

放射性廃棄物処分関連分野 複数課題プログラム中間評価 補足資料

平成29年2月24日
資源エネルギー庁電力・ガス事業部
放射性廃棄物対策課

総目次

1. 放射性廃棄物処分関連分野(複数課題プログラム)
2. 研究開発課題(プロジェクト)
 - (1) 地層処分技術調査
 - (2) 放射性廃棄物共通技術調査
 - (3) 管理型処分技術調査

1. 放射性廃棄物処分関連分野 (複数課題プログラム)

目 次

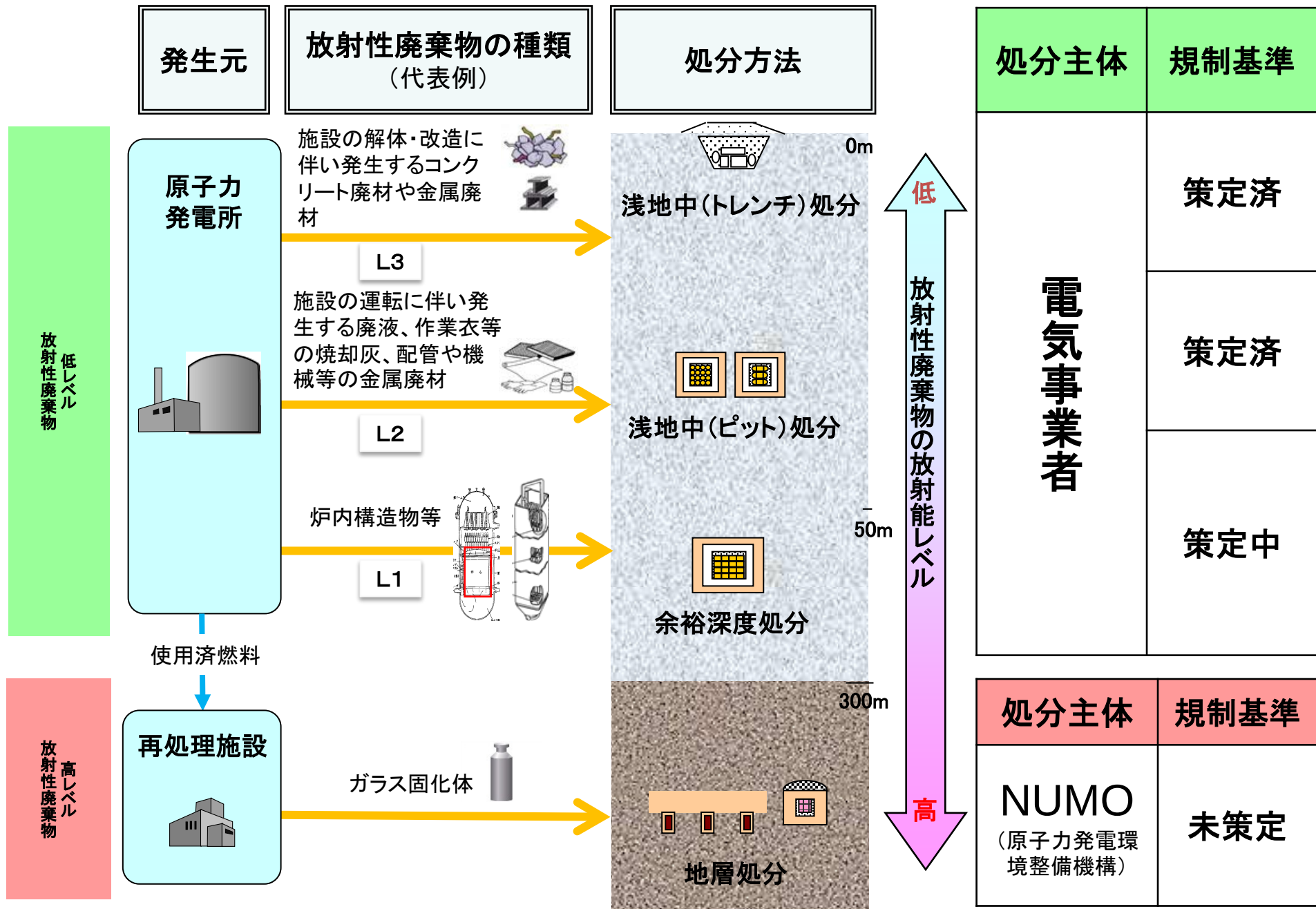
1. 複数課題プログラムの概要
2. 事業アウトカム
3. 事業アウトプット
4. 当省(国)が実施することの必要性
5. 各技術要素のアウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制等
7. 費用対効果
8. 外部有識者の評価等
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. 複数課題プログラムの概要

概 要	平成40年代後半を目途とする高レベル放射性廃棄物等の処分やTRU廃棄物等の処分の開始を目指し、処分候補地選定の促進を図るため、処分事業や安全規制に必要な基盤となる処分の信頼性や安全性の向上に資する基盤技術を整備する。
評価期間	平成25年度～平成27年度（3年間）
プロジェクト名 予算執行額	合計額: 113.3億円 (1) 地層処分技術調査 97.9億円(平成25年度: 31.1億円、平成26年度33.7億円、平成27年度33.2億円) (2) 放射性廃棄物共通技術調査 8.8億円(うち評価対象事業は2.6億円) (平成25年度: 2.9億円、平成26年度3.0億円、平成27年度2.9億円) (うち評価対象事業は平成25年度: 0.6億円、平成26年度1.0億円、平成27年度1.0億円) (3) 管理型処分技術調査 6.6億円(平成25年度: 2.6億円、平成26年度2.1億円、平成27年度1.9億円)

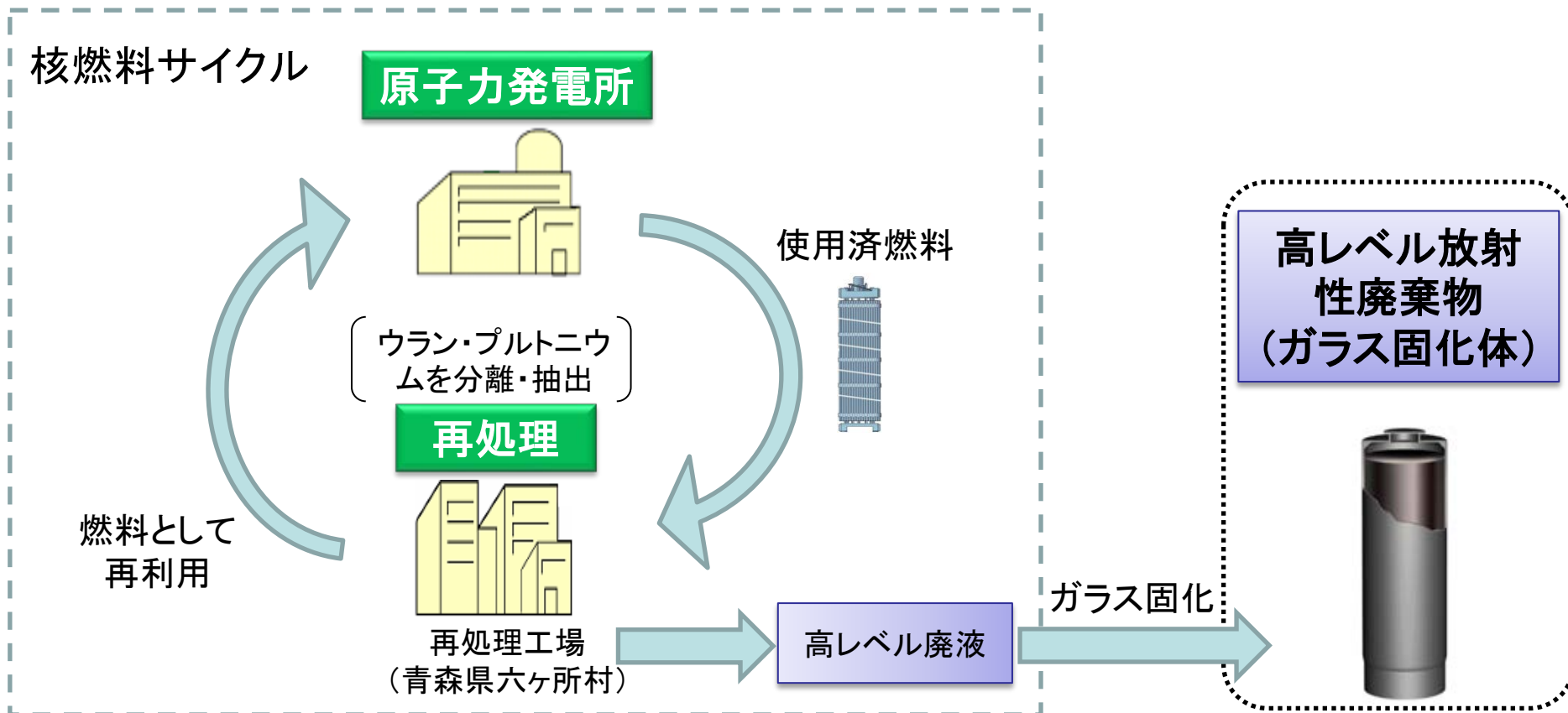
原子力発電に関する放射性廃棄物の種類

5



使用済燃料の再処理と高レベル放射性廃棄物

- 原子力発電の運転に伴い、放射能濃度の高い使用済燃料が発生。
- 我が国は、使用済燃料を再処理し、ウランやプルトニウムを燃料として再利用するとともに、後に残る廃液をガラス原料と高温で溶かし合わせ固化した上で、処分する方針。



※放射性物質は、ガラスの網目構造の中に閉じ込められる。

- 地層処分は地下深部の安定した地層に埋設して人間の生活環境から隔離し、最終的に処分する方法。現時点において最も有望であるという国際的な共通認識の下、多くの国が採用。
- 「人工バリア」と「天然バリア」を組み合わせた多重バリアシステムで、長期にわたり放射性物質の動きを押さえ閉じ込める。

多重バリアシステム



①ガラス固化体

- ・直径: 約40cm
 - ・高さ: 約1.3m
 - ・総重量: 約500kg
- (放射性物質が水に溶けにくくする)

②オーバーパック

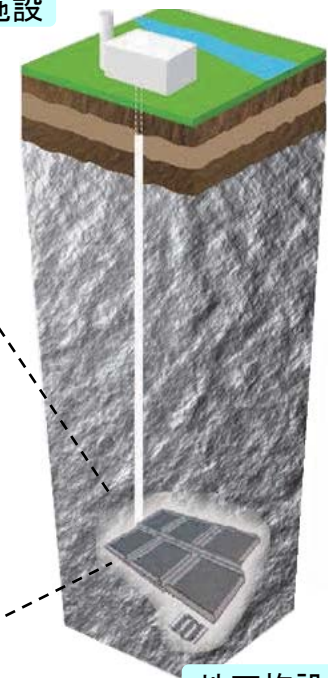
- 厚さ約20cmの炭素鋼の容器
- (ガラスと地下水の接触を防止)

③緩衝材(粘土:ベントナイト)

- 厚さ約70cmの粘土
- (地下水を通しにくくするとともに、放射性物質を吸着し、移動を遅延させる)

高レベル放射性廃棄物処分施設

地上施設



地下300m以深

地下施設

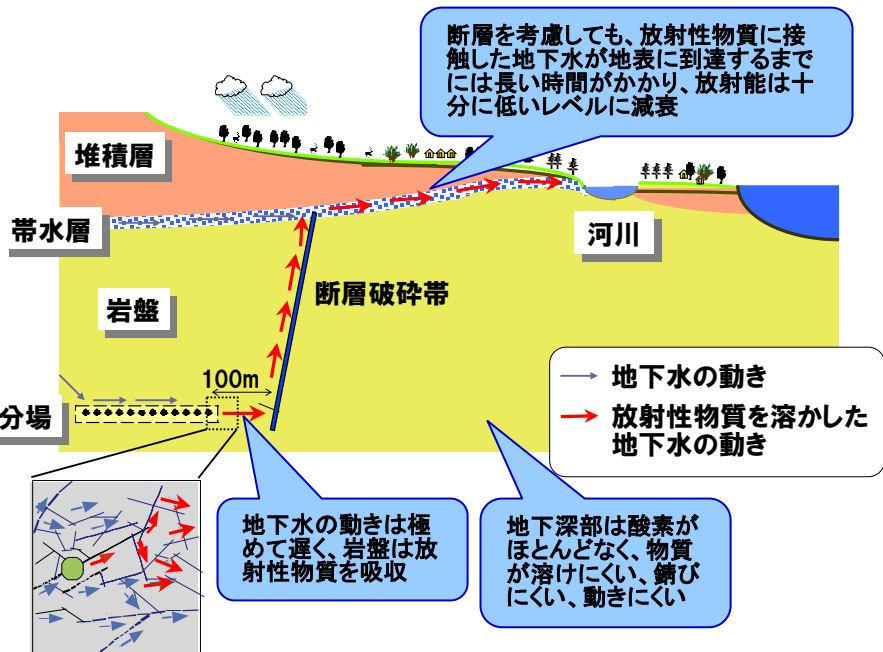
- 地層処分の安全評価を行う際には、地下水によって放射性物質が処分施設から最終的に人間環境に運ばれるというシナリオ(地下水シナリオ)を想定。
- 1,000年後にすべてのオーバーパックが破損したり、処分場から100m離れたところに大きな断層が存在したりする、保守的と考えられる条件を仮定し、地下水を通じて放射性物質が地表へ到達した場合の地上で生活する人の被ばく線量を計算。

地下水シナリオ

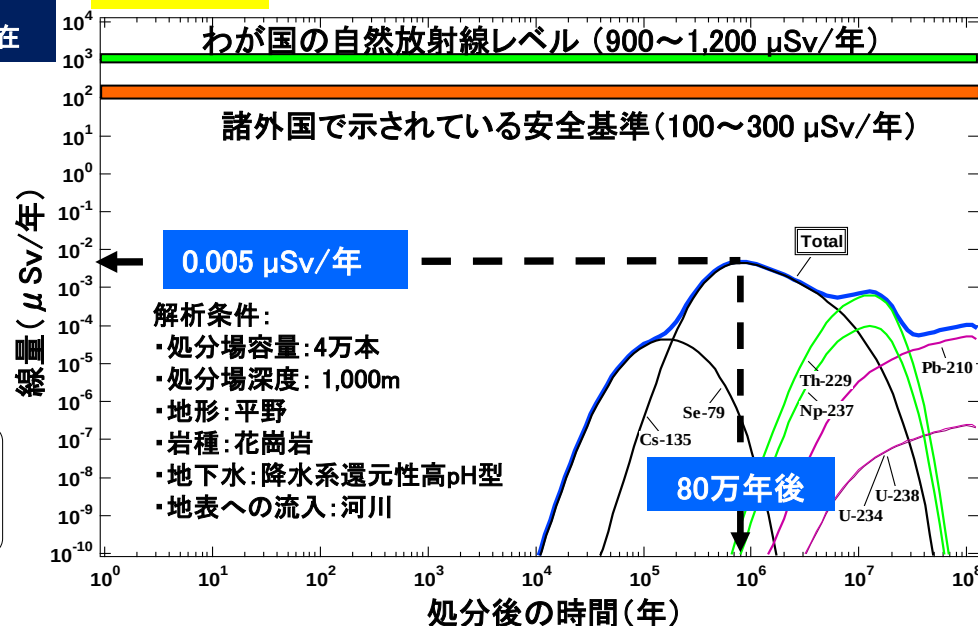
前提条件の例

- 1,000年後に、すべてのオーバーパックが破損
- 処分場から100m離れたところに大きな断層が存在

断層を考慮しても、放射性物質に接触した地下水が地表に到達するまでには長い時間がかかり、放射能は十分に低いレベルに減衰



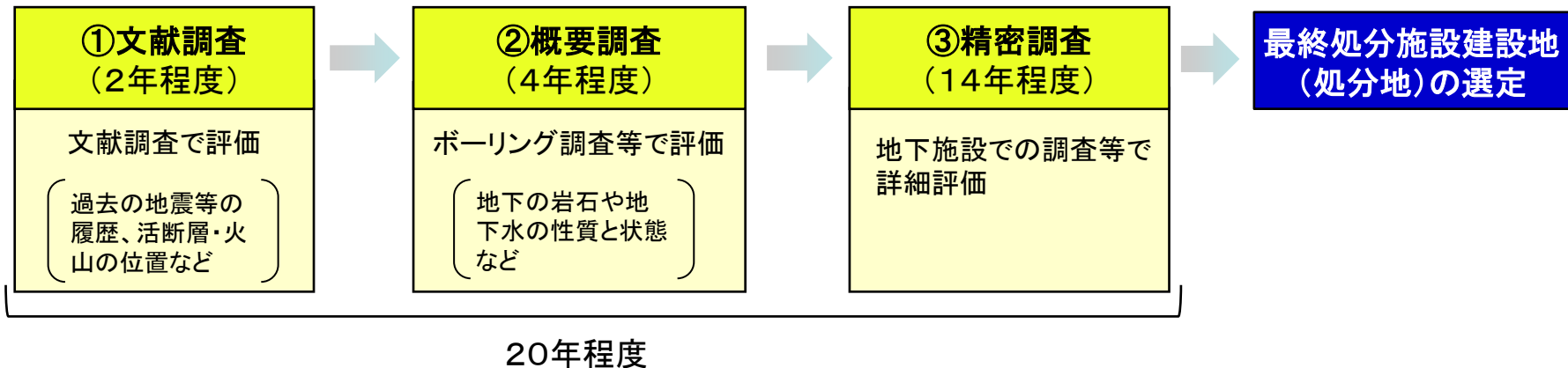
試算の例



図表:「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性
 —地層処分研究開発第2次とりまとめ—」
 (核燃料サイクル開発機構(現 日本原子力研究開発機構)、1999)に加筆

- 高レベル放射性廃棄物等の地層処分を計画的かつ確実に実施させるため、以下の内容を法律で規定（2000年6月公布）。
 - ～ 最終処分の基本方針等を経済産業大臣が策定する（閣議決定する）
 - ～ 処分の実施主体としてNUMO（原子力発電環境整備機構）を設立する
 - ～ NUMOが、自治体の意見を聴きながら、3段階の処分地選定調査を行う等

◆最終処分法で定められた3段階の処分地選定プロセス



※各調査段階において、地元自治体の意見を聴き、これを十分に尊重する（反対の場合には次の段階へ進まない）。

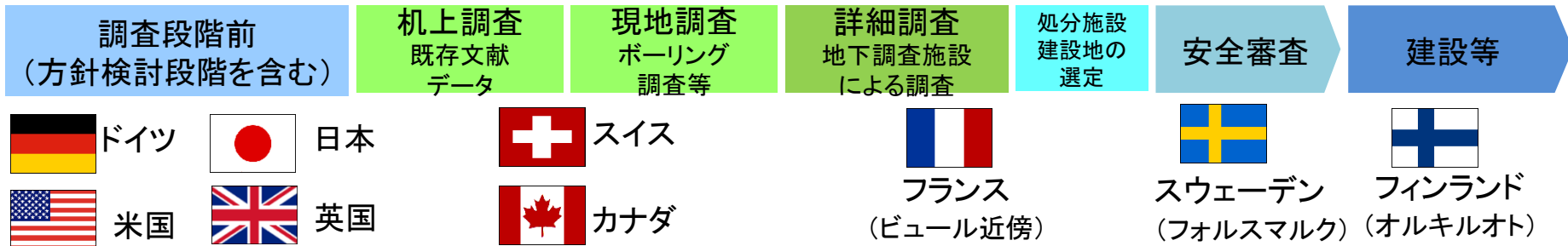


○最終処分地が決定している国

- ・フィンランド: 1983年より選定開始、2000年に処分地(オルキルオト)を決定。地下調査施設(オンカロ)を建設。2015年11月、政府が処分施設建設許可を発給。
- ・スウェーデン: 1977年より選定開始、2009年に処分地(フォルスマルク)を選定。処分施設建設に向け、現在、安全審査中。

