

# 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

令和2年2月19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

# 目次

## 1. 複数課題プログラムの概要

- 1.1 放射性廃棄物関連分野複数課題プログラムの概要
- 1.2 事業アウトカム
- 1.3 事業アウトプット
- 1.4 当省(国)が実施することの必要性
- 1.5 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
- 1.6 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等
- 1.7 費用対効果
- 1.8 前回中間評価結果
- 1.9 外部有識者の評価等

## 2. 研究開発課題(プロジェクト)の概要

- 2.1 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発(旧:地層処分技術開発)
- 2.2 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発(旧:管理型処分技術調査)
- 2.3 放射性廃棄物共通技術調査

### 【2章節内の共通項目】

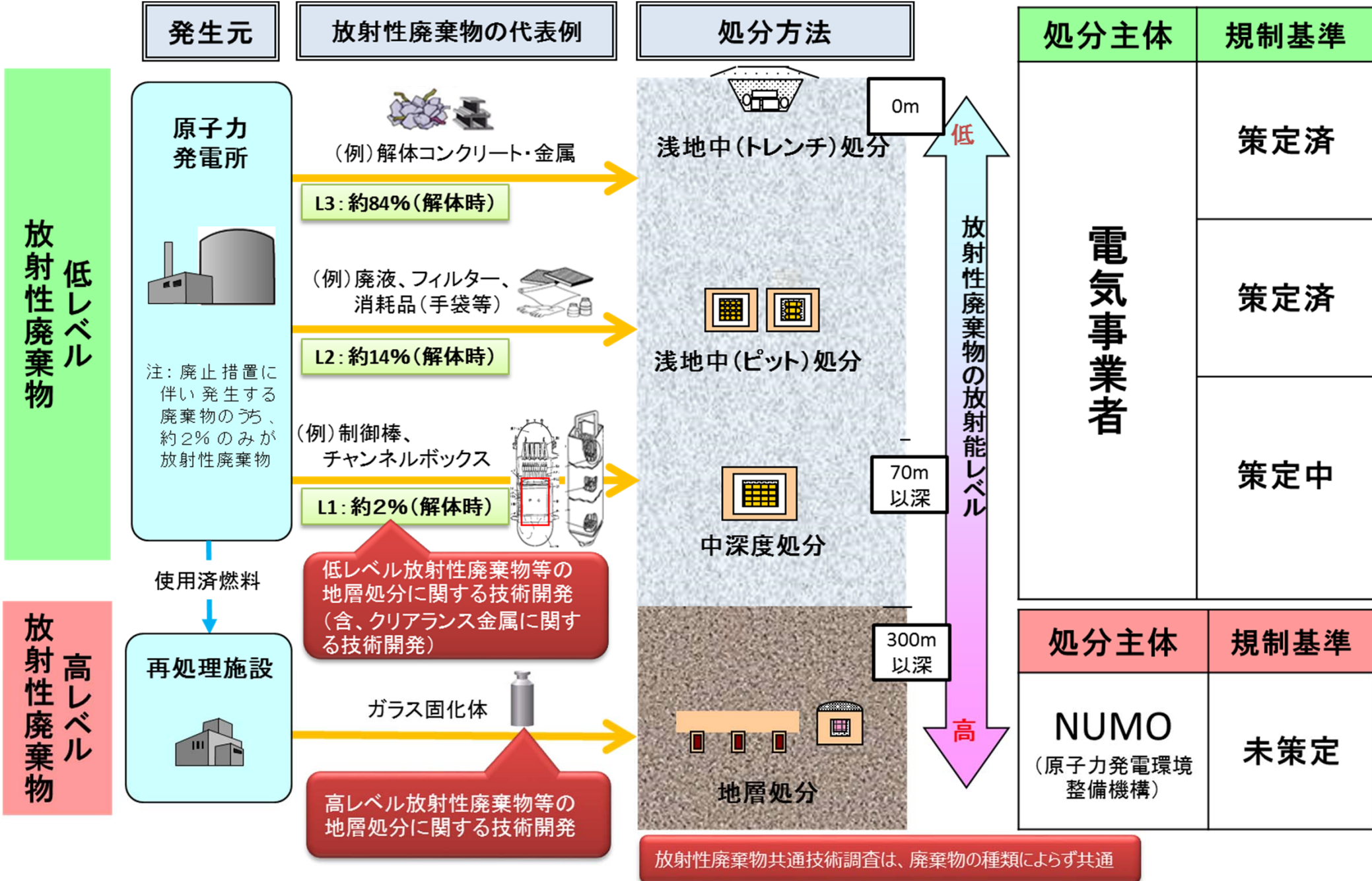
- (1) 事業の概要
- (2) 事業アウトカム
- (3) 事業アウトプット
- (5) 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
- (5) 研究開発の実施・マネジメント体制等

\*「当省(国)が実施することの必要性」及び「費用対効果」は、1.4節及び1.7節で説明しているため省略

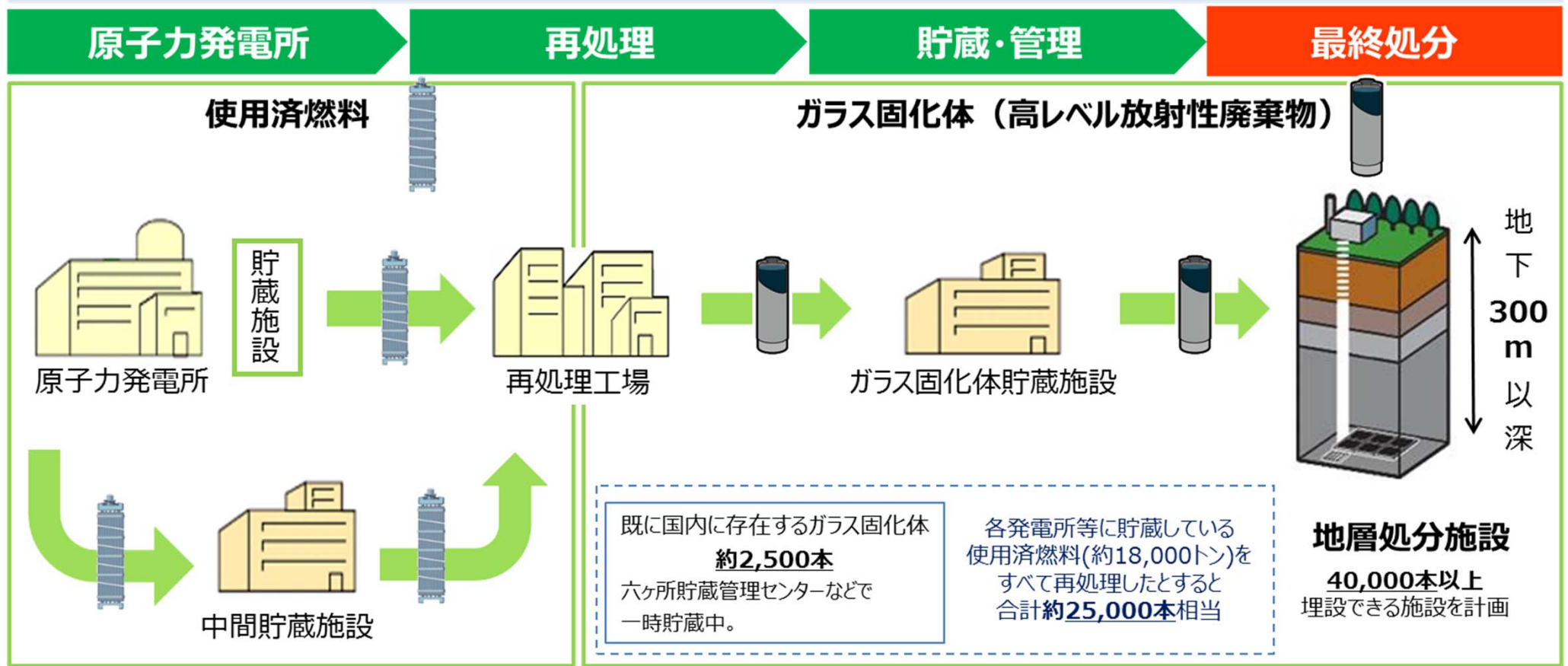
# 1. 複数課題プログラムの概要

# 1. 1 放射性廃棄物処分関連分野(複数課題プログラム)の概要

<p>プログラムの概要</p>	<p>放射性廃棄物の着実な処分の実施、処分候補地選定の推進や安全性の向上を通じた国民の地層処分に対する納得感や安心感の向上・醸成を目的として、処分事業の推進に必要な基盤技術(調査技術や評価技術)の整備及び高度化を実施する。これらを通じて、放射性廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進と着実な処分の実施を推進する。</p>
<p>実施期間</p>	<p>平成10年度～令和4年度(高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発)          昭和62年度～令和6年度(低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発)          平成12年度～平成29年度(放射性廃棄物共通技術調査)</p>
<p>評価期間</p>	<p>平成28年度～平成30年度(3年間)</p>
<p>各プロジェクトの          予算執行額          /          実施主体等</p>	<p>複数課題プログラム総執行額(3年間合計): 118.8億円</p> <p>(1) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発(委託)          105.2億円(平成28年度:28.8億円、平成29年度:41.0億円、平成30年度:35.4億円)          ・実施主体          日本原子力研究開発機構、産業技術総合研究所、電力中央研究所、原子力環境整備促進・資金管理センター</p> <p>(2) 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発          6.0億円(平成28年度:2.2億円、平成29年度:2.1億円、平成30年度:1.7億円)          ・実施主体          原子力環境整備促進・資金管理センター、神戸製鋼所、日本製鋼所</p> <p>(3) 放射性廃棄物共通技術調査          7.6億円(うち、平成28年度:2.8億円、平成29年度:2.6億円、平成30年度:2.2億円)          (うち、評価対象事業は、平成28年度:0.9億円、平成29年度:0.8億円)          ・実施主体          量子科学技術研究開発機構</p>



- 原子力発電により発生した使用済燃料は、資源として利用できるウランとプルトニウムを回収し（**再処理**）、残った長半減期の放射性物質を含む廃液はガラス原料と高温で溶かし合わせて固化します（**ガラス固化体**）。
- 放射能が高く発熱を伴うガラス固化体は30～50年程度、冷却のために貯蔵・管理した後で最終処分します。具体的には、地下深部の安定した岩盤に埋設します（**地層処分**）。



※日本原子力研究開発機構（JAEA）の研究施設から発生したガラス固化体、及び上記の再処理の際に発生するTRU廃棄物のうち放射能レベルが一定以上のもの（地層処分対象TRU廃棄物）も、同様に地層処分の対象となります。

※六ヶ所再処理工場は2021年度上期竣工予定（実用化に向けた試験は実施済で、現在、原子力規制委員会の審査中）。

- 日本においても、原子力発電の利用が開始される1966年よりも前から、高レベル放射性廃棄物の処分方法についての検討が開始されてきました。
- 1970年代からは、様々な専門分野の知見を取り入れて、地層処分の研究が進められ、**日本において地層処分は、技術的に実現可能**であることを国内外の専門家により確認されています。

1962年：原子力委員会報告書 **放射性廃棄物の処分方法の検討開始**

1966年：**原子力発電の利用開始**

1976年：原子力委員会決定 地層処分研究スタート

1999年：核燃料サイクル開発機構（現JAEA）研究開発成果「第2次取りまとめ」

**日本において地層処分は技術的に実現可能であることを国内外の専門家により確認**

2000年：**最終処分法制定**

事業主体としてNUMO（原子力発電環境整備機構）設立

2015年：最終処分に関する基本方針改定

- 現世代の責任として、地層処分に向けた取組を推進する
- 科学的により適性が高いと考えられる地域を提示するなど、国が前面に立って取り組む 等

2017年：科学的特性マップの公表

**地層処分に関する地域の科学的特性を一定の要件・基準に従って客観的に整理**

2018年：NUMO包括的技術報告書のレビュー開始

日本の地質環境で安全な地層処分を実現するための技術的な取組の最新状況を提示

### （1）現世代の責任と将来世代の選択可能性

- 廃棄物を発生させてきた現世代の責任として**将来世代に負担を先送りしない**よう、地層処分に向けた対策を確実に進める。
- 基本的に**可逆性・回収可能性**を担保し、将来世代が最良の処分方法を選択可能にする。幅広い選択肢を確保するため**代替オプション**を含めた技術開発等を進める。

### （2）全国的な国民理解、地域理解の醸成

- 最終処分事業の実現に貢献する地域に対する**敬意や感謝**の念や社会としての利益還元の必要性が広く国民に共有されることが重要。
- 国から全国の**地方自治体**に対する情報提供を緊密に行い、丁寧な対話を重ねる。

### （3）国が前面に立った取組

- 国が科学的により適性が高いと考えられる地域（**科学的有望地**）を提示するとともに、理解活動の状況等を踏まえ、調査等への理解と協力について、関係地方自治体に**申入れ**を行う。

### （4）事業に貢献する地域に対する支援

- 地域の主体的な合意形成に向け、多様な住民が参画する**「対話の場」**の設置及び活動を支援する。
- 地域の持続的発展に資する**総合的な支援措置**を検討し講じていく。

### （5）推進体制の改善等

- 事業主体である**NUMO**（原子力発電環境整備機構）の体制を強化する。
- 信頼性確保のために、**原子力委員会**の関与を明確化し、継続的な評価を実施する。**原子力規制委員会**は、調査の進捗に応じ、安全確保上の考慮事項を順次提示する。
- 使用済燃料**の貯蔵能力の拡大を進める。



○ 2017年7月28日 経済産業省HPで公表

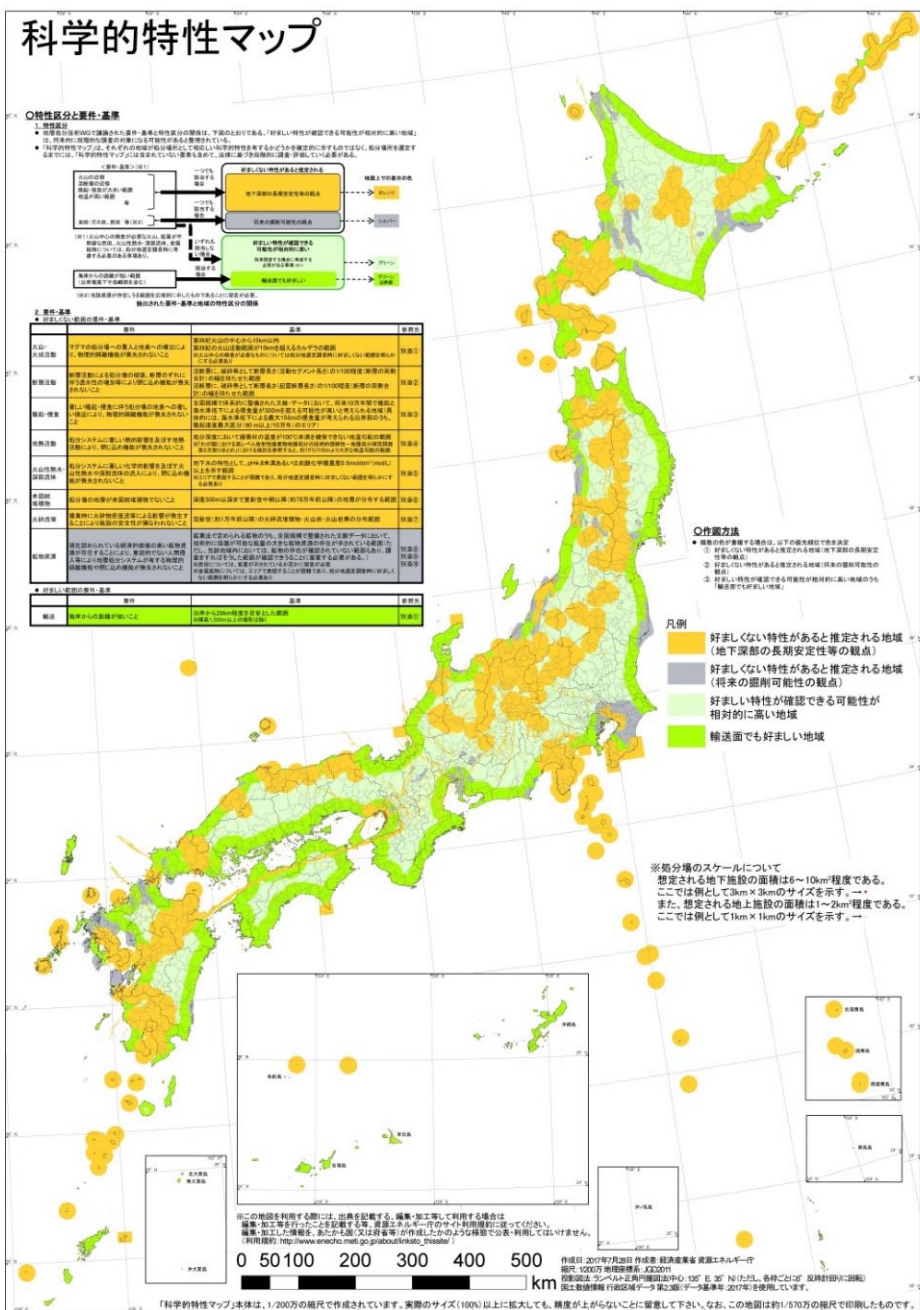
○ 日本全国の地域特性を4区分（色）で示す

○ 日本全国に占める面積割合

- オレンジ : 約 30%
- シルバー : 約 5%
- グリーン : 約 35%
- グリーン沿岸部（濃いグリーン） : 約 30%

○ 地域特性区分に一部でも含まれる自治体数

- オレンジ : 約 1,000
- シルバー : 約 300
- グリーン : 約 900
- グリーン沿岸部（濃いグリーン） : 約 900



注記：「科学的特性マップ」本体は、1/200万の縮尺で作成（約90cm×約120cm）

- 最終処分の実現には、国民全体での理解が不可欠。国が前面に立って取り組むべく、2017年に科学的特性マップを公表。それ以降、全国各地で対話活動を実施中。
- 最終処分法に基づく処分地選定プロセスにおける、文献調査を初めとした各段階の調査は、次の段階に進むかどうかの判断材料を提供するもの。この処分地選定調査を複数地域で受け入れていただけるよう、一歩ずつ着実に取り組んでいるところ。



- 昨年5月以降は、「対話型全国説明会」として開催。昨秋以降は、**グリーン沿岸部を中心に都道府県庁所在地以外**の都市も含めて、全国できめ細やかな対話活動を開催中。
- これまでに**全国61会場で開催**し、1231名に参加いただいた（平均1会場あたり約20名）。開催に合わせて、会場及び周辺自治体を訪問し、周知を図ること等を通じて、**7割以上の会場で自治体職員の方にも傍聴いただいた。**

## 2018年

5/10 (木) 夜 大阪府大阪市	6/30 (土) 昼 高知県高知市	7/31 (火) 昼 福井県福井市	11/10 (土) 昼 京都府綾部市
5/17 (木) 昼 茨城県水戸市	7/1 (日) 昼 千葉県千葉市	8/1 (水) 昼 滋賀県大津市	11/18 (日) 昼 兵庫県豊岡市
5/19 (木) 昼 島根県松江市	7/8 (日) 昼 愛知県名古屋市	---↓県庁所在地以外も含めた開催---	11/18 (日) 昼 山口県下関市
5/20 (日) 昼 鳥取県鳥取市	7/9 (月) 昼 北海道札幌市	10/13 (土) 昼 石川県七尾市	11/21 (水) 夜 高知県四万十市
5/25 (金) 夜 兵庫県神戸市	7/14 (土) 昼 青森県青森市	10/13 (土) 昼 鳥取県米子市	11/26 (月) 夜 秋田県能代市
5/26 (土) 昼 香川県高松市	7/15 (日) 昼 秋田県秋田市	10/14 (日) 昼 島根県浜田市	12/1 (土) 昼 京都府京丹後市
6/2 (土) 昼 沖縄県那覇市	7/21 (土) 昼 石川県金沢市	10/20 (土) 昼 熊本県八代市	12/8 (土) 昼 愛知県豊橋市
6/10 (日) 昼 富山県富山市	7/28 (土) 昼 群馬県前橋市	10/21 (日) 昼 岩手県釜石市	12/9 (土) 昼 静岡県浜松市
6/16 (土) 昼 徳島県徳島市	7/29 (日) 昼 新潟県新潟市	10/28 (日) 昼 岐阜県岐阜市	12/18 (火) 夜 神奈川県平塚市
6/17 (日) 昼 岡山県岡山市	7/30 (月) 昼 京都府京都市	11/1 (木) 夜 熊本県熊本市	

## 2019年

1/19 (土) 昼 長野県松本市	3/2 (土) 昼 愛媛県新居浜市	6/4 (火) 夜 北海道函館市	9/18 (水) 夜 北海道帯広市
1/19 (土) 昼 兵庫県姫路市	3/3 (日) 昼 愛媛県松山市	6/4 (火) 夜 三重県四日市市	9/26 (木) 夜 宮崎県延岡市
1/26 (土) 昼 大分県佐伯市	3/4 (月) 夜 宮城県白石市	6/19 (水) 夜 北海道北見市	9/28 (土) 昼 大阪府堺市
2/3 (日) 昼 岡山県倉敷市	3/9 (土) 昼 福岡県北九州市	8/22 (木) 夜 長崎県佐世保市	9/29 (日) 昼 島根県出雲市
2/4 (月) 夜 広島県広島市	3/10 (日) 昼 滋賀県長浜市	8/26 (月) 夜 北海道釧路市	
2/5 (火) 夜 佐賀県唐津市	3/14 (木) 夜 徳島県阿南市	8/27 (火) 夜 富山県高岡市	以降も順次開催を予定
2/13 (水) 夜 埼玉県熊谷市	5/22 (水) 夜 高知県安芸市	9/1 (日) 昼 広島県福山市	
2/15 (金) 夜 香川県丸亀市	5/26 (日) 昼 鹿児島県霧島市	9/7 (土) 昼 愛知県岡崎市	
2/16 (土) 昼 和歌山県新宮市	5/30 (木) 夜 北海道旭川市	9/8 (日) 昼 新潟県上越市	
2/24 (日) 昼 山形県鶴岡市	6/2 (日) 昼 山口県周南市	9/12 (木) 夜 福岡県久留米市	

- 参加者の多様な関心・質問にきめ細かく応えられるよう、**膝詰めの少人数質疑を充実**。付箋・模造紙も使い、相互に関連づけながらご説明するとともに、**説明資料やQ & A集を随時見直し**。
- 対話活動を重ねる中で、「科学的特性マップ」や「地層処分」そのものに関する意見・質問だけでなく、「**処分事業が地域にもたらすプラス・マイナス両面での社会的影響**」や、「**選定プロセスにおける地域住民の意見の反映方法**」、さらには、「**この地域の地質で、本当に安全な地層処分ができるのか**」、「**この地域に立地すると、どのような地域振興が図られるのか**」といった、地層処分事業を身近な問題として捉えていただいた上で、**より深く知ろうという観点からの具体的意見・質問**もいただいている。



膝詰めの少人数質疑で  
付箋・模造紙を使った議論

よくいただく質問への回答  
Q & A

1. エネルギー政策	
①日本の電力について	1
②原子力発電のコストについて	3
③原子力燃料サイクルについて	5
④再生可能エネルギーについて	7
⑤使用済燃料の貯蔵対策について	11
⑥原子力の利用と資源供給の観点について	12
⑦原子力に由来する放射性廃棄物の処分について	13
2. 地層処分の概要	
①地層処分概念の成立について	16
②地層処分と地上廃棄について	17
③地層処分について	18
④敷設作業について	19
3. リスクと安全管理	
①放射線の危険性について	20
②ガラス固化体の放射能について	22
③地下研究施設の地下水について	24
④プレートテクトニクスの影響について	25
⑤埋め戻し後の不具合の事例について	26
4. 科学的特性マップ	
①地層の選定について	27
②地層中に存在する害層について	30
③海城での処分について	31
④貯蔵・処分の条件・基準化について	32
⑤社会的制約の考慮について	33
5. その他	
①先行する公的処分事業について	34
②処分計画について	37
③廃材の処分について	39
④対話活動について	40

2019年5月

経済産業省 資源エネルギー庁 NUMO 原子力発電所等廃棄物機構

Q & A  
(よくいただく質問への回答)

### 見直しの例

- 最終処分方法としての地層処分への疑問（例：「原子力政策をきちんと見直すべき」「地層処分が良いのか疑問」）  
⇒よくいただく質問への回答で、エネルギー政策や他の処分方法との比較を説明
- 地域の関与や影響への声（例：「地域住民の意見はどう反映されるのか」「受け入れた地域の将来のイメージを伝えることが重要」）  
⇒諸外国における地域との対話活動や経済影響評価について、説明資料で紹介
- 地層処分の実現可能性について真摯で丁寧な説明が必要との声（例：「安全の根拠が薄い。しっかりとしたデータが欲しい。」「具体性に欠ける。市民の生活に沿ったわかりやすい資料が必要。」）  
⇒今後の改善事項として、より分かりやすいリスク・安全性の説明内容へと改善

- 国の審議会や対話型全国説明会などにおいて、当課事業の成果を活用。

### ① 地層処分に適した地下環境を選定する技術

- これまでに、**地下研究所等での研究成果を踏まえながら、地上から地下環境**（火山や断層の分布、地下水の流れ難さや水質等）を把握するための方法を整備してきた。
- 引き続き、地下環境をより精緻に把握する技術開発に取り組むとともに、**稀頻度事象の発生メカニズムの理解と、その発生する可能性を把握する方法の高度化**も進めていく（稀頻度事象（例：地震後に湧水が出るケースなど）であっても地層処分の安全性に影響を及ぼす可能性があるものを評価する方法を検討していく）

＜例＞  
調査用の船  
遠海域での調査（表：塩水、底層）  
＞ 陸域や

### ② 処分場の設計・建設・埋戻し等の技術

- これまでに、**人工バリアの製作方法や材料の検討、廃棄体の回収方法の検討**等を行い、処分場の設計方法を整理・検討してきた。
- 今後は、**坑道が放射性物質の移動経路にならないような坑道閉鎖方法の整備、廃棄体の回収の迅速化、人工バリアと廃棄体をパッケージ化して処分する方法（PEM方式）の採用可能性の検討**を進めていく。

### ③ 長期の安全性を評価する技術

- これまで、**長期の安全性を評価するためのシミュレーション方法や、人工バリアの性能**（オーバーバックの寿命等）を把握するための評価方法を整備してきた。
- 今後は、これまで設定していた評価条件について、**実際の地下環境を踏まえて見直し、より実態に即した評価方法を再検討**していく。

＜オーバーバックの寿命の再評価＞  
※ NUMO 包括的技術報告書

69mmの余裕分が、還元性腐食等により失われるまで約1万7千年

① 酸化環境での腐食層	11mm以下
② 初期約1,000年間の腐食層	6mm以下
③ 水圧などへの耐圧に必要な厚さ	104mm以下
④ 放射線遮蔽に必要な厚さ	80mm以下

＞ これまでは、1,000年程度で腐食する（無くなる）と想定。  
＞ 最新の情報に基づき評価した結果、**約17,000年程度は機能が保持されることを確認**。

＜ひび割れ等を考慮して核種移行を評価する技術の整備＞

人工バリア  
廃棄体

ひび割れを考慮して核種の移行を評価

＞ これまでは、特定の特点が到来すると一律で人工バリアにひび割れできると想定。  
＞ 人工バリアの割れるタイミングについて、より現実的に評価できる手法を検討中。

29

よくいただくご質問への回答 Q&A

1. エネルギー資源  
 ① 日本の電力について ..... 1  
 ② 原子力発電の廃止について ..... 3  
 ③ 燃料サイクルについて ..... 5  
 ④ 再生可能エネルギーについて ..... 7  
 ⑤ 使用済燃料の最終処分について ..... 11  
 ⑥ 原子力の廃止と最終処分施設について ..... 12  
 ⑦ 廃炉に伴う放射性廃棄物の処分について ..... 13

2. 地層処分の概要  
 ① 地層処分施設の選定について ..... 16  
 ② 地層処分と地上存留について ..... 17  
 ③ 地層処分について ..... 18  
 ④ 安全管理について ..... 19

3. リスクと安全管理  
 ① 長期的対応について ..... 20  
 ② ガラス固化体の耐熱性について ..... 22  
 ③ 地下研究所での地下水について ..... 24  
 ④ プレートテクトニクスの変遷について ..... 25  
 ⑤ 地球の歴史の予備知識について ..... 26

4. 科学的特性マップ  
 ① 概要について ..... 27  
 ② 沿岸部における影響について ..... 30  
 ③ 海城での処分について ..... 31  
 ④ 陸域・地層の条件・留意点について ..... 32  
 ⑤ 社会的課題の考慮について ..... 33

5. その他  
 ① 行方不明の放射性廃棄物について ..... 34  
 ② 評価方法について ..... 37  
 ③ 過去の経緯について ..... 39  
 ④ 対応活動について ..... 40

2019年5月

経済産業省 資源エネルギー庁 NUMO 原子力規制庁

### ③ 海城での処分について

科学的特性マップでは一部の海城が色塗りされていますが、海城で処分する可能性があるのでしょうか。沿岸部で処分場を作る場合に海城の火山や断層は考慮しなくて良いのでしょうか。

A: 科学的特性マップでは、基本的には陸域を対象として作成しています。ただし、火山や活断層などの影響範囲が陸域から連続して海城にも及ぶ場合は、海城も色塗りの対象としています。

なお、放射性廃棄物の海への投棄や、海洋底処分についてはロンドン条約により禁止されていますが、陸域から海底に向かってアクセス斜坑を延ばし地下施設を作ることによって、沿岸海底も処分地として選択肢の一つとなり得る可能性もあります。沿岸部は概して地形の起伏が小さいこと、海底下では水面勾配がないことから、地下水の流れが極めて小さいといった長所があるため、沿岸海底下の処分も視野に入れています。

海城を含めた沿岸部において地層処分を実現するために必要な技術は概ね整備されていますが、塩水環境における各種データの拡充といった技術の高度化と信頼性の向上を進めるとともに、実際に処分地を選定する際には、マップに掲載されていない火山・断層の影響も含めて綿密に調査する必要があります。

沿岸部の特性や技術対応可能性

【沿岸部に期待される主な特性】

- 地下水の流れが極めて小さく、流動性が長期間にわたって低い場所を見出せる可能性。
- 飛散速度の小さい地域が比較的多い。

【沿岸部の考慮すべき事項】

- 海水準変動①や塩水（塩水境界②）の影響
- 在来の影響
- 建設・操業時の安全性（津波・湧水など）

① 1911年以降で観測された海面の高さの変化のこと  
 ② 塩水と淡水の密度差や温度差によって形成された境界

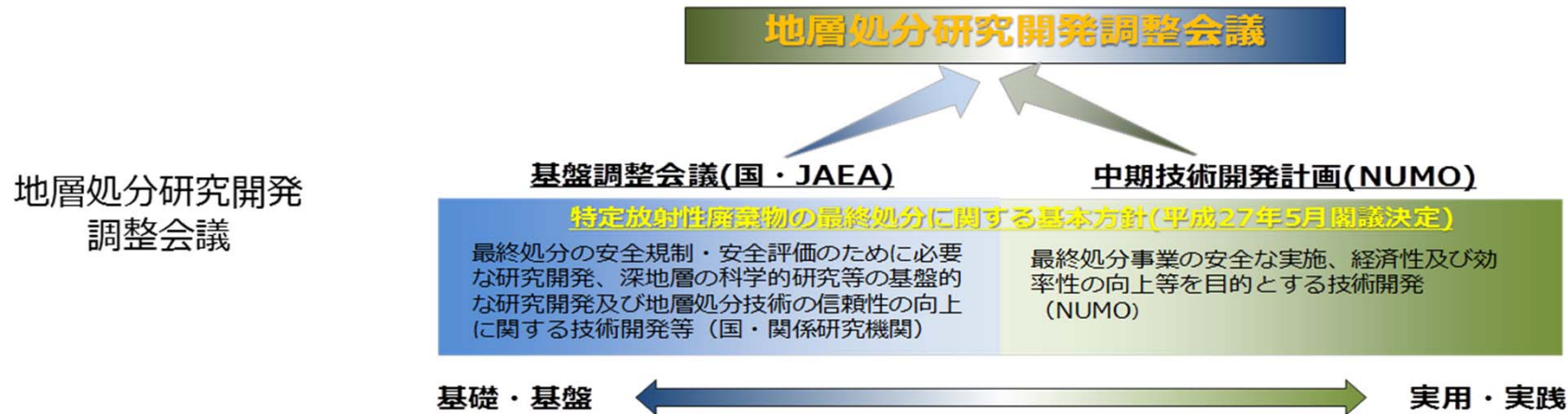
＞ 沿岸部で地層処分を行う場合に必要となる基本的な技術は概ね整備されており、段階的な処分地選定調査・工学的対策・安全評価を適切に行うことにより、沿岸部で安全に地層処分を行うことは技術的に可能と考えられる。

＞ ただし、今後も技術の高度化とデータ等の拡充に引き続き取り組むことにより、更に信頼性を高めることが重要。

審議会における技術開発成果の活用例

対話型全国説明会の「よくいただくご質問への回答Q&A」に成果を反映

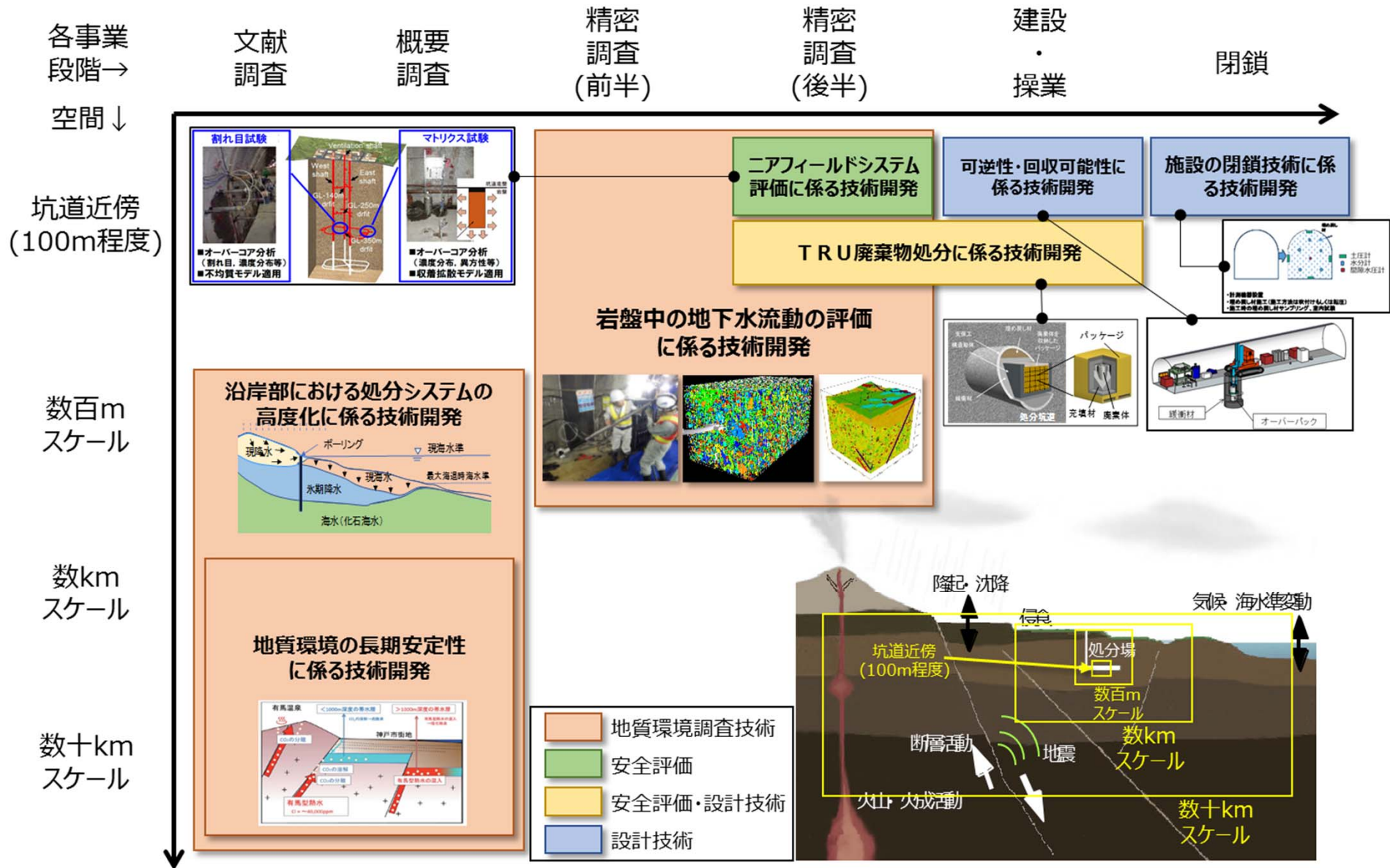
- NUMO、経済産業省、文部科学省、その他関連研究開発機関が参画する「地層処分研究開発調整会議」を平成29年度に設置し、NUMOを中心とした関係研究機関が、計画的かつ効率的に連携して取り組むよう、5年間の「地層処分研究開発に関する全体計画」を取りまとめました。



研究開発テーマの主な例

項目		研究開発テーマ等
地下環境選定技術	自然現象の影響	◆地層処分に <u>適した地下環境を評価する技術の高度化</u>
	地下環境の特性	◆沿岸部の地下深部の特性を把握する技術の整備 ◆地下水年代を指標とした地下水の動きを把握する技術の整備
設計・建設・埋戻し等の技術	人工バリア	◆最適な人工バリア材料の検討 (例：炭素鋼鋳鋼品・銅コーティングのオーバーパック)
	地上・地下施設	◆坑道の埋め戻し技術の整備
	回収可能性	◆回収技術の実証
長期安全性評価技術	シナリオ構築	◆実際の地下環境を踏まえた、より現実的な評価方法の整備
	パラメータ整備	◆核種移行データベースの整備 (特に、高炭酸地下水環境、沿岸海底下)
中長期的な重要事項	技術マネジメント 国際連携	◆国内外の関係機関等の連携促進 ・ 研究基盤の長期確保と、研究成果・人材の継承・発展を図る ・ 若手技術者を継続的育成。若年層が期待を持てる環境作り
	代替処分オプション	◆直接処分の処分概念及びその他の代替オプション (超深孔処分等) に関する調査研究

