

放射性廃棄物管理に関する性能評価モデルの整備

安全研究センター 環境安全研究ユニット 廃棄物安全研究グループ

- 放射性廃棄物の貯蔵・処分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ります。

バリア機能材料の特性データの取得および安全評価手法の開発

●貯蔵・処分システムを構成するバリア材の長期的な変化

金属材料の腐食試験



燃料被覆管の材料であるジルカロイやステンレス鋼、炭素鋼等の金属材料を対象に、貯蔵・処分環境における腐食を評価するために腐食試験を実施します。
ガラスアンプルに金属と溶液を低酸素雰囲気となるように密封して腐食試験を行うことにより、酸化皮膜だけでなく、放出される気相の分析が可能であり、これにより腐食メカニズムを解明します。

腐食環境(気中塩分測定)

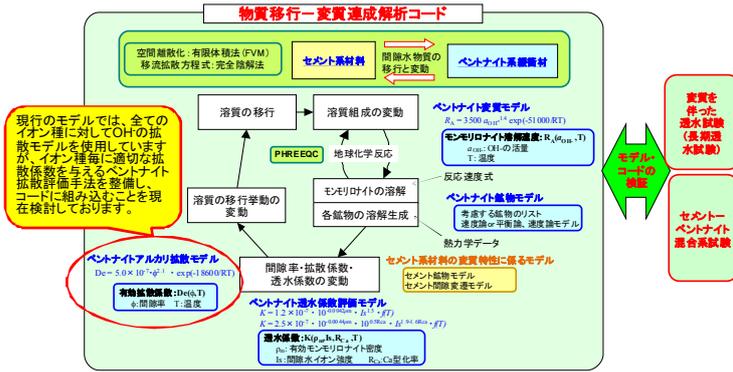


気中塩分モニタリング装置

腐食環境要因のうちで最も重要な、海岸から飛来する塩分(海塩粒子)の濃度を調べるため、気中塩分モニタリング装置を、太平洋から約300mの位置に設置して継続測定を行います。
白いキノコ型の傘の内側に空気の吸入口があり、吸入した空気を純水に溶かし込むことで、空気中の塩分の増加量を測定し、吸入した空気量から、2分ごとの気中塩分濃度を求めます。また、同時に、風向・風速、温度・湿度なども測定します。
塩分の溶けた純水は定期的に回収し、化学組成の測定を行い、どのようなイオンがどのくらい溶けているのかを調べます。

●人工バリア長期変遷に係るモデル及び解析コードの整備

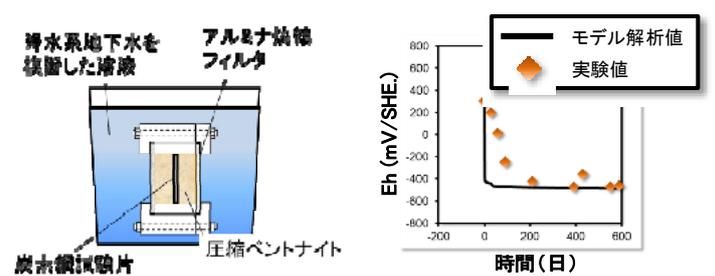
地層処分環境における人工バリアシステムを評価するため、実験に基づいた各種モデル及びこれらモデルを取り込んだ連成解析コードの整備し、長期的な人工バリアの性能評価を行います。