○その他の国

- ・フランス: 1983年より選定開始。ビュール近郊を処分地とする方向で検討中。
- ・英国: カンブリア州2市が関心を表明するも、州議会で否決(2013年)。2014年、新たなサイト選定プロセスを公表。
- ・ドイツ: ゴアレーベンを選定も、調査凍結。選定プロセスの見直し中。
- ・米国: ユッカマウンテンを選定も、政権交代により撤回(2009年)。選定プロセスの見直し中。



■ 2000年:「最終処分法」制定

処分事業の実施主体として^{ニューモ}NUMO(原子力発電環境整備機構)設立
⇒ 処分地選定調査を受け入れて頂ける自治体を全国で公募

■ 2007年: 高知県東洋町(応募 → 取下げ) ⇒ 受け入れ自治体現れず

■ 2013年: 最終処分関係閣僚会議創設 ⇒ 取組の見直しに着手

■ 2015年5月: 新たな基本方針を閣議決定

ポイント

- 現世代の責任として、地層処分に向けた取組を推進する
- 処分実現が社会全体の利益であるとの国民的な認識共有や、国と自治体との丁寧な対話が重要である
- 科学的有望地(科学的により適性の高い地域)を提示するなど、国が前面に立って取り組む 等

■ 2015年12月:「科学的有望地について、地層処分の実現に至る長い道のりの最初の一步として国民や地域に冷静に受け止められる環境を整えた上で2016年中の提示を目指す」旨決定。(最終処分関係閣僚会議)

エネルギー基本計画(平成26年4月11日閣議決定)

- ・地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。あわせて、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。
- ・廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、(中略)処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進する。

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))

- ・国、原子力発電環境整備機構及び関係研究機関は、連携及び協力を行いつつ、最終処分の技術的信頼性等の定期的な評価を行うことを通じ、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に当該技術開発等を進めるものとする。

【研究開発活動の着実な進展】

- 研究開発の中核機関である日本原子力研究開発機構の瑞浪と幌延における深地層の科学的研究をはじめとした国の基盤研究開発の着実な進展
- NUMOの技術開発の段階的な展開、安全規制関連の検討の本格化



研究開発全体の効果的かつ効率的な推進を図ることを目的に、「**地層処分基盤研究開発調整会議**」を設置(H17.7～)、全体計画を策定(H18.12)。現在、現状の「**地層処分基盤研究開発調整会議**」のスキープの拡充や運営の見直しを実施。

放射性廃棄物の安全な処理・処分方法の確立

地層処分
技術の確立

余裕深度処分
技術の確立

JAEAにおける研究開発
(文部科学省)

深地層の科学的研究や
安全評価手法の高度化など

(1)地層処分
技術調査

地質環境の調査技術、人工バリア等の製作
や遠隔操業技術等の工学技術、TRU廃棄
物地層処分についての長期評価技術など

(2)放射性廃棄物
共通技術調査

地層処分技術及び管理型処分技術に共
通する生物圏の核種移行プロセス調査
など

(3)管理型処分
技術調査

余裕深度処分施設の施工性や性能
確認に関する技術開発など

経済産業省資源エネルギー庁における
放射性廃棄物処分技術開発

➤ 資源エネルギー庁の研究開発では、処分事業等の動向や関係研究
機関の取り組み等との整合性を図りつつ、大きく3つの事業に分けて
実施している。

2. 事業アウトカム

本プログラムの最終目的は放射性廃棄物に対して安全性・信頼性を確保しつつ効率的な処分を実施することである。そのため、以下に示す各開発課題(プロジェクト)で設定したアウトカムをプログラムとしてまとめることにある。

技術要素	アウトカム
(1)地層処分技術調査	
①岩盤中地下水移行評価確証技術開発	コントロールボーリング調査技術及び割れ目の多い岩盤にも適用可能なトレーサー試験技術を開発し、岩盤中の地下水移行の状況を提示可能にすることで、地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。
②地質環境長期安定性評価確証技術開発	将来の自然現象に伴う地質環境の変動スケールを把握する技術等を開発することにより、地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。
③処分システム評価確証技術開発	地層処分事業における処分場設計や性能評価技術に科学的技術基盤を与え、安全性と説明性を強固にするとともに、安全規制策定に対しても科学技術的基盤を提供することで、地層処分技術の社会的受容性及び信頼性向上に貢献する。
④処分システム工学確証技術開発	人工バリアの閉じ込め機能の長期健全性等の適切なモニタリング方策の提示により、地層処分の技術的信頼性の向上、国民や処分場受入自治体の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。 また、自然災害対策の提示により、処分施設の安全性や操業期間中の一般労働安全や放射性安全に対する説明性の向上に資する。
⑤海域地質環境調査確証技術開発	沿岸域における地質環境調査の評価技術に着目して、海底下の特徴的な地質・地下水環境の調査・評価手法の確証を行うことにより、処分事業に対する技術的信頼性の向上に資する。
⑥沿岸部処分システム高度化開発	沿岸部の特性に関連する課題の解決に向けた取組を着実に進め、処分地選定時の国民の安心感や・納得感、技術に対する信頼感の醸成に資する。

2. 事業アウトカム

技術要素	アウトカム
⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発	TRU廃棄物の処理・処分技術に係る課題を解決することにより、安全評価の信頼性を向上させ、処分事業への国民の信頼感の向上に資する。
⑧セメント材料影響評価技術高度化開発	TRU廃棄物の地層処分システムの長期健全性を提示可能にすることで、処分事業に対する技術的信頼性の向上に資する。
⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発	定置した廃棄体の回収技術の実現性や信頼性を示し、国民の地層処分事業に関する信頼感を醸成する。
⑩直接処分等代替処分技術開発	我が国における使用済燃料の直接処分を含む代替処分オプションの実現可能性を検討可能とすることにより、原子力利用における柔軟性を確保し、今後のバックエンド対策の着実な推進と処分事業への国民の安心感や納得感の醸成に資する。
(2)放射性廃棄物共通技術調査	
⑪放射性核種生物圏移行評価高度化開発	生物圏における核種移行プロセスとこれによる被ばく経路について人間への影響を評価可能にすることにより、放射性廃棄物処分技術の信頼性向上に資するとともに、安全評価結果に対する国民の信頼感の醸成に資する。
(3)管理型処分技術調査	
⑫地下空洞型処分施設機能確認試験	余裕深度処分施設の実用的な施工技術を提示し、余裕深度処分実施に向けた技術的信頼性の向上に資する。また、余裕深度処分施設の閉鎖後の長期的な管理に資する技術を構築・提示し、廃棄物処分に対する国民の納得感や安心感の醸成に資する。
⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発	クリアランス金属廃棄物の再利用の実現可能性を示すことで、今後の原子力発電所の円滑な廃止措置および金属資源の有効利用に資するとともに、クリアランス金属廃棄物の一般市場への流通に関する技術的信頼性や安心感の醸成に資する。

3. 事業アウトプット

平成40年代後半を目途とする高レベル放射性廃棄物等の処分やTRU廃棄物等の処分の開始を目指し、処分候補地選定の促進を図るため、処分事業や安全規制に必要な基盤となる処分の信頼性や安全性の向上に資する基盤技術を整備する。

4. 当省(国)が実施することの必要性

○原子力発電に伴って必然的に生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。さらには、地層処分や余裕深度処分において特段に求められる安全確保の長期性と処分事業の長期性を踏まえれば、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための基盤を整備していくことが重要。

参考：国の施策での位置づけ

(1) エネルギー基本計画（平成26年4月11日閣議決定）

- ・地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。あわせて、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。
- ・廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、（中略）処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進する。

(2) 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）

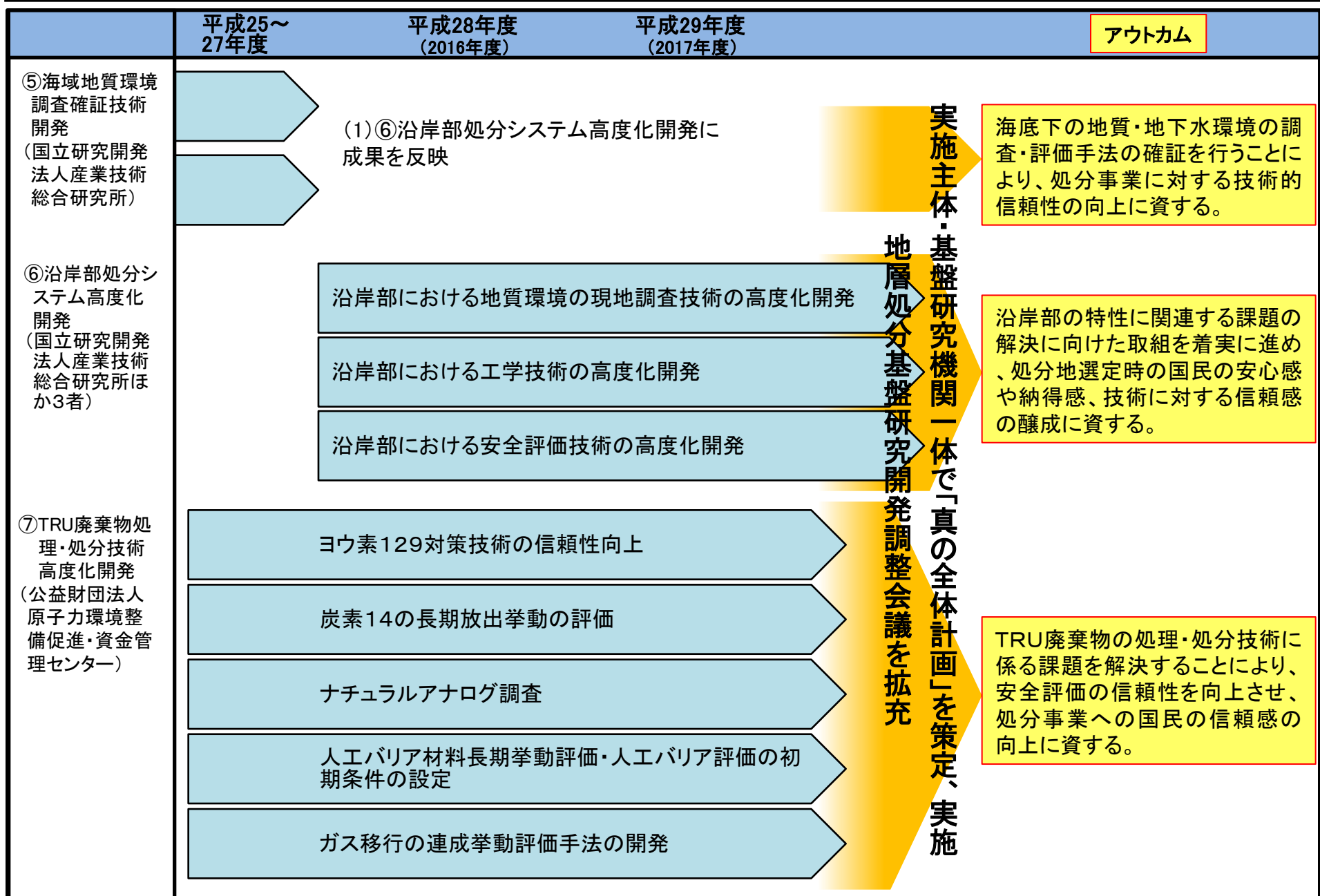
- ・国、原子力発電環境整備機構及び関係研究機関は、連携及び協力を行いつつ、最終処分の技術的信頼性等の定期的な評価を行うことを通じ、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に当該技術開発等を進めるものとする。

5. 各技術要素のアウトカム達成に至るまでのロードマップ

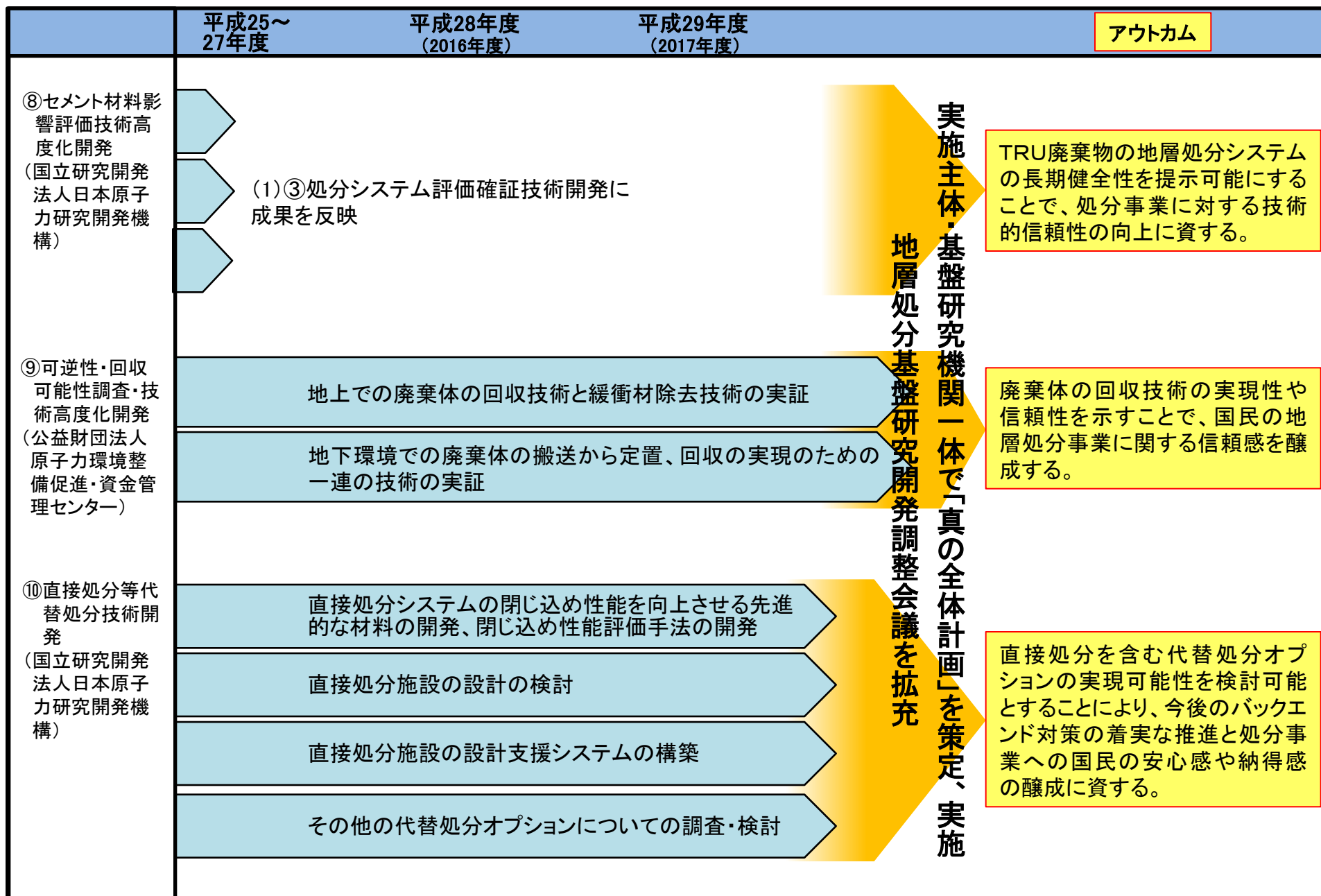
	平成25～ 27年度	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	アウトカム
(1)地層処分技術調査	実施主体・基盤研究機関一体で「真の全体計画」を策定、実施 地層処分基盤研究開発調整会議を拡充			
①岩盤中地下水移行評価確証技術開発 (一般財団法人電力中央研究所)			コントロールボーリング調査技術の確証	岩盤中の地下水移行の状況を提示可能にすることで、地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。
			岩盤中物質移行特性評価技術の確証	
②地質環境長期安定性評価確証技術開発 (国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)			地質環境長期変動モデルの開発	将来地質環境の変動スケールを把握する技術等を開発することにより、地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。
			地質環境に関する各種モデルの作成・改良・検証に必要なデータを取得するための要素技術の開発	
③処分システム評価確証技術開発 (国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)			ニアフィールドのシステム変遷と核種移行を評価するための先端的技術の開発	処分場設計や性能評価技術に科学的技術基盤を与えるとともに、安全規制策定に対しても科学技術的基盤を提供することで、地層処分技術の社会的受容性及び信頼性向上に貢献する。
			過酷事象の地層処分システムへの影響に関する評価確証技術の開発	
④処分システム工学確証技術開発 (公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター)			オーバーパック・人工バリアの品質/健全性及び周辺岩盤の長期挙動の評価手法の構築	適切なモニタリング方策の提示や自然災害対策の提示により、技術的信頼性の向上、処分施設の安全性や作業期間中の一般労働安全や放射性安全に対する説明性の向上等に資する。
			モニタリング関連技術の整備	
			自然災害に起因する火災に対する作業期間中の安全確保対策に関する基盤技術の開発	

