

# 第3期中長期計画の研究開発における これまでの成果

## ⑤使用済燃料の直接処分研究開発

平成31年2月21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  
基盤技術研究開発部

# 使用済燃料の直接処分研究開発における研究項目

## 使用済燃料の直接処分研究開発

### 1. 使用済燃料の直接処分に関する工学技術の開発

1.1 人工バリアの設計 ※

1.2 地下施設の設計 ※

1.3 直接処分方策に関する調査 ※

(本小項目は「核不拡散・核セキュリティ総合支援センター」が実施しているため本中間評価の対象外)

### 2. 使用済燃料の直接処分に関する安全評価手法の開発

2.1 使用済燃料からの核種溶出挙動の理解 ※

2.2 システム性能評価に係る手法の開発 ※※

※資源エネルギー庁受託事業を活用して実施

※※一部を資源エネルギー庁受託事業を活用して実施

# 1. 使用済燃料の直接処分に関する工学技術の開発(1/2)

## 1.1 人工バリアの設計

(研究の背景・狙い・目標・意義)

直接処分における人工バリア設計では、廃棄体の形状・寸法や発熱量、放射線量などガラス固化体とは異なる特性を考慮する必要がある。また、臨界安全性への対応など特有の課題がある。更に、燃料の種類(PWR,BWR)や燃焼度、濃縮度など多様性を考慮する必要がある。

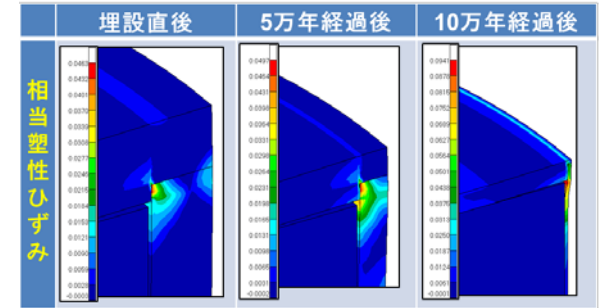
よって、ガラス固化体での設計の知見を活用しつつ直接処分特有の設計上の課題に対応した設計検討を行う必要がある。

(実施内容)

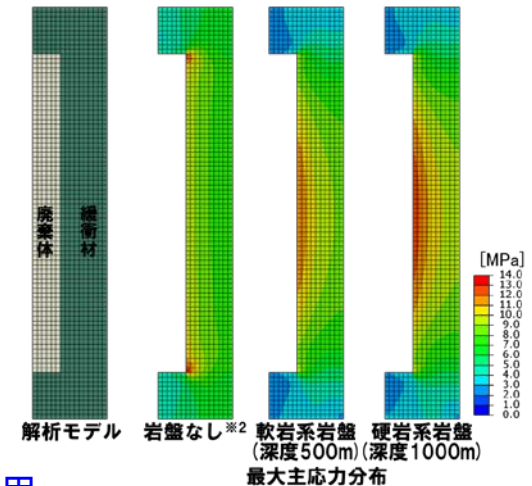
- 処分容器について、臨界安全性、遮へい性、構造健全性、緩衝材制限温度等の観点から解析を実施し、燃料集合体の収容体数、容器厚さ等の仕様を例示するとともに、臨界安全性評価の信頼性向上に資するための調査、解析を実施。
- 処分容器の閉じ込め性向上に向けて、純銅や代替材料の耐食性等に関する試験、調査を実施中。
- 緩衝材について、岩盤のクリープ変形、廃棄体の自重沈下、処分容器の腐食膨張変形等を考慮した複合解析を実施し、ガラス固化体の場合と同様の緩衝材仕様によって応力緩衝性や廃棄体の支持性能などの要件を満足することを確認。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- ガラス固化体での技術や経験を直接処分での設計に適用できる見通しを得るとともに、使用済燃料の特徴や多様性に対応した設計事例を例示した。
- 耐食層に銅を用いる処分容器を想定した人工バリアの設計解析手法等は、ガラス固化体での代替オーバーパックに対応した人工バリア設計においても活用可能となることが期待される。



