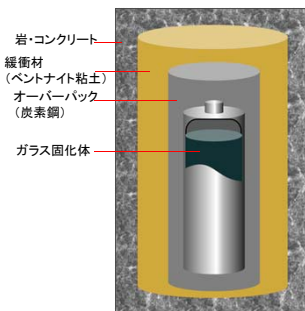


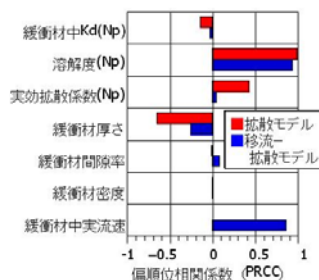
放射性廃棄物の保管・処分に関する研究

＜安全研究センター 燃料サイクル安全研究ユニット 廃棄物安全研究グループ＞



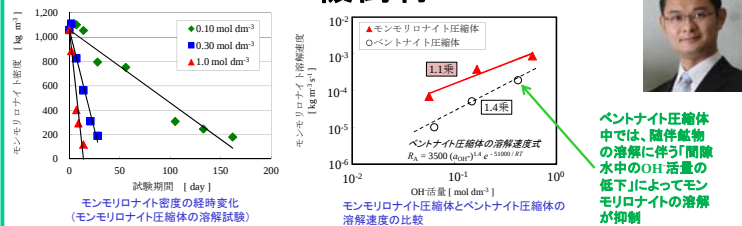
高レベル放射性廃棄物地層処分の多重バリアシステム

- 放射性廃棄物の保管・処分の安全規制を支援するため、廃棄体、金属容器、緩衝材等のバリア機能材料の特性データの取得、安全評価手法の開発を行っています。
- バリア機能材料内／材料間の物質移動、拘束条件下での溶液科学など安全の根拠となる現象について、仏IRSNと協力しながら、実験と理論の両面から解明を図っています。
- 核種移行解析結果の感度解析や、人工バリア長期変遷解析とのリンクを通じて、重要度を確認しながら研究を行っています。



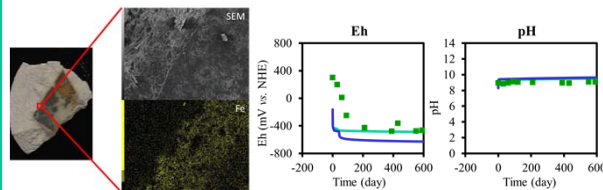
核種移行解析の感度解析の例
(人工バリアからのNp移行率の感度)

緩衝材



緩衝材の長期的なアルカリ溶解挙動を明らかにするため、ベントナイトの主成分であるモンモリロナイトのみを用いた溶解試験を実施しました。

炭素鋼オーバーパック

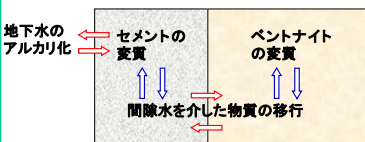


炭素鋼腐食挙動と緩衝材中の化学・鉱物変化を明らかにするため、腐食試験と得られたサンプルの分析を実施しています。

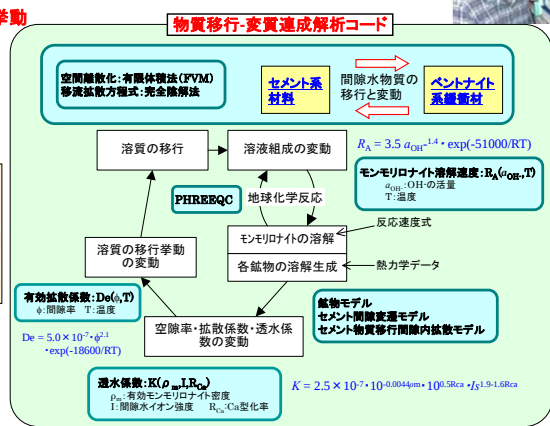
人工バリア長期変遷解析

ベントナイトの化学的変質のモデル化に必要な要素

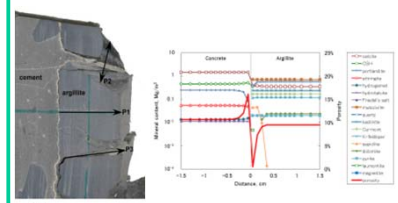
- (1)アルカリ性地下水の発生
 - セメント系材料と地下水との化学反応
 - セメント系材料中の間隙水中物質の移行挙動
- (2)アルカリ性地下水のベントナイトへの影響
 - ベントナイトとアルカリ成分との化学反応
 - ベントナイト間隙中のアルカリ成分の移行挙動
 - ベントナイトの透水性の劣化挙動