※「真の全体計画」: 地層処分基盤研究開発に関する研究計画とNUMOの実施する技術開発計画とを一体化した全体計画

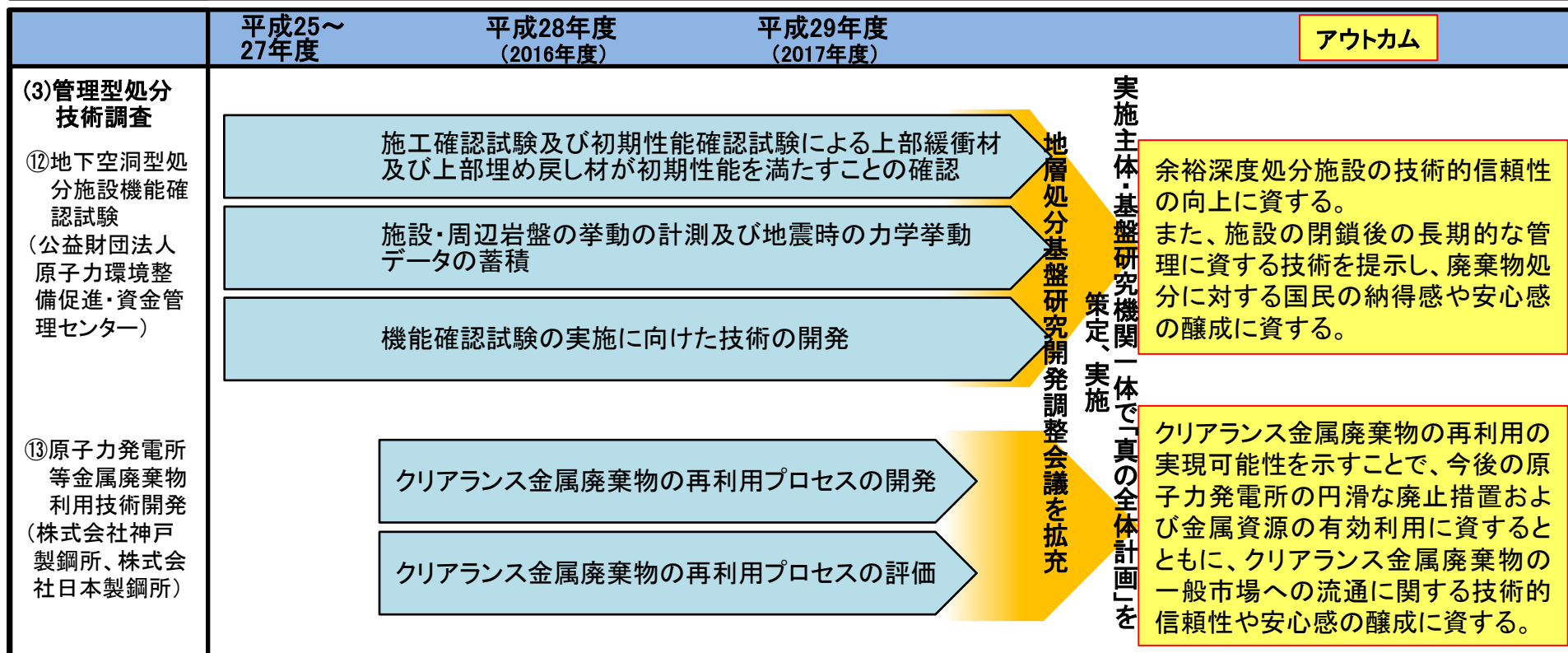
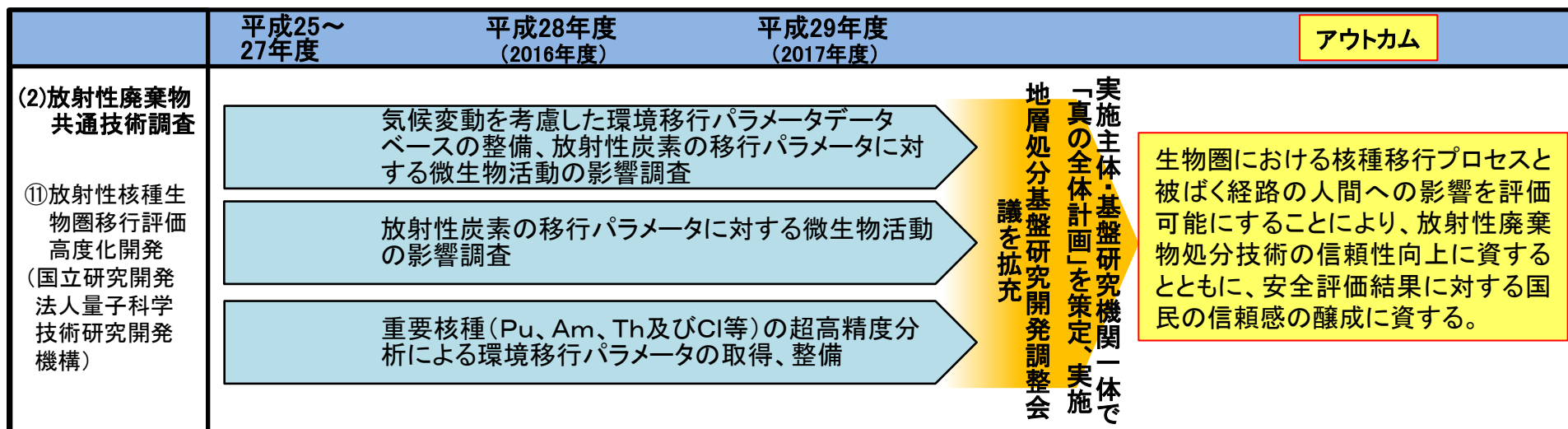
5. 各技術要素のアウトカム達成に至るまでのロードマップ(ii)



5. 各技術要素のアウトカム達成に至るまでのロードマップ (iii)



5. 各技術要素のアウトカム達成に至るまでのロードマップ^(iv)



(参考) 地層処分基盤研究開発調整会議

○地層処分に係る研究開発について、原子力政策大綱（平成１７年１０月閣議決定）で「国及び研究開発機関等は、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に進められるよう連携・協力するべきである」とされたこと等を受け、同年、資源エネルギー庁主催の下、ＪＡＥＡ及び関連研究機関が参画する「地層処分基盤研究開発調整会議」（以下、調整会議）を設置。

○調整会議では、ＰＤＣＡサイクルを回しながら関連研究機関が実施する基盤研究の全体計画を策定。平成２５年には「地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成２５年度～平成２９年度）」を策定・公表し、現在、当該計画に基づいた研究開発を実施中。

構成機関	【メンバー】 資源エネルギー庁、NUMO、ＪＡＥＡ、 関連研究機関（原子力環境整備促進・資金管理センター、電力中央研究所、産業技術総合研究所、量子科学技術研究開発機構） 【オブザーバー】 電気事業者、日本原燃
会議の目的・内容	① 研究開発全体計画の策定 ② 研究開発の連携に関する調整 ③ 成果の体系化に向けた調整 ④ 研究開発の重複排除の調整

(参考) 原子力委員会放射性廃棄物専門部会評価結果 (研究開発関連)

- 最終処分法における基本方針（平成27年5月 閣議決定）に基づき、原子力委員会の下に関係行政機関等の活動状況に係る評価等を専門的かつ総合的観点から行う放射性廃棄物専門部会が設置。
- 平成28年9月30日付けで、専門部会から研究開発を含む関係機関の取組に関する評価が示された。

原子力委員会の評価※	対応方針（案）
○ 研究開発等において、関係行政機関等の間の一層の連携強化が望まれる。(P11) ○ NUMOが作成中の包括的技術報告書については、国内外の専門家によるレビューを受けることにより、より信頼性の高いものとするのが望まれる。(P35) ○ 地層処分基盤研究開発調整会議の運営の透明性の確保が望まれる。(P36) ○ 地層処分基盤研究開発に関する全体計画は、NUMOの実施する技術開発計画と一体化し、いわゆる「真の全体計画」となることが望まれる。またNUMOは、包括的技術報告書を有効に活用し、いわゆる「真の全体計画」の策定に向け、一層のリーダーシップを発揮することが望まれる。(P36) ○ 過去の知識を整理・伝承し、今後活躍できる人材を継続的に確保・育成していくための方策の検討・充実に、産学官協働で取り組むことが望まれる。(P38)	○ NUMOとして、引き続き国内外の専門家からのレビューも受けつつ、速やかに包括的技術報告書を作成・公表し、今後の研究開発や国民とのコミュニケーション等に活用していく。 ○ 技術課題の克服に向けた取組（人材の確保・育成も含む）を進めるに当たって、現在の「地層処分基盤研究開発調整会議」のスキームの拡充や運営の見直しを行い、透明性を確保の上、これまで以上にNUMOの主導性と関係研究機関の連携を確保した形で、基盤研究のみならず応用研究も含めた全体計画についての検討・策定と実施・評価が可能となるようにする。

※ 「最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価報告書」を元に、事務局にて整理。一部簡略化したところあり。※括弧内の頁番号は、報告書の該当箇所の頁番号。

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等

○各事業では、外部専門家等（５～９名）により構成される外部委員会を設置。事業期間が５年の場合、以下を実施。（体制図は次ページに記載）

●初年度：研究開発計画についてのレビュー

●３年目：事業の中間評価としてのレビュー

●最終年度：研究開発成果のレビュー

○この他、同外部委員会を毎年度３回程度開催し、以下を実施。

●研究開発計画や実施内容についてのレビュー・助言

●成果のレビュー、課題の指摘 等

○同外部委員会からの指摘事項を研究開発計画や実施内容などに反映し、マネジメント体制を確保している。

経済産業省
資源エネルギー庁
放射性廃棄物対策課

地層処分基盤研究
開発調整会議

委託事業

(1) 地層処分技術調査

(2) 放射性廃棄物共通技術調査

(3) 管理型処分技術調査

①岩盤中地下水移行評価確証技術開発委員会
(主査：岡山大学 西垣 誠名誉教授)

②地質環境長期安定性評価確証技術開発委員会
(主査：首都大学東京 山崎晴雄名誉教授)

③処分システム評価確証技術開発委員会
(主査：原子力安全研究協会 朽山 修技術顧問)

④処分システム工学確証技術検討委員会
(主査：東北大学 新堀雄一教授)

⑤海域地質環境調査確証技術開発運営評価委員会
(主査：東京大学 登坂博行教授)

⑥沿岸部処分システム高度化開発評価委員会
(主査：関西大学 大西有三特任教授)

⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発検討委員会
(主査：東海大学 大江俊昭教授)

⑧セメント材料影響評価技術高度化開発委員会
(主査：北海道大学 佐藤 努教授)

⑨回収可能性調査・技術高度化委員会
(主査：北海道大学 佐藤正知名誉教授)

⑩直接処分等代替処分技術開発委員会
(主査：関西大学 大西有三特任教授)

⑪放射性核種生物圏移行評価高度化開発評価検討委員会
(主査：九州大学 百島則幸教授)

⑫地下空洞型処分施設機能確認試験検討委員会
(主査：東北大学 新堀雄一教授)

⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発技術委員会
(主査：物質・材料研究機構 友田 陽特別研究員)

7. 費用対効果

○本プログラムでは、(1)地層処分技術調査で97.9億円、(2)放射性廃棄物共通技術調査で2.6億円、(3)管理型処分技術調査で6.6億円の国費を投資した。
費用対効果は以下のとおり。

	予算額(億円) (平成25年度 ～27年度)	論文	学会発表	特許等 (出願含む)	講演・ 著書等
(1)地層処分技術調査	97.9	53	224	10	12
①岩盤中地下水移行評価確証技術開発	13.1	7	41	9	1
②地質環境長期安定性評価確証技術開発	6.6	1	17	0	0
③処分システム評価確証技術開発	14.2	8	42	0	0
④処分システム工学確証技術開発	16.0	1	26	0	5
⑤海域地質環境調査確証技術開発	13.0	13	25	1	4
⑥沿岸部処分システム高度化開発	0.3	1	5	0	1
⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発	13.9	16	49	0	0
⑧セメント材料影響評価技術高度化開発	2.1	2	3	0	0
⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 (地層処分回収技術高度化開発を含む)	10.6	0	4	0	0
⑩直接処分等代替処分技術開発 (使用済燃料直接処分技術開発を含む)	8.4	4	12	0	1
(2)放射性廃棄物共通技術調査	2.6	59	103	0	16
①放射性核種生物圏移行評価高度化開発	2.6	59	103	0	16
(3)管理型処分技術調査	6.6	3	20	0	7
②地下空洞型処分施設機能確認試験 (地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験を含む)	5.6	3	20	0	7
③原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発	1.0	0	0	0	0

○知的財産権の取扱いに関しては、産業活力再生特別措置法第30条に定められた日本版バイ・ドール条項を適用。

○技術の共有化として、資源エネルギー庁ホームページにおいて、以下のURLで委託事業の成果報告書を公開(http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/library06.html)。

8. 外部有識者の評価等

8-1. 評価検討会

評価検討会名称	放射性廃棄物処分関連分野プログラム技術評価検討会 (平成28年度)	
評価検討会委員	座長	小島 圭二 東京大学 名誉教授
	委員	北田 貴義 株式会社三菱総合研究所 科学・安全事業本部 主席研究部長 鳥居 和之 金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授 中野 政詩 東京大学 名誉教授 福井 勝則 東京大学 工学系研究科 システム創成学専攻 教授

○第1回検討会:平成28年11月 1日開催

○第2回検討会:平成28年12月20日開催(書面審議)

8. 外部有識者の評価等

8-2. 総合評価(複数課題プログラム)

- 放射性廃棄物の処分問題は国が主体となり、長期にわたって継続すべき国策事業であり、この点は国民の認識と合意が得られつつある。
- これまでの研究開発は実施計画に基づいて段階的かつ継続的に実施されてきていることがロードマップにおいて明確に示されており、各事業の位置付けは明確であると評価できる。
- アウトカムとしては、「真の全体計画」が目指す内容を明確に示してゆく必要があるものの、計画と目標達成のアウトプットはおおむね妥当であり、全体的にプログラムの実施状況は妥当であると評価できる。
- 技術的信頼性の向上が必ずしも国民の安心感の醸成と一致しないことが考えられ、放射性廃棄物処分の研究開発を国が主体となって実施することの意義、現状や課題を国民に分かりやすく、継続的に情報発信することや、国際的な議論の経緯や諸外国の経験を含めた基本的な考え方を共有することなどの取組が必要である。
- 今後少なくとも100年以上は続く処分事業のための人材確保を進める具体的なプログラムを検討すべきである。

9. 提言及び提言に対する対処方針

9-1. 複数課題プログラム

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 地層処分研究開発における、「真の全体計画」の策定を早急に行い、各事業の全体計画の中での位置付けや得られた成果から生じるアウトカムを明確に表すことが必要である。
- 個々の技術開発内容は世界的にも貴重なデータや知見を生み出す内容であり、今後日本が地層処分技術をもって海外に技術協力や輸出などを行う際にも重要な支援情報となり得る。したがって、これらの点を踏まえたアウトカム指標および目標の設定が必要である。

提言に対する対処方針

- 各研究開発課題を連携させた基盤技術を俯瞰して総合評価できる仕組みと、それを統括できるマネジメント体制の構築等を目的として、従来の地層処分基盤研究開発調整会議の範囲の拡充等の見直しを行い、「地層処分研究開発調整会議」を新たに設置し、各研究開発課題の全体計画の中での位置付けや得られた成果から生じるアウトカムを明確に表すように取り組んでいく。

2. 研究開発課題(プロジェクト)

(1) 地層処分技術調査

1. 研究開発課題の概要

(1) 地層処分技術調査

事業の内容

研究開発の概要

- 我が国においては、原子力発電に伴い発生する使用済核燃料を再処理し、ウラン・プルトニウムを回収した後に生ずる高レベル放射性廃棄物をガラスで安定的な状態に固形化し（ガラス固化体）、冷却のため貯蔵・管理した上で、地下300m以深の地層に埋設処分（地層処分）することとしている。
- 高レベル放射性廃棄物やT R U廃棄物の地層処分について、処分事業等の円滑な推進に資するため、基盤となる技術の先行的な整備や継続的な高度化を行う。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

国

委託

民間企業等

事業イメージ



(例)

① 岩盤中地下水移行評価確証技術開発



深地層の研究施設における物質移行試験作業

⑨ 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発



廃棄体を回収するための緩衝材除去装置

(1)地層処分技術調査

技術要素	実施内容
①岩盤中地下水移行評価確証技術開発	少数のボーリングで地質環境特性を精度良く調査することができるコントロールボーリング技術の開発を行う。また、深地層の研究施設の坑道を活用し、地下水年代測定及び岩盤中の地下水や物質の移動等を調査・評価する技術を構築する。
②地質環境長期安定性評価確証技術開発	天然現象(例えば隆起・沈降など)により地質環境に生じる長期的な変化を三次元的にモデル化・解析評価する技術や、岩石の年代を精度良く評価する技術等の開発を進める。
③処分システム評価確証技術開発	安全評価の信頼性を向上させるため、地下研究施設等を利用した試験を通じて人工バリア及びその周辺岩盤(ニアフィールド)で生じる複雑な現象を考慮できる評価モデルの確証等を行う。
④処分システム工学確証技術開発	深地層の研究施設を活用し、人工バリアの品質評価技術及び処分システムの状況をモニタリングする技術等、処分システム設計・操業に関する工学技術の開発を行う。
⑤海域地質環境調査確証技術開発	海上ボーリング調査によって得られた海底下深部の地質構造や地下水等の状況に基づき、沿岸域海底下の地質環境の総合的な調査・評価手法を構築する。
⑥沿岸部処分システム高度化開発	地層処分技術の信頼性及び安全性の向上の観点での技術基盤整備を目的に、沿岸部での地質環境の調査技術・人工バリア等に関する工学技術・地下水の時間変化等に係る安全評価技術の整備・体系化に向けた文献調査を行う。
⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発	TRU廃棄物処分における新しい固化技術や固化体からの放射性ヨウ素や炭素の長期溶出挙動評価のための技術の開発、人工バリア材の長期挙動、ガス移行挙動の評価に関する研究開発等を行う。
⑧セメント材料影響評価技術高度化開発	TRU廃棄物の地層処分で用いられる可能性のあるセメント材料を想定し、セメント材料が人工バリア性能に及ぼす影響の評価技術、核種移行解析技術の開発を行う。
⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発	高レベル放射性廃棄物処分の可逆性・回収可能性について、これまで開発してきた搬送定置や緩衝材除去技術を地上・地下環境で実証し、地下での適用性を確認する。
⑩直接処分等代替処分技術開発	将来的な政策の柔軟性を確保する観点から、使用済核燃料の直接処分の実現可能性についての検討及びそれを実現するために必要な技術開発を行うとともに、超深孔処分等の代替処分オプションの実現可能性についての検討を行う。

(1)地層処分調査技術

①岩盤中地下水移行評価確証技術開発の概要

概 要	少数のボーリングで地質環境特性を精度良く調査することができるコントロールボーリング技術の開発を行う。 また、深地層の研究施設の坑道を活用し、地下水年代測定及び岩盤中の地下水や物質の移動等を調査・評価する技術を構築する。
実施期間	平成25年度～平成29年度（予定）（5年間）
予算総額	13.1億円 （平成25年度:5.7億円 平成26年度:3.4億円 平成27年度:3.9億円）
実 施 者	一般財団法人電力中央研究所
プロジェクト リーダー	宮川 公雄 一般財団法人電力中央研究所 （バックエンド研究センター 副センター長）

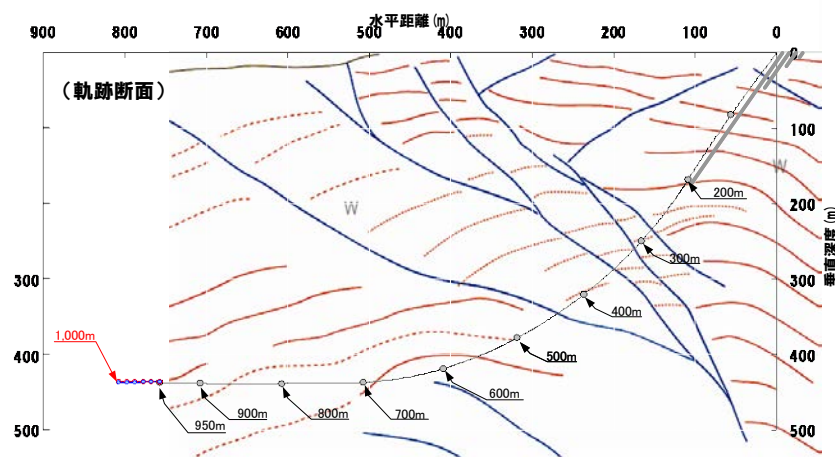
①岩盤中地下水移行評価確認技術開発

全体実施概要

- ・堆積軟岩に適用可能な方向性が制御可能な掘削と孔内での調査技術を開発し、その適用性を確認する。
- ・岩盤を対象とした原位置トレーサ試験技術、割れ目特性調査技術を開発し、原位置において有効性を実証する。

平成27年度までの主な成果

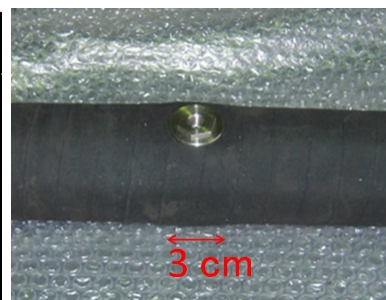
- ・コントロール掘削および孔内での調査に関する機器を開発し、上幌延サイトにおいて大曲断層を対象として孔長1000m、深さ450mの孔井を当初の計画に沿って掘削し、孔内調査やモニタリングなどにより、断層構造や水理地質構造を明らかにすることが可能となった。
- ・トレーサ試験技術、割れ目特性（開口幅、流動性等）調査技術について、改良した試験装置（右下図）を用いて瑞浪超深地層研究所で実施したトレーサー試験により、元素ごとの割れ目充填鉱物等への吸着性が推定でき、割れ目の多い岩盤での適用性が確認できた。



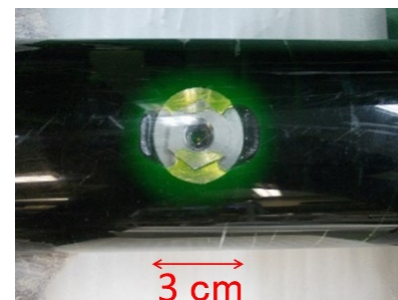
コントロール掘削実績 (HCD-3孔井: 上幌延サイト)

