

研究開発の現状について (経済産業省)

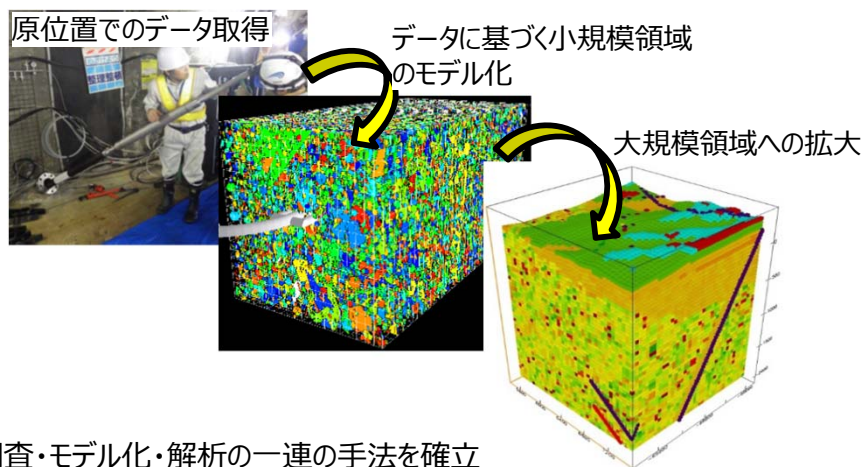
令和2年1月

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策課

資源エネルギー庁による研究開発

岩盤中地下水流動評価技術高度化開発

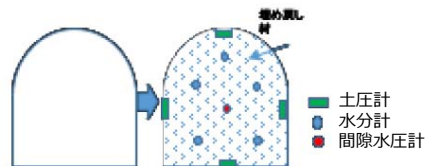
- 地下環境で取得した実測値から、地質・水理／水質を網羅的に再現可能なモデル化・解析手法の検討を実施する。
- 具体的には、原位置におけるボーリング調査、採水・分析、物質移行試験とその結果のモデル化・解析を実施する。



調査・モデル化・解析の一連の手法を確立

地層処分閉鎖技術確証試験

- 地下環境に掘削した坑道の適切なシーリングシステムを構築することを目的として、原位置試験等を実施する。
- 具体的には、止水プラグ試験や実際の坑道充填技術の実証等を行い技術の妥当性を検証する。



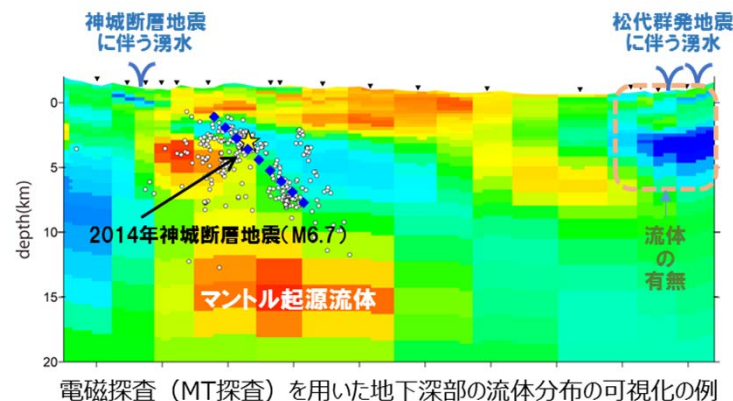
- 計測機器設置
- 埋め戻し村施工 (施工方法は吹付けもしくは転圧)
- 施工時の埋め戻し村サンプリング、室内試験



原位置試験途中の状況と施行結果確認用の計測機器類の配置

地質環境長期安定性評価技術高度化開発

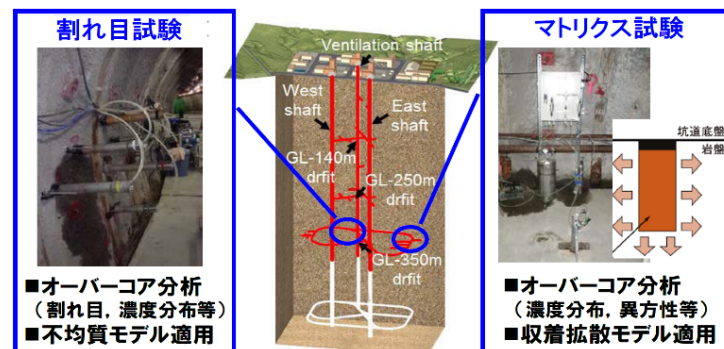
- 変動帯に位置する我が国の地質環境の長期安定性を評価する上で重要な評価技術の高度化を行う。
- 具体的には、火山、断層、隆起・侵食や深部流体の性状把握手法の高度化（精度向上）を実施。



電磁探査 (MT探査) を用いた地下深部の流体分布の可視化の例

ニアフィールドシステム評価確証技術開発

- 人工バリアから天然バリアと、様々な材料が配置するニアフィールドを対象として、原位置試験や室内試験に基づき、材料間の相互作用による現状の把握やその解析手法を開発・高度化する。

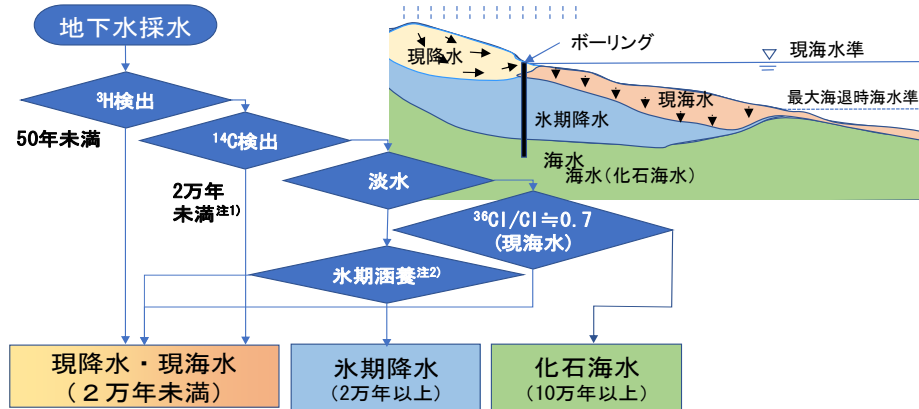


現象論の理解と数値解析手法高度化に向けた取り組み

資源エネルギー庁による研究開発

沿岸部処分システム高度化開発

- 沿岸部固有の特性を考慮し、地質環境の調査技術、建設・操業技術、安全評価技術に関する技術開発とその体系化を行う。

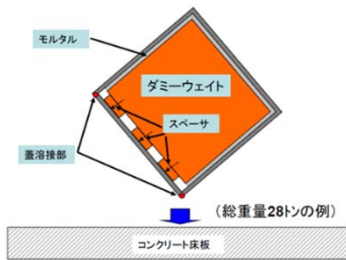


注1) ^{14}C が検出されなくても2万年未満の場合がある。
 注2) 水素・酸素同位体比が軽いor希ガス濃度(Kr, Xeなど)が高いことを確認する必要がある。

