
- 1F 事故による放射性 Cs フォールアウトの影響のある原子炉施設では、終了確認においてはその影響をバックグラウンドとして取り扱うことが想定されるので、バックグラウンド設定方法についても検討する。

□また、建屋等からの液体の漏えいが主な原因と考えられる地中の残留放射能は地表面からの放射線測定では検知が難しいことから、地中の残留放射能濃度分布を確認する方法として、原子炉施設及び地中の構造を既知情報とし、事業者が行う運転履歴の調査、建屋内側サーベイ及び建屋外側ボーリング調査で得られたデータ等に基づいて、適切な代表性を有するサンプリング位置（平面方向と深さ方向）等に関して検討する。検討に当たっては、改良した PASCLR-Release コードを用いた放射性核種の地中移行解析も併用する。



出典：Auler, I.; Rudolph, G.; Hackel, W.: "Unrestricted Release of Buildings and Site of NPP Versuchsatomkraftwerk Kahl -VAK", IAEA Training Course on Release of Sites and Building Structures, Karlsruhe, 27. 09. -01. 10. 2010

図 7 終了確認のための放射線測定例  
(コリメータ付 Ge 半導体検出器)



出典：JAEA-Data/Code 2012-023 中の図を加工  
図 8 地球統計学的手法による放射能濃度分布評価例  
a) 評価領域内のメッシュ分割と測定位置の概念図  
b) 放射能濃度分布推定値の表示例

工程表

	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
(1) 廃棄物確認		中深度処分対象廃棄物		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>諸外国の中レベル処分場における廃棄物の放射能濃度評価方法の調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射化金属の放射能濃度評価方法（親元素濃度の設定）の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>核種分析方法の検討</li> <li>放射能測定性能/放射能濃度評価方法の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能測定性能/放射能濃度評価方法の検討</li> <li>判断根拠の取りまとめ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能測定性能/放射能濃度評価方法の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能測定性能/放射能濃度評価方法の検討</li> <li>判断根拠の取りまとめ</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>運用要領案の検討</li> </ul>
(2) クリアランス検認	<ul style="list-style-type: none"> <li>新規クリアランス対象物の整理（種類・物量、払出し後の処理経路）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>濃度上限値の試算（被ばくシナリオの設定、評価経路と濃度上限値の関係）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新規クリアランス対象物に対する測定性能の検討（模擬試験等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新規クリアランス対象物に対する測定性能の検討</li> <li>国による検認における判断根拠の取りまとめ</li> </ul>
(3) 廃止措置の終了確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>誘導放射能濃度の導出に係る検討（評価コードの整備等）</li> <li>終了確認手法の検討（計算機シミュレーションによる地球統計学的手法の適用性）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>誘導放射能濃度の導出に係る検討（サイト固有条件の影響）</li> <li>終了確認手法の検討（1F事故による放射性Cs測定値を用いた地球統計学的手法の適用性/バックグラウンド設定方法）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>誘導放射能濃度の導出に係る検討（サイト固有条件の影響）</li> <li>終了確認手法の検討（地中の残留放射能分布確認手法）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>誘導放射能濃度導出に係る留意事項の取りまとめ</li> <li>終了確認に係る判断根拠の取りまとめ</li> </ul>

7. 実施計画

【平成29年度の実施内容】

(1) 廃棄物確認

- トレンチ処分対象コンクリート等廃棄物

トレンチ処分対象のコンクリート等廃棄物について、廃棄物を個別測定する場合と廃棄物を埋設施設に定置した状態で一括測定する場合を想定し、検出器応答シミュレーション等により測定性能及び放射化計算を組み合わせた放射能濃度評価方法を検討する。

(2) クリアランス検認

- 新規クリアランス対象物の整理

新規クリアランス対象物のクリアランスレベル試算のために、新規クリアランス対象物の種類、物量及び払出し後の処理経路（再利用先等）を整理する。

また、被ばく形態の分類、シナリオにおけるパラメータ範囲の検討等の被ばく評価上留意すべき事項を整理する。

(3) 廃止措置の終了確認

- 誘導放射能濃度の導出に係る検討

無制限解放を想定した場合の予察的な線量評価（PASCLR-Releaseコード使用）を行い、誘導放射能濃度の導出に影響するパラメータを検討する。また、サイト固有の条件（平面及び深さ方向の汚染分布、地形、水理、水系の条件等）を考慮した被ばく線量を評価できるような解析コードを整備する。

