

# 第4期中長期目標期間における 研究開発の計画案 (事前評価(第2回))

令和4年1月31日

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  
地層処分研究開発推進部

# 内 容

1. 研究開発の取組の方向性
2. 第4期中長期目標（案）と第4期中長期計画（案）との対応
3. 第4期中長期計画（案）の実施内容（スケジュール含む）
4. 国内外機関との連携の活用
5. 成果の取りまとめと評価
6. 自己評価

## 参考)参考資料③

第4期中長期目標期間における研究開発の計画案  
（事前評価（第2回））詳細版

# 1. 研究開発の取組の方向性

## (1) 国の方針等を踏まえた次期中長期目標期間での取組の方向性

### 第4期中長期目標期間での取組の方向性

#### 1. 地層処分の技術基盤の着実な整備

・幌延深地層研究計画における「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づく調査研究、稚内層深部(深度500m)への坑道の展開

・超深地層研究所計画における、「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づく坑道埋め戻し後の環境モニタリング調査

・地質環境の長期安定性に関する研究に係る、自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術の整備

・地層処分研究開発としての、処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化

#### 2. 新たな研究システムとして将来を見据えた研究開発による、成果の他分野への展開

・最先端のデジタル技術を取り入れた技術基盤整備(ビッグデータを活用したデジタルツイン技術の基盤整備)

・地質環境変化の予測・評価技術を応用した、自然災害予測技術の開発

・超小型AMSの開発・実用化

#### 3. 幅広い選択枝を確保する観点での、代替処分技術に関する研究開発

・直接処分研究開発など、代替処分オプションに特徴的な現象に着目した基礎基盤研究

#### 4. 研究活動を通じた社会との協働と還元

・国際連携による幌延深地層研究センターの国際拠点化

・実施主体、国内外の研究開発機関、大学等との技術協力や共同研究等を通じ、最先端の技術や知見を取得・提供し、地層処分に関する技術力の強化・人材育成に貢献

・施設見学、ウェブサイトの活用による研究開発成果に関する情報の公開を通じた、地層処分に関する国民との相互理解促進



国の方針等	
第6次エネルギー基本計画 ※1	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 国、NUMO、JAEA等の関係機関が全体を俯瞰して、総合的、計画的かつ効率的な技術開発を着実に進める。</li> <li>◆ 幌延の深地層研究施設等における研究成果を十分に活用していく。</li> <li>◆ 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。</li> <li>◆ 研究成果の発展や人材の継承に取り組むほか、国内外の研究基盤の相互活用を推進する。</li> </ul>
第4期中長期目標(案) ※2	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 実施主体が行う地質環境調査、処分システムの設計・安全評価及び国による安全規制上の施策等のための基盤情報を整備・提供する。</li> <li>◆ 幌延深地層研究計画については、調査・研究を委託や共同研究などにより重点化しつつ着実に進める。</li> <li>◆ 超深地層研究所計画については、坑道埋め戻し後の地下水の回復状況の確認に必要な措置を行う。</li> <li>◆ 実施主体との人材交流を進め、円滑な技術移転を推進する。</li> <li>◆ 使用済燃料の直接処分等の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。</li> </ul>
「地層処分研究開発に関する全体計画」 ※3	<p>(一例を記載)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ニアフィールド構成要素の現象解析モデルの構築・高度化</li> <li>◆ 長期的な自然現象の発生可能性とその地質環境への影響の評価技術の高度化</li> <li>◆ 地層処分システムの状態変遷等を反映した核種移行解析モデルの高度化 など</li> </ul>
「幌延深地層研究の確認会議」 ※4	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づいた研究開発を着実に進め、第4期中長期目標期間にて成果を創出</li> <li>◆ 「分かり易さ」に配慮したうえで、丁寧かつ積極的な情報発信</li> </ul>
原子力機構全体の取組方針(抜粋)	
原子力機構の取組の基本方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ イノベーション創出に向けた取組</li> <li>◆ 研究のDX化、供用施設のリモート化・スマート化</li> <li>◆ 国際連携の推進、人材育成</li> </ul>

※1: [https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2021/048/048\\_012.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/048/048_012.pdf)

※2: [https://www.mext.go.jp/content/20211126-mxt\\_genshi-000018898-2.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20211126-mxt_genshi-000018898-2.pdf)

※3: [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/chiso\\_shobun/20200331\\_report.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/chiso_shobun/20200331_report.html)

※4: <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/kke/horonobe/horonobekenkyu.html>

注記: 左表と右表の対応関係が、色分けて区別している。

# 1. 研究開発の取組の方向性

## (2) 中間評価(平成31年3月6日)におけるご意見

- これまでに蓄積された膨大なデータや情報を活用した新たな視点からの研究開発にも挑戦することを期待
- 地層処分に対する一般国民の関心や理解はいまだ十分とはいえない。今後とも国民の安心への貢献という観点から、研究開発機関としてできることを継続的に模索し挑戦していただきたい
- 超深地層研究所計画で得られたデータや知見が関連分野の研究開発・人材育成に最大限有効に活用されるよう、国内外に広く提供・展開されることを期待
- 幌延の地下研究施設を最先端の地層処分技術を実証するプラットフォームとして国内外に広く提供・活用されることを期待

# 1. 研究開発の取組の方向性

## (3) 第32回委員会における「事前評価(1)」の結果について

事前評価(第1回)の評価結果:委員総数9名のうち、妥当(8人)、要改善(0人)