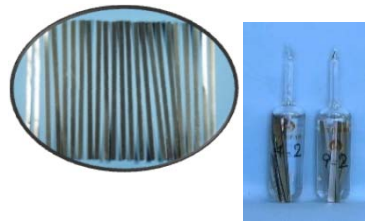
流動性評価方法の概念図

TRU廃棄物処理・処分に関する技術開発

- TRU廃棄物固有の特徴を考慮した人工バリアとその周辺環境への影響技術に関する検討を実施する。
- 具体的には、ガス発生による人工・天然バリアへの影響評価技術や人工バリアの破壊耐性の検証等を実施する。



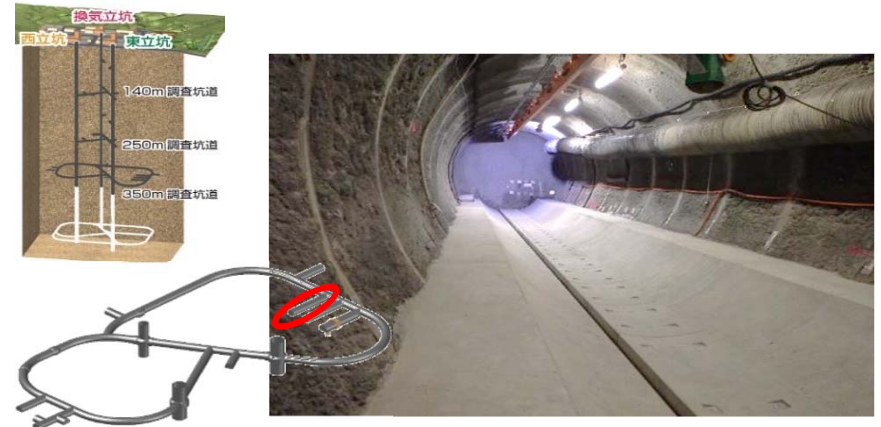
人工バリアの落下試験のイメージ



水素測定法によるハル・エンドピースの長期腐食試験

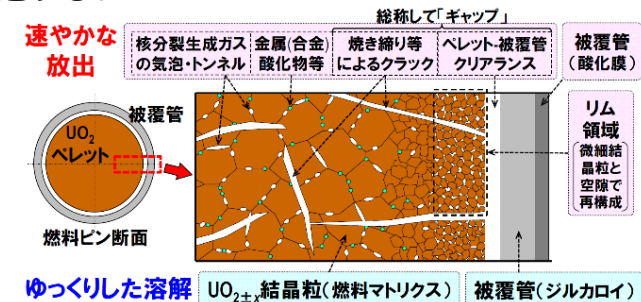
可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

- 廃棄体定置後の回収技術の実証ならびに高度化に向け、模擬体廃棄体を地下坑道に定置、廃棄体周りのシーリング材の除去を含めた、廃棄体の回収技術の実証を行う。



直接処分等代替技術高度化開発

- 我が国における使用済燃料の直接処分の実現可能性の検討等として、我が国の地下水水質に着目した処分容器材料の検討、使用済燃料からの核種溶出挙動について検討を実施する。



使用済燃料からの核種放出に関する検討の概念図

(参考) 資源エネルギー庁による研究開発の委託先一覧

委託事業名	委託先
岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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
地層処分閉鎖技術確証試験	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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
地質環境長期安定性評価技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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
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"> ➤ 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
沿岸部処分システム高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ➤ 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター ➤ 一般財団法人電力中央研究所 ➤ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（平成30年度まで）
TRU廃棄物処理・処分に関する技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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
可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター
直接処分等代替処分技術高度化開発	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

岩盤中地下水流動評価技術高度化開発

(JAEA・CRIEPIに委託※)

口主な成果

- 広域的な物質移行解析の妥当性検証に向けて、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（図1）。

