

放射性廃棄物処分関連分野
複数課題プログラムを構成する
研究開発課題（プロジェクト）

A. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分
に関する技術開発

評価用資料

令和元年 11月7日

経済産業省資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 放射性廃棄物対策課
公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
国立研究開発法人 産業技術総合研究所
一般財団法人 電力中央研究所

目 次

	ページ
I. 研究開発課題（プロジェクト）概要.....	1
①個別技術開発：岩盤中地下水移行評価確証技術開発.....	2
1. 事業アウトカム.....	2
2. 研究開発内容及び事業アウトプット.....	2
3. 当省(国)が実施することの必要性.....	4
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ.....	4
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等.....	5
6. 費用対効果.....	5
②個別技術開発：岩盤中地下水流動評価技術高度化開発.....	6
1. 事業アウトカム.....	6
2. 研究開発内容及び事業アウトプット.....	6
3. 当省(国)が実施することの必要性.....	8
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ.....	8
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等.....	9
6. 費用対効果.....	9
③個別技術開発：地質環境長期安定性評価確証技術開発.....	10
1. 事業アウトカム.....	10
2. 研究開発内容及び事業アウトプット.....	10
3. 当省(国)が実施することの必要性.....	12
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ.....	12
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等.....	13
6. 費用対効果.....	13
④個別技術開発：地質環境長期安定性評価技術高度化開発.....	14
1. 事業アウトカム.....	14
2. 研究開発内容及び事業アウトプット.....	14
3. 当省(国)が実施することの必要性.....	16
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ.....	17
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等.....	17
6. 費用対効果.....	17
⑤個別技術開発：処分システム評価確証技術開発.....	18
1. 事業アウトカム.....	18
2. 研究開発内容及び事業アウトプット.....	18
3. 当省(国)が実施することの必要性.....	20
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ.....	20
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等.....	21
6. 費用対効果.....	21
⑥個別技術開発：ニアフィールドシステム評価確証技術開発.....	22

1. 事業アウトカム	22
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	22
3. 当省(国)が実施することの必要性	24
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	24
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	24
6. 費用対効果	25
⑦個別技術開発：処分システム工学確証技術開発	26
1. 事業アウトカム	26
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	26
3. 当省(国)が実施することの必要性	28
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	28
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	29
6. 費用対効果	29
⑧個別技術開発：地層処分施設閉鎖技術確証試験	30
1. 事業アウトカム	30
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	30
3. 当省(国)が実施することの必要性	32
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	32
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	32
6. 費用対効果	32
⑨個別技術開発：沿岸部処分システム高度化開発	33
1. 事業アウトカム	33
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	33
3. 当省(国)が実施することの必要性	35
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	35
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	36
6. 費用対効果	36
⑩個別技術開発：TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発	37
1. 事業アウトカム	37
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	37
3. 当省(国)が実施することの必要性	39
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	39
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	40
6. 費用対効果	40
⑪個別技術開発：TRU廃棄物処理・処分に関する技術開発	41
1. 事業アウトカム	41
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	41
3. 当省(国)が実施することの必要性	42
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	43

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	43
6. 費用対効果	43
⑫個別技術開発：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発	44
1. 事業アウトカム	44
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	44
3. 当省(国)が実施することの必要性	46
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	46
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	47
6. 費用対効果	47
⑬個別技術開発：直接処分等代替処分技術開発	48
1. 事業アウトカム	48
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	48
3. 当省(国)が実施することの必要性	50
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	50
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	51
6. 費用対効果	51
⑭個別技術開発：直接処分等代替処分技術高度化開発	52
1. 事業アウトカム	52
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	52
3. 当省(国)が実施することの必要性	54
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	54
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	55
6. 費用対効果	55

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

プロジェクト名	高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発
行政事業レビューとの関係	平成３０年度行例レビューシート（経済産業省 0323） 平成２９年度行例レビューシート（経済産業省 0323） 平成２８年度行例レビューシート（経済産業省 0402）
上位施策名	科学技術・イノベーション
担当課室	資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 放射性廃棄物対策課

プロジェクトの目的・概要

高レベル放射性廃棄物等の地層処分は、将来世代へ負担を先送りしないためにも、着実に実施する必要がある。処分事業の操業開始までの長期的な展開を視野に入れ、具体的な地点を対象とした調査評価のための基盤となる技術を先行的に整備し、処分事業等の円滑化を図る。また将来世代が最良の処分方法を選択できるよう、代替オプションに関する技術開発を並行して進める。

具体的には、地質調査技術、地下水移行評価、操業技術等の工学技術及び安全評価技術の信頼性向上を図るとともに、海域における地質環境調査技術や、巨大地震等の天然現象による地層処分システムへの影響評価、操業期間中の安全対策に係る技術開発を行う。また、長半減期低発熱放射性廃棄物（ＴＲＵ廃棄物）の処理・処分技術の高度化開発等を行う。これらの技術開発と並行して、最終処分について幅広い選択肢を確保する観点から、廃棄体の回収技術や代替処分オプションに関する技術開発を行う。これらを通じて、高レベル放射性廃棄物やＴＲＵ廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進と着実な処分事業の円滑化を図る。

なお、当該プロジェクトでは目的の達成に向けて１４項目と言う多岐に渡る個別技術開発を実施している。そこで、以降は、個別技術開発毎にアウトカムやアウトプット等を記述する。

予算額等（委託）				（単位：百万円）
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成１０年度	令和４年度（予定）	平成２８年度	令和５年度（予定）	JAEA、AIST、 CRIEPI、RWMC
H28FY 執行額	H29FY 執行額	H30FY 執行額	総執行額	総予算額
２，８７８	４，１０４	３，５４３	１０，５２０	１１，６８０

①個別技術開発：岩盤中地下水移行評価確証技術開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【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する上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 各種技術は、開発過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると思われる。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで に77項目	実績：－ コントロールボーリング調査技術、トレーサー試験技術等について、具体的な課題を整理した。
中間評価時（平成28年度）		実績：64項目 コントロールボーリング調査技術、トレーサー試験技術等について、国内の現場を活用し実証試験を実施した。
終了評価時（令和元年度）		実績：77項目 開発した技術の実証試験を通じて国内岩盤への適用の妥当性を確認した。

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-1のスケジュールにおいて、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った。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した。

実施項目	H25	H26	H27	H28	H29
ボーリング調査技術の確証	掘削技術 改良		調査技術		
		モニタリング技術開発			
		現地適用・体系化			マニュアル整備
岩盤中物質移行特性評価 技術の確証		技術開発			
		トレーサー試験技術等高度化			
		現地適用			

図2. A-1 全体スケジュール

【主な成果】

- ・国内の堆積軟岩を対象として、コントロールボーリングを掘削し、コントロール掘削孔用に開発したマルチパッカーシステムや無人計測システム（図2．A－2）により、長期の水質・水圧モニタリングが可能であることを実証した。
- ・国内の結晶質岩を対象とし、開発・検討した装置・手法を活用することで、詳細な割れ目の特性（開口幅、流動性等）を取得できること、地下環境中での物質移動特性を取得できること（トレーサ試験；図2．A－3）を実証し、開発した技術の有効性を確認した。

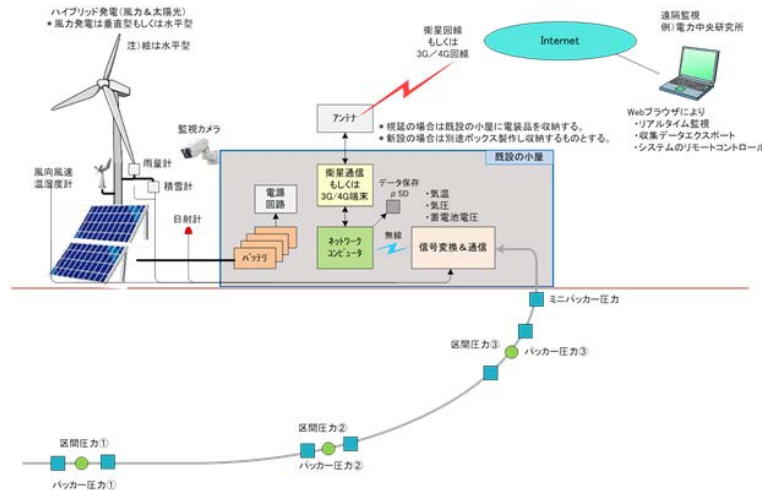


図2．A－2 無人計測システム構成図（堆積軟岩でのコントロール掘削孔を事例に実証）

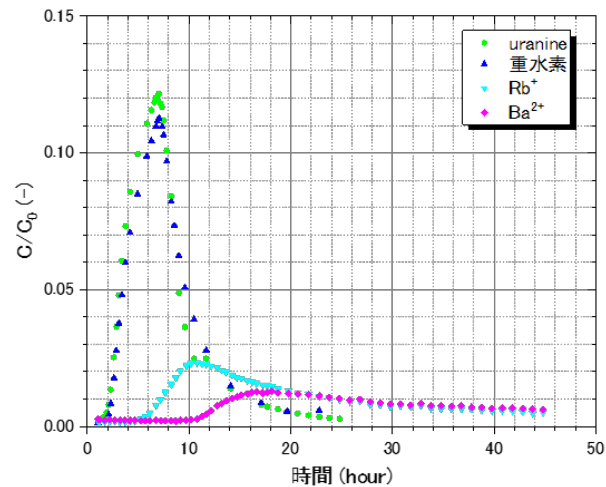


図2．A－3 地下坑道内で実施したトレーサ試験の結果（開発した装置で適切に物質移行データが取得できることを実証）

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：45件 コントロール掘削孔の長期モニタリングの状況や高度化したトレーサ試験技術等の適用例等を開示
終了評価時（令和元年度）		実績：65件（合計） 長期モニタリング、トレーサ試験の結果の評価方法を開示

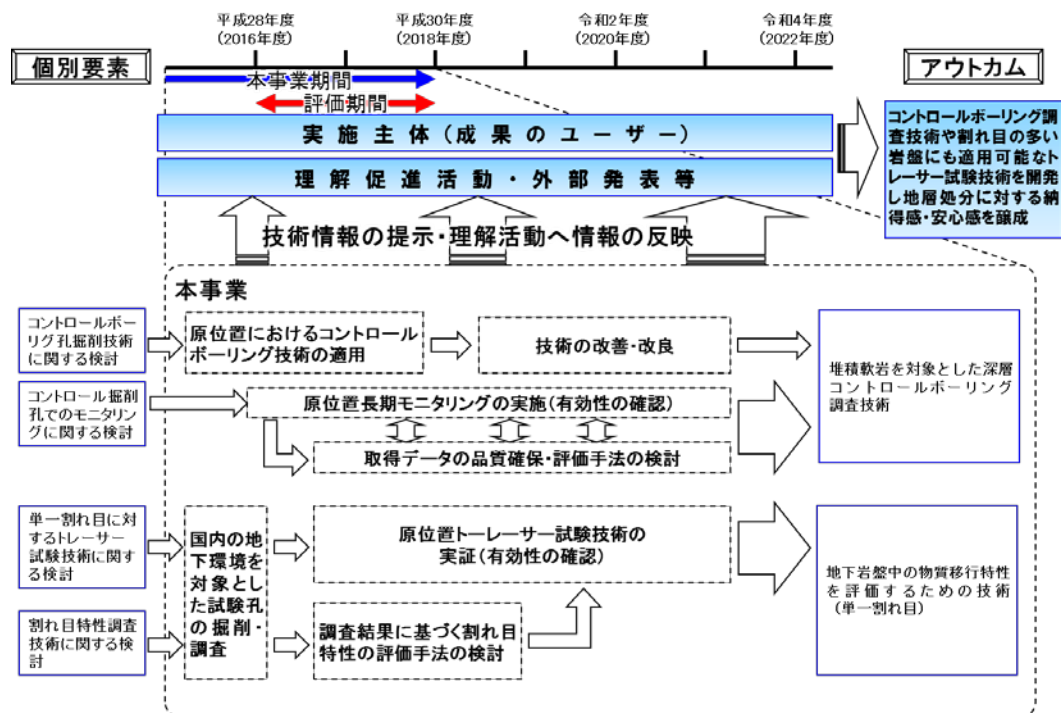
<共通指標実績>

論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプの作成
6	11	1	—	—	—	—

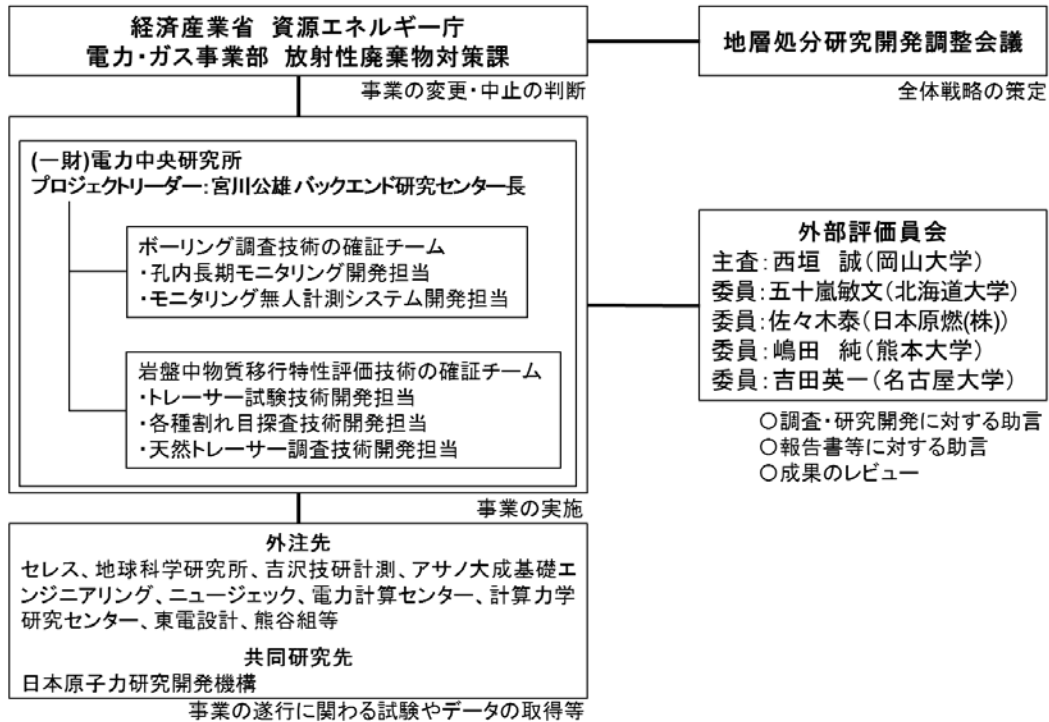
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章Ⅰ. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には7.4億円の国費を投入している。その中で20件の外部発表や特許取得しており、アウトプット・アウトカムと。照らし合わせても妥当であると考えられる。

②個別技術開発：岩盤中地下水流動評価技術高度化開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 地質環境中の地下水の流れについて、複数の指標（原位置のモデル・解析や地下水年代など）で総合的に評価可能な手法を開発する上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 各種技術は、開発過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時まで に25項目	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：5項目 地下水年代を加味した地下水流動の評価方法（案）を提示するとともに、天水浸透影響の小さい領域の分布を推定するための予察解析を行い、評価上の重要な要因を抽出・整理等を実施した。
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：一項目

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-4のスケジュールを基本として、概要調査において重要となる涵養域から流出域までの広域的な地下水流動や地下水が長期にわたり滞留する領域の三次元分布に係る調査・評価の方法論を整備する。

対象施設	研究項目	2018年度	2019年度
瑞浪	内陸部の広域的な地下水流動を評価するための技術の高度化	地下水流動解析・評価の校正手法検討 年代測定手法整備 地下水調査	
	水みちの水理特性や物質移動特性を調査・評価するための技術の高度化	ボーリング掘削・検層・物理探査 亀裂・透水性調査 トレーサー試験 室内試験 水みちのモデル化手法の開発（微視～広域スケール横断的な反映手法）	
	内陸部の地下深部に存在する長期的に安定な水理場・化学環境を評価するための技術の高度化	長期注水試験 ⁸¹ Krを用いた地下水年代測定 天水浸透影響解析（感度解析等）	

図2. A-4 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ 広域的な物質移行解析の妥当性を検証するための検討として、地下水年代の分布を指標として、物質移行解析の評価方法について検討し試案を作成した（図2．A－5）。
- ・ 広域的な地下水流動を評価するために必要な水理学的情報の取得方法の再検討として、同一孔で長期の水理試験を実施し、長期的な水理試験の有効性を再確認した（図2．A－6）。

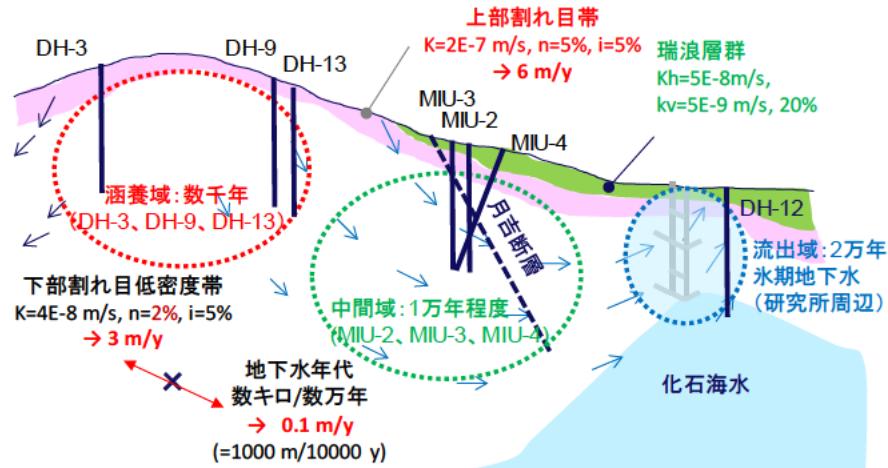


図2．A－5 広域的な物質移行と地下水年代の分布に関する概念図

（地下水流動解析までを実施し、その後、地下水の滞留時間（地下水年代）を指標としてモデルの校正を実施する方法を検討中）

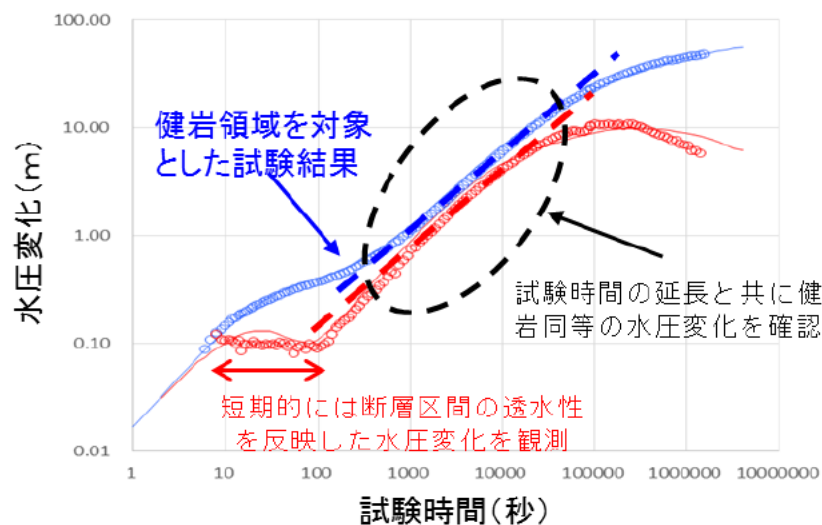


図2．A－6 断層区間を対象とした長期水理試験と健岩部の水理試験の比較

（短期的には断層区間の高い透水性のみが取得されているが、時間がたつと健岩部と同様の透水性が取得できることが確認できた。）

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標

【指標】

事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数

【設定理由・根拠等】

各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。

指標目標値

事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時までに 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：11件 CI 同位体の拡散による拡散場の評価手法を提案した。また、岩石コアの間隙水採取方法を比較し、間隙の影響を検討した結果を公表した。
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：－