- 終了確認手法の検討

対象領域内に種々の放射能濃度分布が存在する場合を想定し、地球統計学的手法による放射能濃度分布の推定精度を計算機シミュレーションで評価する。

【平成30年度の実施内容】

(1) 廃棄物確認

- 中深度処分対象廃棄体

放射化計算に用いる炉内構造材等に含まれる微量な親元素（Cl、U等）の濃度の設定に用いられる代表値の設定方法を模擬試料を用いて検討する。

- トレンチ処分対象コンクリート等廃棄物

トレンチ処分対象のコンクリート等廃棄物について、廃棄物を個別測定する場合と廃棄物を埋設施設に定置した状態で一括測定する場合を想定し、検出器応答シミュレーション等により測定性能及び放射化計算を組み合わせた放射能濃度評価方法を検討し、コンクリート等廃棄物の放射能濃度確認方法の妥当性に係る判断根拠を作成する。

(2) クリアランス検認

- 濃度上限値の試算

平成29年度に得られた調査結果を基に新規クリアランス対象物を再利用・処分する場合の被ばくシナリオ（評価経路及び評価パラメータ）を設定し、核種ごとの放射能濃度上限値を計算し、評価経路と放射能濃度上限値の関係を整理する。

(3) 廃止措置の終了確認

- 誘導放射能濃度の導出に係る検討

平成29年度に整備した解析コードを用いて、サイト固有の条件（平面及び深さ方向の汚染分布、地形、水理、水系の条件等）が誘導放射能濃度の設定に影響する度合いを定量的に把握する。

- 終了確認手法の検討

1F事故によって生じた放射性Csによるフォールアウト分布測定値を用いて、地球統計学的手法の適用性を検討する。また、1F事故によって生じた放射性Csフォールアウトの影響を受けた施設のバックグラウンド設定方法を検討する。

【平成31年度の実施内容】

(1) 廃棄物確認

- 中深度処分対象廃棄体における核種分析方法の検証

Zr-93、Sn-126等の中深度処分固有の核種の分析方法の妥当性を模擬試料を用いて検証する。

- 中深度処分対象廃棄体における放射能測定精度の評価

廃棄体を非破壊測定する場合を想定し、検出器応答シミュレーション等により測定性能及び放射化計算を組み合わせた放射能濃度評価方法を検討する。

(2) クリアランス検認

- 新規クリアランス対象物に対する測定性能の評価

規制として事業者の放射能濃度評価手法の妥当性を判断するための留意事項を整理することを目的として、新規クリアランス対象物の放射能濃度を測定することを想定した模擬試験、検出器応答シミュレーション等を行う。当該試験は対象物ごとに実施するため、平成31年度及び平成32年度の二年に分けて実施する。

(3) 廃止措置の終了確認

- 誘導放射能濃度の導出に係る検討

平成30年度に引き続き、サイト固有の条件が誘導放射能濃度の設定に影響する度合いを定量的に把握する。

- 終了確認手法の検討

建屋等からの漏洩が主な原因と考えられる地中の残留放射能分布を確認する方法として、事業者が行う運転履歴の調査、建屋内側サーベイ及び建屋外側ボーリング調査で得られたデータに基づいて、適切な代表性をもつサンプリング位置等に関して検討する。

【平成32年度の実施内容】

(1) 廃棄物確認

- 中深度処分対象廃棄体

廃棄体を非破壊測定する場合を想定し、検出器応答シミュレーション等により測定性能及び放射化計算を組み合わせた放射能濃度評価方法を検討し、廃棄体の放射能濃度確認方法の妥当性に係る判断根拠を作成する。

(2) クリアランス検認

- 新規クリアランス対象物に対する測定性能の評価

規制として事業者の放射能濃度評価手法の妥当性を判断するための留意事項を整理することを目的として、新規クリアランス対象物の放射能濃度を測定することを想定した模擬試験、検出器応答シミュレーション等を行う。また、当該試験の結果を基に新規クリアランス対象物の国による検認における判断根拠を取りまとめる。

