

放射性廃棄物処分関連分野 複数課題プログラムの概要

平成28年11月1日

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策課

目次

1. 複数課題プログラムの概要
2. 各事業の概要及びアウトプット、アウトカム
3. 当省(国)が実施することの必要性
4. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
5. プログラムの実施・マネジメント体制等
6. 費用対効果

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地層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	合計額:118.4億円 (1)高レベル放射性廃棄物関係(111.7億円) A.地層処分技術調査 105.9億円(平成25年度:36.4億円、平成26年度35.0億円、平成27年度34.5億円) B.放射性廃棄物共通技術調査 10.7億円(うち評価対象事業は5.7億円) (平成25年度:4.0億円、平成26年度3.6億円、平成27年度3.1億円) (うち評価対象事業は平成25年度:2.7億円、平成26年度2.1億円、平成27年度0.9億円) (2)低レベル放射性廃棄物関係(6.7億円) C.管理型処分技術調査 6.7億円(平成25年度:2.7億円、平成26年度2.1億円、平成27年度1.9億円)

1. 複数課題プログラムの概要

(1) 高レベル放射性廃棄物関係

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TRU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）



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. 複数課題プログラムの概要

4

(1) 高レベル放射性廃棄物関係（個別の研究課題）

A.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	深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 (地層処分回収技術高度化開発を含む)	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 (使用済燃料直接処分技術開発を含む)	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。
B.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	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。

1. 複数課題プログラムの概要

(2) 低レベル放射性廃棄物関係

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。

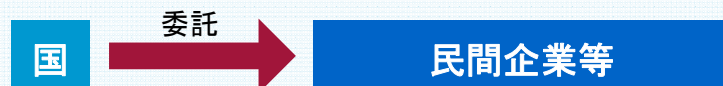
⑫地下空洞型処分施設機能確認試験 (地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験を含む)

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。

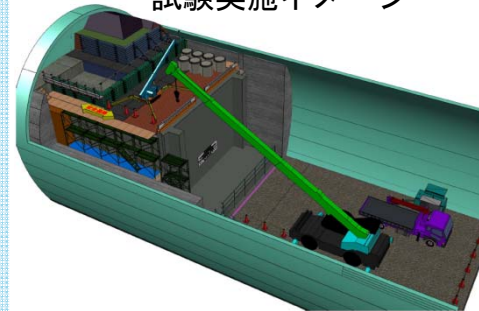
条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ

⑫地下空洞型処分施設機能確認試験

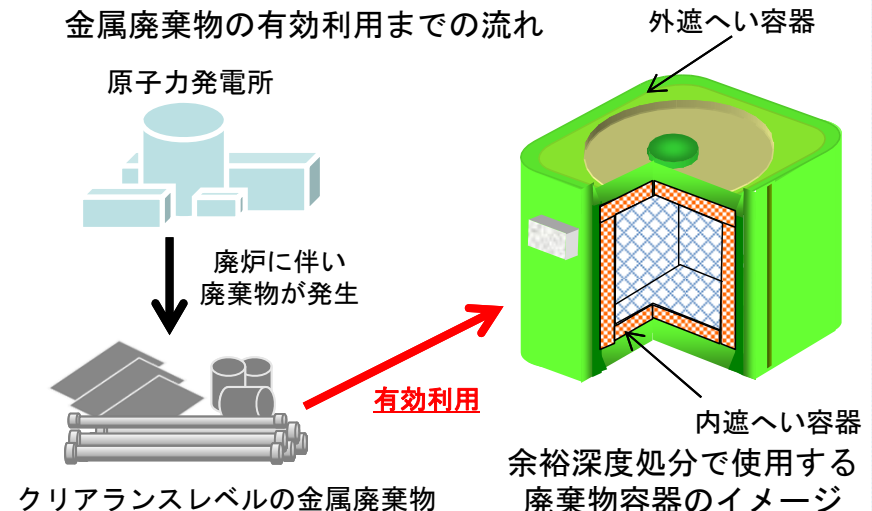
地下空洞型処分施設での試験実施イメージ



地下空洞内に構築した実規模試験施設

⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発

金属廃棄物の有効利用までの流れ



(1) 高レベル放射性廃棄物関係

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:5.9億円 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	7.2億円 （平成25年度：1.8億円 平成26年度：2.7億円 平成27年度：2.7億円）
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(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) 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。
事業アウトカム指標		
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</u>に資する。		

