

## 安全研究成果の概要

(平成13年度 - 核燃料サイクル分野)

2002年10月

核燃料サイクル開発機構

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。  
〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構 技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section, Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構 ( Japan Nuclear Cycle Development Institute ) 2002

## 安全研究成果の概要 (平成13年度 - 核燃料サイクル分野)

編集 安全推進本部安全計画課

### 要 旨

平成13年度の核燃料サイクル開発機構における安全研究は、平成12年10月に策定(平成14年5月改定)した安全研究基本計画(平成13年度～平成17年度)に基づき実施した。

本報告書は、核燃料サイクル分野(核燃料施設、環境放射能及び廃棄物処分分野の全課題並びに耐震及び確率論的安全評価分野のうち核燃料サイクル関連の課題)について、平成13年度の研究成果を安全研究基本計画(平成13年度～平成17年度)の全体概要と併せて整理したものである。

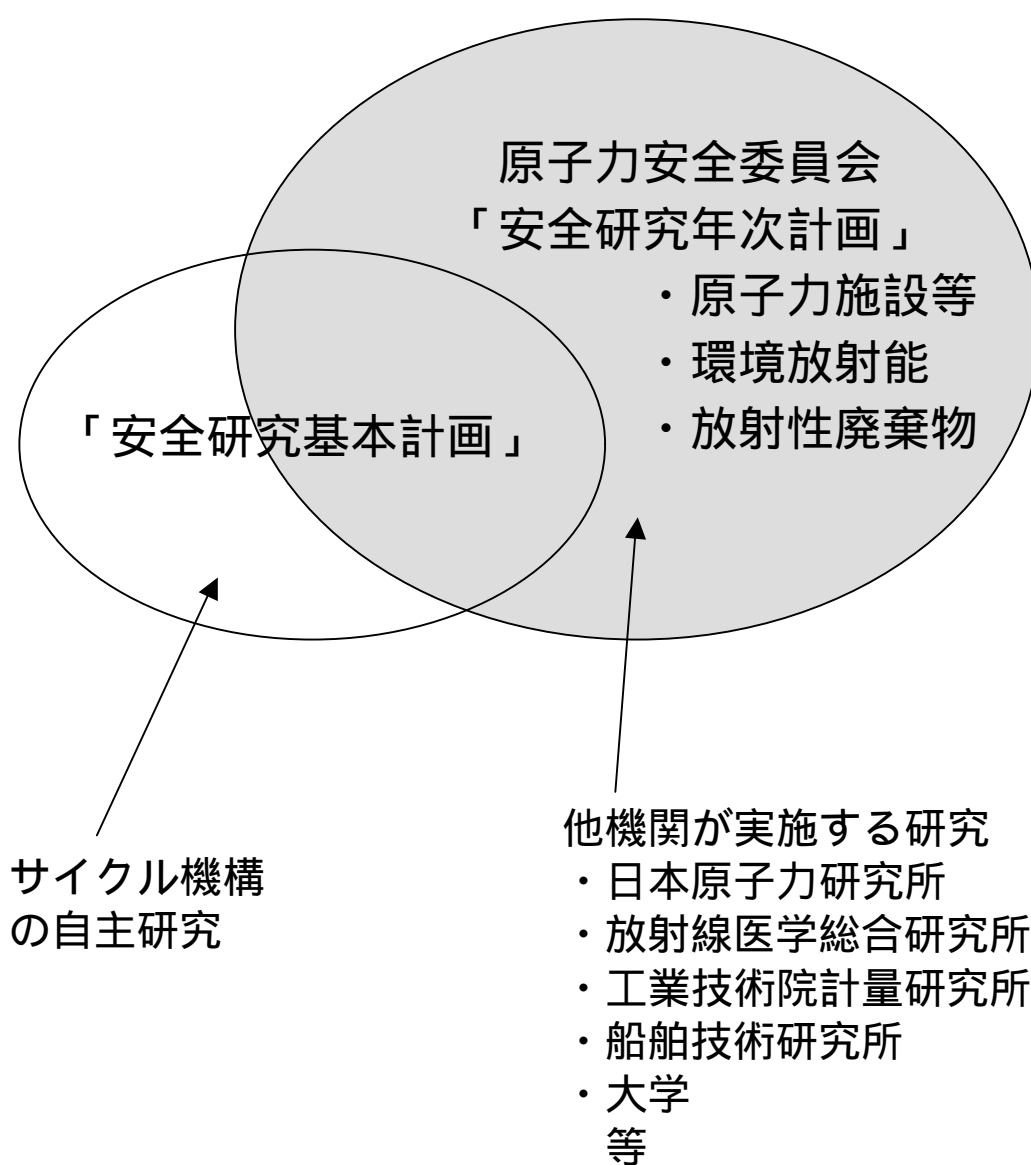
## 目 次

- 1．安全研究基本計画（平成 13 年度～平成 17 年度）の概要
- 2．核燃料サイクル分野の安全研究の目的と課題
- 3．安全研究成果調査票（平成 13 年度）等リスト（核燃料サイクル分野）
- 4．安全研究成果調査票（平成 13 年度）等（核燃料サイクル分野）

## 1．安全研究基本計画（平成13年度～平成17年度）の概要

## 核燃料サイクル開発機構における安全研究

核燃料サイクル開発機構（以下、「サイクル機構」という）における安全研究は、原子力安全委員会の「安全研究年次計画」と整合を図りながらサイクル機構の自主研究を加えた5ヵ年の「安全研究基本計画」に従って実施しています。



## 安全研究の基本方針

サイクル機構では、以下の目的及び留意事項に基づいて安全研究を実施しています。

### 目 的

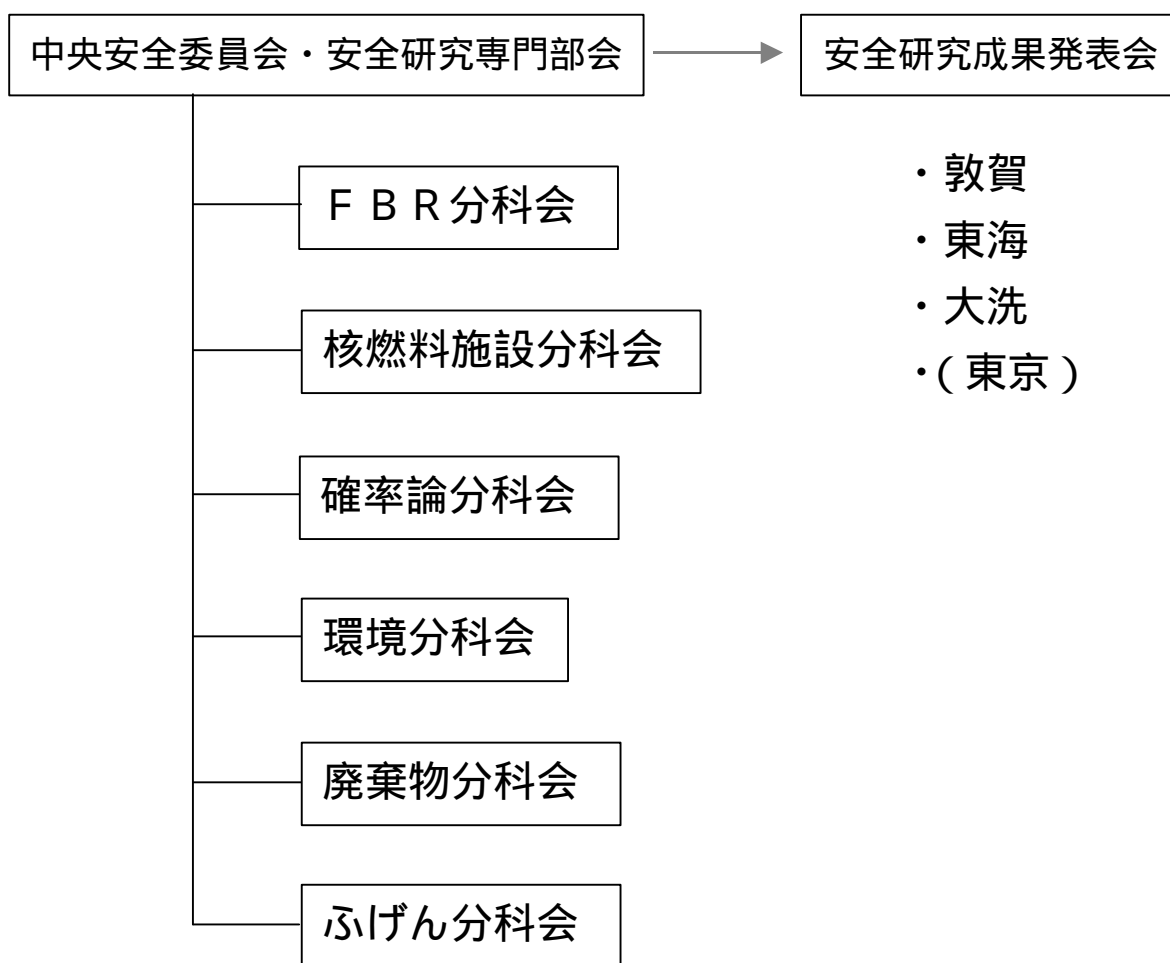
- 1．施設の安全性の向上による原子力に対する国民の信頼性の増進
- 2．安全技術の高度化及び体系化による民間への円滑な技術移転及び技術協力
- 3．設計裕度及び評価基準等の適切化による原子力の信頼性、経済性の向上
- 4．成果の統合化による指針・基準類の整備等、原子力安全規制への貢献