処分容器の構造健全性に関する解析例  
(蓋と本体の接合部付近のひずみ分布)



緩衝材の応力緩衝性に関する複合解析例  
(緩衝材の主応力分布)

# 1. 使用済燃料の直接処分に関する工学技術の開発(2/2)

## 1.2 地下施設の設計

(研究の背景・狙い・目標・意義)

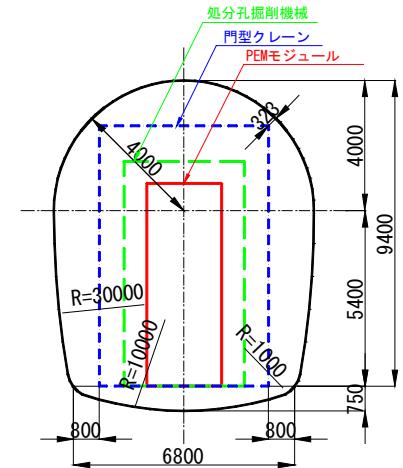
使用済燃料の直接処分における坑道や処分孔の設計では、人工バリア設計と同様に廃棄体の形状・寸法・重量や発熱量、放射線量などガラス固化体とは異なる特性を考慮する必要がある。特に、廃棄体の形状が長尺となることからガラス固化体の場合よりも大きな内空断面積の坑道に対する設計検討が必要となる。

(実施内容)

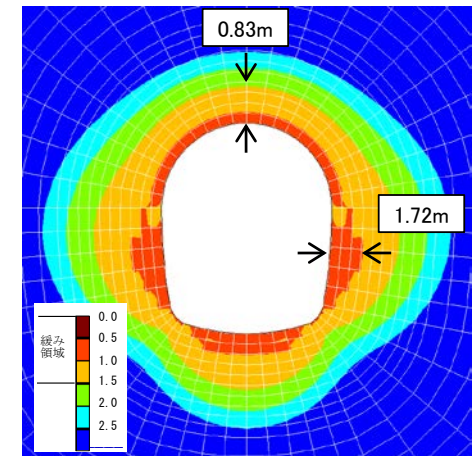
- わが国の使用済燃料廃棄体の特性(サイズ、重量、発熱量、放射線量など)と地質環境条件(岩盤の力学特性、初期地圧、水理・地質特性等)を考慮し、代表的なケースに対応した処分坑道および処分孔の力学的安定性評価等を行うとともに、坑道掘削において適用候補となる掘削方式とその適用範囲について整理。
- 人工バリアの定置方式の多様な組み合わせに対し、坑道の断面形状の選定と掘削技術の適用性や力学的安定性の総合的な評価を実施。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- わが国における使用済燃料の特性や地質環境条件に対して技術的に実現可能な廃棄体・緩衝材の定置方式や搬送・定置設備とそれに対応した地下施設の概念設計事例を示した。
- 地質環境条件や定置方式に対して地下施設設計の技術的な成立性等を幅広く検討した結果は、ガラス固化体での地下施設設計における技術的な選択肢の抽出において活用可能となることが期待される。



廃棄体寸法等を考慮して設定された処分坑道断面の例



処分坑道の力学的安定性評価例  
(局所安全率)

## 2. 使用済燃料の直接処分に関する安全評価手法の開発(1/2)

### 2.1 使用済燃料からの核種溶出挙動の調査

(研究の背景・狙い・目標・意義)

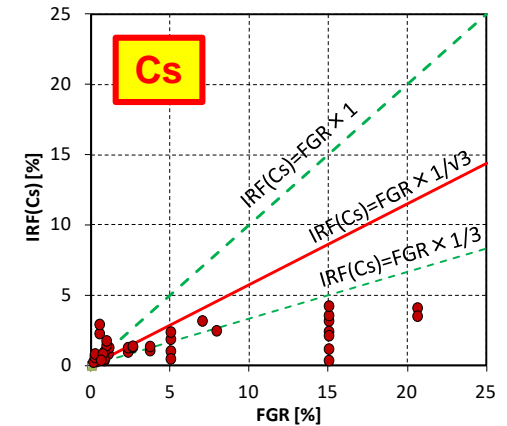
処分容器が破損したあとの放射性核種の燃料集合体からの溶出挙動(速やかな放出、ゆっくりした溶解)の核種移行評価上の取扱い(瞬時放出率、長期溶解速度の設定)は、核種移行評価結果に比例的に影響するため、重要なパラメータに位置づけられる。このパラメータ設定を目的として、使用済燃料からの核種放出の評価に関する調査研究を行う。