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	16.7億円 （平成25年度：5.9億円 平成26年度：5.1億円 平成27年度：5.7億円）
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(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。 (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。
事業アウトカム指標		
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	17.5億円 （平成25年度:5.6億円 平成26年度:6.0億円 平成27年度:6.0億円）
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）

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、<u>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</u>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</u>に資する。 また、自然災害対策の提示により、<u>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</u>に資する。		

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	13.3億円 (平成25年度:5.3億円 平成26年度:5.2億円 平成27年度:2.8億円)
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(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(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	(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。
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。		

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	14.1億円 （平成25年度:4.8億円 平成26年度:5.0億円 平成27年度:4.3億円）
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(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。また、TRU廃棄物の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。 (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。
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。	

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	2.2億円 (平成25年度:1.0億円 平成26年度:1.2億円)
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(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。 (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。
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。		

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	11.4億円 (平成25年度:3.1億円 平成26年度:2.9億円 平成27年度:5.4億円)
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(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)

23

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	10.2億円 （平成25年度:3.0億円 平成26年度:3.5億円 平成27年度:3.7億円）
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。

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 <u>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、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>		

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	5.7億円 （平成25年度:2.7億円 平成26年度:2.1億円 平成27年度:0.9億円）
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(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<u>超高精度分析法を開発し、パラメータ収集を進める</u>。	(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>。		

(2) 低レベル放射性廃棄物関係

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認する。
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	5.7億円 (平成25年度:2.7億円 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(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 <u>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</u> 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。 (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。	【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。 (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。
事業アウトカム指標		
余裕深度処分施設の実用的な施工技術を提示し、<u>余裕深度処分実施に向けた技術的信頼性の向上</u>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、<u>廃棄物処分に対する国民の納得感や安心感の醸成</u>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

30

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(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。 (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。	【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。 (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。
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、<u>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。</u>		