### 実施における留意事項

- 1．研究計画の明確化と成果の積極的な公表
- 2．ニーズを踏まえた安全研究の効率的実施
- 3．総合的なレビューによる成果の質の向上
- 4．研究成果の効果的な反映

## 安全研究推進体制

研究計画、研究成果についてはサイクル機構内の下記の体制で横断的検討、評価を行い、目的を的確に把握し、効率的に推進していきます。



研究成果は、関連の分科会で評価・検討するとともに、「成果発表会」を開催して、サイクル機構外の専門家の意見も得て、質の向上を図ることとしています。

## 安全研究計画（平成 13 年度～平成 17 年度）

原子力安全委員会の「安全研究年次計画」の研究分野と対応させて「安全研究基本計画」の研究分野を分類しています。

### （原子力安全委員会）

#### （原子力安全研究専門部会）

#### 「安全研究年次計画」

（平成 13 年度～平成 17 年度）

（原子力施設等安全研究分科会）

原子力施設等

水炉

高速増殖炉

核燃料施設

放射性物質  
の輸送

耐震等

確率論的  
安全評価等

（環境放射能安全研究分科会）

環境放射能

（放射性廃棄物安全研究分科会）

放射性廃棄物

全件数 / サイクル機構

19 / -

16 / 14

22 / 10

3 / -

12 / 1

8 / 3

97 / 6

29 / 15

### （サイクル機構）

#### （安全研究専門部会）

#### 「安全研究基本計画」

（平成 13 年度～平成 17 年度）

（合計 83）

高速増殖炉

23

核燃料施設

27

耐震

1

確率論的  
安全評価

7

環境放射能

7

廃棄物処分

15

「ふげん」の  
廃止措置等

3

（注）数字は研究課題の件数を示す

安全研究基本計画

## 2 . 核燃料サイクル分野の安全研究の目的と課題

# 核燃料施設に関する安全研究

## 研究の目標

サイクル機構所有施設の設計・運転により蓄積した知見・データの活用及び技術開発により安全に関する技術の高度化を図る。  
技術の高度化の結果をサイクル機構所有施設の運転・管理等に反映し、施設の安全・安定運転技術の高度化を図る。  
次世代施設の安全設計・評価技術の高度化を図る。  
安全設計・運転・管理等に関する知見・データを提供し、核燃料サイクルの民間事業化を支援する。

## 研究対象

下図に示すように核燃料サイクルのうちウラン濃縮、燃料加工、再処理、廃棄物処理・貯蔵を研究対象としています。

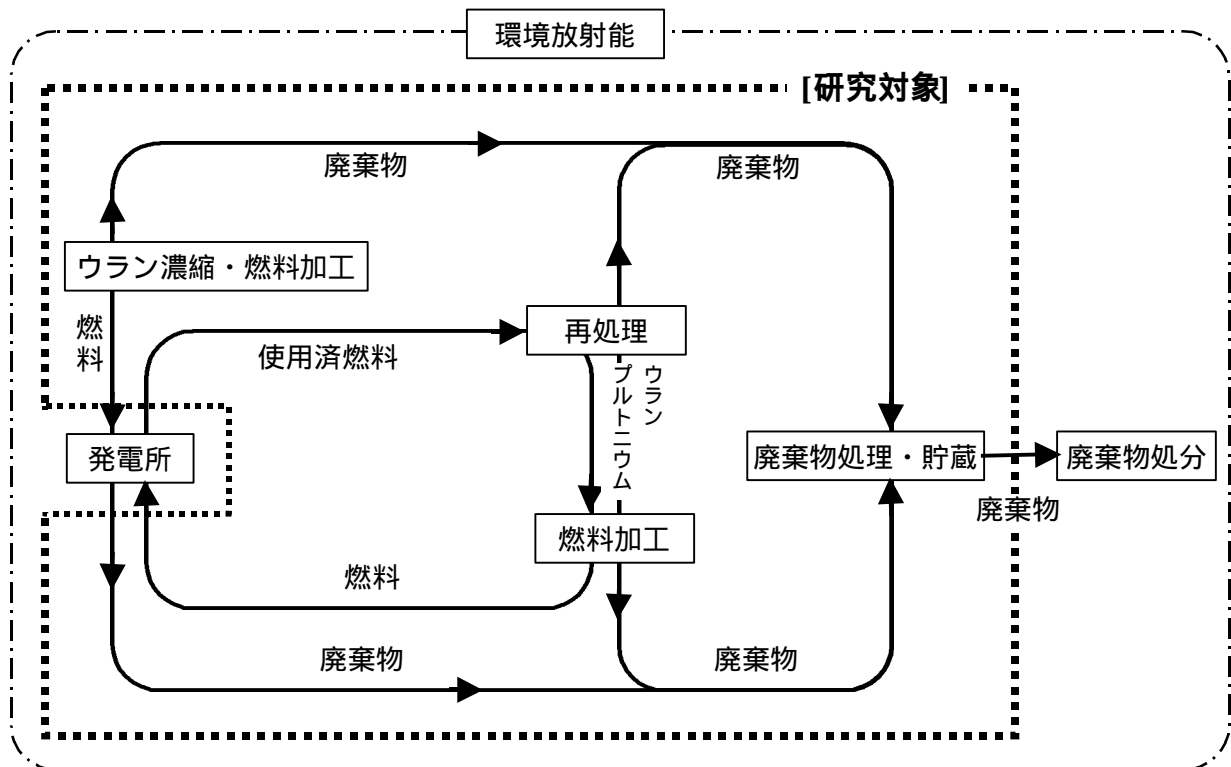


図1 研究対象

核燃料施設に関する安全研究課題  
( H13 年度 ~ H17 年度 )

臨界安全性

- MOX 加工施設等の臨界管理
- 未臨界度モニタの開発

遮へい安全性

- 核燃料施設における中性子線量評価

閉じ込め安全性

- プロセス内化学物質に係る異常事象評価
- 異常事象時における換気系の安全性
- 負圧監視・管理のシステム開発
- グローブボックス等解体技術の開発
- 核燃料施設への静的安全機器の適用性

運転管理・保守及び放射線管理

- 臨界監視技術の高度化
- 走行式放射線モニタの高度化
- 現場放射線管理の高度化
- $\alpha$  線放出核種の放射線管理技術の向上
- 放射線管理用機器の性能向上
- 前処工程機器設備保全履歴データベースの構築
- 蒸発缶内部検査技術の確立
- 遠隔保守機器寿命・故障管理システムの検討
- ライニング型貯槽における漏えい検知システムの信頼性向上
- 鋼材からの水素ガス放出によるライニング型遮へい扉への影響検討

放射性廃棄物の管理

- 再処理施設低レベル廃棄物処理技術
- ヨウ素除去技術
- 再処理施設における C-14 の放出挙動
- スラッジ除去技術の開発
- 気相へ移行するヨウ素の挙動
- クリプトンの固定化技術開発
- 不均一系核燃料物質の工程間移動における安全性向上
- 廃液処理工程における機器保全に係る調査検討
- 廃シリカゲル処理技術開発