全体スケジュール

岩盤中地下水移行評価確認技術開発	実施項目	H12-17	H18-24	H25	H26	H27	H28	H29
	ボーリング調査技術の確証 (ボーリング技術高度化開発)	掘削技術 設計・試作	改良					
		調査技術 設計・試作	改良	モニタリング				
		現地適用・体系化						
		北進サイト	上幌延サイト	マニュアル				
	岩盤中物質移行特性評価技術の確証	技術開発						
		設計・試作	改良		高度化			
		現地適用						
			Grimsel			瑞浪		



(a) パッカーに取り付けた注入用ポート



(b) アクリル管をボーリング孔に見立ててウランを注入した

トレーサー試験装置のパッカー一体型孔内注入装置

①岩盤地下水移行評価確証技術開発（アウトプット・アウトカム）

事業アウトプット指標	開発項目（計画）	研究開発成果・達成状況
コントロールボーリング調査技術や割れ目の多い岩盤にも適用可能なトレーサー試験技術を開発し、実際の岩盤での地下水移行評価を可能とする。	(1) 堆積軟岩に適用可能な方向性が制御可能な掘削と孔内での調査技術を開発し、その適用性を確認する。 (2) 岩盤を対象とした原位置トレーサ試験技術、割れ目特性調査技術を開発し、原位置において有効性を実証する。	【成果】 論文数：7件 学会発表数：41件 【達成状況】 (1) コントロール掘削及び孔内調査に関する機器を開発し、孔長1000m、深さ450mの孔井を当初の計画に沿って掘削し、孔内調査やモニタリング等により、断層構造や水理地質構造を明らかにすることが可能となった。 (2) トレーサ試験技術、割れ目特性調査技術について、改良した試験装置を用いたトレーサー試験により、元素ごとの割れ目充填鉱物等への吸着性が推定でき、割れ目の多い岩盤での適用性を確認できた。
事業アウトカム指標		
コントロールボーリング調査技術及び割れ目の多い岩盤にも適用可能なトレーサー試験技術を開発し、岩盤中の地下水移行の状況を提示可能にすることで、<u>地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。</u>		

②地質環境長期安定性評価確証技術開発の概要

概 要	天然現象(例えば隆起・沈降など)により地質環境に生じる長期的な変化を三次元的にモデル化・解析評価する技術や、岩石の年代を精度良く評価する技術等の開発を進める。
実施期間	平成25年度～平成29年度（予定）（5年間）
予算総額	6.6億円 (平成25年度:1.5億円 平成26年度:2.5億円 平成27年度:2.6億円)
実 施 者	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
プロジェクト リーダー	石丸 恒存 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (東濃地科学センター 地層科学研究部 グループリーダー)

②地質環境長期安定性評価確証技術開発

□全体実施概要

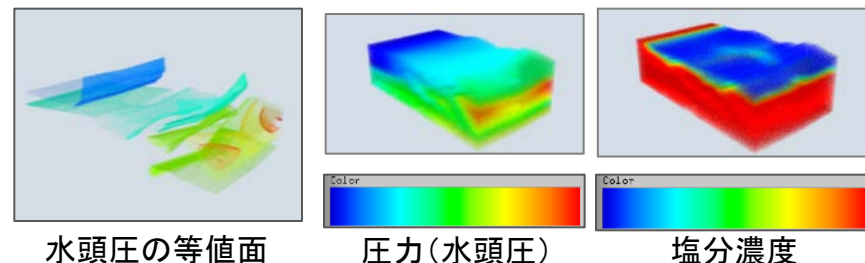
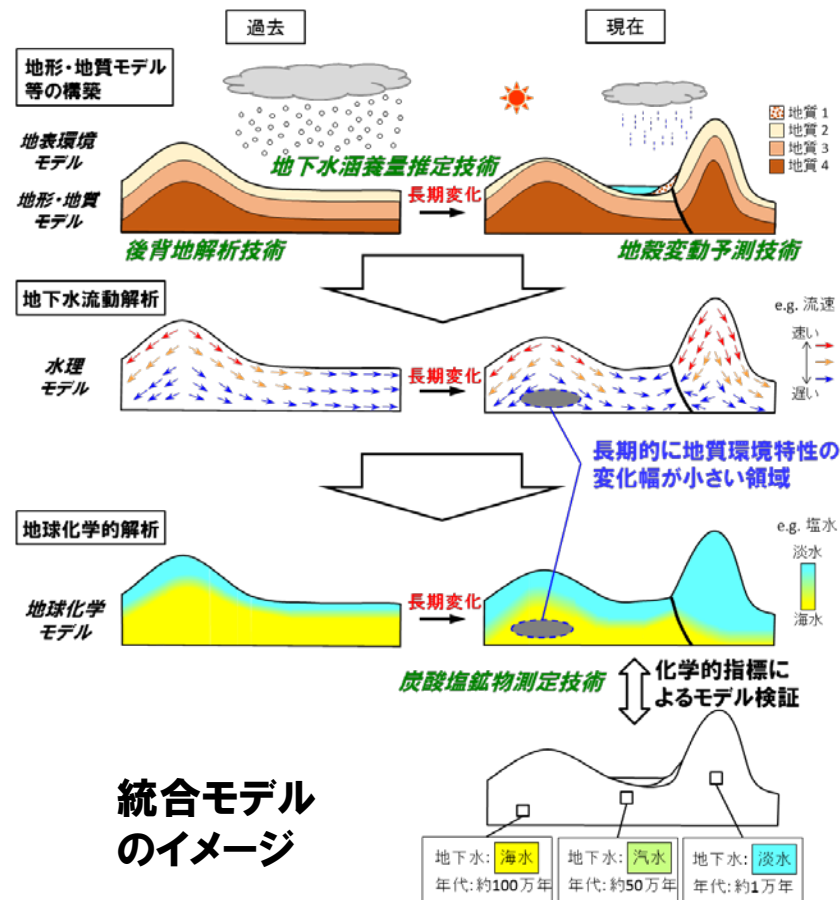
- これまで個別に進められてきた地形・地質モデル、水理モデル、地球化学モデル及び地表環境モデルを統合化した地質環境長期変動モデルを構築するとともに、これらに必要な可視化・数値化技術や不確実性の評価手法を提示する。
- モデルの作成・検証に必要なデータを取得するための革新的要素技術の開発を行い、地質環境長期変動モデルに反映する。

□平成27年度までの主な成果

- 堆積物の化学組成の変化に基づいた山地の形成過程を復元する技術（後背地解析技術）や、長期的な気候変動及び地形変化を考慮した地下水涵養量の推定技術等の開発を行い、百万年間という長期の地形・地質変化や地下水流動のモデル化に有効な技術を整備した。
- 個別の分野のモデルを始めから終わりまで通貫した統合モデルを構築するフローを提示し、地形の変化が地下水流動に影響を及ぼし、さらに地下水流動が水と岩石との反応に影響を及ぼす、といった一連の変化の流れと相互の関係を明確にした。これにより、個別のモデルのみでは把握が困難であった時間変化する地質環境を可視化する道筋を示した。また、これら時間変化するモデルを効果的に可視化するために必要な技術としての三次元CGのプロトタイプを作成した。

□全体スケジュール

事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
(1)地質環境長期変動モデルの開発					
①統合数値モデル化、モデル検証及び不確実性の評価	事前検討、FEPによる整理	長期変遷シナリオの整備、条件設定、統計処理法の提示等	統合数値モデル&可視化技術の提示、モデルの検証と不確実性の評価		
②地形・地質モデル			作業フローの提示		
③地表環境モデル		地形・地質・地表環境モデルの構築・更新			
④水理モデル			地下水流動解析、移流分散解析等		
⑤地球化学モデル					
(2)革新的要素技術の開発					
①後背地推定技術	装置整備		モデルへの反映		
②炭酸塩鉱物測定技術			技術開発		
③地殻変動予測技術					
④地下水涵養量推定技術				科学的知見の蓄積	



地下水流動解析結果の可視化の例

②地質環境長期安定性評価確証技術開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
将来の自然現象に伴う超長期の地質環境の変動を考慮できる数値モデル及びその解析・評価に必要な調査技術を整備する。	(1) 各個別モデルを統合化した地質環境長期変動モデルを構築するとともに、これらに必要な可視化・数値化技術や不確実性の評価手法を提示する。 (2) 地形・地質モデル、水理モデル、地球化学モデル及び地表環境モデルの作成・改良・検証に必要なデータを取得するための革新的要素技術を開発する。	【成果】 論文数: 1件 学会発表数: 17件 【達成状況】 (1) 個別の分野のモデルを始めから終わりまで通貫した統合モデルを構築するフローを提示し、一連の相互の関係を明確にした。これにより、時間変化する地質環境を可視化する道筋を示した。また、この時間変化するモデルを可視化するために三次元CGのプロトタイプを作成した。 (2)
事業アウトカム指標		堆積物の化学組成の変化に基づいた山地の形成過程を復元する技術等の開発を行い、長期の地形・地質変化等のモデル化に有効な技術を整備した。
将来の自然現象に伴う地質環境の変動スケールを把握する技術等を開発することにより、<u>地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。</u>		

③処分システム評価確証技術開発の概要

概 要	安全評価の信頼性を向上させるため、地下研究施設等を利用した試験を通じて人工バリア及びその周辺岩盤（ニアフィールド）で生じる複雑な現象を考慮できる評価モデルの確証等を行う。
実施期間	平成25年度～平成29年度（予定）（5年間）
予算総額	14.2億円 （平成25年度：4.0億円 平成26年度：4.9億円 平成27年度：5.4億円）
実 施 者	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
プロジェクト リーダー	本田 明 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 （核燃料サイクル工学研究所 基盤技術研究開発部 次長）

③処分システム評価確証技術開発

□全体実施概要

- ・高レベル放射性廃棄物の処分施設周辺(ニアフィールド)におけるシステム変遷と核種移行を評価するための技術及び巨大地震・断層活動を例とした過酷事象の地層処分システムへの影響に関する評価確証技術を開発する。

□平成27年度までの主な成果

- ・ニアフィールドにおいて発生する様々なシステム変遷とその核種移行挙動に及ぼす影響を評価するうえで重要となる課題を、様々な複合現象や不確実性要因等を考慮して抽出し(図1)、以下に示すような成果例を得た。
- ・人工バリア中の核種移行評価技術開発では、緩衝材候補材料である圧縮ベントナイトの核種移行データをモンモリロナイトのイオン型(Na型とCa型)や液相の塩濃度を变化させて取得し、塩濃度の増加に伴い、実効拡散係数と収着分配係数のいずれも減少する傾向を確認した(図2)。実効拡散係数が小さくなると核種の移行が遅延されるが、収着分配係数が小さくなると核種の移行が促進される。このような知見の拡充を通じ、システム変遷と核種移行を評価する上でより正確な核種移行パラメータ設定が可能となった。
- ・天然バリア中の核種移行評価技術開発では、スイスグリムゼルの花崗岩を対象に収着性の異なる複数の元素を用いた割れ目中の通液試験を行った結果、現状の評価モデルによる解析では核種の収着性を大きく見積もっていることが明らかになったため(図3)、評価モデルの精緻化に向けた取り組みを進めている。
- ・過酷事象の影響については、断層が処分施設に直撃した際の健全性を評価する手法の開発を行った結果、断層のずれが廃棄体を直撃した場合においても、周辺岩盤がオーバーバックに接触しないかぎり、オーバーバックの破損につながらないことが分かった。

□全体スケジュール

	H25	H26	H27	H28	H29
ニアフィールドのシステム変遷と核種移行を評価するための先端技術の開発			中間評価 ワークショップ	原位置等での評価確証/複合現象・核種移行の体系的評価	
過酷事象の地層処分システムへの影響に関する評価確証技術開発		概念構築・シナリオ構築		改良・高度化	

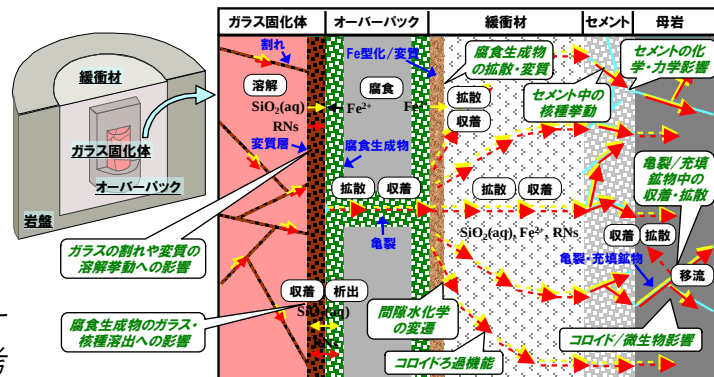


図1 ニアフィールドにおいて時間的変遷に伴い発生する現象(図中吹き出し)と核種の移行経路(図中矢印)の概念図

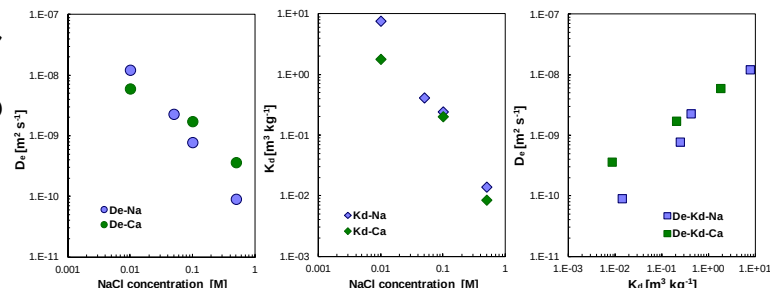


図2 圧縮モンモリロナイト中のSrの核種移行データ(収着分配係数 K_d ,実効拡散係数 D_e)の塩濃度依存性

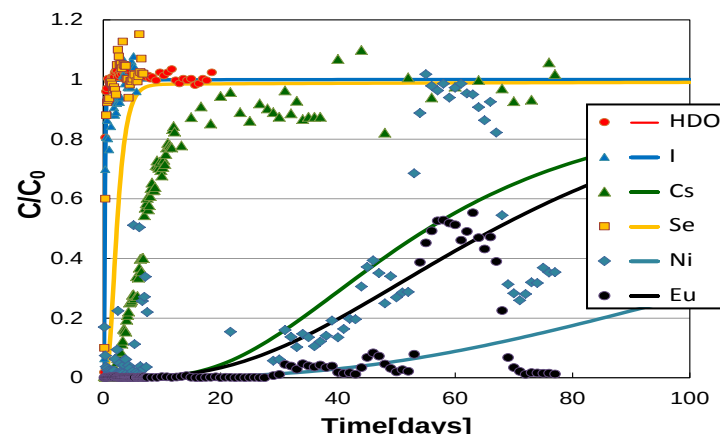


図3 花崗岩割れ目中の通液試験の結果(図中プロット)と解析結果(図中実線)の比較

③ 処分システム評価確証技術開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
処分施設近傍(ニアフィールド)を中心とした地層処分システム変遷と核種移行を評価するための技術や過酷事象の地層処分システムへの影響を評価する技術等により、人工バリア及びその周辺岩盤(ニアフィールド)で生じる複雑な現象を評価可能とする。	(1)ニアフィールドのシステム変遷と核種移行を評価するための先端的技術を開発する。 (2)過酷事象の地層処分システムへの影響に関する評価確証技術を開発する。	【成果】 論文数:8件 学会発表数:42件 【達成状況】 (1) 人工バリア中の核種移行評価技術開発では、緩衝材候補材料である圧縮ベントナイトの核種移行データを取得し、これらのデータの塩濃度依存特性を明らかにした。これにより、システム変遷と核種移行を評価する上でより正確な核種移行パラメータ設定が可能となった。 天然バリア中の核種移行評価技術開発では、花崗岩を対象に収着性の異なる複数の元素を用いた割れ目中の通液試験を行った結果、現状の評価モデルによる解析結果と試験結果に乖離がみられることが明らかになったため、評価モデルの精緻化に向けた技術課題の整理に着手した。
事業アウトカム指標		(2) 過酷事象の影響については、断層が処分施設に直撃した際の健全性を評価する手法の開発を行い、断層のずれにより岩盤とオーバーパックが接触することも想定した解析が可能となった。
地層処分事業における処分場設計や性能評価技術に科学的技術基盤を与え、安全性と説明性を強固にするとともに、安全規制策定に対しても科学技術的基盤を提供することで、<u>地層処分技術の社会的受容性及び信頼性向上</u>に貢献する。		

④処分システム工学確証技術開発の概要

概 要	深地層の研究施設を活用し、人工バリアの品質評価技術及び処分システムの状況をモニタリングする技術等、処分システム設計・操業に関する工学技術の開発を行う。
実施期間	平成25年度～平成29年度（予定）（5年間）
予算総額	16.0億円 （平成25年度:4.6億円 平成26年度:5.7億円 平成27年度:5.7億円）
実 施 者	公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター
プロジェクト リーダー	朝野 英一 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター （チーフ・プロジェクト・マネジャー）

④処分システム工学確証技術開発

□全体実施概要

- 地下環境を考慮してオーバーパック及び緩衝材の品質や健全性が確保されていることを判断するための指標の提示に向けた検討を行うことにより、それらの製作・施工技術に対する信頼性を向上させる。また、品質や健全性を確認するためのモニタリング技術について地下研究施設での適用性確認等を行う。さらに、処分場操業期間中の自然災害に対する安全対策を提示する。

□平成27年度までの主な成果

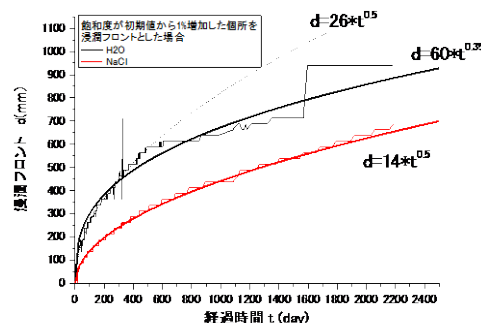
- 地下研究施設でのオーバーパック溶接部腐食試験を開始し、腐食速度などを測定した。また、超音波探傷法のデータ処理方法に全波形収録開口合成法を適用することで溶接部の欠陥寸法及び位置の測定精度が向上することを解析により確認した。
- 緩衝材の再冠水過程を対象として浸潤、膨潤、流出などに関する試験データを取得し、浸潤速度に関する相関式などを提示した。また、地下研究施設での緩衝材流出試験を実施し、湧水条件によっては緩衝材と孔壁の間に水みちが形成され、緩衝材の流出が発生することが確認された。
- 遠心模型試験により、人工バリアと周辺岩盤挙動に関する100年間相当のデータを取得した。また、材料試験から得られた構成材料の物性値を用いた感度解析結果から、緩衝材の剛性等が長期的な変形挙動に及ぼす影響を定量化した。
- 国際共同研究に参画し、今後のわが国の性能確認プログラム(モニタリングや施工管理等を組み合わせた包括的なプログラム)としての全体枠組みの構築に資する技術情報を整備した。また、国際共同研究でも重要技術とされている無線通信及び無線給電技術について、前者は地下施設での実用性の確認、後者は伝送効率等を確認し、それらの成果を国際共同研究にフィードバックした。
- 自然災害に起因する火災に着目して、地下及び地上施設を対象とした解析を実施し、放射性物質の環境への放出口リスクの検証を行った。

□全体スケジュール

事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
1.人工バリア品質／健全性評価 手法の構築－オーバーバック	試験孔掘削、試験装置製作		地下研での溶接部腐食試験の実施		
			強度評価および欠陥評価		
2.人工バリア品質／健全性評価 手法の構築－緩衝材	試験孔掘削	地下研での緩衝材流出試験の実施			
			再冠水時を対象としたデータ取得		
3.人工バリアと周辺岩盤の長期 挙動評価手法の構築			遠心模型試験による長期挙動データ取得		
			要素試験および長期挙動予測解析の実施		
4.モニタリング関連技術の整備	モニタリングプログラムの全体枠組みの構築に資する情報収集				
	無線通信技術の実証および実用化の見通し確認				
5.自然災害に対する操業期間中の 安全対策に関する基盤技術の開発	作業員の安全確保対策の提示				
	人工バリアへの火災影響の評価				