- 広域的な地下水流動を評価するために必要な水理学的情報の取得方法の再検討として、同一孔で長期の水理試験を実施し、長期的な水理試験の有効性を再確認した（図2）。

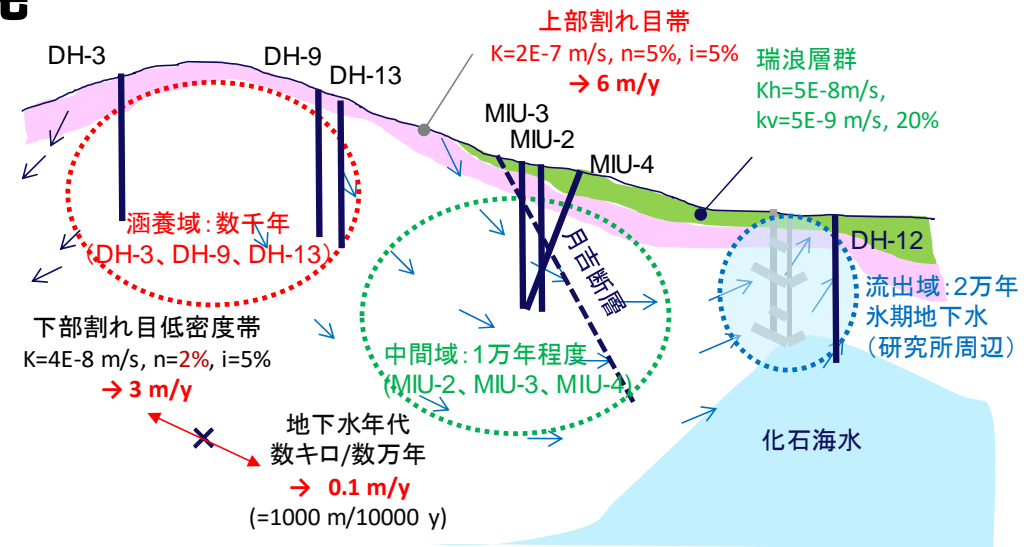


図1 広域的な物質移行と地下水年代の分布に関する概念図

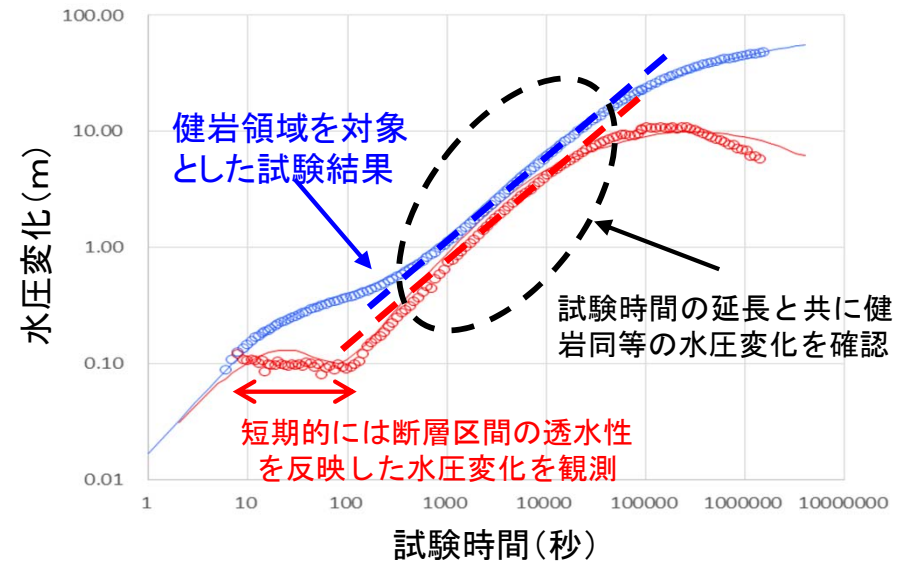


図2 断層区間を対象とした長期水理試験と健岩部の水理試験の比較

※以降、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構は JAEA、一般財団法人電力中央研究所はCRIEPIと示す。

地層処分施設閉鎖技術確証試験

(JAEA・RWMCに委託)

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。
- 地下500mの坑道を対象として、坑道全断面の吹付け工法による埋め戻し施工試験を実施し（図1、図2）、吹付け工法による埋め戻しの実現性やその品質管理手法等を実証的に示した。また、多様な地質環境への対応に向けて、岩種の異なる掘削ズリ等を混合した場合の埋戻し材料（ベントナイト）の特性データ取得試験方法を整備した（現在データ取得中）。



図1 坑道全断面吹付け工法による埋め戻し施工試験の状況

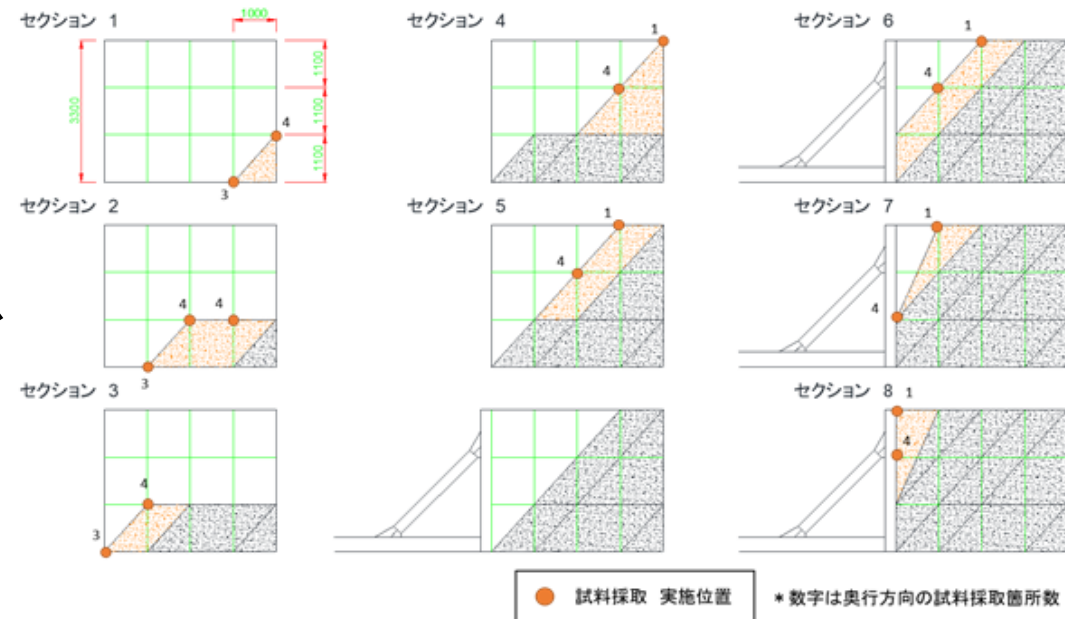


図2 吹付け施工後の品質確認試料の採取箇所と試験の状況

※以降、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターはRWMCと示す。

地質環境長期安定性評価技術高度化開発

(JAEA・CRIEPIに委託)