耐震

- 核燃料施設免震構造に関する高度化

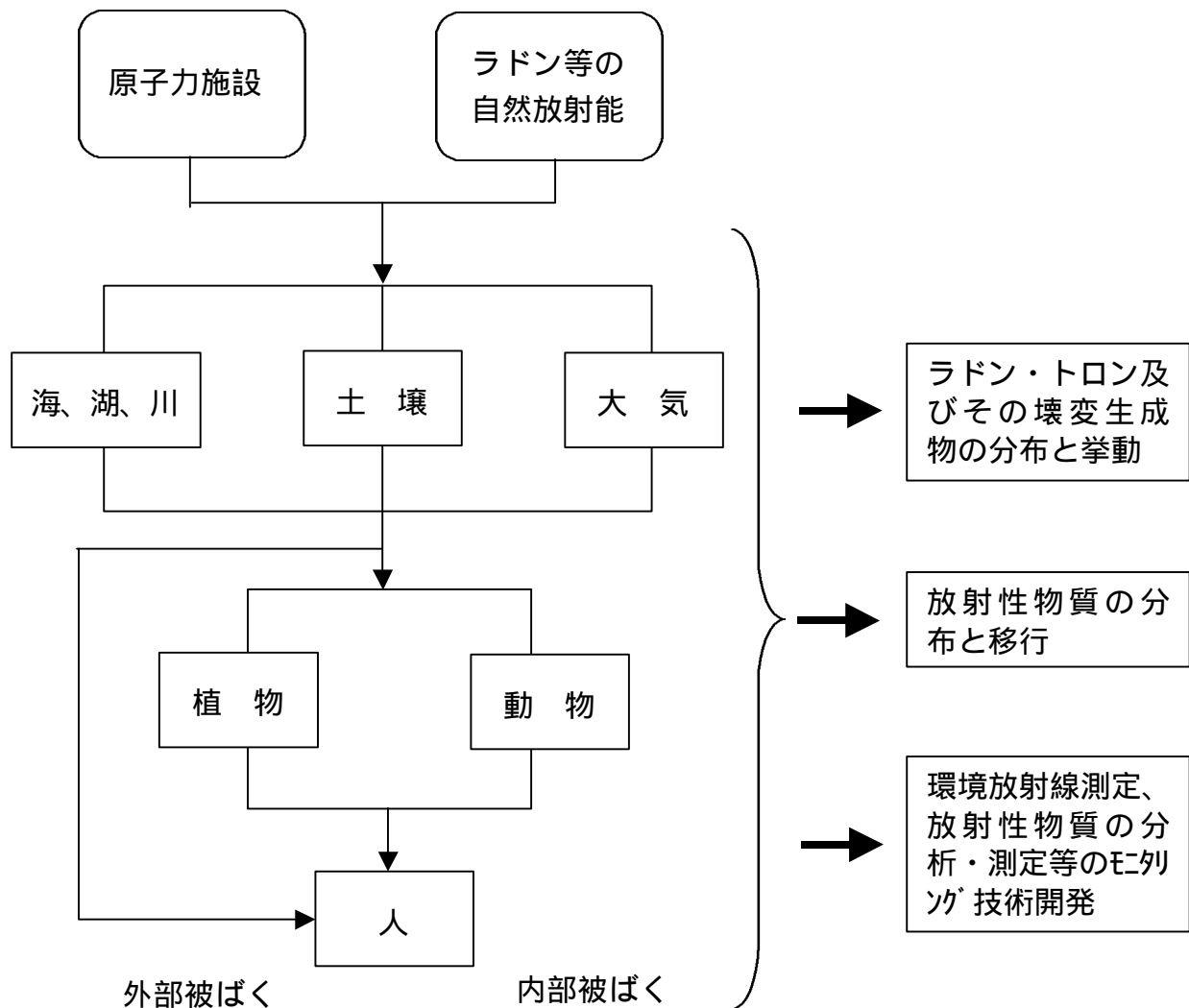
確率論的安全評価

- 核燃料施設の信頼性評価手法
- MOX 加工施設の確率論的安全評価の適用
- 再処理施設の地震に関する確率論的安全評価の適用
- 東海再処理施設の確率論的安全評価の実施

# 環境放射能に関する安全研究

## 研究の目標

- 核燃料サイクル施設の安全性の実証とともに、さらなる安全性の向上を目指す。
- 核燃料サイクル施設の民間事業化を支援する。



## 放射性物質の移行経路と研究開発項目

環境放射能に関する安全研究課題  
(H13年度～H17年度)

ラドン・トリウム及びその壊変生成物の分布と挙動に関する研究

- 環境中のラドン・トリウム及びその壊変生成物の測定、挙動評価

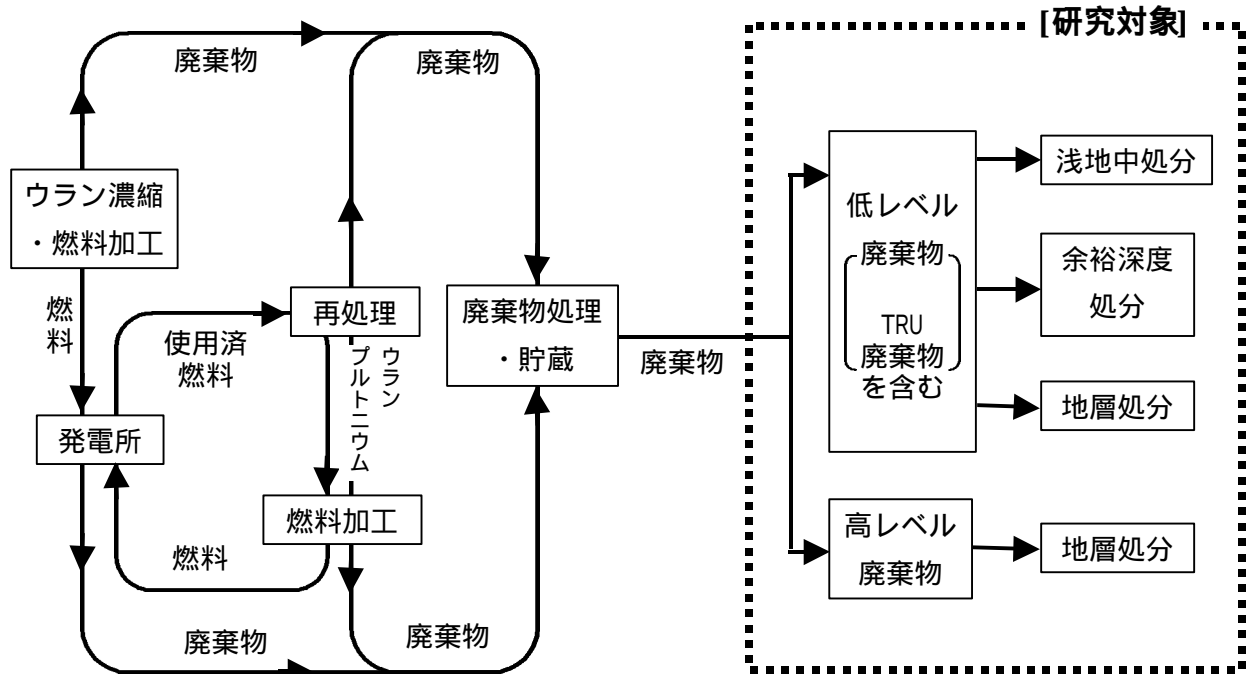
放射性物質の分布と移行に関する研究

- 海洋における放射性核種の挙動と拡散予測モデル
- 地球規模の海洋環境における放射性物質移行モデル

環境放射線測定、放射性物質の分析・測定等のモニタリング  
技術開発に関する研究

- 環境試料の迅速分析及び測定技術の高度化
- 緊急時における個人被ばくモニタリング手法
- 緊急時遠隔空中モニタリング手法
- 極低濃度長半減期放射性物質の定量法

# 廃棄物処分に関する安全研究



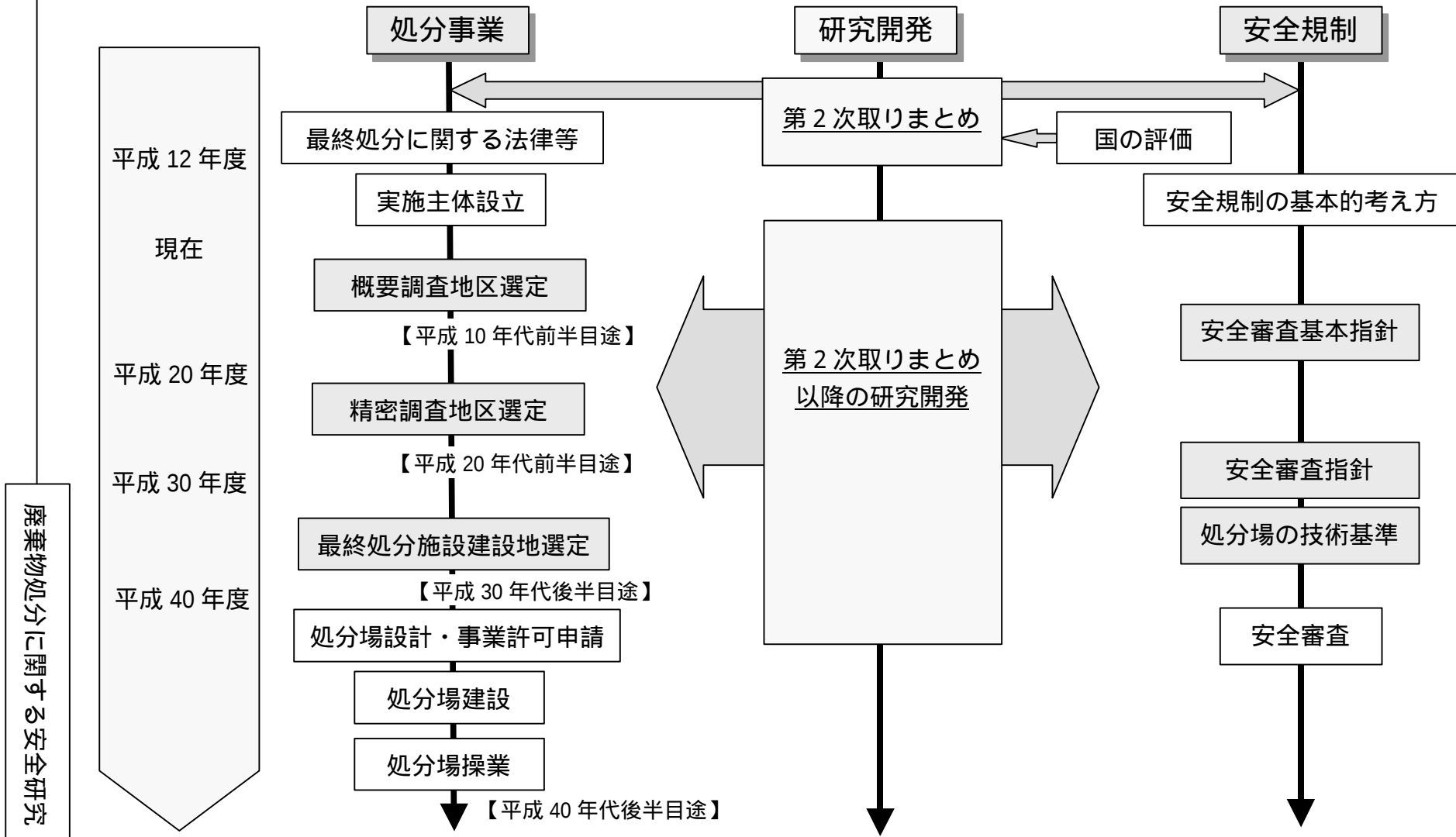
## 研究対象

### 地層処分安全評価の特徴

- 極めて長い時間枠を考慮しなければならない。
- 天然の地層という不均質で大きな空間領域を有するシステム要素を含む。

——> 間接的実証：シナリオに基づくモデル予測によってシステムの安全性を示す。

# 処分事業と安全規制の今後の展開



廃棄物処分に関する安全研究課題  
( H13 年度 ~ H17 年度 )