物質移行と化学反応とを並行させて計算（連成解析）するため、右図のようなフローで解析するコードを作成しています。



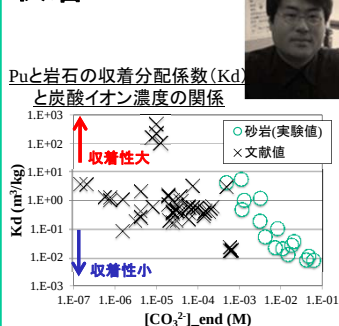
解析コードの検証



仏IRSNで取得された15年間に及ぶコンクリート粘土反応のデータを用いて、我々が開発した粘土変質モデルの妥当性を確認しています。

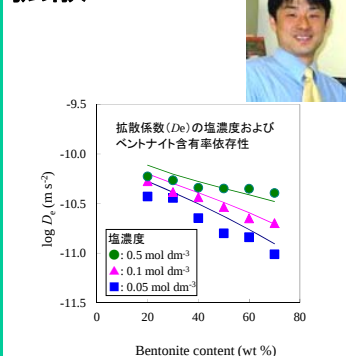
核種移行データ

収着



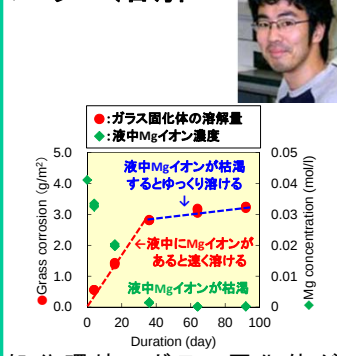
比放射能が大きいPu-238を用いて処分環境下で安定なアクチノド+IV価の岩石への収着に関する評価を行っています。

拡散



処分環境の変動にともない変化する、核種の拡散挙動を評価するための検討を行っています。

ガラス溶解



処分環境でガラス固化体が速く溶解してしまう条件とそのメカニズムを明らかにするための検討を行っています。

確率的な安全評価 GSRW-PSA



安全研究センター 燃料サイクル安全研究ユニット 廃棄物安全研究グループの紹介

放射性廃棄物の処分場の設計では、放射能をできるだけ長い期間閉じこめるべく固化体や人工バリア材について検討されます。一方、遠い将来に亘って廃棄体や処分場の健全性を期待するのではなく、劣化によって放射性物質が漏出し地下水中へ混入・移動する場合を想定して、人間への放射線による被ばくの影響の評価が行われます。これを安全評価といいます。

評価期間が数千年以上の長期に及ぶ安全評価のためには、評価の考え方の確立、評価手法の開発とともに、評価に用いるための信頼性の高いデータが必要となります。当研究グループでは、実験的に、固化体の耐久性、放射性物質と土壌、岩石および人工バリア材料との反応、地下水中における炭素鋼、緩衝材、セメントの化学的、物理的な性質の変化などを解明するための研究を環境シミュレーション試験棟（STEM）や核燃料サイクル安全工学研究棟（NUCEF）等の施設において行ってきました。

ポスターには当研究グループの各人の最新の研究概要と、それぞれの安全評価へのつながりを図示しました。緩衝材については、その長期的なアルカリ溶解挙動を明らかにするために溶解試験を実施しました。炭素鋼オーバーパックについては、炭素鋼腐食挙動と緩衝材中の化学・鉱物変化を明らかにするための試験・分析を実施しています。これらの研究の成果は、人工バリア長期変遷解析で用いられます。人工バリア長期変遷解析用に、物質移行と化学反応とを並行させて計算（連成解析）するコードを開発しており、解析コードの妥当性は仏 IRSN で取得された 15 年間に及ぶコンクリート-粘土反応のデータ等を用いて確認しています。人工バリア長期変遷解析の結果は、核種移行データの研究者に引き渡され、核種移行解析のパラメータが決定されて GSRW-PSA コードによる確率論的安全解析に供されます。核種移行データの研究としては、比放射能が大きい Pu-238 を用いたアクチニド+IV 価の岩石への収着の研究、処分環境の変動にともない変化する核種の拡散挙動を評価するための研究、処分環境でガラス固化体が速く溶解してしまう条件とそのメカニズムの検討等を行っています。