※なお、Webb Erik氏(米国、サンディア国立研究所)については、別途意見聴取予定

各委員からのご意見	ご意見に対する回答
<p>①研究開発課題の選定の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"><li>第3期の成果に基づき、国の方針等に基づいたフレームの中での研究開発課題となっており、その選定プロセス及び設定レベルは妥当である。その一方、<b>課題抽出の根拠や必要性、開発を目指す根拠等をより明確にすべき。</b></li><li>成果の積極的な情報発信、国民の理解促進活動は、これまで以上に積極的かつ効果的に進められることを期待する。</li><li>原子力機構全体の取組方針(イノベーション創出、国際連携、人材育成など)とも整合した課題が設定されている。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>地層処分事業においては、文献調査が始まり具体的な地点での活動が開始され、また、NUM0の包括的技術報告書が公表となり更なる技術課題が抽出されたことから、地層処分技術の信頼性向上や課題解決に向けた活動を着実に推進していくことが重要と考える。</li><li>その上で、第3期中長期目標期間における<b>中間評価及び成果を踏まえ</b>るとともに、<b>エネルギー基本計画、第4期中長期目標(案)</b>といった国の<b>方針や、「地層処分研究開発に関する全体計画」、ならびに「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」</b>を根拠として<b>研究開発課題の選定を行った。</b></li></ul>
<p>②方向性・目的・目標等の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"><li>多角的視点に立ち、これまでの成果を発展させる方向性・目的・目標を定めており、基本的に妥当であるものの、<b>それらが設定された根拠ならびに代替処分技術の今後の位置づけ・方針の明確化や、第4期中長期目標の目玉的な提示も必要</b>と考える。</li><li>「2. 新たな研究システムとして将来を見据えた研究開発による、成果の他分野への展開」に係る成果は、国民の生活、他分野の研究に広く適用されることを期待する。また、ドローンなどを活用した坑道の遠隔観察・管理やデータ・資料取得などの取り組みにも期待する。</li><li>国民との相互理解は、着実に進めるべき重要な研究開発の方向性である。施設見学の受入れなど、国民の理解を促進する活動もこれまで以上に積極的かつ効果的に進められることを期待する。また、幌延深地層研究センターの国際拠点化を進め、国内外の研究者の交流を活発化させることは重要であり、できるだけ早く進めてほしい。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>文献調査の開始など、地層処分事業の進捗に応じて、NUM0からは様々な具体的かつ迅速な対応を求められるニーズの提示が予想される一方、国の政策については、これまでのエネルギー基本計画において、幌延深地層研究施設等における研究成果の十分な活用が明記された。</li><li>一方、「地層処分研究開発に関する全体計画(H30~R4)」は、令和5年度からは新たな計画となるものの、地層処分事業の進捗や国の方針などを鑑みると、地層処分技術に関する研究開発の重要性・必要性は変わることなく、今まで以上に取組を強化する必要があると考えられる。</li><li>また、地層処分研究開発・評価委員会の中間評価において、これまで蓄積された膨大なデータを活用した新たな取組や、幌延の地下研究施設を最先端の地層処分技術を実証するプラットフォームとして国内外に広く提供・活用すべしとのご意見をいただいた。</li><li>以上のことを踏まえ、第4期中長期計画では、<b>イノベーション、国際拠点化、デジタル技術</b>といった、<b>新たな視点での研究開発に取り組む</b>とともに、<b>これまでに進めてきた研究開発を着実に進めて成果を創出していく</b>ことを念頭に<b>方針を決定した。</b></li></ul>

## 2. 第4期中長期目標(案)と第4期中長期計画(案)との対応(1/6)

<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期目標(案)</b></p> <p>※1国立研究開発法人審議会(第22回)(R3.12.22)資料6-5より</p>	<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期計画(案)</b></p> <p>※2国立研究開発法人審議会 日本原子力研究開発機構部会(第28回)(R3.11.26)資料7より</p>
<p><b>IV. 研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する事項</b></p> <p><b>2. 原子力科学技術に係る多様な研究開発の推進によるイノベーションの創出</b></p> <p>(3) 産学官の共創によるイノベーション創出への取組の強化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ その一環として、機構の核燃料サイクル研究開発の成果を民間の原子力事業者が活用することを促進するため、民間の原子力事業者からの要請を受けて、その核燃料サイクル事業の推進に必要とされる人的支援及び技術的支援を実施する。また、産業界とも連携して小型モジュール炉の技術実証等の新たな技術課題にも取り組む。</li> </ul>	<p><b>II. 研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する目標を達成するため取るべき措置</b></p> <p><b>2. 原子力科学技術に係る多様な研究開発の推進によるイノベーションの創出</b></p> <p>(3) 産学官の共創によるイノベーション創出への取組の強化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発において開発する超小型AMS等世界最先端の分析機器、解析コード、データベース等を体系的に整理し、一体的かつ外部の者が利用しやすい形で提供する。</li> </ul>

※1:[https://www.mext.go.jp/content/20211221-mxt\\_chousei02-000019442\\_6\\_5.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20211221-mxt_chousei02-000019442_6_5.pdf)

※2:[https://www.mext.go.jp/content/20211126-mxt\\_genshi-000018898-8.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20211126-mxt_genshi-000018898-8.pdf)

## 2. 第4期中長期目標(案)と第4期中長期計画(案)との対応(2/6)

<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期目標(案)</b></p> <p>※国立研究開発法人審議会(第22回)(R3.12.22)資料6-5より</p>	<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期計画(案)</b></p> <p>※国立研究開発法人審議会 日本原子力研究開発機構部会(第28回)(R3.11.26)資料7より</p>
<p>&lt;前頁からのつづき&gt;</p> <p><b>5. 高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する技術開発の着実な実施</b></p> <p>産業界や関係省庁との連携の下で、役割分担を明確化しつつ、高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発を実施する。その際、研究成果の社会実装までを見据え、社会科学的な知見も活かして取組を進めていくことの重要性に鑑み、研究開発の実施に当たっては「総合知」の観点を適切に取り入れていく。</p>	<p>&lt;前頁からのつづき&gt;</p> <p><b>5. 高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する技術開発の着実な実施</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「総合知」の発現を通じた社会的価値の創出につなげていくため、研究開発の実施に当たっては、研究成果の社会実装までを見据え、最新の科学的知見とともに社会科学的知見を踏まえることとし、実施主体、国内外の研究開発機関、大学等との技術協力や共同研究等を通じて、最先端の技術や知見を取得・提供し、我が国における高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する技術力の強化・人材育成を図る。あわせて、関連する研究施設等の施設見学、ウェブサイトの活用による研究開発の実施状況や成果に関する情報の公開を通じ、我が国における高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する国民との相互理解促進に努める。</li> </ul>