安全規制の基本的事項

- 安全評価の基本的考え方等に関する調査

地質環境評価手法

- 環境変動に伴う地質環境の安定性評価
- 結晶質岩に関する地質環境評価手法
- 堆積岩に関する地質環境評価手法
- 地質環境におけるナチュラルアナログ

地層処分の安全評価手法

- 安全評価シナリオ
- 安全評価モデルの体系化・高度化
- 安全評価におけるシナリオ、モデルの不確実性
- 地下水水質形成モデルの検証及び高度化
- 深部地下環境下における核種移行データの取得及びデータベースの整備

処分場の設計要件

- 人工バリア及び岩盤の長期挙動
- 人工バリア等の性能保証に係る工学技術
- 人工バリアのナチュラルアナログ

T R U核種を含む放射性廃棄物の安全評価手法

- T R U核種を含む放射性廃棄物処分の安全評価の信頼性向上に向けたデータ及び評価手法の整備
- ヨウ素の高度保持廃棄体・人工バリア材

廃棄物処分に関する安全研究

3．安全研究成果調査票（平成13年度）等リスト  
（核燃料サイクル分野）

安全研究成果調査票（平成13年度）等リスト  
（核燃料サイクル分野）

（各研究課題名をクリックすると内容が表示されます。）

〔核燃料施設：全27件〕○印は原子力安全委員会の安全研究年次計画課題  
印は上記のうち重点研究課題

- 1- 1 MOX加工施設等の臨界管理に関する研究
- 1- 2 未臨界度モニタの開発
- 2- 1 核燃料施設における中性子線量評価に関する研究
- 3- 1 プロセス内化学物質に係る異常事象評価研究
- 3- 2 異常事象時における換気系の安全性に関する研究
- 3- 3 負圧監視・管理のシステム開発に関する研究
- 3- 4 グローブボックス等解体技術の開発
- 3- 5 核燃料施設への静的安全機器の適用性に関する研究
- 4- 1 臨界監視技術の高度化に関する研究
- 4- 2 走行式放射線モニタの高度化に関する研究
- 4- 3 現場放射線管理の高度化
- 4- 4 α線放出核種の放射線管理技術の向上に関する研究
- 4- 5 放射線管理用機器の性能向上に関する検討
- 4- 6 前処理工程機器設備保全履歴データベースの構築
- 4- 7 蒸発缶内部検査技術の確立
- 4- 8 遠隔保守機器寿命・故障管理システムの検討
- 4- 9 ライニング型貯槽における漏えい検知システムの信頼性向上
- 4-10 鋼材からの水素ガス放出によるライニング型遮へい扉への影響検討
- 5- 1 再処理施設低レベル廃棄物処理技術に関する研究
- 5- 2 ヨウ素除去技術に関する研究
- 5- 3 再処理施設におけるC-14の放出挙動に関する調査研究
- 5- 4 スラッジ除去技術の開発
- 5- 5 気相へ移行するヨウ素の挙動

- 5- 6 クリプトンの固定化技術開発
- 5- 7 不均一系核燃料物質の工程間移動における安全性向上に関する研究
- 5- 8 廃液処理工程における機器保全に係る調査検討
- 5- 9 廃シリカゲル処理技術開発

〔耐震：全 1 件〕○印は原子力安全委員会の安全研究年次計画課題  
印は上記のうち重点研究課題

- 7- 1 核燃料施設免震構造に関する高度化研究

〔確率論的安全評価：全 4 件〕○印は原子力安全委員会の安全研究年次計画課題  
印は上記のうち重点研究課題

- 2- 1 核燃料施設の信頼性評価手法に関する研究
- 2- 2 MOX 加工施設の確率論的安全評価の適用研究
- 2- 3 再処理施設の地震に関する確率論的安全評価の適用研究
- 2- 4 東海再処理施設の確率論的安全評価の実施

〔環境放射能：全 7 件〕○印は原子力安全委員会の安全研究年次計画課題  
印は上記のうち重点研究課題

- 2- 1 環境中のラドン・トリウム及びその壊変生成物の測定、挙動評価などに関する研究
- 3- 1 海洋における放射性核種の挙動と拡散予測モデルに関する研究
- 3- 2 地球規模の海洋環境における放射性物質移行モデルに関する研究
- 6- 1 環境試料の迅速分析及び測定技術の高度化に関する研究
- 6- 2 緊急時における個人被ばくモニタリング手法に関する研究
- 6- 3 緊急時遠隔空中モニタリング手法に関する研究
- 6- 4 極低濃度長半減期放射性核種の定量法に関する研究

〔廃棄物処分：全 15 件〕○印は原子力安全委員会の安全研究年次計画課題  
印は上記のうち重点研究課題

- 1- 1 安全評価の基本的考え方等に関する調査研究

- 2- 1 環境変動に伴う地質環境の安定性評価に関する研究
- 2- 2 結晶質岩に関する地質環境評価手法に関する研究
- 2- 3 堆積岩に関する地質環境評価手法に関する研究
- 2- 4 地質環境におけるナチュラルアナログ研究
- 3- 1 安全評価シナリオに関する研究
- 3- 2 安全評価モデルの体系化・高度化に関する研究
- 3- 3 安全評価におけるシナリオ、モデルの不確実性に関する研究
- 3- 4 地下水水質形成モデルの検証及び高度化に関する研究
- 3- 5 深部地下環境下における核種移行データの取得及びデータベースの整備
- 4- 1 人工バリア及び岩盤の長期挙動に関する研究
- 4- 2 人工バリア等の性能保証に係る工学技術研究
- 4- 3 人工バリアのナチュラルアナログ研究
- 5- 1 T R U核種を含む放射性廃棄物処分の安全評価の信頼性向上に向けたデータ及び評価手法の整備
- 5- 2 ヨウ素の高度保持廃棄体・人工バリア材に関する研究

4 . 安全研究成果調査票（平成 1 3 年度）等  
（核燃料サイクル分野）

## 核燃料施設分野

- ( 1 ) 臨界安全性に関する研究
- ( 2 ) 遮へい安全性に関する研究
- ( 3 ) 閉じ込め安全性に関する研究
- ( 4 ) 運転管理・保守及び放射線管理に関する研究
- ( 5 ) 放射性廃棄物の管理に関する研究

( 分野名をクリックするとリストが表示されます。 )

( リスト内の各研究課題名をクリックすると内容が表示されます。 )

## 耐震分野

### ( 7 ) 新構造システムに関する研究

( 分野名をクリックするとリストが表示されます。 )

( リスト内の各研究課題名をクリックすると内容が表示されます。 )

## 確率論的安全評価分野

### ( 2 ) 核燃料サイクル施設に関する研究

( 分野名をクリックするとリストが表示されます。 )

( リスト内の各研究課題名をクリックすると内容が表示されます。 )

## 環境放射能分野

- ( 2 ) ラドン・トリウム及びその壊変生成物の分布と挙動に関する研究
- ( 3 ) 放射性物質の分布と移行に関する研究
- ( 6 ) 環境放射線測定、放射性物質の分布・測定等のモニタリング技術開発に関する研究

( 分野名をクリックするとリストが表示されます。 )

( リスト内の各研究課題名をクリックすると内容が表示されます。 )

## 廃棄物処分分野

- ( 1 ) 安全規制の基本的事項に関する研究
- ( 2 ) 地質環境評価手法に関する研究
- ( 3 ) 地層処分の安全評価手法に関する研究
- ( 4 ) 処分場の設計要件に関する研究
- ( 5 ) T R U核種を含む放射性廃棄物の安全評価手法に関する研究

( 分野名をクリックするとリストが表示されます。 )

( リスト内の各研究課題名をクリックすると内容が表示されます。 )

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

1 - 1 ( 3 - 1 - 3 )

### 【研究課題名(Title)】

MOX 加工施設等の臨界管理に関する研究

(Study for Criticality Safety of MOX Fuel Fabrication Facilities)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 岡 努 (おか つとむ)

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 安全研究グループ

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Tsutomu OKA

(Title of Function) Safety Study Group, Radiation Protection Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-Mura, Naka-Gun, Ibaraki, 319-1194, Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 清水 義雄 (しみず よしお : Yoshio SHIMIZU)

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 安全研究グループ

(Safety Study Group, Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☒ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : MOX 加工施設等の臨界管理に関する研究 )

☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

なし

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

これまでの年次計画において、「MOX 取扱施設臨界安全ガイドブック」を公開し、現在進められている民間 MOX 燃料加工施設の設計等に利用されている。ガイドブックには豊富な MOX 均質系及び PuO<sub>2</sub> 均質系のデータが掲載されているが、非均質系のデータが整備されていないこと、また、実際の運転条件における安全裕度について確認することは、臨界事故の防止及び臨界事故時の対応の観点からも重要であることから、本研究を継続して実施する必要があった。

[ 研究目的 ]

MOX 加工施設の実用化へ向けて、臨界安全解析コード、核データ等の拡充・整備及び臨界安全データの整備を実施し、施設の臨界安全設計における信頼性の向上及び施設運転における臨界安全性の向上並びに臨界安全評価に係る安全審査の判断資料の整備に資する。

[ 研究内容 ]

イ．臨界安全解析手法の高度化整備

臨界安全解析コード、核データ等の拡充・整備を行い、MOX加工施設等への適用性検討のための検証計算を実施する。

ロ．臨界安全データの整備

MOX加工施設を対象とした臨界安全データの整備として、MOX非均質系データの整備を実施する。

また、核種の同位体組成、反射条件等の設定における臨界安全データの安全裕度の評価・検討及び裕度を考慮したデータ整備を行う。以上のデータの整備により、1996年に公開したMOX取扱施設臨界安全ガイドブックの充実を図る。

【研究の達成目標（平成13年度）】

イ．臨界安全解析手法の高度化整備

解析コード等の導入・整備、検証問題の調査

ロ．臨界安全データの整備

MOX非均質データ等のデータ調査

【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

イ．臨界安全解析手法の高度化整備

MOX燃料製造施設への臨界安全解析コードの適用性を確認するため、計算コード（SCALE4、MCNP4）及び核データライブラリ（ENDF/B-IV、V、VI及びJENDL-3.2）を用いたMOX非均質系臨界ベンチマーク計算を実施した。ベンチマーク対象とした臨界実験を表1に示す。

SCALE4においては、CSAS2X（BONAMI、NITAWL、XSDRNP、KENO V.a）を用いたが、このシーケンスでは、1領域のセル均質化断面積しか作成できないため、燃料領域が2領域存在する場合には、CSASI（BONAMI、NITAWL、XSDRNP）-WAX-CSASI-WAX-KENO V.aの計算フローにより、2領域のセル均質化断面積を作成し、三次元モンテカルロコードKENO V.aにより実効増倍率を計算した。

ベンチマーク計算の結果から、各計算コード及び核データライブラリの組み合わせにおける誤差評価を行い、推定臨界増倍率及び推定臨界下限増倍率を算出した（表2参照）。推定臨界下限増倍率については、どの組み合わせについても、0.98を上回っており、臨界安全ハンドブック（1988年科学技術庁編）の考え方に基づくと、これらの推定臨界下限増倍率を0.98と設定することができる。

ロ．臨界安全データの整備

イ.において得られた推定臨界増倍率及び推定臨界下限増倍率に対応する臨界安全データを作成するための条件に対する調査を行った。ANSI/ANS-8.12に示されているMOX非均質系データについて調査するとともに、臨界安全データのパラメータ検討のためにFBR、Puサーマル等で使用する燃料について調査を実施した。また、ISOにおいて策定が検討されている"Nuclear criticality control and safety of plutonium-uranium oxide fuel mixtures outside of reactors"における各種計算コードの比較についても調査した。

【研究の達成状況（平成13年度）】

イ．臨界安全解析手法の高度化整備

解析コード等の導入・整備に対しては、SCALEの最新版であるSCALE4.4a、MCNPの最新版であるMCNP4Cを導入・整備するとともに、検証問題の調査として国際臨界安全ベンチマーク実験ハンドブックの調査を実施した。

ロ．臨界安全データの整備

MOX非均質データ等のデータ調査として、ANSI/ANS-8.12の条件の確認を実施するとともに、MOX非均質系データの試計算を実施した。

（今後の予定）

国際臨界安全ベンチマーク実験ハンドブックに掲載されている実験に対する調査・評価を実施するとと

もに、2002 年に公開予定の SCALE5 の導入・整備を行う。MOX 燃料について調査し、条件設定を行うとともに、非均質系臨界安全データを整備する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

民間 MOX 燃料製造施設の設計、許認可等に反映できる。

#### 【研究成果の発表状況】

- (1) Yoshio SHIMIZU et al., "VALIDATION OF SCALE4 AND MCNP4 FOR MOX HETEROGENEOUS SYSTEMS OF MOX FUEL FABRICATION FACILITIES," Proceedings of the 2001 Topical Meeting on Practical Implementation of Nuclear Criticality Safety (Nov. 2001)
- (2) 清水他, "SCALE4 及び MCNP4 を用いた MOX 非均質系ベンチマーク計算," 日本原子力学会 2001 年春の年会 (2002)

(発表予定)  
なし

#### 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

六ヶ所村に建設予定の民間 MOX 燃料加工施設の設計等が進められている。

(参考文献)

[ 海外の研究の現状と動向 ]

・ OECD/NEA において、これまで行われた臨界実験の再検証及び各種計算コードによるベンチマーク計算が進められている。

・ 米国においては、解体核の MOX 燃料製造施設の許認可が進められている(2)(3)(4)(5)。

・ 断面積の取り扱い等が大幅に改良された SCALE5 コードが 2002 年に公開される予定である(6)。

(参考文献)

- (1) OECD/NEA Nuclear Science Committee, "International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments," NEA/NSC/DOC(95)03 (Sep. 2001 Edition)
- (2) NRC (U.S. Nuclear Regulatory Commission), 2000. Standard Review Plan for the Review of an Application for a Mixed Oxide (MOX) Fuel Fabrication Facility, NUREG-1718, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- (3) Michaele, et al., "Nuclear Criticality Safety in the Design of the Plutonium Disposition and Conversion Facility," Proceedings of the 2001 Topical Meeting on Practical Implementation of Nuclear Criticality Safety (Nov. 2001)
- (4) K. A. Niemer, et al., "Overview of MOX Fuel Fabrication Facility Nuclear Criticality Safety Design Considerations," Proceedings of the 2001 Topical Meeting on Practical Implementation of Nuclear Criticality Safety (Nov. 2001)
- (5) Sven O. Bader, et al., "MOX Fuel Fabrication Facility Nuclear Criticality Validation Approach," Proceedings of the 2001 Topical Meeting on Practical Implementation of Nuclear Criticality Safety (Nov. 2001)
- (6) D. F. Hollenbach, et al., "SCALE 5: New Cross-Section Processing Features and Capabilities," Proceedings of the 2001 Topical Meeting on Practical Implementation of Nuclear Criticality Safety (Nov. 2001)

#### 【研究評価(自己評価)】

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- ( その理由 :
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

【自由評価欄】

表1 ベンチマーク計算の対象とした臨界実験

| 実験レポート                                                                                                   |      | 燃料ピン                 |      |                     | 減速材           | 反射体    | 吸収材                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------------|------|---------------------|---------------|--------|------------------------|
|                                                                                                          |      | Pu<br>(U+Pu)         | 配 列  | ピッチ<br>(cm)         |               |        |                        |
| <i>Nucl. Tech.</i> <b>44</b> (1979)<br>S. R. Bierman, B.M. Durst,<br>E.D. Clayton, R.I. Scherpelz        | [6]* | 22.5 wt%<br>27.6 wt% | 正方格子 | 0.767<br> <br>1.905 | 水             | 水      | ——                     |
| <i>Nucl. Tech.</i> <b>49</b> (1980)<br>S. R. Bierman, B.M. Durst,<br>E.D. Clayton, B.W. Howes            | [4]  | 22.5 wt%             | 正方格子 | 0.953<br> <br>1.906 | 水             | コンクリート | ——                     |
| <i>Nucl. Tech.</i> <b>48</b> (1980)<br>B. M. Durst, S. R. Bierman,<br>E.D. Clayton, J.F. Mincey          | [40] | 22.5 wt%             | 正方格子 | 0.968<br> <br>2.487 | 水             | 水      | Cd<br>BORAL<br>Gd pins |
| <i>Nucl. Sci. Eng.</i> <b>59</b> (1976)<br>R. C. Lloyd,<br>E. D. Clayton                                 | [16] | 25.2 wt%             | 三角格子 | 3.05                | U +Pu<br>硝酸溶液 | 水      | Gd                     |
| <i>Nucl. Sci. Eng.</i> <b>62</b> (1977)<br>R. C. Lloyd,<br>E. D. Clayton                                 | [7]  | 25.2 wt%             | 三角格子 | 3.05                | U +Pu<br>硝酸溶液 | 水      | B, Gd                  |
| <i>JAERI 1254</i> (1978)<br>H. Tsuruta, I. Kobayashi,<br>T. Suzuki, A. Ohno,<br>K. Murakami, S. Matsuura | [88] | 3.01 wt%             | 正方格子 | 1.825<br> <br>2.474 | 水             | 水      | ——                     |