●緩衝材間隙水の溶液化学

緩衝材間隙水の溶液組成を評価するため、モデルの整備及びモデルの妥当性を検証するための実験データの整備を進めます。

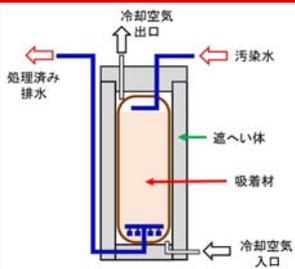
緩衝材間隙水の酸化還元電位(Eh)評価の例



1F事故の汚染物管理

- 吸着カラム等(セシウム除去装置: SARRY, KURION等)の適切な管理
- 汚染水安定化処理の妥当性評価

第二セシウム吸着装置吸着塔の外形・概要



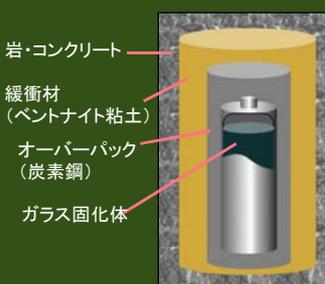
1F事故以来、原子炉建屋・タービン建屋内等の汚染水処理に伴い発生する水処理二次廃棄物の保管容器的保管量は増大しています。二次廃棄物には高濃度の放射性核種が含まれるため、ある程度放射能が減衰するまでの期間、保管容器に保管される可能性があり、保管容器的安全性について把握しておく必要があります。

保管容器的材質であるステンレス鋼の腐食について、腐食評価の判断基準のための技術的知見を蓄積します。

放射性廃棄物管理

- 収着分配係数(Kd)、拡散係数、酸化還元電位(Eh)等取得、これらの設定手法の標準化
- 貯蔵・処分事業に関わる安全審査支援

高レベル放射性廃棄物地層処分の多重バリアシステム

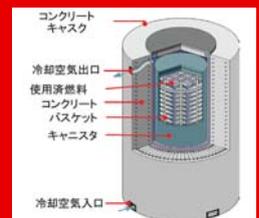


高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性は、安全性を確保すべき期間が数10年以上と長いため、試験を行って安全かどうかを実証できません。したがって、処分場や周辺環境の将来の振る舞いを適切に想定(シナリオ)したうえで、シナリオに沿った振る舞いを定量的に示すためのモデルや計算用データを整備し、計算コードを整備します。

コンクリートキャスクの健全性評価

- コンクリートキャスク方式を用いた使用済燃料貯蔵施設に係る安全規制に必要な技術要件整備の支援

コンクリートキャスク方式を用いた使用済燃料の乾式貯蔵



※出典: 後援 環境省 放射性廃棄物管理センター 使用済燃料貯蔵施設の実用化研究 - ステンレス製キャスクとコンクリートキャスク併用貯蔵システムの提案 - 環境情報誌, No.4001, 2014年

使用済燃料の中間貯蔵方法としてコンクリートキャスク方式を用いた使用済燃料貯蔵施設が国外において導入されており、わが国でも産業界において導入が検討されています。
コンクリートキャスクは、ステンレス製キャスクとコンクリート製貯蔵容器の間に隙間を設け、空気を自然対流させることにより冷却する構造です。
近年、貯蔵期間におけるキャスクの応力腐食割れ(SCC)発生の可能性について問題となっており、私たちは、SCCの発生、進展に関する試験データの取得、分析、評価を行い、SCCに関する技術的知見を取得することで、コンクリートキャスク方式を用いた使用済燃料貯蔵施設に係る安全規制に必要な技術要件整備のために着目すべき重要事項を抽出していきます。

放射性廃棄物管理に関する性能評価モデルの整備

安全研究センター 環境安全研究ユニット 廃棄物安全研究グループでは、放射性廃棄物の貯蔵・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い、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り、放射性廃棄物管理に関する性能評価モデルの整備を行います。

バリア機能材料の特性データの取得および安全評価手法の開発の例として、貯蔵・処分システムを構成するバリア材の長期的な変化を評価するために、金属材料を対象とした腐食試験や腐食の要因となる空気中の塩分を測定します。金属材料の腐食試験はジルカロイやステンレス鋼、炭素鋼等を対象として行い、得られたデータを解析することにより貯蔵・処分環境における腐食を評価し、腐食メカニズムを解明します。気中塩分測定は、沿岸域での金属容器の貯蔵および保管が想定されるため、風向・風速、温度・湿度とともに海岸から飛来する塩分の量を継続的に測定し、実環境下における金属容器の腐食評価に役立っています。また、ベントナイト系緩衝材やオーバーパック等のバリア機能材料内と材料間の物質移動現象の解明に寄与するために、緩衝材中の間隙水の溶液組成評価モデルを整備するとともに実験によりデータを取得して、その評価モデルの妥当性を検証します。地層処分の安全評価は数千年以上の長期におよび、その長期的な人工バリアの変遷にかかる性能評価を行うため、実験に基づいた各種モデルを整備し、さらにそれらのモデルを取り込んだ物質移行-変質連成解析コードを整備します。

