

放射性廃棄物処分の安全性に関する研究概要

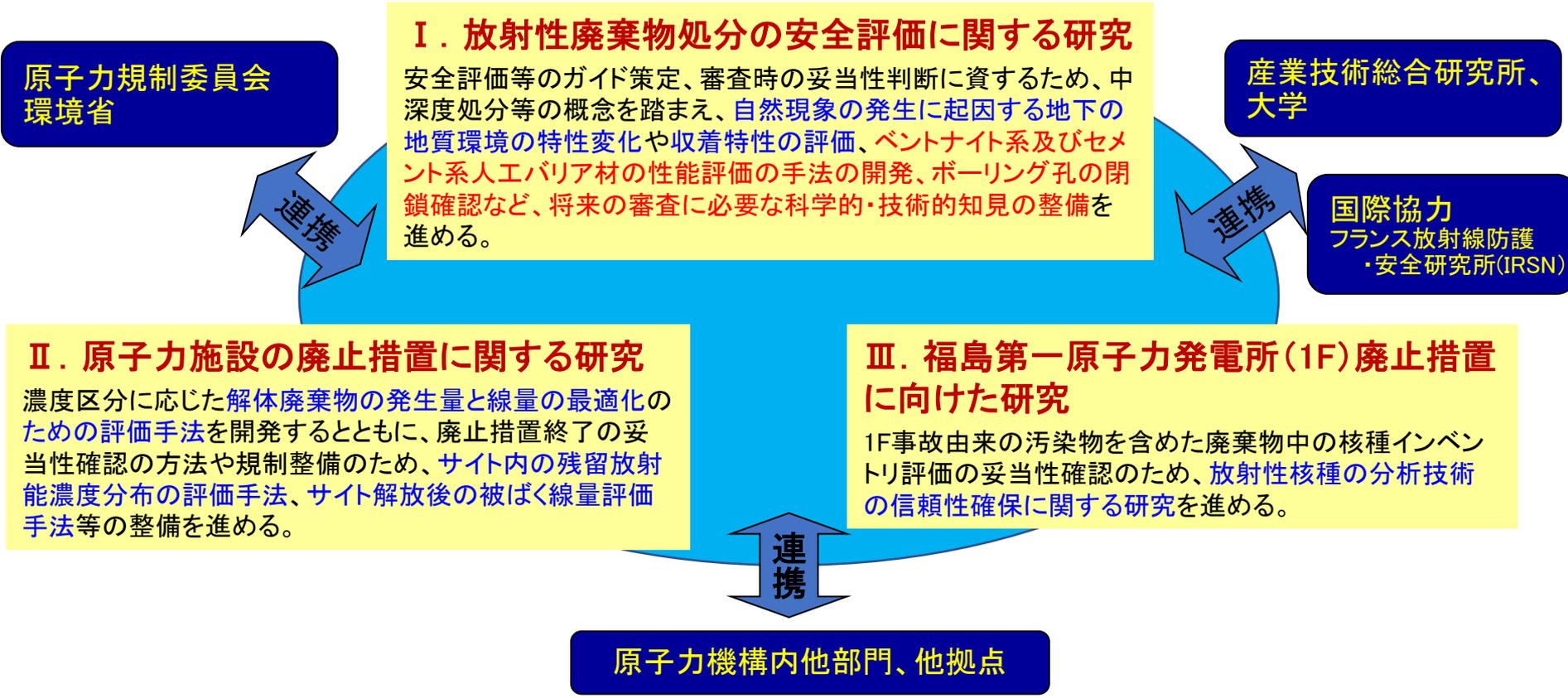
-人工バリアの性能評価、ボーリング孔の閉鎖確認に係る研究-

燃料サイクル安全研究ディビジョン 廃棄物・環境安全研究グループ
○澤口拓磨、阿部健康、笹川剛、村上裕晃、竹内竜史、飯田芳久、武田聖司

※本内容の一部は、原子力規制庁からの委託事業である「平成26年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備委託費（安全審査に向けた評価手法の整備）事業」、「平成30年度原子力発電施設等安全技術対策事業（廃棄物埋設における性能評価手法に関する調査）」及び「平成31年度原子力発電施設等安全技術対策委託費（廃棄物埋設における核種移行に係る性能評価に関する調査）事業」における検討内容である。