- ▶ 対象とする空間スケールや処分事業の段階ごとに大きく7つの課題に区分して処分技術の信頼性向上に関する技術開発を実施。



※直接処分に係る研究開発は、代替処分オプションとして事業段階等が無いことから上記とは別に我が国への適用可能性等について検討を実施している。

# 1. 2. 事業アウトカム(1/2)

- 本プログラムのアウトカムは、下記の各研究開発課題のアウトカムを統合し、放射性廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進と処分事業の円滑化を進めることである。

技術要素	アウトカム
<b>高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発</b>	
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 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	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)で統合的に評価可能な手法を提示することで、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。
③ 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。
④ 地質環境長期安定性評価技術高度化開発	火山や地震・断層活動などの天然現象に起因する地下環境の閉じ込め機能に対する懸念を解消するため、現在から将来に至る地下環境の長期安定性を予測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。
⑤ 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。
⑥ ニアフィールドシステム評価確証技術開発	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行い、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。
⑦ 処分システム工学確証技術開発	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等に資する。
⑧ 地層処分施設閉鎖技術確証試験	深地層の研究施設を活用し、坑道閉鎖時に坑道が核種の移行経路とならない埋め戻し方法の開発並びにその確証を得ることで、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。



# 1. 2. 事業アウトカム(2/2)

技術要素	アウトカム
⑨ 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納得感や安心感、技術に対する信頼感の醸成に資する。
⑩ TRU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醸成に資する。
⑪ TRU廃棄物処理・処分に 関する技術開発	TRU廃棄物における処分容器の耐久性評価手法、地下水に溶けやすく動きやすい核種を閉じ込める設計手法の高度化、廃棄物中の有機物の分解や金属の腐食などにより発生するガス影響評価手法等の開発を通じて、TRU廃棄物の処分の安全性に対する懸念を解消し、地層処分の技術的信頼性の向上及び国民の信頼感の醸成に資する。
⑫ 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対する信頼感の醸成に資する。
⑬ 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納得感や安心感の醸成に資する。
⑭ 直接処分等代替処分技術 高度化開発	使用済核燃料の直接処分における特有の現象に着目したデータ取得や影響評価手法の高度化、超深孔処分の日本への適用性を評価する手法の開発等を実施することで、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納得感や安心感の醸成に資する。
<b>低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発</b>	
① 地下空洞型処分施設機能 確認試験	中深度処分施設の技術的信頼性の向上に資する。また、施設の閉鎖後の長期的な管理に資する技術を提示し、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。
② 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及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の向上及び国民の納得感や安心感の醸成に資する。
<b>放射性廃棄物共通技術調査等事業</b>	
① 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に関するデータの拡充と、それに伴う人間への影響評価の精緻化により、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。

# 1. 3. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプット(1/2)

- 本プログラムでは、以下の個別要素技術の開発を進めることで、処分事業の推進に必要な基盤技術(調査技術や評価技術)の整備及び高度化を行う。

技術要素	アウトプット
<b>高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発</b>	
① 岩盤中地下水移行評価 確証技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 堆積軟岩を対象とした深層コントロールボーリング調査技術</li> <li>➤ 地下岩盤中の物質移行特性を評価するための技術</li> </ul>
② 岩盤中地下水流動評価 技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 内陸部の広域的な地下水流動を評価する技術</li> <li>➤ 内陸部の長期的に安定な水理場の広がりなどを評価する技術</li> <li>➤ 割れ目(帯)中の物質移動の特性を評価する技術</li> </ul>
③ 地質環境長期安定性評 価確証技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 地質環境の長期変遷評価モデルの構築手法</li> <li>➤ 地質環境に関する長期変遷モデルの作成・改良・検証に必要なデータを取得するための要素技術</li> </ul>
④ 地質環境長期安定性評 価技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 超長期における火山・火成活動や深部流体を評価する技術</li> <li>➤ 地震・断層活動を評価する技術</li> <li>➤ 隆起・侵食量を詳細に見積もる技術</li> </ul>
⑤ 処分システム評価確証技 術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 核種移行を評価するための先端的技術</li> <li>➤ 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</li> </ul>
⑥ ニアフィールドシステム評 価確証技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ニアフィールドの状態変化を評価する技術</li> <li>➤ ニアフィールドの個別要素(例えば緩衝材など)の状態変化を考慮した核種移行評価技術</li> </ul>
⑦ 処分システム工学確証技 術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 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</li> <li>➤ 無線等を活用したモニタリング関連技術</li> <li>➤ 自然災害に起因する火災に対する操業期間中の安全確保対策に関する基盤技術</li> </ul>
⑧ 地層処分施設閉鎖技術 確証試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 坑道閉鎖に係る品質保証方法の概念</li> <li>➤ 坑道埋め戻し後の性能確認技術</li> <li>➤ 坑道埋め戻し技術</li> </ul>

# 1. 3. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプット(2/2)

技術要素	アウトプット
⑨ 沿岸部処分システム高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 沿岸部に特化した地質環境の現地調査技術や沿岸部に係る地質環境データベース</li> <li>➢ 沿岸部で想定される環境に適用可能な工学技術</li> <li>➢ 沿岸部における高度化された安全評価技術</li> </ul>
⑩ TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ヨウ素 1 2 9 対策技術</li> <li>➢ 炭素 1 4 の長期放出挙動の評価技術</li> <li>➢ 人工バリア材料長期挙動評価手法</li> </ul>
⑪ TRU廃棄物処理・処分に関する技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 核種の閉じ込め機能が向上された廃棄体パッケージの製作手法</li> <li>➢ 閉鎖前の安全性評価技術</li> <li>➢ 廃棄体由来のガスを含めた処分場の状態設定のための移行評価技術</li> </ul>
⑫ 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 地上での廃棄体の回収技術と緩衝材除去技術</li> <li>➢ 地下環境で実証された廃棄体を搬送・定置・回収する技術</li> </ul>
⑬ 直接処分等代替処分技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 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</li> <li>➢ 閉じ込め性能評価手法</li> <li>➢ 直接処分施設の設計手法</li> <li>➢ その他の代替処分オプションに関する最新の調査結果</li> </ul>
⑭ 直接処分等代替処分技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 処分容器・使用済燃料・緩衝材の長期的な挙動評価技術</li> <li>➢ 直接処分システムの成立性評価技術</li> <li>➢ その他の代替処分オプションに関する最新の調査結果</li> </ul>
<b>低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発</b>	
① 地下空洞型処分施設機能確認試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 上部緩衝材及び上部埋め戻し材が初期性能を満たすことの確認手法</li> <li>➢ 施設・周辺岩盤の挙動の計測及び地震時の力学挙動データ</li> <li>➢ 機能確認技術</li> </ul>
② 原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ クリアランス金属廃棄物の再利用プロセスとその評価手法</li> </ul>
<b>放射性廃棄物共通技術調査等事業</b>	
① 放射性核種生物圏移行評価高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 気候変動を考慮した環境移行パラメータデータベース</li> <li>➢ 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度</li> <li>➢ 重要核種(Pu、Am、Th及びCl等)の超高精度分析による環境移行パラメータ</li> </ul>

## 1. 4. 当省(国)が実施することの必要性

- 原子力発電に伴い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。
- 地層処分や中深度処分で求められる安全確保や処分事業の長期間を踏まえれば、国としても先導性と継続性をもって技術的な信頼性向上に向けた基盤的な研究開発を着実に進め、国民の理解獲得と処分計画の着実な進展につなげていくことが重要。

### 参考：国の施策での位置づけ

#### (1) エネルギー基本計画（平成30年7月3日閣議決定）

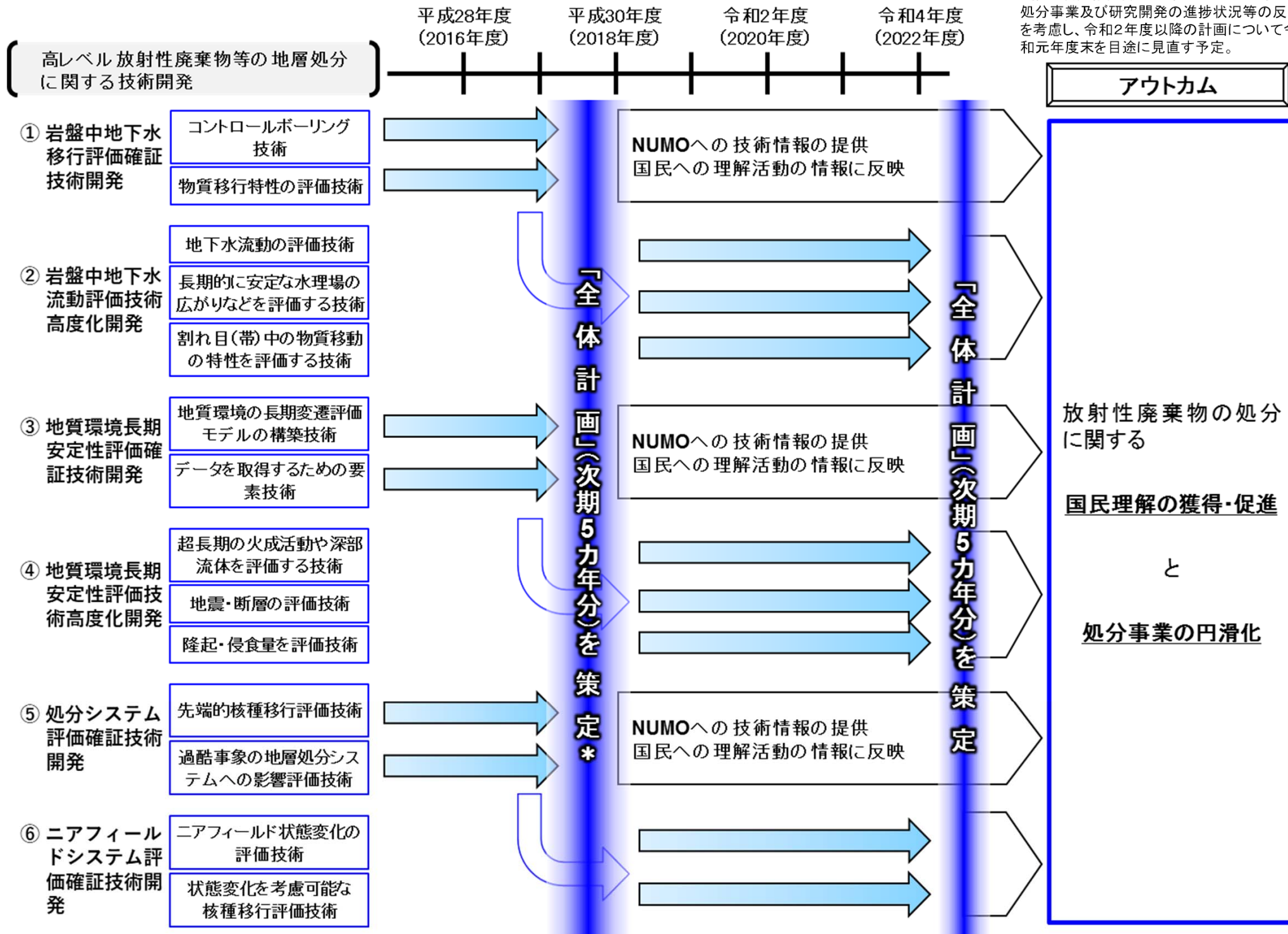
- ・ 地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、将来に向けて幅広い選択肢を確保し、柔軟な対応を可能とする観点から、使用済燃料の直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を着実に推進する。あわせて、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。
- ・ 廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処理・処分については、低レベル放射性廃棄物も含め、(中略)処分の円滑な実現に向け、国として、規制環境を整えるとともに、必要な研究開発を推進するなど、安全確保のための取組を促進する。

#### (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。

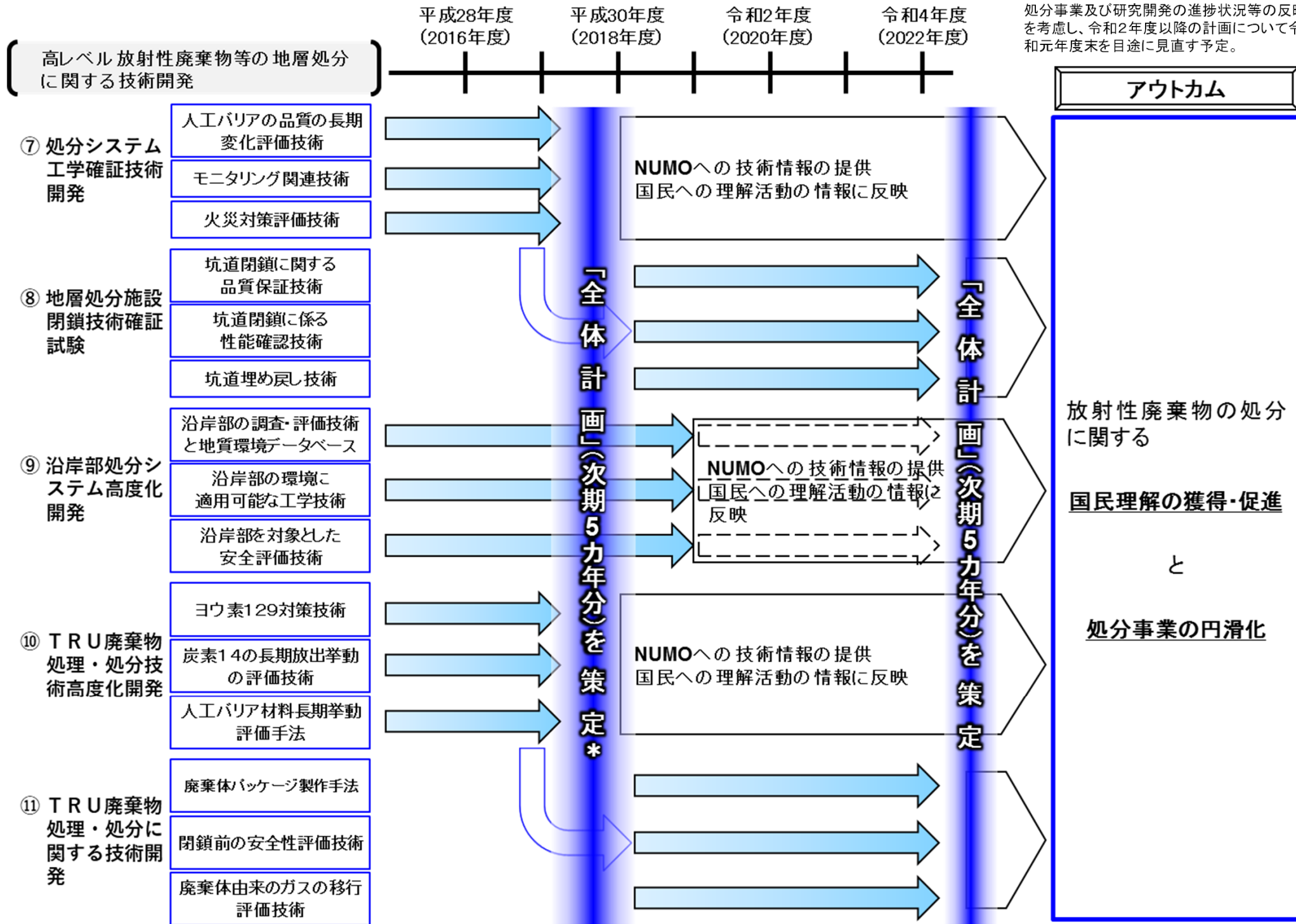
# 1.5. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ(1/4)

\*: 包括的技術報告書の外部レビューの進捗や、処分事業及び研究開発の進捗状況等の反映を考慮し、令和2年度以降の計画について令和元年度末を目途に見直す予定。



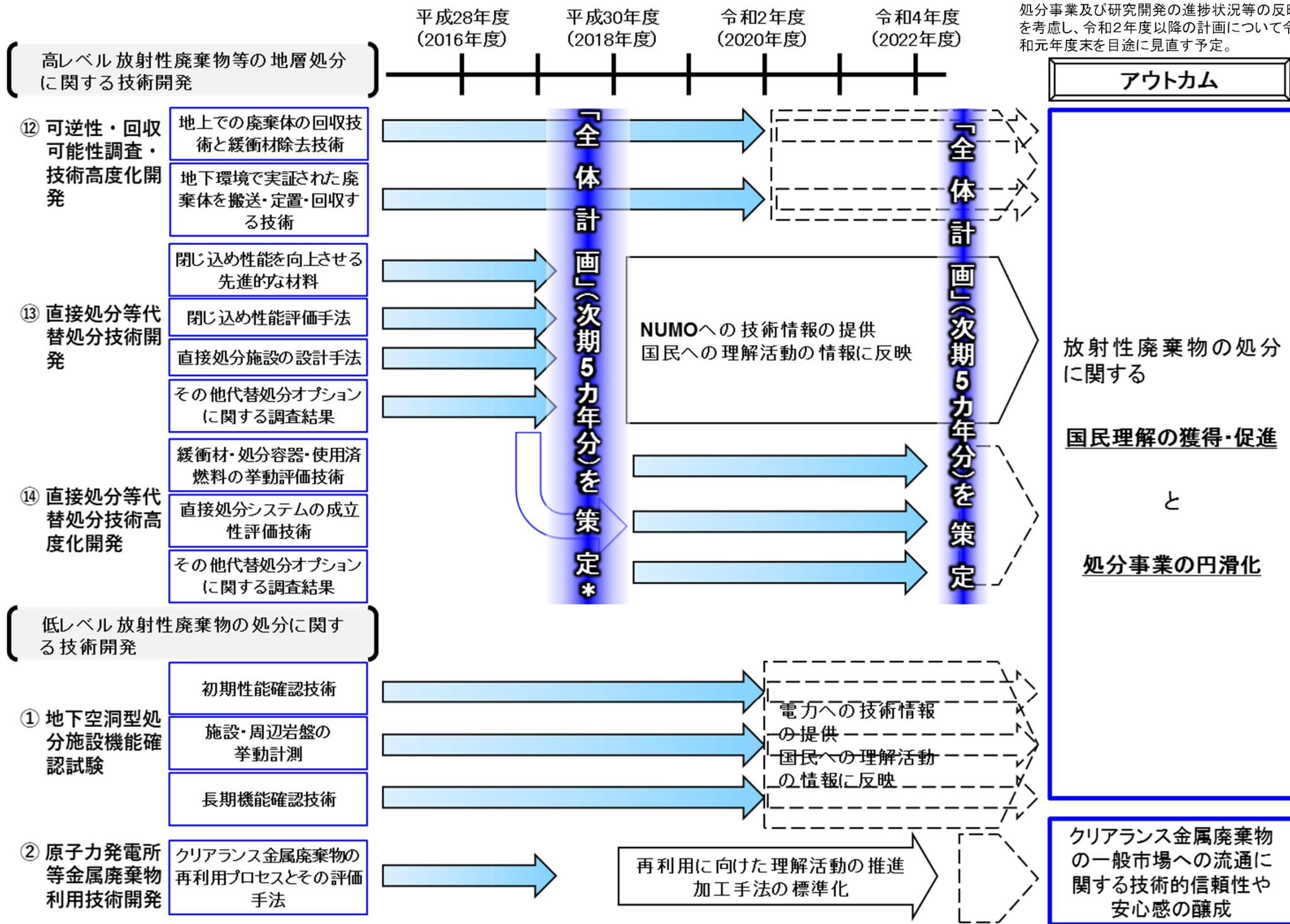
# 1.5. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ(2/4)

\*: 包括的技術報告書の外部レビューの進捗や、処分事業及び研究開発の進捗状況等の反映を考慮し、令和2年度以降の計画について令和元年度末を目途に見直す予定。

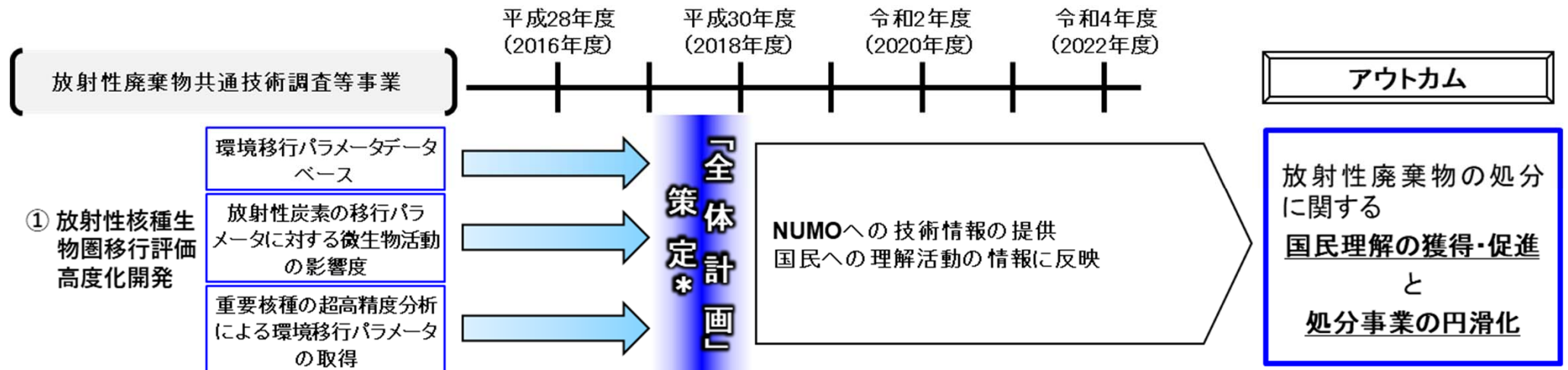


# 1.5. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ(3/4)

\*: 包括的技術報告書の外部レビューの進捗や、処分事業及び研究開発の進捗状況等の反映を考慮し、令和2年度以降の計画について令和元年度末を目途に見直す予定。



# 1. 5. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ(4/4)



\* : 包括的技術報告書の外部レビューの進捗や、処分事業及び研究開発の進捗状況等の反映を考慮し、令和2年度以降の計画について令和元年度末を目途に見直す予定。



- 2005年の原子力政策大綱と受け、資源エネルギー庁主催の下「地層処分基盤研究開発調整会議」を開始（「地層処分基盤研究開発に関する全体計画」を策定）。
- 最終処分法における基本方針に基づき設置された原子力委員会放射性廃棄物専門部会が2016年秋に取りまとめた評価報告書において、「**研究開発等における関係行政機関等の一層の連携強化**」、「**NUMOは一層のリーダーシップを発揮し**」、「**実施主体・基盤研究開発機関一体で『真の全体計画』を策定すること**」等が必要とされた。  
⇒新たに「地層処分研究開発調整会議」を設置し以下の審議・調整を実施のもと「地層処分研究開発に関する全体計画」（以下、全体計画）を策定

- |   |                          |                         |
|---|--------------------------|-------------------------|
| （ | ➤ <b>研究開発全体計画</b> の作成    | ➤ <b>成果の体系化</b> に向けた調整  |
|   | ➤ 研究開発の <b>連携</b> に関する調整 | ➤ 研究開発の <b>重複削除</b> の調整 |

## 【参加機関】

経済産業省  
文部科学省  
原子力発電環境整備機構  
日本原子力研究開発機構  
産業技術総合研究所  
電力中央研究所  
量子科学技術研究開発機構  
原子力環境整備促進・資金管理センター  
電気事業連合会  
日本原燃

## 【外部有識者】

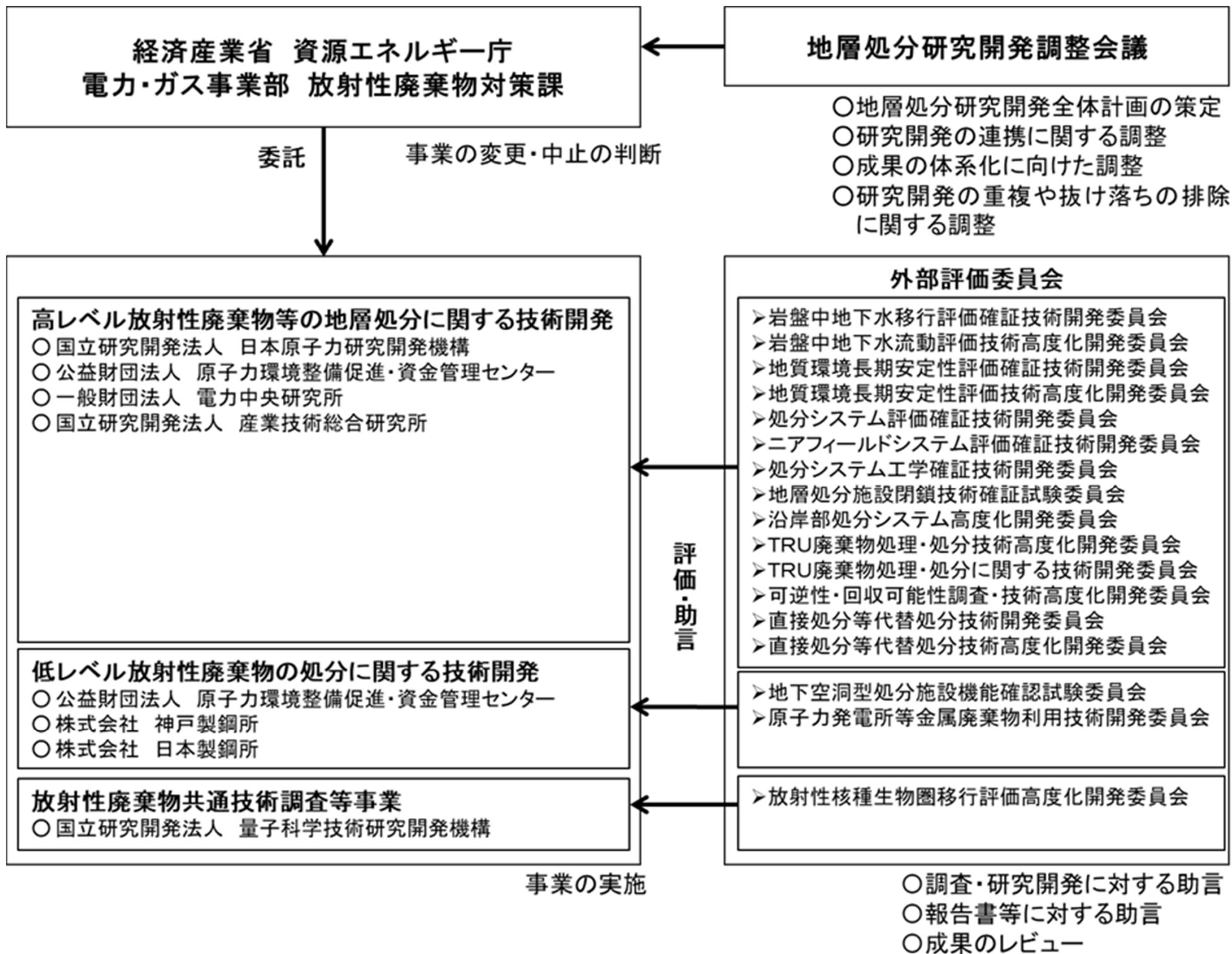
出光一哉（九州大学）  
大西有三（京都大学）  
長田昌彦（埼玉大学）  
小峯秀雄（早稲田大学）  
田中和広（山口大学）  
朽山修（原子力安全研究協会）  
新堀雄一（東北大学）  
松島潤（東京大学）  
山崎晴雄（首都大学東京）

## 【開催日時】

第1回	2017年	5月
第2回	2017年	9月
第3回	2017年	12月
第4回	2018年	3月
全体計画	2018年	3月

## 1. 6. 複数課題プログラムの実施・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2～3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。



# 1. 7. 費用対効果

○本プログラムでは、「高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発」で105.3億円、「低レベル放射性廃棄物の処分にに関する技術開発」で5.9億円、「放射性廃棄物共通技術調査等事業」で1.6億円の国費を投資した。  
費用対効果は以下のとおり。

	予算総額 (億円)	論文	学会発表	特許等 (出願含む)	その他※
<b>A. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発</b>	<b>105.3</b>	<b>63</b>	<b>290</b>	<b>6</b>	<b>36</b>
①岩盤中地下水移行評価確証技術開発	7.4	6	13	1	0
②岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	5.4	2	7	1	1
③地質環境長期安定性評価確証技術開発	4.4	9	67	0	2
④地質環境長期安定性評価技術高度化開発	3.3	0	1	0	4
⑤処分システム評価確証技術開発	9.1	10	36	0	0
⑥ニアフィールドシステム評価確証技術開発	3.5	10	23	0	2
⑦処分システム工学確証技術開発	10.6	3	21	0	3
⑧地層処分施設閉鎖技術確証試験	5.2	0	0	0	0
⑨沿岸部処分システム高度化開発	20.5	5	48	4	9
⑩TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発	8.4	12	39	0	9
⑪TRU廃棄物処理・処分にに関する技術開発	5.3	0	0	0	0
⑫可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発	15.7	0	17	0	6
⑬直接処分等代替処分技術開発	4.9	4	13	0	0
⑭直接処分等代替処分技術高度化開発	1.6	2	5	0	0
<b>B. 低レベル放射性廃棄物の処分にに関する技術開発</b>	<b>5.9</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>7</b>
①地下空洞型処分施設機能確認試験	4.2	0	16	0	1
②原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発	1.7	0	0	1	6
<b>C. 放射性廃棄物共通技術調査等事業</b>	<b>1.6</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>15</b>
①放射性核種生物圏移行評価高度化開発	1.6	26	22	0	15

※その他としては、科学イベントでの理解促進活動、著書、各種データベース、報告書等について計上している。

# 1. 8. 中間評価の結果

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針	対応結果
<p>〈プログラムの内容及びアウトプットの妥当性〉</p> <p>○このプログラムは極めて重要かつ必要であるため、着実に進めていくこと。</p> <p>〈費用対効果の妥当性〉</p> <p>○アウトプットとアウトカムの間には距離があるので、費用対効果の提示方法等を工夫すること。その際、目標に対しての達成度やリスク軽減への貢献度なども指標として検討すること。</p> <p>〈実施・マネジメント体制等の妥当性〉</p> <p>○国民の理解を促進し、安全と安心を結びつけるため、技術開発だけでなく他の手法も含めて対応を検討すること。</p>	<p>○本プログラムは国が責任を持って進めることが重要であり、今後も資金を効果的に活用して研究開発を着実に進めていく。</p> <p>○費用対効果の提示方法については、従来の論文数や特許数などのアウトプット指標に加え、研究開発における目標に対しての達成度を指標化するなど、アウトプットとアウトカムの距離感を縮める工夫を検討する。</p> <p>○近い将来に予定している地層処分に関する地域の科学的な特性を示したマップの提示に伴う国民理解活動等の場を通じ、放射性廃棄物の処分に関する研究開発を国が実施することの意義や、これまで研究開発された技術と今後の課題などを国民に分かりやすく継続的に情報発信する。また、広報の効果をより高める観点から、セグメントごとに広報素材を使い分けるなど、よりきめ細かい広報を実施していく。</p>	<p>➤ <u>技術開発に必要な検討項目数を指標とした達成度を可視化した。</u></p> <p>➤ アウトカム(放射性廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進)に向けた取組みとして、<u>一般の方々へ報告する場(技術開発結果の報告会等)の開催回数をアウトプット指標に取り込むこととした。</u></p>

## 1.9 外部有識者の評価等

### 【評価検討会】

<p>評価検討会 名称</p>	<p>放射性廃棄物処分関連分野(複数課題プログラム) 中間評価検討会(令和元年度)</p>	
<p>評価検討会 委員</p>	<p>座長</p>	<p>小島 圭二 東京大学 名誉教授</p>
	<p>委員</p>	<p>梅木 博之 原子力発電環境整備機構 理事 小崎 完 北海道大学 工学研究院 副学院長 エネルギー環境システム部門 教授 進士 正人 山口大学大学院 創成科学研究科 教授 福井 勝則 東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授</p>

○第1回検討会:令和元年11月 7日

○第2回検討会:令和元年12月20日(書面審議)

## 1.9 外部有識者の評価等

### 【総合評価(複数課題プログラム)】

- 様々な放射性廃棄物が既に多量に発生しており、その処分について速やかな事業の進展が求められている。放射性廃棄物の処分は国が主体となり、長期にわたって継続すべき国策であり、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。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。
- 一方で、個々の事業についての目標設定などは明確であるが、その結果として全体で何を目指しているかを明瞭にする必要がある。また、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。加えて、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。

## 1.9 外部有識者の評価等

### 【提言及び提言に対する対処方針(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

- 研究開発成果を国民へ効果的に発信するためのコミュニケーション技術の向上、技術的進展によってコストを削減する取組の拡大、人工知能やビッグデータなどの他分野の技術の取り込み、研究開発を取り巻く状況変化への配慮などを通じて、アウトカムの達成に向けて継続的に取り組むことが必要である。
- 各プロジェクトの成果の統合化と人材育成も必要となることから、年度単位の研究成果を情報共有する場を設定するなど、マネジメント体制の具体化を進めるべきである。また、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及び目標の設定が必要となろう。

#### 提言に対する対処方針

- 以下の取組も通じて、アウトカム達成に向けて継続的に取り組む。
  - 他分野の技術進展など研究開発を取り巻く状況の変化に柔軟に対応できるように取り組む。
  - 放射性廃棄物共通技術調査等事業の一環として技術者のコミュニケーション技術の向上も視野に入れた人材育成プログラムを検討している。
- なお、コスト削減に関する検討は、地層処分事業の実施主体の技術開発として鋭意取り組んでいく。
- 事業者間での研究成果を定期的に共有する仕組みの構築などを通じてマネジメント体制を強化する。また、各プロジェクトの技術開発成果は、海外への技術協力や輸出に資するものであり、このような成果は、アウトカムである国民の納得感や安心感の向上・醸成にも資すると考えられる。よって、今後もアウトプット指標の一つとして、海外への外部発表を推進する。



## 2. 研究開発課題(プロジェクト)の概要

- 2. 1 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発
- 2. 2 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発
- 2. 3 放射性廃棄物共通技術調査等事業

## 2. 1 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発 (中間評価)

- 2. 1. 1 岩盤中地下水移行評価確証技術開発
- 2. 1. 2 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発
- 2. 1. 3 地質環境長期安定性評価確証技術開発
- 2. 1. 4 地質環境長期安定性評価技術高度化開発
- 2. 1. 5 処分システム評価確証技術開発
- 2. 1. 6 ニアフィールドシステム評価確証技術開発
- 2. 1. 7 処分システム工学確証技術開発
- 2. 1. 8 地層処分施設閉鎖技術確証試験
- 2. 1. 9 沿岸部処分システム高度化開発
- 2. 1. 10 TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発
- 2. 1. 11 TRU廃棄物処理・処分に関する技術開発
- 2. 1. 12 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発
- 2. 1. 13 直接処分等代替処分技術開発
- 2. 1. 14 直接処分等代替処分技術高度化開発
- 2. 1. 15 中間評価の結果

## 2. 1. 1 岩盤中地下水移行評価確証技術開発 (平成28年度～平成29年度)

# (1) 事業の概要

概要	少ないボーリング調査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。
実施期間	平成25年度～平成29年度（5年間）
実施形態	国からの直執行（委託事業）
予算総額	7.4億円 (平成28年度:3.7億円 平成29年度:3.7億円)
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 センター長)

# (1) 事業の概要

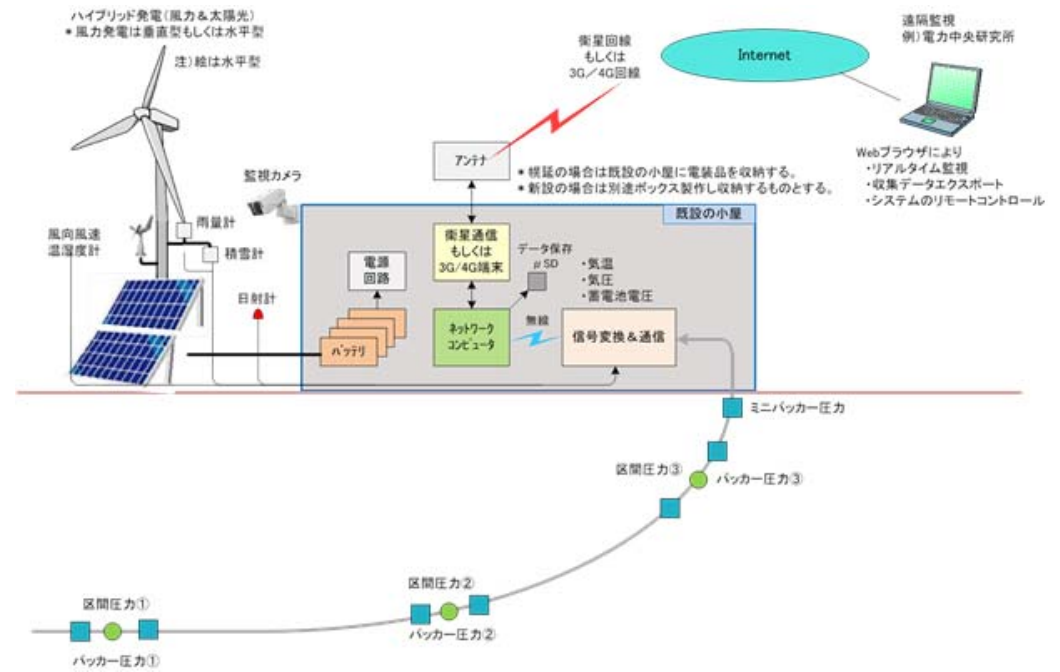
## □主な成果

- 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(右図)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、地下環境中の物質移動特性を取得できること(トレーサー試験;右下図)を実証し、開発した技術の有効性を確認した。