以上のようなバリア機能材料の特性データの取得および安全評価手法の開発の研究をベースとして、福島第一原子力発電所事故の汚染物管理について、吸着カラム等の適切な管理、汚染水安定化処理の妥当性評価に貢献します。放射性廃棄物管理に関しては、収着分配係数、拡散係数、酸化還元電位等の取得、これらの設定手法の標準化への貢献や、貯蔵・処分事業に関わる安全審査の支援を行います。また、コンクリートキャスクの健全性評価や、コンクリートキャスク方式を用いた使用済燃料貯蔵施設にかかる安全規制に必要な技術要件整備の支援を行っています。

コンクリートキャスクの貯蔵環境下でのキャニスタの応力腐食割れに関する研究; 2014年の現状

邊見 光¹、山口 徹治¹、向井 雅之¹、笠原 茂樹²、端 邦樹²、飯田 芳久¹、中須賀 進¹

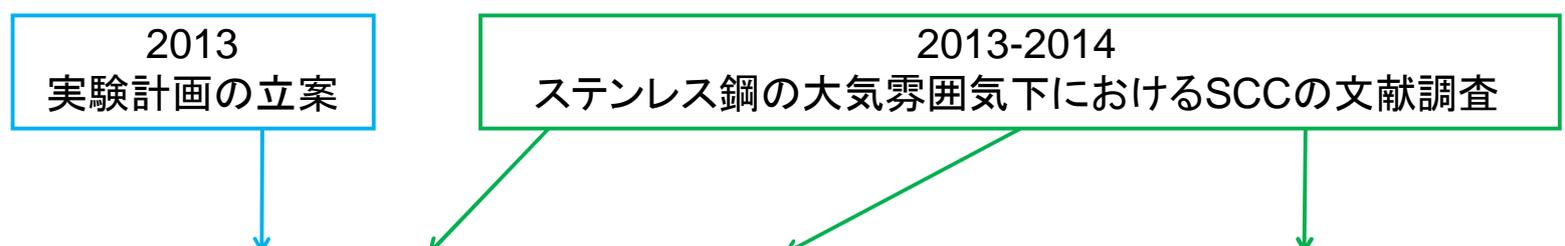
¹安全研究センター 環境安全研究ユニット 廃棄物安全研究グループ

²安全研究センター 材料・構造安全研究ユニット 材料・水化学研究グループ

本研究は、原子力規制委員会原子力規制庁の「平成26年度中間貯蔵設備長期健全性等試験委託費(実環境下でのキャニスタの腐食試験等)事業」として実施したものである。

はじめに

- 日本の原子力施設では使用済核燃料の貯蔵にコンクリートキャスクの使用も検討している。
- 日本の原子力規制機関は、コンクリートキャスクを使用した中間貯蔵のための規制要件を定める必要がある。
- 主にキャニスタの応力腐食割れ(SCC)の評価の難しさから、原子力安全・保安院がコンクリートキャスクの規制要件を定めた後、コンクリートキャスク貯蔵の実施に向けて大きな進展がなかった。
- この事業の目的
 - 調査や実験的な研究を通じて、貯蔵環境下で予想されるキャニスタSCCに関する技術的な知見を得ること
 - 使用済核燃料の中間貯蔵施設のための新しい規制要件を定めるための重要な事項を特定すること



予備実験の実施

- 目的: SCC発生最小塩化物濃度の決定
- 材料: 熱処理(鋭敏化)SUS 304 および SUS 304L
- 塩化物濃度: 0.1, 0.8 および 10 mg/m² as Cl
- 試験条件: ISO 16539
- 試験期間: 2,000 時間まで