主な成果

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

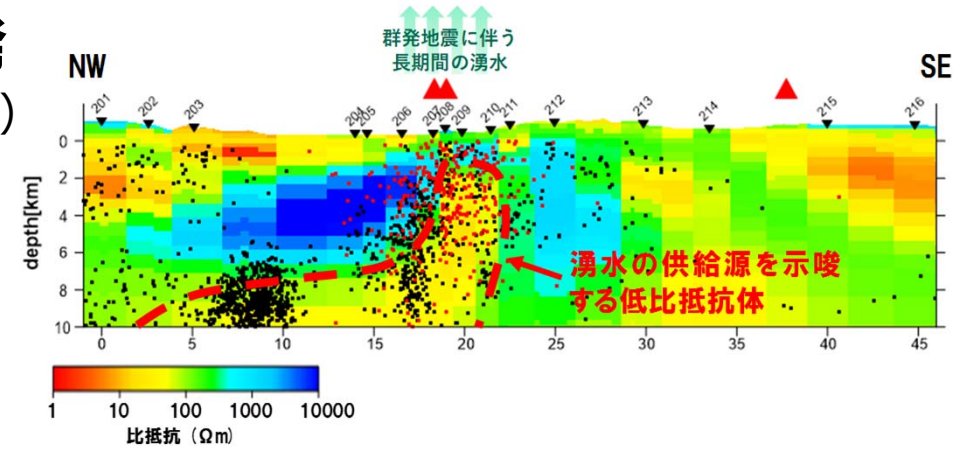


図1 群発地震の活動域における二次元比抵抗構造

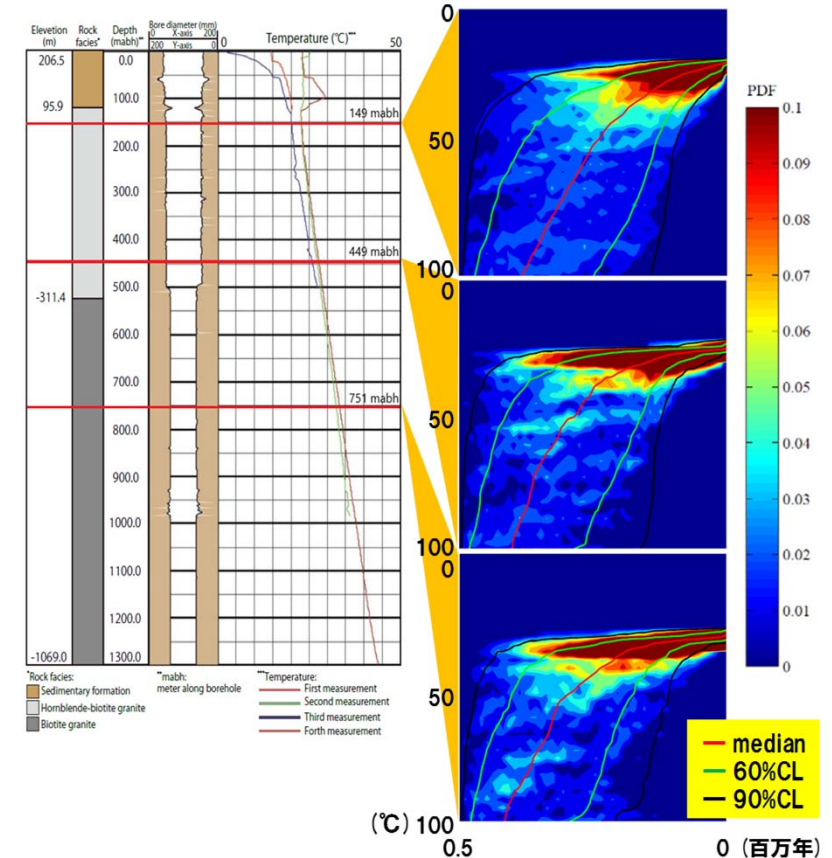


図2 熱年代測定法を大深度ボーリングコア試料に適用した例

ニアフィールドシステム評価確証技術開発

(JAEA・RWMCに委託)

主な成果

- 幅広い実際の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性を明らかにした (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。

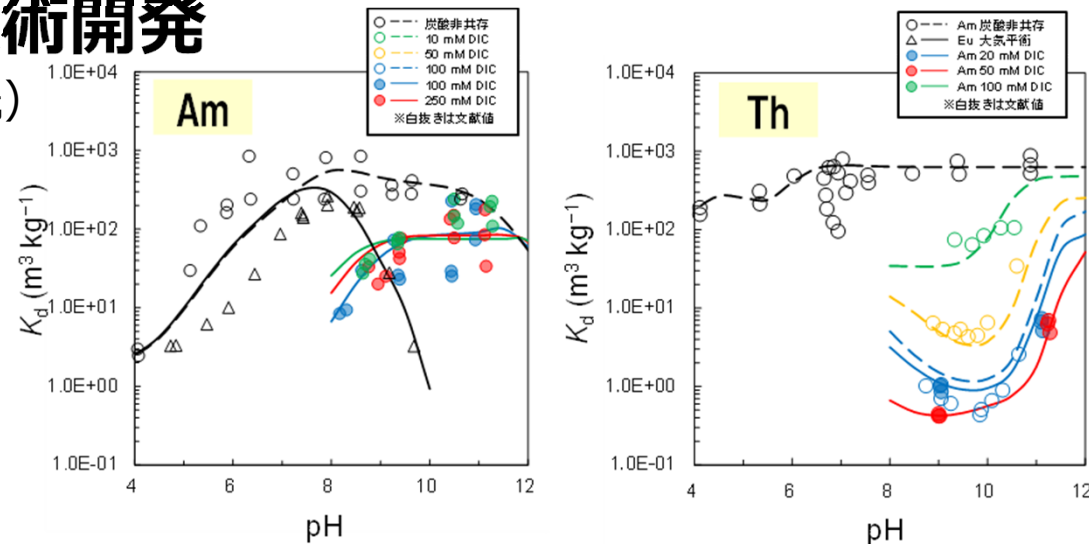


図1 炭酸条件でのイライトへの収着データ (点) とモデル評価 (線)