溶接部腐食試験装置の設置作業



緩衝材中の浸潤フロントの進展



地下施設で実証中の地中無線装置

④処分システム工学確証技術開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
地下環境を考慮した人工バリアの製作・施工技術及びモニタリング技術等の工学技術を、地下研究施設を活用して確証していくとともに、自然災害に対する操業期間中の工学的対策に関する基盤技術の整備を行う。	(1)オーバーパック、 (2)緩衝材 (3)周辺岩盤 上記(1)～(3)の長期挙動を考慮した品質／健全性評価手法を構築し、判断指標、許容値及び工学的対策を提示する。 (4)モニタリングや施工管理等を組み合わせた包括的なプログラムの全体枠組みを具体化する。また、モニタリングにおける無線通信技術の実用化の見通しを得るとともに、無線給電技術の基礎試験等を行い今後の技術開発課題等を抽出する。 (5)自然災害に起因する火災に対する操業期間中の地上施設および地下施設を対象とした安全確保対策を提示する。	【成果】 論文数:1件 学会発表件数:26件 【達成状況】 (1) 地下研究施設でのオーバーパック溶接部腐食試験を開始し、腐食速度等を測定した。また、溶接部の欠陥寸法及び位置測定技術のデータ処理手法変更により測定精度が向上することを解析により確認した。 (2) 緩衝材の再冠水過程に関する試験データを取得し、浸潤速度に関する相関式等を提示した。また、地下研究施設で緩衝材流出試験を実施し、湧水条件によっては緩衝材の流出が発生することが確認された。 (3) 遠心模型試験により、人工バリアと周辺岩盤挙動に関する100年間相当のデータを取得した。また、材料試験データによる感度解析結果から、緩衝材の剛性等が長期的な変形挙動に及ぼす影響を定量化した。 (4) 国際共同研究に参画し、今後のわが国の性能確認プログラムの全体枠組みの構築に資する技術情報を整備した。また、地下施設モニタリングにおける無線通信及び無線給電技術について、地下施設での実用性の確認等を行い、成果を国際共同研究にフィードバックした。 (5) 自然災害に起因する火災に着目して、地下及び地上施設を対象とした解析を実施し、放射性物質の環境への放リスクの検証を行った。
事業アウトカム指標		
人工バリアの閉じ込め機能の長期健全性等の適切なモニタリング方策の提示により、<u>地層処分の技術的信頼性の向上、国民や処分場受入自治体の地層処分に対する納得感や安心感の醸成に資する。</u> また、<u>自然災害対策の提示により、処分施設の安全性や操業期間中の一般労働安全や放射性安全に対する説明性の向上に資する。</u>		

⑤海域地質環境調査確証技術開発の概要

概 要	海上ボーリング調査によって得られた海底下深部の地質構造や地下水等の状況に基づき、沿岸域海底下の地質環境の総合的な調査・評価手法を構築する。
実施期間	平成23年度～平成27年度 （5年間）
予算総額	13.0億円 (平成25年度:5.2億円 平成26年度:5.1億円 平成27年度:2.7億円)
実 施 者	国立研究開発法人産業技術総合研究所
プロジェクト リーダー	丸井 敦尚 国立研究開発法人産業技術総合研究所 (地圏資源環境研究部門 総括研究主幹)

⑤ 海域地質環境調査確証技術開発

□ 全体実施概要

- ・沿岸域深部の地質・地下水環境を高精度に把握する手法の確立を目的とし、その一例として富士川河口において物理探査と大深度ボーリングを実施する。物理探査の実施に当たっては、交通網などのノイズや断層の影響等を事前にシミュレーションする手法を用いる。また、地下水調査においては、沿岸域の地下水流動を三次元的に把握することを目的として、沿岸域でボーリング調査を実施する。

□ 平成27年度までの主な成果

- 沿岸部における地層処分技術の信頼性向上のため、必要な技術を抽出して沿岸部の特性を高精度に把握できるように調査技術の体系化を行った。
- ・事前シミュレーションの実施により、最も適切な物理探査方法を選択し、センサーを最適な位置に配置して探査することで、断層を含む地質構造を高精度に把握する手法を開発した(図1)。
- ・本研究により開発された海域微地形探査により、海底湧出地下水を発見し、地下水を採取・分析した。さらに物理探査の結果と統合して断層位置を特定した。これと沿岸域に掘削した観測井から得た高品質試料の分析により、沿岸域の陸域から海域に流れる地下水の起源や滞留時間が推定可能となった。沿岸域の地下水は深度ごとに層状である水理構造を把握する手法が確証できた。海域微地形探査においては、図2に示すように2mメッシュでの高精度な海底微地形の把握手法を開発した。

□ 全体スケジュール

海域地質環境調査確証技術開発	H23	H24	H25	H26	H27
沿岸域地質構造評価技術の開発		既存資料の再解析	弾性波探査 → 総合解析		
海上掘削調査技術の開発		全国各地解析 → 沿岸域調査技術レビュー	海底湧出地下水調査 → 掘削調査 → 総合解析		

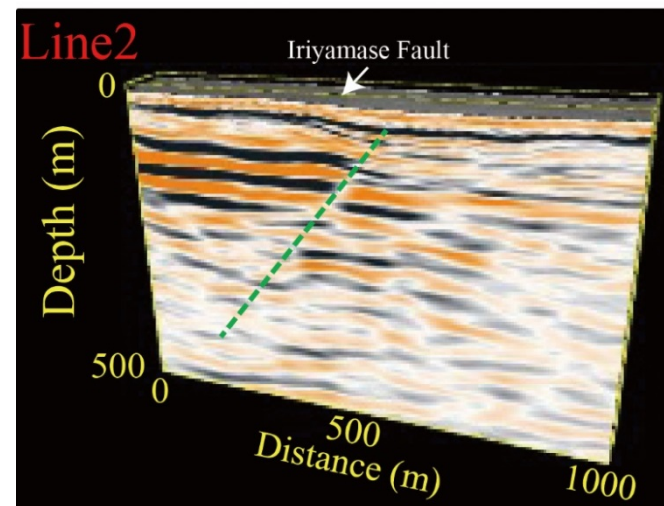


図1 富士川河口における三次元反射法解析の結果(緑は入山瀬断層の位置)

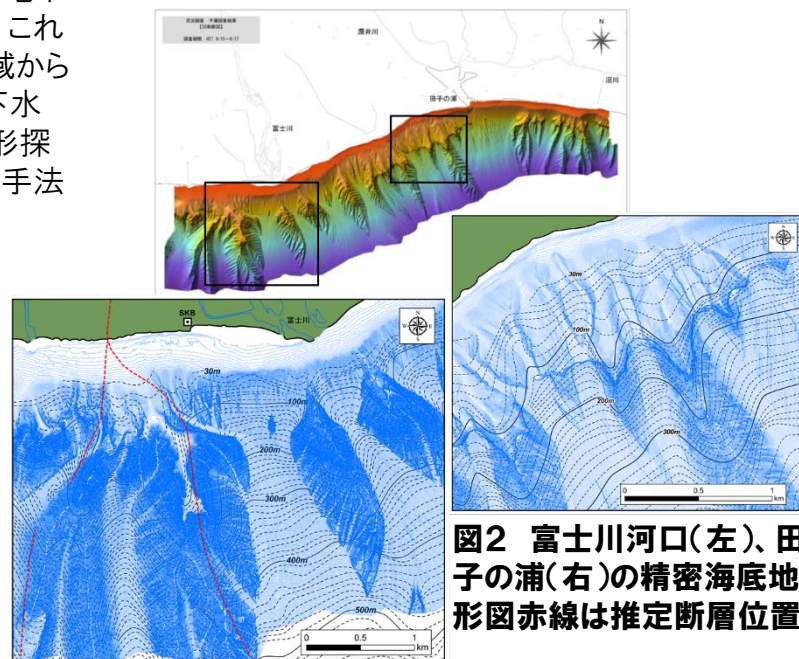


図2 富士川河口(左)、田子の浦(右)の精密海底地形図赤線は推定断層位置

⑤ 海域地質環境調査確証技術開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
沿岸域深部の地質・地下水環境を高精度に把握する手法を確立する。	(1) 物理探査手法による沿岸浅海域の海底水理地質モデル構築により、浅海域海底物理探査法を体系化し、沿岸域の地質構造と地下水環境の把握手法として確立する。 (2) 海域での掘削調査、海底湧出地下水調査、地下水流動解析等を実施し、広域的かつ長期的な地下水流動及び海域地質環境評価技術を確認する。	【成果】 論文数:13件 学会発表件数:25件 【達成状況】 (1) 事前シミュレーションの実施により、最も適切な物理探査方法を選択し、センサーを最適な位置に配置して探査することで、断層を含む地質構造を高精度に把握する手法を開発した。 (2) 開発した海域微地形探査技術により、海底湧出地下水を発見し、地下水を採取・分析した。さらに物理探査の結果と統合して断層位置を特定した。この成果と沿岸域に掘削したボーリング孔から得た地下水試料の分析結果に基づき、沿岸域地下の水理構造を把握する手法を確証した。
事業アウトカム指標		
沿岸域における地質環境調査の評価技術に着目して、海底下の特徴的な地質・地下水環境の調査・評価手法の確証を行うことにより、 <u>処分事業に対する技術的信頼性の向上</u> に資する。		

⑥沿岸部処分システム高度化開発の概要

概 要	地層処分技術の信頼性及び安全性の向上の観点での技術基盤整備を目的に、沿岸部での地質環境の調査技術・人工バリア等に関する工学技術・地下水の時間変化等に係る安全評価技術の整備・体系化に向けた文献調査を行う。
実施期間	平成27年度～平成30年度（予定）（4年間）
予算総額	0.3億円 （平成27年度：0.3億円）
実 施 者	産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構、原子力環境整備促進・資金管理センター、電力中央研究所
プロジェクト リーダー	丸井 敦尚 国立研究開発法人産業技術総合研究所（地圏資源環境研究部門 総括研究主幹） 仙波 毅 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（地層処分研究開発推進部 地質環境研究統合課 課長） 朝野 英一 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター（チーフ・プロジェクト・マネジャー） 宮川 公雄 一般財団法人電力中央研究所（バックエンド研究センター 副センター長）

⑥沿岸部処分システム高度化開発

□全体実施概要

- ・沿岸部における自然現象に関する地質学的調査・分析等、地下水の長期安定性を把握するためのボーリング調査・解析等、塩水環境での人工バリア材料の特性変化を把握するための室内試験等、核種移行・生活圏評価に係るモデル及びパラメータの整備等を行うため文献調査を行う。

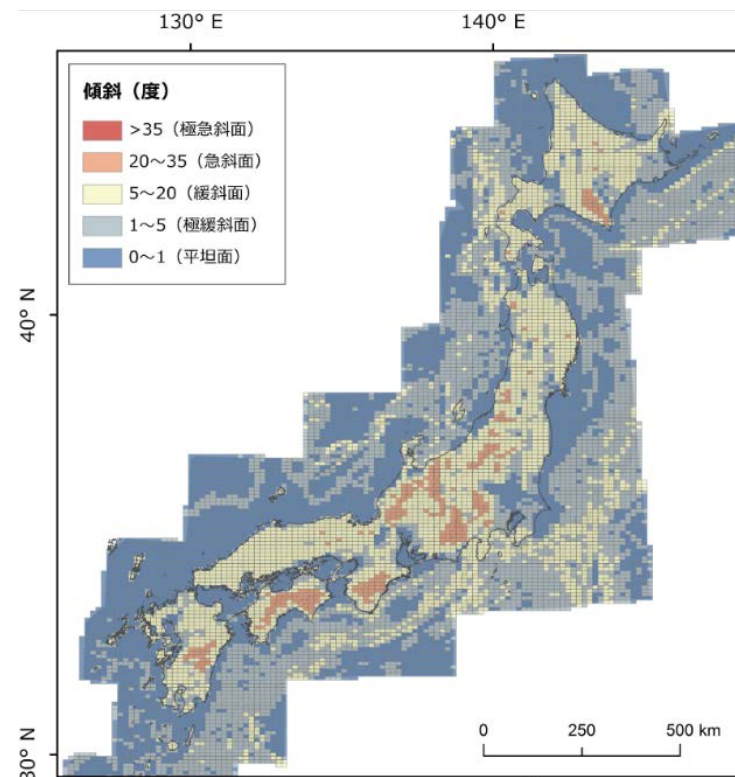
□平成27年度までの主な成果

- 沿岸部に関連するこれまでの地層処分研究開発成果に基づいて、文献調査により沿岸部の特性を整理するとともに課題を抽出・整理した。

- ・沿岸部における地質環境について、氷期の下刻量を把握するうえで沿岸海底下の勾配が大きく影響することが明らかになった。そこで、海陸数値標高モデルから傾斜区分図を作成して海水準の低下によって海底下から陸化する地形の特徴を示した(右図)。
- ・今後3年間の調査で取得する必要性のある主な項目を以下のように抽出した。
 - ・地質環境の調査技術：沿岸部海域における隆起・侵食の評価手法の開発、沿岸部地下水の長期安定性の評価のための現在/氷期の降水、現海水/化石海水の識別等
 - ・工学技術：人工バリア材料等の劣化・変質に係る塩水系地下水の化学的影響等
 - ・安全評価技術：淡水系地下水/海水系地下水の分布やその時間変化等、沿岸部における安全評価に適切に考慮するための評価手法の改良や評価事例の蓄積等

□全体スケジュール

沿岸部処分システム高度化開発	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度
(1) 沿岸部における地質環境の調査技術の高度化開発	文献調査・課題整理	現地調査、評価手法の開発、地質環境のモデル化、事例の蓄積		
(2) 沿岸部における工学技術の高度化開発	文献調査・課題整理	人工バリア材料等に関する劣化や変質に関する現象の把握、塩水環境下ニアフィールド領域での処分システムの設計手法等の提示		
(3) 沿岸部における安全評価技術の高度化開発	文献調査・課題整理	FEP整備、評価モデルの更新、パラメータ設定手法の検討・整備、影響評価・不確実性評価		



日本列島と周辺海域の傾斜区分図

本事業において作成。
陸地では緩斜面が広く分布するが、海底では平坦面から極緩斜面が広く分布する。日本列島周辺における大陸棚の勾配は直線的であり、平均5～7%である。

⑥沿岸部処分システム高度化開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
沿岸部における自然現象に関する地質学的調査・分析等、地下水の長期安定性を把握するためのボーリング調査・解析等、塩水環境での人工バリア材料の特性変化を把握するための室内試験等、核種移行・生活圏評価に係るモデル及びパラメータの整備等を行うため文献調査を行う。	(1) 沿岸部における地質環境の調査技術の高度化開発のための文献調査を行う。 (2) 沿岸部における工学技術の高度化開発のための文献調査を行う。	【成果】 論文数: 1件 学会発表数: 5件 【達成状況】 (1) 地質環境の調査技術に関しては、海陸数値標高モデルから傾斜区分図を作成し、海水準の低下によって海底下から陸化する地形の特徴を示した。また、沿岸部地下水の長期安定性の評価には、現在と氷期の降水、現海水と化石海水の識別が重要であること等を示した。
事業アウトカム指標 沿岸部の特性に関連する課題の解決に向けた取組を着実に進め、<u>処分地選定時の国民の安心感や・納得感、技術に対する信頼感の醸成</u>に資する。	(3) 沿岸部における安全評価技術の高度化開発のための文献調査を行う。	(2) 工学技術に関しては、人工バリア材料等への塩水系地下水の化学的影響の観点で、材料等への影響とそれらの相互作用は、処分システム全体の挙動として捉えることが必要であること等を示した。 (3) 安全評価技術に関しては、淡水系地下水と海水系地下水の分布やその時間変化等を安全評価で適切に取り扱うための評価手法の改良や評価事例の蓄積等が必要であることを示した。

⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発の概要

概 要	TRU廃棄物処分における新しい固化技術や固化体からの放射性ヨウ素や炭素の長期溶出挙動評価のための技術の開発、人工バリア材の長期挙動、ガス移行挙動の評価に関する研究開発等を行う。
実施期間	平成25年度～平成29年度（予定）（5年間）
予算総額	13.9億円 （平成25年度:4.7億円 平成26年度:5.0億円 平成27年度:4.2億円）
実 施 者	公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター
プロジェクト リーダー	大和田 仁 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター （チーフ・プロジェクト・マネジャー）

⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発

□全体実施概要

- ・TRU廃棄物の地層処分において、高い影響を与えるヨウ素129を長期間にわたり閉じこめる固化体(アルミナ固化体、BPIガラス固化体、セメント固化体)を開発し、その影響を低減する。
- ・放射化金属廃棄物の腐食にともなって放出される炭素14が高い影響を及ぼすため、ハル及びエンドピースの材質であるジルカロイ及びステンレス鋼の腐食過程をモデル化し、これまでの保守的な仮定に基づく評価結果と比較し、影響度合いを確認する。
- ・処分場の性能の低下の原因として考えられる、セメント系材料からのアルカリ影響による緩衝材の変質について、同様の天然事象(ナチュラルアナログ)を用いてその影響の程度を把握する目的で、現在も高アルカリ地下水がベントナイト質の粘土層に影響している場所(NAサイト)を特定するとともに、アルカリ影響に関するデータを取得し、上記性能の変化が予測の範囲内であることを示す。
- ・セメント系材料(想定される量が多いことから、広く一般産業で利用実績のある、普通セメントおよびJIS規格に規定された混合セメント)と緩衝材との反応を主とした長期的な処分施設の化学的変遷やガスの移行に関する予測のためのデータの拡充および評価方法の高度化により、影響予測の信頼性を向上させる。また、セメント系材料の熱変質温度や、施工時の部材寸法等に関するデータを取得し、処分場の状態変遷予測のために重要な処分施設の初期の状態を設定する。



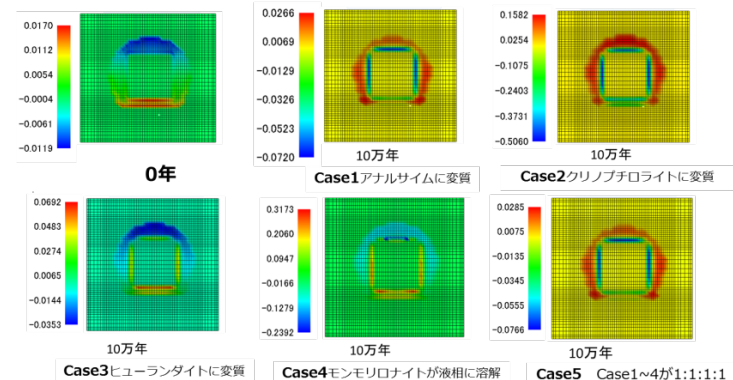
パラワン島のNAサイトで
の粘土層のトレンチ調査

□平成27年度までの主な成果

- ・ヨウ素129固化体の溶出試験や固化方法の改良から、アルミナ固化体の空隙率の低減、BPIガラス固化体のヨウ素浸出挙動への地下水中の溶存イオン種の影響、セメント固化体中のヨウ素固定鉱物層を確認し、ヨウ素129の放出を抑制できることを確認した。
- ・炭素14に関しては、燃料被覆管の材料であるジルカロイの長期腐食試験およびエンドピースの材料であるステンレス鋼の短期腐食試験の結果、酸化膜の成長により腐食速度が次第に遅くなることが明らかになった。
- ・フィリピンのパラワン島で高アルカリ地下水がベントナイトと類似の粘土層に影響している、ナチュラルアナログ(NA)サイトとしてふさわしい場所を選定した。今後、人工バリアの長期性能に係る地球化学モデルの検証・改良を可能とすることを目的として、現地調査(サンプリング)、鉱物化学分析によりアルカリ環境下での変質プロセスと時間スケールを明らかにする。
- ・セメント系材料から供給されるアルカリにより、緩衝材中の鉱物の溶解や2次鉱物の沈殿等に伴う密度分布のばらつきが生じることが明らかとなっているが、この現象が処分場のバリア機能に与える影響の程度は明らかとなっていない。現時点においては密度分布のばらつき発生に係るシミュレーションを行うことができた。
- ・熱変質試験の結果、50℃以上でセメント系材料の結晶化が起きることを確認した。
- ・ガス圧の上昇に伴う地下水の押し出しやガスの透過は、緩衝材の物理的な破断に影響を及ぼし、放射線量のピークに悪い影響を及ぼす。そのため、ガス移行試験及び力学試験を行い、ガスの移行経路や毛細管圧力等のデータを取得し、再現解析を行った結果、緩衝材が物理的に破断する可能性を示す条件が明らかとなった。