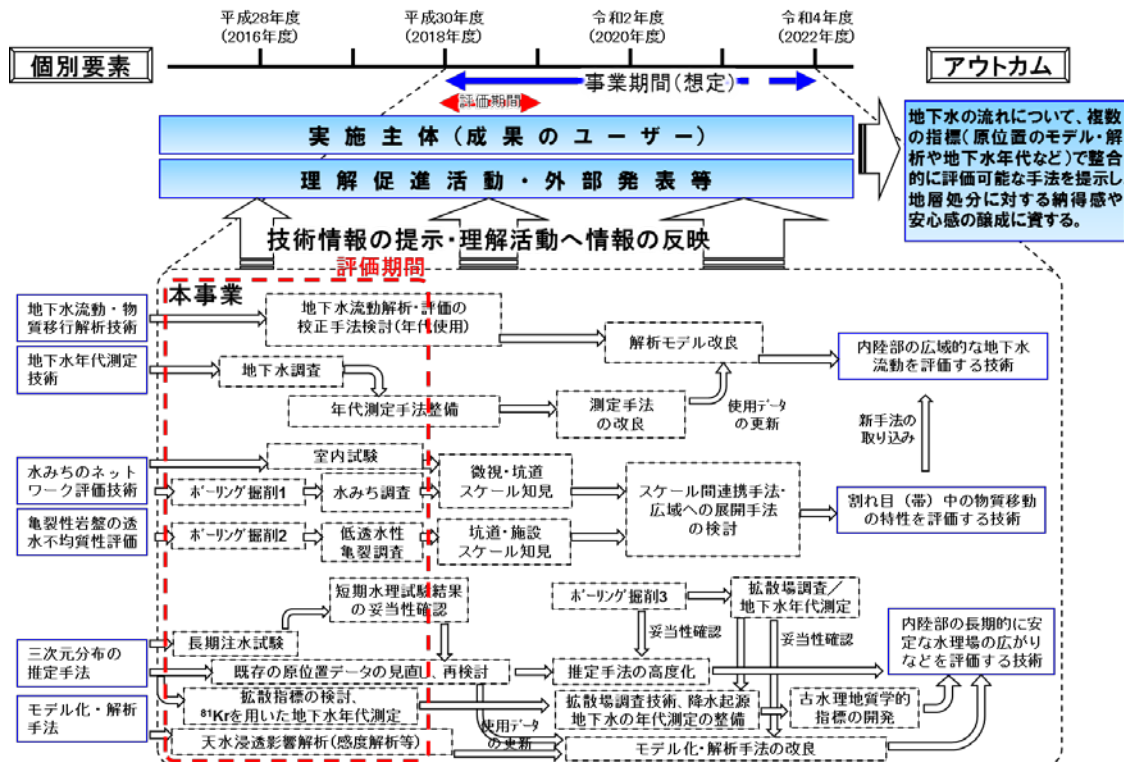
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ の作成
2	1	—	1	—	—	—

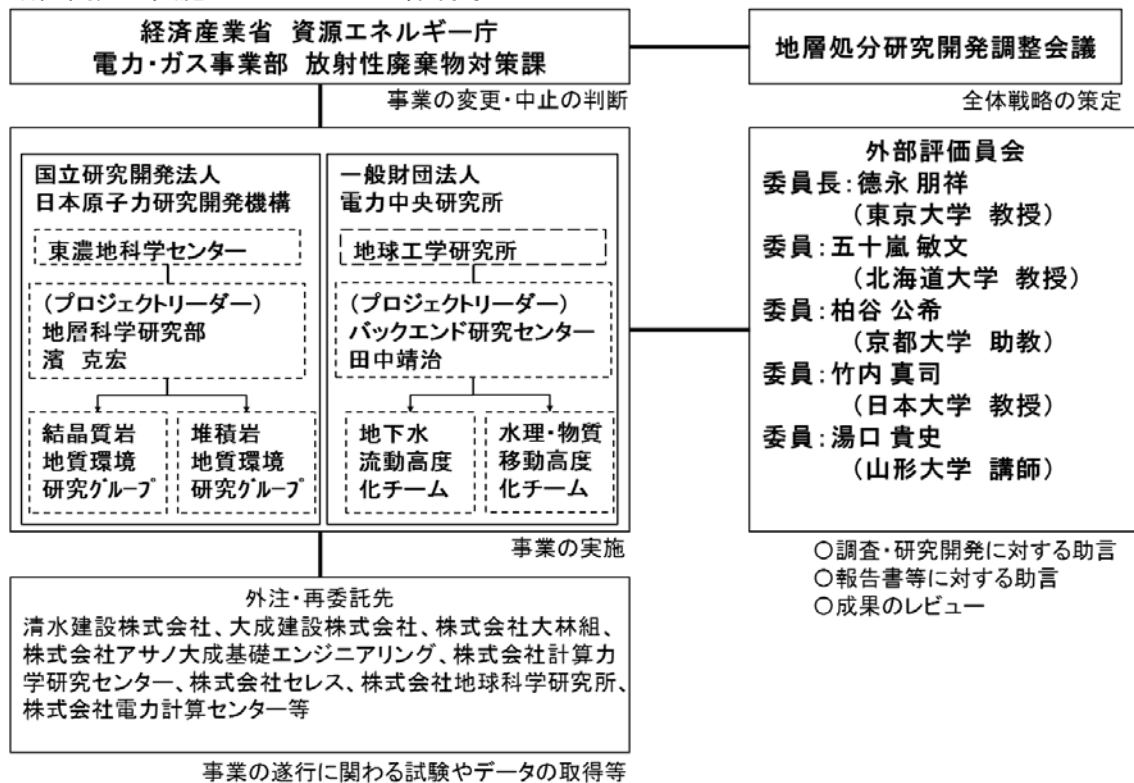
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には5.8億円の国費を投入している。その中で、開始年度であるが2件の外部発表や特許取得しており、アウトプット・アウトカムと照らし合わせても妥当であると考えられる。

③個別技術開発：地質環境長期安定性評価確証技術開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【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上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 各種技術は、開発過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画：事業終了時までに46項目	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：37項目 個別の自然現象の相互関係を考慮した、将来の地質環境の変動スケールを明瞭に把握するための統合モデルを構築するフローについて検討した。
終了評価時（令和元年度）		実績：46項目 統合モデルを分かりやすく可視化する手法、及び不確実性を評価する手法について提示したと共に、各モデルの高度化に貢献する要素技術（化学分析・年代測定等）を提言・高度化した。

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-7のスケジュールに基づき、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実施した。

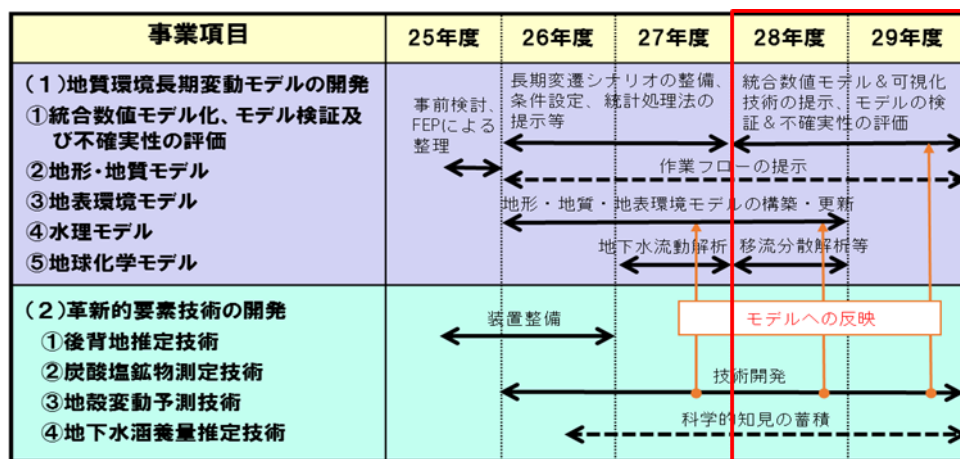


図2. A-7 全体スケジュール

【主な成果】

- ・山地の形成過程を復元する技術（後背地解析技術）などの要素技術を整備すると共に、取得した長期的な変化に関わる情報をモデル化する方法論を提示した（図2. A-8）。
- ・長期的な時間変化の理解促進に向けた技術の検討として、構築した長期変遷モデルを例として、モデル化した長期的な変化を可視化する技術を例示する（図2. A-9）と共に、モデル個々の不確実性の幅を評価する手法を提示した。

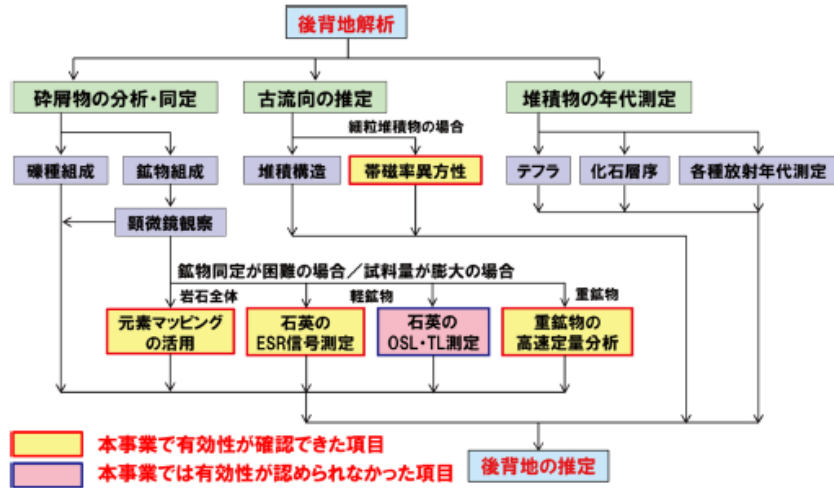
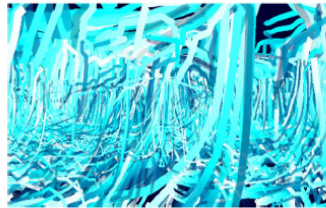


図 2. A-8 整備した後背地解析技術の流れ

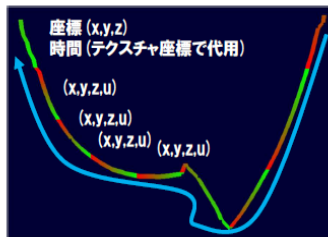
(東農地域及び幌延地域を例として技術の適用性を確認し、その適用範囲を明らかにした)

- ✓ 三次元の複雑な形状や動きを、視覚的にわかりやすく表示するための手法を検討

地下水の全体的な流れの傾向を直感的に把握させることに着眼し、大量の流線を表示させつつ、その線に沿って流れの速さをバターの動きで表現する手法を採用



- 膨大な数の流線を、線状かつ半透明のオブジェクトとして表現



- ・テクスチャ座標を時間として適用
- ・その座標を変えることで、時間によって動くカラーカーブアニメーションとして流速を表現

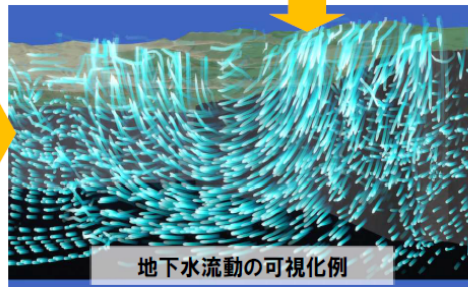


図 2. A-9 地下水流動解析結果の可視化の例

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：19件 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
終了評価時（令和元年度）		実績：78件（合計） 統合モデルを分かりやすく可視化する手法を提示すると共に、モデルの高度化のため個別要素技術として、山地の形成過程を復元するための新しい分析技術等を提示した。

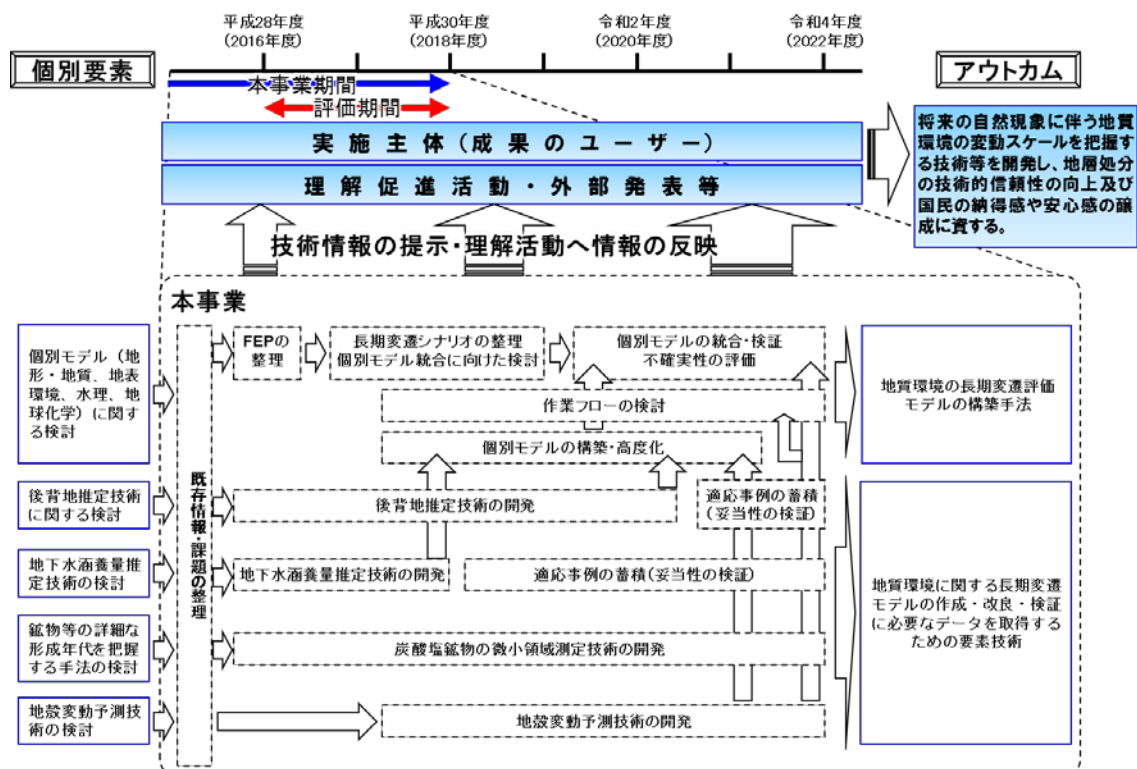
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイ プの作成
9	—	—	—	—	—	—

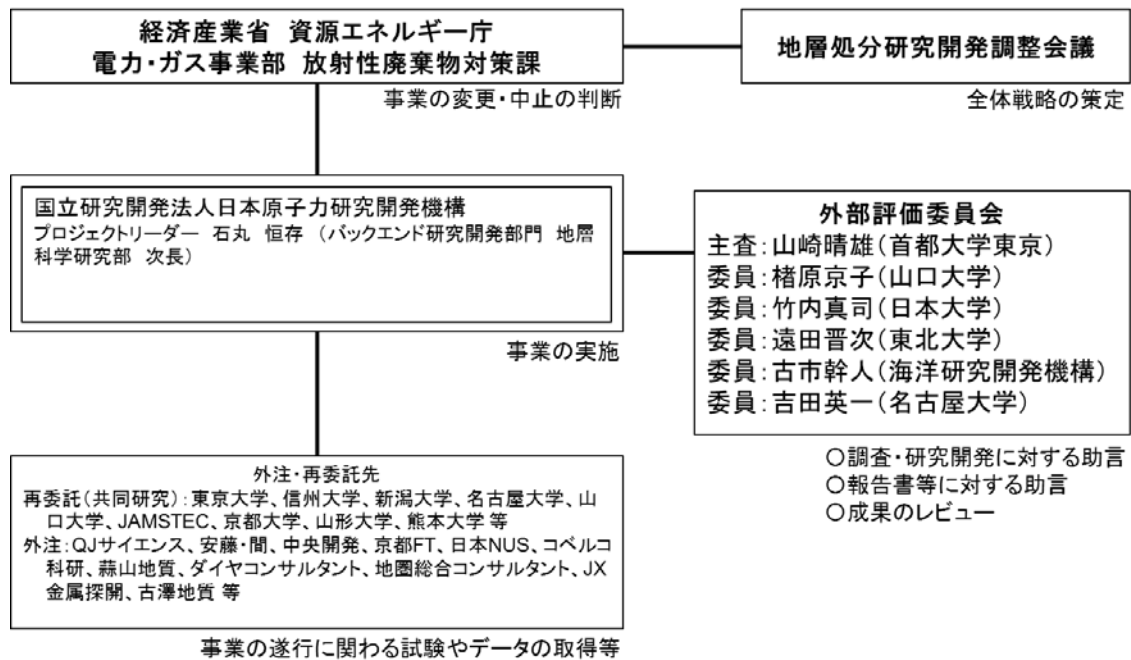
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章Ⅰ. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には4.4億円の国費を投入している。その中で78件の外部発表や特許取得しており、アウトプット・アウトカムと。照らし合わせても妥当であると考えられる。

④個別技術開発：地質環境長期安定性評価技術高度化開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 地質環境に生じる緩慢な長期的変化を三次元的に評価する技術等を開発する上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 各種技術は、開発過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時まで に50項目	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：5項目 火山・火成活動や地震・断層活動等の長期的変化を三次元的に評価するための、各学術分野における最新の研究の適用性を検討した。また、幅広い時空間スケールで隆起・侵食速度を評価するための個別要素技術の適用性を検討した。
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：一項目

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-10のスケジュールを基本として、地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象の影響を把握するために必要な研究課題に対して、各学術分野における最新の研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要な知見の蓄積や調査・評価技術の高度化を総合的に進める。