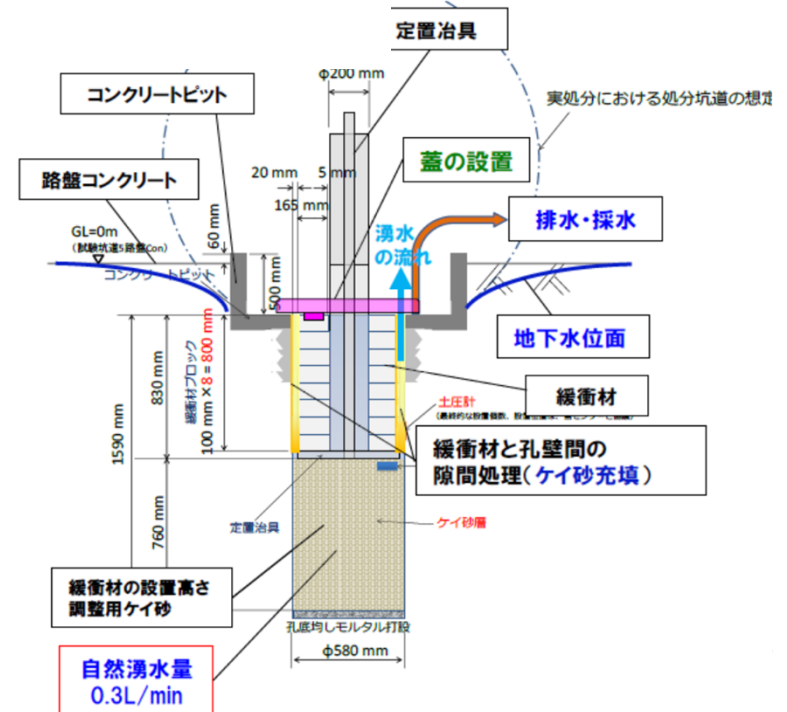


図2 試験装置のイメージ (約 1/5 スケール)

沿岸部処分システム高度化開発

(AIST・RWMC・CRIEPIに委託)

□主な成果

- 沿岸部に特化した隆起・侵食、断層、火山の調査・評価手法を提示した。加えて、国内113カ所の深部地下水の採取・分析・流動解析の結果、沿岸の地下環境は地下水の水質が層状に分布し570m以深の地下水は安定性が高いことを示した(図1)。

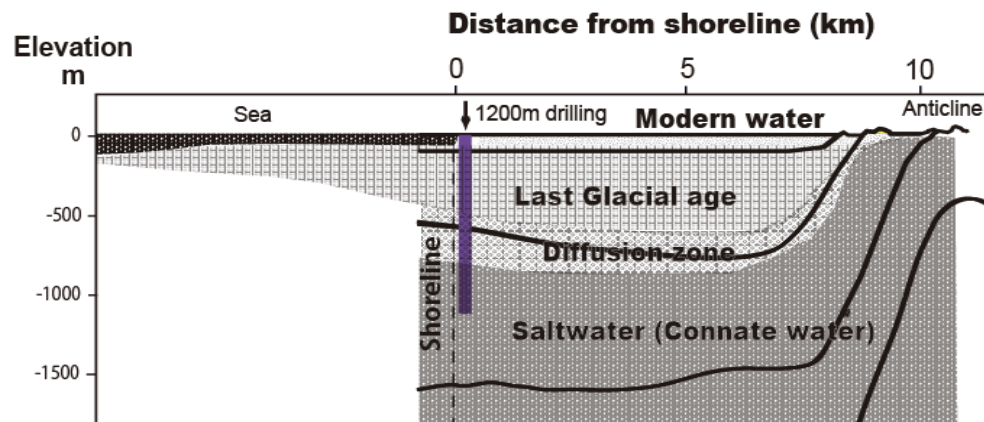


図1 地下水の安定性評価

- 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、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(図2)。

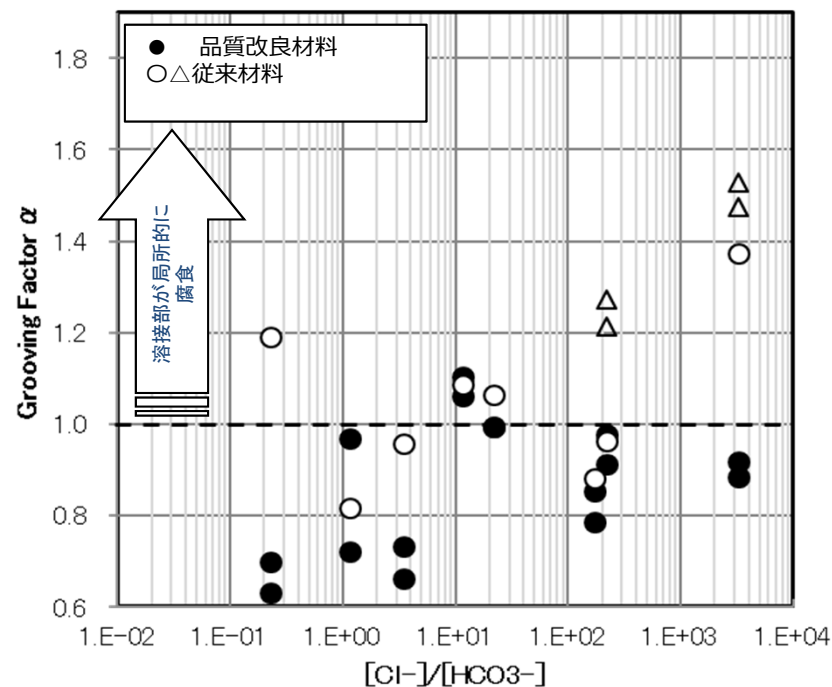


図2 オーバーパック腐食試験結果の例

※国立研究開発法人産業技術総合研究所はAISTと示す。

TRU廃棄物処理・処分に関する技術開発

(RWMC・JAEAに委託)

□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計画を策定した（現在データ取得中）。
- 廃棄体からのガス発生の影響評価に向けて、予察解析を実施してモックアップ（図2）によるガス移行試験計画を策定した。