4点曲げ試験※ Uバンド試験※

※http://www.jfe-tec.co.jp/download/pdf/340J-120-00.pdfより引用

水膜中のラジオリシスモデリング

インプット: 相対湿度および付着塩分濃度

水膜厚さの熱力学的評価

塩濃度 水膜厚さまたは体系、セクションの決定

ラジオリシス計算 → H₂O₂およびO₂の生成

溶解酸素濃度 O₂の拡散

アウトプット: 鋼近傍でのH₂O₂濃度およびO₂濃度

気中塩分濃度の測定

- エジェクタ式自動気中塩分濃度測定装置を原子力科学研究所(東海)内の海岸から330m離れた場所に設置
- 貯蔵環境下の基礎データを取得する予定

● 4時間ごとの気中塩分濃度は、0から最大166 μg/m³の分布

● 平均値 35.6 μg/m³

● 中央値 32 μg/m³

北九州港内 原研(東海) 赤城山麓

● 捕集液の化学分析から、Na、Mg、Clは海水起源、Ca、SO₄、NO₃は他の起源であることが判明

感度解析コードの開発

- 評価パラメータの不確かさの影響を考慮したコードによりSCC発生時間t_iを確率的に算出し、パラメータt_iの感度を解析

ラテン超方格法(LHS)によりパラメータ毎の確率分布から入力パラメータセットを生成

PRCC(偏順位相関係数)を生成する統計解析モジュール(SPOP)により多数のキャニスタ寿命を統計的に解析

● 入力パラメータt_iの感度解析の予備的解析結果の例

コンクリートキャスクの貯蔵環境下でのキャニスタの応力腐食割れに関する研究； 2014年の現状

使用済燃料の中間貯蔵の方法として、コンクリートキャスク方式を用いた使用済燃料貯蔵施設が国外において導入されており、我が国でも、産業界において、その導入が検討されているところである。原子力規制委員会では、国内で実績のある金属製の乾式キャスクを用いた使用済燃料貯蔵に係る規制基準を平成25年12月に施行したが、今後、コンクリートキャスク方式による使用済燃料貯蔵が導入される際には、そのための規制基準を新たに制定し、規制を行う必要がある。また、コンクリートキャスク方式は、ステンレス製のキャニスタに使用済燃料を貯蔵し、当該キャニスタをコンクリート製のキャスクに収納するものであるが、近年、貯蔵期間におけるキャニスタの応力腐食割れ（以下「SCC」という。）発生の可能性について問題となっている。安全研究センター 環境安全研究ユニット 廃棄物安全研究グループ及び材料・構造安全研究ユニット 材料・水化学研究グループでは、実環境下でのキャニスタの長期健全性に関する試験等を通して、SCCの発生及び進展に関する試験データの取得及びそのデータ等の分析・評価を行い、キャニスタのSCCに関する技術的知見を取得することで、コンクリートキャスク方式を用いた使用済燃料貯蔵施設に係る安全規制に必要とされる技術要件整備のために着目すべき重要事項を抽出することを目指している。

2014年は、ステンレス鋼の大気雰囲気下におけるSCCの文献調査を元に、予備実験の実施、水膜中のラジオリシスモデリングの検討、気中塩分濃度の測定、感度解析コードの開発を行う。予備実験は、SCC発生最小塩化物濃度の決定を目的として、SUS 304及び304Lを対象にISO 16539の試験条件で4点曲げ試験及びUバンド試験を実施する。水膜中のラジオリシスモデリングについては、キャニスタ内部からの放射線の影響を考慮するため、評価する材料に影響を及ぼしうる酸化種（ O_2 、 H_2O_2 ）の材料近傍における濃度を評価するためのラジオリシスモデルを検討する。気中塩分濃度の測定は、コンクリートキャスクの沿岸域での貯蔵が想定されるため、風向・風速、温度・湿度とともに海岸から飛来する塩分量の測定を継続的に実施する。感度解析コードは、実環境下でキャニスタにSCCが発生するまでの期間を評価するとともに、入力パラメータの一部についてはその不確かさがSCC発生までの期間に与える影響を解析し、SCC発生までの期間がどの入力パラメータに感度を有するかを解析するものである。