事業項目	平成30年度	平成31年度
① 火山・火成活動に関する調査・評価技術	マントル内の流体分布・移行、マグマの影響範囲に関する知見の蓄積	
② 深部流体に関する調査・評価技術	深部流体の移動・流入に関する科学的知見の蓄積	
③ 地震活動・断層運動に関する調査・評価技術	断層の活動性評価等に係る個別要素技術の適用性評価・事例の蓄積	
	水理学的影響に関する事例の整理・事例研究	
④ 隆起・侵食に関する調査・評価技術	隆起量・侵食量推定に係る個別要素技術の高度化	
	隆起・侵食データマップの整備	

図2. A-10 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ 火山・火成活動における溶融部（マグマ）や深部流体の範囲等の把握に向けて、従来の地質学的手法に加え、電磁探査（MT 法；図 2．A－1 1）、地震波トモグラフィ、GNSS 観測などの地球物理学的な手法を適用することにより、従来よりも深い深度かつ詳細な時間の精度で地殻変動の変化速度を示せるようになった。
- ・ 幅広い時空間スケールでの隆起・侵食速度の評価手法として、熱年代測定手法や宇宙線生成核種年代測定手法等の個別要素技術の適用性を検討し、特に、ボーリングコア資料に熱年代測定を適用することでの侵食量を定量的に評価できる見通しを得た（図 2．A－1 2）。

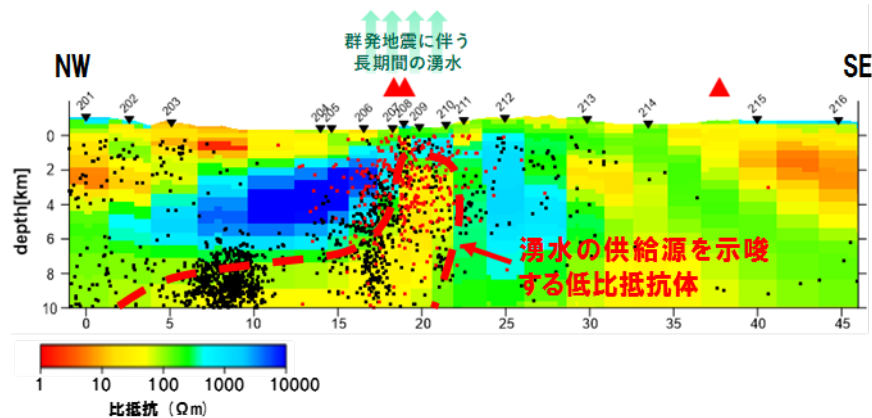


図 2．A－1 1 群発地震の活動域における二次元比抵抗構造

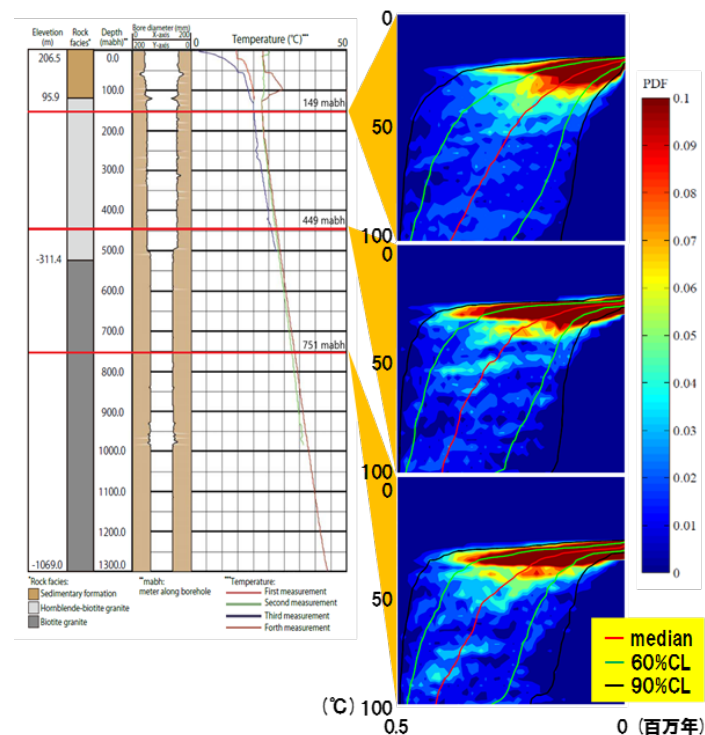


図 2．A－1 2 熱年代測定法を大深度ボーリングコア試料に適用した例

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数 【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時までに 複数件の外部発表	実績：—
中間評価時（令和元年度）		実績：5件 成功した熱年代学的手法による隆起・侵食の緩慢な地域を対象とした侵食量を定量的に評価する技術などに関する外部発表。
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：—

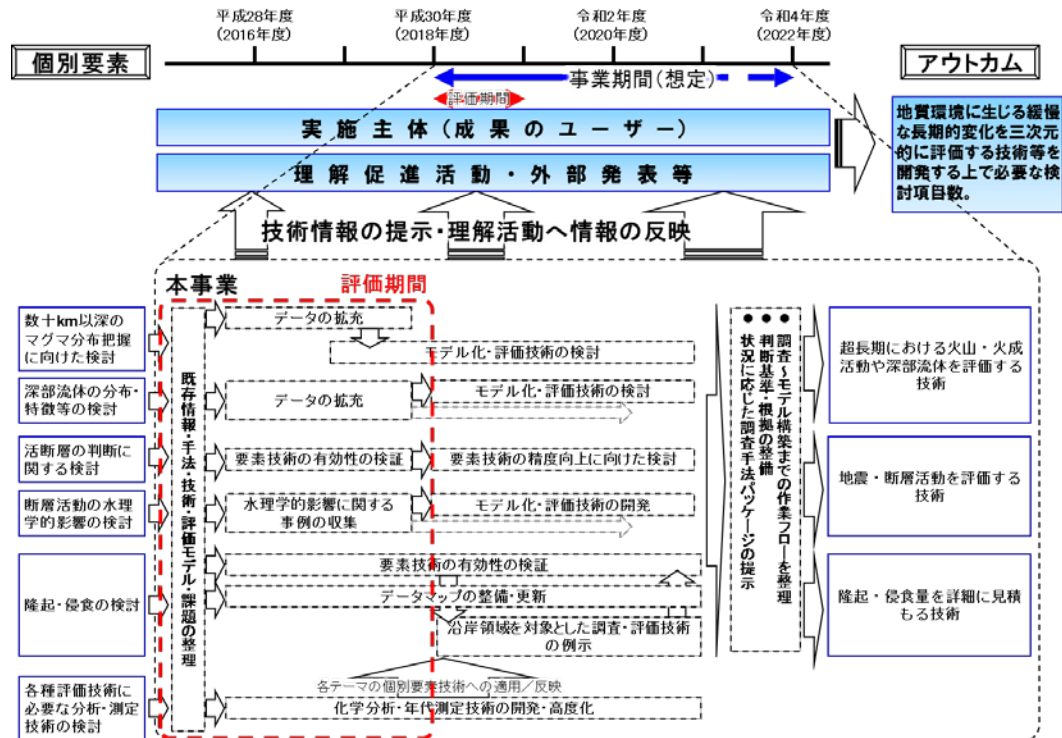
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイ プの作成
—	—	—	—	—	—	—

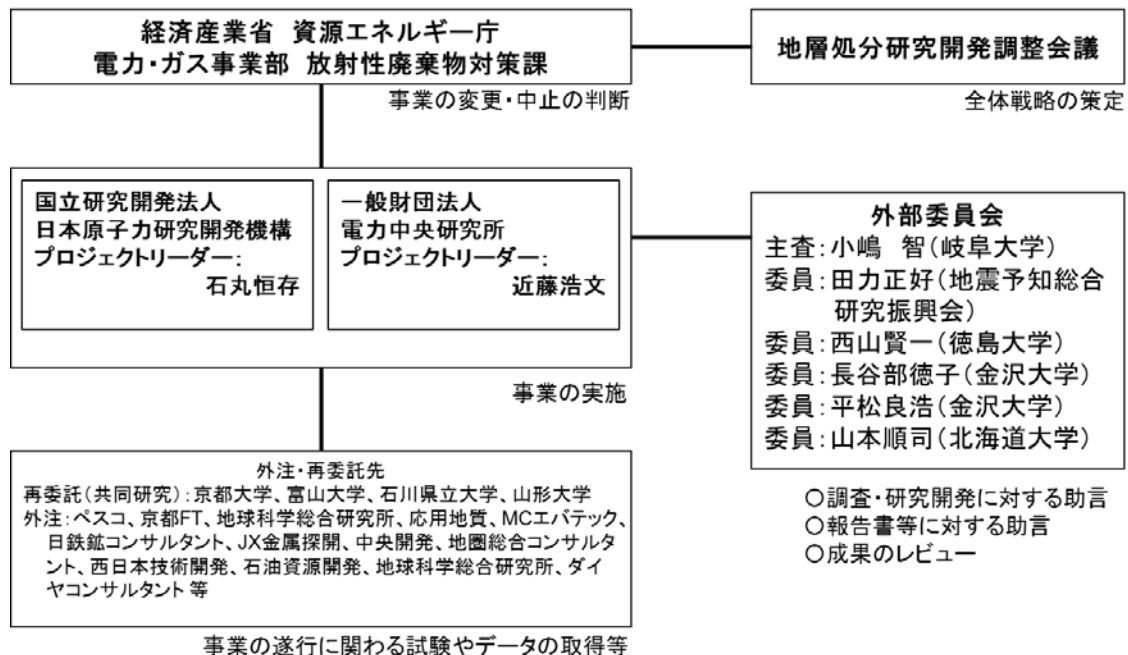
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省（国）が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には3.3億円の国費を投入している。その中で、開始年度であるが5件の外部発表をしており、アウトプット・アウトカムと照らし合わせても妥当であると考えられる。

⑤個別技術開発：処分システム評価確証技術開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 地層処分事業における処分場設計や性能評価技術の確証を得る上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 各種技術は、開発過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで に70項目	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：59項目 現象理解を反映したより精緻なモデルの開発及び過酷事象の概念構築・シナリオ構築を実施。
終了評価時（令和元年度）		実績：70項目 原位置等の評価確証や複合現象・核種移行の体系的評価を実施することで、核種移行を評価するための先端技術を構築。 評価モデルの改良・高度化を実施することで過酷事業の地層処分システムへの影響に関する評価確証技術を構築。

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-13のスケジュールに基づき、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実施した。

	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進的技術の開発			中間評価 ワークショップ 		
過酷事業の地層処分システムの影響に関する評価確証技術開発					

図2. A-13 全体スケジュール

【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2. A-14）、以下のような成果例を得た。

- ・ 実際の地下環境で実施された実規模の人工バリア性能確認試験で得られた、人工バリア内の温度・水分・応力の変化について、構築した熱-水-応力連成解析コードにより再現できることなどを提示した（図2. A-15）。
- ・ 過酷事象の影響評価技術として、人工バリアの40分の1スケールでの断層模型実験を行い、断層が処分施設に直撃した際の健全性を評価する解析手法の開発等を開発した（図2. A-16）。

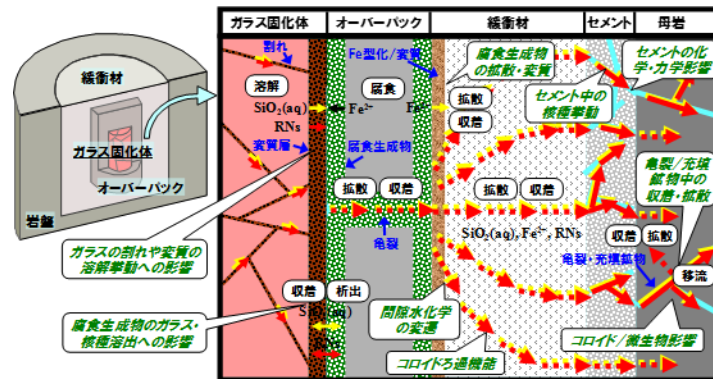


図2. A-14 ニアフィールドにおいて時間的変遷に伴い発生する現象（図中吹き出し）と核種の移行経路（図中矢印）の概念図

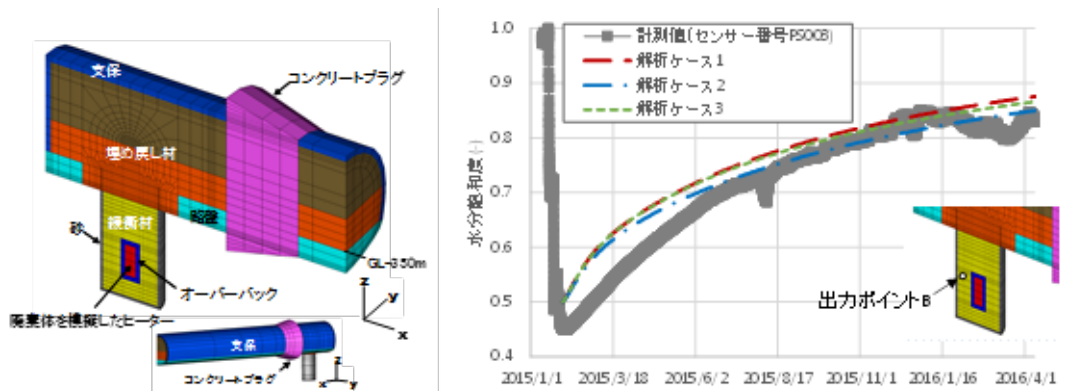


図2. A-15 人工バリア性能確認試験に対する熱-水-連成解析のモデル体系（左図）と測定結果と解析結果の比較例（右図）

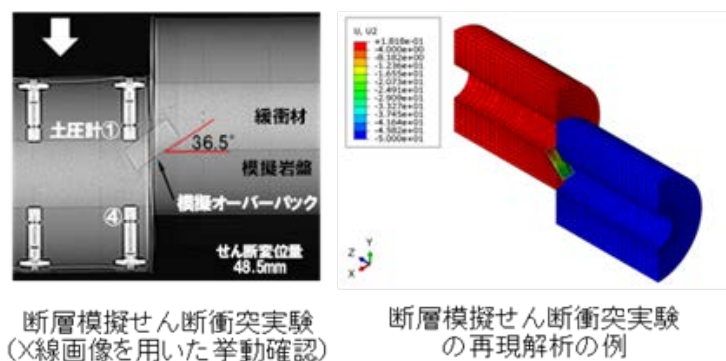


図2. A-16 断層模擬先端衝突実験の結果と再現解析の例

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：8件 核種の堆積岩中の拡散挙動や収着挙動に関する成果等を公表
終了評価時（令和元年度）		実績：54件（合計） 核種の人工バリア材料に対する収着挙動や人工バリアの長期挙動評価モデルの開発成果等を公表

<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準への 寄与	プロトタイプ の作成
10	1※	—	—	—	—	2※※

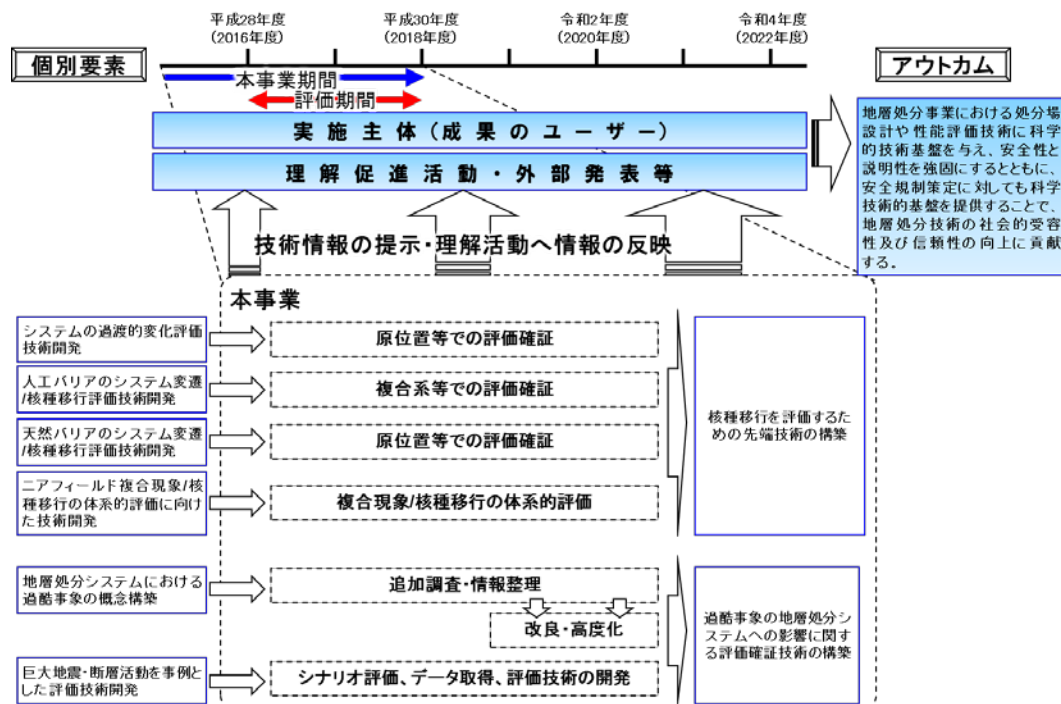
※：NUMO包括的技術報告書（レビュー版）において、本事業の報告書が引用されている。

※※：核種移行を評価するための先端技術及び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2件のプロトタイプを作成。

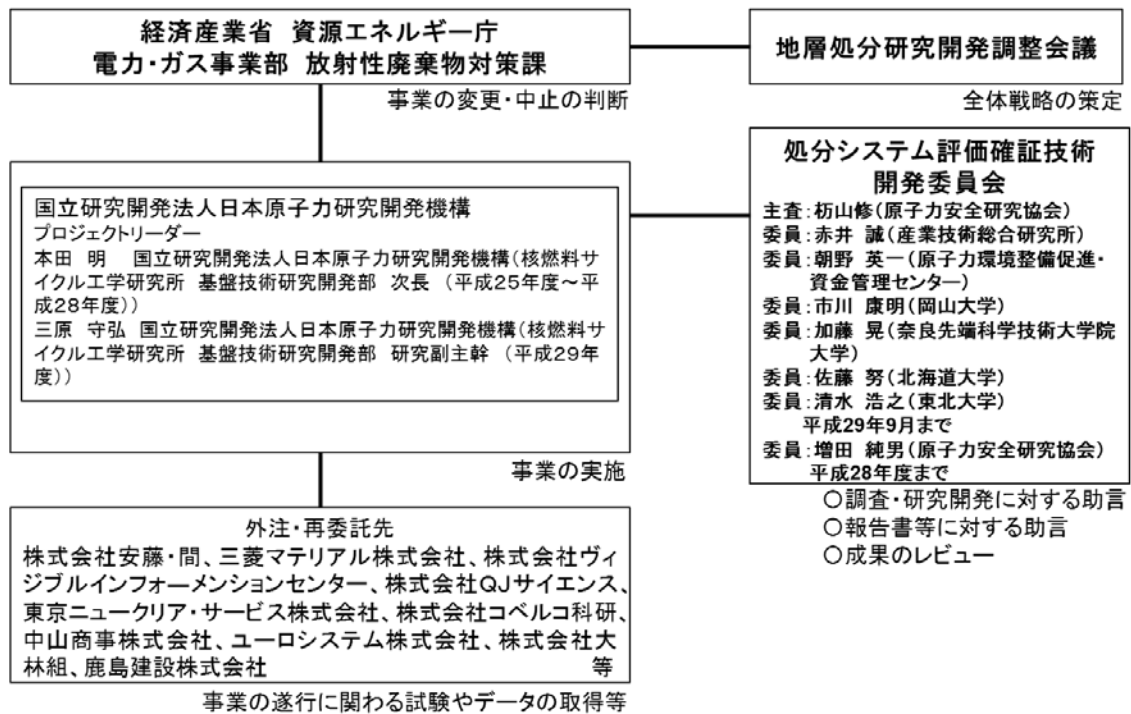
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章Ⅰ. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には9.1億円の国費を投入している。その中で92件を国内外に外部発表を実施しており、アウトプット・アウトカムと。照らし合わせても妥当であると考えられる。