(3) 廃止措置の終了確認

- 誘導放射能濃度の導出に係る検討

必要に応じて追加の定量的検討を実施して、誘導放射能濃度を導出する際の留意事項として取りまとめる。

- 終了確認手法の検討

これまでの測定データを評価し、必要に応じて追加測定等を行い、終了確認に係る判断根拠を取りまとめる。

8. 備考

(プロジェクト個票) (案)

1. プロジェクト	30. 緊急時対応レベル (EAL) に係るリスク情報活用等の研究	担当部署	技術基盤グループ 安全技術管理官(シビアアクシデント担当) 付
2. カテゴリー・研究分野	(4) 原子力災害対策・放射線規制等 ①原子力災害対策		
3. 背景	<p>発電用原子炉施設を対象として事業者が原子力災害対策指針に基づき策定する防災業務計画のうち、原子力災害発生時のプラントの状況に応じて防護措置を適切に実施するための緊急事態区分に対する判断基準である緊急時対応レベル (以下「EAL」という。) については、これまでに発電用原子炉施設の炉型に応じた効果的な運用を確保することを目的として、事象想定、事故時のプラントパラメータ及びその指標値より構成される EAL の確認項目 (安全系の作動状況、圧力、温度、放射性物質障壁の健全性等) を整備してきている。</p> <p>最近、米国原子力規制委員会 (以下「NRC」という。) などにより、確率論的リスク評価の研究を踏まえて、EAL により分類される緊急事態区分が炉心損傷、早期大規模放出等に係るリスク指標と整合するような改善が検討されている。このような動向を踏まえて、リスク指標を活用することにより EAL の技術的知見を継続的に拡充していくことが重要である。</p> <p>また、リスク情報を活用した EAL を適用した際に、防護措置 (避難、屋内退避、安定ヨウ素剤服用等) への影響を把握することが重要である。これまでに、日本原子力研究開発機構が整備してきた安定ヨウ素剤服用による被ばく低減効果の評価手法に対して計算時間の短縮を図った。今後は、屋内退避による外部被ばく及び内部被ばく線量の低減効果に関する最新知見を基に、屋内退避による低減効果を確認するために必要な評価モデルの整備が重要である。</p>		
4. 目的	<p>(1) EAL に係るリスク情報活用 原子力災害発生時のプラント事象進展に係る解析評価等を実施して、炉心損傷、格納容器機能喪失、早期大規模放出等に係るリスク情報を活用し、EAL を構成する事象想定、事故時のプラントパラメータ及びその指標値の技術的知見を継続的に拡充していくことを目的とする。</p> <p>(2) 被ばく低減解析手法の整備 建物別の換気率、遮へい係数等の最新知見に基づく現実的な屋内退避による被ばく低減解析手法を整備することを目的とする。</p>		
5. 知見の活用先	原子力災害対策指針に基づき事業者が策定する EAL の確認等に資する。		
6. 安全研究概要 (始期：平成 29 年度) (終期：平成 31 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>③ 規制活動に必要な手段の整備 (以下「分類③」という。)</p> <p>(1) EAL に係るリスク情報活用【分類③】</p> <p>米国等の海外における緊急時対策へのリスク情報活用状況 (図 1) の調査・分析結果に基づき、炉心損傷、格納容器機能喪失、早期大規模放出等に係るリスク情報、それに係る緊急事態に該当する各事象の発生のタイミングや緊急時の防護措置も考慮して EAL の技術的知見を充実させるなどにより、EAL 評価手法の整備を進める。</p> <p>また、原子力災害発生時のプラント事象進展解析を実施し、当該 EAL 評価手法を解析結果に適用して、当該手法の適用性を検討する。さらに、その結果を整理して緊急時対応要員の活動のための技術データを拡充するとともに事業者が策定する EAL の確認等に資する。</p> <div data-bbox="420 1810 1365 2463"> <p>CCDP 目安</p> <p>CCDP Ranges for all ECs</p> <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● PBOT NOUE</li> <li>▲ Surry NOUE</li> <li>◆ SEQH NOUE</li> <li>● PBOT Alert</li> <li>▲ Surry Alert</li> <li>◆ SEQH Alert</li> <li>● PBOT SAE</li> <li>▲ Surry SAE</li> <li>◆ SEQH SAE</li> <li>● PBOT GE</li> <li>▲ Surry GE</li> <li>◆ SEQH GE</li> </ul> <p>• 条件付炉心損傷確率 (CCDP) の目安 (暫定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 異常事象の通報: <math>\sim 1 \times 10^{-5}</math></li> <li>- 警戒事態: <math>\sim 1 \times 10^{-3}</math></li> <li>- 敷地緊急事態: <math>\sim 1 \times 10^{-1}</math></li> <li>- 全面緊急事態: <math>1 \times 10^{-1} \sim</math></li> </ul> <p>対象プラント (Peach Bottom 2(BWR); Surry 1(PWR); Sequoyah 1(PWR) 発電所) 出典: 'Risk Informing Emergency Preparedness Oversight: Evaluation of Emergency Action Levels- A Pilot Study of Peach Bottom, Surry and Sequoyah', NUREG/CR-7154, Vol.1, USNRC, Jan. 2013</p> </div>		
図 1 条件付炉心損傷確率による EAL 評価例 (米国 NRC)			