## 2. 第4期中長期目標(案)と第4期中長期計画(案)との対応(3/6)

<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期目標(案)</b></p> <p>※国立研究開発法人審議会(第22回)(R3.12.22)資料6-5より</p>	<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期計画(案)</b></p> <p>※国立研究開発法人審議会 日本原子力研究開発機構部会(第28回)(R3.11.26)資料7より</p>
<p>&lt;前頁からのつづき&gt;</p> <p>(2) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力利用に伴い発生する高レベル放射性廃棄物の地層処分に必要とされる技術開発に取り組む。</li> <li>・ 具体的には、高レベル放射性廃棄物等の地層処分の実現に必要な基盤的な研究開発を着実に進め、実施主体が行う地質環境調査、処分システムの設計・安全評価及び国による安全規制上の施策等のための基盤情報を整備・提供する。</li> <li>・ また、幌延深地層研究計画については、調査・研究を委託や共同研究などにより重点化しつつ着実に進める。</li> <li>・ 超深地層研究所計画については、坑道埋め戻し後の地下水の回復状況の確認に必要な措置を行う。</li> <li>・ さらに、これらの取組を通じ、実施主体との人材交流を進め、円滑な技術移転を推進する。</li> <li>・ 加えて、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等の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。</li> <li>・ これらの取組により、技術開発を総合的・計画的かつ効率的に進めることで、処分に係る技術的信頼性の更なる向上を目指し、我が国の将来的な地層処分計画立案に資する研究成果を創出する。</li> </ul>	<p>&lt;前頁からのつづき&gt;</p> <p>(2) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高レベル放射性廃棄物及び地層処分相当低レベル廃棄物(以下、「高レベル放射性廃棄物等」という)の地層処分の実現に必要な基盤的な研究開発を着実に進めるとともに、実施主体が行う地質環境調査、処分システムの設計・安全評価及び国による安全規制上の施策等のための基盤情報を最先端のデジタル技術も取り入れつつ整備し、提供する。</li> <li>・ さらに、これらの取組を通じ、実施主体との人材交流等を進め、円滑な技術移転を進める等、社会実装を図る。</li> <li>・ 加えて使用済燃料の直接処分等代替オプションに関する調査・研究を着実に推進する。</li> <li>・ これらの取組により、我が国の将来的な地層処分計画立案に資する研究成果を創出するとともに、地層処分計画に基づいた地層処分事業に貢献する。</li> </ul>

## 2. 第4期中長期目標(案)と第4期中長期計画(案)との対応(4/6)

<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期目標(案)</b></p> <p>※国立研究開発法人審議会(第22回)(R3.12.22)資料6-5より</p>	<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期計画(案)</b></p> <p>※国立研究開発法人審議会 日本原子力研究開発機構部会(第28回)(R3.11.26)資料7より</p>
<p>&lt;前頁からのつづき&gt;</p>	<p>&lt;前頁からのつづき&gt;</p> <p>1) 深地層の研究施設計画</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・幌延深地層研究計画については、調査・研究を委託や共同研究等により重点化しつつ着実に進める。同計画では、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証及び地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証を進める。研究の実施に当たっては、稚内層深部(深度500m)に坑道を展開して研究に取り組むとともに、さらなる国内外の連携を進め、研究成果の最大化を図る。これらの課題については、今期中長期目標期間を目途に取り組み、その上で、国内外の技術動向を踏まえて、地層処分の技術基盤の整備の完了が確認できれば、埋め戻しを行うことを具体的工程として示す。</li> </ul>

## 2. 第4期中長期目標(案)と第4期中長期計画(案)との対応(5/6)

<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期目標(案)</b></p> <p>※国立研究開発法人審議会(第22回)(R3.12.22)資料6-5より</p>	<p style="text-align: center;"><b>第4期中長期計画(案)</b></p> <p>※国立研究開発法人審議会 日本原子力研究開発機構部会(第28回)(R3.11.26)資料7より</p>
<p>&lt;前頁からのつづき&gt;</p>	<p>&lt;前頁からのつづき&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超深地層研究所計画については、「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づき、有効性を確認したモニタリングシステムを用いた地下水の調査と地上観測孔による地下水調査を環境モニタリング調査として、坑道の埋め戻し後5年程度継続して実施する。地下水の環境モニタリング調査終了後は、速やかに、地上施設の基礎コンクリート等の撤去及び地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞を行う。その後、用地の整地を行い、全ての作業を完了する。また、坑道埋め戻し及び地上施設の撤去等の作業に伴う研究所周辺の影響の有無を確認するため、研究開始当初より実施している河川水等の水質分析及び騒音・振動測定といった環境影響調査を継続して実施する。</li> </ul> <p>2) 地質環境の長期安定性に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術を地球年代学に係る最先端の施設・設備も活用しつつ整備する。これらの技術については、地層処分事業における各調査段階に必要な編年技術の構築のみならず、原子力を取り巻く課題解決や社会のニーズへの対応も考慮して整備を行う。</li> <li>・また、大学等研究機関との協働を進め、土岐地球年代学研究所に設置されている施設・設備の利用促進を図るとともに、最先端の地球科学分野の成果を創出する。</li> </ul>



# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

## 1) 深地層の研究施設計画-幌延深地層研究計画- (1/3)

➤ 第4期中長期計画(案)

幌延深地層研究計画については、調査・研究を委託や共同研究等により重点化しつつ着実に進める。同計画では、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証及び地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証を進める。研究の実施に当たっては、稚内層深部(深度500m)に坑道を展開して研究に取り組むとともに、さらなる国内外の連携を進め、研究成果の最大化を図る。これらの課題については、今期中長期目標期間を目途に取り組み、その上で、国内外の技術動向を踏まえて、地層処分の技術基盤の整備の完了が確認できれば、埋め戻しを行うことを具体的工程として示す。

年度 項目	細目	中長期 終了目標	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10		
(2) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究 開発	1) 深地層の研究施設計画 幌延深地層研究計画	・令和2年度以降の幌延深地層研究計画に基づき、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証及び地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証を進める	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0ffe0;"> <b>実際の地質環境における人工バリアの適用性確認</b> </div>								
			<ul style="list-style-type: none"> <li>人工バリアや周辺岩盤中での特に減熱時における熱-水-応力-化学連成挙動や、物質移行現象などを計測・評価する技術の高度化</li> </ul>								
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0ffe0;"> <b>処分概念オプションの実証</b> </div>								
			<ul style="list-style-type: none"> <li>搬送・回収技術や閉鎖技術も含めた、種々の処分概念オプションの工学的実現性の実証、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションの提供</li> <li>廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報の整理</li> </ul>								
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0ffe0;"> <b>地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証</b> </div>								
			<ul style="list-style-type: none"> <li>地震・断層活動等の地殻変動に対する堆積岩の力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証</li> <li>化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の高度化、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計をより科学的・合理的に行える技術と知見の整備</li> </ul>								

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

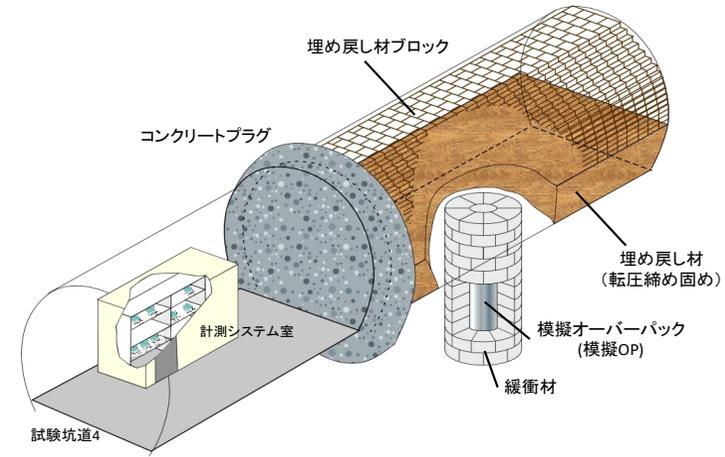
## 1) 深地層の研究施設計画-幌延深地層研究計画- (2/3)