\*[ ]はケース数

表2 誤差評価結果（推定臨界増倍率及び推定臨界下限増倍率）

| コード - ライブラリ                                  | 推定臨界<br>増倍率 | 推定臨界<br>下限増倍率  | 標準偏差    | モンテカルロ<br>の平均値 | 実効増倍率<br>の最低値 |
|----------------------------------------------|-------------|----------------|---------|----------------|---------------|
| CSAS2X*1 (SCALE4.2)<br>- 27 Group ENDF/B-IV  | 1.01032     | <b>0.99706</b> | 0.00582 | 0.00220        | 0.99850       |
| CSAS2X*2 (SCALE4.4a)<br>- 238 Group ENDF/B-V | 1.00064     | <b>0.98668</b> | 0.00613 | 0.00106        | 0.98984       |
| CSAS2X*2 (SCALE4.4a)<br>- 27 Group ENDF/B-IV | 1.00558     | <b>0.99022</b> | 0.00674 | 0.00106        | 0.99699       |
| CSAS2X*2 (SCALE4.4a)<br>- 44 Group ENDF/B-V  | 1.00289     | <b>0.98944</b> | 0.00590 | 0.00104        | 0.99326       |
| MCNP4C<br>- ENDF/B-VI                        | 0.99559     | <b>0.98711</b> | 0.00372 | 0.00096        | 0.98925       |
| MCNP4C<br>- JENDL-3.2                        | 1.00026     | <b>0.99241</b> | 0.00344 | 0.00097        | 0.99330       |
| MCNP4A<br>- ENDF/B-V                         | 1.00702     | <b>0.99654</b> | 0.00460 | 0.00214        | 0.99617       |
| MCNP4A<br>- JENDL-3.2                        | 1.00581     | <b>0.99576</b> | 0.00441 | 0.00216        | 0.99539       |

\*1 MOX取扱施設臨界安全ガイドブックに掲載された計算

\*2 セル均質化断面積を2領域作成する場合は、CSASI-WAX-CSASI-WAX-KENO V.a を使用

# 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

## 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

## 【分類番号】

1 - 2 ( 3 - 1 - 4 )

## 【研究課題名(Title)】

未臨界度モニタの開発

(Development of Sub-Criticality Monitoring System for Nuclear Cycle Facilities)

## 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

## 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 野尻 一郎 ( のじり いちろう )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

[ 連絡先 ] 〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 : 029-282-1111

(Name) Ichiro NOJIRI

(Title of Function) Technology Development Section, Technology Co-ordination Division,  
Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1184, Japan  
Phone : +81-29-282-1111

## 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

- ☒ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : 未臨界度測定システムの開発 )
- ☐ 本基本計画から新規

## 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] 「未臨界度モニタ開発研究 ( )」 ( 摂南大学 )

## 【使用主要施設】

東海再処理施設

## 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

未臨界度測定技術については原子炉体系においては確立されており、この技術を核燃料サイクル施設の臨界安全に適用するための研究がなされてきた。核燃料サイクル施設の未臨界度の直接測定が可能になれば、従来間接的に把握していた施設の臨界安全性の度合いが定量的に把握できる。これにより、施設の臨界安全管理技術が向上し、臨界安全設計の合理化が図れる。

東海再処理施設においては、JCO 臨界事故を踏まえ、臨界事故の発生が想定される箇所に、事故を収束させるための中性子吸収材を供給するための設備を追加設置している。臨界事故の対応は臨界警報装置もしくはその他の放射線モニタにより事故の発生を検知した後に行うことにあり、事故発生以前の臨界安全上の異常を直接検知し、事故の発生を未然に防止するようにはなっていないが、未臨界度モニタシステムを用いることによりこれが可能になる。

未臨界度モニタ開発のための研究として、前年次計画までに、大洗工学センター重水臨界実験施設では、核燃料サイクル施設への適用を目的として、Feynman- $\alpha$  法や Mihalczo 法を用いた未臨界度測定試験を実施するとともに、モンテカルロ法による未臨界度測定のシミュレーション計算手法の整備を行っており、東海事業所では、未臨界度測定手法に基づくオンライン臨界監視システム開発のための基礎的な研究として、未臨界度推定アルゴリズムの検討や測定システムの検討

を実施している。

#### [ 研究目的 ]

未臨界度の解析手法の開発と未臨界度測定技術の開発を行い、実用化を目指した未臨界度モニタを開発することによって、再処理施設、核燃料加工施設等の臨界安全管理技術の向上及び臨界安全に係る設計の合理化に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ．未臨界度測定技術の適用性評価

モンテカルロ法による未臨界度測定のシミュレーション計算手法を未臨界度測定技術の実体系への適用性評価に利用できるように整備する。

重水臨界実験装置を用いて、平成 12 年度までに得られた未臨界度測定技術の開発成果及びシミュレーション計算を利用し、未臨界度測定技術の再処理施設への適用性を評価する。

##### ロ．未臨界度モニタの開発

イ．で検討された未臨界度測定技術を用いた未臨界度モニタシステムを整備し、再処理施設等の実体系での実証試験を実施する。

#### 【研究の達成目標（平成 13 年度）】

##### イ．未臨界度測定技術の適用性評価

- ・モンテカルロ法による未臨界度測定のシミュレーション計算手法の汎用化整備を行うとともに、その適用性を把握する。
- ・未臨界度推定手法について新たな知見を得る。

##### ロ．未臨界度モニタの開発

- ・未臨界度測定システムについて調査を行い、未臨界度モニタシステムの実用化のための知見を得る。
- ・東海再処理施設における未臨界度測定実証試験のために有用となる施設情報を取得する。

#### 【研究実施内容及び成果（平成 13 年度）】

##### イ．臨界度測定技術の適用性評価

大洗工学センター重水臨界実験施設において整備された未臨界度測定シミュレーションコード MCNP-CR の汎用化整備として、MS-DOS 環境のみで動作していたコードを、SUN-UNIX、LINUX (Intel386,Alpha) 及びDEC-UNIX 環境においても動作するようにプログラムの整備を行った。さらに、このコードの出力である検出中性子パルス情報を中性子雑音の時系列データに変換するためのプログラムを作成した。このコードを用いて平成 8 年に測定試験を実施している重水臨界集合体(DCA)を模擬した体系における時系列データを作成し、周波数解析及び ARMA パラメータ同定を行い、測定試験結果との比較検討を行った。周波数解析の結果として重水水位 1650mm、1500mm 及び 1400mm に対する自己パワースペクトル密度及び ARMA(2,2)の極値(Pole1)をそれぞれ図 1 及び図 2 に示す。これらの図が示すように、模擬時系列データと測定時系列データの解析結果がほぼ一致した傾向となったことから、MCNP-CR によって作成された模擬時系列データが測定時系列データを炉物理的に正しく模擬できることが確認できた。

未臨界度推定手法の検討として、2 つの中性子相互相関からインパルス応答を求めて未臨界度を評価する方法について、DCA の未臨界時系列データを用いた検討を行った。その結果、異常反応度上昇を模擬した DCA 体系においては、即発中性子寿命が比較的遅く高域の雑音の影響を受けないことから良好に減衰係数を評価でき、簡単な相互相関とフィッティング処理のみで未臨界度のリアルタイム監視が実施できることが確認できた。

##### ロ．未臨界度モニタの開発

東海再処理施設の工程内に設置されている中性子モニタについて調査を行い、未臨界度測定実証試験への活用の可能性について検討した。東海再処理施設の中性子インラインモニタには BF3 検出器及び核分裂検出器が用いられており、検出器信号は中央制御室のパネルにある測定系において処理されていることから、このパルス信号を分岐して処理することにより未臨界度の測定が可能なが確認できた。実際の体系は臨界安全の観点から中性子増倍率は相当小さくなっている。また、中性子インラインモニタは Pu 溶液系に設置されており、Pu の自発核分裂及び(n,  $\alpha$ )反応による中性子が多いことから、外部中性子源は多い体系となる。実証試験においてはこれらの特徴を考慮した未臨界度推定手法を採用する必要があることを認識した。

### 【研究の達成状況（平成13年度）】

以下に示すとおり、いずれの課題も当初予定していた成果が得られた。

#### イ．臨界度測定技術の適用性評価

- ・ 未臨界度測定シミュレーションコード MCNP-CR の汎用化整備は当初の計画どおり進捗できた。
- ・ 未臨界度推定手法としてインパルス応答法も未臨界度のリアルタイム監視に適用できることが確認できた。

#### ロ．未臨界度モニタ開発

- ・ 未臨界度測定システムについて今後の実用システム開発のための有用な知見が得られた。
- ・ 東海再処理施設における実証試験実施のために有用な情報が得られた。

（今後の予定）

平成14年度については予算が確保されなかったことから、計画どおりの進捗は困難であり、当面、未臨界度測定シミュレーションコード MCNP-CR を活用し、実体系を模擬した計算解析を進める計画である。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

- ・ MCNP-CR の汎用化整備により、種々の未臨界度推定手法の実体系での適用性は検討できる。
- ・ インパルス応答法も未臨界度のリアルタイム監視に適用できることが確認できたことから、実用システムの多様化が図れ、システムの信頼性向上となる。
- ・ 未臨界度測定システムの調査結果については今後の実用システム開発のため活用される。
- ・ 東海再処理施設の工程内中性子モニタは未臨界度測定実証試験への活用に期待できる。

### 【研究成果の発表状況】

なし

（発表予定）

未臨界度オンラインモニタ手法の検討（日本原子力学会2002年秋の大会）

### 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

未調査

（参考文献）

[ 海外の研究の現状と動向 ]