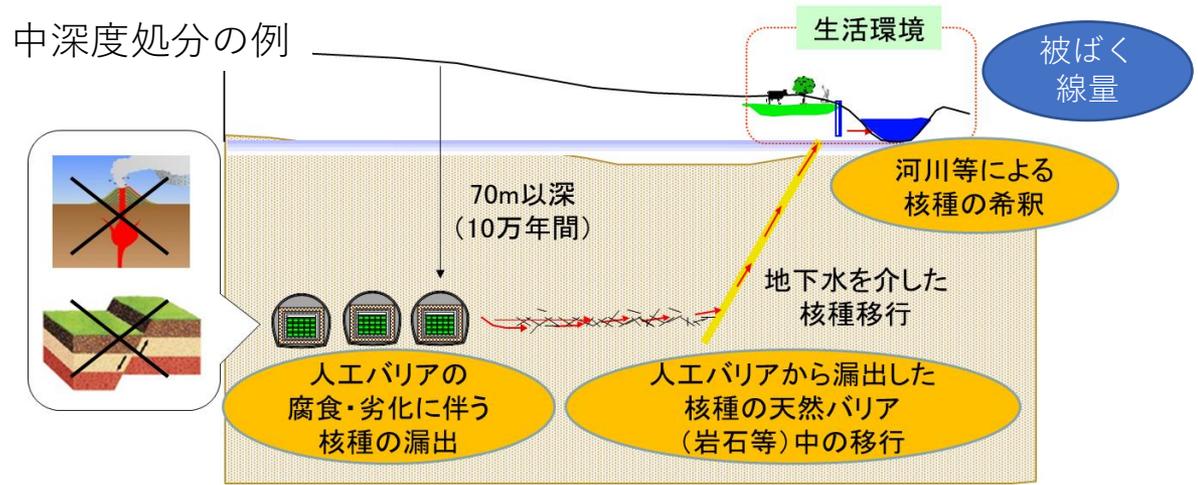
全体像

当グループでは、福島第一原子力発電所（1F）の事故で発生した汚染物を含む廃棄物等の処分及び原子力施設の廃止措置に係る安全評価手法を確立し、公衆や作業員への被ばく線量を定量化できるようにするとともに、人工バリア・天然バリアの長期的な性能評価モデル・評価手法を構築することを目指している。原子力規制庁や内外の関係機関との連携を図りつつ、下記の3つのテーマ（Ⅰ～Ⅲ）の研究を進めている。



中深度処分に係る研究の背景

- 放射能濃度の比較的高い廃棄物は、火山活動や断層活動等の著しい影響が及ばない地域に処分する。また、当該廃棄物は、生活環境から離隔した一定の深さの岩盤等（天然バリア）に建設された工学的なバリア（人工バリア）で閉じ込める。
- 中深度処分では、公衆の被ばく線量を合理的な範囲でできる限り低減するための設計上の対策を埋設事業者に求め、規制は、その設計プロセスの妥当性を確認する*。
 - ① 人工バリア候補の選定（安全機能、劣化・損傷への抵抗性の観点から、優れた設計を選定）
 - ② 廃棄物埋設地の設置場所候補の選定（放射性物質の移行抑制機能が優れた場所を選定）
 - ③ ①と②を組み合わせた設計の性能水準
（通常の状態でも保守的なパラメータ設定とした公衆の被ばく線量が100 μ Sv/yを超えない）
 - ④ 最終的な設計の選定（③を満たす組み合わせのうち、最も可能性が高いパラメータ設定とした公衆の被ばく線量が最も小さくなる設計を選定）



※令和2年度第17回
原子力規制委員会
資料2より

上記審査の判断に必要な根拠となる科学的・技術的知見を収集・整備するため、人工バリアの閉じ込め機能に係る評価や天然バリア中の核種移行評価に係る研究を実施

ベントナイト系人工バリアに関する研究概要

- セメント系材料に起因する水酸化物イオン (OH-) との反応によって、ベントナイトの主成分であるモンモリロナイトが溶解し、低透水性が劣化 (透水性が上昇) することが懸念されている
- 長期的な性能を評価するためには、ベントナイト-セメント相互作用で起こる両材料の変質 (鉱物溶解・生成反応) 及びそれに伴う物質移行特性の変化を把握する必要がある

【研究テーマと成果概要】

- ・ベントナイト-セメント相互作用
 - 溶解・生成が想定される鉱物の設定に係る検討
 - 圧縮ベントナイト中におけるモンモリロナイトの溶解現象の理解に係る検討
- ・ベントナイト中の物質移行
 - 圧縮ベントナイト中におけるイオン拡散評価手法に係る検討
 - 間隙率、モンモリロナイト量、イオン強度等への依存性を踏まえた透水係数評価手法の整備