人工バリアの長期変遷解析コードの開発

廃棄物安全研究グループ 片岡理治、向井雅之、広田直樹、山口徹治

目的

高レベル放射性廃棄物地層処分的人工バリアシステムにおける構成材料の長期的な変遷挙動や複合的な相互作用を評価することにより、期待されるバリア性能の評価を行う。

コードの特徴

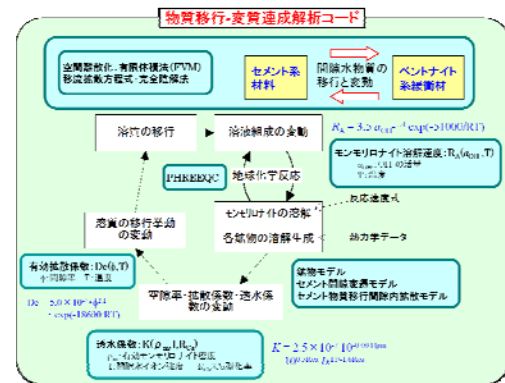
物質移行 (Mass transport) と地球化学反応 (Chemical reaction) の解析を連成させ、これらの進展に伴う物質移行パラメータ変化を反映しながら長期の変遷挙動を解析することができる。

これまでのコードの機能

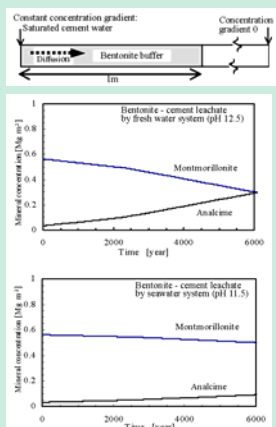
MC-BENTでは緩衝材の変質挙動を評価するため、モンモリロナイト溶解モデルや透水係数モデルを導入し、MC-CEMENTではセメント系材料の間隙変遷モデルを導入。

MC-BUFFERの機能

間隙水に溶解する元素の分種の計算に適したアルゴリズムを導入し、鉄の計算が可能に。またガラス固化体からの発熱による温度変遷を考慮することができる熱解析機能等を整備。

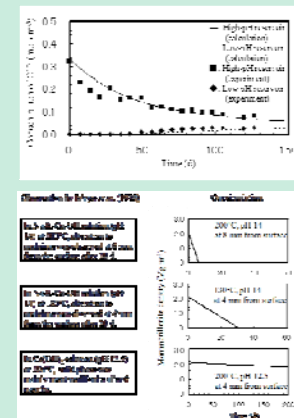


試算例



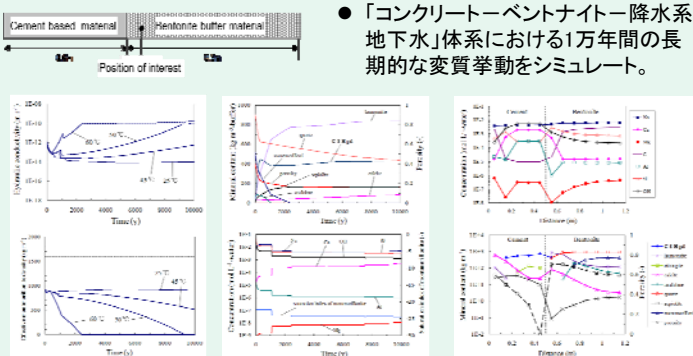
- ベントナイトー高pH地下水系で6000年間のベントナイトの変質挙動をシミュレート。
- ベントナイト透水係数モデルやアルカリ拡散係数モデルを考慮。
- 初期鉱物の溶解と二次鉱物の生成を、速度論と平衡論を組み合わせたモデルで評価。
- 降水系地下水と海水系地下水とでモンモリロナイト変質の速さが異なるという結果を得た。