⑥個別技術開発：ニアフィールドシステム評価確証技術開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 人工バリア及びその周辺岩盤の領域（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構築やその確証に必要なデータの取得等を実施する上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 各種技術は、開発過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時まで に40項目	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：8項目 地下研究施設等の地質環境の特徴や、ニアフィールド環境の長期変遷を考慮した評価に必要なデータ取得・モデル開発等実施
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：－

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-17のスケジュールを基本として、廃棄体定置後の過渡的な時期から閉鎖後長期にわたる期間を対象に、ニアフィールド（人工バリアとその近傍の岩盤）環境の長期変遷を考慮したより現実的な評価技術を整備する。

	H30	H31/R1
ニアフィールド環境変遷に係る個別評価技術の開発	人工バリアの個別現象データ取得・モデル高度化	人工バリアの個別現象データ拡充・モデル補正
ニアフィールド環境変遷を考慮した核種移行評価技術の開発	核種移行データ取得・モデル開発	原位置等データの取得・モデルの適用性評価
ニアフィールド性能の総合評価技術開発	開発アプローチ・プロトタイプ化	試験解析・システム開発課題の抽出

図2. A-17 全体スケジュール

【主な成果】

実際のサイトにおける地質環境の特徴を考慮し、かつバリア構成要素間の相互作用を含むニアフィールド環境の長期変遷を評価可能な技術開発を実施し、平成30年度は以下に示すような成果を得た。

- ・核種移行評価技術の開発として、幅広い実際の地下環境に応じた評価に向けて、高炭酸条件下の岩石中の核種移行データ取得手法を整備し、Am及びThのイライトへの収着データ等を取得し（図2. A-18）、収着分配係数が低下する傾向とその収着モデルによる再現性を示した。
- ・実際の地下環境を活用した実証研究の準備として試験環境の整備、試験孔の湧水量測定を行い、の原位置試験イメージに沿って試験装置を設計した。（図2. A-19）。

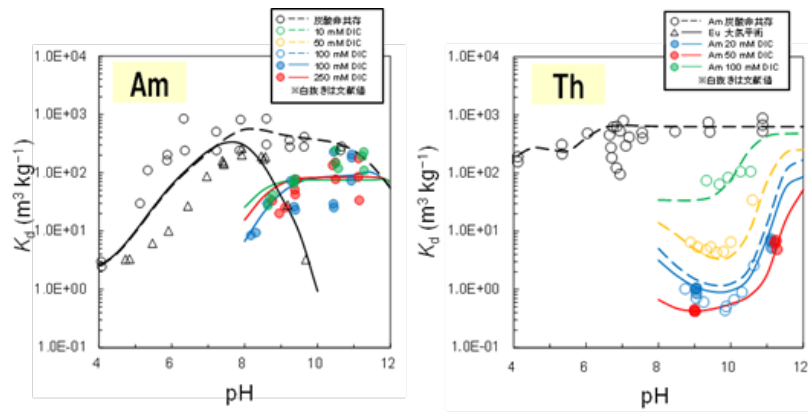


図 2. A-18 炭酸条件でのイライトへの収着データ（点）とモデル評価（線）

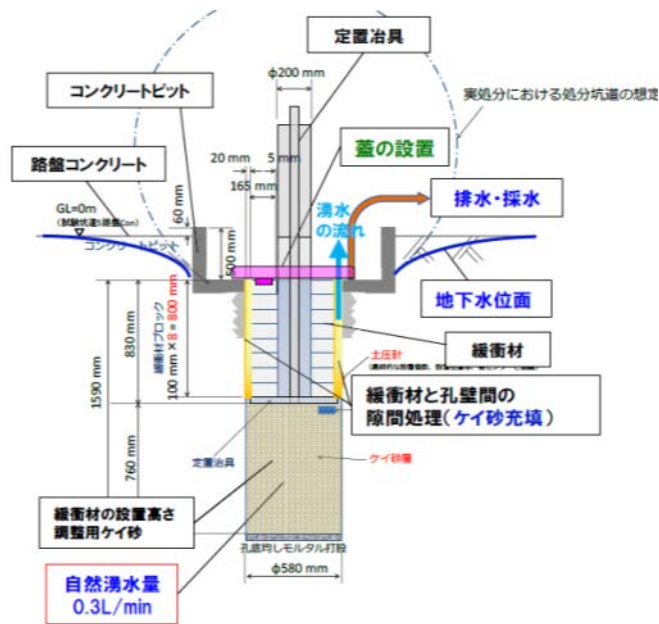


図 2. A-19 試験装置のイメージ（約 1/5 スケール）

（2）事業アウトプット

事業アウトプット指標

【指標】

事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数

【設定理由・根拠等】

各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。

指標目標値

事業開始時（平成30年度）	計画：	実績：—
中間評価時（令和元年度）	事業終了時まで に複数件の外部発表	実績：35 件 亀裂表面の変質が物質移行の遅延効果に与える影響の評価やニアフィールドの長期力学挙動モデルの開発などを公表
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：—

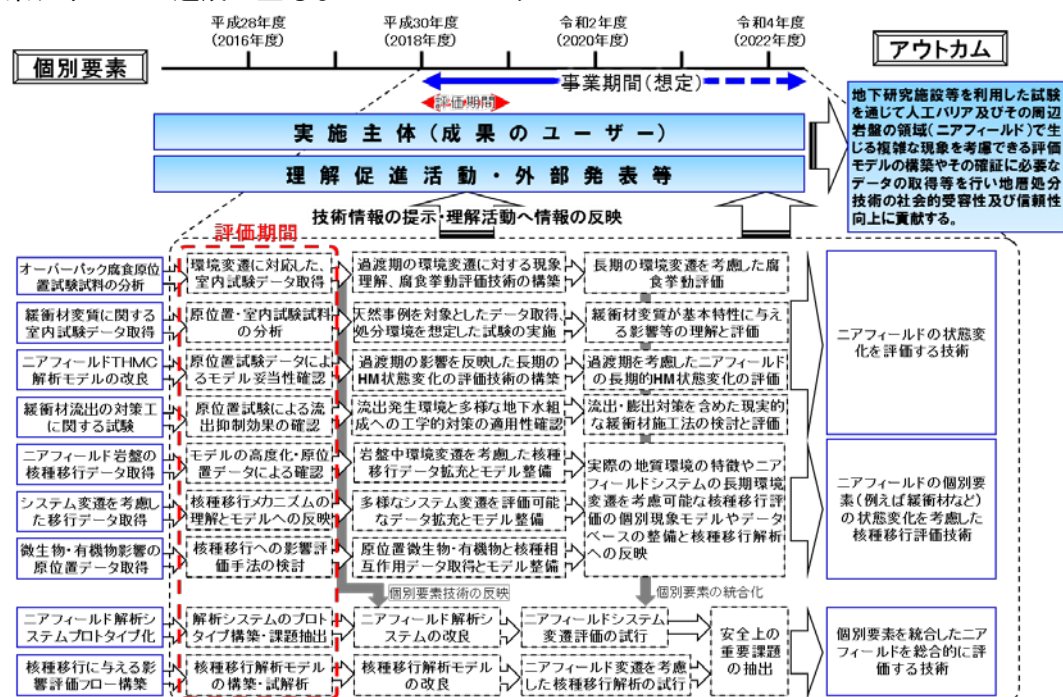
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ の作成
10	—	—	—	—	—	—

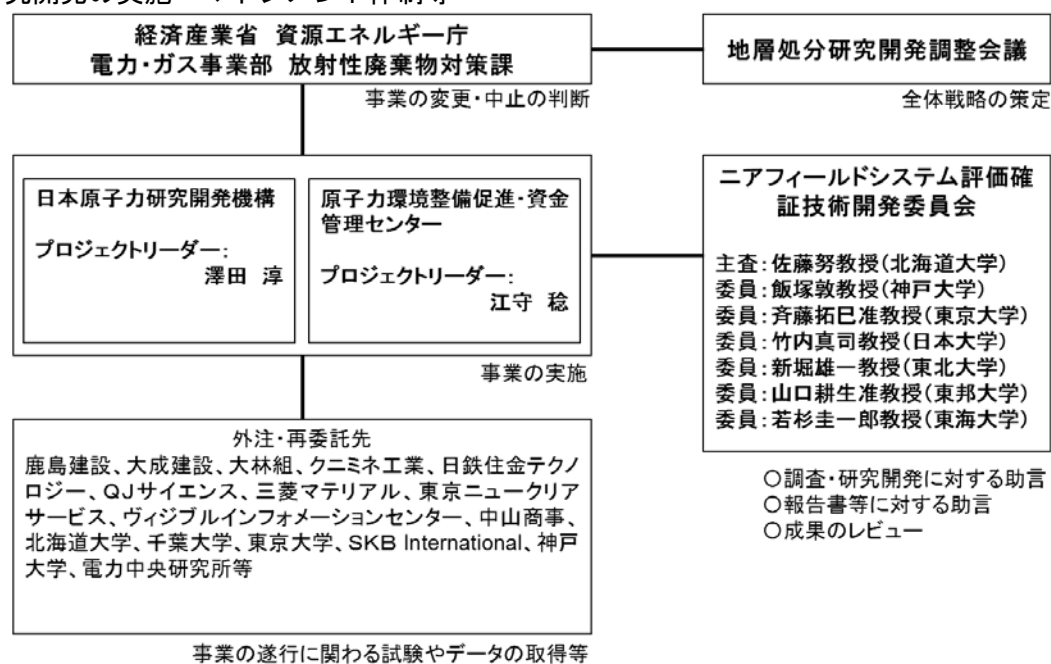
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章1. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には3.5億円の国費を投入している。その中で、開始年度であるが国内外に向けて35件の外部発表を実施しており、アウトプット・アウトカムと照らし合わせても妥当であると考えられる。

⑦個別技術開発：処分システム工学確証技術開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 人工バリアの閉じ込め機能の長期健全性、適切なモニタリング方策や処分施設の操業中の安全性向上等に向けた検討を実施する上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 各種検討は、検討過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。各検討項目を着実に実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで に31項目	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：24項目 各種試験を実施し必要なデータの取得・解析技術の妥当性の検証を実施した。
終了評価時（令和元年度）		実績：31項目 人工バリアの品質確保や健全性評価に関する民間規格等の策定に資する試験や解析のデータの取得、モニタリング計画の策定に資する技術情報の整備や無線技術の高度化を実施した。 また、自然災害に起因する火災事象を対象として、処分場の安全性に関する対策等を提示した。

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-20のスケジュールに基づき、地層処分場の操業期間中における人工バリアの製作・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開発を実施した。

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				

図2. A-20 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ 人工バリア等の長期的な変化を推定できる手法として、遠心模型試験を実施し、人工バリアと周辺岩盤の変遷挙動に関する 100 年間相当のデータ等を取得する（図 2. A-2 1）と共に長期挙動に影響するパラメータを整理した。
- ・ 諸外国のモニタリングプログラムについて調査を行った。また、モニタリング装置からのデータ転送の無線化に向けて、無線給電に関する室内試験等を実施し（図 2. A-2 2）、給電効率等の試験結果を提示した。
- ・ 自然災害に起因する火災に着目し、地下及び地上施設を対象とした解析などを実施し、厳しい火災条件でも放射性物質の放出が生じない（オーバーパックが破損しない；図 2. A-2 3）ことを提示した。

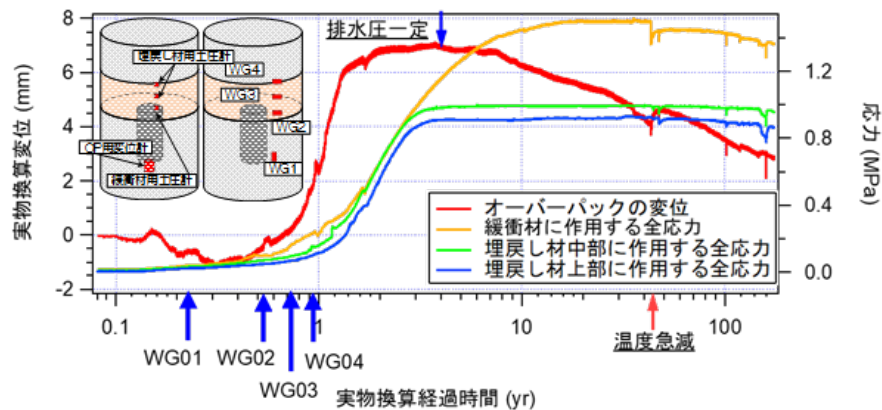


図 2. A-2 1 遠心模型試験により 100 年相当のデータを取得

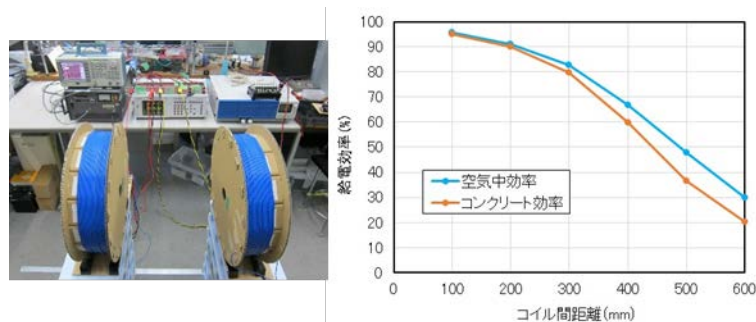


図 2. A-2 2 無線給電に関する室内試験と遮蔽物による給電効率に関する試験結果

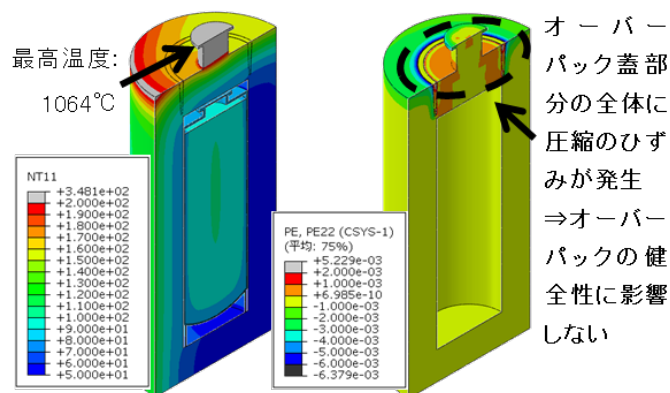


図 2. A-2 3 火災を想定した温度状況でのオーバーパック状況解析結果

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時までに 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：27件
終了評価時（令和元年度）		実績：52件（合計） オーバーパック溶接部の腐食及び破壊評価手法、 人工バリアと周辺岩盤の長期挙動評価や電磁波を用いた長距離無線伝送及び無線給電装置のコイル設計のためのスケール則等について報告

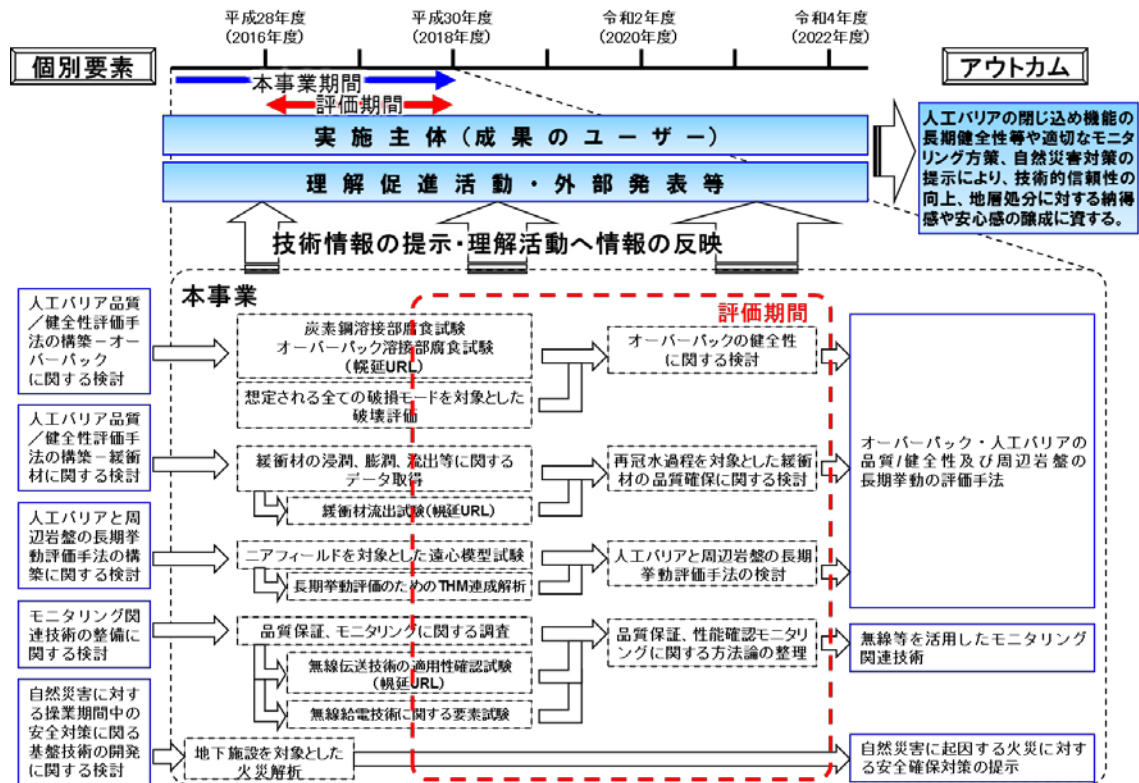
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイ プの作成
3	—	—	—	—	—	—