### 【研究の背景・狙い・目標・意義】

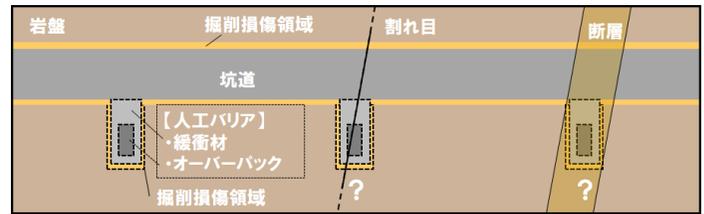
幌延深地層研究センターでは、これまで深度350mまでの立坑掘削と調査研究用の水平坑道を展開しながら、地質環境を調査・評価する技術や深地層における工学技術の開発を着実に進めてきた。令和元年度までに実施した必須の課題の成果を報告書として取りまとめ、その結果も踏まえ、引き続き研究開発が必要と考えられる課題を抽出し、令和2年1月に「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」を決定した。

### 【実施内容】

- 人工バリア性能確認試験: 模擬オーバーパックの減熱時の緩衝材の挙動に関するデータの取得や、施工した人工バリアの解体および緩衝材の飽和度の確認
- 物質移行試験: これまでに確立した手法を用いて、掘削影響領域、有機物、微生物の影響に着目したデータの取得
- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験: 施工方法、プラグの有無、回収方法に応じた埋め戻し材の特性把握、廃棄体の設置方法等の処分技術の実証試験
- 高温(100℃超)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験: 緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法の開発
- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化: より大型の断層に対する地震動の影響等の把握、地下水の流れが非常に遅い領域を調査・モデル化する技術の実証
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験: 人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力を解析する手法の開発



人工バリア性能確認試験の概念図



坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化の概念図

### 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

#### 1) 深地層の研究施設計画-幌延深地層研究計画- (3/3)

##### 【成果・地層処分事業や他分野への貢献】

- 人工バリア性能確認試験において、減熱や解体調査によりデータを取得し、これらのデータも用いて連成モデルの適用性確認を行うことでモデルの高度化を行う。安全評価や人工バリアの設計に必要な人工バリア周辺的环境条件の設定等へ反映できる。
- 物質移行特性に影響する要因に着目し、物質移行特性を計測・評価する技術の高度化を進め、割れ目を有する堆積岩での物資移行特性の総合的な評価手法を確立する。これらは、核種移行評価における基盤技術となる。
- 搬送定置・回収技術、閉鎖技術などの実証、坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化により、これらの技術の有効性を確認する。地下の施設設計技術の向上や地下の施設建設の安全性を確保する技術の高度化に寄与する。
- ニアフィールド(人工バリアとその周辺岩盤の領域)における上限温度設定の考え方を提示し、高温条件下での人工バリアの安全裕度の評価に寄与する。
- 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証において、水圧擾乱試験結果や提案した指標を用いた評価などにより、割れ目の透水性の評価手法や断層の活動性評価手法を高度化し整備する。ニアフィールドにおける状態変遷を考慮した核種移行解析モデルの構築に貢献する。
- 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の高度化を行うとともに広域スケールを対象とした水理・物質移行評価手法の検証を進める。概要調査における、地下水の流動が緩慢な“低流動域”の空間的な拡がりや地表から効率的に調査・評価する技術に寄与する。
- 人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が掘削損傷領域(EDZ)の力学的・水理学的な緩衝能力(自己治癒能力)に与える影響を把握する。処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備やニアフィールドにおける状態変遷を考慮した核種移行解析モデルの構築に貢献する。

##### 【他機関・他部署との連携】

- 国内の大学や研究機関との連携、海外研究機関との研究協力を強化
- 国際共同研究(DECOVALEX)を継続
- 幌延深地層研究センターを活用した新たなOECD/NEA国際共同プロジェクトを立上げ、物質移行試験、処分技術の実証と体系化、実規模の人工バリアシステム解体試験を研究課題として取り組む予定

### 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

#### 1) 深地層の研究施設計画-超深地層研究所計画- (1/2)

➤ 第4期中長期計画(案)

「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づき、有効性を確認したモニタリングシステムを用いた地下水の調査と地上観測孔による地下水調査を環境モニタリング調査として、坑道の埋め戻し後5年程度継続して実施する。地下水の環境モニタリング調査終了後は、速やかに、地上施設の基礎コンクリート等の撤去及び地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞を行う。その後、用地の整地を行い、全ての作業を完了する。また、坑道埋め戻し及び地上施設の撤去等の作業に伴う研究所周辺の影響の有無を確認するため、研究開始当初より実施している河川水等の水質分析及び騒音・振動測定といった環境影響調査を継続して実施する。

年度 項目	細目	中長期 終了目標	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10		
研究開発 (2)高レベル放射性廃棄物等の地層処分研	1)深地層の研究施設計画 超深地層研究所計画	令和2年度以降の超深地層研究所計画に基づき、地下水環境モニタリング調査、地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞及び地上施設の基礎コンクリート等の撤去等を実施	①地下水環境モニタリング調査								
			②地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞								
			③地上施設の基礎コンクリート等の撤去・用地の整地								

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

## 1) 深地層の研究施設計画-超深地層研究所計画- (2/2)

### 【研究の背景・狙い・目標・意義】

坑道の埋め戻しに伴う地下深部の地下水環境の回復過程及び周辺環境への影響を確認するための環境モニタリング調査として、必要となる水質・水圧データを取得する地下水観測を実施する。