3. 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

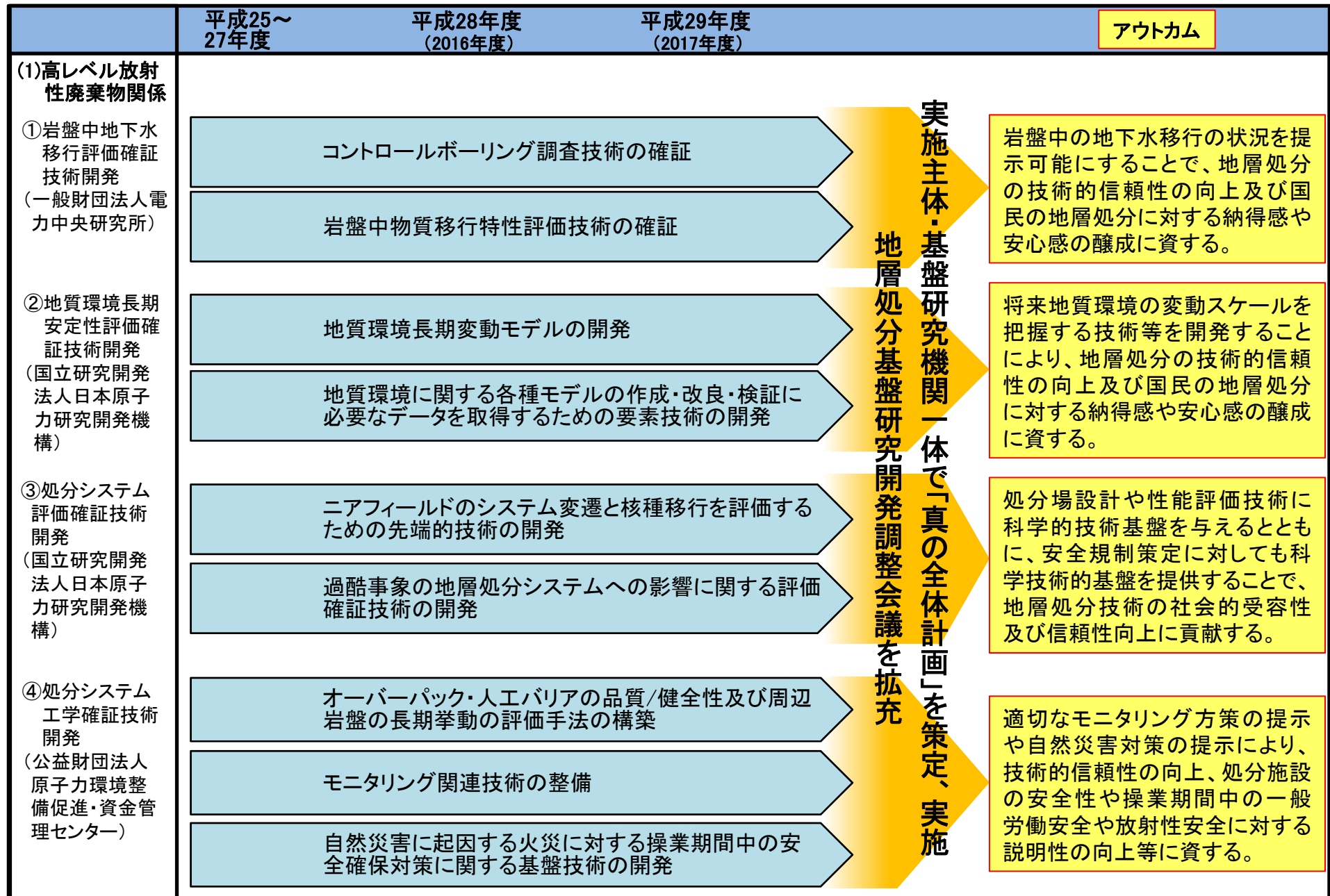
(1) エネルギー基本計画（平成26年4月11日閣議決定）