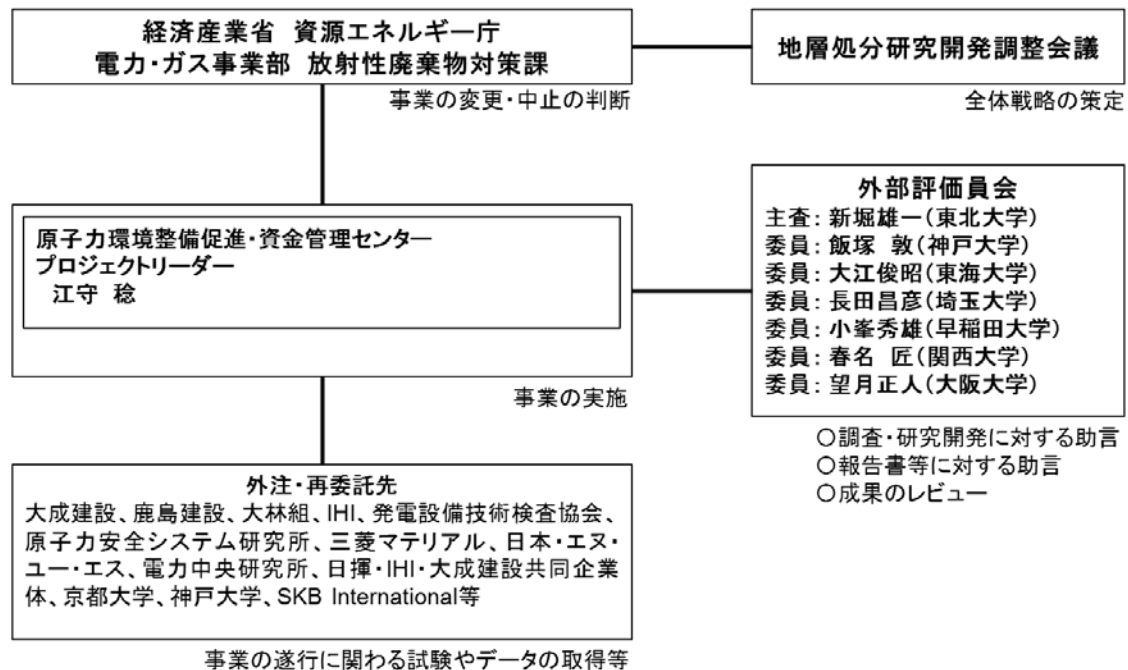
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章Ⅰ. 複数プログラムの概要の3. 当省（国）が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には10.6億円の国費を投入している。その中で27件の外部発表をしており、アウトプット・アウトカムと照らし合わせても妥当であると考えられる。

⑧個別技術開発：地層処分施設閉鎖技術確証試験

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 実際の地下坑道等を活用し、坑道閉鎖時に坑道が核種の移行経路とならない埋戻し方法の開発並びにその確証を得る上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 各種技術は、開発過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると思われる。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時まで に30項目	実績：—
中間評価時（令和元年度）		実績：6項目 実際の地下坑道を対象に試行的に吹付け工法による埋戻しを実施した。掘削土（岩種）が埋戻し材としてのベントナイトに与える影響評価に向けた検討を開始した。
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：—

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-24のスケジュールを基本として、処分場の閉鎖後に坑道や掘削影響領域が水みちとなることを防止するためのプラグや埋め戻しなどの坑道シーリングに関する設計・性能評価技術の構築、施工オプションの整備や品質管理手法の高度化に資する基盤情報を整備する。

	2018	2019
製作・施工技術に係る品質保証体系及びモニタリング技術の整備	諸外国の動向調査等	性能確認プログラム案の構築
坑道シーリングの設計・評価技術の整備	文献調査、要件等の整理	物質移行解析評価、設計フローの高度化
シーリング技術の性能確認	室内予備試験、原位置試験準備	力学的相互作用評価手法の構築、止水プラグ機能検証
坑道シーリングに関わる施工技術の整備	吹付け施工試験、埋め戻し材料特性データ整備	埋め戻し材料特性データ整備、施工オプションの整理

図2. A-24 全体スケジュール

【主な成果】

- ・文献調査等により、諸外国で検討されているシーリングシステムに求める安全機能やそれに影響を及ぼす因子を整理した（図2. A-25）。
- ・地下500mの坑道を対象として、坑道全断面の吹付け工法による埋め戻し施工試験を実施し（図2. A-26）、吹付け工法による埋め戻しの実現性やその品質管理手法等を実証的に示した。また、多様な地質環境への対応に向けて、岩種の異なる掘削ズリ等を混合した場合の埋戻し材料（ベントナイト）の特性データの取得を開始した。

本事業で設定する 安全機能	諸外国が設定する安全機能			
	スウェーデン	フィンランド	スイス	フランス ⁺
シーリング部において 移流を抑制すること	移流の抑制 ・Limit advective transport ¹⁾	放射能核種の放出制限 ・Limit and retard radionuclide release in the possible event of canister failure ²⁾	シーリングシステムの構成要素に具体的な安全機能は 設定されていない。	移流の抑制 ・Preventing water circulation ³⁾
シーリング部において 遅延性能を有すること	遅延 ・Sorb radionuclide ¹⁾			放射能核種の放出制限 ・Limit release of radionuclides and immobilize them in the repository ³⁾

+フランスはC廃棄物セルにおけるシーリングシステムに求める安全機能を記載

1) SKB (2011), TR-11-01,
2) POSIVA (2012), 2012-09,
3) Andra Dossier 2005 Argile

図2. A-25 諸外国におけるシーリングシステムに求める安全機能に関する整理結果

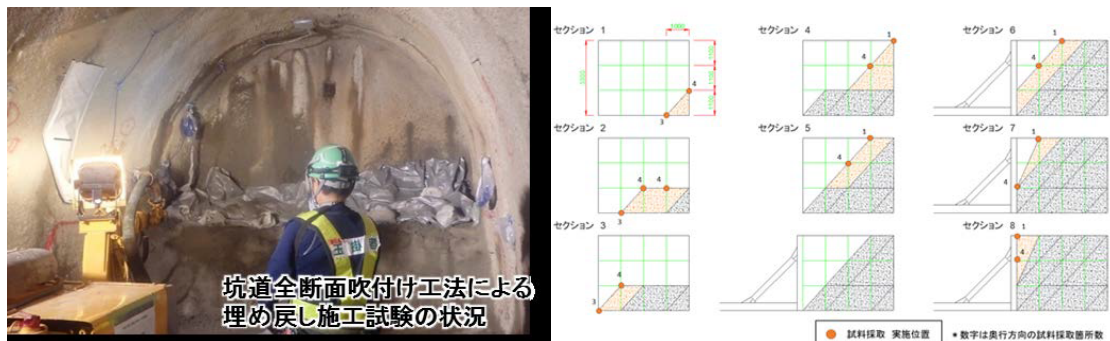


図2. A-26 吹付け施工後の品質確認試料の採取箇所と試験の状況

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時までに 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：0件 事業開始1年目であり、試行的な現場試験や既存情報の整理・課題の抽出に注力したため、外部発表はなし。
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：－

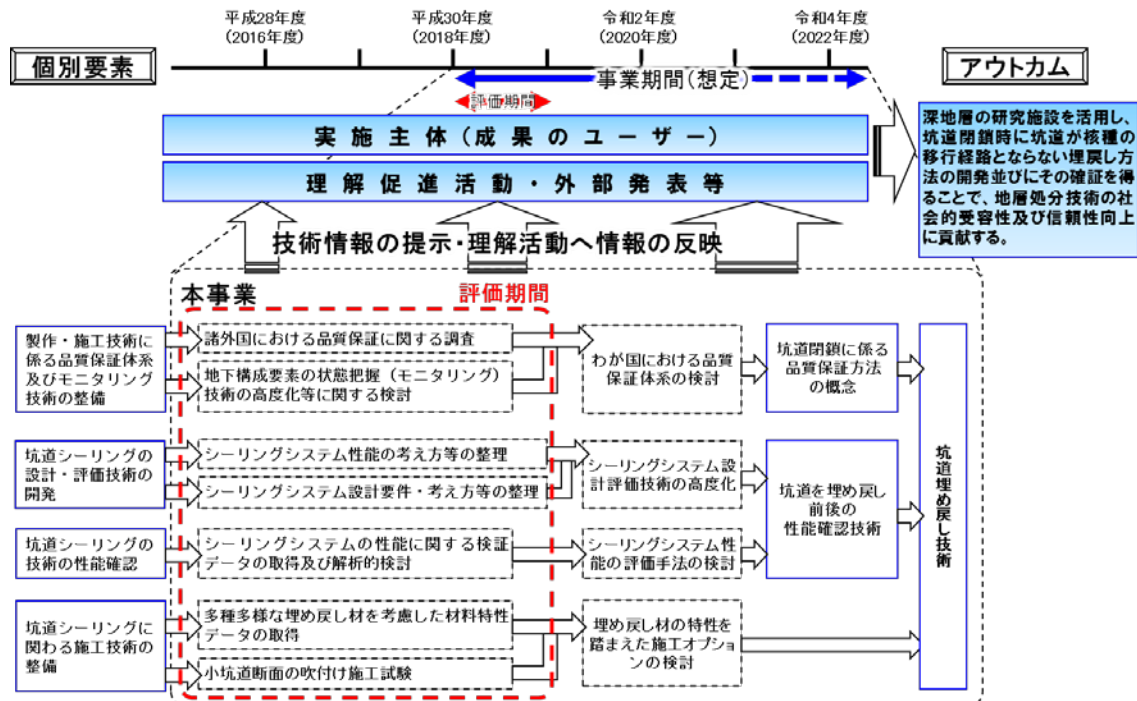
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準への 寄与	プロトタイプ の作成
—	—	—	—	—	—	—

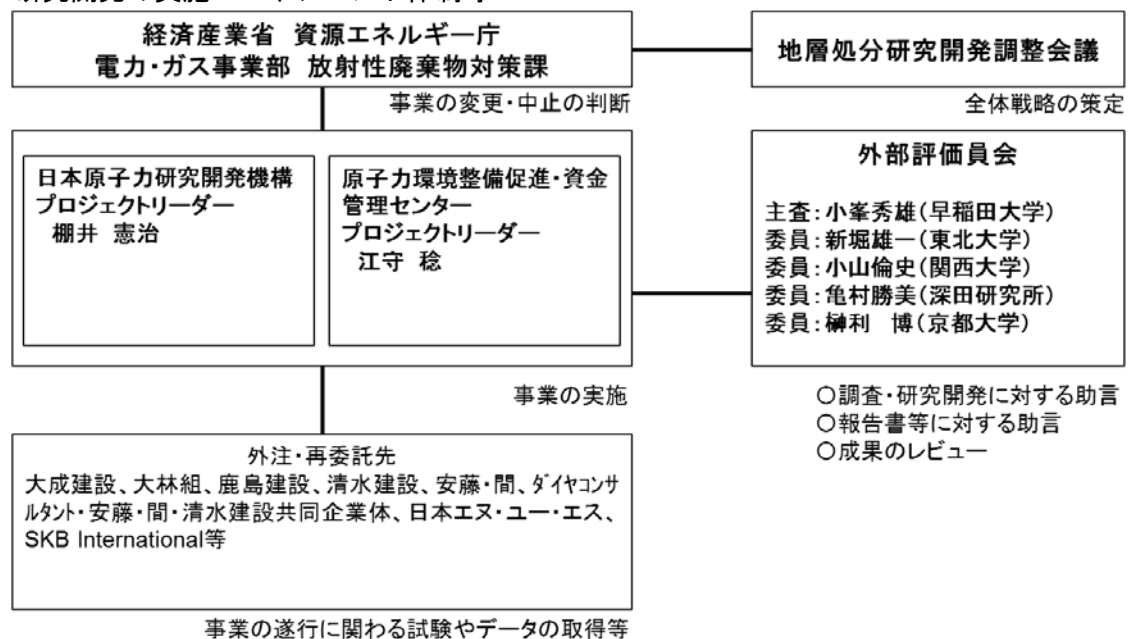
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には5.2億円の国費を投入している。その中で、開始年度であり外部発表等はない。一方で、地下坑道内での原位埋め戻し試験を実施しており、着実な成果が得られる見込みを得ている。

⑨個別技術開発：沿岸部処分システム高度化開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【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る上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 課題解決の過程においては、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成27年度）	計画：事業終了時まで に45項目	実績：—
中間評価時（平成28年度）		実績：18項目 沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会の取りまとめを受け、既存資料や既往の研究実績をまとめて、事業計画を策定した。
終了評価時（令和元年度）		実績：45項目 地質環境分野においては、沿岸域特有の調査技術を取りまとめ、工学技術分野では塩水環境下の実験データを蓄積し、沿岸部における安全評価モデルの構築も実施した。

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-27のスケジュールを基本として、沿岸部においては、塩水の影響などの沿岸部固有の環境が想定され、特有の地質環境調査技術・工学設計技術・安全評価技術が求められる。本事業では、概要調査段階で必要となる分野連携をふまえた技術のシステム（化）開発を実施した。

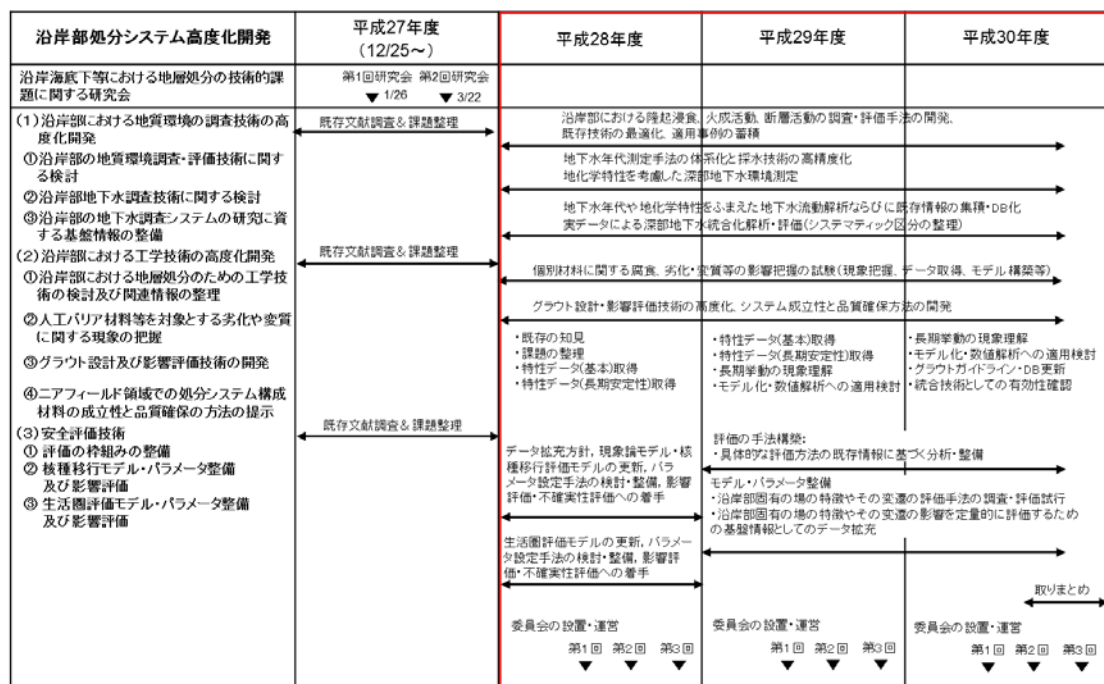


図2. A-27 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ 沿岸部に特化した隆起・侵食、断層、火山の調査・評価手法を提示した。加えて、国内 113 カ所の深部地下水の採取・分析・流動解析を実施し、その結果、沿岸の地下環境は地下水の水質が層状に分布し 570m 以深の地下水は安定性が高いことを示した（図 2. A-28）。
- ・ 沿岸部の地下水の水質を考慮して、オーバーパックスの腐食試験を行った結果、水質と腐食形態の定量的な関係を把握できたと共に、品質を改良した材料（品質改良材料）を用いることで溶接部が局所的に腐食しない見通しが得られ、品質改良材料の有効性を確認した（図 2. A-29）。

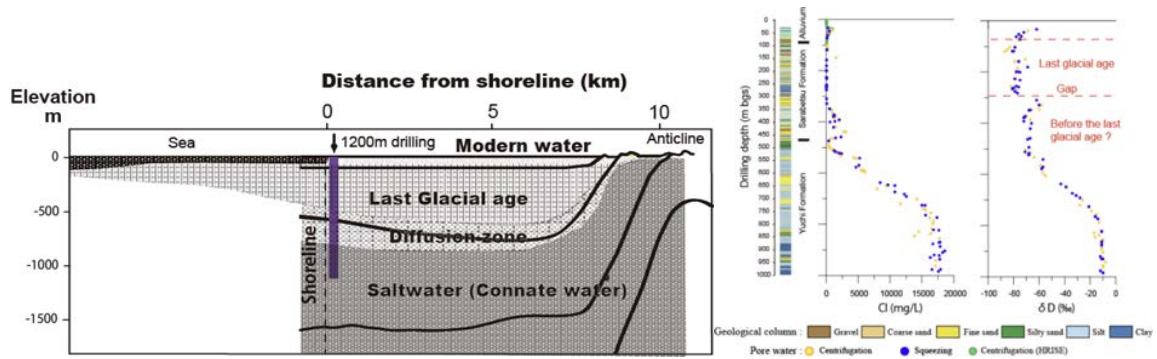


図 2. A-28 地下水の安定性評価

沿岸部の深部地下水は、海水準変動の影響を受けて、塩水と淡水が層状に堆積している。深度 300m までの地下水は流動性が高く、570m 以深の地下水は安定性の高いことが判明した（Machida et al., 2019）。

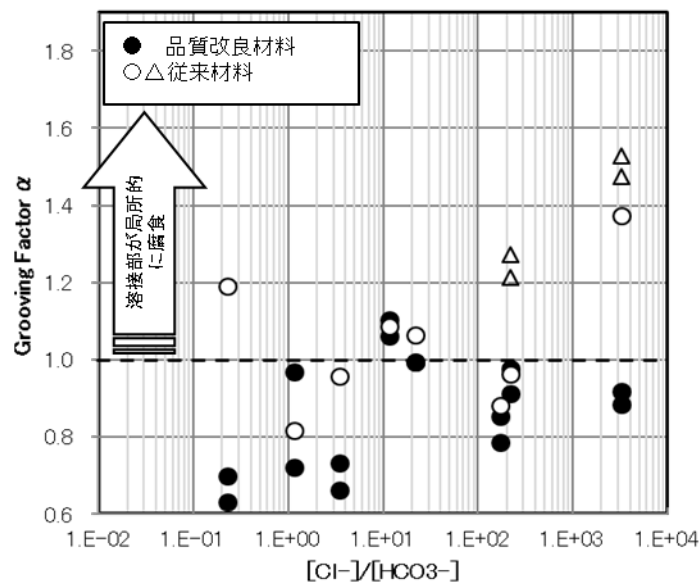


図 2. A-29 工学技術の高度化開発における成果の例

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成27年度）	計画： 事業終了時まで複数件の外部発表	実績：—
中間評価時（平成28年度）		実績：0件 事業開始3カ月で中間評価を受けているため、外部発表はなし。但し、具体的な計画を構築した。
終了評価時（令和元年度）		実績：66件 国内の沿岸陸域に関するデータ（約80万件）の整理・解釈や当該領域の調査・評価手法を例示