反映

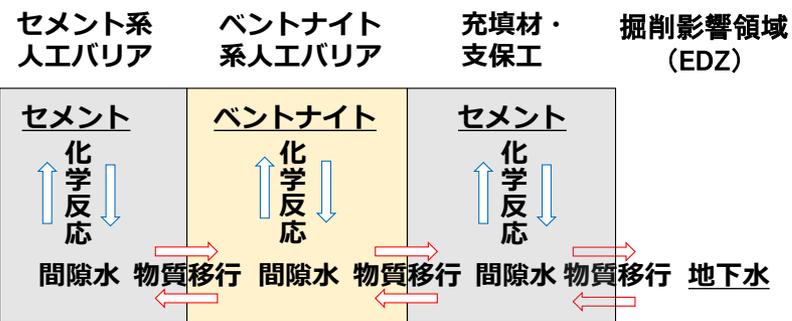
・物質移行-変質連成評価手法の整備

各構成要素 (セメント、ベントナイト等) における化学反応による変化と当該要素間の物質のやり取りとを、同時に考慮できる解析コード (MC-BUFFER) を整備し、ベントナイト系人工バリア低透水性の長期持続性について検討



中深度処分的人工バリア※

※原子力規制委員会「第2回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合」資料2-1 (電気事業連合会)



今後の取組方針：ベントナイトの種類や施工方法等が圧縮体の微視的構造に及ぼす影響及び当該構造と透水特性の関係を踏まえたモデルを整備

セメント系人工バリアに関する研究概要

セメント系人工バリアには放射性核種の閉じ込めや移行抑制といった安全機能が求められ、低拡散性や収着性が期待されている。これら安全機能に係る性能は、セメント硬化体の主要な水和物であるカルシウムシリケート水和物（C-S-Hゲル）によって支配され、セメント硬化体の製作に使用する材料の種類や配合に応じてその物理化学的性質が変化する。セメント系人工バリアに期待される安全機能は、処分場閉鎖後に発揮される必要があるため、その時点におけるC-S-Hゲルの状態を踏まえた性能評価が必要となる。

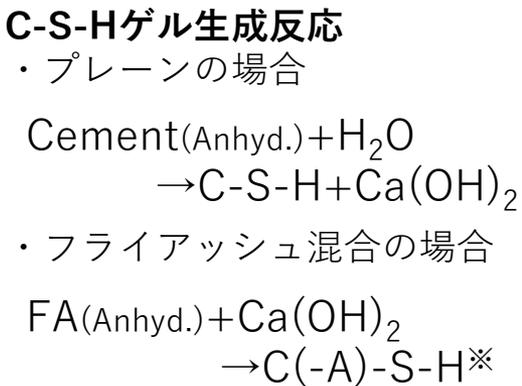
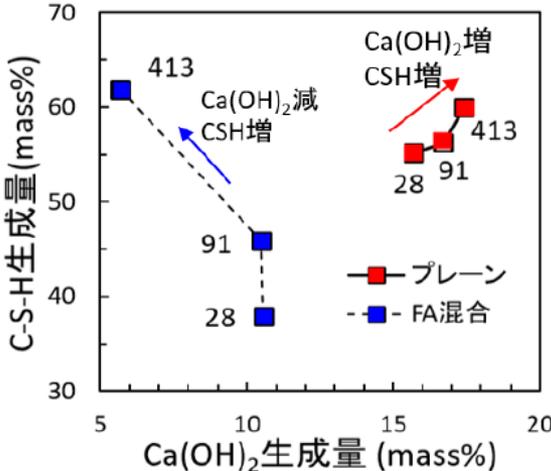
【研究テーマと成果概要】

初期状態のセメント硬化体におけるC-S-Hゲルの物理化学的性質確認

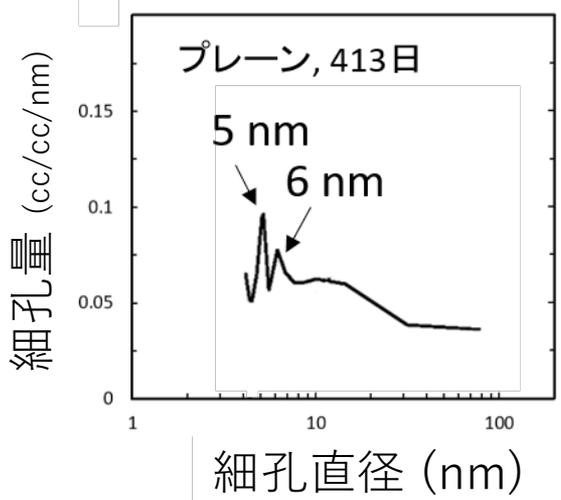
セメント系人工バリア中での核種の移動に影響するC-S-Hゲルの物理化学的性質として、C-S-Hゲルの結晶構造と細孔構造に注目し、実際に製作したセメント硬化体について測定を実施した。