□全体スケジュール

事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
①ヨウ素129対策技術の信頼性向上		ヨウ素固化体の性能評価 技術選定の検討・準備			
②炭素14長期放出挙動評価		ジルカロイおよびステンレス鋼の長期腐食モデルの検討 炭素14の化学形態の調査			
③ナチュラルアナログ調査		NAサイトの探査 アルカリ環境下のベントナイトの長期変質プロセスの評価 NAによる地球化学モデルの検証・改良			
④人工バリア材料長期挙動評価・人工バリア評価の初期条件の設定	化学・力学連成解析のためのモデルの信頼性向上および確認試験 熱影響等の初期値への影響に関する検討			初期条件の設定の検討	
⑤ガス移行連成挙動評価手法の開発		ガス移行評価シナリオの拡充 ガス移行連成挙動ツールの高度化 人工バリアシステムのガス移行連成挙動評価			



改良した水理・力学・化学連成解析によって予測した10万年後の処分場内の応力分布(化学変質による生成二次鉱物の違いによる応力分布の差(赤は圧縮状態(高密度)を示す))。

⑦TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
TRU廃棄物処理において、<u>ヨウ素129及び炭素14の被ばく線量の低減を可能とする</u>。また、TRU廃棄物の<u>人工バリア材の性能や長期挙動を評価するための技術基盤を確立する</u>。	(1)3つのヨウ素固化技術を改良し、廃棄体からのヨウ素放出を抑制する。 (2)ハル及びエンドピースの材質であるジルカロイ及びステンレス鋼の腐食過程をモデル化し、炭素14の放出に関する影響度合いを確認する。 (3)ベントナイトの変質の理解に資するナチュラルアナログサイトを特定し、その調査により変質過程の評価と解析を行うことで、セメント系材料による緩衝材の変質が予測の範囲内であることを確認する。	【成果】 論文数:16件 学会発表数49件 【達成状況】 (1) ヨウ素129固化体の溶出試験や固化方法の改良から、アルミナ固化体の空隙率の低減、BPIガラス固化体のヨウ素浸出挙動への地下水中の溶存イオン種の影響、セメント固化体中のヨウ素固定鉱物層を確認し、ヨウ素129の放出を抑制できることを確認した。 (2) 金属廃棄物の腐食に起因する炭素14の放出に関して、ジルカロイの長期腐食試験及びステンレス鋼の短期腐食試験の結果、酸化膜の成長により腐食速度が次第に遅くなることが明らかになった。
事業アウトカム指標		
TRU廃棄物の処理・処分技術に係る課題を解決することにより、<u>安全評価の信頼性を向上させ、処分事業への国民の信頼感の向上に資する</u>。	(4)ベントナイトの変質に伴う人工バリアの長期変遷挙動の解析手法を高度化するとともに、その化学的変遷や熱変質の影響を解析するために必要なデータを収集する。 (5)ガス発生・移行に係る評価手法を構築するとともに、ガスによる人工バリア性能への影響を評価するために必要なデータを収集する。	(3) フィリピンのパラワン島でナチュラルアナログサイトとしてふさわしい場所を選定した。今後、現地調査、鉱物化学分析によりアルカリ環境下での変質プロセスと時間スケールを明らかにする。 (4) セメント系材料から供給されるアルカリにより生じる緩衝材中の鉱物の溶解や2次鉱物の沈殿等に伴う密度分布のばらつき発生に係るシミュレーションを行うことができた。また、熱変質試験の結果、50℃以上でセメント系材料の結晶化が起きることを確認した。 (5) ガス移行試験及び力学試験を実施し、その再現解析を行った結果、発生するガスにより緩衝材が物理的に破断する可能性を示す条件を明らかにした。

⑧セメント材料影響評価技術高度化開発の概要

概 要	TRU廃棄物の地層処分で用いられる可能性のあるセメント材料を想定し、セメント材料が人工バリア性能に及ぼす影響の評価技術、核種移行解析技術の開発を行う。
実施期間	平成23年度～平成26年度 （4年間）
予算総額	2.1億円 (平成25年度:1.0億円 平成26年度:1.1億円)
実 施 者	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
プロジェクト リーダー	本田 明 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (核燃料サイクル工学研究所 基盤技術研究開発部 次長)

⑧セメント材料影響評価技術高度化開発

□全体実施概要

- 緩衝材や周辺岩盤へのアルカリ影響を低減させるために新しく開発された低アルカリ性セメント(フライアッシュ高含有シリカフェームセメント: High-volume Fly ash Silica fume Cement, HFSC)について、セメント材料の長期挙動と、セメントが他のバリア材料に与える影響に関する個別現象毎のモデル開発を行うとともに、これらのモデルを連成させることにより、個別現象が相互に影響を与えながら変化する核種移行の場を評価するための複合現象評価モデルを開発する。
- また、評価された場を核種移行経路として表現し、核種移行解析を行う技術の開発を行う。

□平成26年度までの主な成果

- セメント材料の長期影響について、化学的挙動と物質輸送特性の変化及びこれらの連成挙動を表現するためのモデル開発を行い、実験結果との比較により、当該モデルの妥当性を確認した。これにより、HFSCの場合は、普通セメント(OPC)と比較して、水と接触した場合の接触液のpHが低く抑えられること及びセメントの間隙率が0.52以下の範囲ではHFSCとOPCの間隙率が同様であっても透水係数が低く抑えられることがわかった(図1)。
- 化学的挙動と物質輸送特性の変化に加え、力学に係る個別現象が相互に影響しながら核種移行の場を変化させる様子を評価する複合現象評価モデルと、これにより評価された2次元の時間的・空間的变化を伴う場(図2)における核種移行挙動を解析する手法を開発した(図3)。これによりセメント材料の止水性を砂並みに設定した従来の手法より、セメント材料の透水係数と間隙率との関係を反映し、現実に近い条件で核種移行を評価できる見通しを得た。

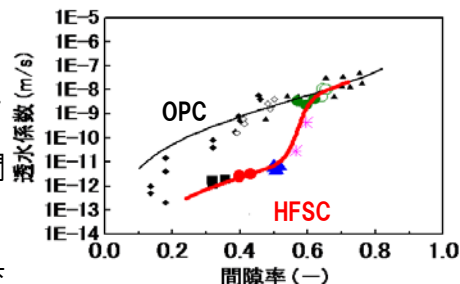


図1 個別現象評価モデルの開発の成果の例
(セメント系材料の物質輸送特性(透水係数))

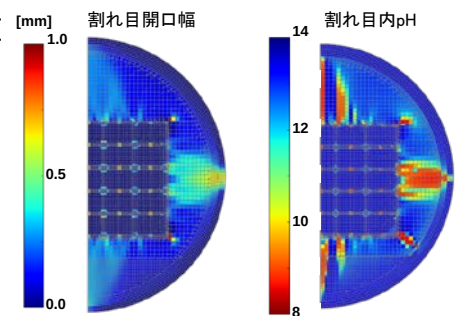


図2 複合現象評価モデルを用いた解析例
(TRU廃棄物処分坑道断面におけるセメント埋戻し材中の、8,000年経過時の(a)割れ目開口幅及び(b)割れ目内間隙水のpH)

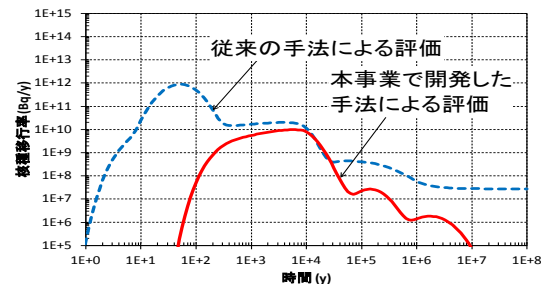


図3 本事業で開発した手法による核種移行解析結果の例
(処分施設からの核種の移行率)

□全体スケジュール

事業項目	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度
1. 個別要素評価モデル開発 / 基盤的データ整備	個別モデル開発／基盤的データ整備			補完的モデル改良 データ取得
① 評価モデル・データの体系化手法の開発	調査・計画策定		進捗に応じて見直し	
② セメント変質評価モデルの開発	データ取得・現象理解・モデル開発			補完的なモデル改良・データ取得及びデータベース化
③ 緩衝材/岩石変質挙動評価モデル開発				
④ バリア材料の変質に伴う力学評価モデル開発				
⑤ 地球化学元素に関するアルカリ条件での熱力学 / 速度論データの整備	溶存化学種及び鉱物に関する熱力学データの整備／鉱物の溶解・沈殿反応速度データの整備			
⑥ 放射性同位元素に関するアルカリ条件での核種移行特性データ取得及びモデル整備	放射性核種の移行現象に関するモデル・データ(錯体形成・溶解沈殿・吸着・マトリクス拡散)の整備			
2. 複合現象評価手法開発	評価フレーム・ツール・パラメータ整備			連成・補完的モデル改良
① 連成解析ツール開発	計算ツール開発(高速化)・現象の因果関係に基づくパラメータの定式化・フレーム構築			連成・補完的モデル改良・プロトタイプ完成
3. 性能評価モデル開発	評価システムのフレーム構築			評価システムのプロトタイプ作成
① 性能評価システム構築	評価システムのフレーム構築・複合現象評価を反映した予想的解析			試解析・システム改良・プロトタイプ完成

⑧セメント材料影響評価技術高度化開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
TRU廃棄物の地層処分におけるニアフィールドの核種移行解析を、セメント材料によるニアフィールドのバリア性能の経時的変化を反映させながら解析可能にする。	(1)セメントの長期挙動及び処分環境に与える影響に関する個別の現象を把握し、それに基づくモデルを開発する。 (2)個別評価モデルを連成させる複合現象評価技術及び評価された場における核種移行解析技術の開発を行う。 (3)(1)、(2)の技術により評価された場を核種移行経路として表現し、核種移行解析を行う技術の開発を行う。	【成果】 論文数:2件 学会発表数3件 【達成状況】 (1) セメント材料の長期影響について、化学的挙動と物質輸送特性の変化及びこれらの連成挙動を表現するためのモデルを開発し、当該モデルの妥当性を確認した。その結果、低アルカリ性セメントを処分場に適用した場合の安全評価が可能となった。
事業アウトカム指標		
TRU廃棄物の地層処分システムの長期健全性を提示可能にすることで、<u>処分事業に対する技術的信頼性の向上</u>に資する。		(2) (1)に加え、力学に係る個別現象が相互に影響しながら核種移行の場を変化させる様子を評価する複合現象評価モデルを開発し、2次元的な処分施設の時間的・空間的变化を評価できるようになった。 (3) (1)、(2)の技術により評価された2次元の時間的・空間的变化を伴う場における核種移行挙動を解析する手法を開発した。これにより従来の手法より現実に近い条件で核種移行を評価できる見通しを得た。

⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発の概要

(地層処分回収技術高度化開発を含む)

概 要	高レベル放射性廃棄物処分の可逆性・回収可能性について、これまで開発してきた搬送定置や緩衝材除去技術を地上・地下環境で実証し、地下での適用性を確認する。
実施期間	平成23年度～平成26年度 (4年間) 平成27年度～平成31年度 (予定) (5年間)
予算総額	10.6億円 (平成25年度:2.8億円 平成26年度:2.8億円 平成27年度:5.0億円)
実 施 者	公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター
プロジェクト リーダー	朝野 英一 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター (チーフ・プロジェクト・マネジャー)

※「可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発」は「地層処分回収技術高度化開発」の事実上の後継事業である。

⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

□ 全体実施概要

- ・可逆性・回収可能性の重要性の高まりや平成27年5月に閣議決定された『特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針』における施設閉鎖までの回収可能性の確保、及び関連する技術課題への調査研究実施に関する規定を踏まえ、社会の関心への対応や施策への信頼感醸成に向けて、回収技術の実現性を示すとともに、示された技術課題に対する検討を着実に進める。
- ・具体的には、実規模レベルで回収技術や設備を整備して、地上及び地下での実証を段階的に進め、回収の技術的実現性を示すとともに、技術課題として示された回収可能性を維持できる期間に関する検討を進める。これらの取組を進めることで、国民の地層処分事業に関する信頼感の醸成に資する。

□ 平成27年度までの主な成果

- 地上での回収技術の実証試験： 処分孔竖置き定置方式に対して、回収における中核技術である緩衝材除去技術を周辺装置を組み合わせたシステムとして整備し、実規模大の実証試験（緩衝材除去試験）を地上で実施することで、技術的な実現可能性を確認した。
- 地下での実証試験に向けた回収技術の高度化開発： 定置方式や搬送定置オプション、およびこれまでの基盤研究で実施した操業に係る工学技術の成果を踏まえ、地下環境での実証試験計画を策定し、地下実証試験サイトの選定、実証試験装置の設計・製作に着手した。

□ 全体スケジュール

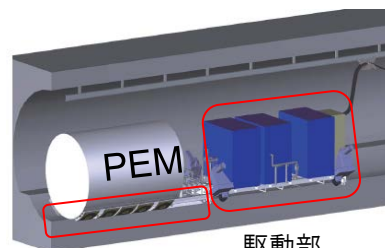
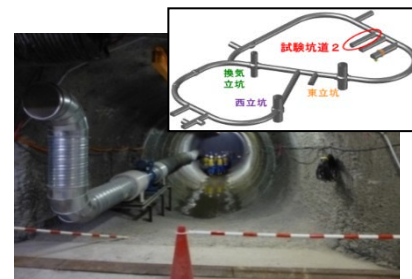
項目	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
全体計画	策定	更新			策定	更新			
緩衝材除去システムの整備	計画検討	設計・製作	機能確認		計画検討	試験設備 設計・製作			
地下／地上施設での実証試験			緩衝材除去試験 地上施設		計画検討		地下施設	搬送定置・回収試験	
回収可能性の維持についての検討					計画検討	工学的技術等の検討と整理、影響評価			
地層処分実規模試験施設の活用									

取りまとめ ▲

取りまとめ △



地上での回収技術の実証試験

エアーベアリング
地下環境での回収技術の高度化開発

⑨可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発(アウトプット・アウトカム) (地層処分回収技術高度化開発を含む)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
廃棄体の搬送定置・回収技術について、<u>地上で緩衝材除去技術を実証する。また、地下環境で廃棄体の搬送から定置、回収の一連の技術を実証し、実際の地下環境で回収技術が適用可能であることを示す。</u>	(1) 定置した廃棄体の回収技術の実証試験を地上で実施し、回収における中核技術である緩衝材除去技術の実証を行う。 (2) 地下環境での廃棄体の搬送から定置、回収の実現のための一連の技術を実証するため、地下研究施設等を利用した実証試験を行う。	【成果】 論文数:0件 学会発表数:4件 【達成状況】 (1) 回収における中核技術である緩衝材除去技術を周辺装置を組み合わせたシステムとして整備し、地上での実規模大の緩衝材除去実証試験の実施により、技術的な実現可能性を確認した。 (2) 廃棄体の搬送・定置・回収技術について、これまでの基盤研究で実施した操業に係る工学技術の成果を踏まえ、地下環境での実証試験計画を策定し、地下実証試験サイトの選定、実証試験装置の設計・製作に着手した。
事業アウトカム指標		
定置した廃棄体の回収技術の実現性や信頼性を示し、<u>国民の地層処分事業に関する信頼感を醸成する。</u>		

⑩直接処分等代替処分技術開発の概要

(使用済燃料直接処分技術開発を含む)

概 要	将来的な政策の柔軟性を確保する観点から、使用済核燃料の直接処分の実現可能性についての検討及びそれを実現するために必要な技術開発を行うとともに、超深孔処分等の代替処分オプションの実現可能性についての検討を行う。
実施期間	平成25年度～平成29年度（予定）（5年間） （平成27年度より「直接処分等代替処分技術開発」に名称変更）
予算総額	8.4億円 （平成25年度:1.7億円 平成26年度:3.3億円 平成27年度:3.4億円）
実 施 者	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
プロジェクト リーダー	畑中 耕一郎 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 （核燃料サイクル工学研究所 基盤技術研究開発部 グループリーダー）

※「使用済燃料直接処分技術開発」に平成27年度よりタスクを追加し、「直接処分等代替処分技術開発」に名称を変更した。

○我が国における使用済燃料の直接処分及び代替処分オプションの検討のために以下の技術的基盤を整備する。

- ・先進的な材料の開発及び閉じ込め性能評価手法の高度化
- ・直接処分施設の設計検討
- ・直接処分以外の代替処分オプションについての調査・検討

・直接処分での総線量の最大値は、半減期が約5700年と長いC-14が支配的となり、ガラス固化体よりも2桁程度大きくなるため、処分容器寿命の長期化が課題になる。こうした中、超長期の耐久性が期待できる処分容器の新材料候補としてバルク金属ガラスに着目し、物理化学的性質の比較や溶射試験による溶射膜の形成状況の確認等により、Ni基合金等が有望な候補となることが示唆された。

- ・処分容器(図1)について、設計に係わる一連の解析(臨界解析・遮へい解析・構造解析等)を使用済燃料に特有の条件(核種量、寸法、重量等)に適用し、我が国のPWRとBWRを対象とした処分容器の寸法や燃料集合体の収容本数を設定することができた。

- ・緩衝材について、使用済燃料の処分容器の大きさや重さはガラス固化体の場合と大きく異なるものの、緩衝材の厚さや密度等の仕様はガラス固化体の場合と同様とできることを、岩盤クリープ・変形・廃棄体自重沈下・処分容器腐食膨張変形等の複合解析により確認した。

- ・代替処分オプションとして米国等で具体的な検討が行われている超深孔処分の概念(図2)を調査し、今後の我が国への適用の検討において着目する課題として、地質環境条件(応力、水理)や地震活動による掘削や定置への影響の可能性等を抽出した。

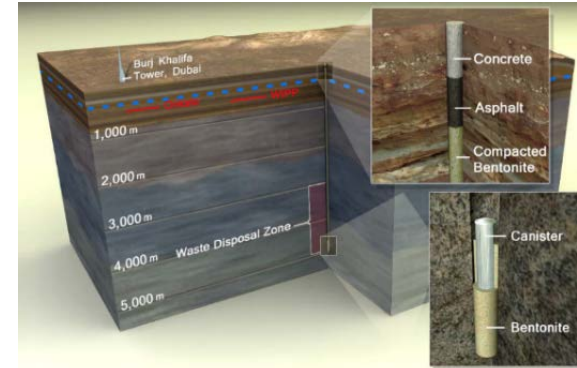
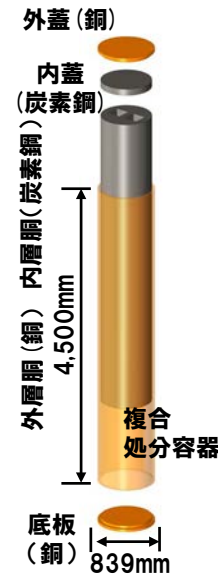