(実施内容)

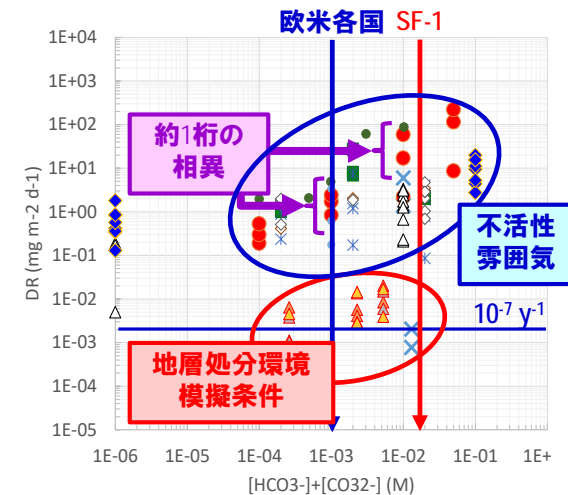
- 瞬時放出率と長期溶解速度について、諸外国の直接処分安全評価報告書や欧州プロジェクトの成果等をレビュー。
- 瞬時放出率について、レビューした文献情報を参考に設定。一部の元素の瞬時放出率は、わが国の使用済燃料特性評価データも活用して設定。
- 長期溶解速度について、レビューした文献情報に対して、特に燃料に接触する水溶液中の無機炭素(炭酸)濃度の影響に着目した整理を行い、燃料溶解速度の炭酸濃度影響が示唆された。この結果に基づき、二酸化ウランの溶解速度に及ぼす炭酸影響の実験的研究に着手。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 瞬時放出率について、文献情報に関するレビュー結果を学術論文で公開した。また、わが国の直接処分性能評価向けの瞬時放出率の設定値を公開した。
- 長期溶解速度について、文献情報に関するレビュー結果を学術論文で公開した。また、水溶液中の無機炭素(炭酸)濃度に着目した長期溶解速度の整理結果についても、国際学会で報告した。



瞬時放出率の設定例  
(核分裂生成ガス放出率との相関関係)



燃料溶解速度と炭酸濃度の関係

## 2. 使用済燃料の直接処分に関する安全評価手法の開発(2/2)

### 2.2 システム性能評価に係る手法の開発

(研究の背景・狙い・目標・意義)

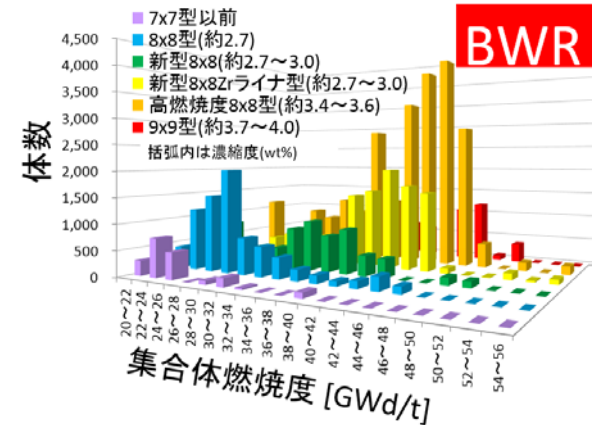
使用済燃料直接処分を対象としたシステム性能評価に係る手法の開発においては、ガラス固化体の地層処分での知見や技術を活用するとともに、ガラス固化体の場合と使用済燃料直接処分の場合との違いを把握し、その違いを使用済燃料直接処分の性能評価に適切に取り込んでいくことが重要となる。そのため、使用済燃料の多様性や使用済燃料直接処分に特有な挙動等に着目し、それらに応じたシステム性能を評価するための手法等の検討を進めてきた。