- ・ プレーン及びフライアッシュ混合セメントペースト硬化体の製作
- ・ C-S-Hゲル生成反応の解析、C-S-Hゲルの重合度分布と細孔径分布の測定

→セメント系人工バリアの性能確認の考え方や今後の課題整理に活用



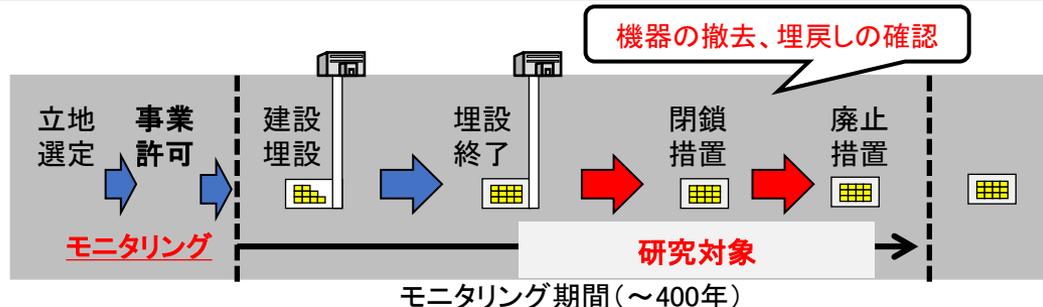
※FAに由来するAlを固溶 (27Al-NMRで確認)



ボーリング孔の閉鎖確認に関する研究概要

中深度処分では、事業許可申請前、建設段階、操業段階、埋戻し段階、廃止措置の終了までのそれぞれの期間において、地質・水理条件の把握、適切に建設されたことの確認、予定された性能が発揮されていること、放射性物質の異常な漏えいの監視・測定等、それぞれの段階に応じたモニタリングが求められる。

- 規制機関の重要な観点**
- モニタリング設備が人工バリア及び天然バリアの機能を著しく損うことがないこと
 - 放射性物質の移行経路が生じないよう適切に孔が閉鎖されたことを確認できること



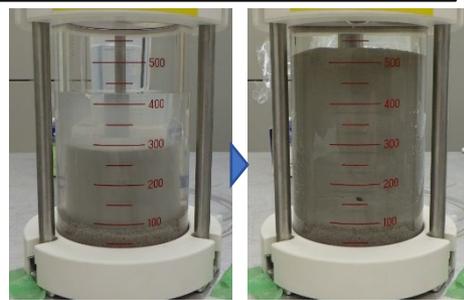
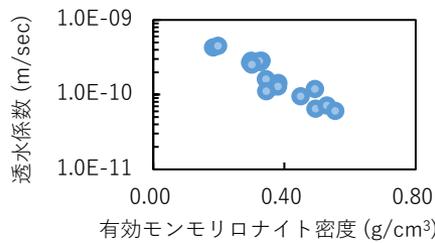
モニタリングのためのボーリング孔及び周辺岩盤を対象として、適切に閉鎖されていることを確認するために必要となる科学的・技術的知見を整備

【研究テーマと成果概要】

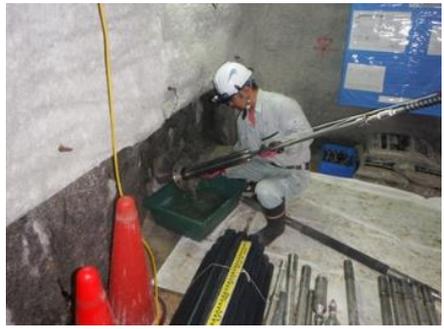
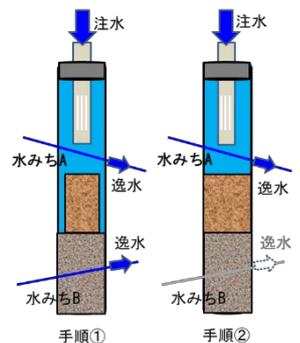
- 国内外のモニタリングに関する文献調査
- ベントナイト系閉塞材を用いた閉鎖確認試験 (室内/原位置試験)
 - 室内試験：非拘束条件下におけるベントナイトの透水係数と有効モンモリロナイト密度の関係を確認
 - 原位置試験：文献調査を踏まえた試験手順を立案、実際にボーリング孔の閉鎖試験を実施

→ 反映 →

- 閉鎖確認に係る確認項目・判断指標の整理
 - 確認項目：孔の閉塞前後にパッカー等を用いて適切な深度で注水試験を実施する手順であること
 - 判断指標：閉塞部より上位の区間の注水流量が閉塞の前後で同等であること



非拘束条件下におけるベントナイトの室内試験の結果



原位置における閉鎖確認の手順と原位置試験の様子