図2 超深孔処分の検討例（米国）

図 1 直接処分容器の例

□全体スケジュール

直接処分等 代替技術開発 事業項目	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
(1) 直接処分システムの閉じ込め性能を向上させる先進的な材料の開発および閉じ込め性能評価手法の高度化		処分容器新材料に関する候補材料の提示・適用性の概略評価	選定した新材料の基本特性分析・評価、適用性の詳細検討		事業成果の取りまとめ
		緩衝材、埋め戻し材の新材料に関する調査と適用性の概略評価	多重バリア構成材料の閉じ込め性能向上の可能性検討 燃料集合体ソースターム評価のための調査・情報データベース整備 閉じ込め性能評価手法の高度化と試験		
(2) 直接処分施設の設計検討					事業成果の取りまとめ
		直接処分方策（保障措置、核セキュリティ対策、回収可能性）	モニタリング等）に関する調査・検討		
		わが国の環境条件に対応した直接処分方策の検討・整理			
		処分容器の設計（代表的PWR・BWR燃料）	炭素鋼・複合容器）	処分容器の設計（燃料の多様性考慮）	
		臨界安全性の検討と反映			
		緩衝材設計（代表的定置方式）／設計のための基礎データの測定	取得データに基づく緩衝材設計		
		地下施設・地上施設の概念設計（代表的な地質条件、定置方式）	地下施設の概念設計（地質環境、施工方法等の多様な条件設定）		
		搬送・定置設備の概念設計（代表的定置方式）	搬送・定置設備の概念設計（オプション定置方式）		
(3) 直接処分施設の設計支援システムの構築		設計支援システムの設計	設計支援システムのプロトタイプ構築		事業成果の取りまとめ
			設計支援システムを用いた初期設計モデルの試作		
			搬送・定置設備と地下空間の整合性検証		
(4) その他の代替処分オプションについての調査・検討			調査研究計画の検討		事業成果の取りまとめ
				海外事例の調査	
				わが国に対する適用性の評価	

⑩直接処分等代替処分技術開発(アウトプット・アウトカム)

(使用済燃料直接処分技術開発を含む)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
我が国の地質環境条件や使用済燃料の特性を踏まえた直接処分を含む代替処分オプションについて、必要な人工バリア材の開発等を行い、 <u>具体的に検討可能とするための技術的基盤を整備する。</u>	(1) 直接処分システムの閉じ込め性能を向上させる先進的な材料の開発及び閉じ込め性能評価手法の高度化を行う。 (2) 直接処分施設について、人工バリア・地下施設・地上施設等の設計を検討する。 (3) その他の代替処分オプションについての調査・検討を行う。	【成果】 論文数:3件 学会発表数:13件 【達成状況】 (1) 直接処分における処分容器の新材料候補としてバルク金属ガラスに着目し、Ni基合金等が有望な候補となることの示唆を得た。 (2) 直接処分における処分容器について、我が国のPWRとBWRの燃料を対象とした処分容器の寸法や燃料集合体の収容本数を設定することができた。 また、緩衝材について、厚さや密度等の仕様がガラス固化体の場合と同様とできることを、岩盤クリープ変形・廃棄体自重沈下・処分容器腐食膨張変形等の複合解析により確認した。 (3) 海外の超深孔処分の概念を調査し、我が国への適用の検討において着目する課題として、地質環境条件(応力、水理)や地震活動による掘削や定置への影響の可能性等を抽出した。
事業アウトカム指標		
我が国における使用済燃料の直接処分を含む代替処分オプションの実現可能性を検討可能とすることにより、 <u>原子力利用における柔軟性を確保し、今後のバックエンド対策の着実な推進と処分事業への国民の安心感や納得感の醸成に資する。</u>		

外部有識者の評価等

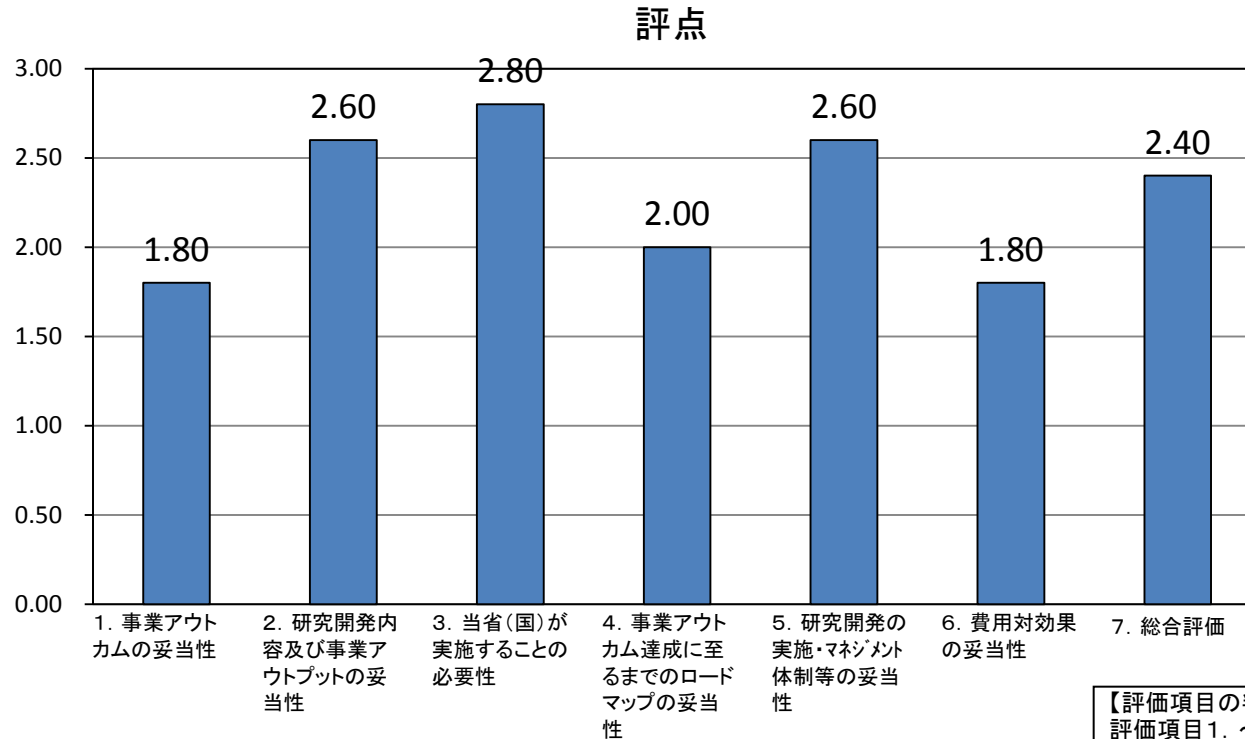
総合評価(地層処分技術調査)

- 平成40年代後半の処分実施を見据えた必要な技術開発がバランスよく配置された構造であり、設定された目標へのアウトプットはおおむね妥当と評価できる。
- 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ、研究開発の実施・マネジメント体制等については、各研究開発の評価委員会での検証もなされており、妥当であると評価できる。
- 資金配分も全体的にバランスが取られているとともに、重点化されるべきところには重点配分されているなど費用対効果の面においても妥当であると評価できる。
- 放射性廃棄物処分の研究開発を国が主体となって実施することの意義、現状と課題を国民に分かりやすく、継続的に情報発信することが必要である。
- 国民理解の醸成として、わかりやすい情報提供や、国際的な議論の経緯や諸外国の経験を含めた基本的な考え方の共有が今後の取り組みとして求められる。
- いくつかの研究開発の成果は放射性廃棄物処分分野以外にも波及されることが示されており、これらのアウトカム効果のアピールを強化し、より費用対効果の向上を目指す努力が必要。

外部有識者の評価等

評点結果(地層処分技術調査)

「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～6.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

7. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続で良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

提言及び提言に対する対処方針

地層処分技術調査

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 個々の研究開発を統合した全体ロードマップを提示することにより、平成40年後半の処分実施とその後の国民の享受する利益を明示することが必要である。
- 国民の真の理解を得るためには、今後長期にわたる活動が必要であり、理解を得る活動を官民一丸となって実施する必要がある。
- 処分場の立地選定が急務となっている現段階で、現時点での安心・安全の論拠の問題点の抽出と再構築の検討を行うとともに、実務的な基盤技術の研究開発を重視することも必要であり、各個別研究開発を連携させた総合評価とそれを統括するマネジメント体制があるとよい。

提言に対する対処方針

- 個々の研究課題を連携させた研究開発の全体計画を、新たに設置予定の「地層処分研究開発調整会議」において策定する。
- 「地層処分研究開発調整会議」を透明性高く運営していくよう運用改善すること等を通じ、研究開発の必要性、意義、成果を国民に対してよりわかりやすく発信するように改善する。
- 各研究開発間のシナジーを生み出すため、必要に応じ研究開発委員会の合同開催を行うなど、資源エネルギー庁に放射性廃棄物対策技術室を新設したことを踏まえ、これまで以上に研究開発マネジメントを発揮していく。

2. 研究開発課題(プロジェクト)

(2) 放射性廃棄物共通技術調査

(2)放射性廃棄物共通調査技術

⑪放射性核種生物圏移行評価高度化開発の概要

概 要	日本固有の特徴を考慮し、農作物や土壌等に対する放射性核種の移行係数などを取得・データベース化し、安全評価における放射性物質の生物圏移行評価手法の高度化を行う。
実施期間	平成25年度～平成29年度（予定）（5年間）
予算総額	2.6億円 （平成25年度:0.6億円 平成26年度:1.0億円 平成27年度:1.0億円）
実 施 者	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
プロジェクト リーダー	内田 滋夫 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 （特別上席研究員）

⑪放射性核種生物圏移行評価高度化開発

□全体実施概要

我が国の生物圏における核種移行評価の高精度化に資するため、以下の調査・研究を行い、我が国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充を行う。

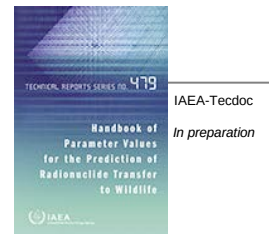
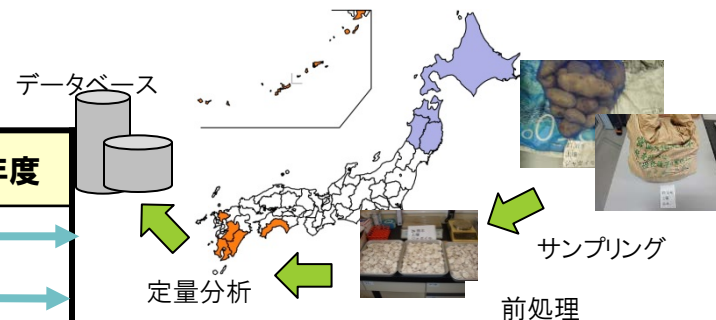
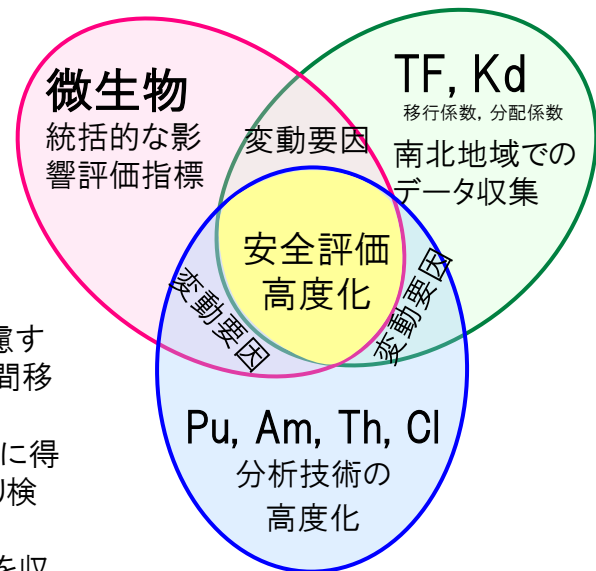
- (1)気候変動を考慮した環境移行パラメータ(TF及びKd)データベースの構築
- (2)放射性炭素の移行パラメータに対する微生物活動の影響調査
- (3)重要核種(Pu, Am, Th及びCl)の超高精度分析による環境移行パラメータ収集

□平成27年度までの主な成果

- (1)文献調査と実測により土壌－植物間移行係数が気温の高低で変動するという相関を考慮するため、実際に気温が相対的に低い地域と高い地域のコメ及びジャガイモの土壌－植物間移行係数を取得し、データを拡充(本事業での採取目標20の半分終了)した。
- (2)水田土壌微生物群集の活動に対する温度の効果としてCO₂発生速度や発生率を実験的に得ることにより、微生物による水稻への炭素の移行モデルを構築し、その妥当性を解析により検証した。今後、モデルの不確実性解析を実施予定。
- (3)これまで計測できなかった微量なPuの高精度質量分析法を確立し、環境移行パラメータを収集した。また、AmとClの超高精度分析法の開発に着手した。

□全体スケジュール

事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
1.気候変動を考慮した環境移行パラメータ(TFおよびKd)データベースの構築	←	移行係数に対する気温の影響調査とデータ収集	→	← データベース	→
2.放射性炭素の移行パラメータに対する微生物活動の影響調査	←	微生物活動と環境移行パラメータ	→	←	→
		微生物活動を反映したモデルの構築			
3.重要核種(Pu, Am, ThおよびCl)の超高精度分析による環境移行パラメータ収集	←	超高精度分析法開発	→	←	→
		土壌－農作物の移行パラメータの収集			



⑪放射性核種生物圏移行評価高度化開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
生物圏移行パラメータに及ぼす<u>気温や微生物活動等の影響評価を行うとともに、その変動を考慮したデータベースを構築する</u>。さらに、これまでほとんどデータが得られていない核種(Pu、Am、Th及びCl等)について、極めて微量であっても計測可能な超高精度分析法を開発し、パラメータ収集を進める。	(1) 気候変動を考慮した環境移行パラメータデータベースを構築する。 (2) 放射性炭素の移行パラメータに対する微生物活動の影響を調査する。 (3) 重要核種(Pu、Am、Th及びCl等)の超高精度分析により環境移行パラメータを収集する。	【成果】 論文数:59件 学会発表数:116件 【達成状況】 (1) 気温変化による土壌－植物間移行係数の変動を考慮するため、気温が異なる地域を対象に土壌－植物間移行係数を取得し、データを拡充した。 (2) 微生物による植物への炭素の移行モデルを構築し、その妥当性を解析により検証した。また、微生物活動への温度影響を調査し、土壌からの炭素の放出速度は変化するが、放出総量は変わらないことを明らかにした。 (3) これまで計測できなかった微量なPuの高精度質量分析法を確立し、環境移行パラメータを収集した。また、AmとClの超高精度分析法の開発に着手した。
事業アウトカム指標		
生物圏における核種移行プロセスとこれによる被ばく経路について人間への影響を評価可能にすることにより、<u>放射性廃棄物処分技術の信頼性向上に資するとともに、安全評価結果に対する国民の信頼感の醸成に資する</u>。		

外部有識者の評価等

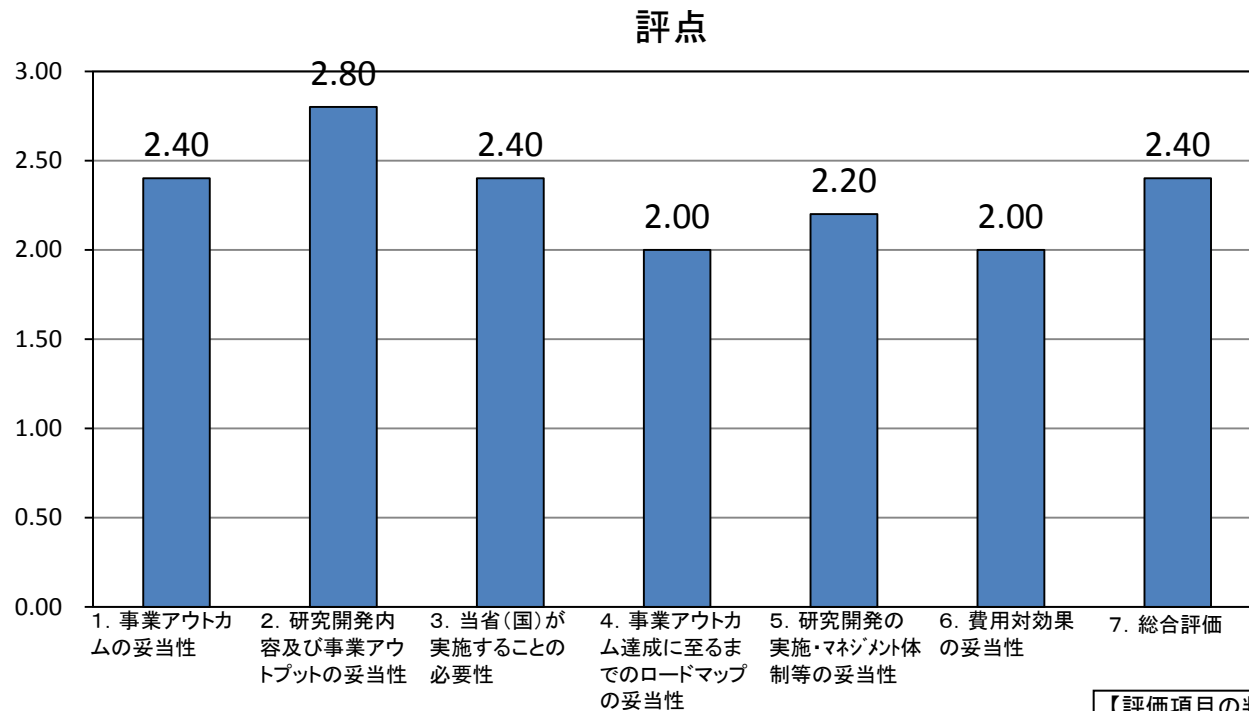
総合評価（放射性廃棄物共通技術調査）

- 実務的基盤技術として、この分野の研究開発は地層処分の長期評価を行うために必要であり、各種放射性廃棄物に共通の技術開発として妥当であるとともに、我が国の特性を踏まえた研究開発のためのデータ収集・解析、影響評価がなされており、極めて有意義かつ国が実施する必要性があるプロジェクトであると評価できる。
- 成果は我が国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充に役立っており、研究開発は順調に推移している。微量元素の詳細測定など、高度な分析技術には目を見張るものがあり、技術面での他の研究機関との連携やマネジメント体制の確立もなされている。
- 研究成果として論文・学会発表等の数が極めて多く、費用対効果は極めて大きいと言える。なお、それら成果はIAEA等の国際機関のデータベースとして登録されるなど、国際的にも意義のあるデータ整備がなされていると評価できる。
- 今後、引き続き、牧草、家畜、果樹などへの移行パラメータを整備していく必要があるとともに、安全技術の開発と社会の安心醸成へ向け、長期的視点と短期的視点の両方を橋渡しする研究内容も望まれる。

外部有識者の評価等

評点結果(放射性廃棄物共通技術調査)

「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～6.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

7. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続で良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

提言及び提言に対する対処方針

放射性廃棄物共通技術調査

今後の研究開発の方向等に関する提言

○今後は、これまでに実施した我が国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充などを実施するとともに、これまでの成果を取り込んだ核種移行計算を行い、影響範囲を推定するプログラムの遂行や他の研究開発とリンクさせた取組が望まれる。

提言に対する対処方針

○我が国特有の環境を考慮した農作物や土壌等に対する生物圏核種移行パラメータの整備・拡充に関しては、実施主体である原子力発電環境整備機構のニーズを勘案し、研究開発の成果を取り込んだ核種移行計算による影響範囲の推定や他の研究開発とリンクさせた取組を実施していく。

2. 研究開発課題(プロジェクト)

(3) 管理型処分技術調査

(3) 管理型処分技術調査

事業の内容

研究開発の概要

- 原子力発電所や再処理施設等から発生する低レベル放射性廃棄物について、廃止措置や処分事業の円滑な推進に資するため、実物大の模擬処分施設や実際の商用施設等を利用し、基盤となる技術の先行的な整備や継続的な高度化を行う。