### 【実施内容】

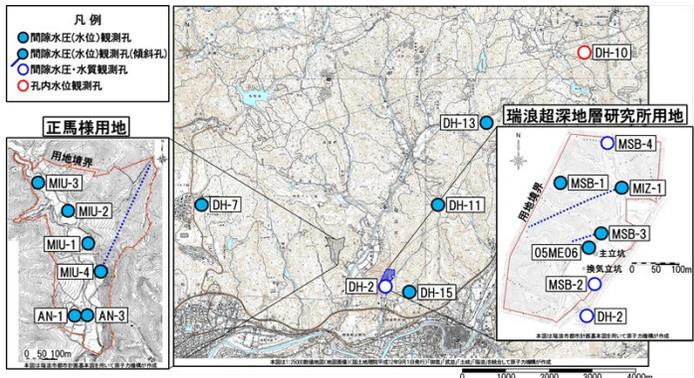
- ・令和3年度までに整備したシステム及び既往の観測システムを用いて水圧・水質観測を行う。(令和8年度まで実施)
- ・研究所用地内及び研究所用地周辺のボーリング孔等について、観測終了後の観測機器等の撤去、観測孔の閉塞措置を行う。(随時)
- ・立坑坑口上部のコンクリートを撤去し、坑口を閉塞するとともに、敷地内のアスファルト舗装を撤去し、碎石を敷均して整地する。また、敷地周囲の植栽工・フェンスを撤去する。(令和9年1月以降実施)

### 【成果・地層処分事業や他分野への貢献】

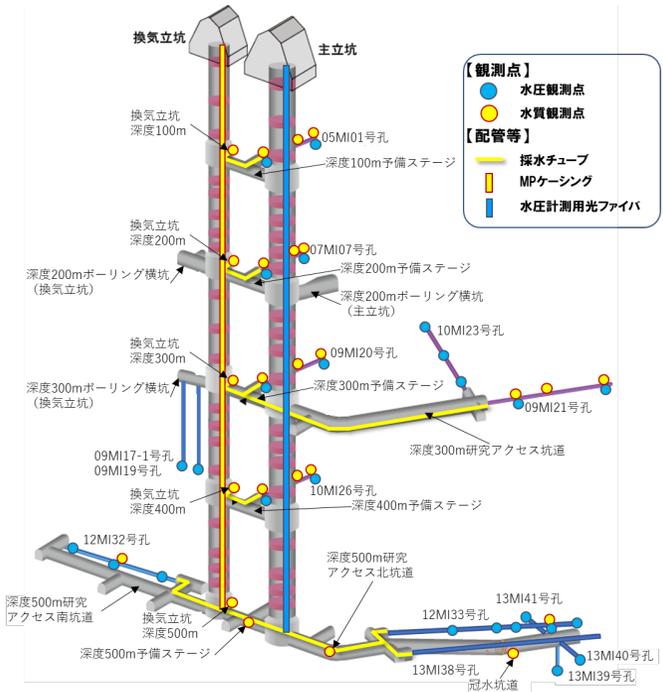
- 坑道埋め戻し時のデータについては、令和4年度に研究開発報告書類として公表予定。
- 坑道埋め戻し後のデータ(～令和8年度)についても研究開発報告書類として適宜公表していく。

### 【他機関・他部署との連携】

○公表データについては、地層処分事業における坑道埋め戻し後の地下水環境の回復過程を評価する際の基礎データとしての活用が期待される。



地下水の環境モニタリング調査における地上観測点



地下水の環境モニタリング調査における地下観測点

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

## 2) 地質環境の長期安定性に関する研究 (1/2)

➤ 第4期中長期計画(案)  
 自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術を地球年代学に係る最先端の施設・設備も活用しつつ整備する。これらの技術については、地層処分事業における各調査段階に必要な編年技術の構築のみならず、原子力を取り巻く課題解決や社会のニーズへの対応も考慮して整備を行う。また、大学等研究機関との協働を進め、土岐地球年代学研究所に設置されている施設・設備の利用促進を図るとともに、最先端の地球科学分野の成果を創出する。

年度 項目	細目	中長期 終了目標	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10		
研究開発 (2) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分	2) 地質環境の長期安定性に関する研究	自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術の整備	調査技術の開発・体系化								
			概要調査後半～精密調査において評価が求められる熱水活動(深部流体等)、断層運動、隆起・侵食、気候・海水準変動に関する調査・評価技術の拡充および取りまとめ								
			長期予測・影響評価モデルの開発								
			将来における自然現象の影響評価に適切に反映するための、昨今のデジタル技術の進展も考慮した、地形変化や地殻変動等に関する最適化されたモデルを提示する手法の構築および取りまとめ								
			年代測定技術の開発・高度化								
自然現象の理解と予測に係る研究開発で重要な放射年代測定技術の開発・高度化、天然試料への適用実績の着実な拡充および取りまとめ											

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

## 2) 地質環境の長期安定性に関する研究 (2/2)

### 【研究の背景・狙い・目標・意義】

地層処分事業の概要調査～精密調査において必要とされる自然現象の影響調査・評価技術の拡充、将来の地形変化や地殻変動等を考慮した地質環境モデル提示の支援及び数千年～数千万年スケールの年代測定に対応した技術開発を進める。

### 【実施内容】

- ・自然現象の特徴および過去～現在までの履歴を把握するための各個別技術の拡充、地形変化や地殻変動等に関する地質環境モデルの提示を支援するための科学的検討、年代測定に用いる各種機器分析法の高精度化に向けた装置や前処理手法等の改良及び少量試料等への適用範囲の拡大を進める。

### 【成果・地層処分事業や他分野への貢献】

- 地層処分事業の概要調査～精密調査における自然現象の影響調査・評価手法として活用される。
- 防災分野における断層の活動性、隆起・侵食速度の把握、地下水の流動経路の変遷、および古環境・古気候の推測等に貢献する。具体的には、地質環境変化の予測・評価技術を応用した自然災害予測技術の開発、超小型AMSの開発・実用化など。

### 【他機関・他部署との連携】

- 国内外の大学・研究機関や共通する技術開発ニーズを有する企業(電力会社等)との協力研究を強化
- 地層処分事業実施主体への着実な技術継承



レーザーアブレーション(LA)装置(左)とICP質量分析装置(右)



年代測定技術開発に使用する装置例

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

## 3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発 (1/2)

➤ 第4期中長期計画(案)

深地層の研究施設計画や地質環境の長期安定性に関する研究の成果も活用し、処分事業の進展に応じ、関係機関と一層の連携を図りながら、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化をさらに進める。

年度 項目	細目	中長期 終了目標	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10		
(2) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発	3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発	高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化のさらなる推進	1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上								
			・人工バリア等の基本特性データベースの拡充及びデータベース開発								
			・人工バリア等の長期複合挙動に関する研究								
			2. 安全評価手法の高度化								
			・システム性能評価に係る手法の開発								
・放射性核種の移行に係る現象理解とデータベース開発											