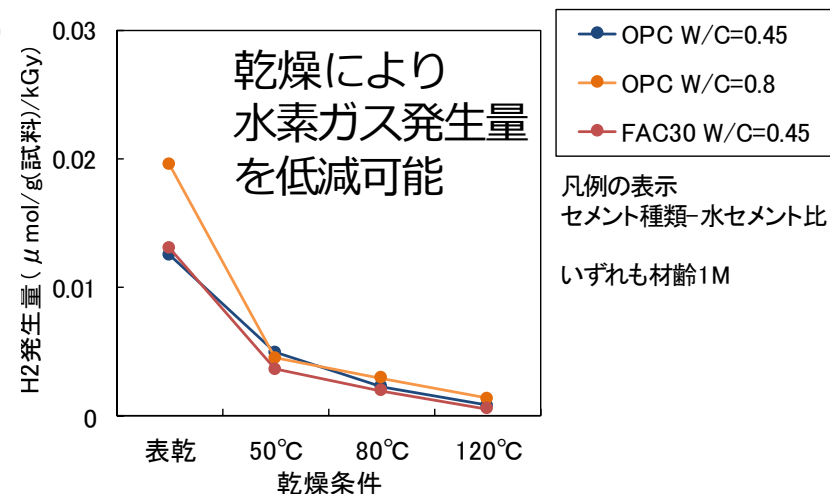


図1 セメントペーストと水素ガス発生量の評価

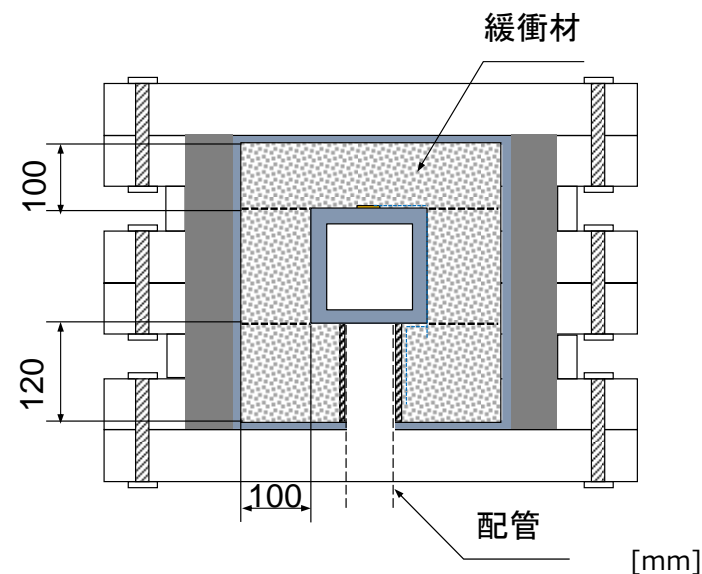


図2 ガス移行試験用のモックアップ試験装置

可逆性・回収可能性調査・技術高度化 開発

(RWMCに委託)

□主な成果

- 廃棄体の回収技術の実証の準備として、幌延深地層研究センターの深度350mを活用して、横置きPEM方式を対象として、搬送装置、定置装置、除去装置の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(下図2)。



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

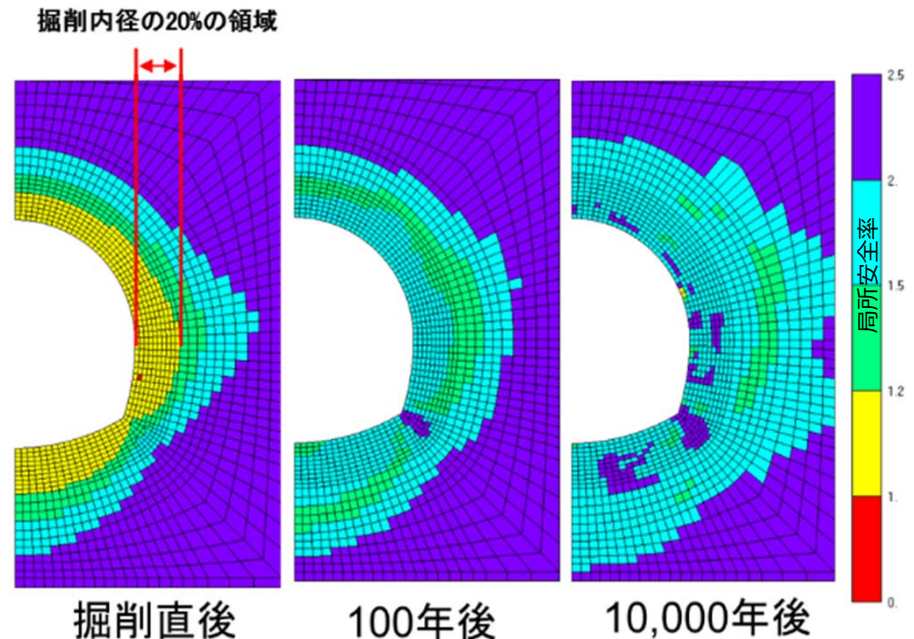


図2 解放状態を維持した場合の坑道安全性の評価の例

直接処分等代替処分技術高度化開発

(JAEAに委託)

主要な成果

- 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・保障措置や超深孔処分に関する諸外国の最新の情報を整理した。