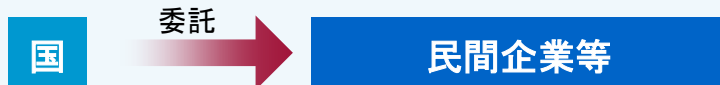
⑫地下空洞型処分施設機能確認試験 (地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験を含む)

日本原燃が六ヶ所村に所有する実規模大の地下空洞を利用し、発電所廃棄物の余裕深度処分施設閉鎖後の長期的管理に資する、人工バリアや周辺岩盤の長期に亘る機能確認方法を確立する。

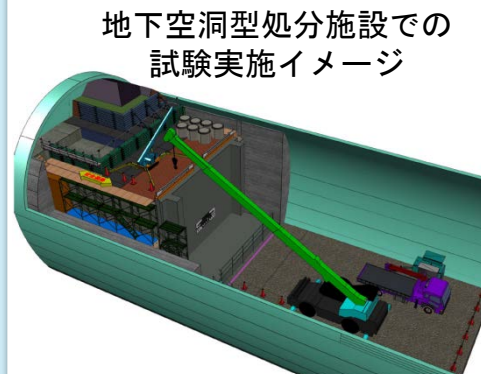
⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発

原子力発電所などの解体で生じるクリアランスレベル以下の金属廃棄物を余裕深度処分を想定した放射線遮蔽能力・耐久性を有する金属容器に利用するプロセスの技術開発とその実用化に向けた経済的合理性に関する検討を実施する。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

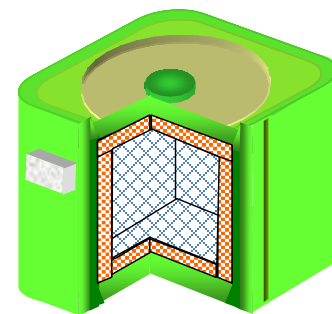


事業イメージ



金属廃棄物の有効利用までの流れ

外遮へい容器



余裕深度処分で使用する
廃棄物容器のイメージ

(3) 管理型処分技術調査

⑫地下空洞型処分施設機能確認試験の概要

(地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験を含む)

概 要	日本原燃が六ヶ所村に所有する実規模大の地下空洞を利用し、発電所廃棄物の余裕深度処分施設閉鎖後の長期的管理に資する、人工バリアや周辺岩盤の長期に亘る機能確認方法を確立する。
実施期間	平成25年度～平成26年度 (2年間) 平成27年度～平成31年度 (予定) (5年間)
予算総額	5.6億円 (平成25年度:2.6億円 平成26年度:2.1億円 平成27年度:0.9億円)
実 施 者	公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター
プロジェクト リーダー	藤原 啓司 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター (チーフ・プロジェクト・マネジャー)

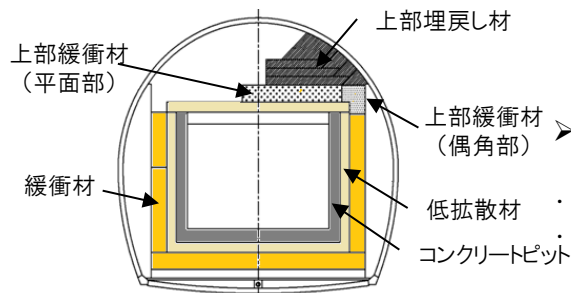
※「地下空洞型処分施設機能確認試験」は「地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験」の事実上の後継事業である。

⑫地下空洞型処分施設機能確認試験

□ 試験の概要

本試験は、平成19年度から平成24年度に実施した「地下空洞型処分施設性能確証試験」で構築した実規模施設^(注)の上部空間を利用し、上部緩衝材、上部埋戻し材の施工確認試験・初期性能確認試験を実施する。

(注) 日本原燃(株)が同社敷地内に掘削した試験空洞内に設置



また、同施設を活用しつつ、人工バリアを模擬して施工されている各部材（緩衝材や低拡散材等）の機能や周辺岩盤の状態変化を長期に亘って確認するための技術開発を実施するとともに、当該施設における地震時挙動評価を継続的に実施する。

□ 平成27年度までの主な成果

○ 施工確認試験・初期性能確認試験

- 転圧工法と吹付け工法を併用することで、所期の透水性能を満足する埋戻しが実施できることを確認した。

○ 施設・周辺岩盤挙動計測及び地震観測

- 施工済みの人工バリア（緩衝材や低拡散材等）内に設置した土圧計等により、上部埋戻し施工に伴う荷重変化が処分施設へ影響を与えないことを確認した。
- コンクリートピット等のひび割れ状況を調査し、施工初期の乾燥収縮等により発生したひび割れについて、ひび割れ幅の増大・進展がなく、また、新たなひび割れの発生もないことを確認した。
- 地震動の観測（平成27年度は計7回観測）を実施した。また、地震応答解析を行い、試験施設の固有振動数に近い卓越振動数を持つ地震動が、相対的に実規模施設の変形量に与える影響が大きくなることを確認した。

○ 機能確認試験計画等の策定

- 機能確認期間中の値（膨潤圧、ひずみ）の変化の可能性を検討するために、機能確認の対象とする計測項目の候補として、低透水層の再冠水に伴う特性変化（水理、力学）を選定するとともに予察的な解析を行う計画を立てた。なお、計測方法としては状態変化を長期に亘って確認するため、光ファイバセンサーを選定した。

実規模施設を使用した機能確認試験の設備設計に必要な項目として、以下を抽出した。

有害塩の低拡散材等のセメント系材料への劣化影響試験
光ファイバセンサーの耐久性（塩分、pH、放射線）試験

□ 全体スケジュール

事業項目	17年度～ 24年度	25年度～ 26年度	27年度～31年度
	性能確証 試験	閉鎖技術 確証試験	機能確認試験
施工確認試験・初期性能 確認試験	計画策定 ←→		
施設・周辺岩 盤挙動計測及 び地震観測	← 挙動計測	← 地震観測	←→
機能確認試験 計画の策定等			試験計画策定 → 確認方法構築 ← 解析及び試験 →

⑫地下空洞型処分施設機能確認試験(アウトプット・アウトカム)

(地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験を含む)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
地下空洞内の実規模施設で、上部空間を利用した上部緩衝材・上部埋戻し材の施工性の確認及び初期性能の確認を行う。また、同施設で人工バリアを模擬して施工されている各部材の機能や周辺岩盤の状態変化を長期に亘って確認可能とする。	(1) 施工確認試験及び初期性能確認試験を実施し、上部緩衝材及び上部埋戻し材が初期性能を満たすことを確認する。 (2) 地下施設・周辺岩盤挙動計測及び地震観測を実施し、施工に伴う処分施設構成要素の挙動及び処分施設の地震時挙動を把握する。	【成果】 論文数:3件 学会発表数20件: 【達成状況】 (1) 転圧工法と吹付け工法の併用により、要求性能を満たす埋戻しを実施できることを確認した。 (2) 人工バリア内に設置した土圧計等により、上部埋戻し施工が処分施設へ影響を与えないことを確認した。 コンクリートピット等のひび割れ状況を調査し、初期の乾燥収縮等により発生したひび割れについて、幅の増大・進展がなく、また、新たな発生もないことを確認した。 地震動の観測を実施した。また、地震応答解析を行い、特定の振動数を持つ地震動では、地下施設の変形量に与える影響が相対的に大きくなることを確認した。
事業アウトカム指標	(3) 機能確認試験の実施のため、人工バリア等の機能の健全性に着目し、性能指標となる計測項目を提示するとともに、機能確認試験の設備概念を検討する。	地震動の観測を実施した。また、地震応答解析を行い、特定の振動数を持つ地震動では、地下施設の変形量に与える影響が相対的に大きくなることを確認した。 (3) 機能確認の対象とする計測項目の候補として、低透水層の再冠水に伴う特性変化を選定するとともに、膨潤圧及びひずみの変化の可能性を検討するために、予察解析計画を立案した。また、長期間の計測を想定し、計測には光ファイバセンサーを選定した。 実規模施設を使用した機能確認試験の設備設計に必要な試験項目を抽出した。
余裕深度処分施設の実用的な施工技術を提示し、余裕深度処分実施に向けた技術的信頼性の向上に資する。 また、余裕深度処分施設の閉鎖後の長期的な管理に資する技術を構築・提示し、廃棄物処分に対する国民の納得感や安心感の醸成に資する。		

⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発の概要

78

概 要	原子力発電所などの解体で生じるクリアランスレベル以下の金属廃棄物を余裕深度処分を想定した放射線遮蔽能力・耐久性を有する金属容器に利用するプロセスの技術開発とその実用化に向けた経済的合理性に関する検討を実施する。
実施期間	平成27年度～平成29年度（予定）（3年間）
予算総額	1.0億円 （平成27年度：1.0億円）
実 施 者	株式会社日本製鋼所 株式会社神戸製鋼所
プロジェクト リーダー	石尾光太郎 株式会社日本製鋼所（担当課長） 加藤 修 株式会社神戸製鋼所（課長）

⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発

□全体実施概要

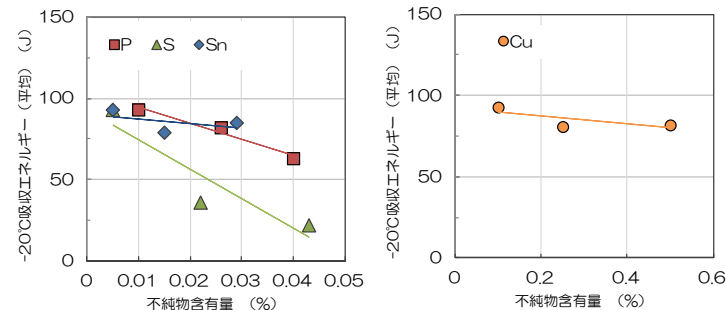
- ・原子力発電所等の解体から生じるクリアランス金属廃棄物等を利用し、余裕深度処分を想定した低レベル放射性廃棄物を一時的に保管する放射線遮へい能力・耐久性を有する金属容器への利用プロセスを技術開発し、容器材料の規格案を策定する。
- ・実際のクリアランス金属廃棄物の実物大の金属容器への再利用により、再利用技術の実現可能性を示す。

□平成27年度までの主な成果

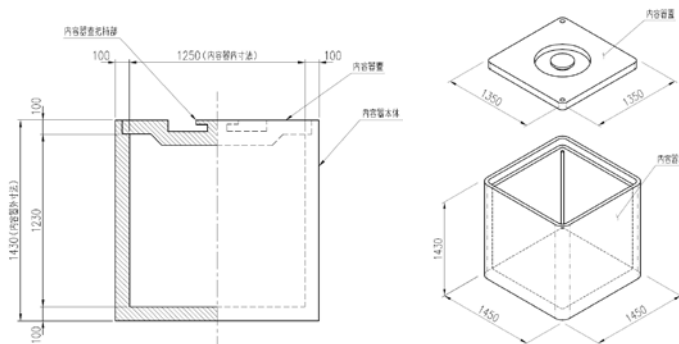
- ・開発する金属容器に求められる技術要件を抽出した。具体的には、材料規格案の策定に向けて、基礎試験を実施し、抽出された技術要件を満たす材料の不純物濃度条件を評価した。この結果、鋼材中の硫黄(S)及びリン(P)濃度が機械的性質に影響を及ぼすことが分かった。
- ・クリアランス金属廃棄物の輸送時に周辺環境に影響を与えないことや精錬した工場施設に放射能の影響が残らないことを検証するための確認項目を検討した。
- ・実証試験として、実際のクリアランス金属を用いて金属容器を製作するため、東海発電所から発生した金属廃棄物を日本製鋼所室蘭製作所に海上輸送し、精錬する計画を立案した。

□全体スケジュール

事業項目	27年度	28年度	29年度
(1)再利用プロセスの開発	金属容器に求められる技術要件の整理	容器材料に求められる条件等の整理	
①開発する容器の要件の整理	↔	↔	
②基礎試験の実施	↔	↔	
③再利用プロセスの開発		材料規格案の策定	↔
(2)再利用プロセスの評価	実際のクリアランス金属を用いて金属容器を製作		
①実証試験計画の策定	↔	↔	
②実証試験の実施		↔	↔
③再利用プロセスの評価			経済性評価の実施



不純物元素の影響評価結果



金属容器図(肉厚100mm)



日本製鋼所
室蘭製作所



クリアランス金属を室蘭まで輸送する方法として、東海発電所からトラックで日立港に搬送し、日立港から室蘭港まで直接船輸送とする方法を採用。



日本原子力発電
東海発電所



クリアランス金属運搬計画

⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発(アウトプット・アウトカム)

事業アウトプット指標	開発項目(計画)	研究開発成果・達成状況
低レベル放射性廃棄物を収納する<u>金属容器に求められる技術要件を提示するとともに、その設計及び材料規格案を提示する。</u> また、実際のクリアランス金属廃棄物(放射能が低く再利用が可能な金属廃棄物)を用いた低レベル放射性廃棄物を収納する<u>実物大金属容器を実証的に製造し、安全性を示す。</u>	(1) 金属の種類(炭素鋼、ステンレス、その他)と各々の発生物量を調査する。また、低レベル放射性廃棄物処分時に使用される遮へい性能をもった金属容器に要求される特性を調査する。また、実際のクリアランス金属を用いることにより、その輸送時や加工時の周辺環境に有意な放射線影響を及ぼさないことを確認する。	【成果】 論文数:0件 学会発表数:0件 【達成状況】 (1) 基礎試験を実施し、開発する金属容器に求められる技術要件を抽出するとともに、抽出された技術要件を満たす材料の不純物濃度条件を評価した。これらの結果から、硫黄及びリン濃度が金属容器の性質に影響を及ぼすことを明らかにした。 また、クリアランス金属廃棄物の輸送時の周辺環境や精錬時の工場施設に放射線影響が残らないことを検証するための確認項目を検討した。
事業アウトカム指標 (妥当性・設定理由・根拠等) クリアランス金属廃棄物の再利用の実現可能性を示すことで、今後の原子力発電所の円滑な廃止措置および金属資源の有効利用に資するとともに、<u>クリアランス金属廃棄物の一般市場への流通に関する技術的信頼性や安心感の醸成に資する。</u>	(2) 実際のクリアランス金属廃棄物から金属容器を製造するための一連のプロセスを構築し、実証試験計画を立案するとともに、計画に基づき、実証試験を実施する。	(2) 実際のクリアランス金属を用いて金属容器を製作する実証試験を実施するため、東海発電所で発生した金属廃棄物を日本製鋼所室蘭製作所に海上輸送し、精錬する計画を立案した。

外部有識者の評価等

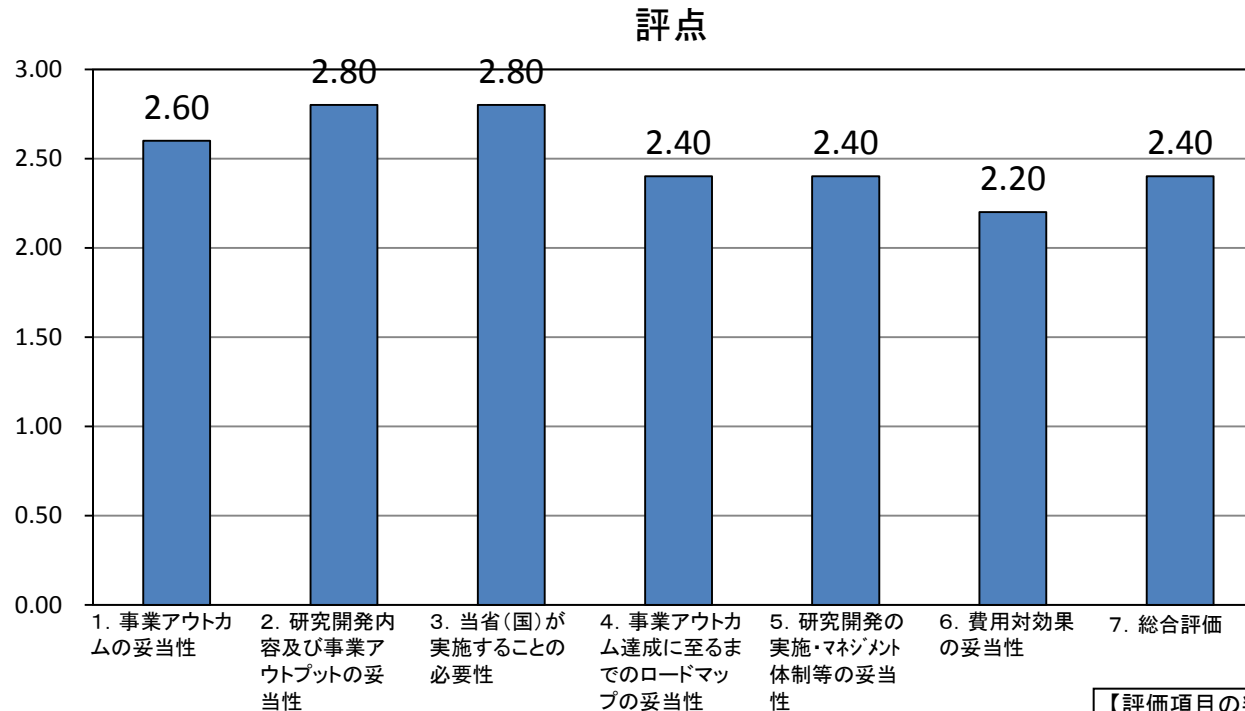
総合評価(管理型処分技術調査)

- 事業アウトカム、研究開発内容及び事業アウトプットは分かりやすく、極めて妥当であり、目標の設定、研究計画、研究開発に関するマネジメントもしっかりしていると評価できる。
- 地下空洞型処分施設機能確認試験については、実規模大の地下施設を利用した建設・操業に向けた実務的基盤技術開発であり、目標が明確であるとともに、アウトカムも具体的であると評価できる。また、本研究開発は短期・中期・長期のロードマップに従って着実に実施され、順調に推移していることから、将来の事業許可申請、安全審査、処分場建設の目処ができてきており、余裕深度処分については事業化段階に達しつつあると評価できる。一方、掘削や施工などの工学技術は既存の土木技術が活用できる分野であり、産学官による研究開発の連携の強化が望まれる。
- 原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発については、アウトカムについて、本研究開発の成果が放射性廃棄物処分用の金属容器利用につながれば、将来生じる課題に直接的に寄与でき、大きな効果を生じると期待できる。加えて、研究プロセスやロードマップの設定が明確であり、廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成に直接的に役立つものと評価できる。

外部有識者の評価等

評点結果(管理型処分技術調査)

「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～6.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

7. 総合評価

3点: 事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点: 事業は良好であり、継続すべきである。

1点: 事業は継続で良いが、大幅に見直す必要がある。

0点: 事業を中止することが望ましい。

提言及び提言に対する対処方針

管理型処分技術調査

今後の研究開発の方向等に関する提言

○実規模施設を利用した技術の検証と課題への対応に関する研究開発においては、特に原位置試験に時間をかける必要があるため、これに配慮した今後の研究開発の継続が望まれる。
(地下空洞型処分施設機能確認試験)

○低レベル放射性廃棄物を収納する金属容器に求められる技術要件とその設計・材料規格案を提示し、クリアランス金属資源の再利用可能性を示すことには取り組む意義がある。
(原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発)

提言に対する対処方針

○コンクリート構造物などの人工材料の長期影響評価は、TRU廃棄物処分との共通の課題も含んでいることから、他事業の研究開発との連携・統合を図るなど効率的に取り組んでいく。

○低レベル放射性廃棄物を収納する金属容器に求められる技術要件とその設計・材料規格案を提示するとともに、本事業により得られた成果により、今後、廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成につながる取組を検討する。