- ・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。

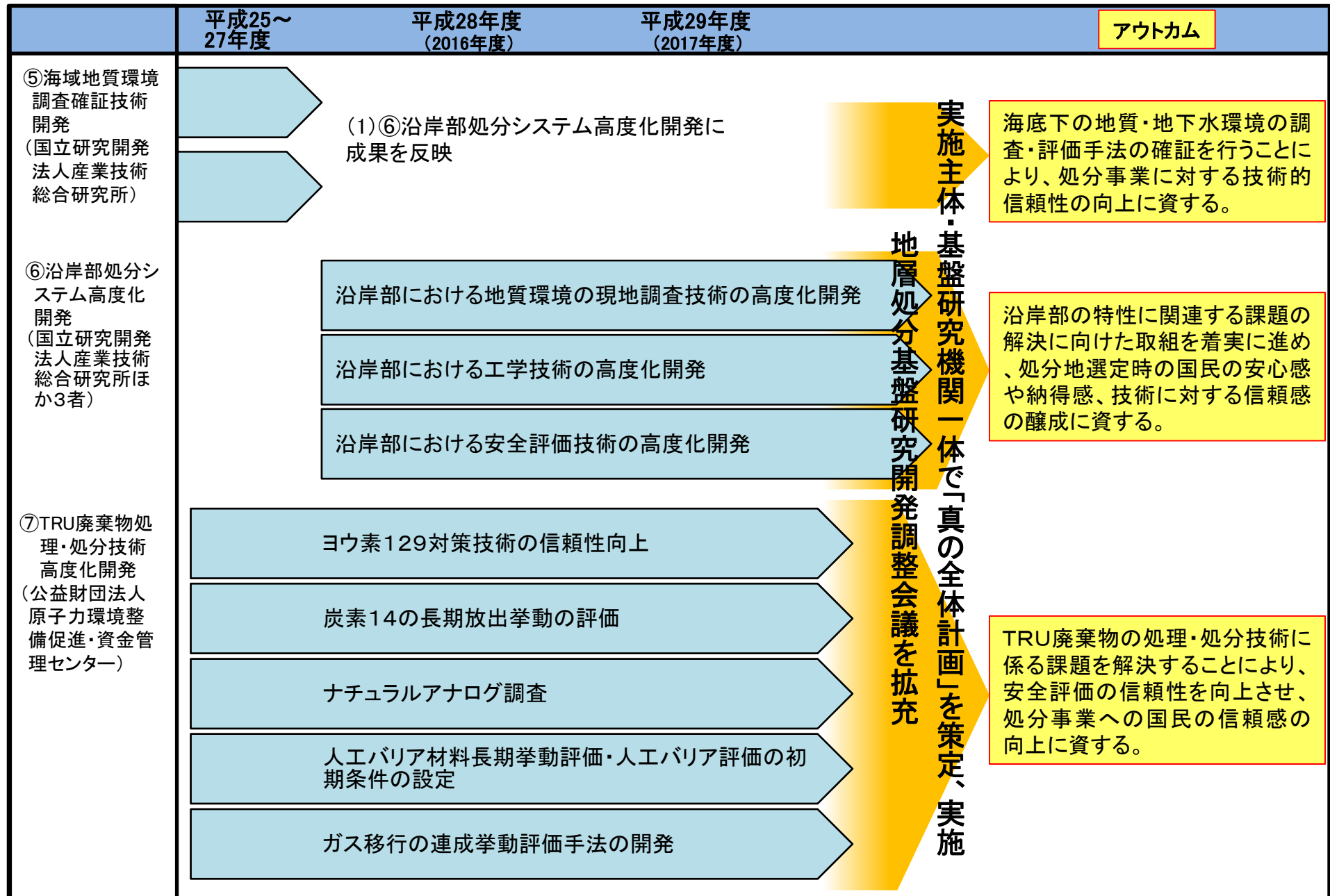
(2) 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月22日閣議決定）