未調査

（参考文献）

### 【研究評価（自己評価）】

#### ○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

#### ○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：)
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

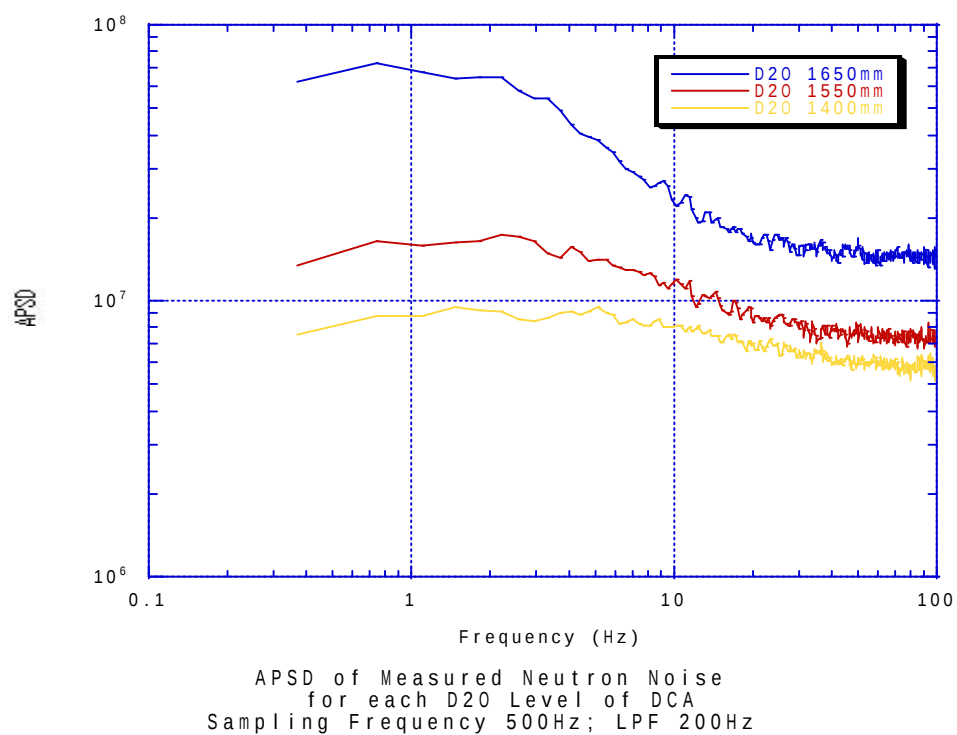
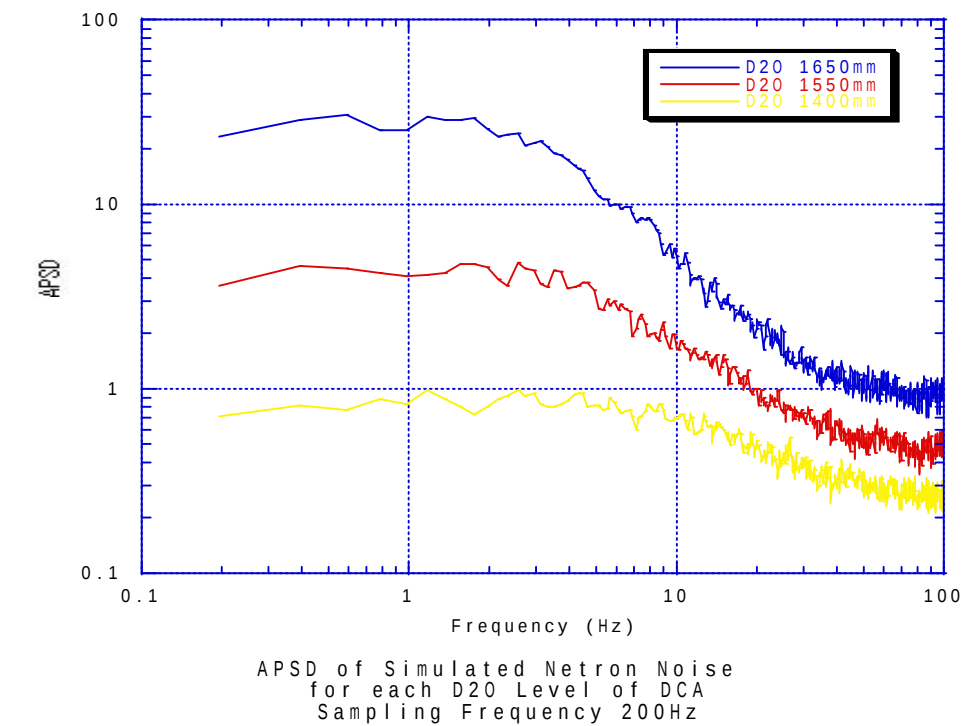
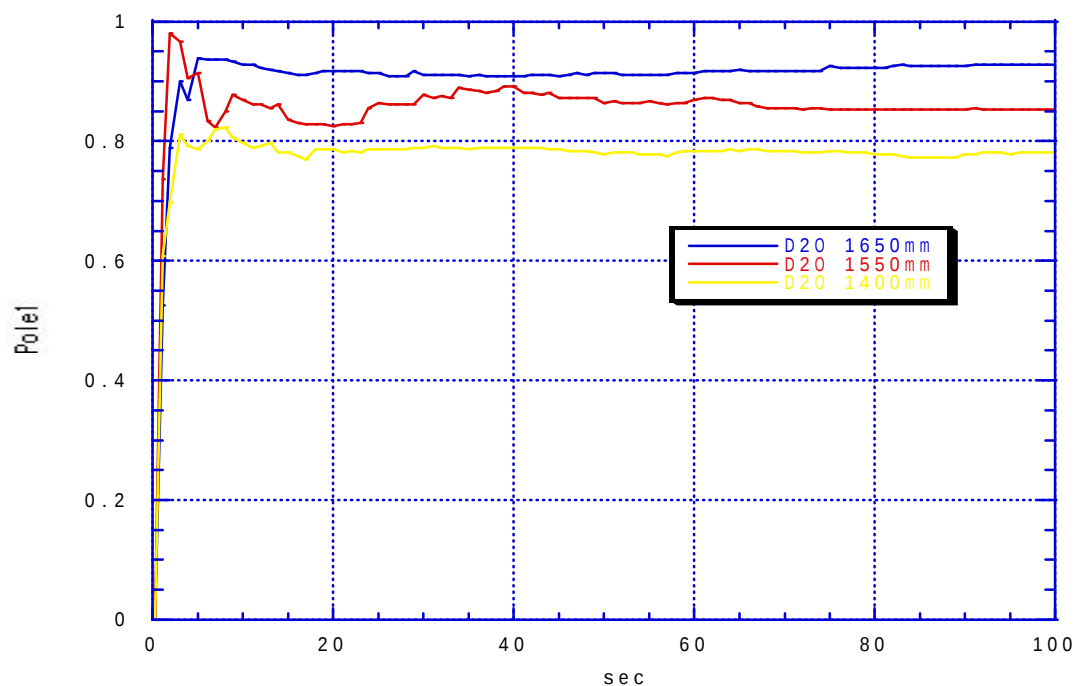
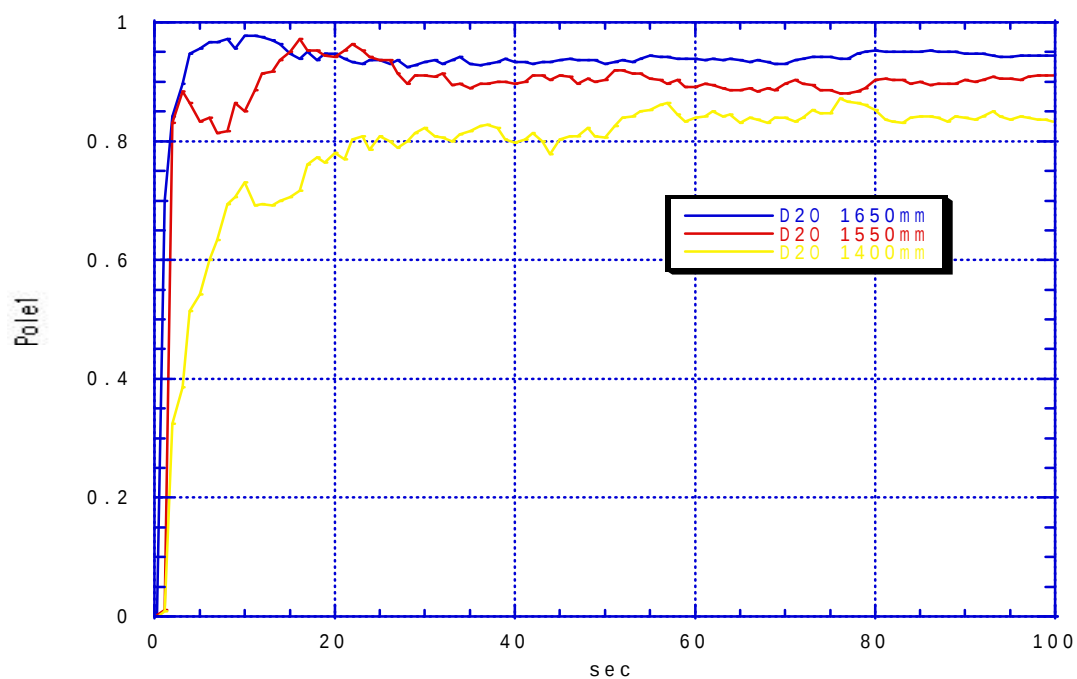