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

## 3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発 (2/2)

### 【研究の背景・狙い・目標・意義】

処分システムに関する工学的技術の信頼性向上として、人工バリア等の基本特性データを取得し、データベースを最新のものに更新するとともに、人工バリア等の長期複合挙動に関する研究を継続して進める。また、安全評価手法の高度化として、システム性能評価に係る手法の開発及び放射性核種の移行に係る現象理解とデータベース開発を行う。

### 【実施内容】

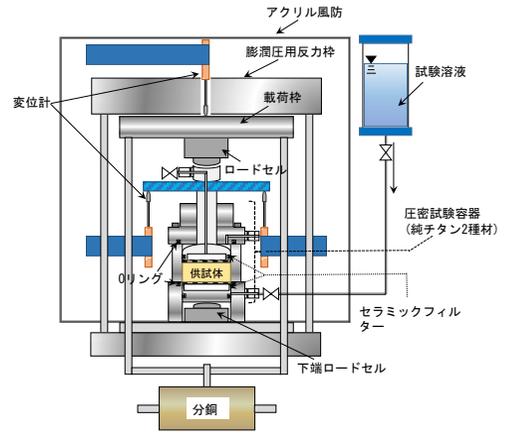
- ・オーバーパックの腐食挙動や緩衝材の基本特性に関して、幅広い地質環境条件とその時間的な変遷(廃棄体定置後のTHMC状態が大きく変化する期間～閉鎖後長期)を考慮した広範な条件に対してデータを取得し、データベースに追加し更新する。また、処分坑道の掘削、埋め戻し、過渡期から長期に渡る処分場の人工バリア等の複合挙動評価技術の開発とその妥当性の確認を幌延深地層研究センターでの原位置試験の計測データ等を活用して行う。
- ・地表環境の違いやその長期変遷の処分システムへの影響を評価するための処分システムの性能評価手法を開発する。また、実際のサイトの地質環境の特徴等を適切に反映することが可能な核種移行評価モデル・データベースを先端的な分析・計算科学技術の適用や、地下研究施設等での原位置試験や天然事例研究に基づき高度化する。

### 【成果・地層処分事業や他分野への貢献】

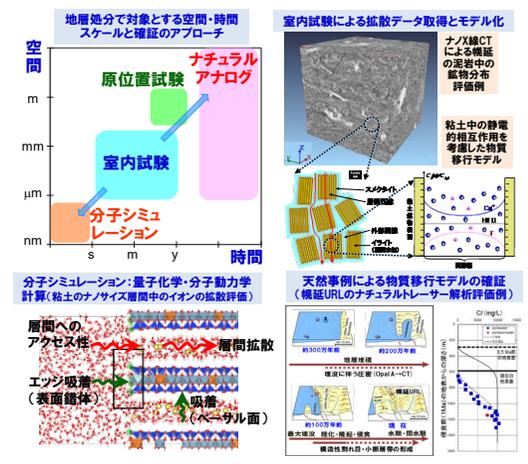
- 幅広い条件に対する人工バリアの適用性や堅牢性、長期的な挙動の推定に資するための基礎的情報としての活用が期待される。
- NUMOによる実際のサイトを対象とした概要調査・精密調査段階の安全評価、国の安全規制への反映が期待される。

### 【他機関・他部署との連携】

○国内大学、国内関連機関(原環センター)との連携を強化



緩衝材に対する長期圧密試験装置概要



核種移行評価モデル・データベース開発において考慮すべき空間・時間スケールとアプローチ

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

## 4) 代替処分オプションの研究開発 (1/2)

➤ 第4期中長期計画(案)

将来に向けた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、海外の直接処分等に関する最新の技術動向を調査するとともに、高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発の成果を活用しつつ、使用済燃料の直接処分等代替処分オプションに特徴的な現象に着目した研究を着実に進める。

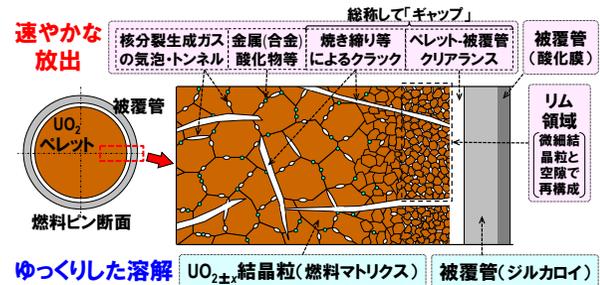
年度 項目	細目	中長期 終了目標	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10		
(2) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分 研究開発	4)代替処分オプションの研究開発	使用済燃料の直接処分など代替処分オプションに特徴的な現象に着目した基礎基盤研究の着実な推進	1. 使用済燃料直接処分に関する閉じ込め性能に関する評価検討等の拡充・整理								
			2. その他代替処分オプション(超深孔処分)の成立性に係る技術や情報の調査・整理								

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

## 4) 代替処分オプションの研究開発 (2/2)

### 【研究の背景・狙い・目標・意義】

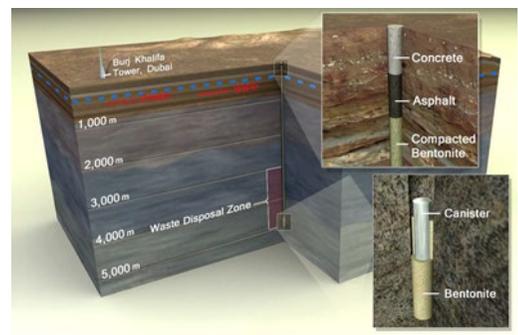
エネルギー基本計画や基本方針において、将来に向けて幅広い選択肢を確保し、柔軟な対応を可能とする観点から、使用済燃料の直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を着実に推進することとされている。使用済燃料の直接処分に関しては、使用済燃料の特徴(形状・寸法、発熱量、インベントリ、特有な現象等)を考慮した設計や安全性の確認が重要な課題の一つであり、これらに関する基礎基盤研究の着実な推進を目的として、直接処分に特徴的な現象の理解深化や評価技術の整備・拡充を進める。さらに、直接処分以外の代替処分オプションとして、超深孔処分のわが国での成立の可能性の検討等に資することを目的として、超深孔処分の特徴や課題、わが国の地質環境条件との関係等の理解・整理を進める。