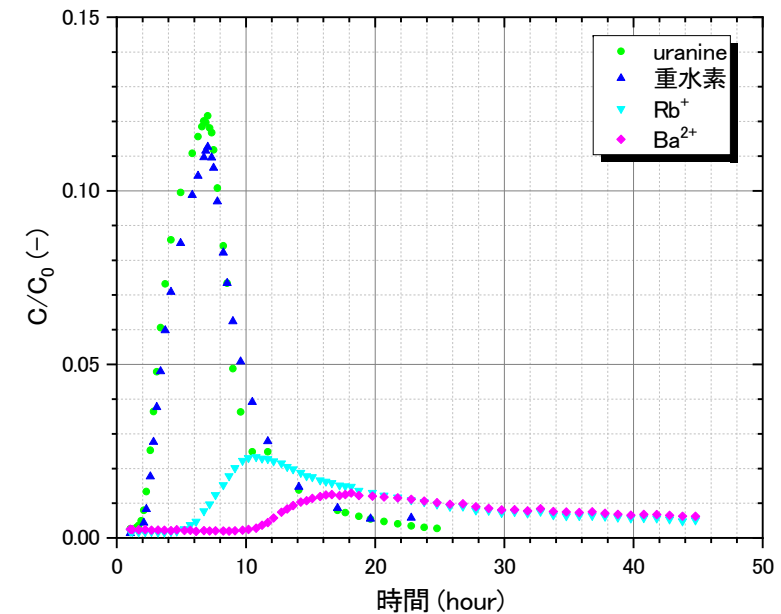
他の成果については成果報告書(本文1、本文2、付録)をご参照下さい。

## □全体スケジュール

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				
		モニタリング技術開発	調査技術		
			現地適用・体系化		
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		
			上幌延	マニュアル整備	
					瑞浪



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



地下坑道内で実施したトレーサー試験の結果  
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) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p>【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。</p> <p>【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。</p>		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで 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。
終了時評価時（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。

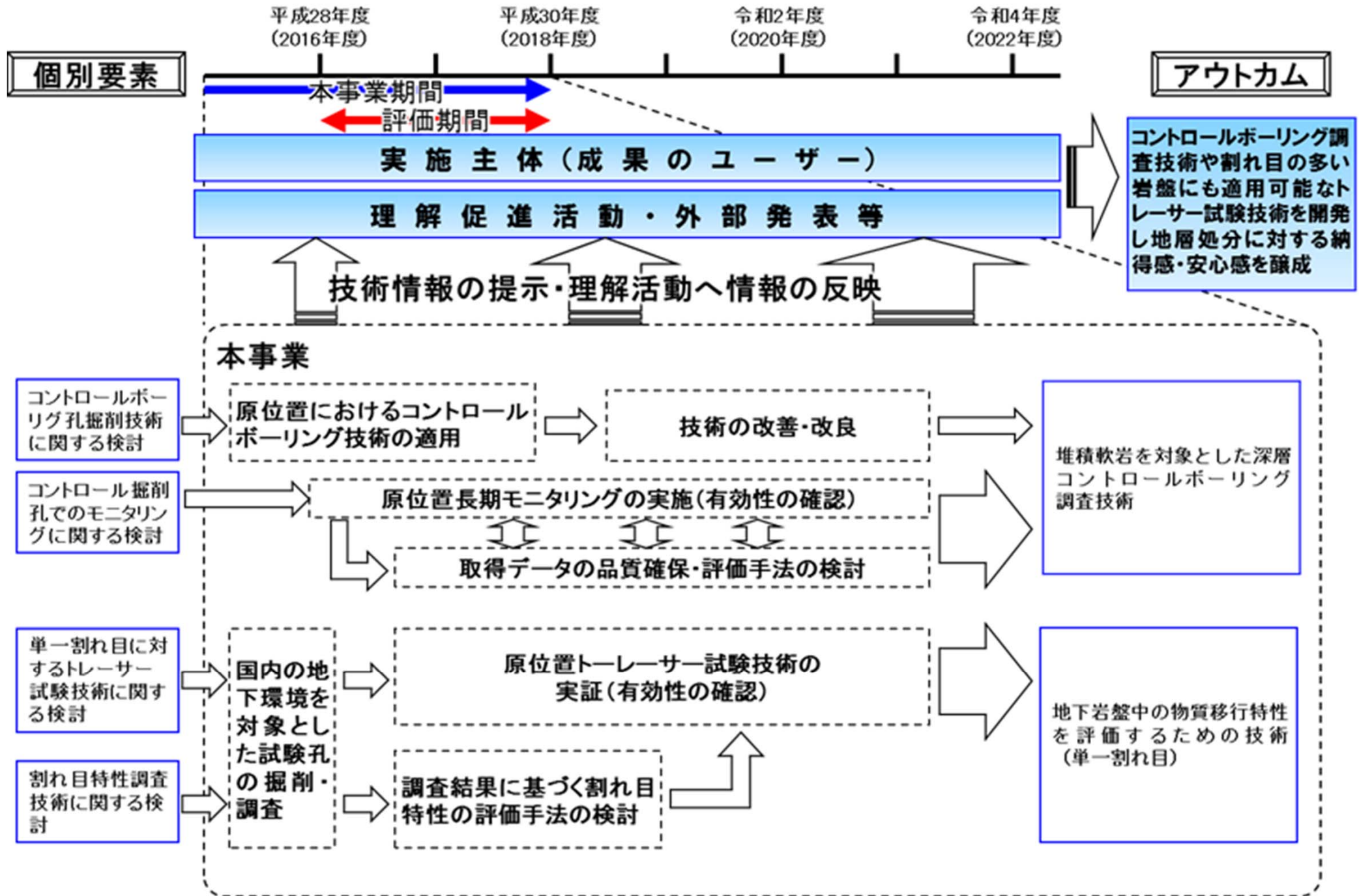
## (3) 事業アウトプット

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：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ー試験技術等の適用例等を開示した。
終了時評価時（令和元年度）		実績：65件（合計） 長期モニタリングやトレーサー試験結果の評価方法を開示した。

### < 共通指標実績 >

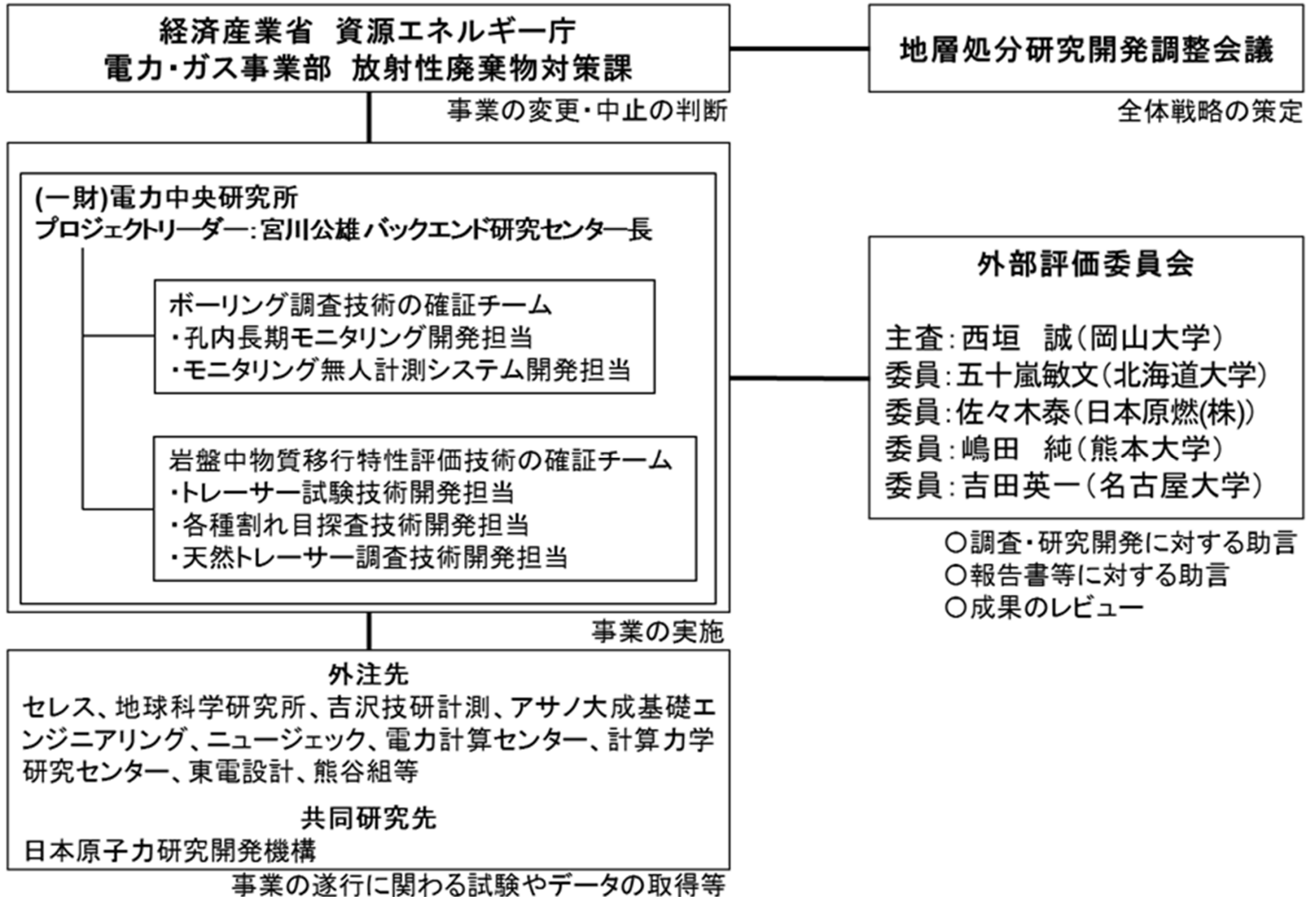
論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプの作成
6	11	1	—	—	—	—

# (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



## 2. 1. 2 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発 (平成30年度)

# (1)事業の概要

概要	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。
実施期間	平成30年度～令和4年度（予定）（5年間）
実施形態	国からの直執行（委託事業）
予算総額	5.4億円 （平成30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 一般財団法人 電力中央研究所
プロジェクトリーダー	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 研究計画調整グループリーダー

# (1) 事業の概要

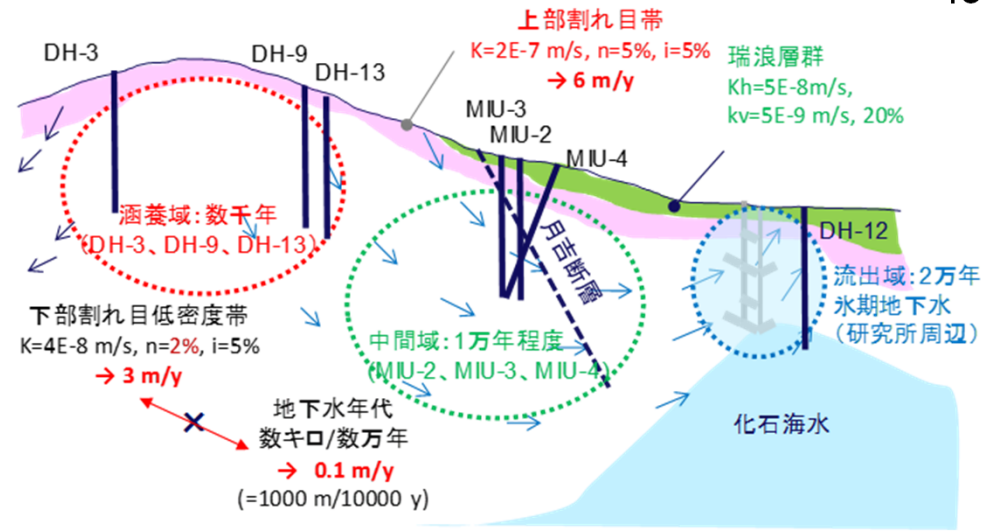
## □主な成果

- 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、現状の課題を整理し、地下水年代の分布を指標として、物質移行解析の入力条件を校正する手法を検討中(右図)。
- 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(右下図)。

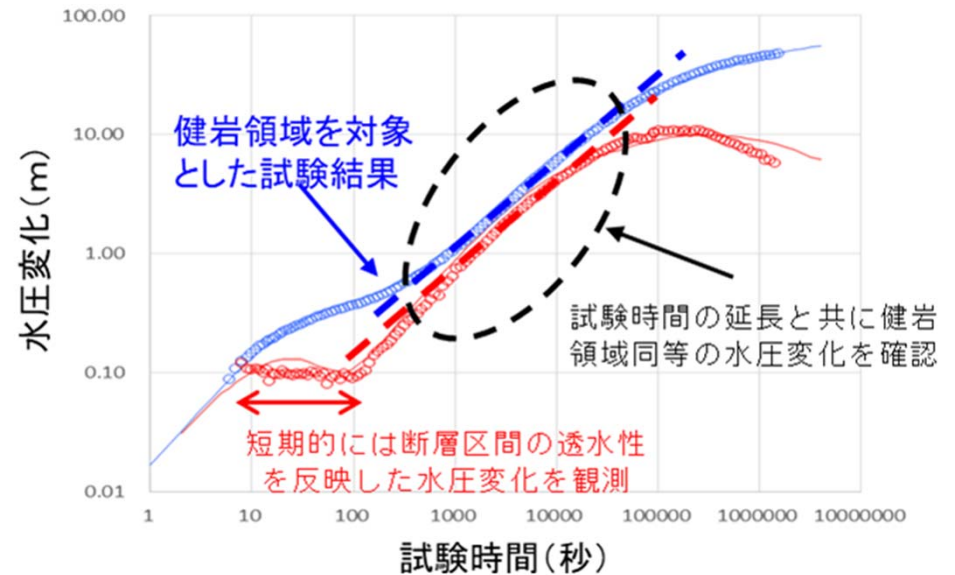
他の成果については成果報告書(本文、付録)をご参照下さい。

## □全体スケジュール

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
	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
		室内試験	トレーサー試験
幌延	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	<sup>81</sup> 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)	
		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)	



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



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：	実績：－
中間評価時（令和元年度）	事業終了時まで に25項目	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。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：1項目

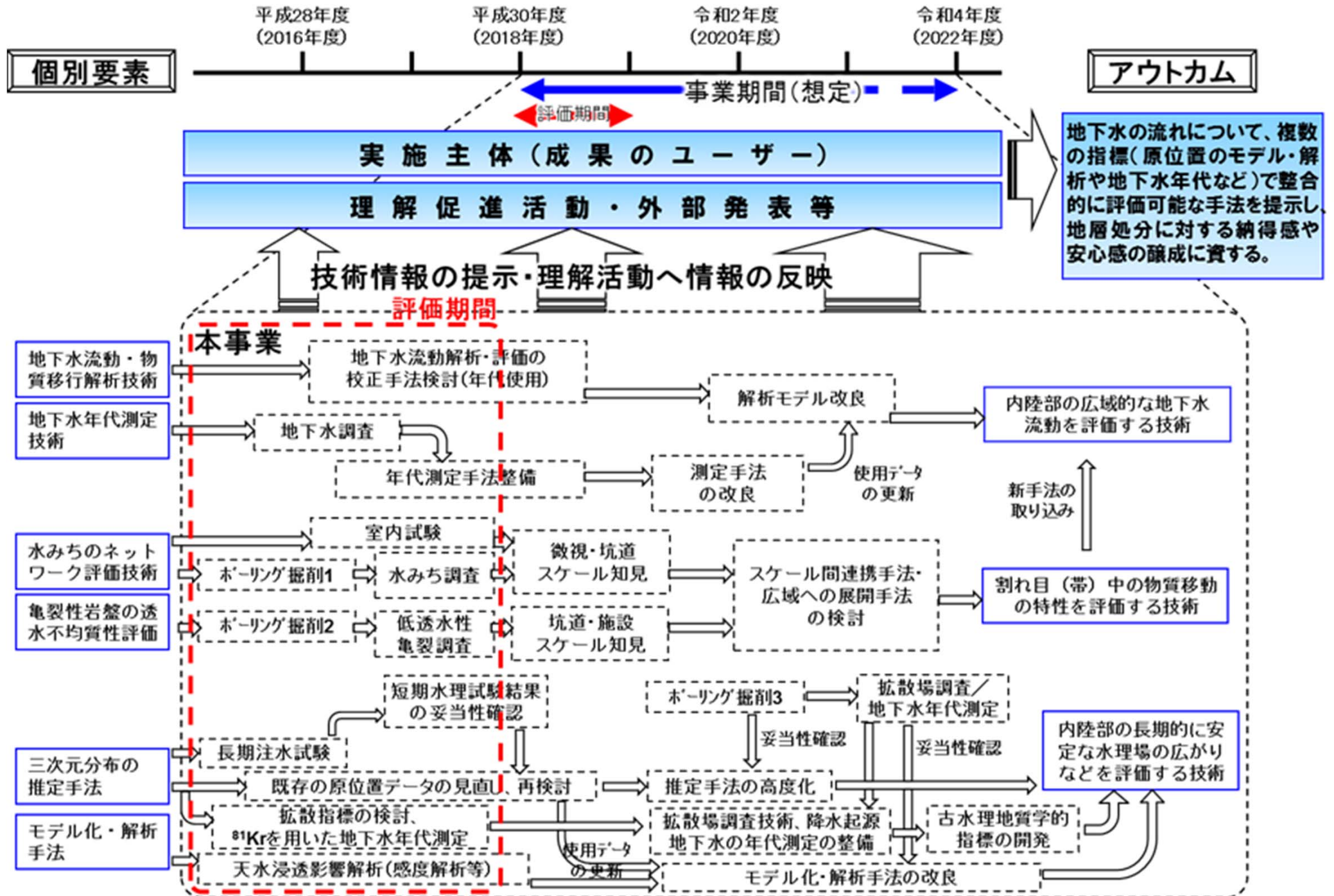
## (3) 事業アウトプット

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の提案や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。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：—

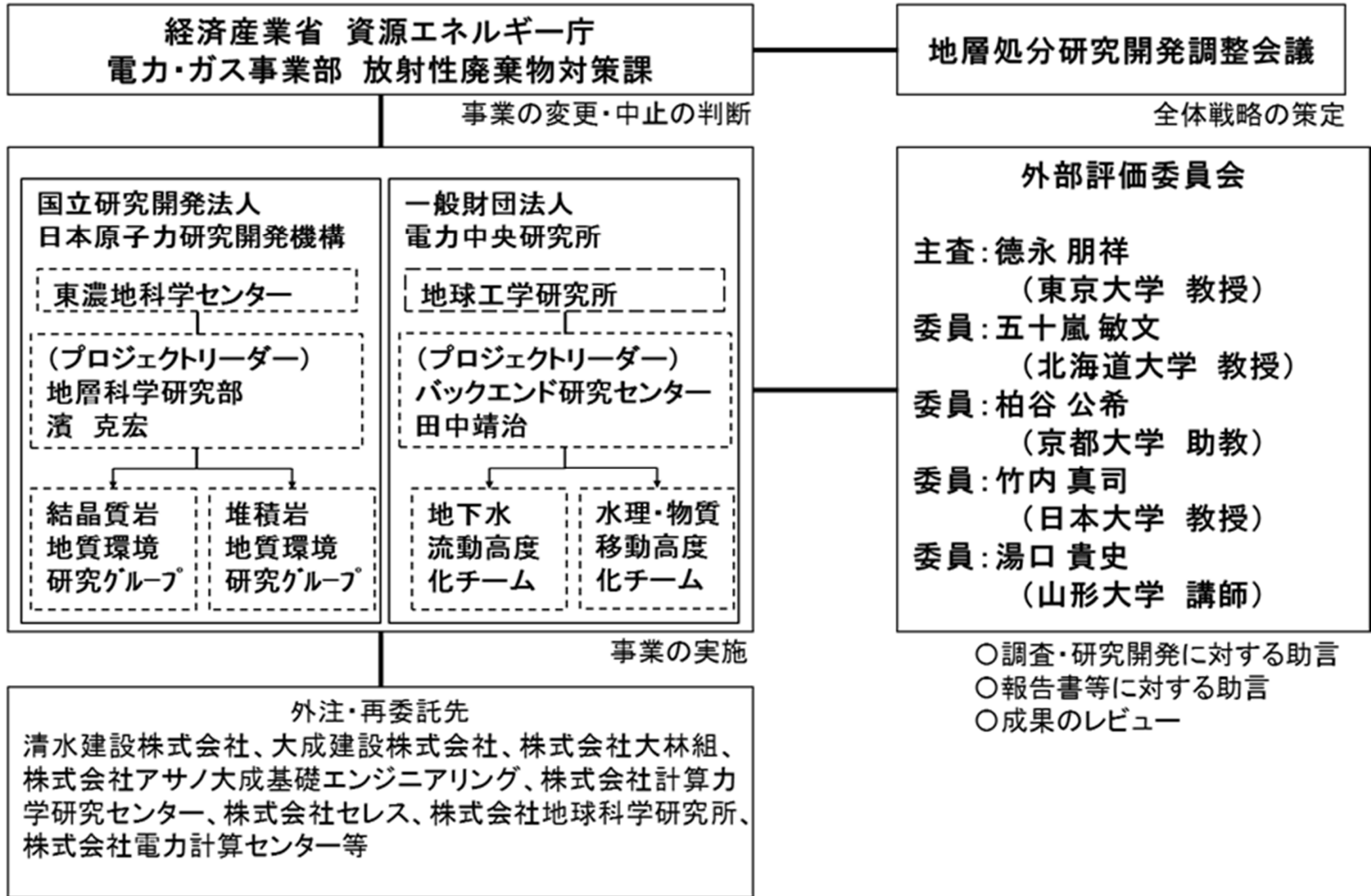
### < 共通指標実績 >

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	—	—	—

# (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



事業の遂行に関わる試験やデータの取得等



## 2. 1. 3 地質環境長期安定性評価確証技術開発 (平成28年度～平成29年度)

# (1) 事業の概要

概要	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。
実施期間	平成25年度～平成29年度 (5年間)
実施形態	国からの直執行(委託)
予算総額	4.4億円 (平成28年度:2.4億円 平成29年度:2.0億円)
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)

# (1) 事業の概要

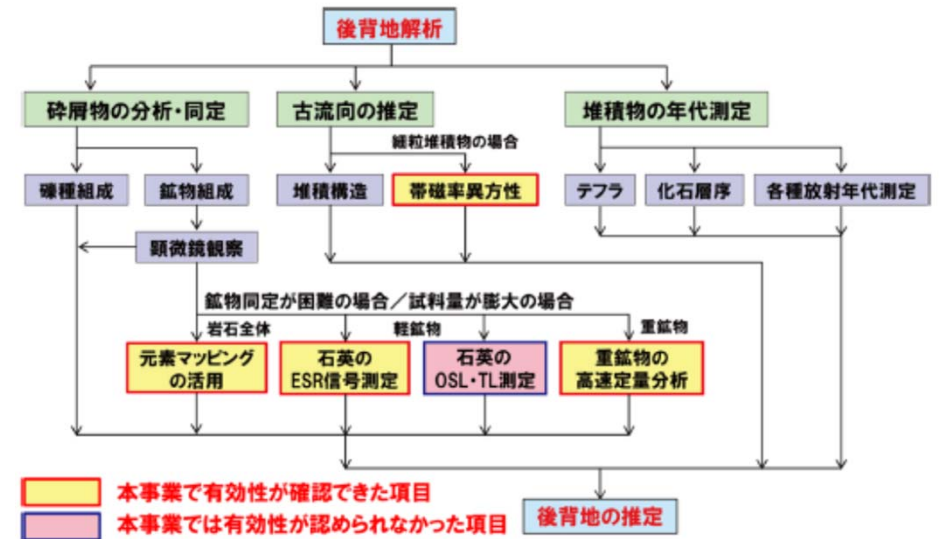
## □主な成果

- 山地や丘陵の隆起開始時期や形成過程を推定する技術(後背地解析; 右図)などの要素技術を整備するとともに、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。
- 長期的な時間変化の理解促進に向けて、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(右下図)とともに、モデル個々の不確実性を評価する手法を提示した。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □全体スケジュール

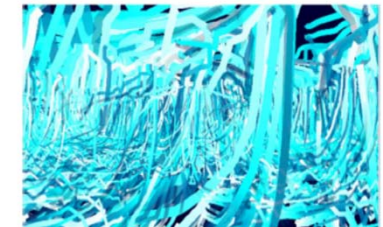
事業項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
<b>(1)地質環境長期変動モデルの開発</b>					
①統合数値モデル化、モデル検証及び不確実性の評価	事前検討、FEPによる整理	長期変遷シナリオの整備、条件設定、統計処理法の提示等	作業フローの提示	統合数値モデル&可視化技術の提示	モデルの検証&不確実性の評価
②地形・地質モデル					
③地表環境モデル					
④水理モデル					
⑤地球化学モデル					
<b>(2)革新的要素技術の開発</b>					
①後背地推定技術	装置整備				
②炭酸塩鉱物測定技術				技術開発	
③地殻変動予測技術					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



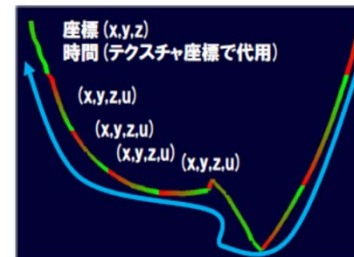
整備した後背地解析技術の流れ  
(東農地域及び幌延地域を例として技術の適用性を確認し、その適用範囲を明らかにした)

- ✓ 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

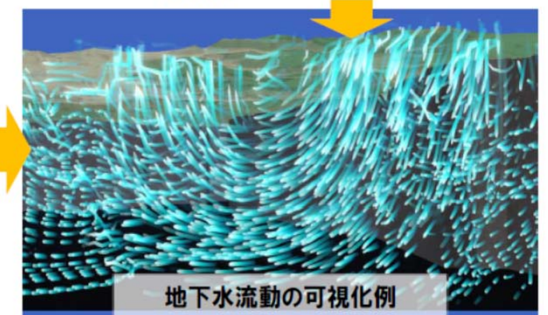
地下水の全体的な流れの傾向を直感的に把握させることに着目し、大量の流線を表示させつつ、その線に沿って流れの速さをパターンで表現する手法を採用



・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



地下水流動解析結果の可視化の例

## (2) 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：	実績：－
中間評価時（平成28年度）	事業終了時まで に 46項目	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。
終了時評価時（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ともに、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。

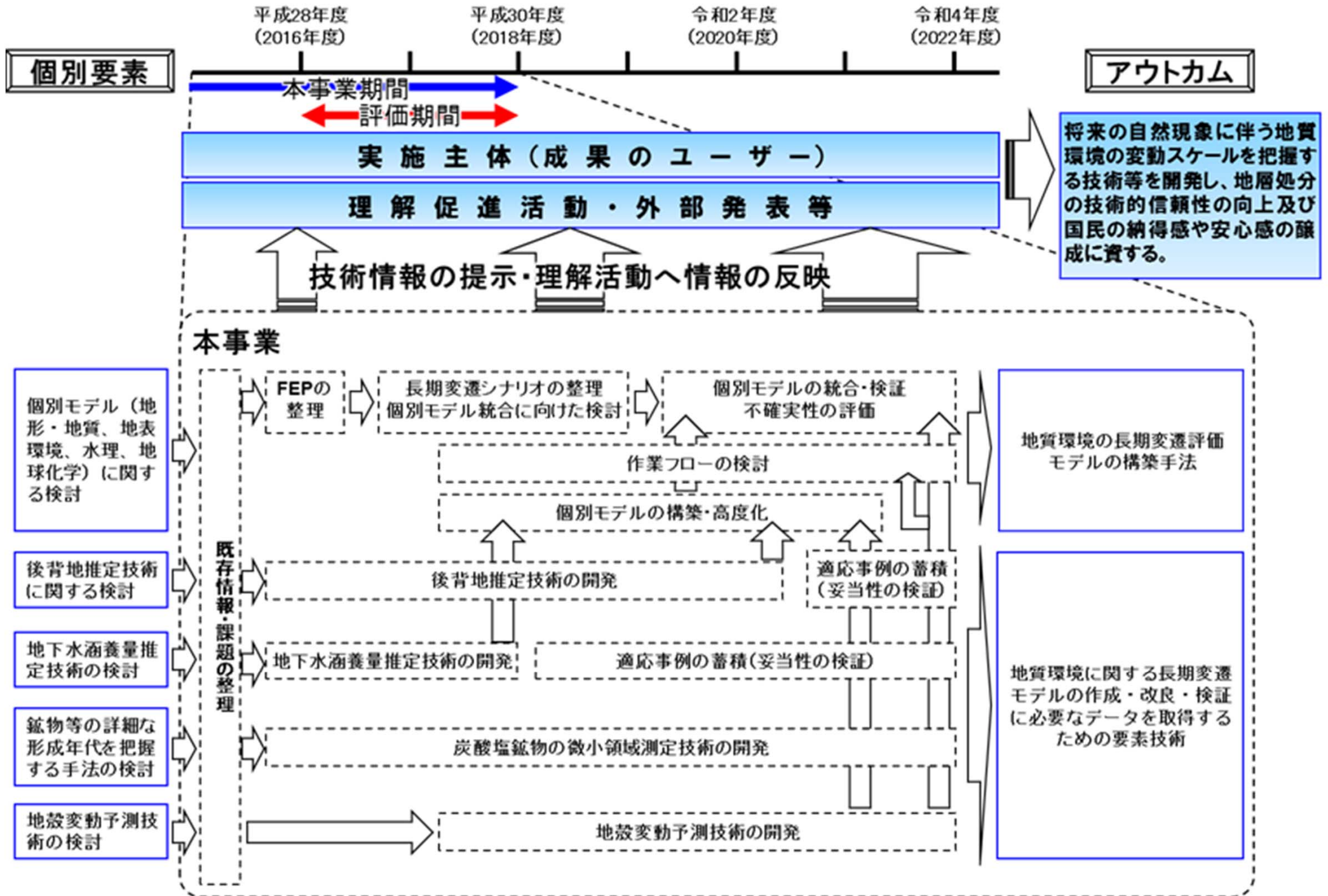
## (3) 事業アウトプット

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：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した。
終了時評価時（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ともに、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。

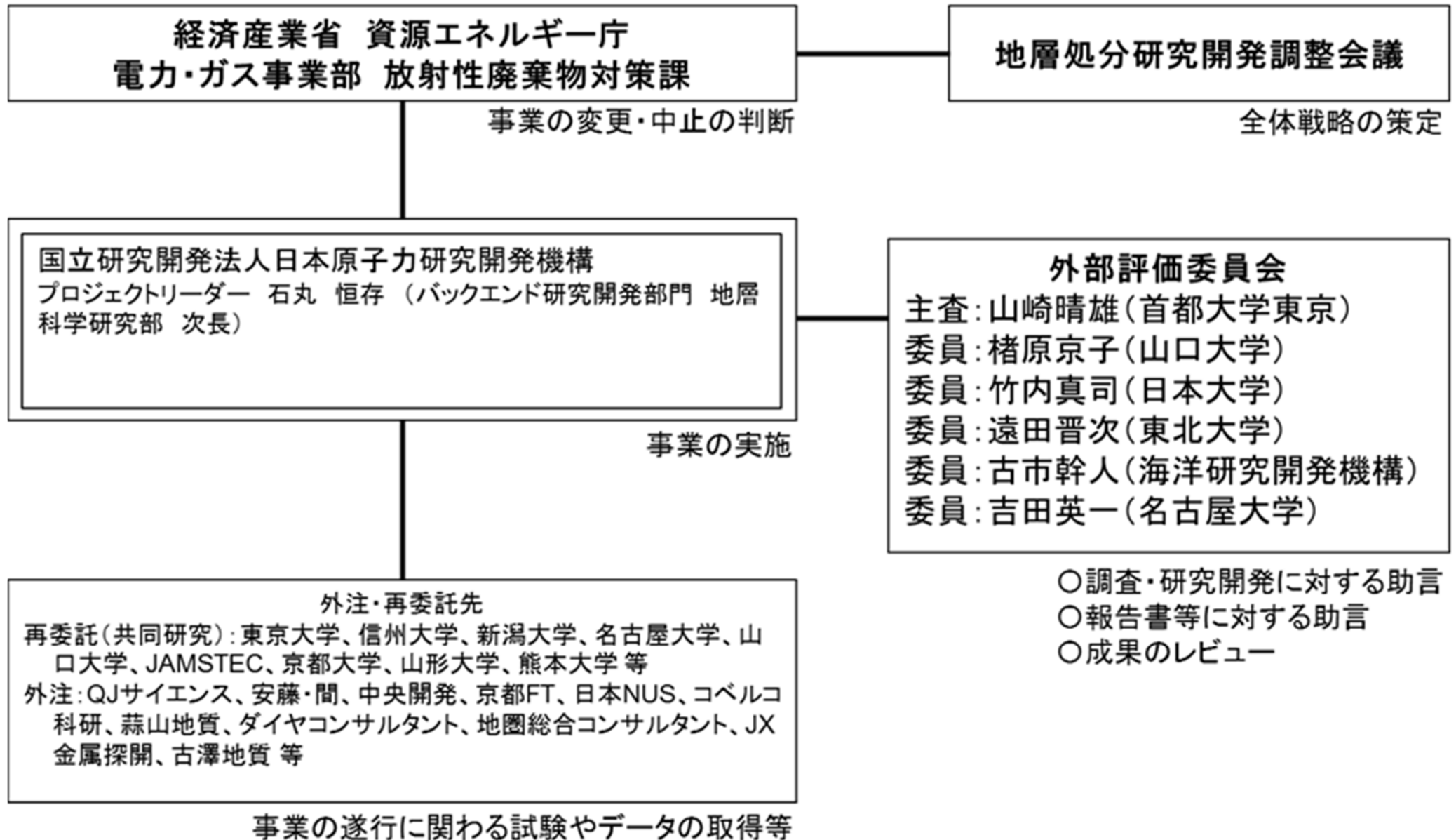
### < 共通指標実績 >

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	—	—	—	—	—	—

# (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



## 2. 1. 4地質環境長期安定性評価技術高度化開発 (平成30年度)



# (1)事業の概要

概要	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。
実施期間	平成30年度～令和4年度（5年間）
実施形態	国からの直執行
予算総額	3.3億円 (平成30年度:3.3億円)
実施者	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 一般財団法人電力中央研究所
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 次長) 近藤 浩文 一般財団法人電力中央研究所 (地球工学研究所 バックエンド研究センター 上席研究員)

# (1) 事業の概要

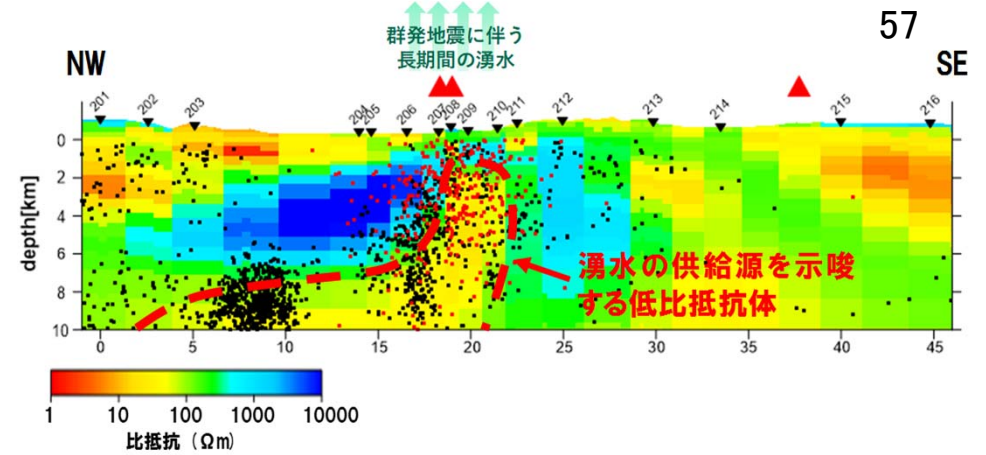
## □主な成果

- 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;右図)、地震波トモグラフィ、GNSS観測などの地球物理学的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制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、ボーリングコア試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(右下図)。

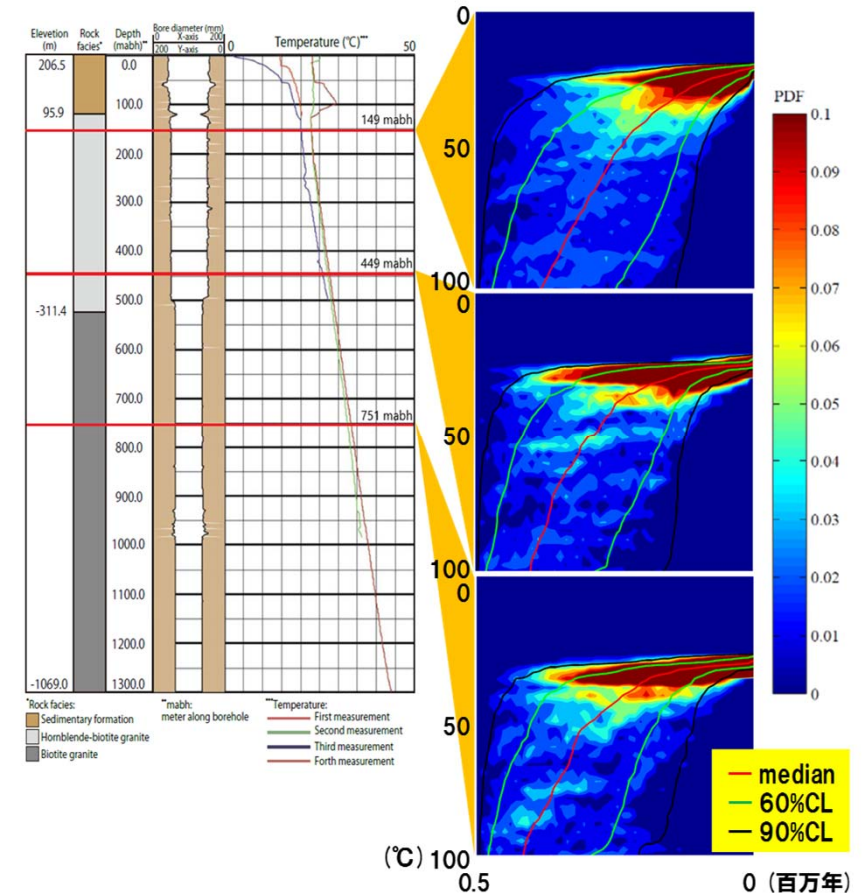
他の成果については成果報告書(本文、付録)をご参照下さい。

## □全体スケジュール

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	



群発地震の活動域における二次元比抵抗構造



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) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p>【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。</p> <p>【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。</p>		
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 50項目	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。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：－項目