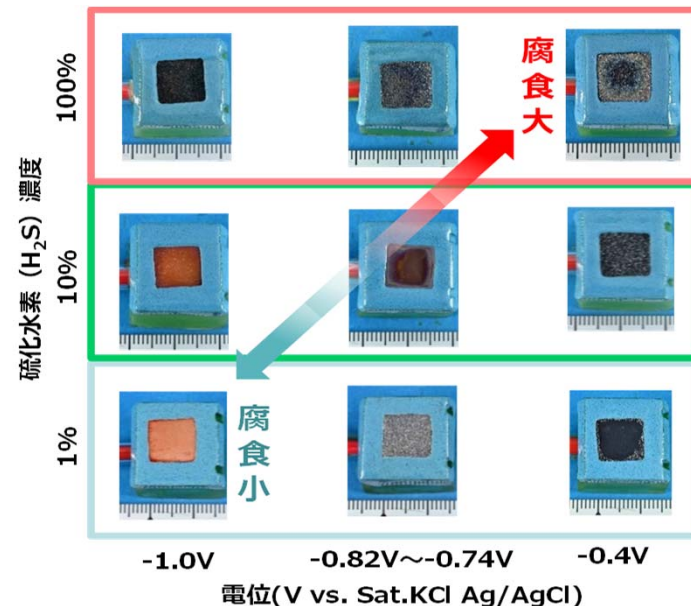


図1 銅の腐食挙動への硫化物濃度と酸化還元性の影響

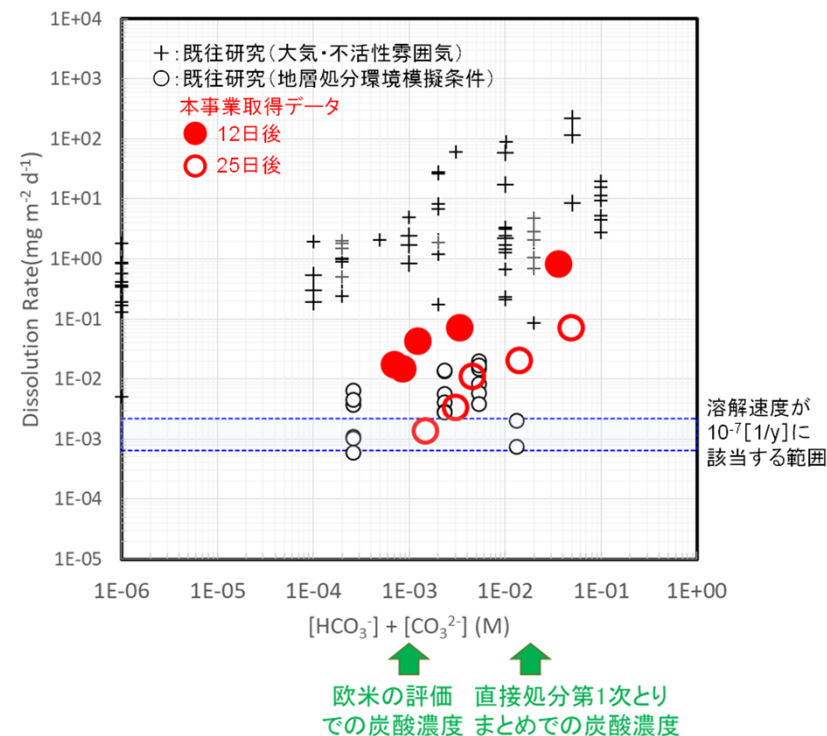


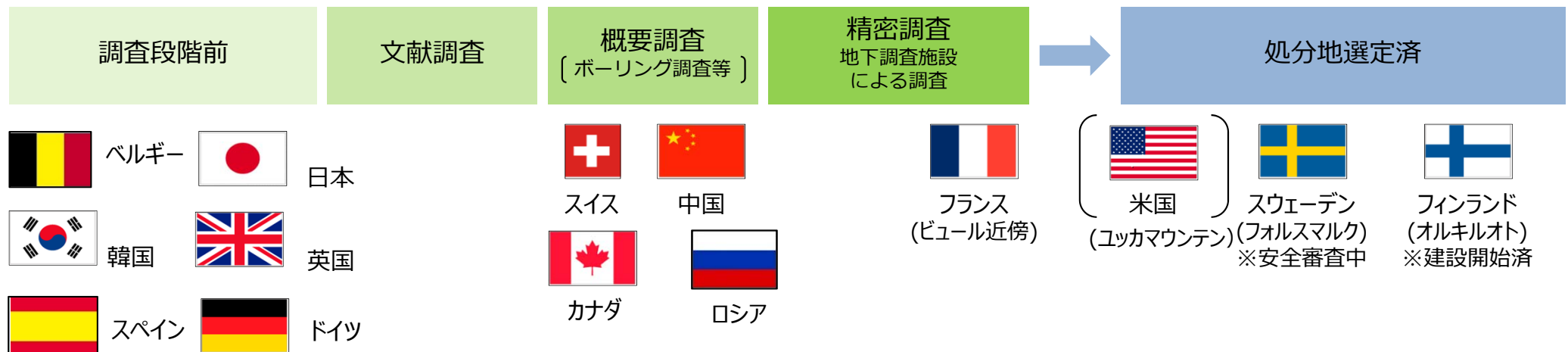
図2 ウラン酸化物の溶解速度への炭素濃度の影響

最終処分の実現に向けた国際連携の強化

- 高レベル放射性廃棄物の処分の実現は、**原子力を利用する全ての国の共通の課題**。
- 長い年月をかけて地層処分に取り組む各国政府との**国際協力を強化**することが重要。このような観点から、**世界の原子力主要国政府が参加する初めての「国際ラウンドテーブル」の立ち上げ**について、本年6月の**G20軽井沢大臣会合**で合意。
- これまでの**各国の理解活動における経験・知見を共有化**するとともに、**各国地下研究所間の研究協力**や**人材交流を促進**することを通じて、**地層処分の実現に向けた各国の取組みを後押し**していく。



「最終処分国際ラウンドテーブル」
共同記者会見
(2019年6月16日、G20軽井沢大臣会合)