(2) 被ばく低減解析手法の整備【分類③】

平成31年度までに、建物別の換気率、遮へい係数等の別事業で得られた最新知見を整理し、これらを活用した屋内退避による被ばく低減解析が行えるように、関係機関と協力して、屋内退避による被ばく低減効果を確認するために必要な評価モデル（例えば、強制換気等の空調運転モードに応じて被ばく低減係数等を時系列に変化させて計算できるようにする等）の整備を行う。

工程表

	平成29年度	平成30年度	平成31年度
EALに係るリスク情報活用	(緊急時対策へのリスク情報活用状況の調査・分析) リスク情報を活用したEAL評価手法の整備	事象進展解析及びリスク情報を活用したEAL評価手法の適用検討 (事業者が策定するEALの確認等に資する) (緊急時対応技術データの拡充)	技術報告▽ リスク情報を活用したEAL評価データの整備
被ばく低減解析手法の整備	建物別の換気率、遮へい係数等に係る最新知見の整理	被ばく低減解析手法の整備	論文公表▽
		事業者が策定するEALの確認等に資する	

6. 安全研究概要 (つづき)

7. 実施計画

【平成29年度の実施内容】

(1) EALに係るリスク情報活用

事象想定、事故時のプラントパラメータ及びその指標値より構成されるEALに該当する緊急事態と、炉心損傷、格納容器機能喪失、早期大規模放出等に係るリスク指標との対応関係を整理する。

(2) 被ばく低減解析手法の整備

建物別の換気率、遮へい係数等の別事業で得られた最新知見を活用した被ばく低減解析手法を整備する。

【平成30年度の実施内容】

(1) EALに係るリスク情報活用

代表的なPWR及びBWRの事象進展解析を実施し、EALを構成するプラントパラメータ及びその指標値到達時期、事故の発生頻度を分析し、平成29年度に作成したリスク指標との対応について検討する。

(2) 被ばく低減解析手法の整備

前年度に引き続き、建物別の換気率、遮へい係数等の別事業で得られた最新知見を活用した被ばく低減解析手法の整備を進める。

【平成31年度の実施内容】

(1) EALに係るリスク情報活用

前年度までに整備した成果及び手法並びに他プロジェクトで実施している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の結果を踏まえて、事故進展解析を進め、代表的なPWR及びBWRプラントの事故シーケンスグループに対して、EALとリスク指標との対応について検討する。

(2) 被ばく低減解析手法の整備

前年度に引き続き、建物別の換気率、遮へい係数等の別事業で得られた最新知見を活用した被ばく低減解析手法の整備を完了する。

8. 備考

被ばく低減解析手法の整備に係る成果を次のプロジェクトに反映する。

12. 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のうち、(2) 確率論的リスク評価に関連する評価技術の整備 2) レベル3PRA手法の整備