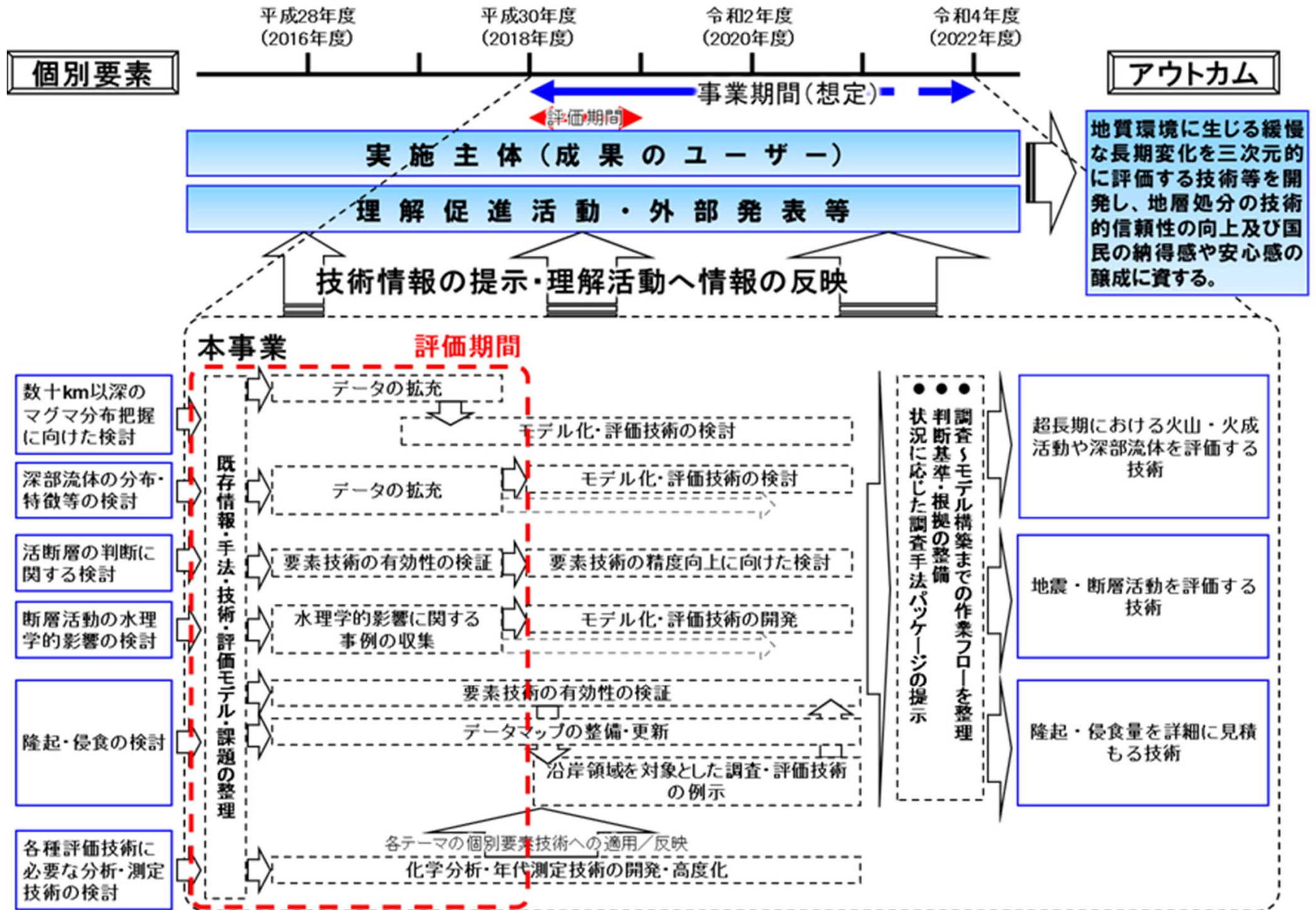
## (3) 事業アウトプット

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ついて発表した。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：—

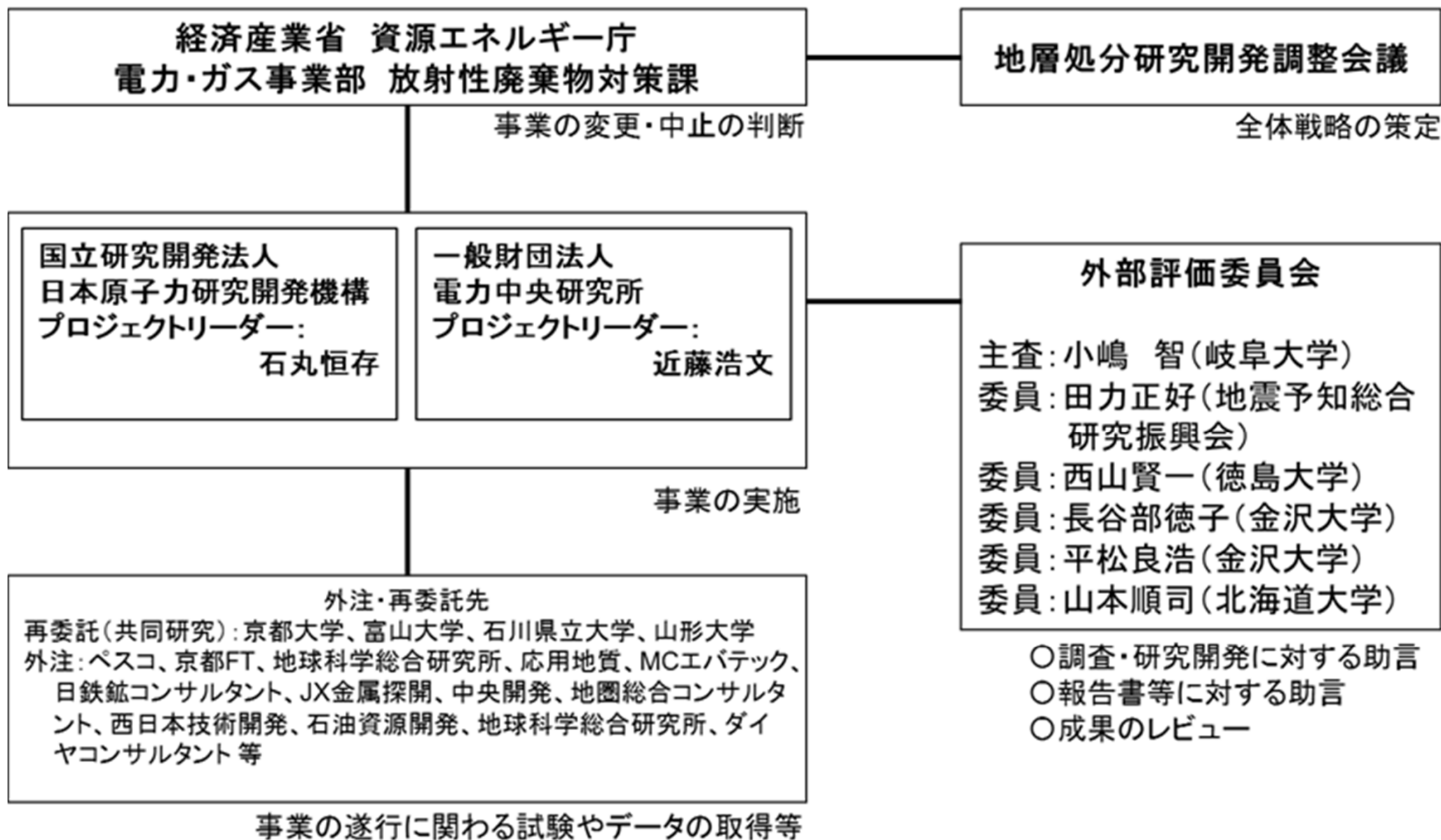
### < 共通指標実績 >

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	プロトタイプの実成
—	—	—	—	—	—	—

# (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



## 2. 1. 5 処分システム評価確証技術開発 (平成28年度～平成29年度)

# (1)事業の概要

<p>概 要</p>	<p>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。</p>
<p>実施期間</p>	<p>平成25年度～平成29年度（5年間）</p>
<p>実施形態</p>	<p>国からの直執行（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構への委託事業）</p>
<p>予算総額</p>	<p>10.3億円 （平成28年度:5.4億円 平成29年度:4.9億円）</p>
<p>実施者</p>	<p>国立研究開発法人日本原子力研究開発機構</p>
<p>プロジェクト リーダー</p>	<p>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 (平成25年度～平成28年度)) 三原 守弘 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 研究副主幹 (平成29年度))</p>



# (1) 事業の概要

## □主な成果

ニアフィールドにおいて発生する複合的な現象が核種移行に与える影響(図1)について検討し、以下の成果を得た。

- 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)。
- 過酷事業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等を開発した(図3)。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □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進的技術の開発	現象理解を反映したより精密なモデル開発		中間評価ワークショップ	原位置等での評価確認/複合現象・核種移行の体系的評価技術開発	
過酷事業の地層処分システムの影響に関する評価確認技術開発	概念・シナリオ構築			改良・高度化	

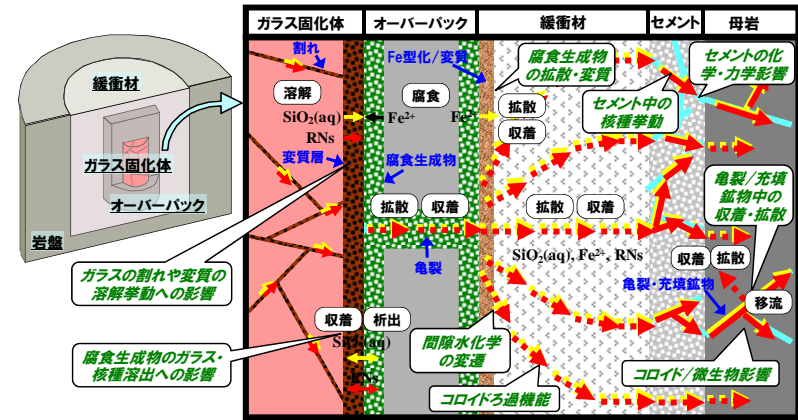


図1 ニアフィールドにおいて時間的変遷に伴い発生する現象(図中吹き出し)と核種の移行経路(図中矢印)の概念図

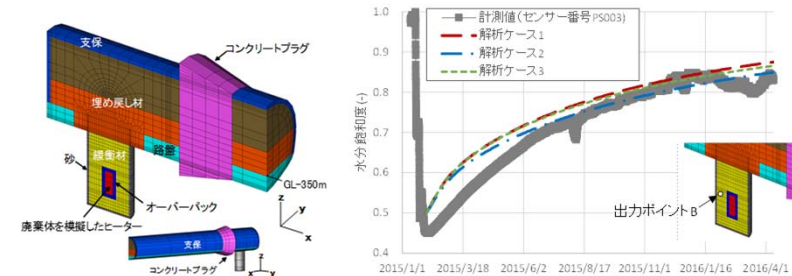
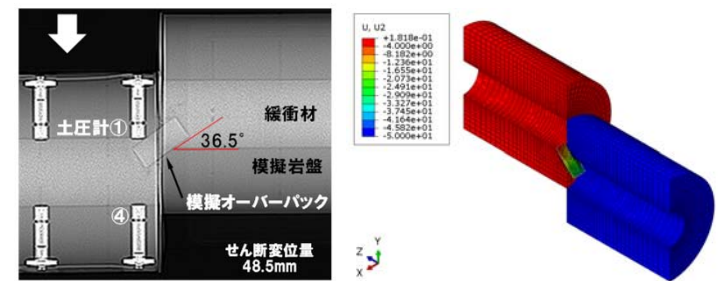


図2 人工バリア性能確認試験に対する熱-水-連成解析のモデル体系(左図)と測定結果と解析結果の比較例(右図)



断層模擬せん断衝突実験(X線画像を用いた挙動確認) 断層模擬せん断衝突実験の再現解析の例

図3 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 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した。
終了時評価時（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した。 また、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した。

### (3) 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した。
終了時評価時（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。

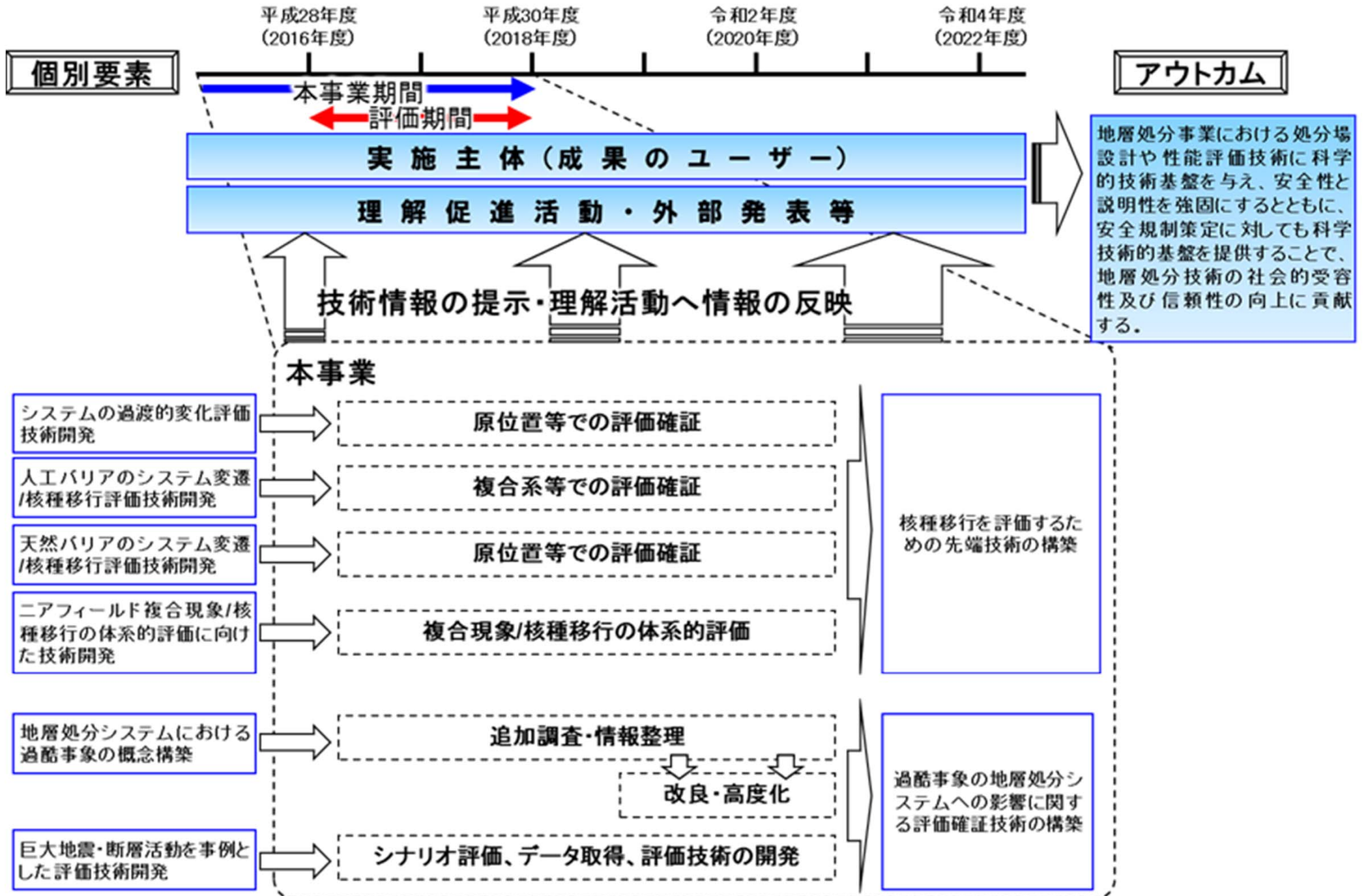
#### < 共通指標実績 >

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
10	1*	—	—	—	—	2**

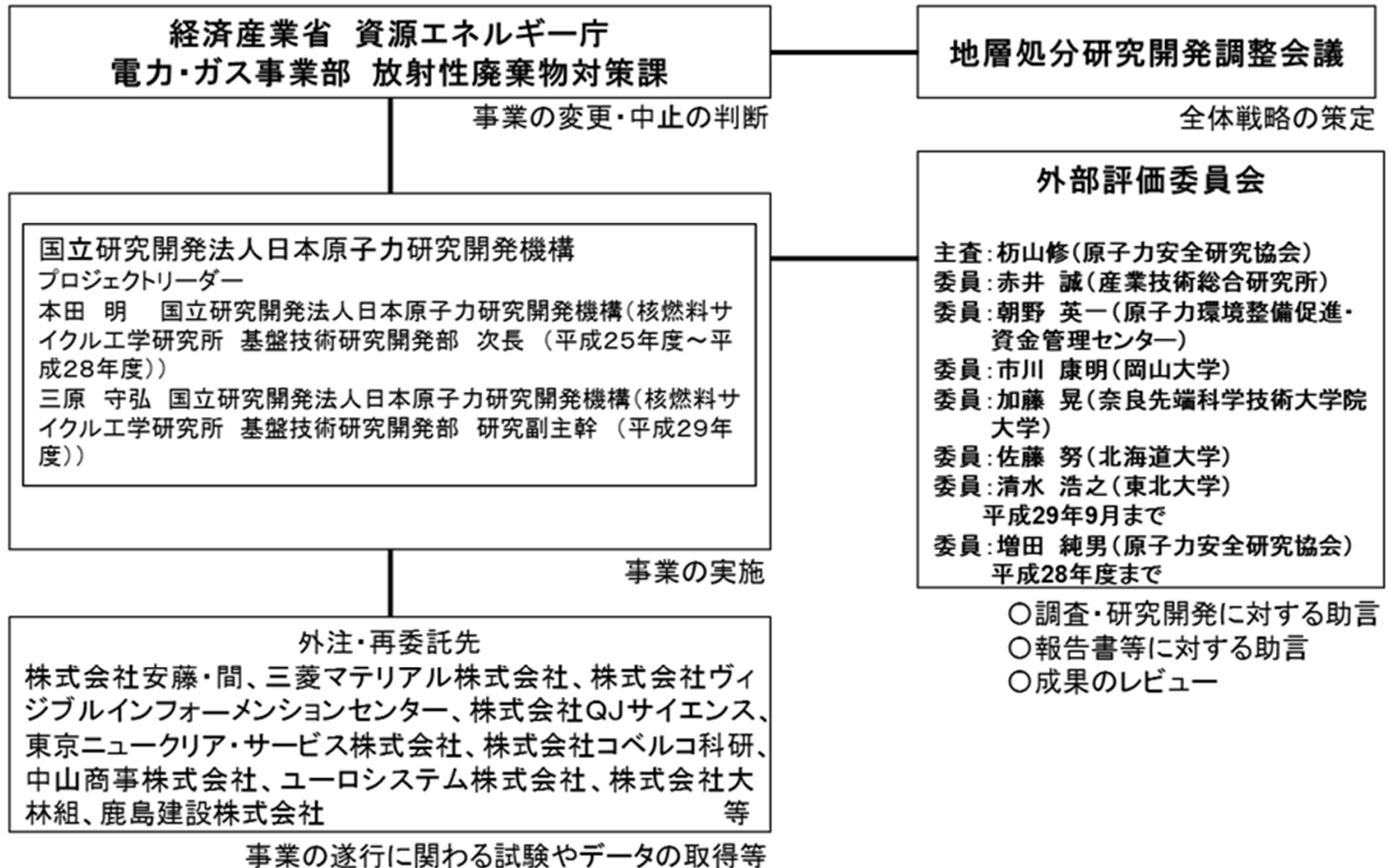
※：NUMO包括的技術報告書（レビュー版）において、本事業の報告書が引用されている。

※※：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。

# (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



2. 1. 6 ニアフィールドシステム  
評価確証技術開発  
(平成30年度)

# (1)事業の概要

<p>概 要</p>	<p>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。</p>
<p>実施期間</p>	<p>平成30年度～平成31年度 (2年間)</p>
<p>実施形態</p>	<p>国からの直執行(委託事業)</p>
<p>予算総額</p>	<p>3.5億円(平成30年度:3.5億円)</p>
<p>実施者</p>	<p>国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター</p>
<p>プロジェクト リーダー</p>	<p>澤田 淳 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 ニアフィールド研究グループリーダー) 江守 稔 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター(処分工学調査研究プロジェクトチーフプロジェクトマネージャー)</p>

# (1) 事業の概要

## □主な成果

- 幅広い地下環境に応じた核種移行評価に向けて、高炭酸条件での岩石中の核種移行データ取得手法を整備した上で、Am及びThのイライトへの収着データ等を取得するとともに、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可能性を明らかとした(図1)。
- 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、図2の原位置試験イメージに沿って試験装置を設計した。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □全体スケジュール

	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・モデル検証
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	試解析・ システム開発課題の抽出

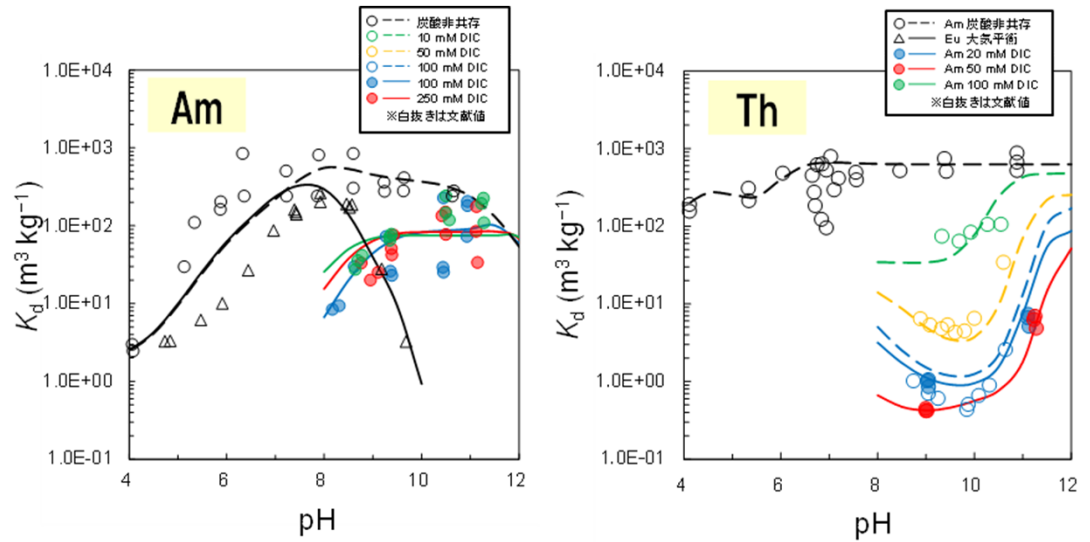


図1 炭酸条件でのイライトへの収着データ(点)とモデル評価(線)

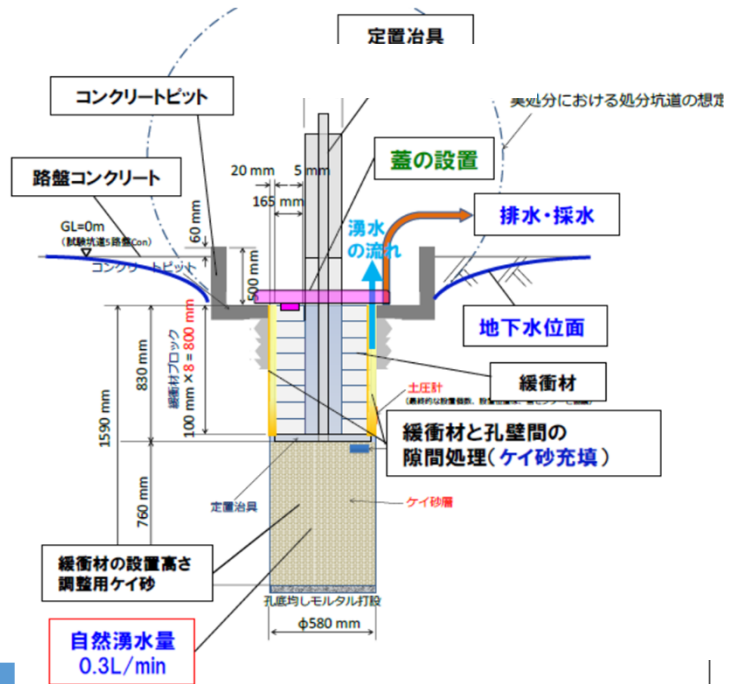


図2 試験装置のイメージ(約1/5スケール)



## (2) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p>【指標】</p> <p>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。</p> <p>【設定理由・根拠等】</p> <p>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。</p>		
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 40項目	実績：8項目 日本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・モデル開発等を実施した。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：－

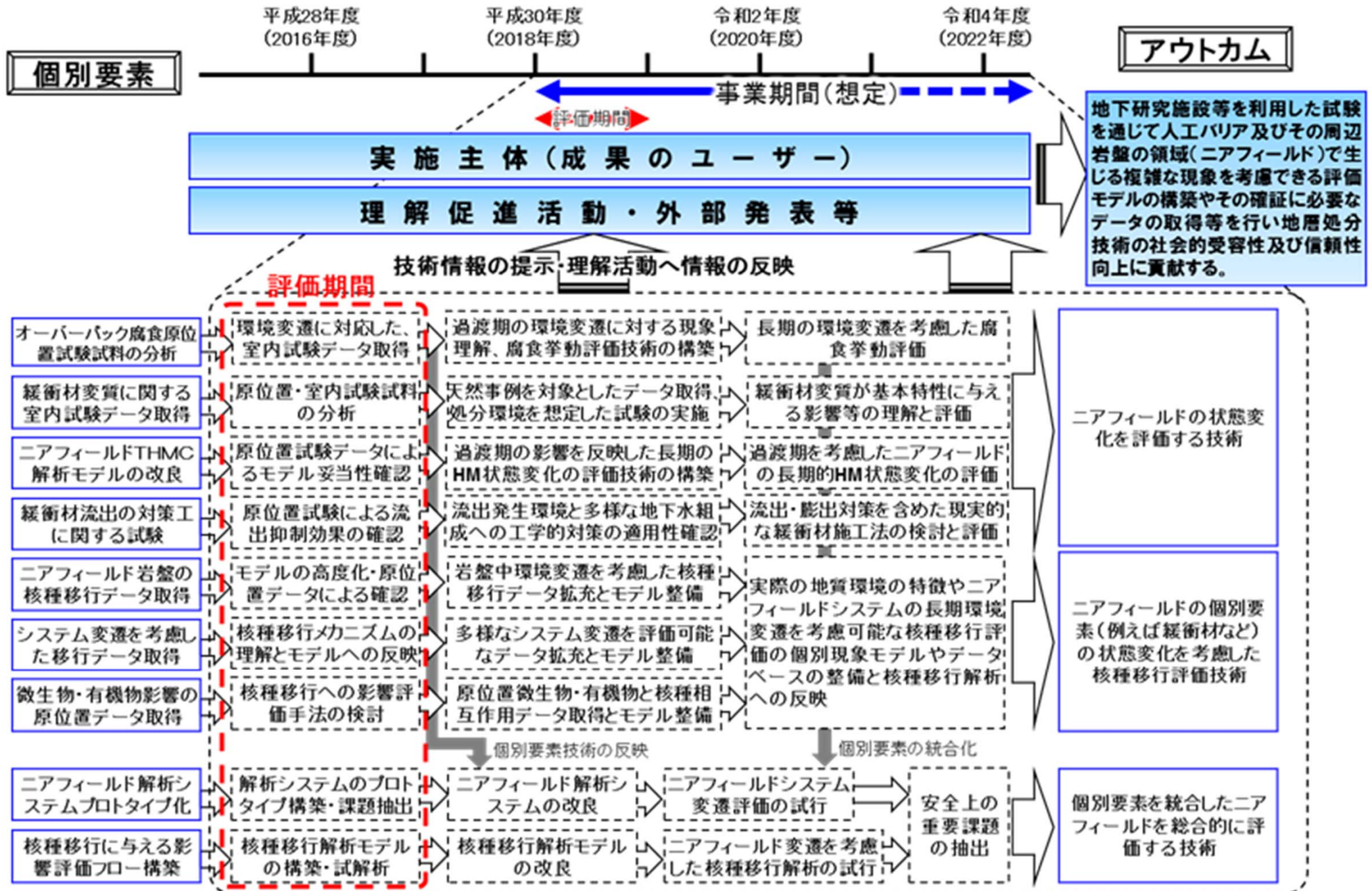
## (3) 事業アウトプット

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：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した。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：－

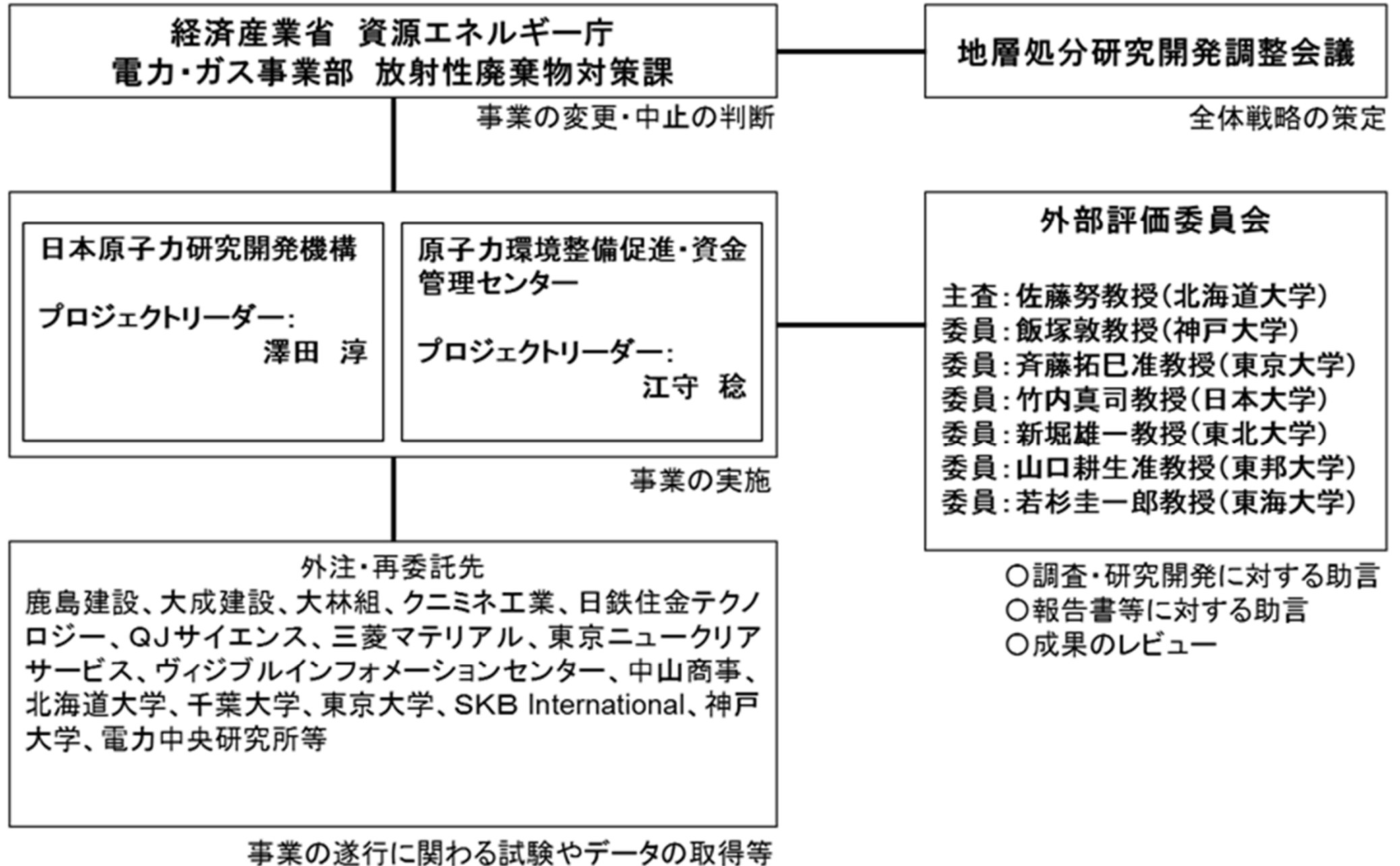
### < 共通指標実績 >

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	プロトタイプの実成
10	—	—	—	—	—	—

# (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



## 2. 1. 7 処分システム工学確証技術開発 (平成28年度～平成29年度)

# (1)事業の概要

概要	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認していくとともに、自然災害に対する操業期間中の工学的安全対策に関する基盤技術開発を実施した。
実施期間	平成28年度～平成29年度(2年間)
実施形態	国からの直執行(委託事業)
予算総額	10.56億円 (平成28年度:5.22億円 平成29年度:5.34億円)
実施者	(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター(RWMC)
プロジェクトリーダー	江守 稔 (RWMC チーフ・プロジェクト・マネジャー)

# (1) 事業の概要

## □ 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1)とともに、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)、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、想定した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3)ことを提示した。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □ 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-オーバーパック	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直し確認			
5.自然災害に対する作業期間中の 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			

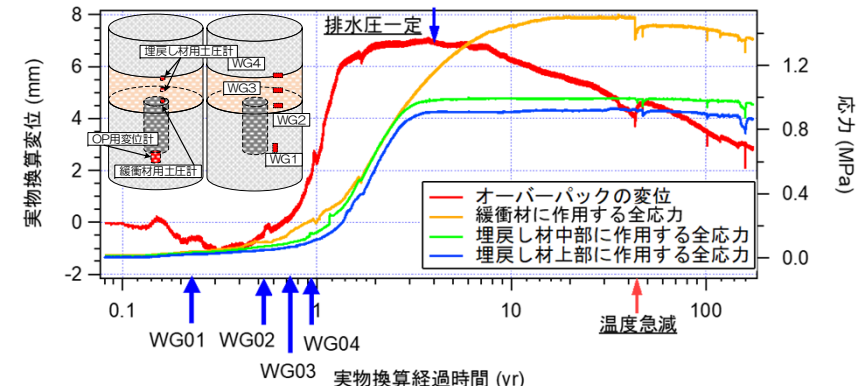


図1 遠心模型試験により100年相当のデータを取得

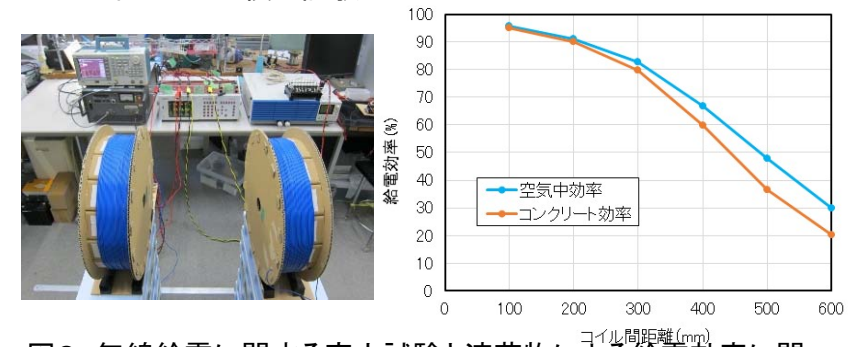


図2 無線給電に関する室内試験と遮蔽物による給電効率に関する試験結果

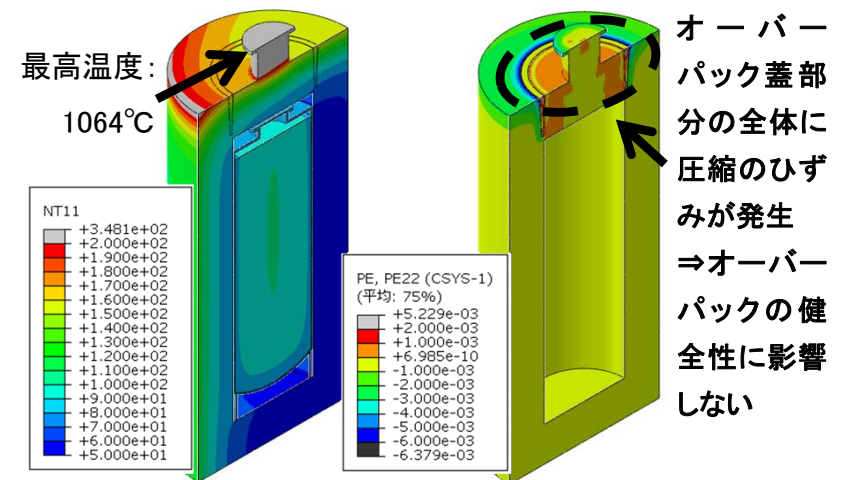


図3 火災を想定した温度状況でのオーバーパック状況解析結果

## (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を実現する上で必要な検討項目数。

#### 【設定理由・根拠等】

各技術開発等を実現する上では、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 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。
終了時評価時（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。