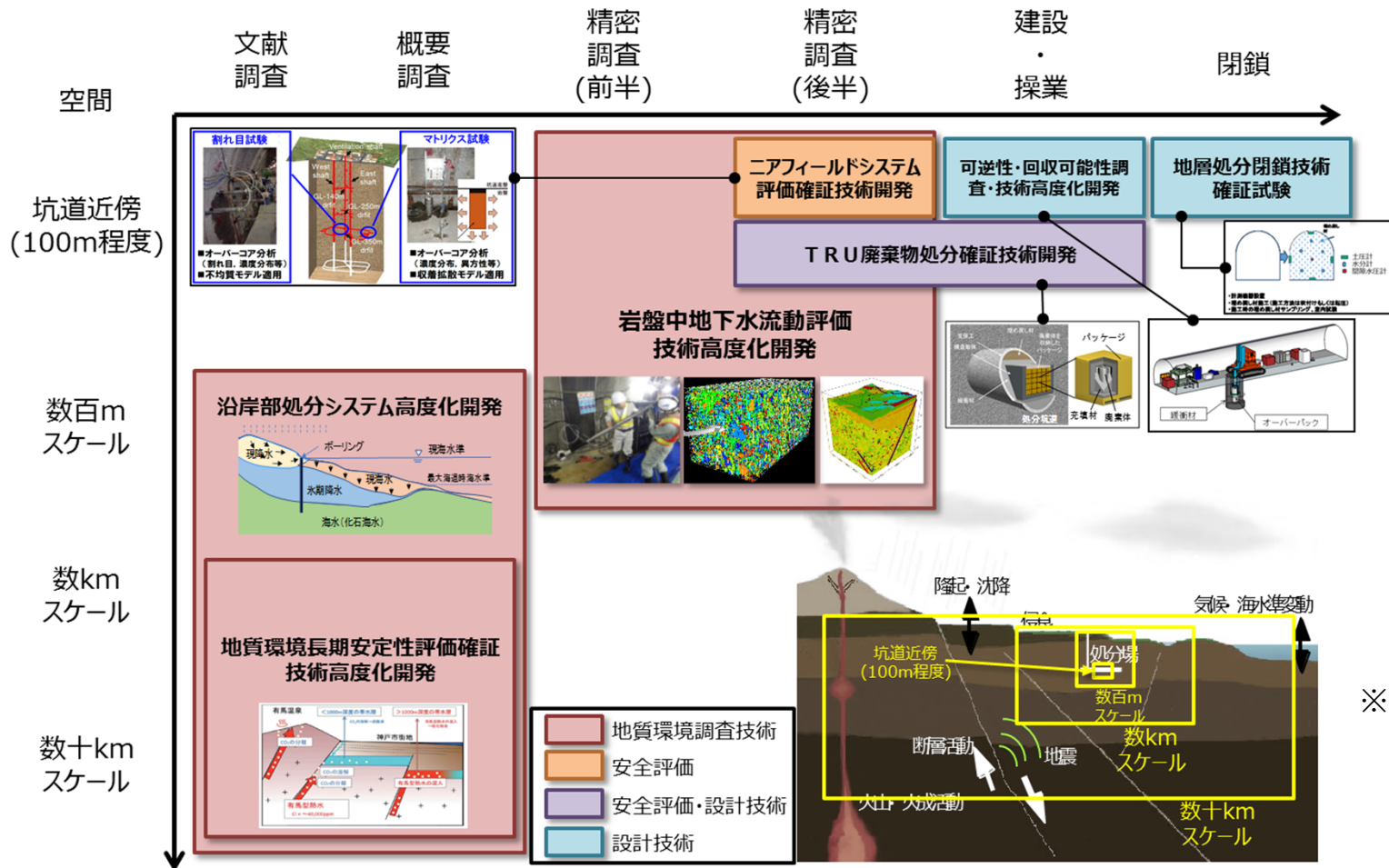
第1回最終処分に関する政府間国際ラウンドテーブル

- 開催日：2019年10月14日（パリ）
- 参加国：ベルギー、カナダ、中国、フィンランド、フランス、ドイツ、日本、韓国、オランダ、ロシア、スペイン、スウェーデン、英国、米国、経済開発機構/原子力機関（OECD/NEA）、国際原子力機関（IAEA）
- 共同議長：資源エネルギー庁（日本）、エネルギー省（米国）
- 今後の予定：2回の会合での議論を踏まえて、最終処分に関する政府間の国際連携強化に向けた基本戦略や、各国の対話活動の知見・経験・ベストプラクティスや、各国が有する研究施設等を活用した研究開発協力の方向性等を盛り込んだ最終報告書をとりまとめ予定。



まとめ

- 「地層処分研究開発に関する全体計画（平成30年度～平成34年度）」に沿って、処分事業における各段階や各スケールに応じて着実に研究開発を進めている。
- 一方、回収可能性技術については、原位置試験を通じて廃棄体の取り出し技術を実証したものの、より実用性を高めていく必要が見いだされた（廃棄体の回収の迅速化など）。
- また、「最終処分に関する政府間国際ラウンドテーブル」での議論を踏まえ、技術的知見やノウハウに関して国外の関係機関との共有を加速させる。



※この他に「直接処分等代替処分技術高度化開発（安全評価技術）」を実施中

(参考) 第1回最終処分に関する政府間国際ラウンドテーブルでの議論

① 政府の役割と国際協力の意義

- 最終処分の実現は原子力利用国共通の課題。長年の研究により最も安全な処分方法とされている地層処分の実現に向けて、各国が透明で公正な理解活動を通じて社会的な信頼を得ながら、着実に取り組んでいくことが重要。
- 原子力政策・最終処分政策・地質環境など、国によって最終処分を取り巻く状況や政策的アプローチは異なるものの、国家レベルで大きな方針を示すこと、国家としての意思決定を行うこと、安全規制を含めて国民理解を得ていくこと、長期の研究開発を支えることなど、地層処分実現に向けて各国政府が果たすべき役割は重要。
- これまで専門家レベルで技術面を中心とした国際連携は実施されてきたが、国家戦略レベル・政策レベルでの国際連携はこれまで十分に実施されてこなかった中で、各国政府が参加する今回の国際ラウンドテーブルのイニシアティブを歓迎。

② 国民理解活動

- 様々なステークホルダーがいる中での信頼の醸成、安全性に関する地域の理解の獲得、地層処分事業の地域発展への貢献などに分野において、各国の知見・経験・教訓を学び合うことが重要。
- 地層処分の実現に向けて、各国が直面する課題は、技術的というより、社会的・政治的なもの。一般の人々は放射性廃棄物にどう向き合うべきかわからないと考えており、それを乗り越えていくことが必要。
- 信頼獲得には、技術的な安全性を一般の人にも分かりやすい形で説明する努力を続けるとともに、SNS上の情報が世論を左右し得ることも踏まえ、常に丁寧な情報発信を心がけるべき。
- 地域の学校やコミュニティと協働しながら、一般の方を研究施設に案内するなどして学んでもらう取組も効果的。
- 技術的な検討だけでなく、地域の関心や文化的な違いなどの社会的側面についても検討した上で、地域と向き合うことが重要。

③ 研究開発

- 各国が自国の研究施設や人材や知見や資金を効率的に活用して研究開発を進めていくことが重要であり、各国が研究分野について具体的な関心がある領域を示し、各国間で協力を強化していくべき。
- 各国のプロジェクトを海外の専門家にレビューしてもらうことは、人々の信頼を高めることに役立つ。他国も同じ課題を抱えており、他の多くの国が同じ課題に同じ手法でアプローチしている事実が、ステークホルダーの納得感を高める。
- 地下研究施設や放射性物質を扱う分析設備等は、全ての国が保有しているものではないため、国際協力の余地が大きい。