検証例

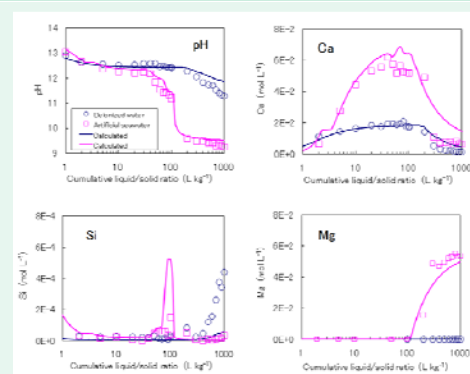


- アルカリ拡散試験におけるOH⁻濃度の変遷をよく再現。
- 市毛らが行ったモンモリロナイトの溶解試験の結果をよく再現。

- 「コンクリートーベントナイトー降水系地下水」体系における1万年間の長期的な変遷挙動をシミュレート。

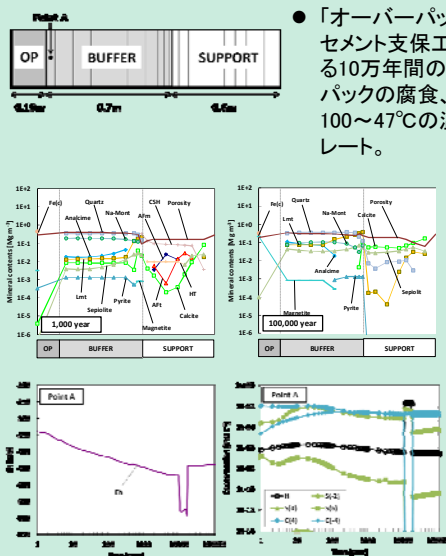


- 温度、モンモリロナイトの溶解速度、イオンの拡散、はじめの約1000年間に於けるモンモリロナイトの溶解が長期評価上重要な現象であることが示された。

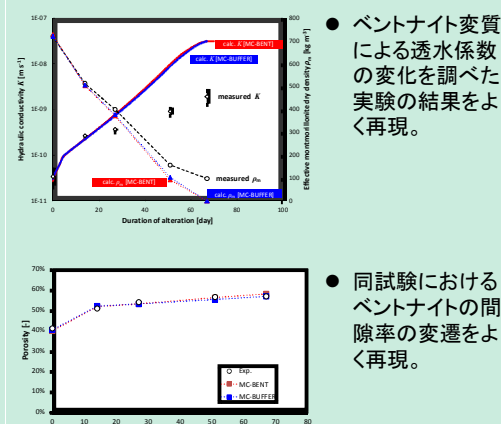


- パッチ式試験におけるコンクリートー水反応の進行をよく再現。

- 「オーバーパッカーベントナイト緩衝材ーセメント支保工」の人工バリア体系における10万年間の長期変遷挙動を、オーバーパッカーの腐食、それに伴うFeイオンの拡散、100~47℃の温度変遷を考慮してシミュレート。



- 約600年後から局所的に間隙率が低下してアルカリ影響が緩和されることにより、10万年後においてもモンモリロナイトのかんりの部分が残存する結果となった。また、硫黄や炭素の挙動と関連して酸化還元電位 (Eh) は-450~-600mVの範囲で複雑な挙動を示す計算結果となった。これらの現象については、今後実験的に検証されることが期待される。



- 同試験におけるベントナイトの間隙率の変遷をよく再現。
- 実験研究側からは、ガラス固化体の化学挙動の考慮や、ベントナイト内における拡散モデルの改良が課題とされている。

人工バリアの長期変遷解析コードの開発

日本原子力研究開発機構 安全研究センター 廃棄物安全研究グループ

1. 緒言

高レベル放射性廃棄物の地層処分において処分場閉鎖後の安全性を評価するためには、放射性物質を長期間にわたり安全に隔離することが期待される人工バリアの性能を評価する必要がある。我々はこれらを適切に評価するため、物質移行と地球化学反応の解析を連成し、物質移行パラメータ変化を反映しつつ長期変質挙動を解析することができる物質移行－変質連成解析コードを開発してきた。

2. コード開発の経緯

はじめにモンモリロナイト溶解モデルやベントナイト透水係数モデル等を導入し、ベントナイト系緩衝材の変質挙動を評価する MC-BENT を開発し、次いでセメント間隙変遷モデル等を導入し、セメント系材料の変質挙動を評価する MC-CEMENT を開発した。さらにこれらを統合し、ベントナイト－セメント系の複合的な変質挙動を評価するとともに、オーバーパックの Fe の挙動が取り扱え、温度変遷を考慮できる熱解析機能を備えた MC-BUFFER を開発した。

3. 現状と課題

MC-BUFFER を用いて人工バリア体系における 10 万年間の長期変遷挙動をオーバーパック腐食に伴う Fe イオンの拡散、100～47℃の温度変遷を考慮した解析を行った。その結果、約 600 年後から局所的に間隙率が低下することでアルカリ影響が緩和されることにより、10 万年後においてもかなりのモンモリロナイトが残存し、また硫黄や炭素の挙動と関連し Eh が複雑な挙動を示す結果が示された。これらのコードの検証では短期的な実験結果をよく再現してきている。今後より長期に対する検証等を積み重ねていくとともに、ガラスの化学挙動モデルの組み込み等の改良が必要である。

※本研究の一部は、原子力安全・保安院（現 原子力規制委員会原子力規制庁）「平成 24 年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備」として実施したものである。