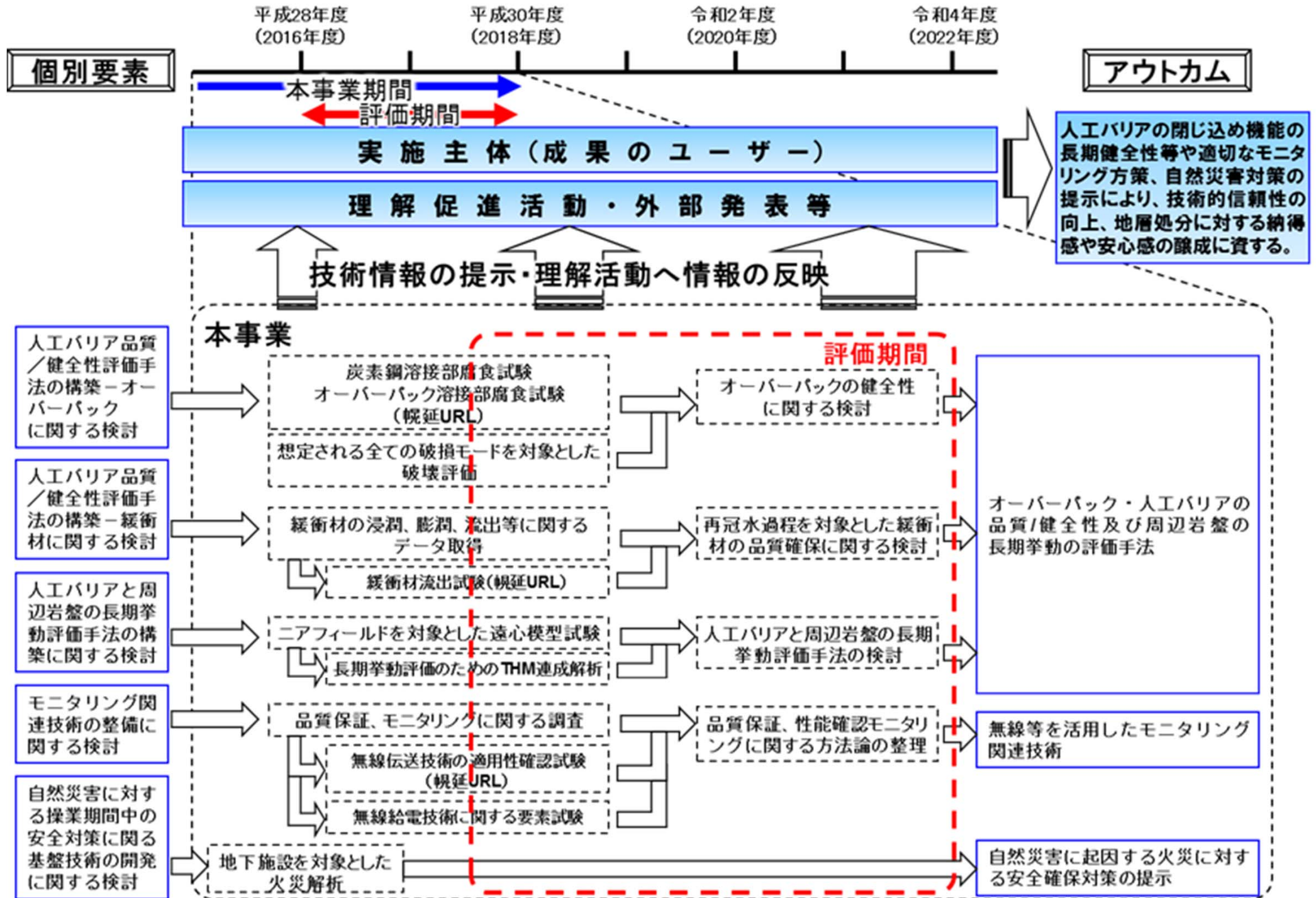
## (3) 事業アウトプット

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
終了時評価時（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。

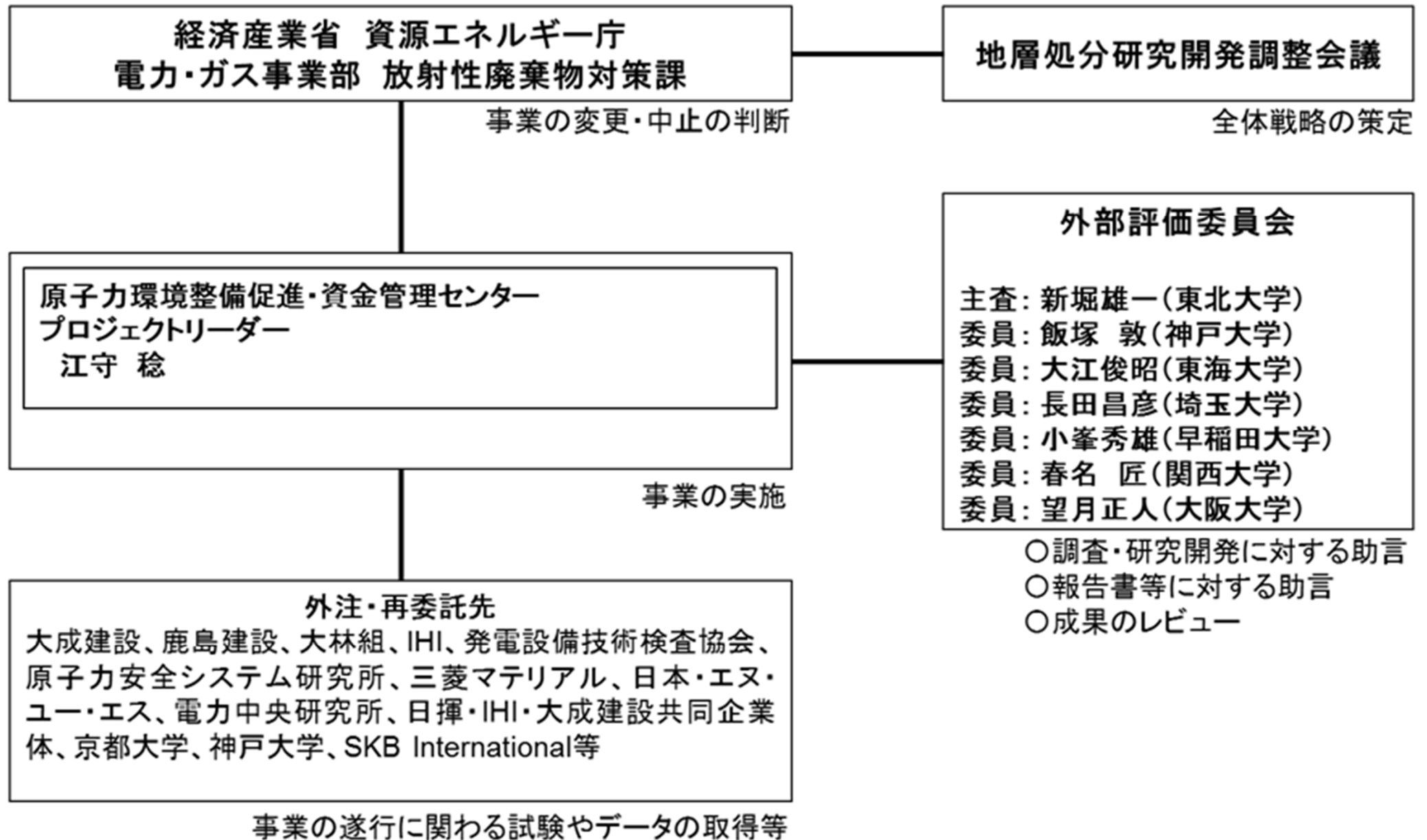
### < 共通指標実績 >

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	プロトタイプの実作成
3	—	—	—	—	—	—

# (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



## 2. 1. 8 地層処分施設閉鎖技術確証試験 (平成30年度)

# (1) 事業の概要

概要	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。
実施期間	平成30年度～平成31年度（2年間）
実施形態	国からの直執行（委託事業）
予算総額	5.7億円 (平成30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 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	棚井 憲治 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(幌延深地層研究センター 堆積岩処分技術開発GL) 江守 稔 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・マネージャー)

# (1) 事業の概要

## □ 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(右上図)。
- 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(右下図)、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め戻し材料(ベントナイト)の特性データの取得を開始した。

他の成果については成果報告書(本文、付録1、付録2)をご参照下さい。

## □ 全体スケジュール

	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

## 諸外国におけるシーリングシステムに求める安全機能

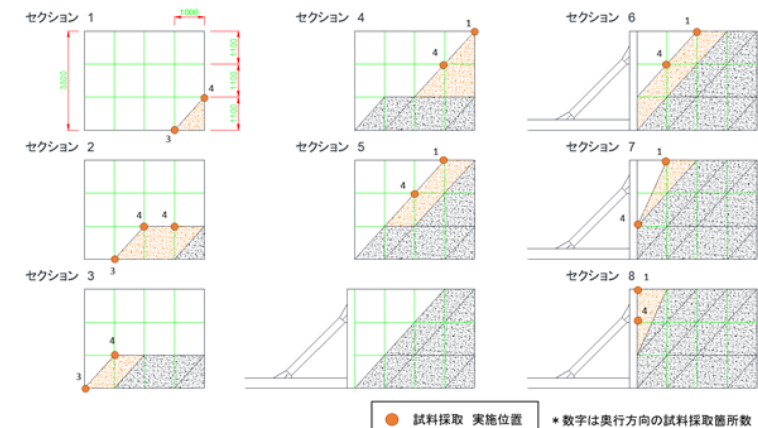
本事業で設定する安全機能	諸外国が設定する安全機能			
	スウェーデン	フィンランド	スイス	フランス*
シーリング部において移流を抑制すること	移流の抑制 -Limit advective transport <sup>1)</sup>		シーリングシステムの構成要素に具体的な安全機能は設定されていない。	移流の抑制 -Preventing water circulation <sup>2)</sup>
シーリング部において遅延性能を有すること	遅延 -Sorb radionuclide <sup>1)</sup>	放射性核種の放出制限 -Limit and retard radionuclide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

+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



坑道全断面吹付け工法による埋め戻し施工試験の状況



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) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p>【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め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。</p> <p>【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。</p>		
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 30項目	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め戻しを実施した。掘削土（岩種）が埋め戻し材料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。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：—

## (3) 事業アウトプット

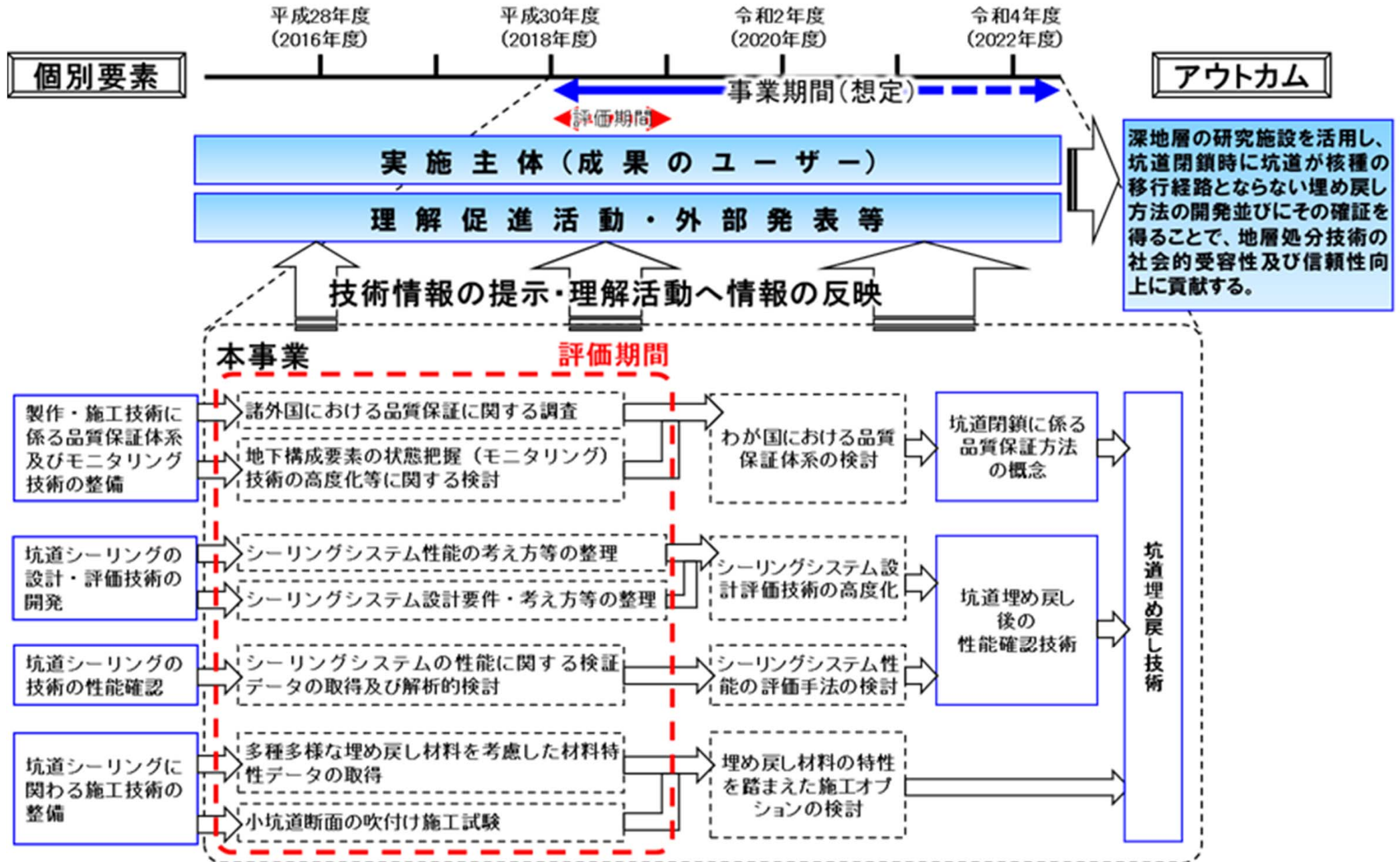
事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成30年度）	計画： 事業終了時までに複数件の外部発表	実績：－
中間評価時（令和元年度）		実績：0件 事業開始1年目であり、試行的な現場試験や既存情報の整理・課題の抽出に注力したため、外部発表はなし。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：－

### < 共通指標実績 >

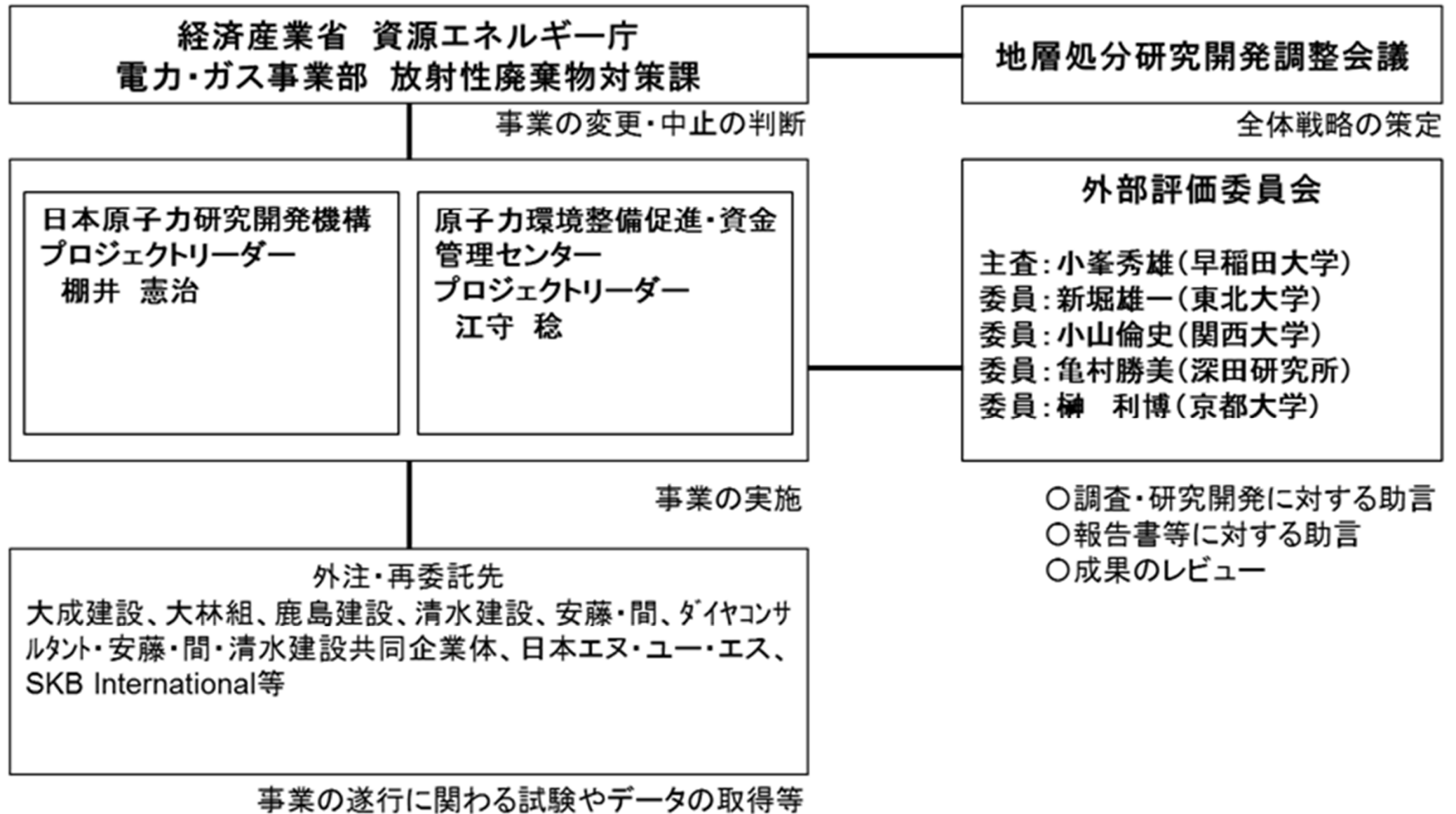
論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプの実成
—	—	—	—	—	—	—



# (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



## 2. 1. 9 沿岸部処分システム高度化開発 (平成28年度～平成30年度)

### (3) 事業の概要

概要	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踏まえた技術のシステム(化)開発を実施した。
実施期間	平成27年度～平成30年度（4年間）
実施形態	国からの直執行（下記4者への委託事業）
予算総額	20.6億円 (平成28年度:7.3億円 平成29年度:7.0億円 平成30年度:6.3億円)
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 産業技術総合研究所(総括研究主幹)

# (1) 事業の概要

## □ 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箇所の深部地下水の採取・分析・流動解析の結果、沿岸の地下環境は、地下水の水質が層状に分布していることを明らかにするとともに、幌延地域周辺の事例研究として深度570m以深の地下水は安定性が高いことを示した(右上図)。
- 沿岸部の地下水の水質を考慮して、オーバーパック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ともに、新たに品質を改良した材料(品質改良材料)を用いることでオーバーパックの溶接部の局所的な腐食を抑制することができる見通しが得られた(右下図)。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

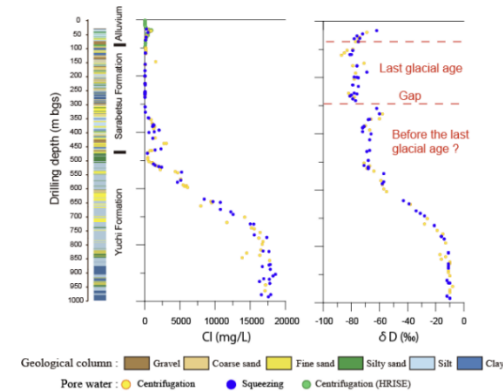
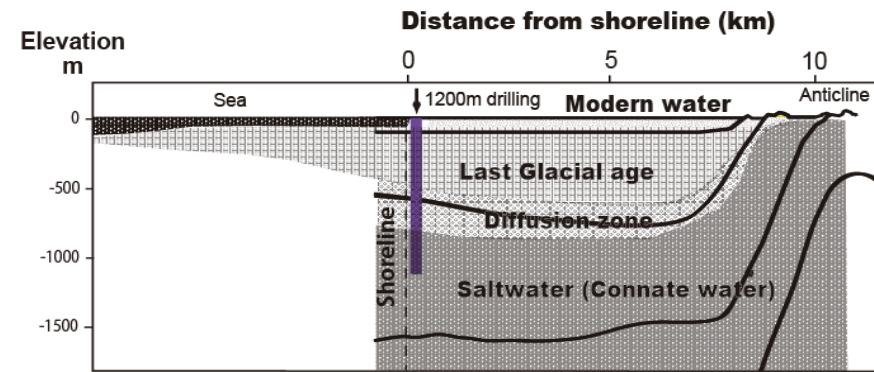


図1 地下水の安定性評価  
沿岸部の深部地下水は、海水準変動の影響を受けて、塩水と淡水が層状に堆積している。深度300mまでの地下水は流動性が高く、570m以深の地下水は安定性が高いことを明らかにした(Machida et al.,2019)。

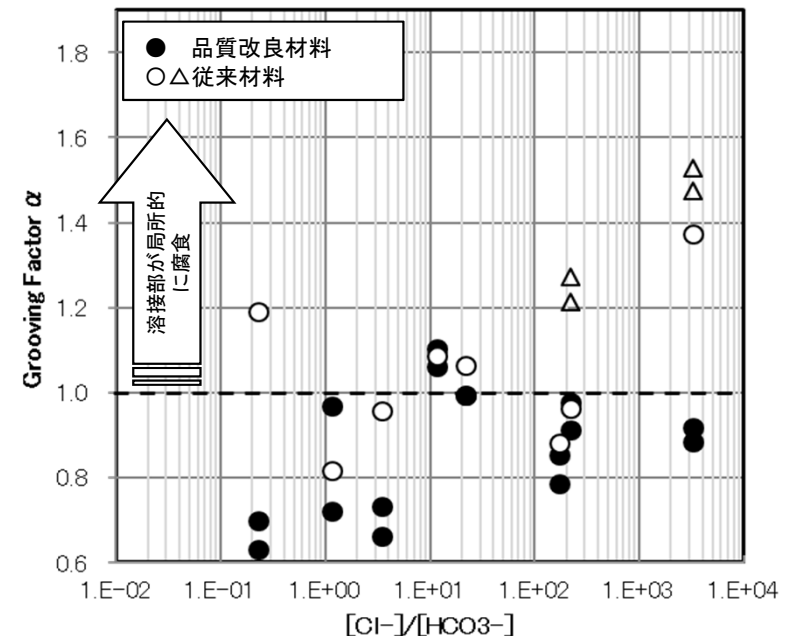


図2 工学技術の高度化開発における成果の例

# □ 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 (12/25～)	平成28年度	平成29年度	平成30年度
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	第1回研究会 第2回研究会 ▼ 1/26 ▼ 3/22			
<b>(1) 沿岸部における地質環境の調査技術の高度化開発</b> ①沿岸部の地質環境調査・評価技術に関する検討 ②沿岸部地下水調査技術に関する検討 ③沿岸部の地下水調査システムの研究に資する基盤情報の整備	既存文献調査&課題整理	沿岸部における隆起浸食、火成活動、断層活動の調査・評価手法の開発、既存技術の最適化、適用事例の蓄積 地下水年代測定手法の体系化と採水技術の高精度化 地化学特性を考慮した深部地下水環境測定	地下水年代や地化学特性をふまえた地下水流動解析ならびに既存情報の集積・DB化 実データによる深部地下水統合化解析・評価(システムティック区分の整理)	
<b>(2) 沿岸部における工学技術の高度化開発</b> ①沿岸部における地層処分のための工学技術の検討及び関連情報の整理 ②人工バリア材料等を対象とする劣化や変質に関する現象の把握 ③グラウト設計及び影響評価技術の開発 ④ニアフィールド領域での処分システム構成材料の成立性と品質確保の方法の提示	既存文献調査&課題整理	個別材料に関する腐食、劣化・変質等の影響把握の試験(現象把握、データ取得、モデル構築等) グラウト設計・影響評価技術の高度化、システム成立性と品質確保方法の開発 ・既存の知見 ・課題の整理 ・特性データ(基本)取得 ・特性データ(長期安定性)取得	・特性データ(基本)取得 ・特性データ(長期安定性)取得 ・長期挙動の現象理解 ・モデル化・数値解析への適用検討	・長期挙動の現象理解 ・モデル化・数値解析への適用検討 ・グラウトガイドライン・DB更新 ・統合技術としての有効性確認
<b>(3) 安全評価技術</b> ①評価の枠組みの整備 ②核種移行モデル・パラメータ整備及び影響評価 ③生活圏評価モデル・パラメータ整備及び影響評価	既存文献調査&課題整理	データ拡充方針、現象論モデル・核種移行評価モデルの更新、パラメータ設定手法の検討・整備、影響評価・不確実性評価への着手 生活圏評価モデルの更新、パラメータ設定手法の検討・整備、影響評価・不確実性評価への着手	評価の手法構築： ・具体的な評価方法の既存情報に基づく分析・整備 モデル・パラメータ整備 ・沿岸部固有の場の特徴やその変遷の評価手法の調査・評価試行 ・沿岸部固有の場の特徴やその変遷の影響を定量的に評価するための基盤情報としてのデータ拡充	
		委員会の設置・運営 第1回 第2回 第3回 ▼ ▼ ▼	委員会の設置・運営 第1回 第2回 第3回 ▼ ▼ ▼	取りまとめ 委員会の設置・運営 第1回 第2回 第3回 ▼ ▼ ▼

## (2) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p>【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。</p> <p>【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。</p>		
指標目標値		
事業開始時（平成27年度）	計画：	実績：—
中間評価時（平成28年度）	事業終了時まで 45項目	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。
終了時評価時（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。

## (3) 事業アウトプット

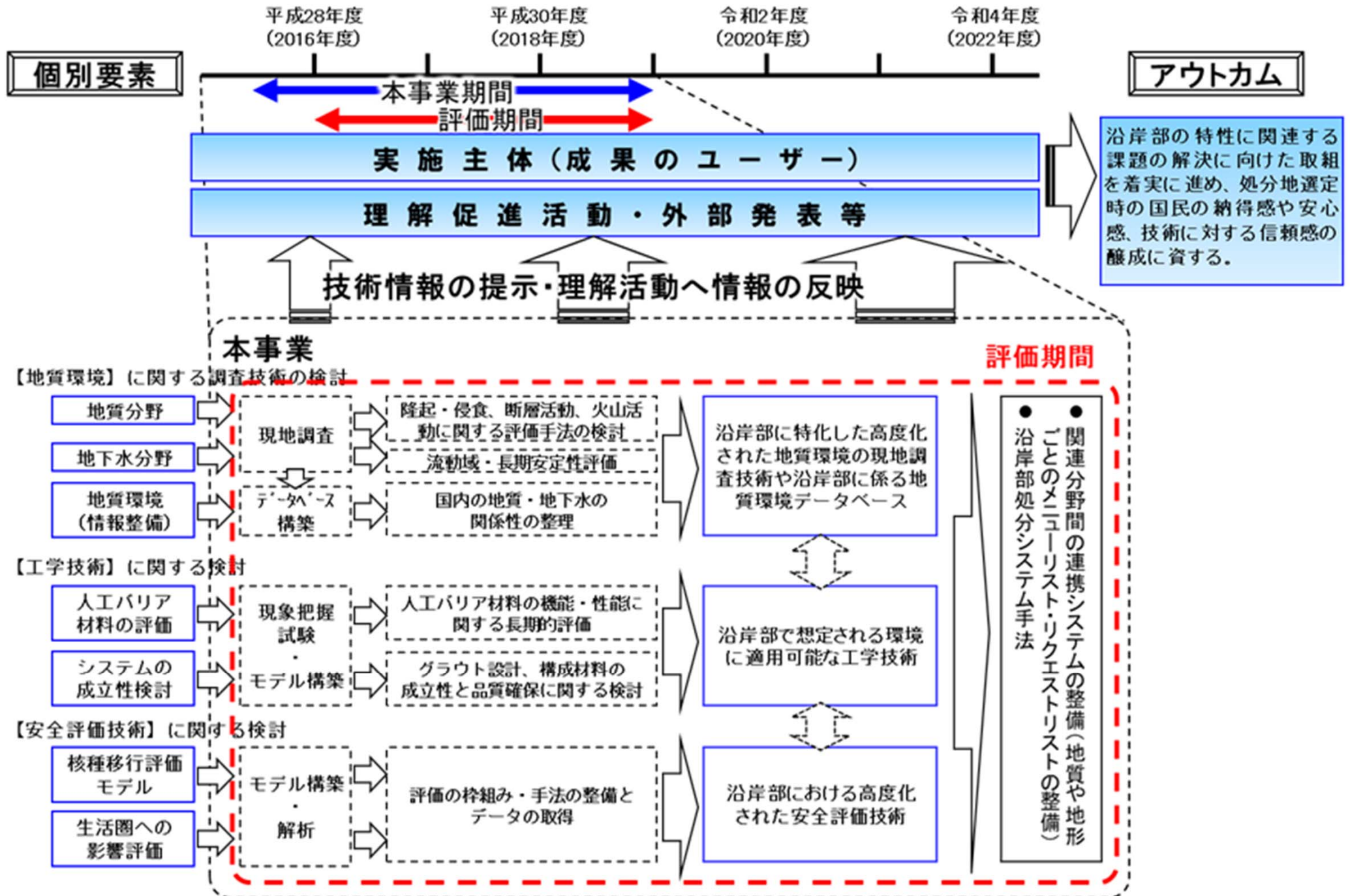
事業アウトプット指標		
【指標】 事業実施によって得られた技術や知見に関する外部発表件数		
【設定理由・根拠等】 各種アウトプットの過程においては、種々の要素技術など外部発表が可能な知見が得られる。そこでアウトプットの指標として外部発表件数とする。		
指標目標値		
事業開始時（平成27年度）	計画： 事業終了時まで複数 件の外部発表	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：0件 事業開始3カ月で中間評価を受けているため、外部発表はなし。ただし、具体的な計画を構築した。
終了時評価時（令和元年度）		実績：66件（合計） 国内の沿岸陸域に関するデータ（約80万件）の整理・解釈や当該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

### < 共通指標実績 >

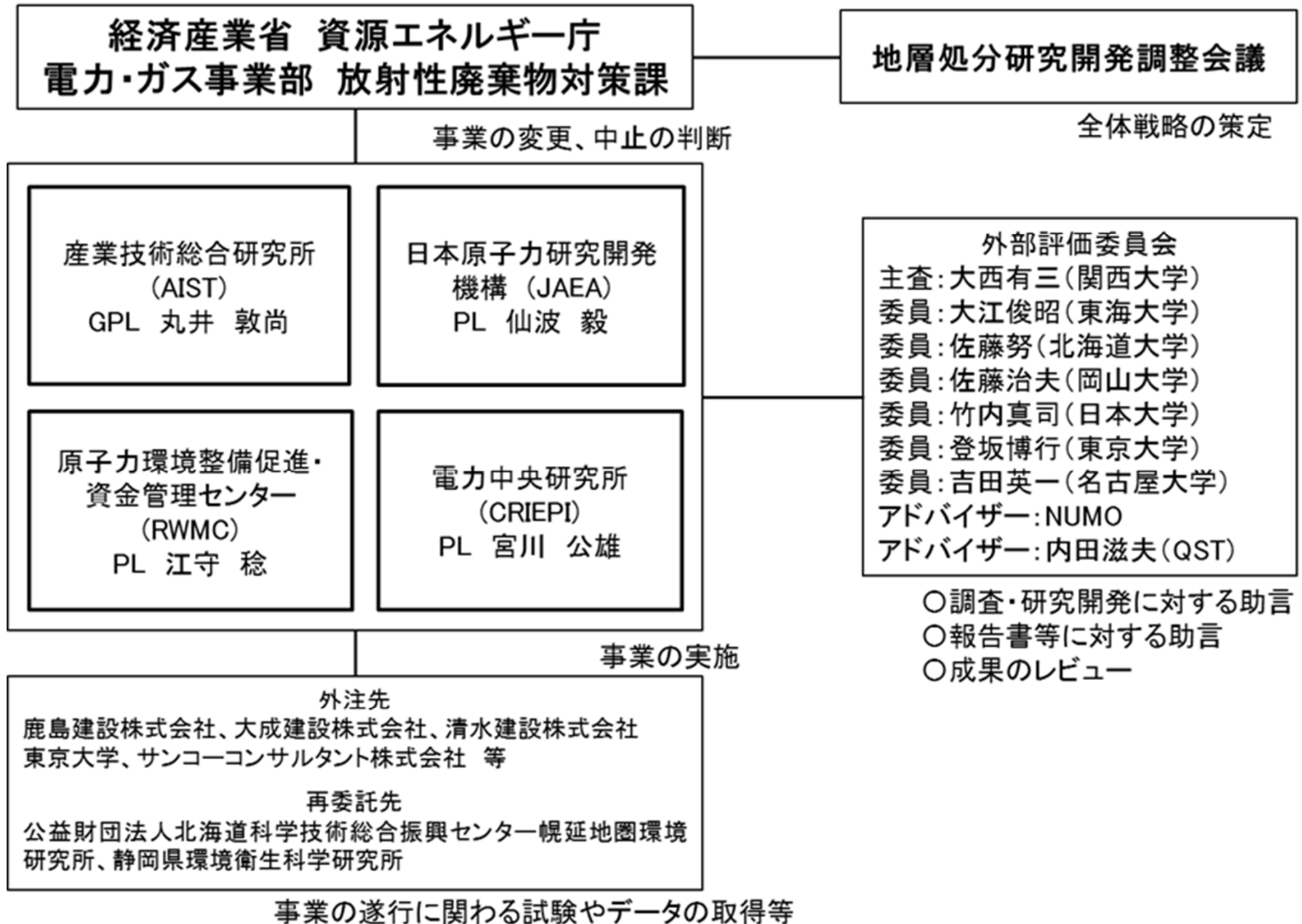
論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実 施件数	ライセンス供与 数	国際標準への 寄与	プロトタイプの 作成
5	—	4	—	—	—	—



# (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



## 2. 1. 10 TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発 (平成28年度～平成29年度)

# (1)事業の概要

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ヨウ素129や炭素14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。
実施期間	平成28年度～平成29年度（2年間）
実施形態	国からの直執行（委託事業）
予算総額	8.4億円 (平成28年度:4.2億円 平成29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 (処分材料調査研究プロジェクト チーフ・プロジェクト・マネジャー)

# (1) 事業の概要

## □ 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ヨウ素の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、炭素14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、炭素14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)。また、ベ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—ベ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。

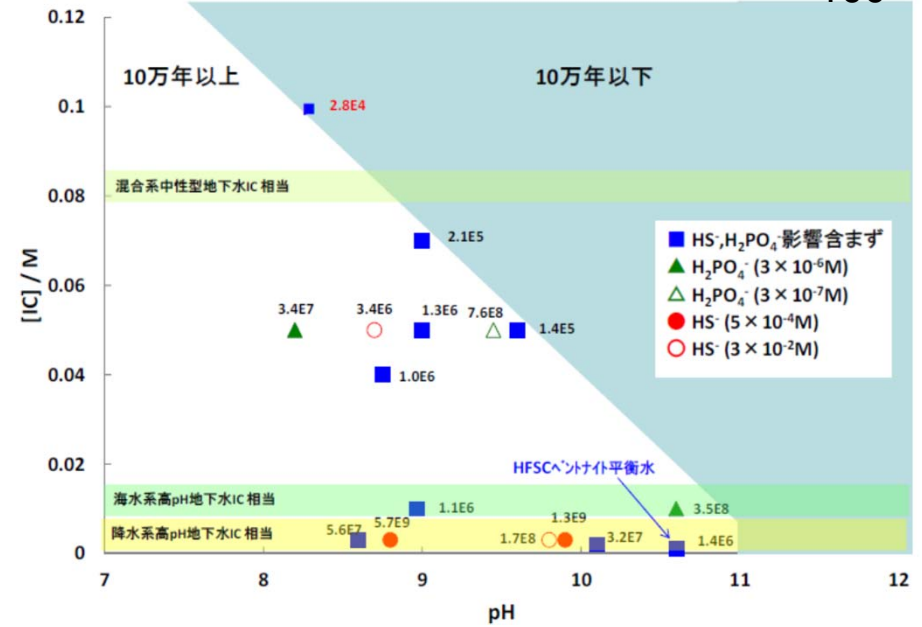


図1 BPIガラス固化体の寿命評価 (pH11以下であり、かつ、無機炭素(IC)濃度が0.1M以下の環境であれば、目標性能である10万年閉じ込めを達成できる見通しが得られた)

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □ 全体スケジュール

	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	
(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

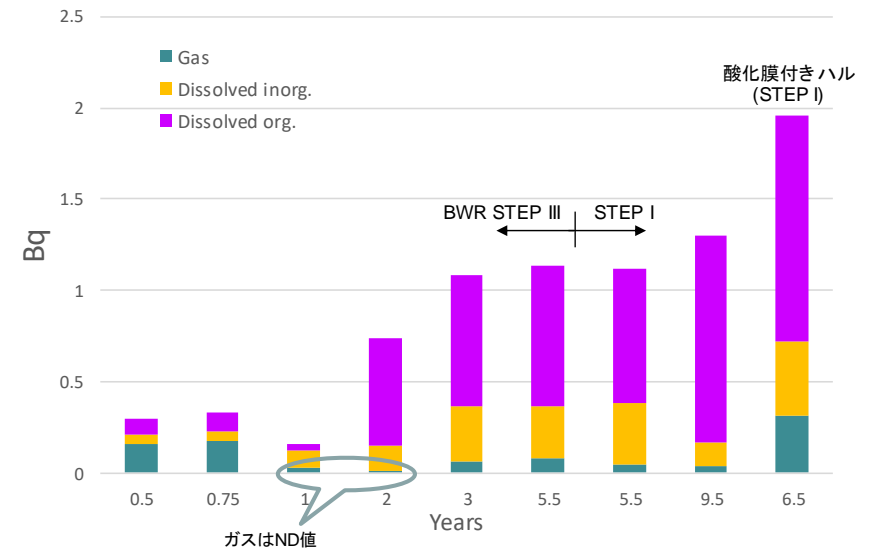


図2 照射済み燃料被覆管(BWR)から放出されたC14の化学種割合の経時変化

## (2) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p>【指標】 T R U 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。</p> <p>【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。</p>		
指標目標値		
事業開始時（平成25年度）	計画： 事業終了時まで 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。
終了時評価時（令和元年度）		実績：94 項目 T R U 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。