(実施内容)

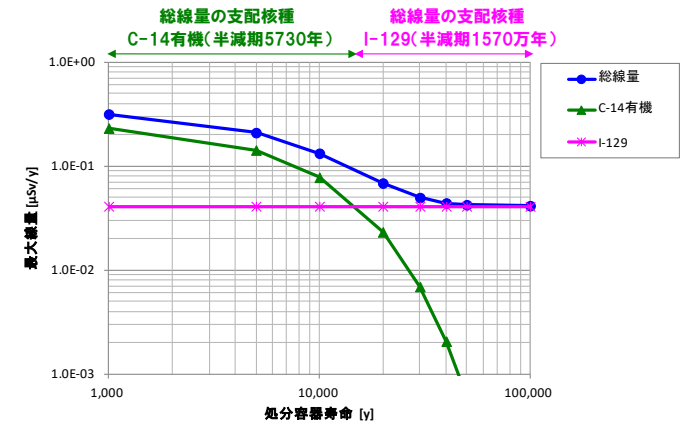
- 使用済燃料の多様性
  - モデル計算による燃料の多様な条件(炉型、燃料タイプ、燃焼度、冷却期間等)に応じた使用済燃料の発生量の推定を試行。
  - 試行を通じて、条件に応じた発生量分布やインベントリの違いを把握できる見通しが得られた。
- 使用済燃料の直接処分に特有な挙動
  - 使用済燃料の直接処分での線量評価結果の支配核種(C-14やI-129)について、特に半減期約5700年のC-14に着目し、処分容器の長寿命化の効果を検討。
  - 5万年程度までの長寿命化は線量の低減に対して一定の効果が見られることが示唆された。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- わが国で想定される燃料の多様な条件に応じた使用済燃料の発生量分布やインベントリの違いを俯瞰することができた。
- また、処分容器の長寿命化による総線量の最大値の低減効果を定量的に把握することができた。
- 本成果は、使用済燃料直接処分の設計検討における処分容器長寿命化の重要性や目標設定等に寄与するものである。



モデル計算による発生量の推定結果例



処分容器寿命と線量の関係例

# 成果のまとめ(1/2)

## 【使用済燃料の直接処分研究開発】

以下のような成果が得られている。

### 1. 使用済燃料の直接処分に関する工学技術の開発

(成果のまとめ)

- ガラス固化体での技術や経験を直接処分での人工バリア設計に適用できる見通しを得るとともに、使用済燃料の特徴や多様性に対応した設計事例を例示した。
- わが国における使用済み燃料の特性や地質環境条件に対して技術的に成立しうる地下施設の設計事例を示した。

(地層処分事業や他分野への貢献)

⇒この技術開発成果は、わが国における地層処分に適用可能な工学技術の基盤構築に寄与すると考えられる。

また、使用済燃料直接処分の安全評価の対象となる直接処分システムの実体化等にも寄与すると考えられる。

# 成果のまとめ(2/2)

## 【使用済燃料の直接処分研究開発】

### 2. 使用済燃料の直接処分に関する安全評価手法の開発

(成果のまとめ)

- 使用済燃料の直接処分の特徴的な放射性核種の燃料集合体からの溶出挙動(速やかな放出、ゆっくりした溶解)を性能評価で考慮するための重要なパラメータ(瞬時放出率と長期溶解速度)について、主に文献情報に基づく設定例を示した。
- 使用済燃料の多様性や使用済燃料直接処分に特有な挙動に着目した評価手法等の検討として、モデル計算による使用済燃料の発生量の推定、線量評価結果の支配核種(C-14:半減期約5700年)に着目した処分容器の長寿命化の効果の把握等を行った。

(地層処分事業や他分野への貢献)

⇒この技術開発成果は、わが国における地層処分に適用可能な安全評価技術の基盤構築に寄与すると考えられる。

また、使用済燃料直接処分の設計検討における処分容器長寿命化の重要性や目標設定等にも寄与すると考えられる。