放射性核種の燃料集合体からの溶出挙動の取扱いの概念図

### 【実施内容】

- 直接処分については、使用済燃料の処分に特徴的な現象として、使用済燃料からの核種の溶解挙動や使用済燃料の処分容器内での臨界安全性等についての理解深化や評価技術の整備・拡充を進め、地質環境条件や使用済燃料の特性の多様性を考慮した評価検討の拡充、評価技術・評価事例の体系的整理等を目指す。
- 直接処分以外の代替処分オプションについては、超深孔処分で鍵となる超深孔の掘削や定置等に係る技術の調査・整理、及び超深孔処分の実施のための技術的要求事項や地質環境条件に応じたその要求の達成の難易度、条件、課題等を明らかにしていくことで、超深孔処分の特徴や課題、わが国の地質環境条件との関係等の理解・整理を進めることを目指す。



### 【成果・地層処分事業や他分野への貢献】

- 使用済燃料の直接処分に係る理解と技術基盤が高まることが期待される。
- 超深孔処分の成立の可能性を検討するための技術基盤となることが期待される。
- これら成果は、将来に向けて幅広い選択肢の確保に貢献することが期待される。

【要求事項】	超深孔が適切に掘削できる。	超深孔が健全に維持できる。	廃棄体が支障なく定置できる。	超深孔が安全に閉鎖できる。
【設計要件】	深度確保 坑径確保	坑径維持 坑壁維持	廃棄体降下 廃棄体定置 廃棄体防護	閉鎖の実施 シールの実施 シール性能維持



超深孔処分が成立するための各段階での要求事項や設計要件のイメージ

### 【他機関・他部署との連携】

○機構内の他部門との連携(高速炉・新型炉研究開発部門における燃料瞬時放出挙動分野及び原子力科学研究における燃料長期溶解挙動分野)

# 3. 第4期中長期計画(案)の実施内容

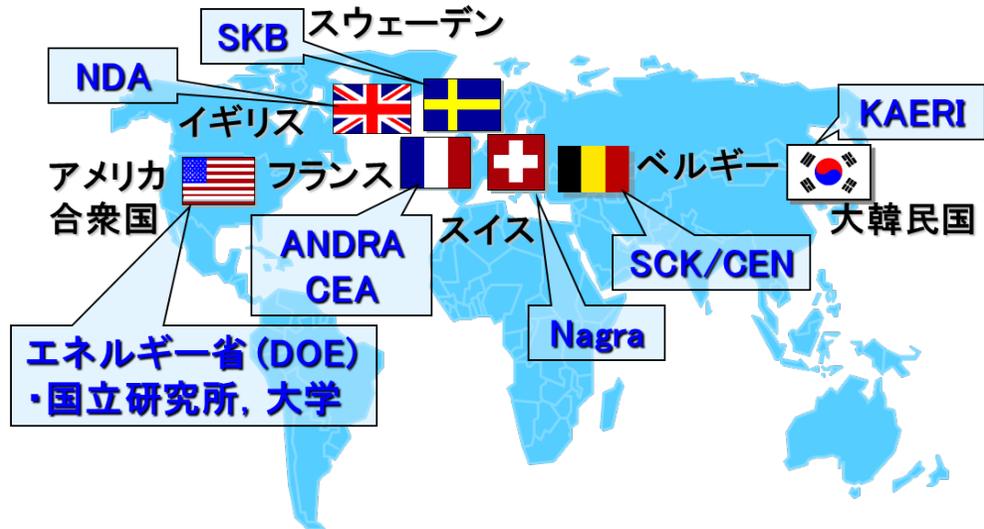
## 5) 社会実装・人材育成・理解促進

- 第4期中長期計画(案)
- ・実施主体、国内外の研究開発機関、大学等との技術協力や共同研究等を通じて、最先端の技術や知見を取得・提供し、我が国における高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する技術力の強化・人材育成を図る。あわせて、関連する研究施設等の施設見学、ウェブサイトの活用による研究開発の実施状況や成果に関する情報の公開を通じ、我が国における高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する国民との相互理解促進に努める。
  - ・実施主体との人材交流等を進め、円滑な技術移転を進める等社会実装を図る。

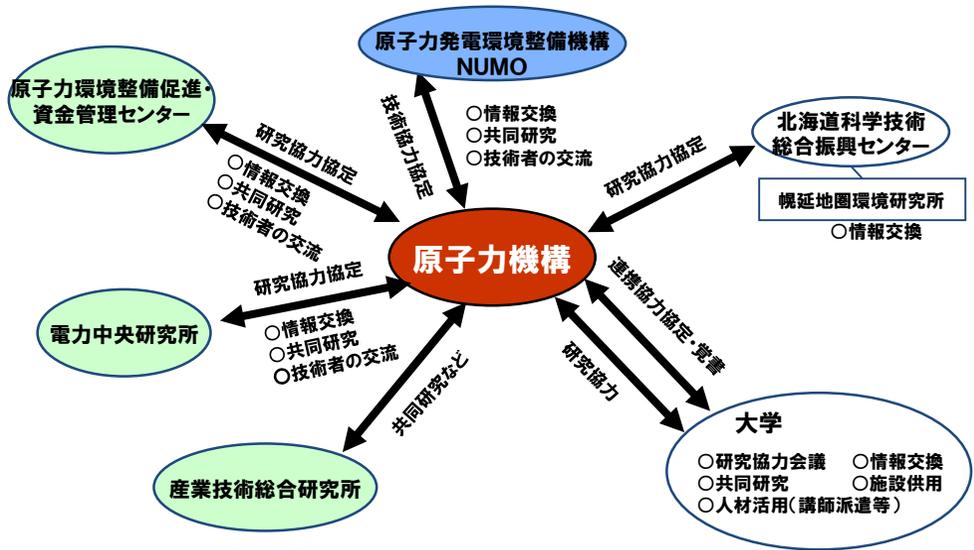
年度 項目	細目	中長期 終了目標	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10		
(2) 高レベル放射性廃棄物等の 地層処分研究開発	社会実装・人材育成・理解促進	高レベル廃棄物の処分に関する技術力の強化・人材育成ならびに国民との相互理解促進	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地層処分に関する人材育成セミナー、国際共同プロジェクト、さらには共同研究等を通じて技術力の強化ならびに人材育成を図る</li> <li>・深地層の研究施設等の施設見学、外部主催のイベントへの出展、サイエンスカフェの実施、研究等報告会等のウェブ配信、ホームページを活用した情報発信などを通じて、国民との相互理解促進を促進</li> <li>・実施主体との共同研究の継続、段階的な成果の取りまとめ等を通じて技術移転を進める</li> </ul>								