- ・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。

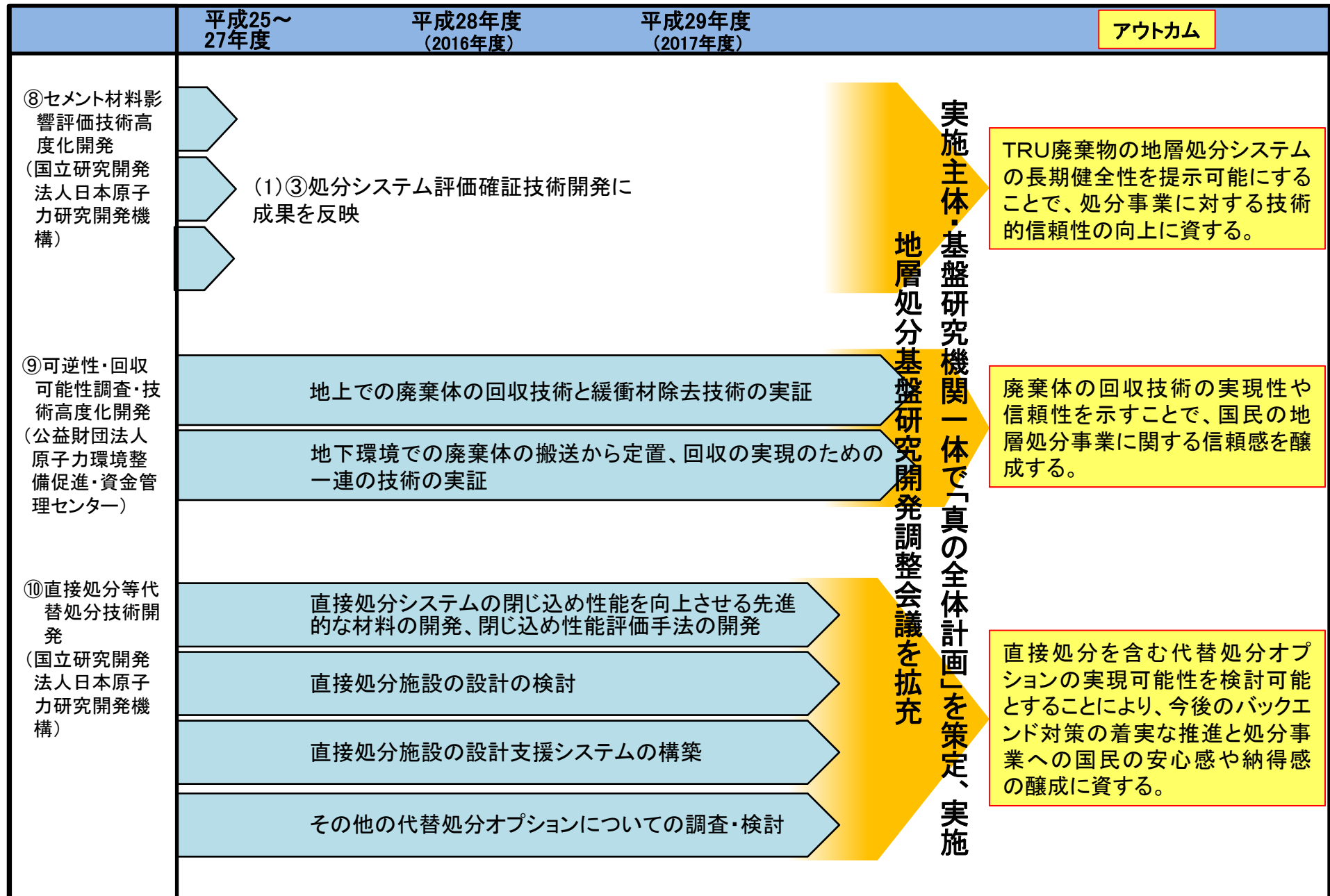
4. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ(i)



4. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ(ii)