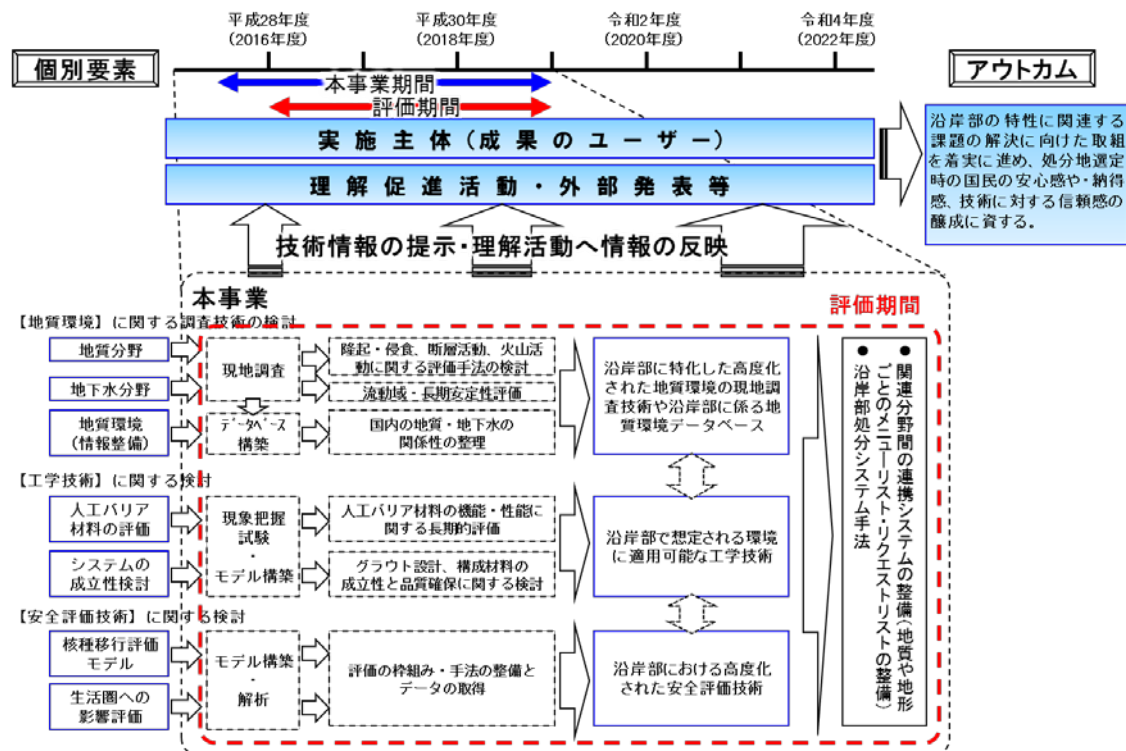
<共通指標実績>

論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ作成
5	—	4	—	—	—	—

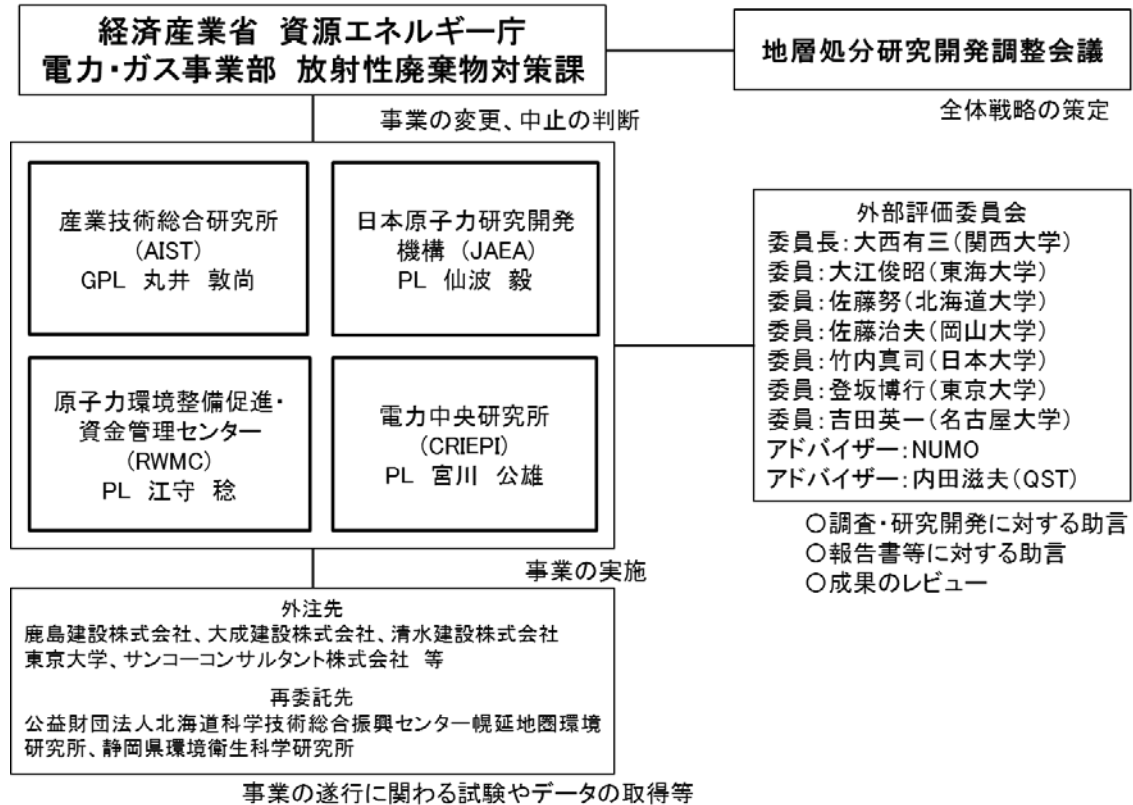
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には20.5億円の国費を投入している。その中で、66件の国内外への外部発表等が実施されており、アウトプット・アウトカムと。照らし合わせても妥当であると考えられる。

⑩個別技術開発：TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 TRU廃棄物の処理・処分技術に係る課題を解決する上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 課題解決の過程においては、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで に94項目	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：74項目 TRU廃棄物固有の課題解決に向けた材料の試作や各種試験に着手した。
終了評価時（令和元年度）		実績：94項目 TRU廃棄物固有の課題として、人工バリアの長寿命化の検討、ガス移行挙動の評価に関する検討を実施した。

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-30のスケジュールに基づき、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技術開発等を実施した。

	H25	H26	H27	H28	H29
(1) ヨウ素129対策技術の信頼性向上				ヨウ素代替固化体の性能評価	
				長期浸出試験／ヨウ素溶出挙動の解明	
(2) 炭素14長期放出挙動評価		照射済み燃料被覆管(ジルカロイ)の浸漬試験／腐食挙動の解明／炭素14放出速度の評価			
				炭素14の化学形態の調査	
(3) ナチュラルアナログ調査		NAサイトの調査			
		アルカリ環境下のベントナイトの長期変質プロセスとその時間スケールの評価			
(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・力学連成挙動に係る試験	
				連成挙動評価モデルの構築／人工バリア長期挙動評価	
				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	
				ガス移行評価シナリオの拡充	
(5) ガス移行連成挙動評価手法の開発				ガス移行連成挙動に係る試験	
				ガス移行連成挙動モデルの構築／人工バリアシステムのガス影響評価	

図2. A-30 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ ヨウ素 129 閉じ込め能力の向上に向けて、様々な環境における溶出データを蓄積し、各代替固化技術の環境適応性を明らかにした（図 2. A-3 1）。
- ・ 実際の廃棄物（照射済み燃料被覆管）の浸漬試験を実施し、 ^{14}C の溶出挙動に関わるデータを取得した。廃棄物からの溶出・移行に関するより現実的な評価の入力条件として、 ^{14}C の長期的な放出形態を定量的に分析し、溶存有機形態、無機成分及びガス成分の割合の経時変化を明らかにした（図 2. A-3 2）。また、ペントナイトのアルカリ変質に関するナチュラルアナログ研究、セメント系材料ーペントナイト相互作用に関するデータを拡充し、評価手法を高度化した。

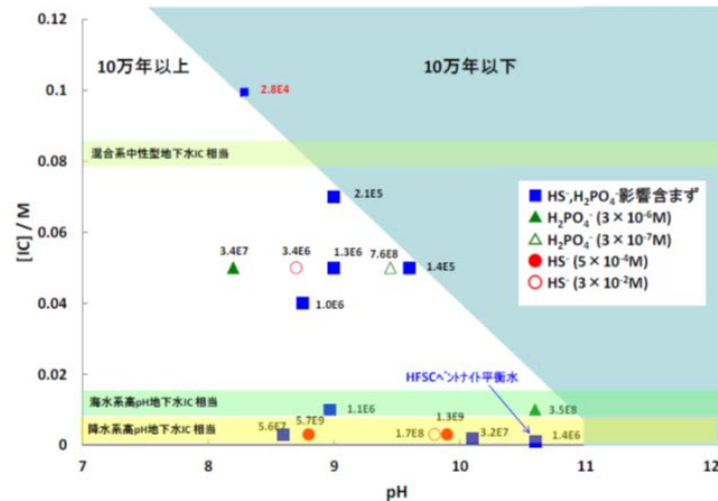


図 2. A-3 1 BPI ガラス固化体の寿命評価

pH11 以下であり、かつ、無機炭素(IC)濃度が 0.1M 以下の環境であれば、目標性能である 10 万年閉じ込めを達成できる見通しが得られた。

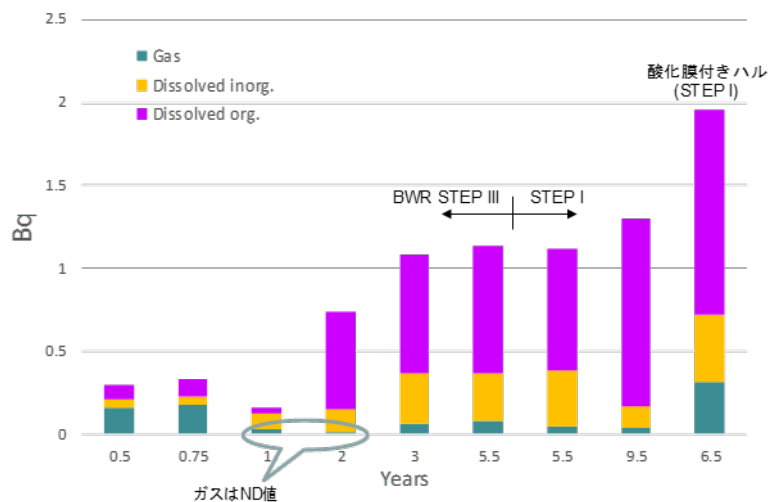


図 2. A-3 2 照射済み燃料被覆管(BWR) から放出された C 14 の化学種割合の経時変化

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時までに 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：65件 BIP ガラスによるヨウ素固定の可能性を得ると共に各種試験に着手し着実にデータを取得した。
終了評価時（令和元年度）		実績：125件（合計） BPI ガラスのI 浸出機構やナチュラルアナログを活用してベントナイトのアルカリ変質プロセスの時間スケール等の解明を実施。また、ベントナイト中のガス移行特性、照射済み燃料被覆管の ¹⁴ Cの溶出挙動について評価した。

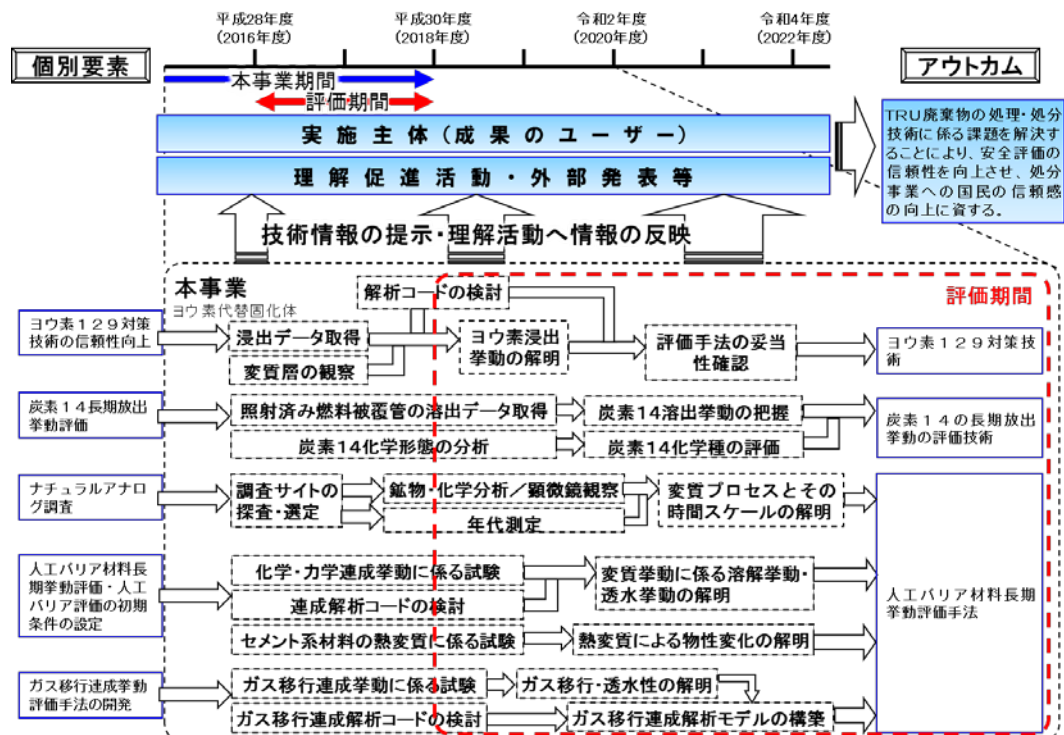
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ の作成
12	—	—	—	—	—	—

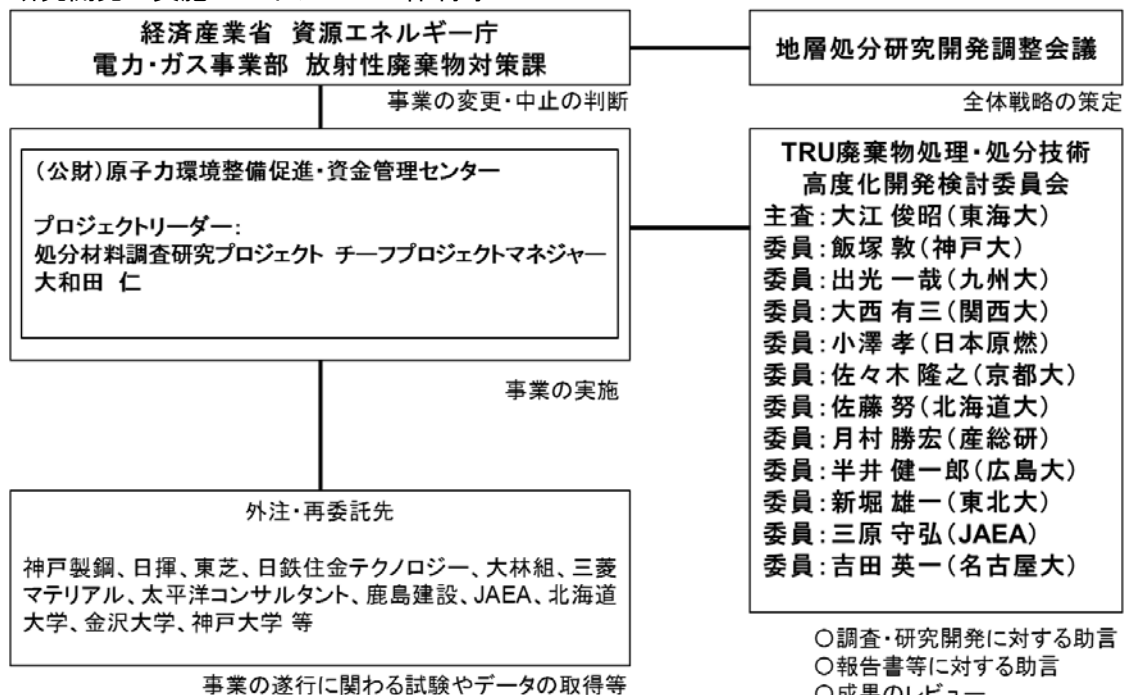
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省（国）が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には 8.4 億円の国費を投入している。その中で 125 件の外部発表を実施しており、アウトプット・アウトカムと。照らし合わせても妥当であると考えられる。

⑪個別技術開発：TRU廃棄物処理・処分にに関する技術開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 TRU廃棄物処分の係る新しい固化技術、固化体からの放射性ヨウ素、炭素の長期溶出挙動評価のための技術の開発や、人工バリア材の長期挙動等に関する研究開発等を実施する上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 課題解決の過程においては、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時まで に45項目	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：9項目 既存の知見に基づき課題の整理、事業の計画の策定、試験やモデル開発の準備を実施
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：一項目

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

図2. A-33のスケジュールを基本として、TRU廃棄物処分事業におけるTRU廃棄物固有の課題を踏まえた、人工バリアの閉じ込め機能の向上や坑道閉鎖前の安全性の評価に向けた技術開発を行う。

	H30	R1
(1) TRU廃棄物に対する人工バリアの閉じ込め機能の向上	廃棄体パッケージの製作技術・長期性能評価の課題の抽出 ヨウ素代替固化体(アルミ固化体、BPIガラス固化体)の溶出試験	蓋接合(溶接)・内部充填材に係る要素試験
(2) 閉鎖前安全性の評価技術の整備	模擬固化体の熱量測定(昇温速度依存性)	模擬固化体の熱量測定(塩濃度変化等) 発熱速度モデル改良・モデル妥当性確認
(3) 地層処分システムの状態設定のための現象解析モデルの高度化	加工・分析方法の検討(エンドピース) セメント(HFSC)の反応に係る試験準備・予備試験 ナチュラルアナログ(NA)データ取得 モックアップ試験の試験準備・予備解析 ガス移行場の変遷・ガス発生挙動の検討 有機物(ISA)の影響に係る試験準備・予備試験	浸漬試験(バル) 核種分布の評価(エンドピース) モデル解析・試料分析・試験データ取得 試料分析・NAデータ取得 モックアップによる注水浸漬試験 ガス移行場の変遷・ガス発生挙動の評価 収着試験・溶解度試験