# 4. 国内外機関との連携の活用

放射性廃棄物処分に関する  
協力協定を有する国外機関



放射性廃棄物処分に関する  
協力協定を有する国内機関



## 原子力機構が参加している国際機関の活動

- OECD/NEA RWMC (放射性廃棄物管理委員会)
- IAEA URF (地下研究施設) ネットワーク 等

## 原子力機構が参加している国際共同プロジェクト

- OECD/NEA 熱化学データベースプロジェクト
- OECD/NEA Clay Club
- OECD/NEA Crystalline Club
- スイスグリムゼル試験場 国際共同プロジェクト
- スイスモンテリー国際共同プロジェクト
- SKB タスクフォース
- DECOVALEX (連成解析モデル開発・検証プロジェクト)

➤ 各研究については、国内外他機関(原子力以外の分野を含む)や他部署と連携した取り組みを効果的に実施する。

➤ 国内人材の確保・育成や、国外的な人材育成にも寄与できる。

# 5. 成果の取りまとめと評価

- ◆ わが国の地層処分計画を支える技術基盤として反映するため、処分事業や安全規制のニーズ・進展を踏まえ、段階的・定期的に取りまとめを実施
- ◆ 成果については、地層処分に関心のある様々なユーザーがWeb上で欲しい情報をスムーズに取り出すことのできるWeb上のレポートシステム(CoolRep)として公開

中長期計画	第1期	第2期	第3期	第4期
年度	H17~H21	H22~H26	H27~R3	R4~R10
成果の取りまとめ	CoolRepH22 (H17~H21)	CoolRepH26 (H22~H26)	CoolRepR4 (H27~R3)	CoolRepR11 (R4~R10)
研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・深地層の研究施設計画</li> <li>・長期安定性</li> <li>・地層処分研究開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・深地層の研究施設計画</li> <li>・長期安定性</li> <li>・地層処分研究開発</li> <li>・直接処分</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発</li> <li>・深地層の研究施設計画</li> <li>・長期安定性</li> <li>・地層処分研究開発</li> <li>・直接処分</li> </ul>	<p>◆ 高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する技術開発の着実な実施</p> <p>実施主体が行う地質環境調査、処分システムの設計・安全評価及び国による安全規制上の施策等のための基盤情報を整備・提供</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 深地層の研究施設計画</li> <li>2) 地質環境の長期安定性に関する研究</li> <li>3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究</li> <li>4) 代替処分オプションの研究開発</li> </ol>
評価	評価	評価	評価	評価 評価 評価 中間評価 評価 評価 評価

# 6. 自己評価(1/2)

評価の視点	自己評価	該当頁
① 研究開発課題の選定の妥当性(効果・効用(アウトカム)の観点を含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3期中長期目標期間における中間評価及び全体の成果を踏まえ、エネルギー基本計画や第4期中長期目標策定に関する国の方針や議論等に基づいたフレームの中での研究開発課題となっている。また、原子力機構全体の取組方針とも整合した課題としている。</li> </ul>	p. 2-10
② 方向性・目的・目標等の妥当性(効果・効用(アウトカム)の観点を含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画については、エネルギー基本計画及び第4期中長期目標策定に関する国の方針等に基づき、多角的視点に立ち、目的(①地層処分の技術基盤の整備、②新たな研究システムとして将来を見据えた研究開発による成果の他分野への展開、③幅広い選択肢を確保する観点での代替処分技術に関する研究開発、④研究活動を通じた社会との協働・還元)、目標等を定めた。</li> </ul>	p. 2-10
③ 研究開発の進め方の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究成果の最大化を図るため、実施主体、国内外の研究開発機関等の技術協力や共同研究等の活用、特に幌延深地層研究センターの国際拠点化を進め、効率的・効果的に研究開発を進める計画となっている。また、実施主体が行う地質環境調査、処分システムの設計・安全評価、国による安全規制上の施策等のための技術基盤を、最先端のデジタル技術を取り入れつつ整備し、提供することとしている。</li> </ul>	p. 11-22
④ 研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発資金のうち、運営費交付金は減少傾向にあり、非常に厳しい状況にあることから、国際連携の活用とともに、外部資金の獲得などを図りつつ取り組む計画としている。</li> </ul>	-
⑤ 国内外他機関との連携の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> <li>これまでの国内外の他機関等との連携の他、幌延深地層研究センターをアジア地域の地層処分に関わる国際拠点として、深地層での研究開発を多国間で協力しながら推進するための国際共同プロジェクトに向けた取り組みとそれを軸とした国内外の技術者や研究者の育成を進める計画としている。</li> </ul>	p. 11-23

# 6. 自己評価(2/2)

評価の視点	自己評価	該当頁
⑥イノベーション創出の可能性と創出に向けた取組計画の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> <li>最先端のデジタル技術を取り入れた技術基盤整備、地質環境変化の予測・評価技術を応用した自然災害予測技術の開発、超小型AMS開発など、「JAEA2050+」の実践とSociety5.0の実現に必要な、イノベーション創出に向けた取り組みを進める計画としている。</li> </ul>	p. 17
⑦社会実装に向けた取組計画の妥当性(技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>NUMOとの共同研究の枠組み等を通じ、NUMOとの人材交流を進めるとともに、CoolRep(オンラインを活用した、読者の知りたい情報へのアクセスを支援する科学レポートシステム)として適宜成果の取りまとめを行い、円滑な技術移転を進める。また、世界初の「安価」、「放射線管理区域不要」、「前処理フリー」が可能な超小型AMSの開発・実用化を進め社会実装を図る。</li> </ul>	p. 17 p. 19 p. 22
⑧科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー基本計画、第4期中長期目標(案)、地層処分研究開発に関する全体計画、令和元年度の「幌延深地層研究の確認会議」において確認され、自治体から受け入れられた「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」、さらには原子力機構の取り組み方針等と整合した計画とした。</li> </ul>	p. 2-4
⑨研究開発課題／成果の社会的受容性(社会へ及ぼす影響度の想定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>国のエネルギー政策の根幹であるエネルギー基本計画において、「国、NUMO、JAEA等の関係機関が、全体を俯瞰して、総合的、計画的かつ効率的に技術開発を着実に進める。この際、幌延の深地層研究施設等における研究成果を十分に活用していく。」ことが明記されているなど、本研究開発の社会へ及ぼす影響はますます大きくなっていることから、これらを踏まえ社会実装を確実にを行う計画とした。</li> </ul>	p. 2-4
⑩人材育成に関する取組の妥当性(原子力を担う人材、イノベーション・デジタル化を担う人材等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>大学との共同研究や学生実習による受入れ、施設見学やウェブサイトの活用による研究成果情報の公開のほか、幌延の地下施設を活用した国際共同プロジェクトを通じた国内外の技術者や研究者の育成等をとおして、地層処分に関する国民との理解促進などを通じて人材育成を行うこととしている。</li> </ul>	p. 22