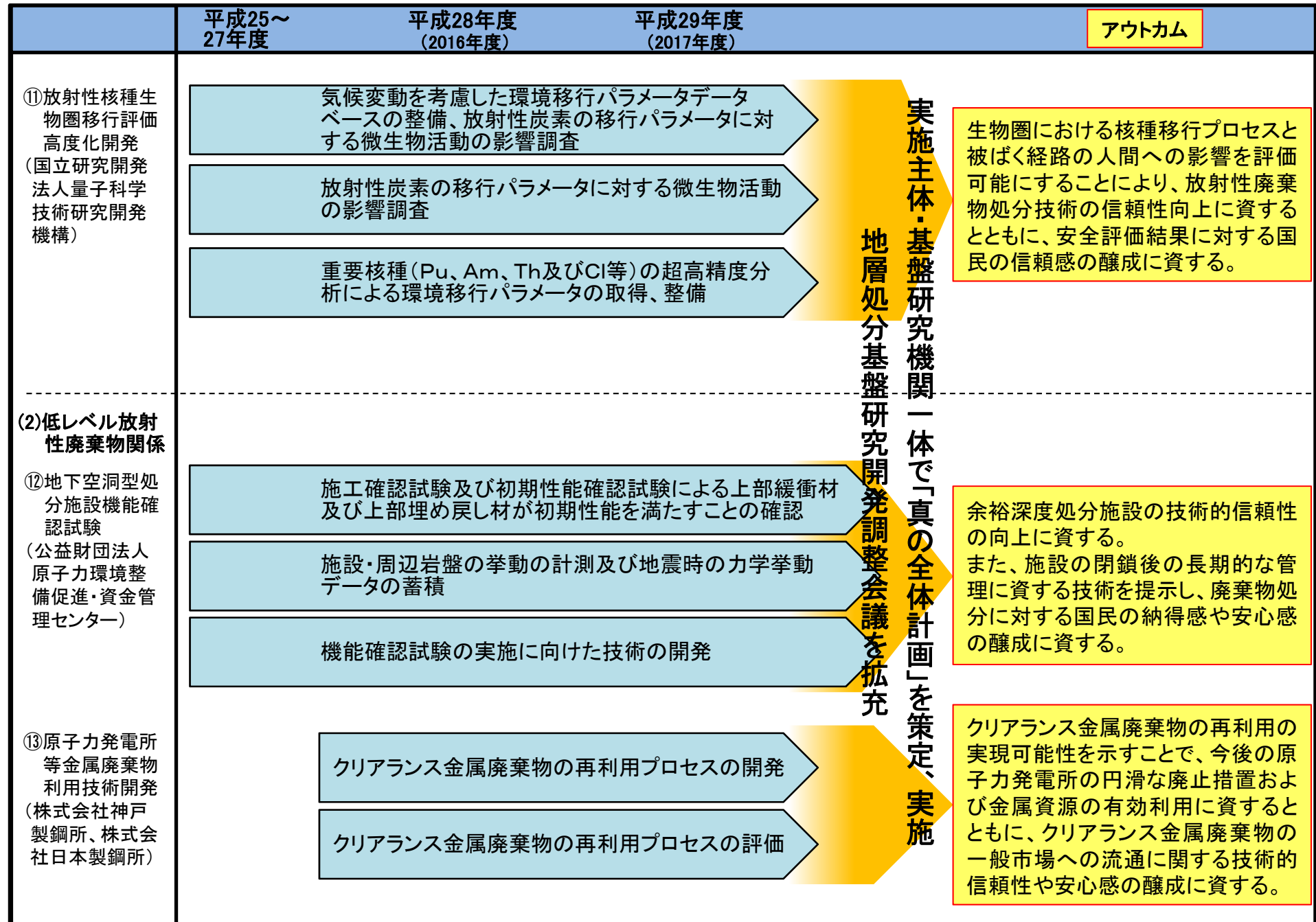


4. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ(iii)



4. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ(iv)

36



(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、<u>関係行政機関等の一層の連携強化</u>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<u>NUMO</u>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、<u>一層のリーダーシップ</u>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<u>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</u>、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、<u>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</u>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。