図2. A-33 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ TRU廃棄物の廃棄体パッケージの製作手順を検討し、内部充填剤（セメントペースト）の乾燥により放射線分解による水素ガス発生を抑制できる定量的な見通しを得た（図2. A-34）。
- ・ 火災発生時のアスファルト固化体の延焼に伴う硝酸塩と有機物の化学反応の促進の可能性を評価するために、模擬アスファルト固化体の熱量測定を開始した。
- ・ 廃棄体からのガス発生の影響評価に向けて、予察解析を実施してモックアップ（図2. A-35）によるガス移行試験計画を策定した。

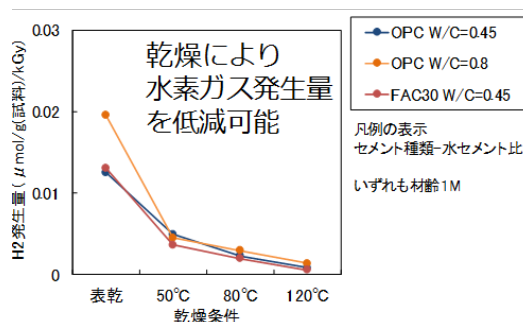


図 2. A-3 4 セメントペーストと水素ガス発生量の評価

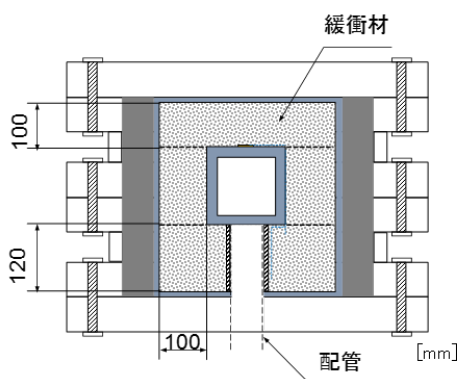


図 2. A-3 5 ガス移行試験用のモックアップ試験装置のイメージ

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時までに複数件の外部発表	実績：—
中間評価時（令和元年度）		実績：0件 事業1年目であり、既存の知見に基づき課題の整理、事業の計画の策定、試験やモデル開発の準備を実施したため、外部発表行っていない。
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：—

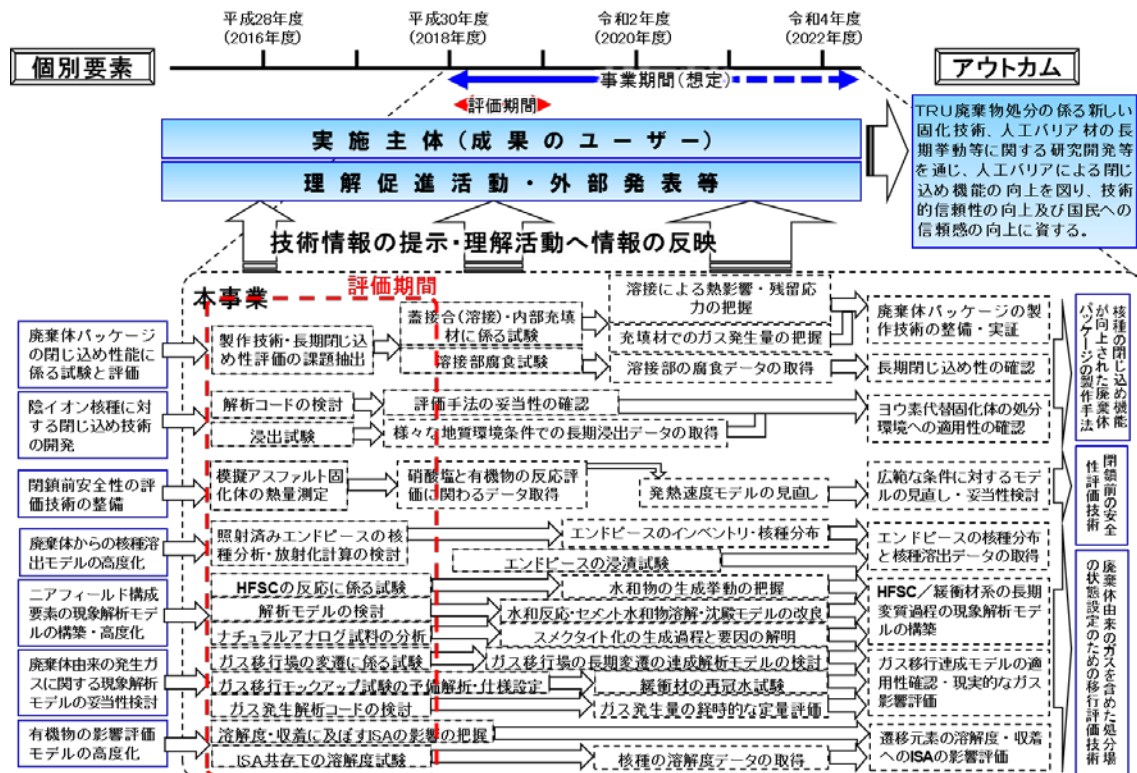
< 共通指標実績 >

論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ の作成
—	—	—	—	—	—	—

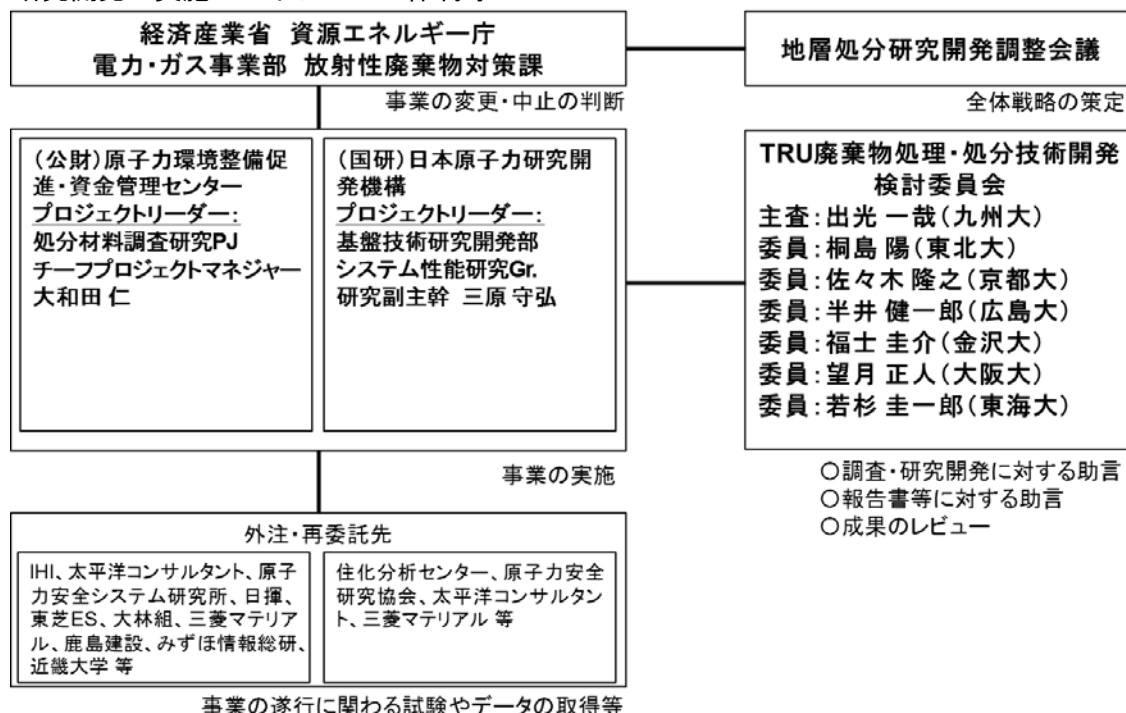
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省（国）が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には5.3億円の国費を投入している。今回の評価期間では、事業開始年度であり具体的な課題解決アプローチ等と今後に向けたデータ取得等が実施され、今後着実な成果が得られる見通しが得られており、妥当であると考えられる。

⑫個別技術開発：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 定置した廃棄体の回収技術の実現性や信頼性を示す上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 課題解決の過程においては、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術が開発され、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成27年度）	計画： 事業終了時まで に41項目	実績：—
中間評価時（平成28年度）		実績：18項目 縦置き方式を対象として、検討・開発した廃棄体の回収技術の妥当性について提示した。
中間評価時（令和元年度）		実績：35項目 地下坑道における廃棄体の横置き PEM 方式を対象として、廃棄体の回収技術の構築に向け埋戻し材の除去装置や廃棄体の回収装置を試作すると共に、坑道開放状態を継続した場合の、坑道健全性の評価に向けた方法論を検している。
終了評価時（令和3年度；予定）		実績：—項目

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

将来世代に対し高レベル放射性廃棄物の処分方法の選択肢について柔軟性を持たせる等、可逆性・回収可能性に関する最終処分政策への反映に資することを目的として、図2. A-36のスケジュールを基本とし我が国における可逆性・回収可能性の概念の検討、地下環境での技術の実証的な整備を進める。また、理解促進活動として廃棄体回収装置の公開等を実施する。

項目	H27	H28	H29	H30	H31
全体計画 とりまとめ					とりまとめ
試験設備の整備	設計・製作・地上での試験				
地下での実証試験		坑道の整備		地下での試験	
地層処分実規模試験施設の運営	試験の公開 施設の維持管理				
R&Rの確保に向けた論点整理	R&R検討会		とりまとめ		
回収可能性の維持の定量化					
回収の容易性					

図2. A-36 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ 廃棄体の回収技術の実証の準備として、幌延深地層研究センターの深度 350m を活用して、横置き PEM 方式を対象として、搬送装置、定置装置、除去装置の試験と制作を行い、装置や方法を示した（図 2. A-37）。
- ・ 坑道を解放した状態にした場合の影響を定量化する手法を整備した（図 2. A-38）。
- ・ また、地層処分実規模試験施設の一般開放、試験の公開を通じた理解促進活動を継続して実施し、施設開館からの延べ来館者数は 54,619 人（平成 22 年 4 月 28 日開館～平成 31 年 3 月 31 日）となった。



図 2. A-37 横置き PEM 方式で定置された模擬廃棄体の回収技術に係る検討状況

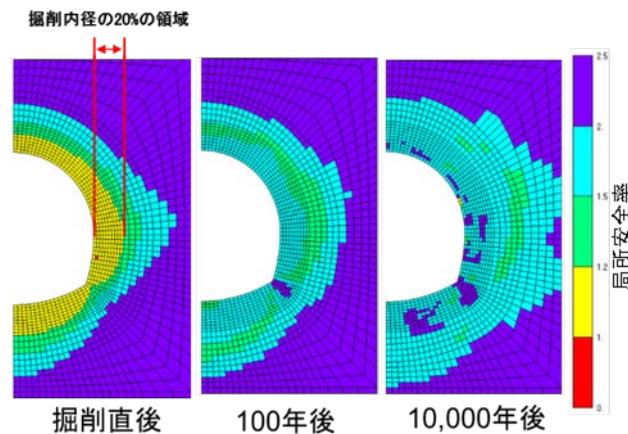


図 2. A-38 解放状態を維持した場合の坑道安全性の評価の例
（試行的に局所安全率の長期変化を定量化したもの）

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成27年度）	計画： 事業終了時までに 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：4件 縦置き方式を対象に緩衝材除去装置を開発し除去実証試験により技術的実現性等を確認した。
中間評価時（令和元年度）		実績：23件 横置き PEM 方式を対象として、回収前の廃棄体の設置技術（模擬廃棄体の埋戻しや埋戻した材料の品質検証方法）を検討し、必要な技術を開発した。
終了評価時（令和3年度）		実績：－

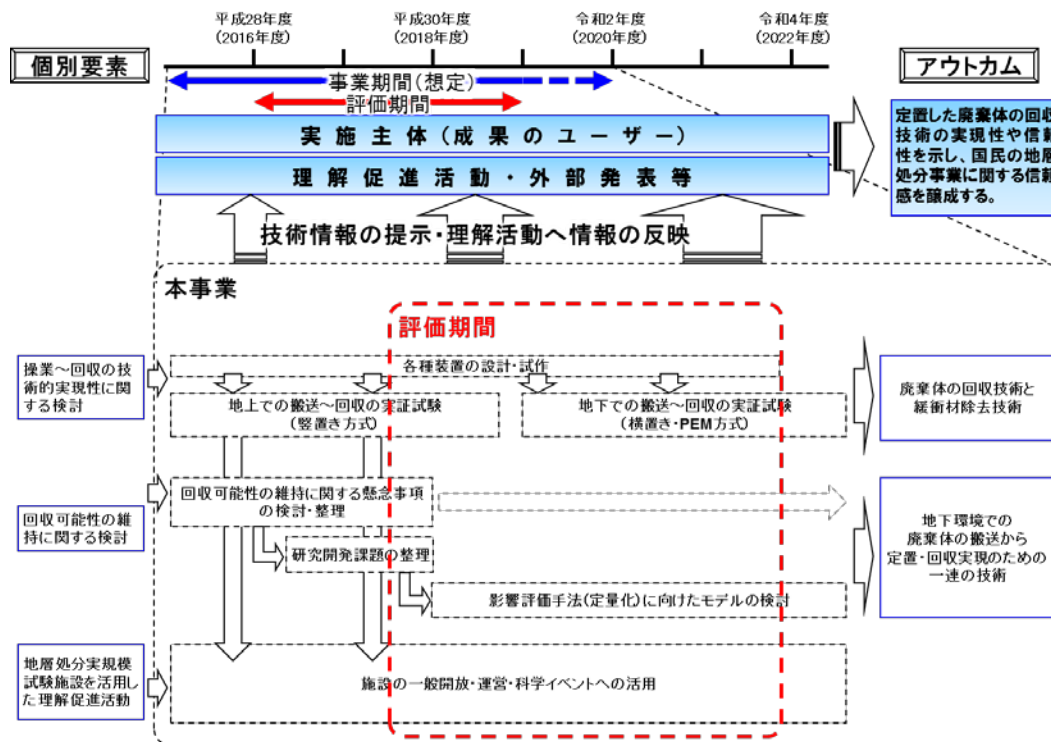
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイ プの作成
0	—	0	—	—	—	—

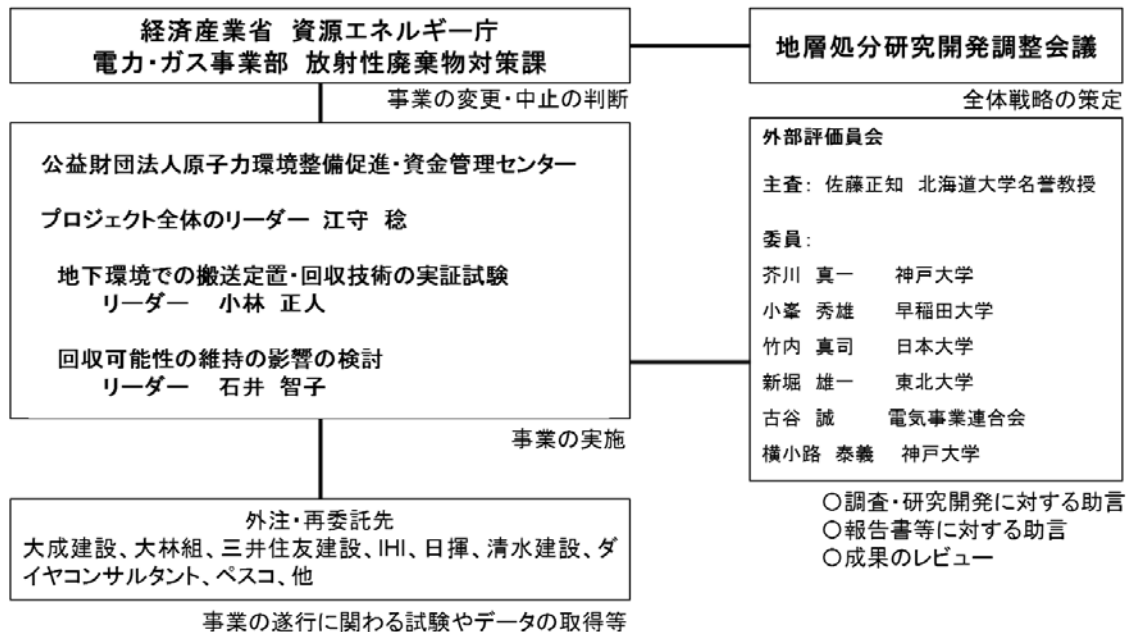
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省（国）が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には15.7億円の国費を投入している。その中で、23件の国内外への外部発表等が実施されており、アウトプット・アウトカムと照らし合わせても妥当であると考えられる。

⑬個別技術開発：直接処分等代替処分技術開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 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上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術開発・知見となり、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画：事業終了時まで に80項目	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：63項目 直接処分システムの閉じ込め機能向上や閉じ込め性評価手法の高度化に資する知見整備、レファレンスケースに対する処分施設設計を実施するとともに、超深孔処分を含む代替処分方式に関する調査を実施した。
終了評価時（令和元年度）		実績：80項目 直接処分システムの閉じ込め性能向上や閉じ込め性評価手法の高度化のための代替材料の見通しや評価手法等の提示、我が国の使用済み燃料特性等に対応した処分施設仕様の例示、超深孔処分に関する海外の検討状況や掘削技術動向等の調査・整理と課題抽出を実施した。

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

将来的な政策の柔軟性を確保する観点から、図2．A－39のスケジュールに基づき、使用済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実施した。

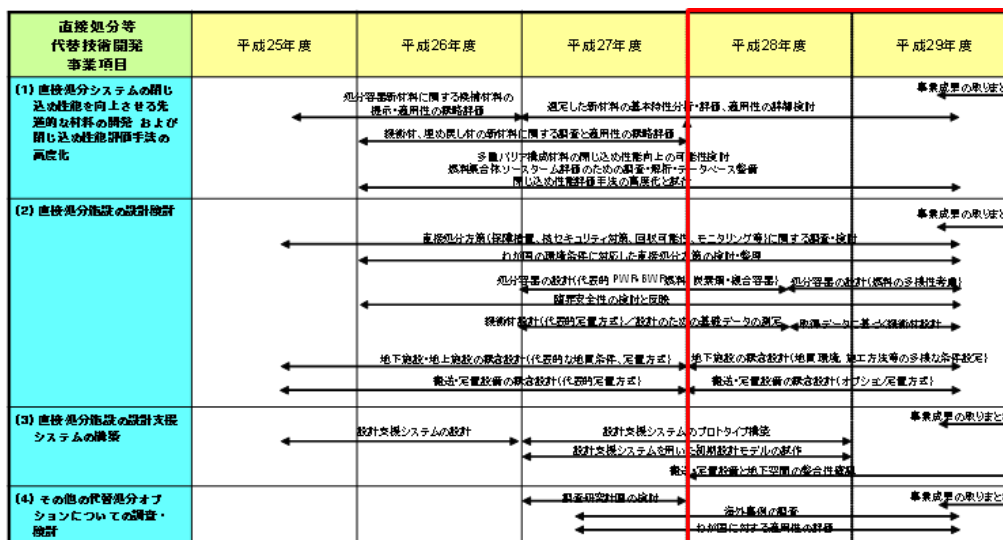


図2．A－39 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ 閉じ込め性能の向上を目的として、新材料候補を検討し Ni 基合金が最も有望であるとの見通しを得た。
- ・ 日本の使用済燃料や地下環境を考慮して、処分容器、緩衝材、地下施設等の設計仕様を例示した（図 2. A-4 0）
- ・ 代替処分オプションとして超深孔処分の海外事例調査を行い（図 2. A-4 1）、日本へ適用する場合の課題として、超深部の状況把握、地形条件、地温の条件などを明らかにした。