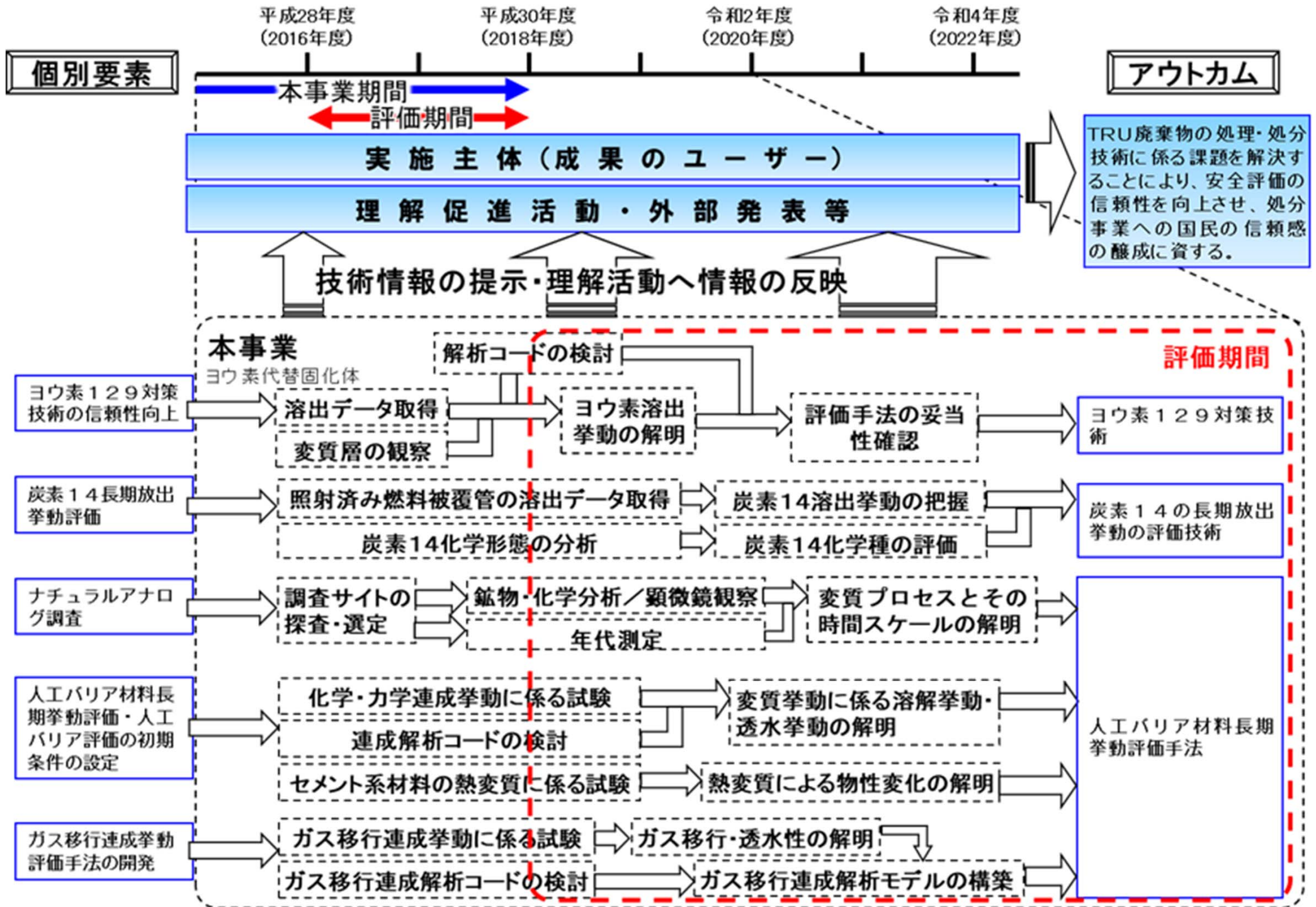
### (3) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
<p>【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</p> <p>【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。</p>		
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：65件 BPI ガラスによるヨウ素129固定の可能性を得るとともに各種試験に着手し着実にデータを取得した。
終了時評価時（令和元年度）		実績：125件（合計） BPI ガラスのヨウ素溶出挙動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した。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炭素14の溶出挙動について評価した。

#### < 共通指標実績 >

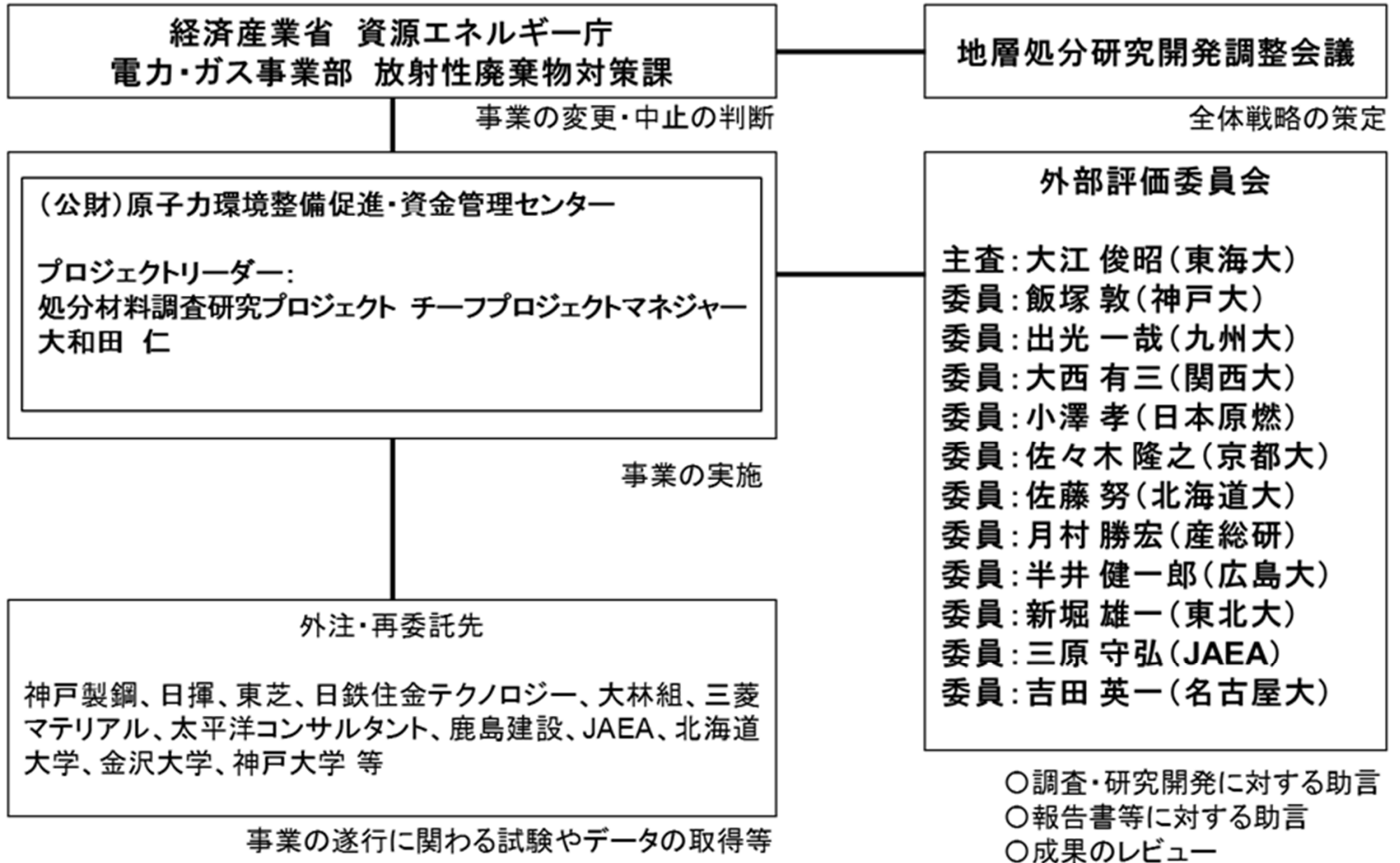
論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプの実成
12	—	—	—	—	—	—

# (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



## 2. 1. 11 TRU廃棄物処理・処分に関する技術開発 (平成30年度)

# (1)事業の概要

概要	TRU廃棄物処分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。
実施期間	平成30年度～令和元年度（2年間）
実施形態	国からの直執行
予算総額	5.6億円 (平成30年度:5.6億円)
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 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	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(処分材料調査研究プロジェクト チーフ・プロジェクト・マネジャー) 三原 守弘 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 研究副主幹)

# (1) 事業の概要

## □ 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、内部充填材(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1)。
- 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試験装置(図2)によるガス移行試験計画を策定した。

他の成果については成果報告書(本文、付録)をご参照下さい。

## □ 全体スケジュール

	平成30年度	平成31年度 (令和元年度)
(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(アルミナ固化体、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(ハル) 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

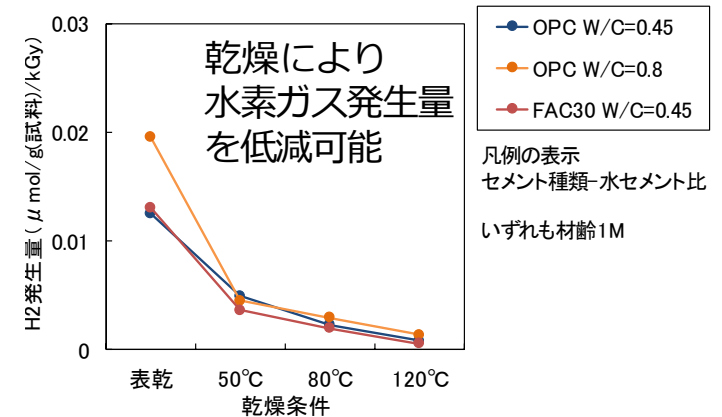


図1 セメントペーストと水素ガス発生量の評価

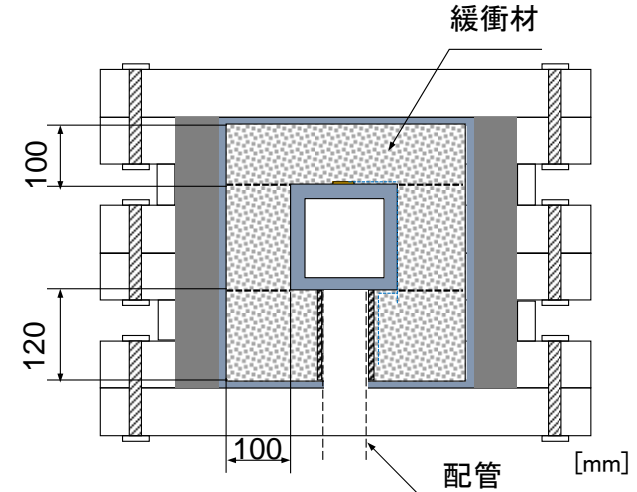


図2 ガス移行試験用のモックアップ試験装置

## (2) 事業アウトカム

### 事業アウトカム指標

#### 【指標】

T R U 廃棄物処分に係る新しい固化技術、固化体からのヨウ素 1 2 9、炭素 1 4 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 3 0 年度）	計画：	実績：－
中間評価時（令和元年度）	事業終了時まで 4 5 項目	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した。
終了時評価時（令和 4 年度予定）		実績：－ 項目

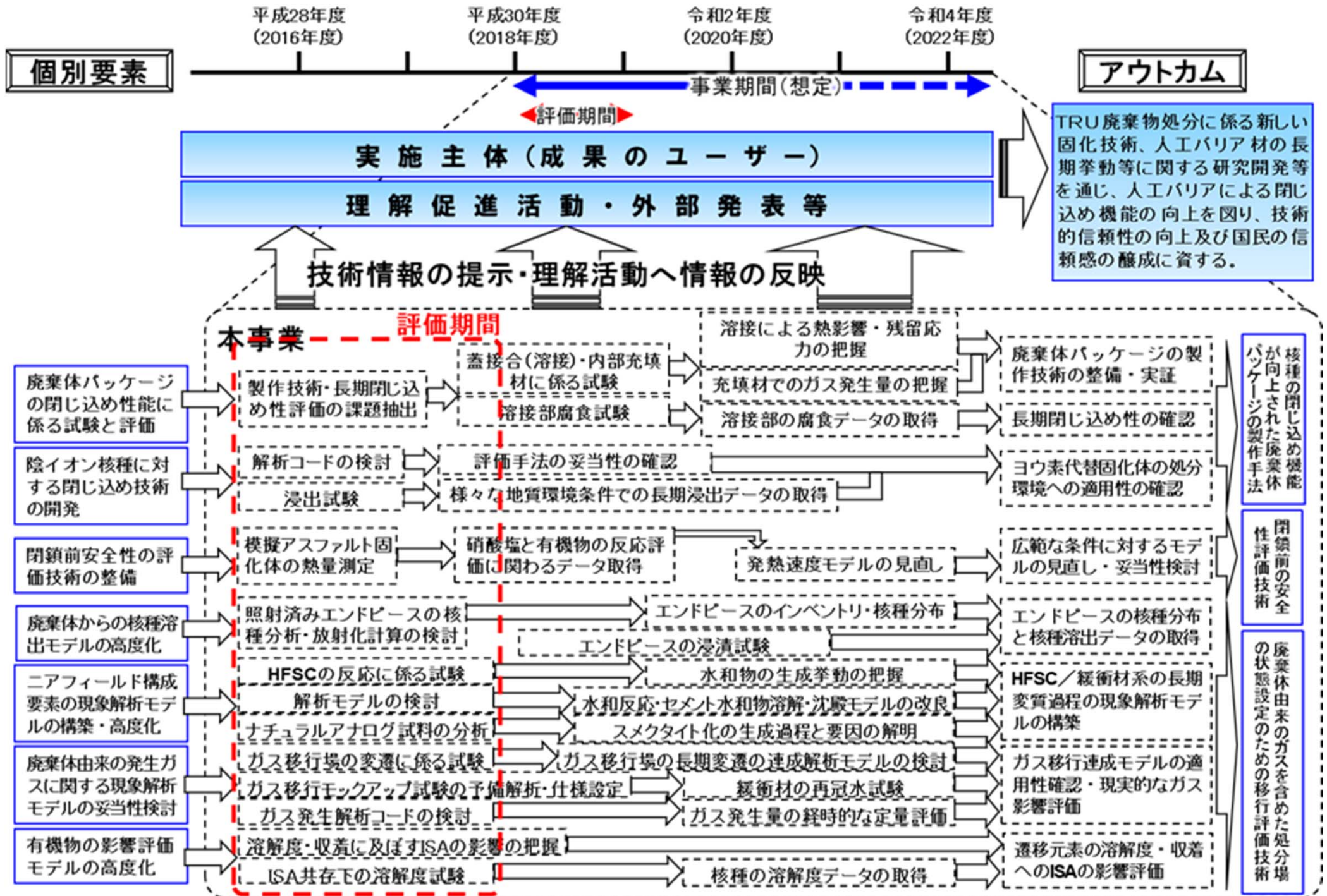
## (3) 事業アウトプット

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：0件 事業開始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、外部発表は行っていない。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：—

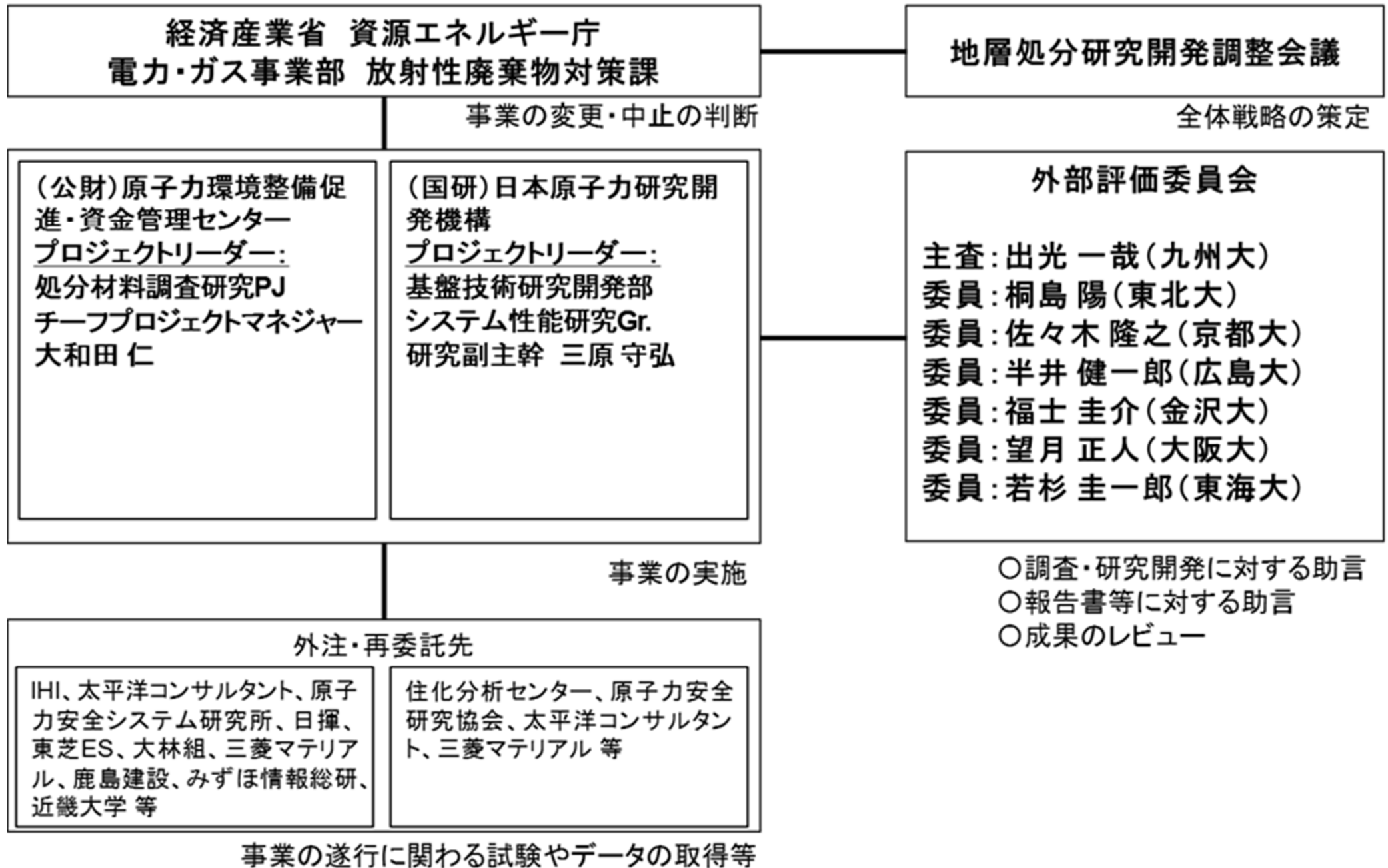
### < 共通指標実績 >

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	プロトタイプの実成
—	—	—	—	—	—	—

# (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





2. 1. 12 可逆性・回収可能性  
調査・技術高度化開発  
(平成28年度～平成30年度)

# (1)事業の概要

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、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。
実施期間	平成27年度～平成31年度（5年間）
実施形態	国からの直執行（委託事業）
予算総額	15.85億円 (平成28年度:5.0億円 平成29年度:5.85億円 平成30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	江守 稔 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)

# (1) 事業の概要

## □ 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、運搬装置、定置装置、除去装置の製作と実証試験を行い、装置等の有効性や方法論を示した(図1)。
- 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)。
- 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。

他の成果については成果報告書(本文1、本文2、本文3、付属1、付属2、付属3)をご参照下さい。



図1 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

## □ 全体スケジュール

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					

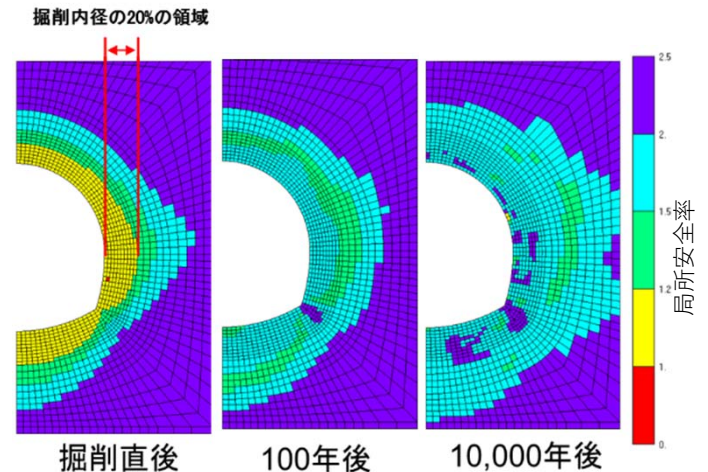


図2 解放状態を維持した場合の坑道安全性の評価の例  
(試行的に局所安全率の長期変化を定量化したもの)

## (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、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、緩衝材や埋め戻し材の除去装置や廃棄体の回収装置を試作するとともに、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討している。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：—項目

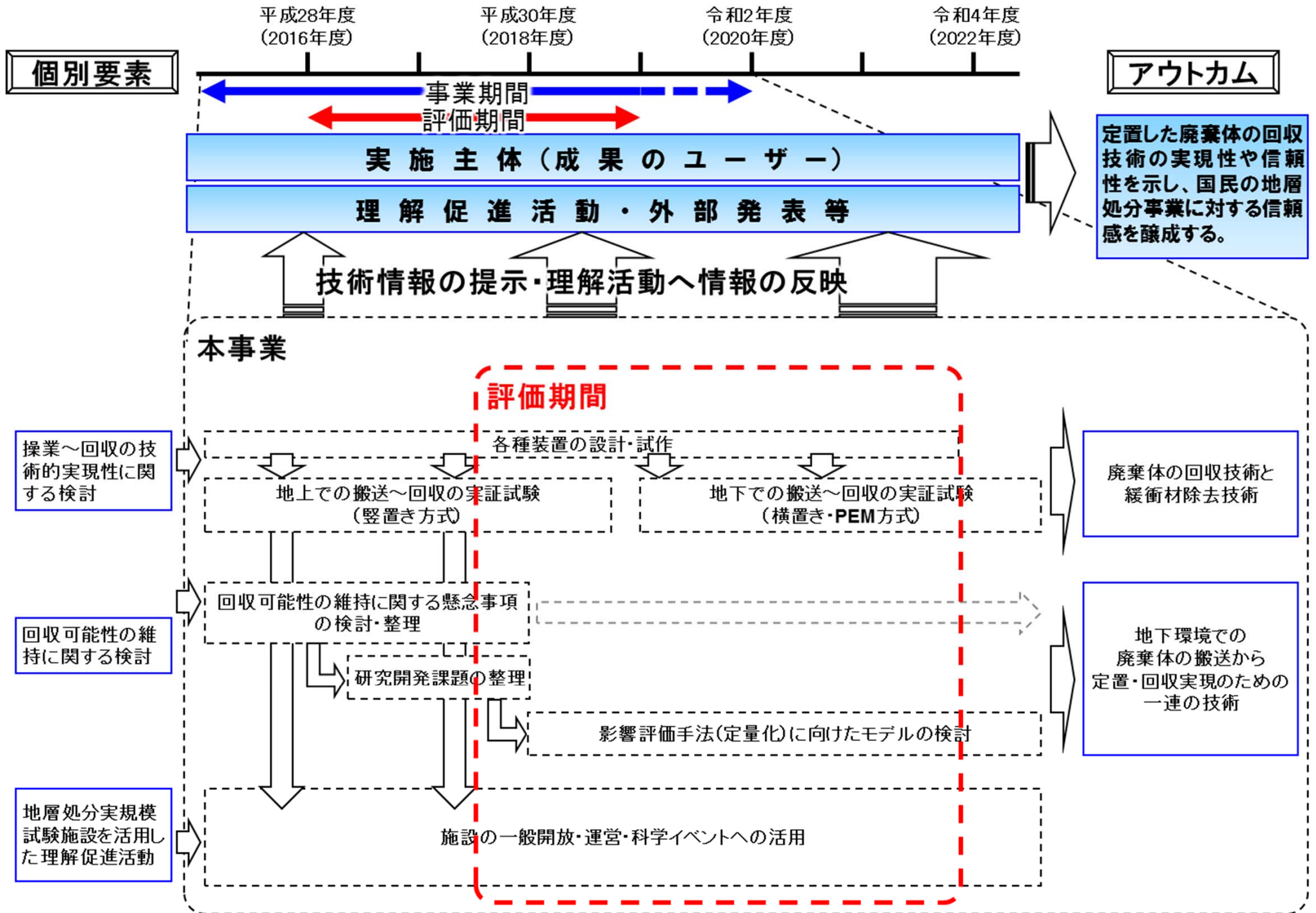
### (3) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
<p>【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</p> <p>【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。</p>		
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：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（模擬廃棄体の埋め戻しや埋め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。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：－

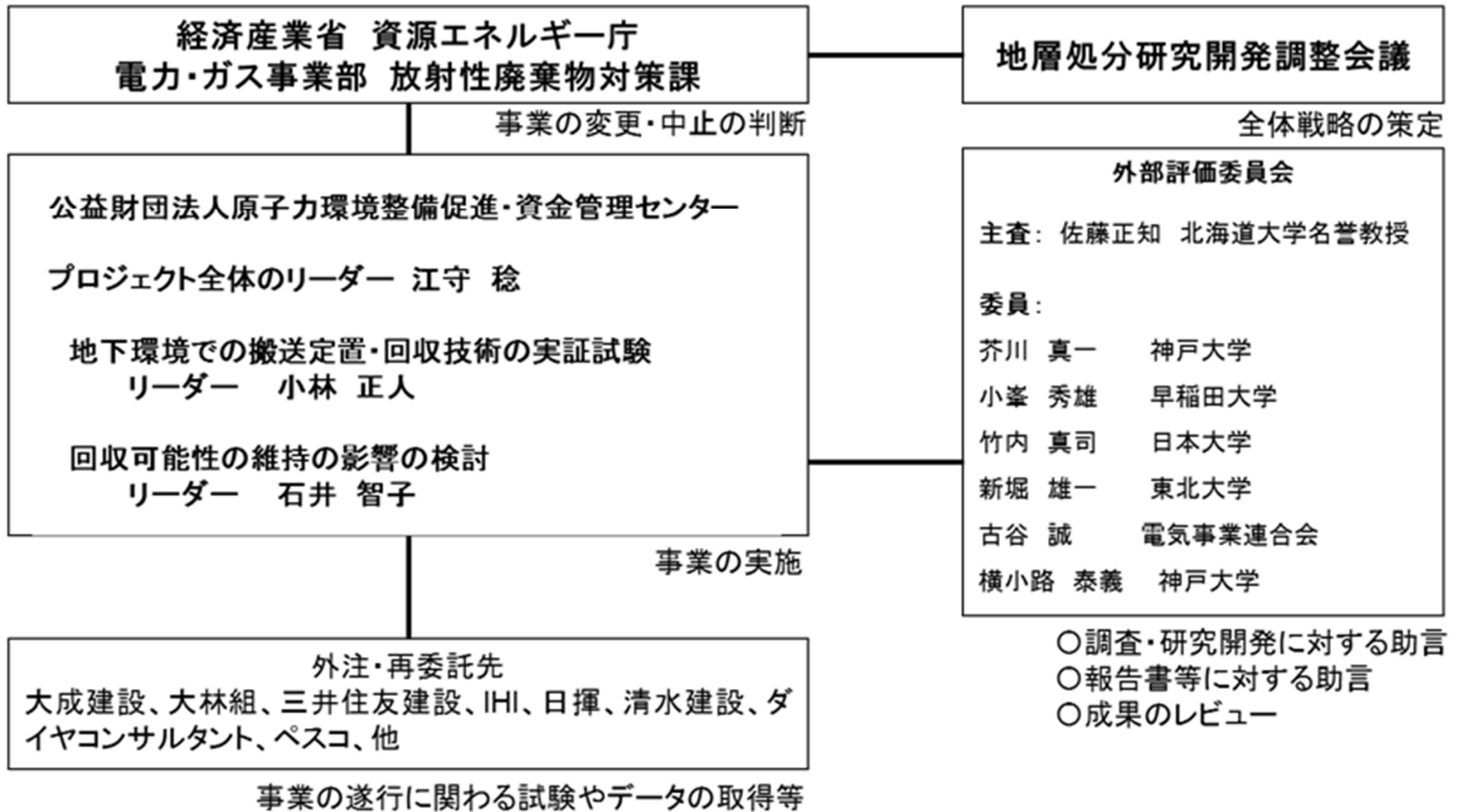
#### < 共通指標実績 >

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	プロトタイプの実成
0	—	0	—	—	—	—

# (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



## 2. 1. 13 直接処分等代替処分技術開発 (平成28年度～平成29年度)



# (1) 事業の概要

概要	将来的な政策の柔軟性を確保する観点から、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。
実施期間	平成25年度～平成29年度（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）
実施形態	国からの直執行（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構への委託事業）
予算総額	4.9億円 （平成28年度：2.7億円 平成29年度：2.2億円）
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	牧野 仁史 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。

# (1) 事業の概要

## □ 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1)。
- 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)、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。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □ 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	
(2) 直接処分施設の設計検討		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 燃料集合体システム評価のための調査・解析・データベース整備 閉じ込め性能評価手法の高度化と検証		直接処分方案(保護措置、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・検証 わが国の環境条件に適合した直接処分施設の検討・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調査・取得データに基づく緩衝材設計		事業成果の取りまとめ
(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 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		事業成果の取りまとめ
(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	海外事例の調査 わが国に対する適用性の評価	事業成果の取りまとめ	

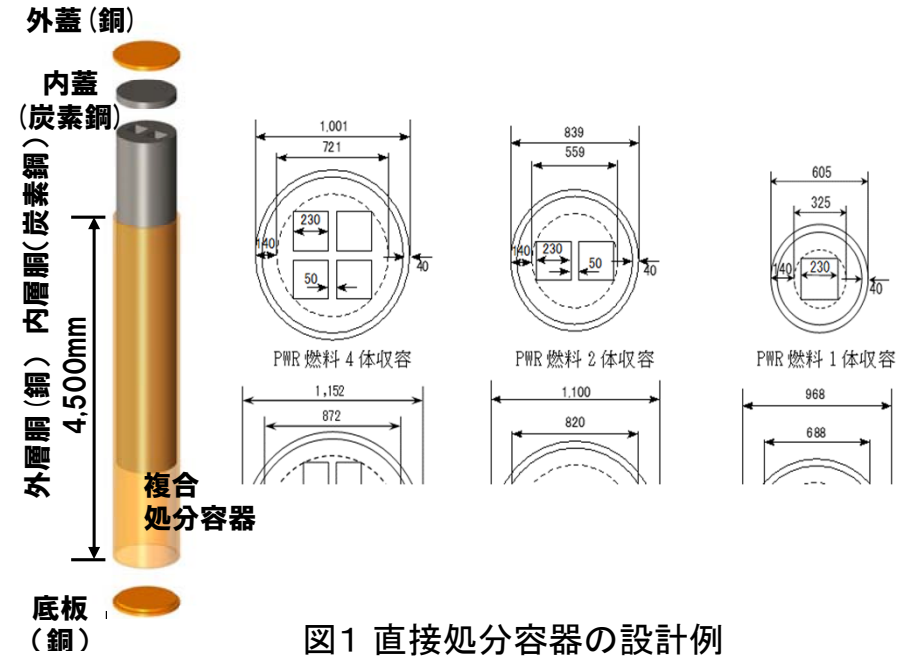


図1 直接処分容器の設計例

- 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<sup>2</sup>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 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】

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、信頼性のある代替処分オプションとなり、これが高レベル放射性廃棄物の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：	実績：－
中間評価時（平成28年度）	事業終了時まで 80項目	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。
終了時評価時（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その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等を実施した。

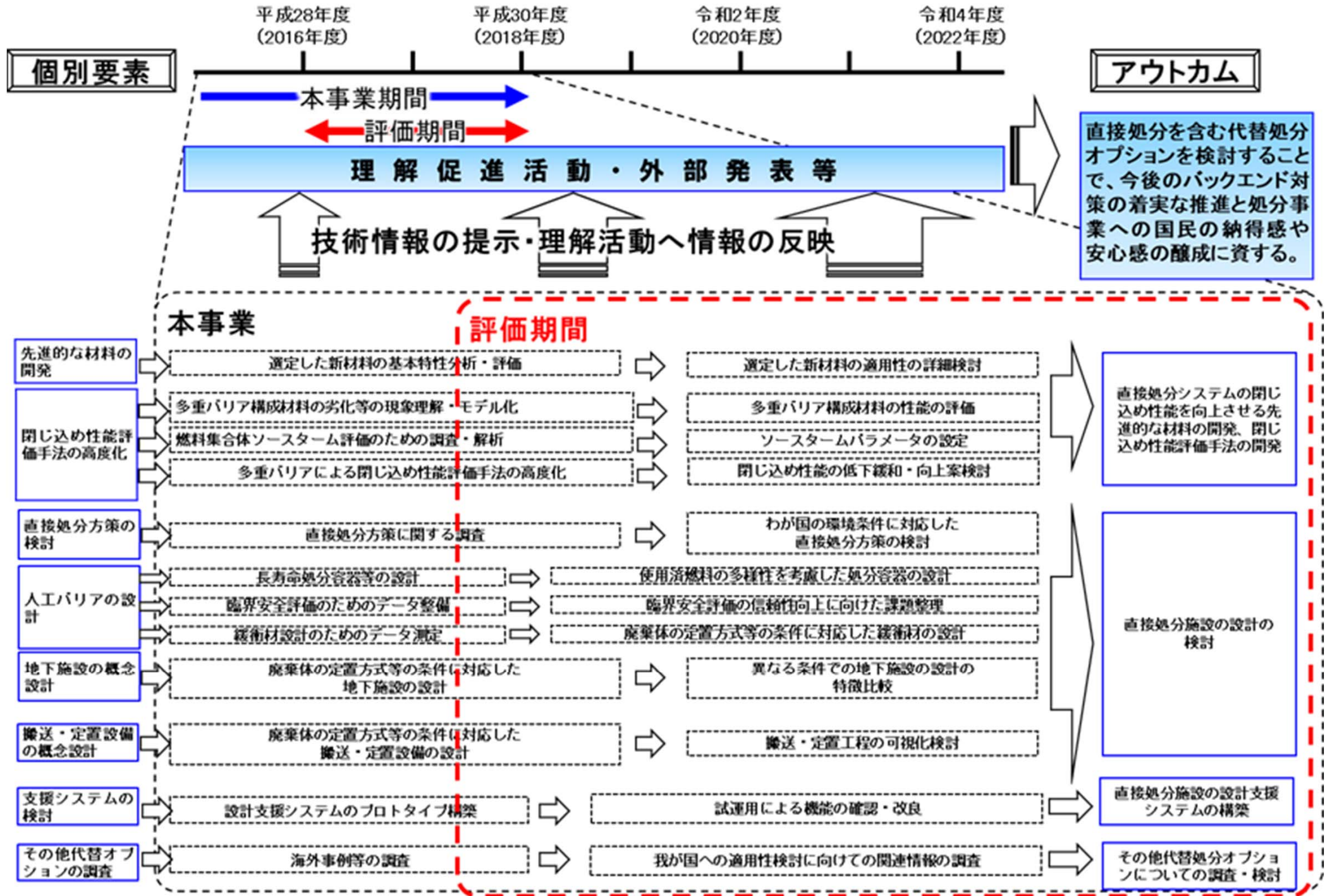
## (3) 事業アウトプット

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：	実績：－
中間評価時（平成28年度）	事業終了時まで複数件の外部発表	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）結果等を公表した。
終了時評価時（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。

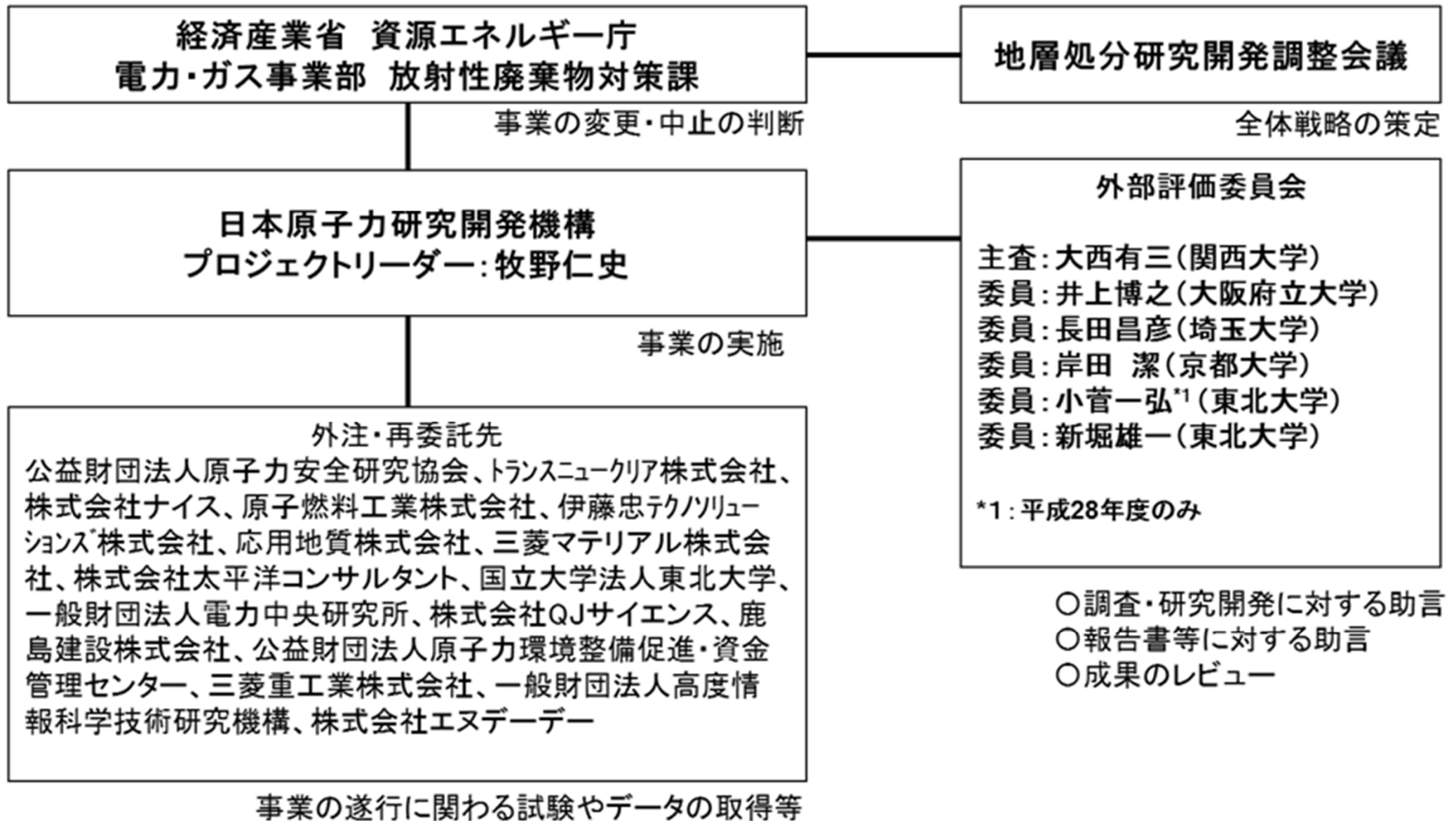
### < 共通指標実績 >

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	プロトタイプの実成
4	—	—	—	—	—	1

# (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



## 2. 1. 14 直接処分等代替処分技術高度化開発 (平成30年度)

# (1)事業の概要

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、使用済核燃料の直接処分における特有の現象に着目したデータ取得や影響評価手法の高度化、超深孔処分の日本への適用性を評価する手法の開発等を実施する。
実施期間	平成30年度～平成31年度（2年間）
実施形態	国からの直執行（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構への委託事業）
予算総額	1.6億円 （平成30年度：1.6億円）
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	牧野 仁史 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）