5. プログラムの実施・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）

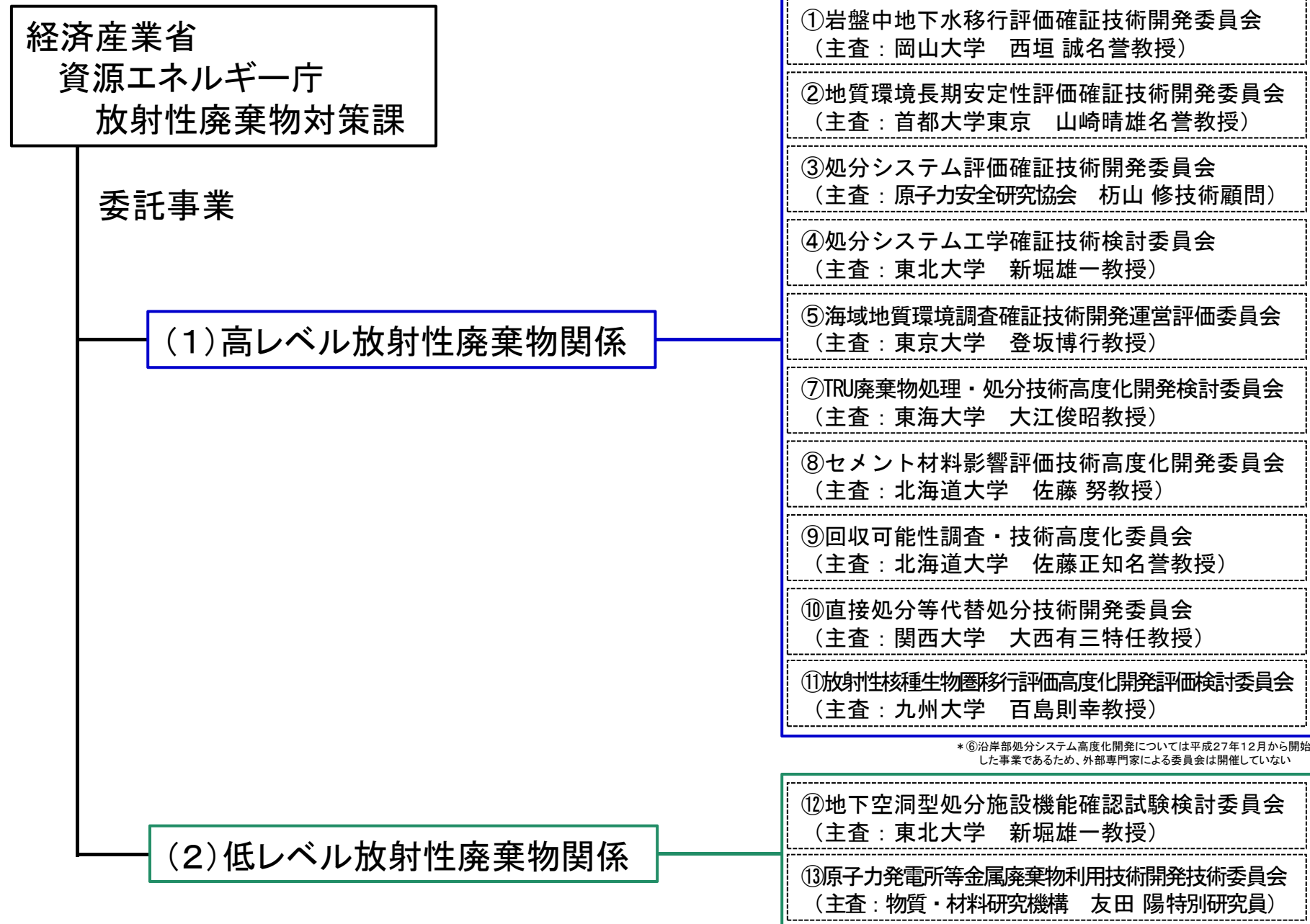
- 初年度：研究開発計画についてのレビュー
- ３年目：事業の中間評価としてのレビュー
- 最終年度：研究開発成果のレビュー

○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。

5. プログラムの実施・マネジメント体制等(体制図)



6. 費用対効果

○本プログラムでは、高レベル放射性廃棄物関係で111.7億円、低レベル放射性廃棄物関係で6.7億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)高レベル放射性廃棄物関係	111.7	112	327	10	28
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	7.2	1	17	0	0
③処分システム評価確証技術開発	16.7	8	42	0	0
④処分システム工学確証技術開発	17.5	1	26	0	5
⑤海域地質環境調査確証技術開発	13.3	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	14.1	16	49	0	0
⑧セメント材料影響評価技術高度化開発	2.2	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)	11.4	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)	10.2	4	12	0	1
⑪放射性核種生物圏移行評価高度化開発	5.7	59	103	0	16
(2)低レベル放射性廃棄物関係	6.7	3	20	0	7
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認試験を含む)	5.7	3	20	0	7
⑬原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発	1.0	0	0	0	0