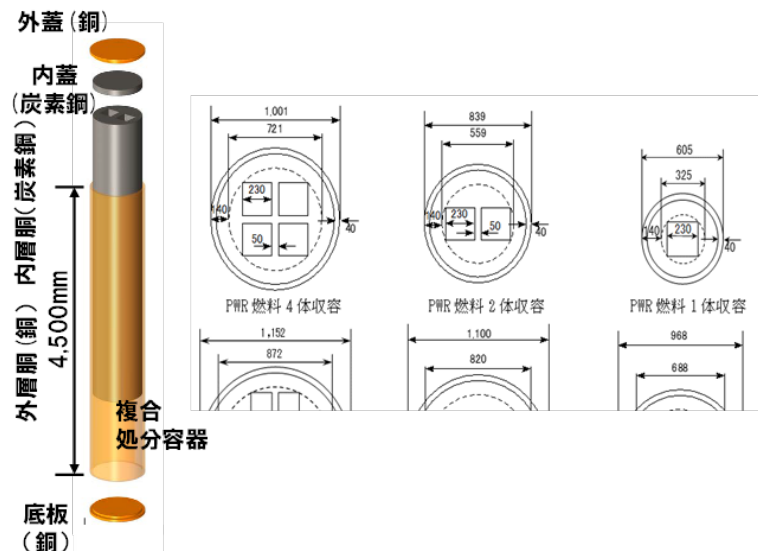


図 2. A-4 0 直接処分容器の設計例

- 処分領域および閉塞領域の対象母岩は、均質な結晶質岩（花崗岩）であること
- 結晶質岩の上限面分布深度が 2 km 未満であること
- 地熱流速が 75 mW m^{-2} 未満であること
- 地下深部の応力状態に異方性が認められないこと
- 深部の地下水循環を避けるため、地形の傾斜が 1° 以上の地点まで約 100 km 以上離れており、処分領域の基盤岩と地表面の間に帯水層が存在しないこと
- 形成年代が古く、高塩分濃度で還元性の地下水が地下深部に分布すること
- 規模が大きい鉛直のせん断帯や高透水性を示す構造などが存在しないこと
- 岩体中に第四紀に形成された著しい変質が生じていないこと
- 対象岩体中に歴史地震の記録がないこと
- 第四紀の断層や火山活動から 10 km 以上離れていること
- 利用可能な天然資源が分布しておらず、石油備蓄基地や市街地から離れていること

図 2. A-4 1 超深孔処分におけるサイト選定条件（米国の例）

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：16件 炭素鋼腐食のメカニズムの解析（土壌微生物群集の影響）結果等を公表
終了評価時（令和元年度）		実績：33件（合計） 使用済燃料からの核種溶出挙動についての既存事例の調査・集約結果等を公表

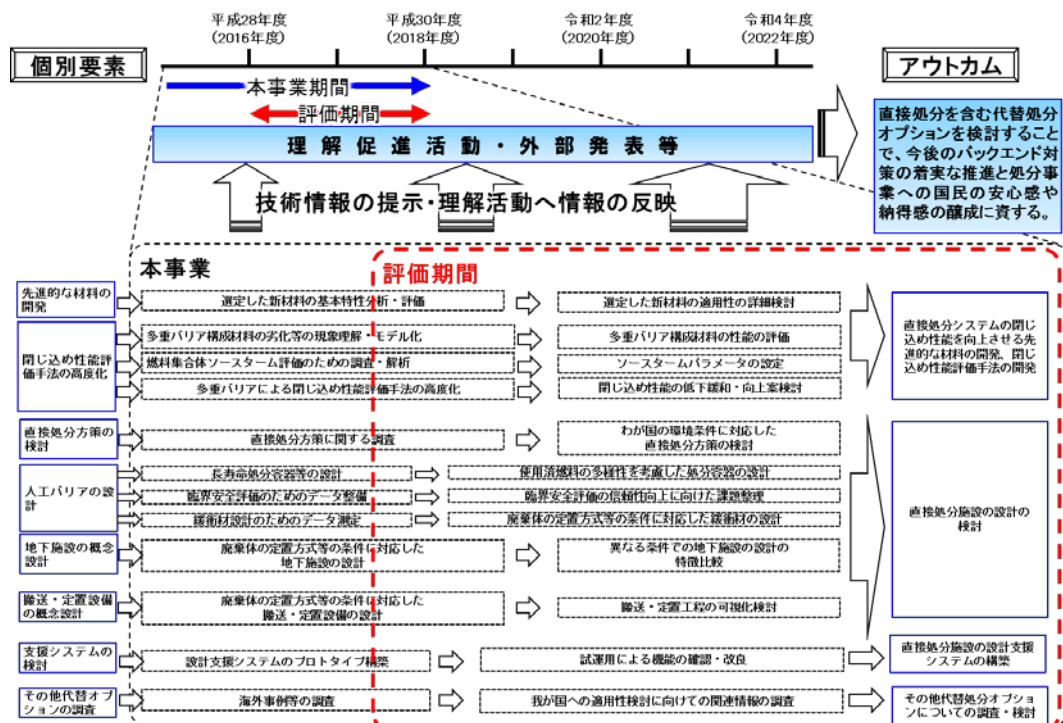
< 共通指標実績 >

論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ作成
4	—	—	—	—	—	1

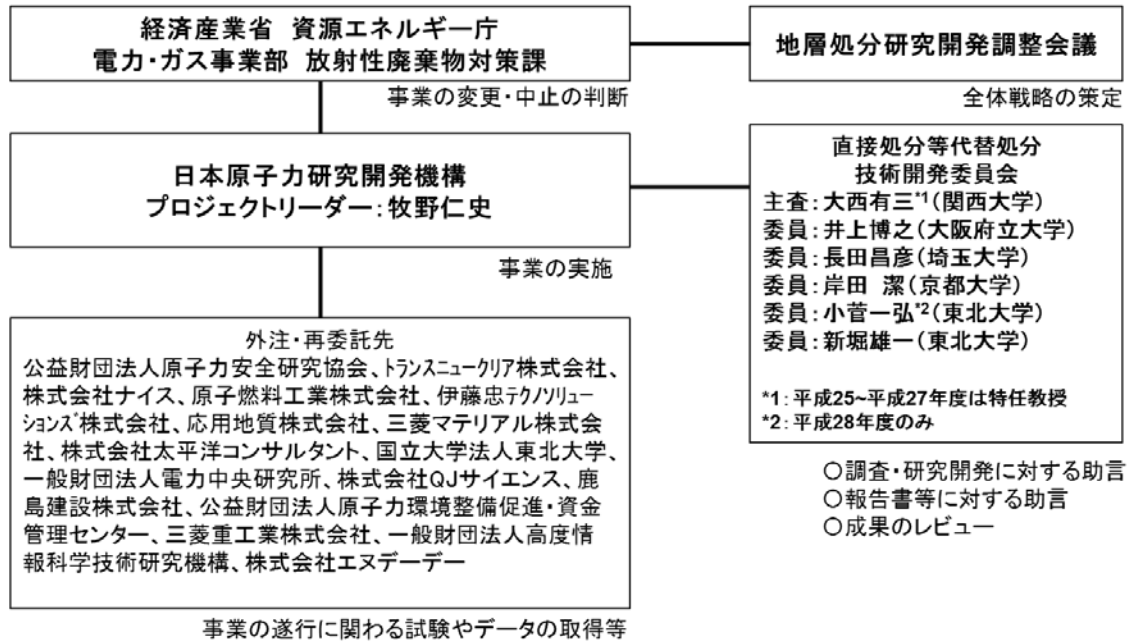
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には4.9億円の国費を投入している。その中で17件を国内外に外部発表を実施しており、アウトプット・アウトカムと。照らし合わせても妥当であると考えられる。

⑭個別技術開発：直接処分等代替処分技術高度化開発

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 使用済燃料の直接処分の実現可能性に関する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実施する上で必要な検討項目数。		
【設定理由・根拠等】 着実に各検討項目を実施することで、信頼性のある技術開発・知見となり、これが地層処分に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時まで に30項目	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：6項目 直接処分容器の腐食、臨界安全性、使用済み燃料の溶解に影響を及ぼす重要な因子に重点を置いた詳細なデータ拡充等に着手した。また、保障措置・核セキュリティに関する最新情報を整理した。代替処分オプションのひとつである超深孔処分については、我が国への適用性の検討において重要となりうる因子を抽出した。
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：一項目

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

【概要】

使用済燃料の直接処分に係る人工バリア成立性の信頼性向上のために、図2．A－42のスケジュールを基本として、廃棄体定置後の過渡的な時期から閉鎖後長期にわたる期間を対象に、ニアフィールド（人工バリアとその近傍の岩盤）環境の長期変遷を考慮したより現実的な評価技術を整備する。

直接処分等代替処分技術高度化開発	平成30年度	平成31年度
(1) 処分容器の挙動評価	国内外の関連情報の収集・分析	
	(予察試験・短期試験)	腐食試験実施、データ解析
	(種々の因子影響確認試験等)	
	現実的な材料配置を想定した臨界評価のモデル化で重要となる知見等の収集・分析	予察的解析等による臨界評価事例の蓄積
(2) 使用済燃料、緩衝材の挙動評価	ウラン酸化物溶解速度測定試験	
	ウラン酸化物溶解度測定試験	
	瞬時放出挙動に関する調査検討	瞬時放出挙動実測データ取得のための作業環境整備に関する検討等
	銅-緩衝材相互作用試験・分析	
(3) 直接処分システムの成立性の多角的な確認	国内外の最新情報の収集・分析	
	システム成立性の信頼性向上で重要となる課題の抽出	
(4) その他の代替処分オプションについての調査	国内外の最新情報の収集・分析	
	超深孔処分の性能に影響する因子の抽出、影響の定量的把握	

図2．A－42 全体スケジュール

【主な成果】

- ・ 諸外国における直接処分の処分容器の材料である銅、及び場所によっては日本の地下水に多く含まれる硫化物に着目し、硫化物濃度と純銅の反応速度の関係を定量化した（図2. A-4 3）。
- ・ 日本の地下水における炭酸濃度に着目し、炭酸濃度とウラン酸化物の溶解速度の関係を定量化した（図2. A-4 4）
- ・ 核セキュリティ・保障措置等に関する諸外国の情報を整理した。

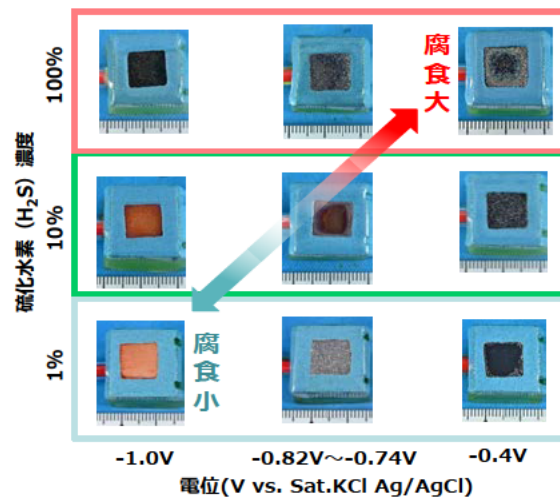


図2. A-4 3 銅の腐食挙動への硫化物濃度と酸化還元性*の影響（硫化銅の皮膜形成の確認）

*：電気化学試験の電位として設定

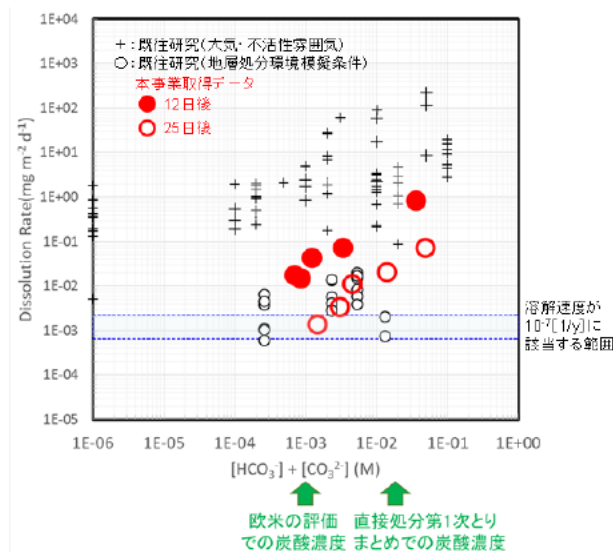


図2. A-4 4 ウラン酸化物の溶解速度への炭素濃度の影響

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標

【指標】

事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数

【設定理由・根拠等】

各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。

指標目標値

事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時まで 複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：7件 CIM の概念を取り入れた処分システムの設計支援システムのプロトタイプの開発結果等を公表
終了評価時（令和4年度；予定）		実績：－

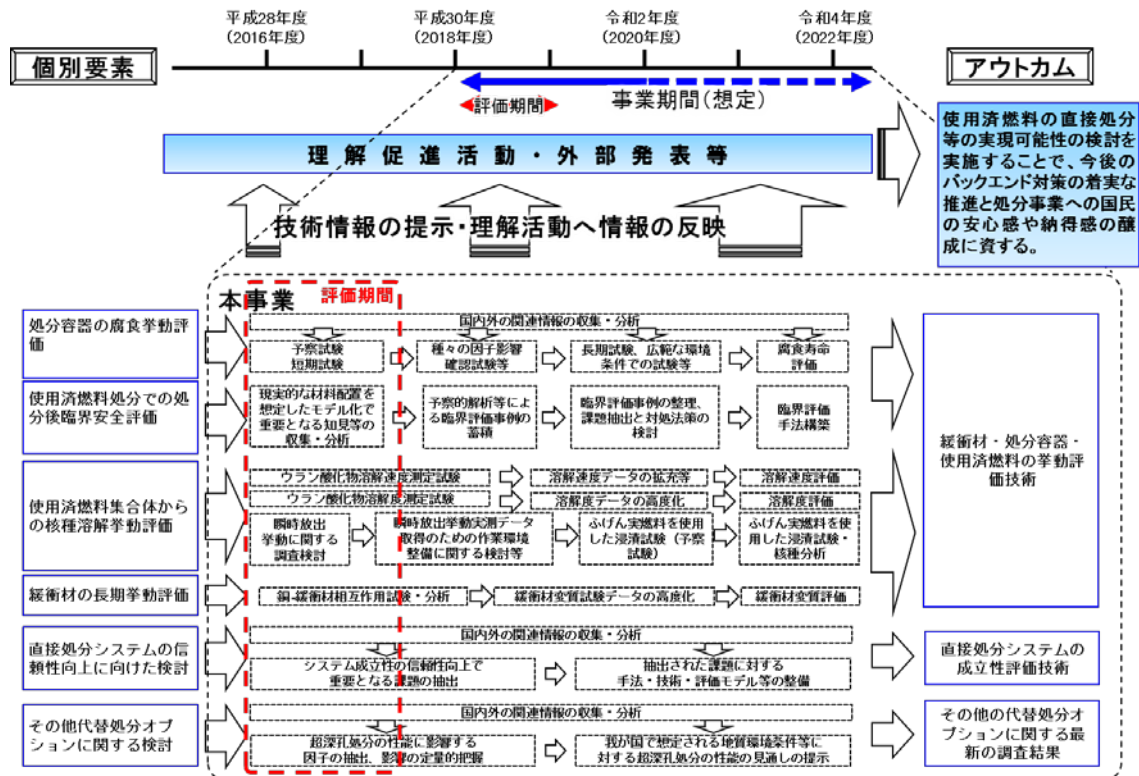
<共通指標実績>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイ プの作成
2	—	—	—	—	—	—

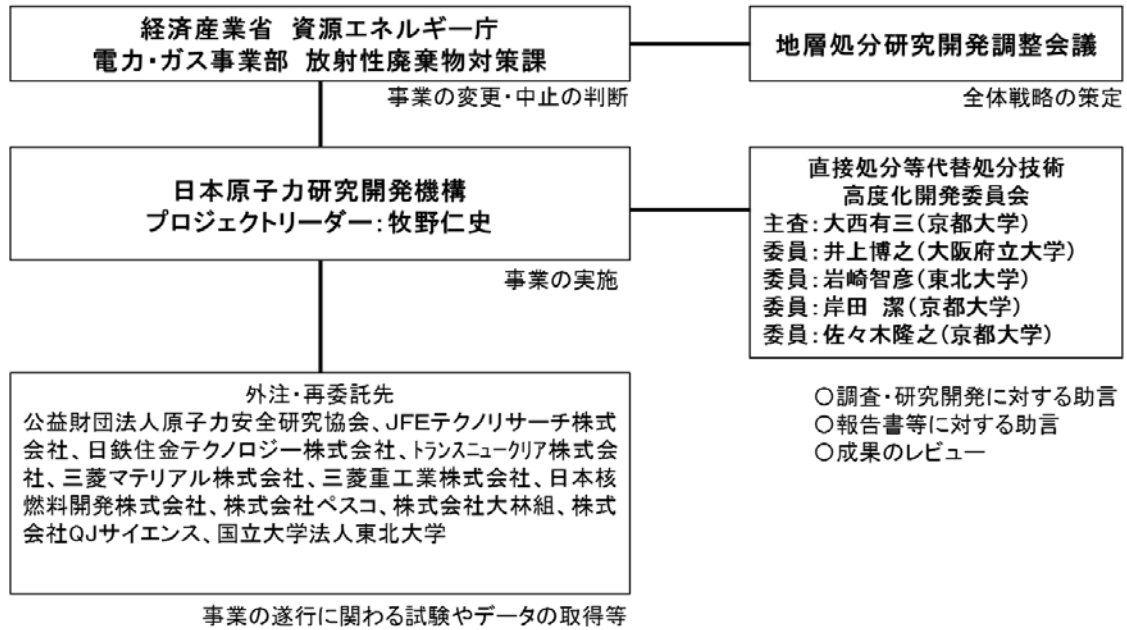
3. 当省(国)が実施することの必要性

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の3. 当省(国)が実施することの必要性」の通り。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

「資料6 第1章 I. 複数プログラムの概要の6. 費用対効果」の通り、当該技術開発には1.6億円の国費を投入している。その中で、開始年度であるが国内外に向けて7件の外部発表を実施しており、アウトプット・アウトカムと照らし合わせても妥当であると考えられる。