# (2) 事業の概要

## □ 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1)。
- 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)。
- 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。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □ 全体スケジュール

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内外の関連情報の収集・分析</li> <li>腐食試験実施、データ解析 (予察試験・短期試験)</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(種々の因子影響確認試験等)</li> <li>予察的解析等による臨界評価事例の蓄積</li> </ul>
(2) 使用済燃料、緩衝材の挙動評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウラン酸化物溶解速度測定試験</li> <li>ウラン酸化物溶解速度測定試験</li> <li>瞬時放出挙動に関する調査検討</li> <li>銅-緩衝材相互作用試験・分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
(3) 直接処分システムの成立性の多角的な確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内外の最新情報の収集・分析</li> <li>システム成立性の信頼性向上で重要となる課題の抽出</li> </ul>	
(4) その他の代替処分オプションについての調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内外の最新情報の収集・分析</li> <li>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</li> </ul>	

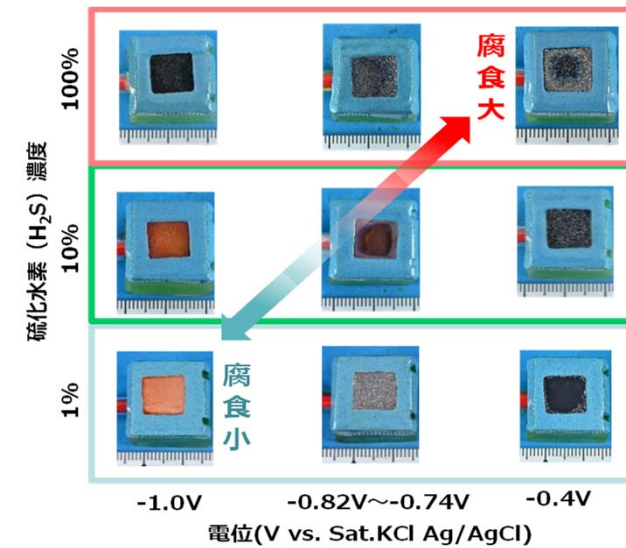


図1 銅の腐食挙動への硫化物濃度と酸化還元性\*の影響 (硫化銅(Cu<sub>2</sub>S)の皮膜形成の確認)  
\*: 電気化学試験の電位として設定

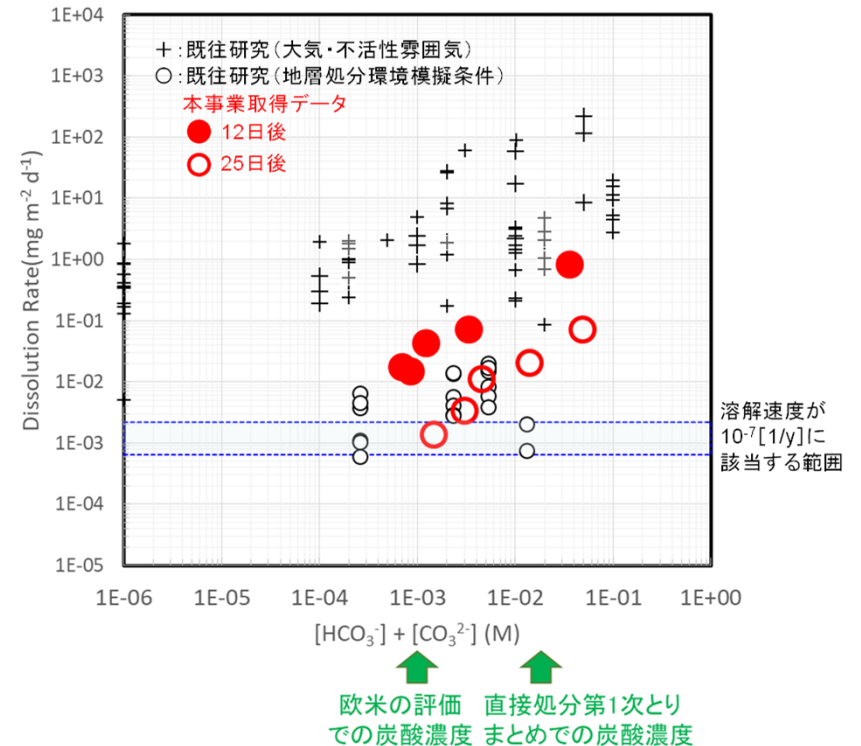


図2 ウラン酸化物の溶解速度への炭素濃度の影響

## (2) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p><b>【指標】</b> 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。</p> <p><b>【設定理由・根拠等】</b> 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、信頼性のある代替処分オプションとなり、これが高レベル放射性廃棄物の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。</p>		
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30項目	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。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：－項目

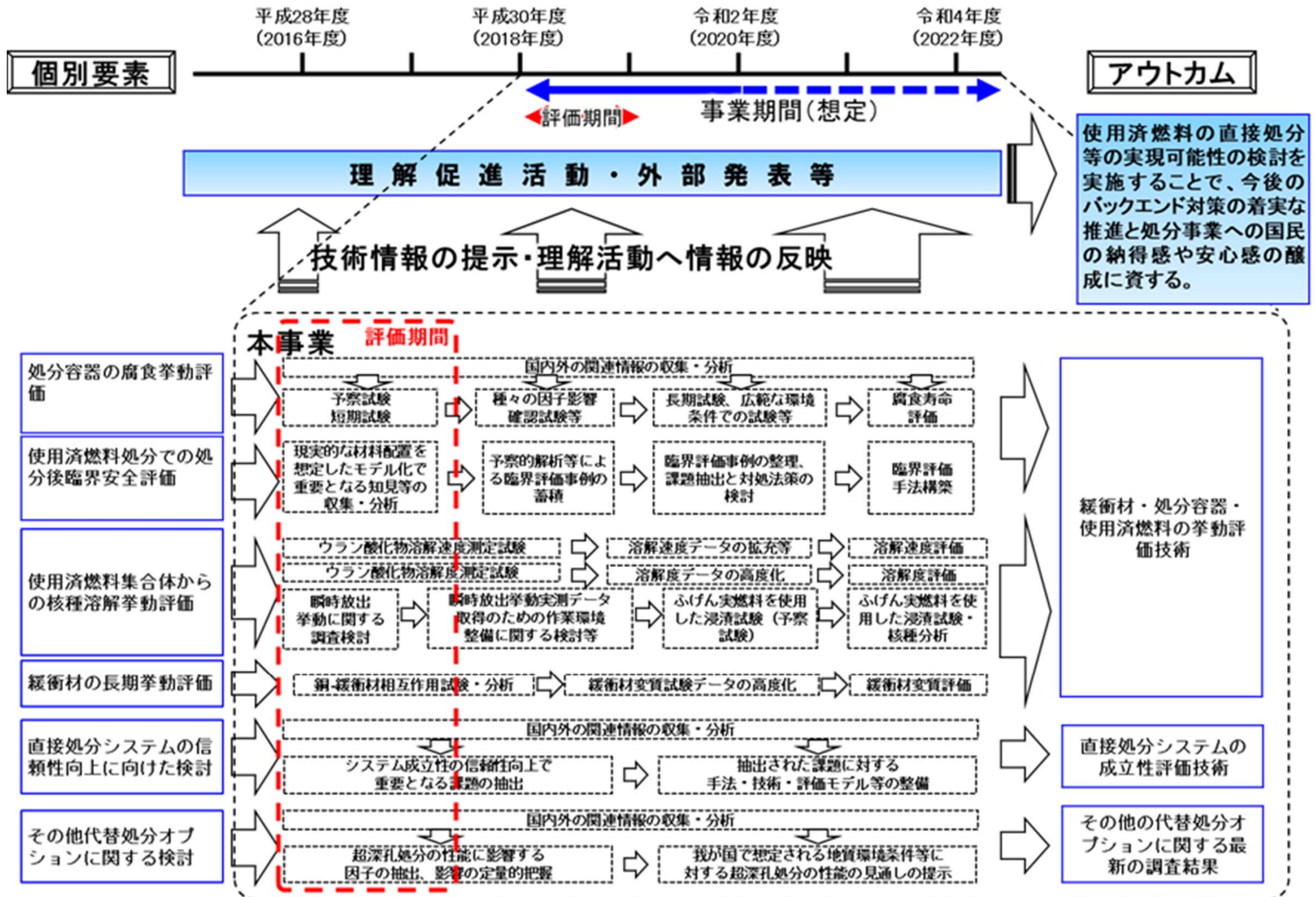
## (3) 事業アウトプット

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）	事業終了時まで複数 件の外部発表	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した。
終了時評価時（令和4年度予定）		実績：－

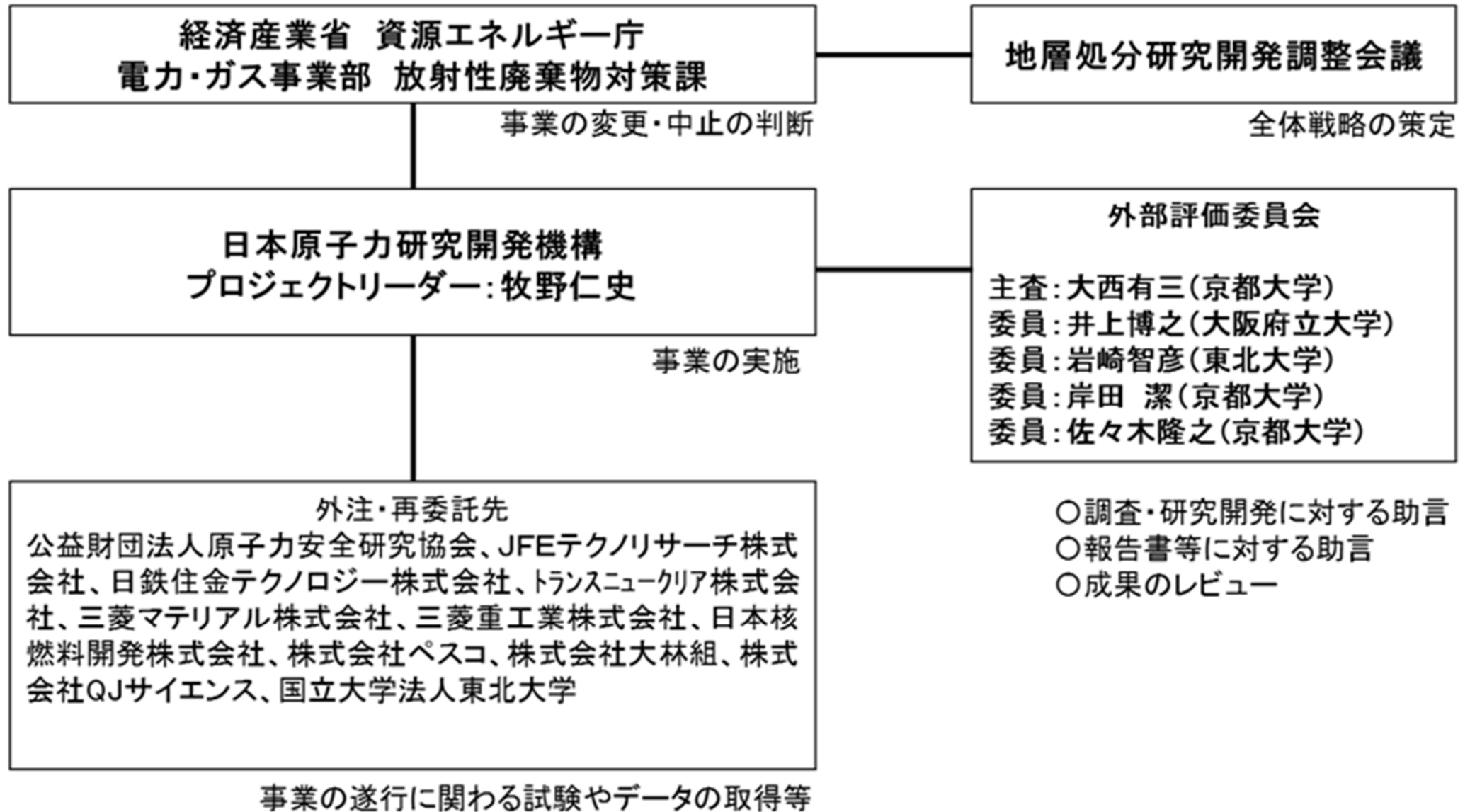
### < 共通指標実績 >

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	—	—	—	—	—	—

# (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



## 2. 1. 15 中間評価の結果

### 今後の研究開発の方向等に関する提言

〈研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性〉

○全体としては極めて重要で、国として遂行すべきプロジェクトであるので、技術的内容を着実に進展させてその目標を達成すること。

〈実施・マネジメント体制等の妥当性〉

○目標の一つである安全性については、技術的に予測可能な将来についても、評価しておくこと。

○信頼性・安心を含めた国民の理解は、必ずしも技術開発だけで得られるものではないことに留意しつつ、対応を丁寧に行うこと。

〈アウトカム達成に至るロードマップの妥当性〉

○国内のみならず、国際的な波及効果を考えつつ、成果の有効活用を検討すること。

〈費用対効果の妥当性〉

○アウトプットとアウトカムは距離があるため、費用対効果の尺度、評価方法を再検討すること。

### 提言に対する対処方針

○本プログラムは国が責任を持って進めることが重要であり、今後も資金を効果的に活用して研究開発を着実に進めていく。

○将来についての安全評価に係る研究開発を引き続き実施していくとともに、その不確実性の幅を評価できるように研究開発を進めて行く。

○科学的な特性を示したマップの提示に伴う国民理解活動等の場を通じ、放射性廃棄物の処分に関する技術などを国民に分かりやすく継続的に情報発信する。

○地層処分に係る研究開発は各国共通の課題であるので、他国の成果について最大限取り込むとともに、国際学会での情報発信などを通じ、成果の有効活用を図っていく。

○従来の論文数や特許数などのアウトプット指標に加え、研究開発における目標に対しての達成度を指標化するなど検討する。

## 外部有識者の評価等

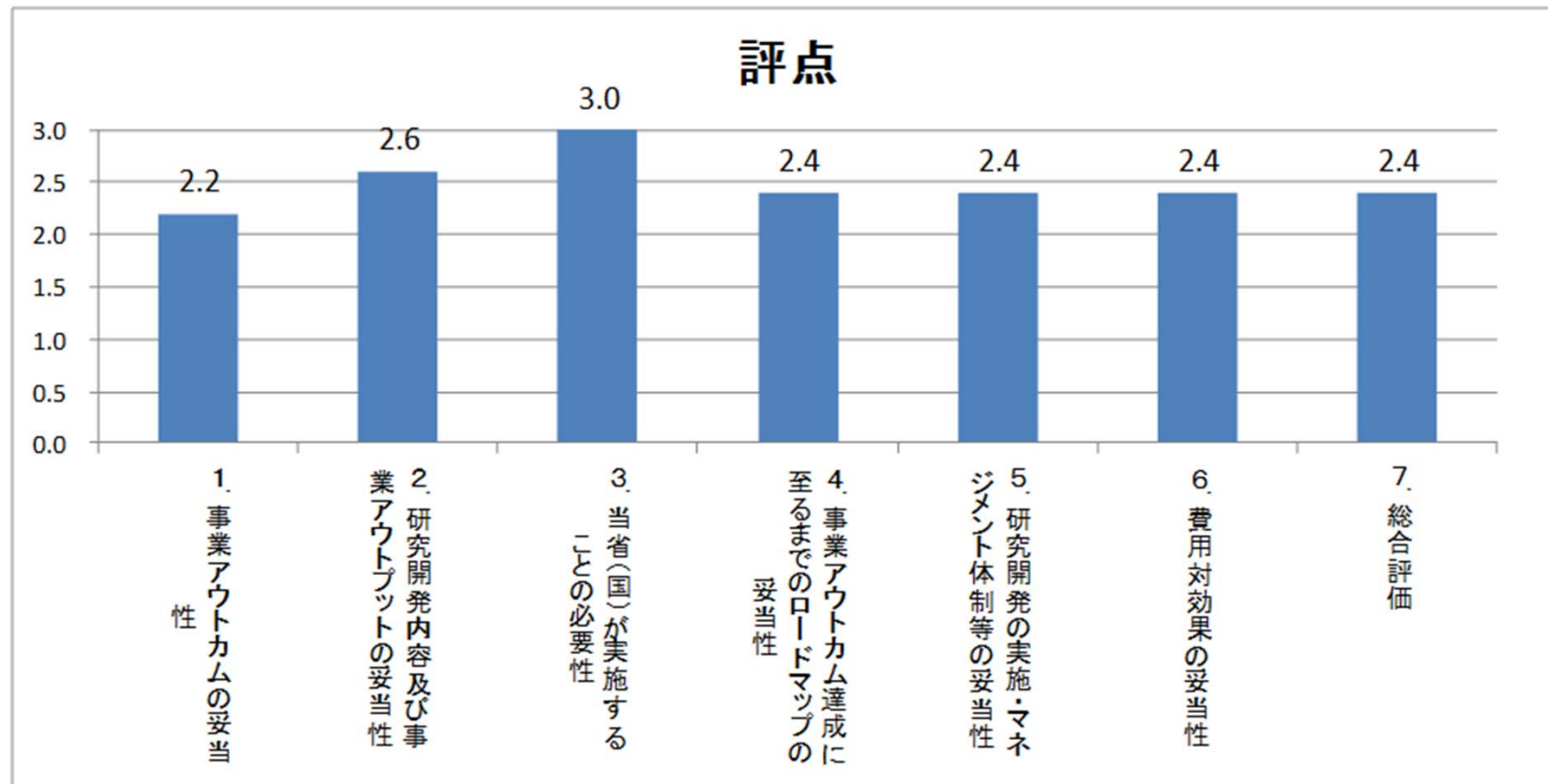
### 【総合評価(高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発)】

- 技術的信頼性の向上という目標を達成する観点では、実施主体と異なる組織が実施する必要があり、国が主導的に実施するべきものと言える。研究開発については、数万年以上の長期間及び広大な地下深部の空間に起因した多岐にわたる研究課題を14個のプログラムに明確に分類し、個々の研究課題について外部評価委員会でレビューを受ける体制が構築されており、マネジメント体制も妥当と判断できる。また、各課題において所期のアウトプットを得ている点は評価できる。さらに、国民の信頼と安全・安心の醸成に向けて、地層処分技術の実証試験の知見の蓄積、研究成果の公開、報告会の開催を行うことは、貢献していると評価できる。
- 一方、技術的信頼性の向上が国民理解の獲得・促進に寄与しているかについては不明確な部分もあり、どのように役立っているのかについて実績を明記することも重要と考える。また、個別要素技術を検討する中で相互に利活用することが効率的であると見受けられ、事業実施者間の積極的な情報交換を促す必要があるとともに、人材育成や知識伝承に関する一層の取組が望まれる。

# 外部有識者の評価等

## 【評点結果(高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発)】

- 「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。



# 外部有識者の評価等

## 【提言及び提言に対する対処方針】

(高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発)

### 今後の研究開発の方向等に関する提言

- 他分野の科学技術の進捗も勘案して取り入れていくことも重要と考える。合わせて、同時並行で進められている他の個別要素技術は相互に有用なものであり、それらのタイムリーな情報共有ができるような場を検討することも必要と考える。
- アウトカムに達成に向けて、プロジェクトリーダーや実際に研究開発を行っている技術者自らが、その研究の意義や成果などを広く国民に分かりやすく情報提供・公開していくことが今後重要になると思われる。
- 研究分野の特性に応じて国内の様々な地質環境も想定した検討が必要である。

### 提言に対する対処方針

- 今後、他分野の技術の進捗も柔軟に取り入れていく。また、個別要素技術開発で実施している内容や成果を定期的に共有できる仕組みを検討する。
- アウトカムの達成に向けて、別途「放射性廃棄物共通技術調査」の中で実施している人材育成プログラムの構築に向けた調査事業なども活用し、技術者自身による情報発信の意識を高めるよう検討を進めていく。
- 継続的に、研究分野の特性に応じて、深地層の研究施設以外の現場も活用した技術開発を実施していく。

## 2. 2低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術 開発 (中間評価)

- 2. 2. 1 地下空洞型処分施設機能確認試験
- 2. 2. 2 原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発
- 2. 2. 3 中間評価の結果

## 2. 2. 1 地下空洞型処分施設機能確認試験 (平成28年度～平成30年度)

# (1)事業の概要

概要	平成26年度までに大断面の地下空洞内に構築した実規模施設を活用し、処分施設閉鎖後の長期的な管理に資するため、人工バリアや周辺岩盤の長期にわたる機能確認方法を確立する。
実施期間	平成27年度～平成31年度(5年間)
実施形態	国からの直執行(委託事業)
予算総額	4.2億円 (平成28年度:0.9億円 平成29年度:1.7億円 平成30年度:1.7億円)
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	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 (部長)

# (1) 事業の概要

## □ 主な成果

- 実物大の地下空洞(図1)を活用し、人工バリアの長期挙動を地上で把握するため、光ファイバセンサーやケーブルの開発、モニタリングシステムの構築を行い、その適用性を確認した(図2)。
- 100年以上の超長期間を対象とする長期挙動を予測するため、地震などの外部からのインパクトに対する変動が顕著な初期に着目し、人工バリアや周辺岩盤を対象としたひずみデータ、及び地震波のデータ(図3)を4年程度取得した。特に、地震波については、地震応答解析を行い、地震時の挙動を評価することについて見通しを得た。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □ 全体スケジュール

事業項目	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度
全体計画/具体的な機能確認試験計画の策定	試験計画策定				
機能確認の実現性確認		解析及びラボ試験			
			現位置試験		
			モニタリング計画の具体化検討		
実規模施設・周辺岩盤挙動計測及び地震観測	挙動計測及び地震観測				



図1 地下100m程度に建設された地下空洞

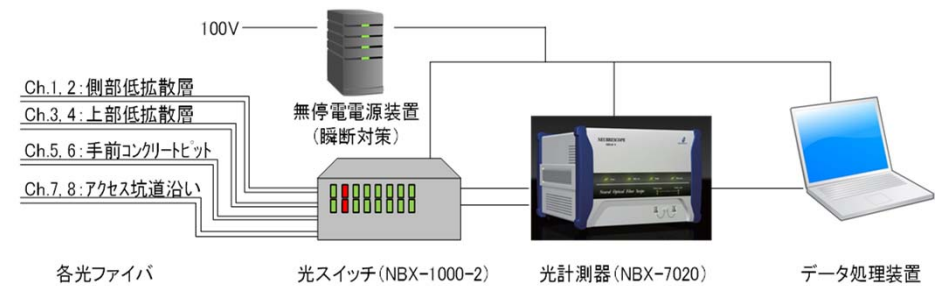


図2 光ファイバセンサーを用いた計測システムの構成

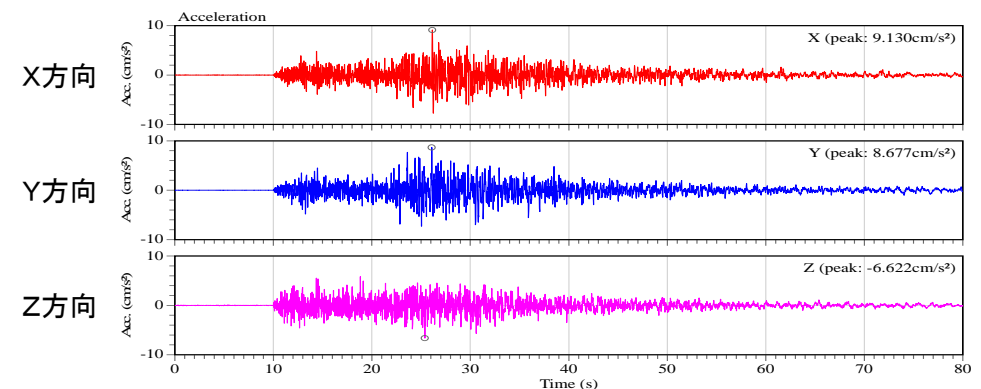


図3 地震観測データの例(施設上部、平成30年1月24日)

## (2) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p>【指標】 中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・提示する上で必要な検討項目数。</p> <p>【設定理由・根拠等】 技術開発の過程においては、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、信頼性のある技術開発・知見となり、これが中深度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。</p>		
指標目標値		
事業開始時（平成 27 年度）	計画： 事業終了時まで 24 項目	実績：－
中間評価時（平成 28 年度）		実績：10 項目 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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め戻しを実施できることを確認した。</li> <li>• 人工バリア内に設置した土圧計等で上部埋め戻し施工が処分施設へ影響を与えないことを確認した。</li> <li>• 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。</li> </ul>
中間評価時（令和元年度）		実績：20 項目 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 解析及び既往文献調査に基づき、処分場における熱、水、力学、化学に係る挙動を予測した上で、実施可能と考えられるモニタリング項目、内容及びその時期について検討した。</li> <li>• 規制動向等を踏まえ、既存計測技術に基づくモニタリングと光ファイバセンサーを活用したモニタリングの案を例示した。</li> </ul>
終了時評価時（令和 4 年度予定）		実績：一項目

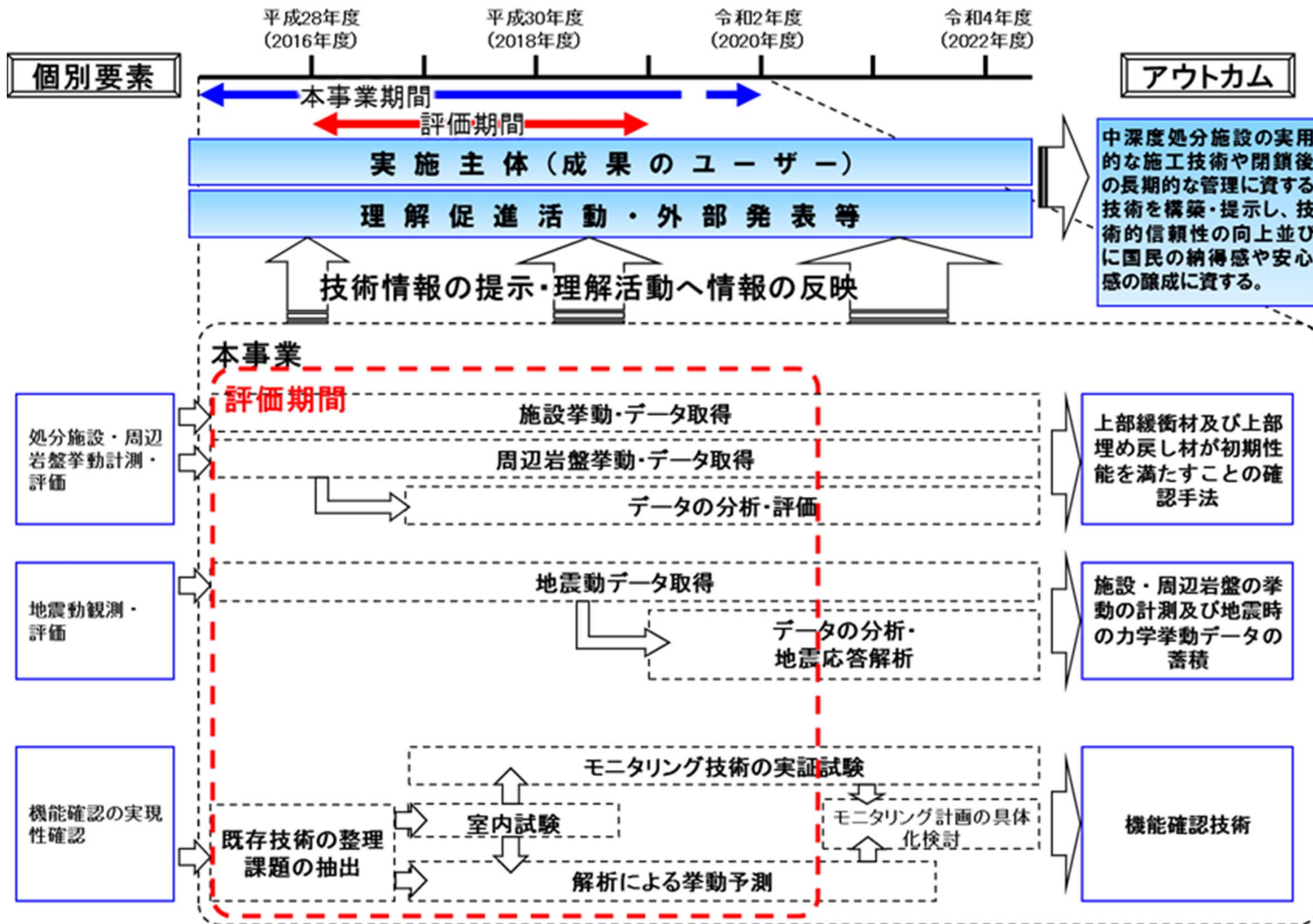
### (3) 事業アウトプット

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）		23 件 低レベル放射性廃棄物処分における埋め戻し材に関する材料特性評価試験、実施規模で施工した緩衝材（ベントナイト）の透水係数の評価などについて公表
中間評価時（令和元年度）		17 件 研究の全体概要、シナリオ検討、挙動解析、バリア材の試験研究、光ファイバセンサーを始めとする計測技術、施設挙動・地震動挙動計測及び評価などを公表
終了時評価時（令和 4 年度予定）		実績：－

#### < 共通指標実績 >

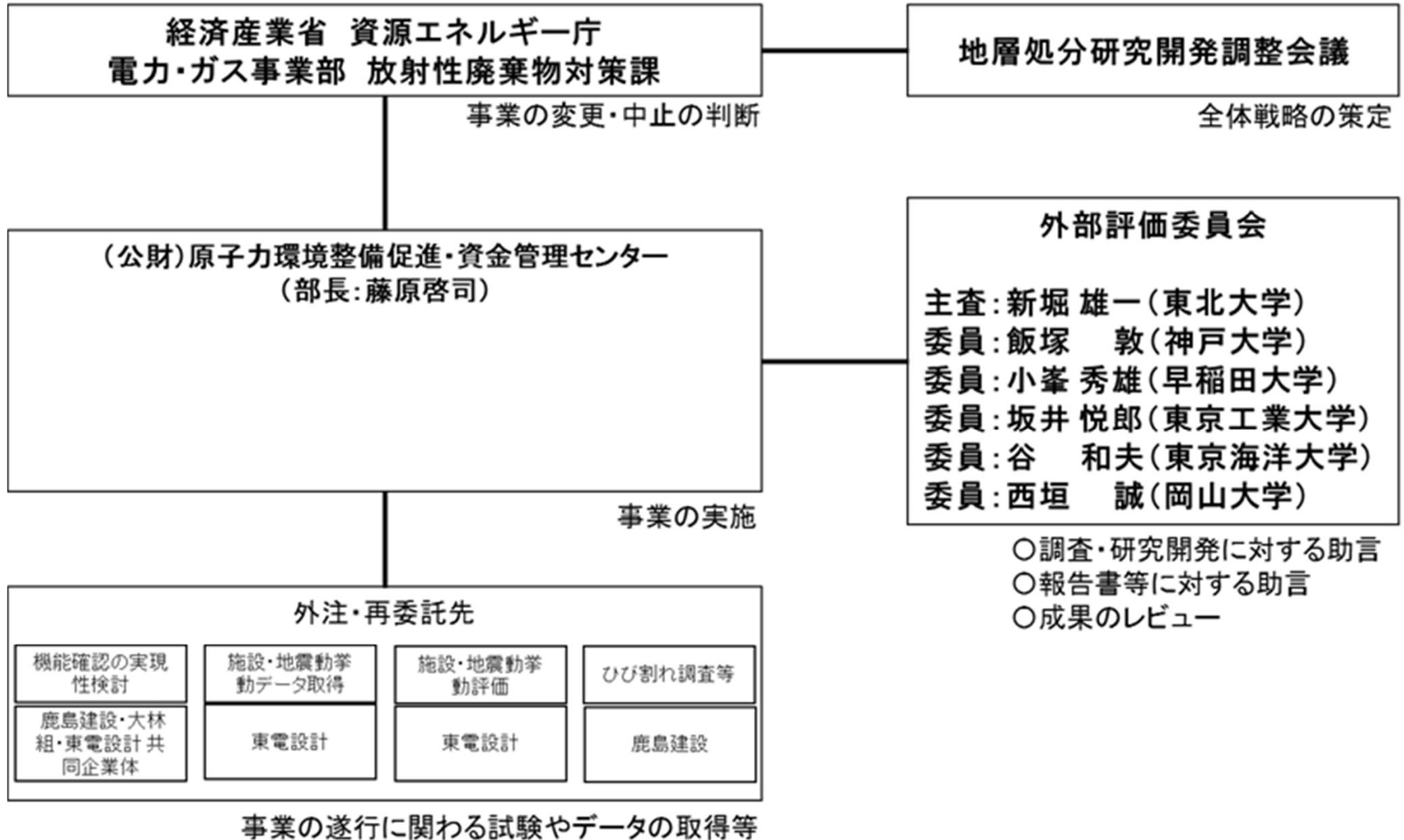
論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	国際標準への 寄与	プロトタイプ の作成
16	—	—	—	—	—	—

# (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



## 2. 2. 2 原子力発電所等金属廃棄物利用 技術開発 (終了時評価)

# (1) 事業の概要

<p>概 要</p>	<p>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、中深度処分を想定した放射線遮へい能力・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した。</p>
<p>実施期間</p>	<p>平成27年度～平成29年度（3年間）</p>
<p>実施形態</p>	<p>国からの直執行（民間団体等への委託事業）</p>
<p>予算総額</p>	<p>1.7億円 （平成28年度：1.3億円 平成29年度：0.4億円）</p>
<p>実施者</p>	<p>株式会社日本製鋼所 株式会社神戸製鋼所</p>
<p>プロジェクト リーダー</p>	<p>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）</p>

# (1) 事業の概要

## □ 主な成果

- 金属の耐久性に関する基礎試験を通じて（図1）、中深度処分の容器への再利用を想定した放射線遮蔽能力・耐久性に求められる材料規格案を策定した。
- 実際のクリアランス金属を活用して、実物大の金属容器を試作し、クリアランス金属を加工しても作業・周辺環境等に有意な影響を及ぼさないことを実証した（図2）。
- クリアランス金属廃棄物の再利用プロセスに経済的合理性があることを確認した。

他の成果については成果報告書（[本文](#)）をご参照下さい。

## □ 全体スケジュール

実施項目	27年度	28年度	29年度
1. 再利用プロセスの開発			
① 容器の技術要件等の整理	↔		
② 基礎試験の実施	↔	↔	↔
③ 材料規格案の策定		↔	↔
2. 再利用プロセスの評価			
① 実証試験計画の策定	↔		
② 実証試験の実施		↔	
③ 経済的合理性の評価			↔

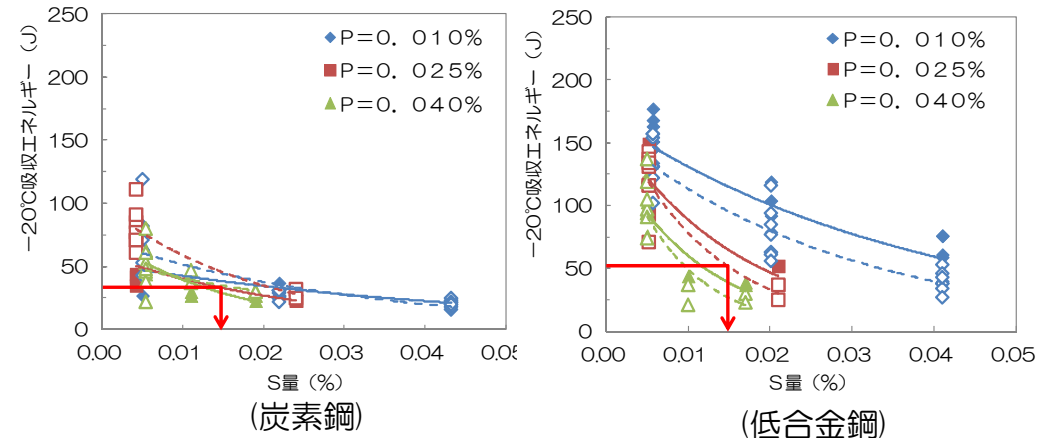


図1 基礎試験結果の例  
 （不純物含有量とシャルピー吸収エネルギー※）  
 ※値が高いほど、靱性が高いことを示す。

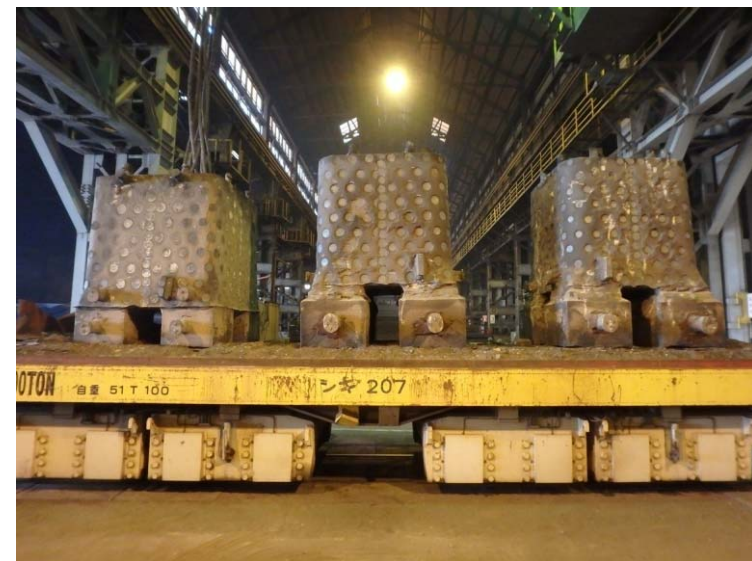


図2 クリアランス金属を用いた金属容器の試作結果

## (2) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【指標】 クリアランス金属廃棄物の再利用の実現可能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、信頼性のある再利用技術となり、これがクリアランス金属廃棄物に対する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 16項目	実績：－
中間評価時（平成28年度）		実績：7項目 •実証試験計画を策定した。
終了時評価時（令和元年度）		実績：16項目 • 実証試験を通じて放射線影響の無いこと、経済的合理性があることを確認した。 • 材料規格案を策定した。 • また、国民の理解促進や安心感を得るための取組方策について検討・整理した。

## (3) 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及び地元地域の方々への理解の獲得・促進に向けた説明会の回数

#### 【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を指標とする。また、アウトカムに向けた活動として地元地域の方々への説明会も指標とすることとした。

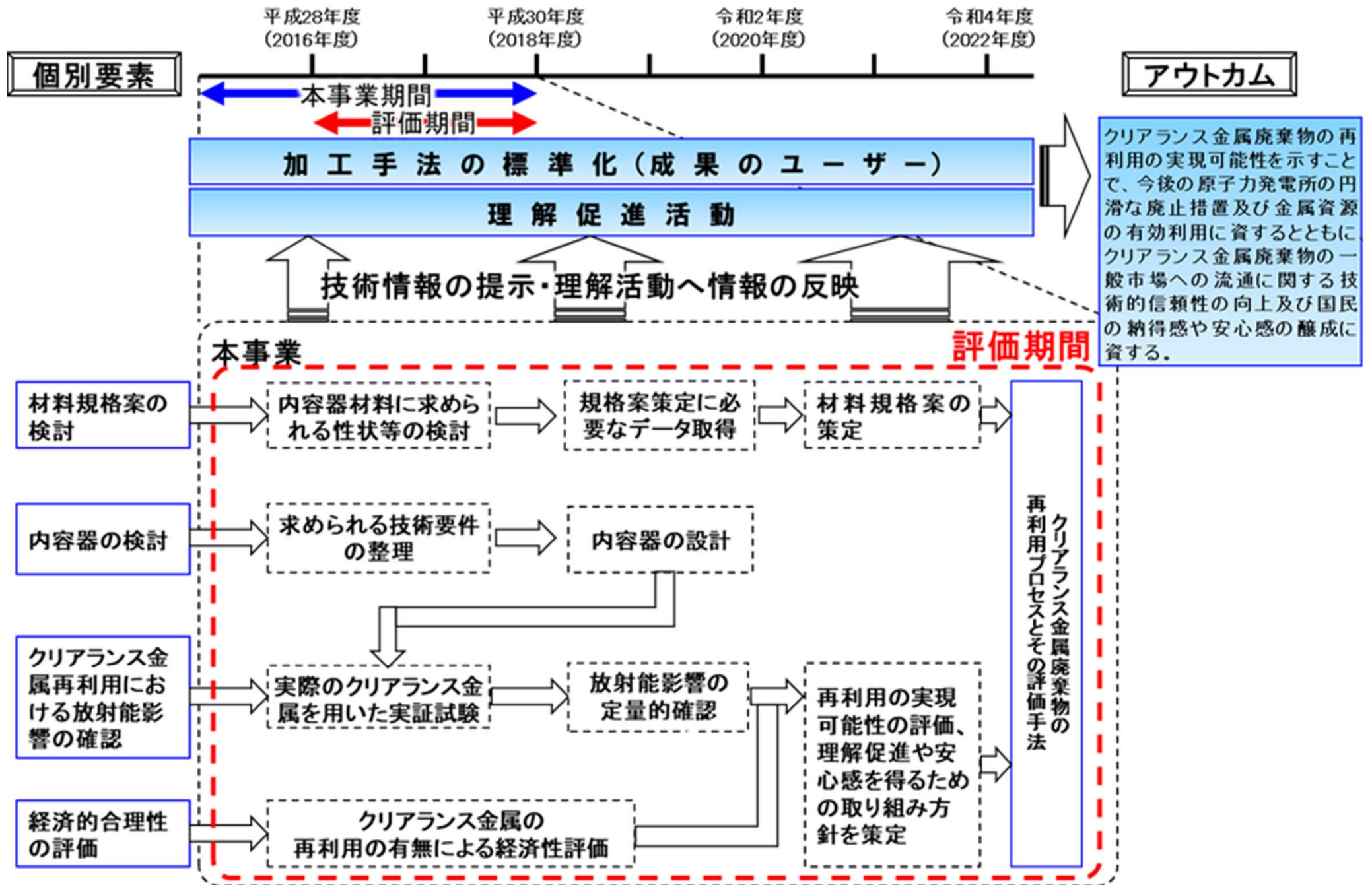
### 指標目標値

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：2 件 実際のクリアランス金属廃棄物を使用した実証試験に関する成果報告会を実施した。
終了時評価時（令和元年度）		実績：7 件（合計） クリアランス金属廃棄物の工場への搬入、及び金属容器の試作結果などに関する説明会を実施した。

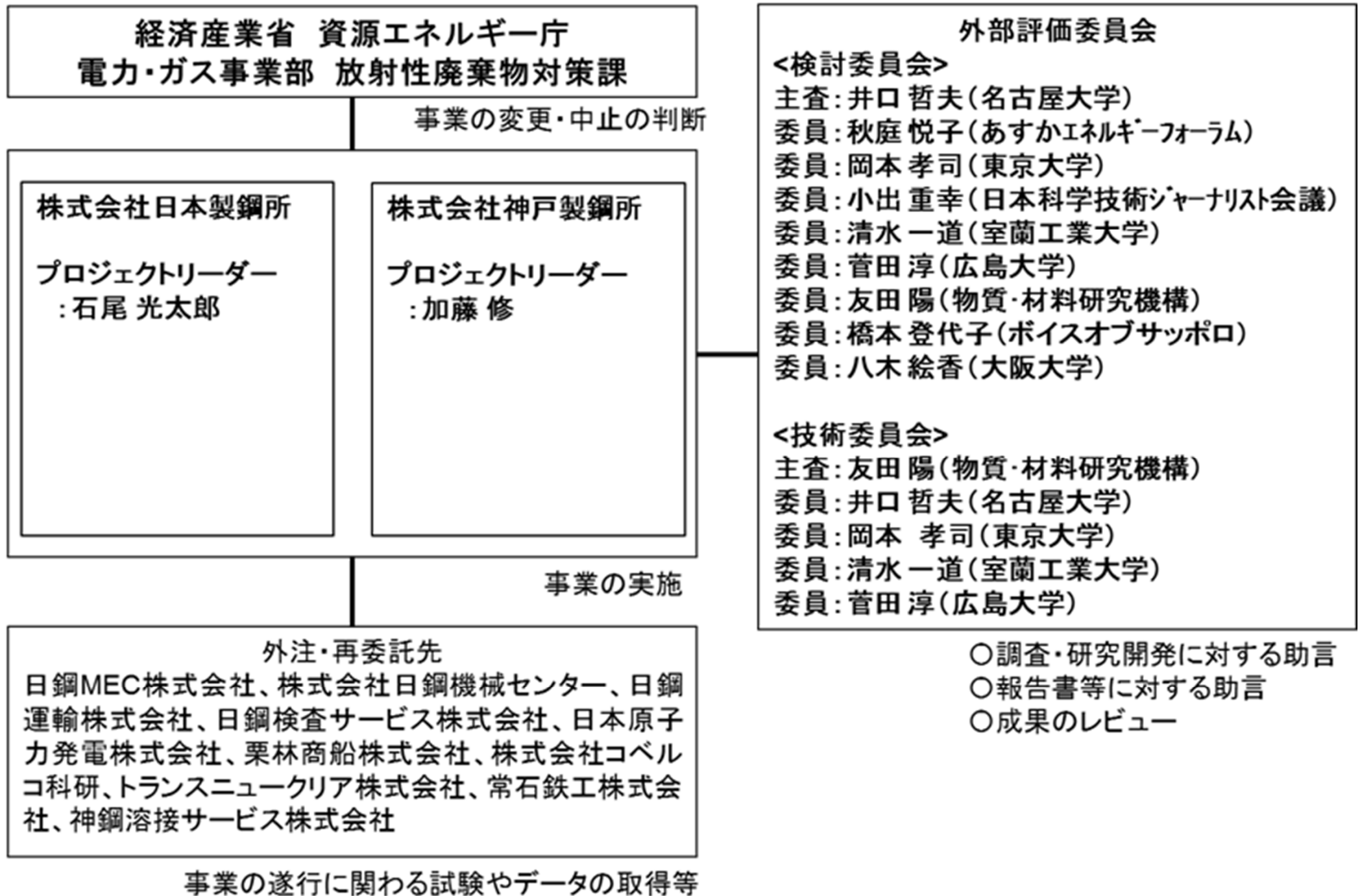
### < 共通指標実績 >

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
—	—	1	—	—	—	—

# (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





## 2.2.3 中間評価の結果

### 今後の研究開発の方向等に関する提言

〈実施・マネジメント体制等の妥当性〉

- 極めて重要な調査事業であり、定められた事業期間内に着実に目標を達成すること。

### 提言に対する対処方針

- 事業化に向けた研究成果を積み重ねることにより、目標が達成できるように研究開発を着実に進めていく。

## 外部有識者の評価等

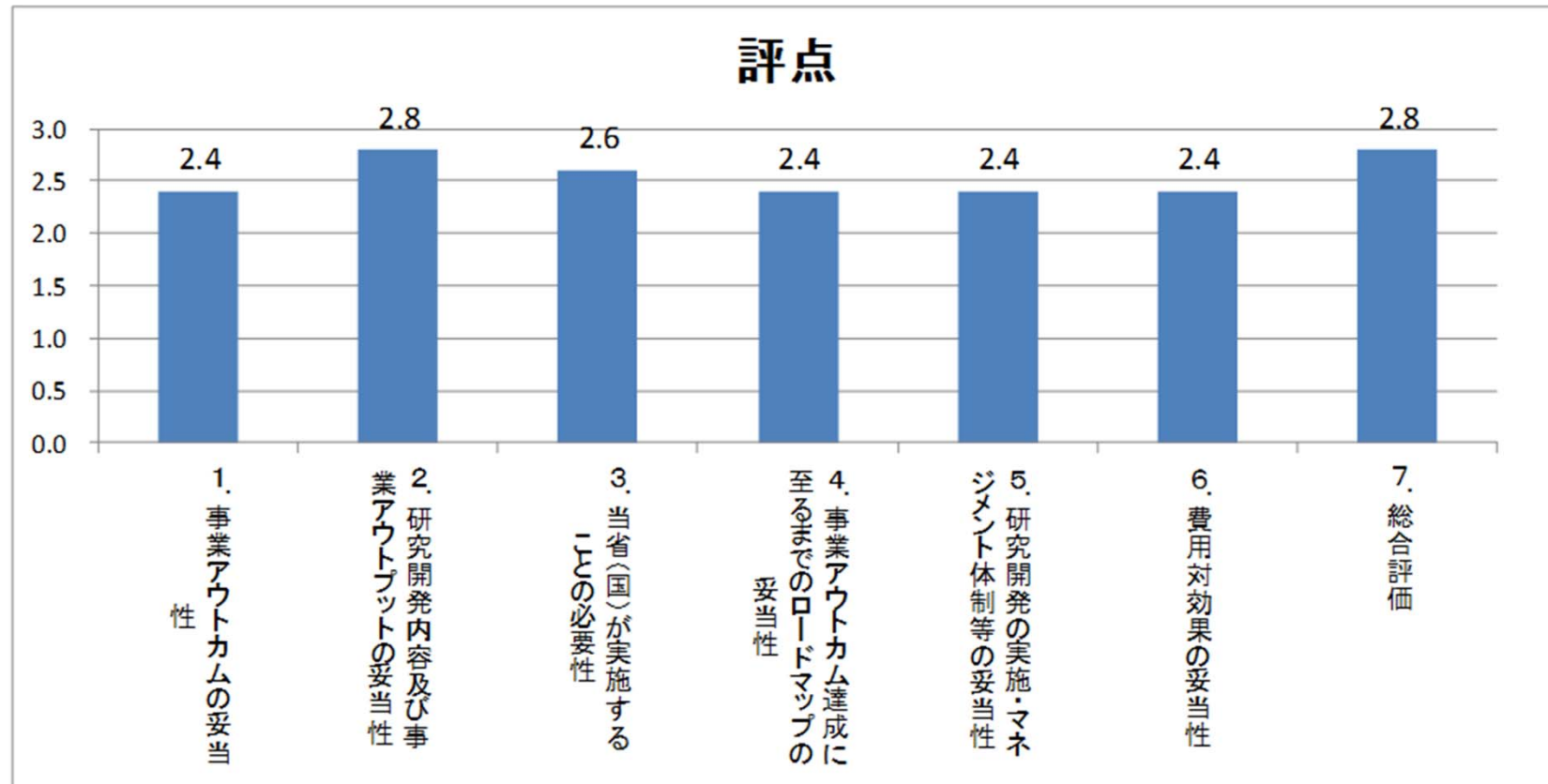
### 【総合評価（低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発）】

- 実規模の実用化に向けた実証試験が主体の研究開発であり、目標・実施内容ともに明確で着実に成果が蓄積されている。「地下空洞型処分施設機能確認試験」については、モニタリングによる施設の状態に関する定量化やモニタリング計画の検討方針なども示され、低レベル放射性廃棄物のみならず高レベル放射性廃棄物等の地層処分にも反映可能な成果が得られている。「原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発」については、技術の確立はクリアランス金属の再利用により処分費用の低減も見込め、費用対効果も期待できると考える。いずれも事業アウトカム、アウトプット共に妥当と判断できる。
- 一方で、現場で遭遇した想定できなかった事象があれば、その対応も含めて整理することで実際の事業やコミュニケーションにおいても役立つ情報になると考える。また、いずれの個別要素技術においても他分野への応用や他プロジェクトとの協働により相互に効率的に検討が進む点もあるので、その点は考慮する必要がある。加えてアウトプットとしての発表論文数が少ない傾向が認められ、アウトプット指標の見直し、又は成果の論文化が望まれる。

# 外部有識者の評価等

## 【評点結果（低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発）】

- 「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。

# 外部有識者の評価等

## 【提言及び提言に対する対処方針】

(低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発)

### 今後の研究開発の方向等に関する提言

- 内容的に研究成果を論文化することが難しいが、更に成果の公表に注力することが必要である。加えて、アウトカム達成に向けて、廃棄物処分技術を体感する機会を増やすことに積極的に貢献すること、他プロジェクトと緊密な連携を図ることが不可欠である。
- 地下空洞型処分施設機能確認試験については、着実に進展している。実証においては、原位置試験で必要な時間とコストに配慮した研究開発の継続が望まれる。
- 原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発については、実際のクリアランス金属を用いて金属廃棄物利用技術を実証できたことは評価できる。廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成に実際に役立つものであり、アウトカムに照らして妥当と判断する。

### 提言に対する対処方針

- 学会等への投稿などの成果の公表を促進するとともに、引き続き、放射性廃棄物の処分技術を体感できる場を確保し、国民の理解促進に貢献していく。また、他のプロジェクトと、緊密な連携を図ることができる体制を検討する。
- 原位置試験においては、その結果について実用化に向けて試験等に掛る時間などの観点も考慮し、他事業との連携を図るなど効率的に取り組んでいく。
- 原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発については、所期の目的を達成した。今後は、得られた成果も活用し、継続的にクリアランス金属の理解促進活動を進めていく。

## 2. 3. 放射性廃棄物共通技術調査等事業 (終了時評価)

- 2. 3. 1 放射性核種生物圏移行評価高度化開発
- 2. 3. 2 中間評価の結果

## 2. 3. 1 放射性核種生物圏移行評価高度化開発 (終了時評価)

# (1)事業の概要

概要	放射性廃棄物の地層処分に関わる安全評価上重要となる、核種の環境移行パラメータの取得及びデータベースの拡充を実施する。
実施期間	平成25年度～平成29年度（5年間）
実施形態	国からの直執行（放射性廃棄物共通技術調査等事業）
予算総額	4.2億円 （平成25年度:0.62億円 平成26年度:0.98億円 平成27年度:0.95億円 平成28年度:0.89億円 平成29年度:0.75億円）
実施者	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構（QST）
プロジェクトリーダー	放射性核種生物圏移行評価高度化開発 内田 滋夫（QST チームリーダー）

# (1) 事業の概要

## □ 主な成果

- 候変動を考慮した環境移行(土壌-植物間移行)パラメータの取得において、気温が低い地域と高い地域のコメ・ジャガイモ・土壌を活用し、移行パラメータのデータベースを拡充した(図2)。
- 放射性炭素の水稻移行モデルの精緻化・不確実性解析の結果、近傍大気中の炭素14濃度が水稻穂部の炭素14含有量に強く影響しており、微生物活動による炭素14放出が重要なパラメータになることを提示した。
- 環境中のAmの挙動解析のために、グローバルフォールアウト由来の微量Amの高精度質量分析法を確立し、日本全域畑土中Amなどの子孫核種の濃度分布などから、親核種であるPu、Th、Clの移行パラメータ(TF)を取得し、データベースとして国際機関(IAEA)に公表した(図3)。

他の成果については成果報告書(本文)をご参照下さい。

## □ 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 →	

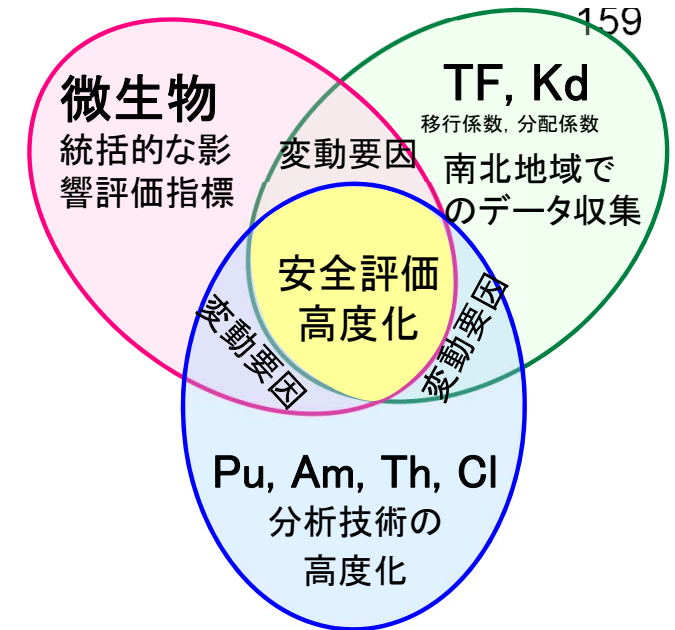


図1 本事業の全体概要

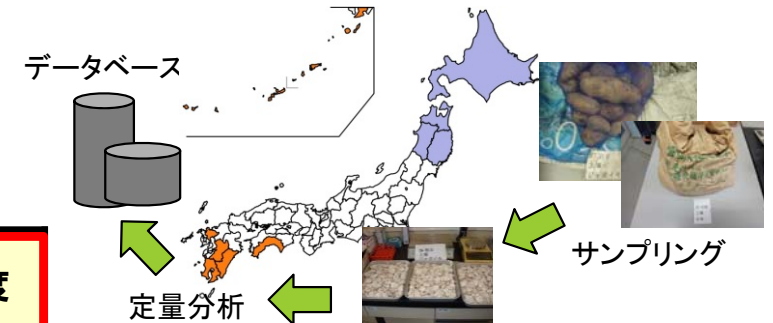


図2 気候変動を考慮した移行パラメータ取得方法のイメージ

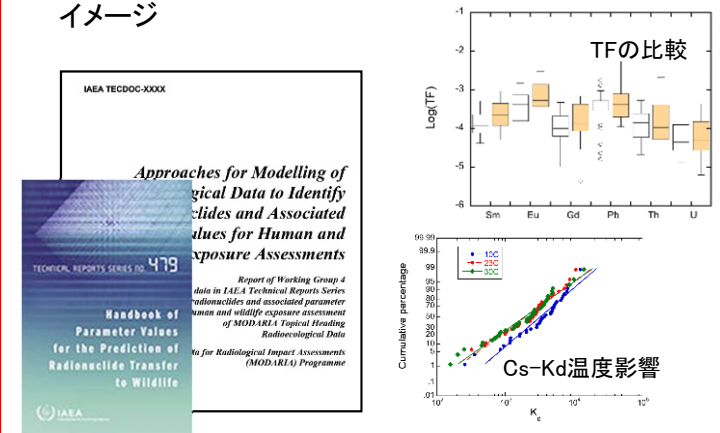


図3 各種データについて国際機関にも公表



## (2) 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
<p>着実に各検討項目を実施することで、信頼性のあるデータの拡充・評価方法の精緻化が進められ、これが放射性廃棄物処分の安全評価に対する納得感・安心感の醸成に資すると考えられる。そこで、生物圏における核種移行に関するデータの拡充と、それに伴う人間への影響評価の精緻化をする上で必要な検討項目数を指標と設定する。</p>		
指標目標値		
事業開始時（平成 25 年度）	計画：	—
中間評価時（平成 28 年度）	事業終了時 までに 8 6 項目	実績：5 6 項目 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 気温が異なる地域で土壌－植物間移行パラメータ（TF）を収集した。</li> <li>• 炭素 1 4 の土壌から大気へのガス化率のデータを収集した。</li> <li>• Pu 及び Th の高精度質量分析法を確立した。</li> </ul>
終了時評価時（令和元年度）		実績：8 6 項目 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 気温の異なる地域での TF 及び異なる気温での Kd データベースを拡充した。</li> <li>• 炭素 1 4 の水稻移行は、微生物活動による土壌から大気への炭素 1 4 放出がキー・パラメータになることを示した。</li> <li>• 日本の Pu、Th 及び Cl の TF データを収集した。さらに、日本全域から採取した畑土壌中の Am 濃度を測定し、Pu との比較を行った。</li> </ul>
事業目的達成時		実績：同上 <ul style="list-style-type: none"> <li>• IAEA 等の国際機関のデータベースに本事業で得られたデータを登録した。</li> <li>• 炭素 1 4 の土壌中挙動は土壌微生物によるガス化が重要であることを IAEA の TECDOC に記載した。</li> <li>• 炭素 1 4 の水稻移行モデルを構築した。</li> <li>• 実際の水田環境における Pu の TF が既存値より、1-2 桁低いことを示した。</li> </ul>

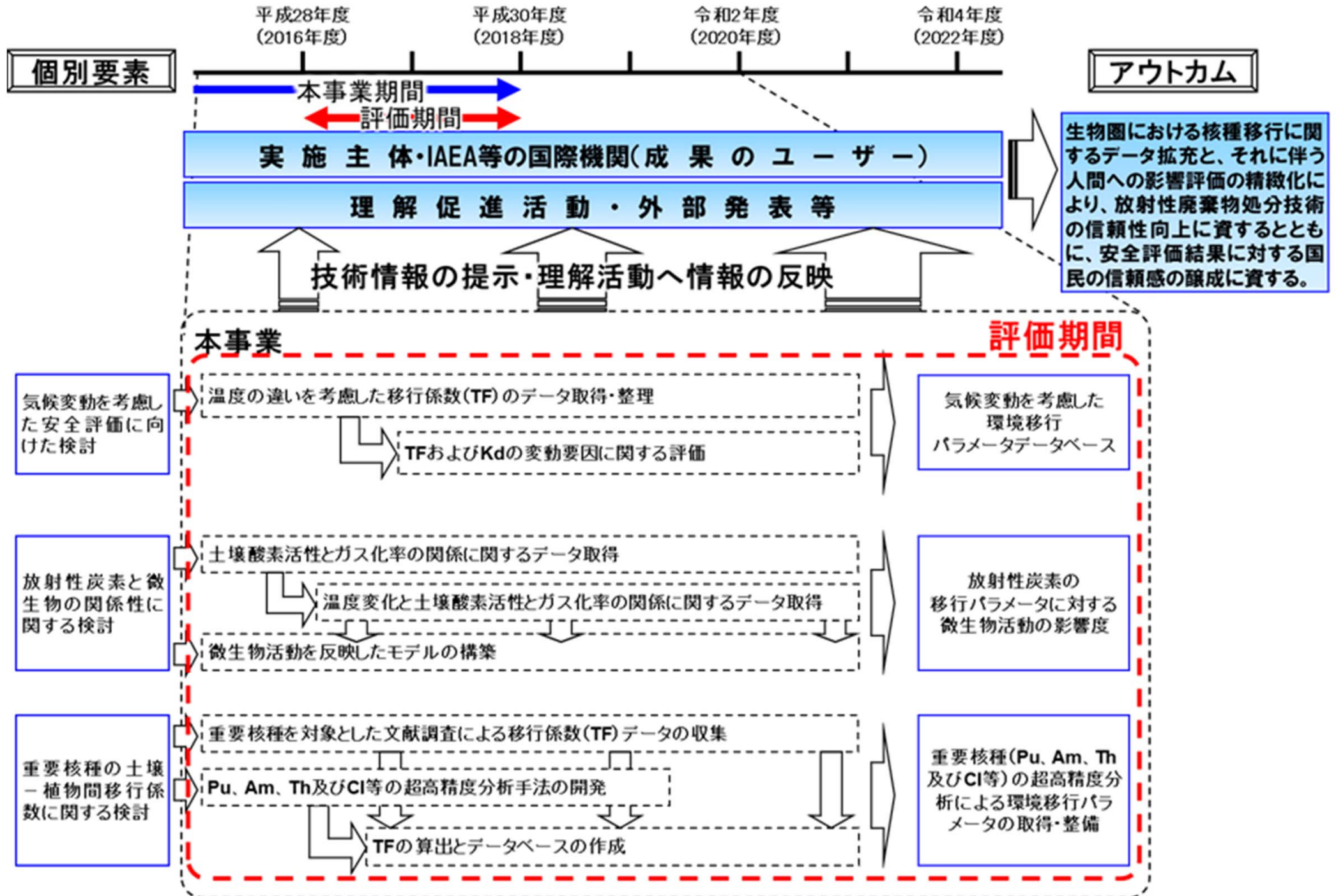
### (3) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
<p>【指標】</p> <p>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</p> <p>【設定理由・根拠等】</p> <p>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を指標とする。</p>		
指標目標値	計画	実績
事業開始時（平成 25 年度）	・事業終了時までには複数件の外部発表	実績：—
中間評価時（平成 28 年度）		<p>実績：170件</p> <p>福島原子力発電所事故により環境中に放出された放射性物質の環境半減期の把握、IAEA TRS-479 へのデータ公表等を実施した。</p>
終了時評価時（令和元年度）		<p>実績：242件（合計）</p> <p>IAEA の TecDoc にデータを記載（3報）、米への TF-Pu 取得等を公表した。</p>

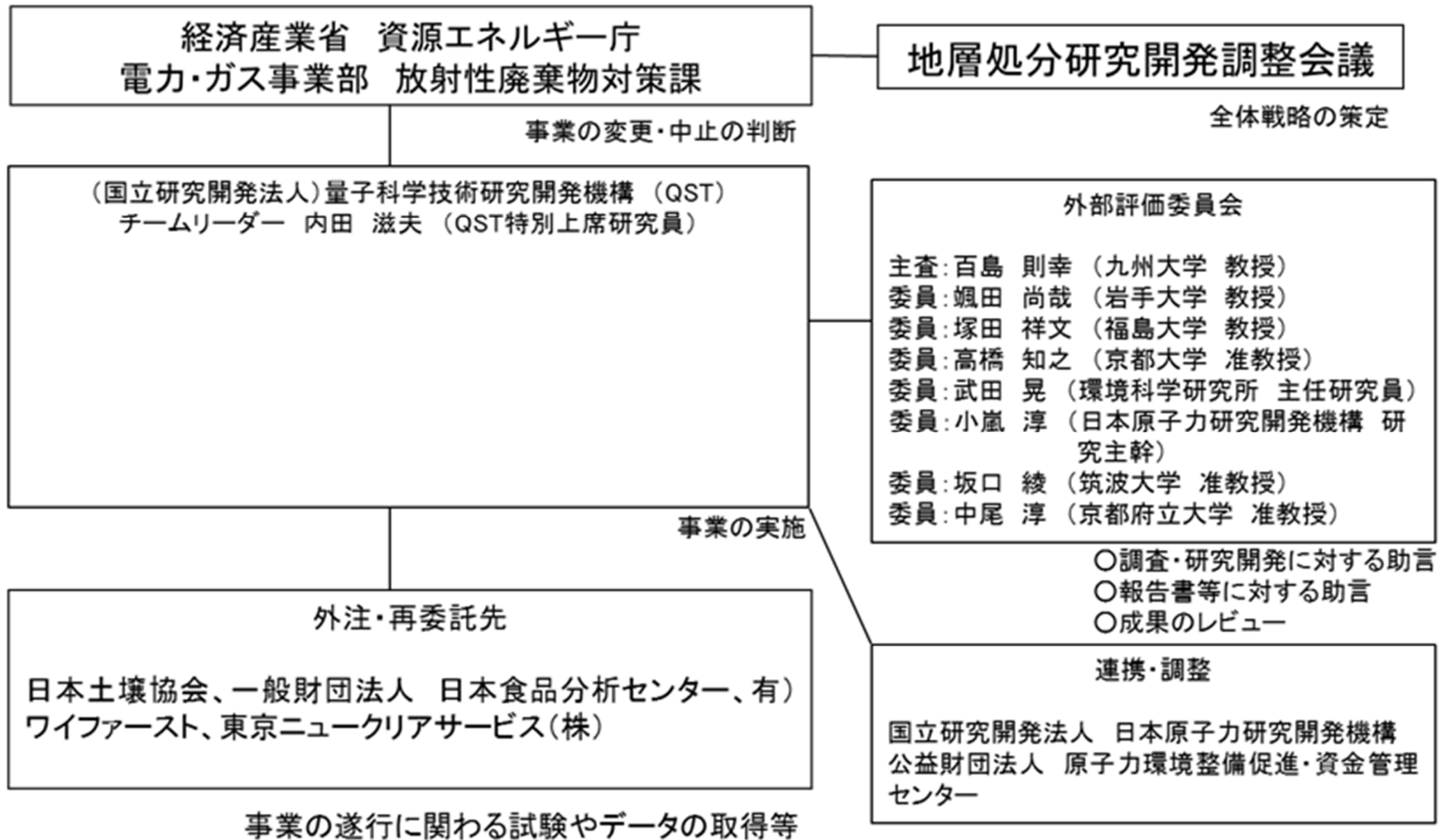
#### < 共通指標実績 >

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
26	129	0	—	—	1	—

# (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



## 2.3.2 中間評価の結果

### 今後の研究開発の方向等に関する提言

〈実施・マネジメント体制等の妥当性〉

- 継続すべき事業である。これまでの成果を踏まえて研究開発を着実に進展させること。

### 提言に対する対処方針

- 我が国の特性を踏まえた影響評価やデータ取得を積み重ね、国際的な機関等を通じて世界的に活用されるよう、これまでに得られた成果を踏まえて、研究開発を着実に進めていく。

## 外部有識者の評価等

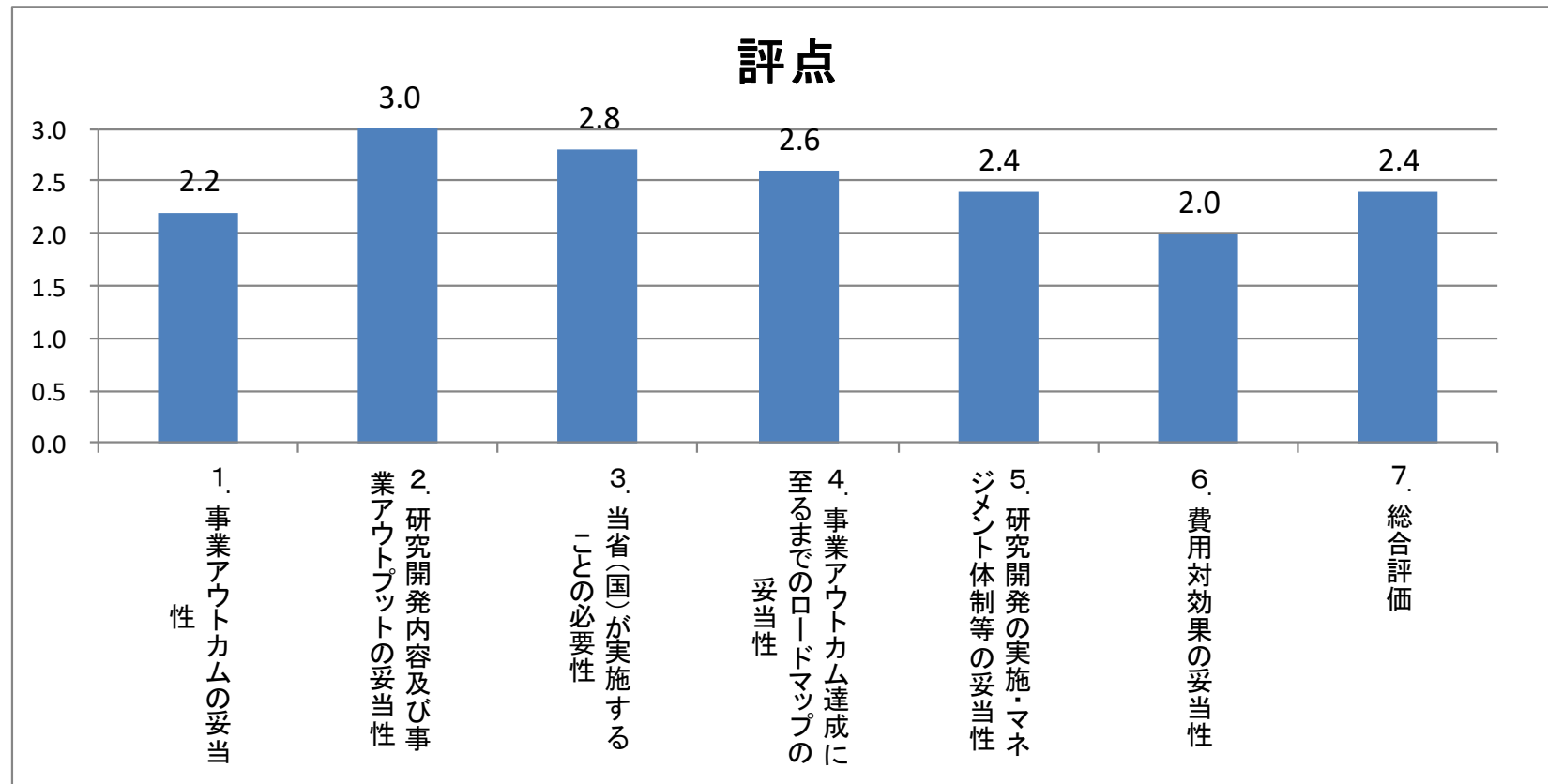
### 【総合評価(放射性廃棄物共通技術調査)】

- 我が国独自に取得しなくてはならない生物圏の核種移行に関するパラメータの整備、分析技術の高度化などを実施しており、多数の投稿論文や国際データベースへの登録など、アプローチを含めて適切に実施されていると評価できる。また、平成30年度の地層処分研究開発全体計画で示された実施主体への技術情報の提供に向けた技術基盤は整えられていると評価できる。
- 一方で、取得されている情報が限定的であり、国民の安心感の観点からは継続的に他の植物種に関する検討が必要と考えられる。将来、実際の処分サイトが明らかとなった際にはサイト固有のパラメータを整備する必要があり、そのための専門技術を有する人材の育成や知識の伝承に関する方針が明確ではなく、懸念が残る。また、技術的には高く評価できるが、難しい情報の幅広いステークホルダーに向けたコミュニケーションに向けた検討が不十分と感じる。

# 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。

# 外部有識者の評価等

## 【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

- 我が国の特性を踏まえた影響評価・データ収集を行うことは、超長期的な放射性廃棄物処分を安全・確実とするため、また国民の安心感を醸成するためにも必要である。また、本研究開発では、微生物の影響評価指標の提示、重要核種の移行パラメータ取得、微量元素の分析技術の高度化により、安全評価における変動要因を明らかにしており、我が国の生物圏核種移行パラメータの整備・拡充に役立っている。これらのデータや知見は、国際機関のデータベースや報告書などに多数引用されており、品質が確保された価値ある多くの成果を生み出したと評価できる。
- 今後は、本研究開発の成果を核種移行への影響範囲評価や蓄積すべきデータの見極めが必要となるが、実施主体のニーズに沿った研究開発の枠組みを整備し、引き続きデータや知見を蓄積していくことが望まれる。

### 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、各種パラメータの取得方法など基盤研究で実施すべき内容は達成されたと整理できる。今後は、実施主体が行う安全評価に反映させていく。
- 地層処分事業の実施主体のニーズに沿った枠組みとして、研究実績が豊富な量子科学技術研究開発機構との共同研究などにより、地層処分事業の実施主体が継続的にデータや知見の蓄積を進めていく。