図 1 DCA 測定体系における模擬時系列データ及び測定時  
系列データに対する自己パワースペクトル密度



Pole1 value of Simulated Neutron Noise  
for each D2O Level of DCA  
Sampling Frequency 200Hz



Pole1 value of Measured Neutron Noise  
for each D2O Level of DCA  
Sampling Frequency 500Hz; LPF 200Hz

図 2 DCA 測定体系における模擬時系列データ及び測定時  
系列データに対する ARMA(2,2)の極値(Pole1)

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

2 - 1 ( 3 - 2 - 1 )

### 【研究課題名(Title)】

核燃料施設における中性子線量評価に関する研究  
( Study on Neutron Dosimetry in Nuclear Fuel Cycle Facilities )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 百瀬 琢磨 ( ももせ たくまる )

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 線量計測課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 : 029-282-1111

(Name) Takumaro MOMOSE

(Title of Function) Radiation Dosimetry and Instrumentation Section,  
Radiation Protection Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan  
Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 辻村 憲雄 ( つじむら のりお : Norio TSUJIMURA )

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 線量計測課

(Radiation Dosimetry and Instrumentation Section, Radiation Protection Division,  
Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 3 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

- ☒ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : 核燃料施設における中性子線量評価に関する研究 )
- ☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

核燃料サイクル開発機構 計測機器校正施設

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

民間の MOX 燃料製造加工施設の建設あるいは MOX 燃料の軽水炉利用計画に従い、サイクル機構が保有する中性子線量評価に係る一連の技術の移転が望まれている。国内唯一の MOX 燃料製造加工施設において、これまで得られた知見を体系的に整理するとともに、現時点での技術上の課題を解決・整理しておく必要がある。

[ 研究目的 ]

MOX 加工施設の実用化及び MOX 燃料の軽水炉利用に向けて、中性子被ばく線量測定・評価手法の高

度化、及び実規模プラントにおける線量データ集の整備を実施し、中性子被ばく線量の低減化並びに中性子線量評価に係る基準の整備に資する。

#### [ 研究内容 ]

イ．臨界事故時の中性子被ばく線量評価手法に関する研究

体内中に生成されるナトリウム-24 放射能から中性子被ばく線量を算出する手法及び個人携帯型放射化検出器の改良研究、並びに大線量を簡便かつ迅速に評価できる TLD 内蔵積算型中性子線量当量計の適用検討を行う。

ロ．中性子個人線量計及びサーベイメータ類の高度化研究

MOX 燃料加工施設などで使用される個人線量計及びサーベイメータ類の高度化研究（精度検証、軽量化等の改良）を行い、その諸性能を評価・検証できる減速型中性子標準校正場及び臨界事故を模擬した簡易モックアップ照射設備の開発・整備を行う。

ハ．MOX 燃料加工施設における中性子線量データ集の整備

MOX 燃料加工施設内外で測定したこれまでの中性子スペクトル情報、線量率情報などを体系的に整理し、既存の線量計の有用性並びに遮へい設計に用いる計算コード類の適用性を検討する。

#### 【研究の達成目標（平成 13 年度）】

イ． $^{24}\text{Na}$  放射能から中性子線量を評価する手法のとりまとめを行い、線量評価公開マニュアルを作成する。

ロ．中空円筒型含鉛アクリル材を利用した簡易型減速中性子校正場の開発整備と本校正場を利用した各種の個人線量計等の特性試験を実施する。

ハ．中性子スペクトロメータを用いて MOX 燃料施設内外で測定した中性子スペクトル情報を体系的に整理する。

#### 【研究実施内容及び成果（平成 13 年度）】

イ．臨界事故時の中性子線量評価手法に関する研究

臨界事故において想定される中性子スペクトルを計算し、その中性子場における  $^{24}\text{Na}$  比放射能 - 中性子線量換算係数を求めた。単位フルエンス当たり生成される体内の  $^{24}\text{Na}$  比放射能の計算には Cross の Capture Probability を使用した。スペクトルの計算には一次元中性子輸送計算コード ANISN を使用し、核分裂スペクトルが密度  $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ 、厚さ  $10\sim 100\text{cm}$  のコンクリートを透過した場合と、半径  $10\sim 50\text{cm}$  の球の水溶液中で一様に核分裂が起こった場合にその漏えい中性子スペクトルが同様のコンクリートを透過した場合など計 20 パターンのスペクトルを想定した。図 1 に、計算した  $^{24}\text{Na}$  比放射能 - 中性子実効線量換算係数をそれぞれコンクリートの厚さの関数として示す。本計算の結果は、臨界の体系並びにコンクリート遮へいの有無、厚さ等をパラメータに換算係数を数値化したものであり、事故直後における個人被ばく線量の初期評価(rapid dose assessment)等に有効である。

サイクル機構東海事業所では、プルトニウムを取り扱う一部の工程の作業者は定常的なモニタリング用の個人線量計のほかにベルト式臨界事故時用線量計を着用している。この線量計は、金、銅及びインジウムの箔並びに硫黄ペレットを収納したパッケージをベルトの前面部、両側面部並びに背面部の 4 箇所にとりつけたものであり、臨界事故時に誘導放射能を測定することで中性子エネルギースペクトル、入射方向並びに線量に関する情報を取得することを目的にしている。パッケージに収納された放射化箔のうち、金、銅並びにインジウムについては、 $\gamma$  線スペクトロスコープにより比較的容易に誘導放射能を定量することができるが、硫黄については生成核種が純  $\beta$  核種 ( $^{32}\text{S}(\text{n},\text{p})^{32}\text{P}$ , 半減期 14.26 日) であるため、測定前の処理等が必要であり、測定の迅速性の観点で課題があった。そこで、硫黄分を含む加硫ゴムであるエポナイトを臨界事故時用線量計として活用する方法について検討した。絶縁材として市販されているエポナイトは、硫黄を 30w% 含んでおり、これを薄いディスク状に成型加工することで、前処理することなく、GM 計数管等を用いて極めて簡便に測定できる可能性がある。そこで、厚さの異なるエポナイトディスクを幾つか試作し、 $^{252}\text{Cf}$  を用いて  $2.1\text{Sv}$  の中性子を照射したのち、端窓形 GM 計数管を用いて  $^{32}\text{P}$  の  $\beta$  粒子の測定を試みた。その結果、30 分間の計測で 1,000 カウントを超える計数が得られることが分かった。ディスク状のエポナイトは、GM 計数管で  $^{32}\text{P}$  誘導放射能を測定でき、特に線量に大きく寄与する高エネルギー中性子に関する情報が簡便に得られるという利点があり、固定した幾何学的条件のもとでの計数率と線量の関係をあらかじめ把握しておくことで、

臨界事故時に個人の被ばく線量を迅速に評価できると考えられる。

#### ロ．中性子個人線量計及びサーベイメータ類の高度化研究

中性子測定器の校正には、 $^{252}\text{Cf}$  や  $^{241}\text{Am-Be}$  といった RI 中性子源を用いた連続スペクトル場又は加速器を利用した単色中性子場が利用されている。後者は、中性子測定器のエネルギー依存性などの基本特性に関する情報を取得する上で有用であるが、大掛かりな設備を必要とする上、校正に利用可能な単色中性子場は極めて少ない。このため、 $^{252}\text{Cf}$  や  $^{241}\text{Am-Be}$  等の RI 中性子源を用いた校正が一般になされているが、前述したように、これら線源の中性子スペクトルは実際の作業環境の中性子スペクトルを代表していない場合が多く、中性子測定器の特性如何によっては例え校正を行っていたとしても正確な線量指示値を示さない可能性があった。こうした問題を解決するため、RI 中性子源を種々の減速材で覆うことによってスペクトルを変化させた減速中性子校正場を新たに開発し、東海事業所の計測機器校正施設に整備した。減速中性子校正場を新規に開発するにあたっては、(1)MOX 燃料施設の中性子スペクトルを模擬した中性子場を形成できること、(2)既設の中性子照射設備に適用可能なこと、に主眼をおいた。第一の条件は開発する上での前提条件といえるものである。MOX 燃料施設では、プルトニウム同位体の自発核分裂並びに主に  $^{241}\text{Am}$  等から放出される  $\alpha$  粒子と  $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$  との ( $\alpha$ , n) 反応によって中性子が発生する。これらは、1 ~ 2 MeV の領域にピークを持つ比較的良く似たスペクトルを有するが、MOX 燃料はグローブボックスなどで取り扱われるため、実際の作業場所ではより減速された中性子スペクトルを形成している。今回開発した減速中性子校正場では、こうした実作業現場のスペクトルを模擬するため、RI 中性子源に  $^{252}\text{Cf}$ 、減速材にグローブボックスの一般的な遮へい材である含鉛アクリル材を採用することとした。次に、第二の条件についてであるが、現在、東海事業所で使用している中性子照射設備は、地下の線源格納容器から RI 中性子源を線源輸送管に沿って空気圧によって床面のグレーチング上約 1.2m の位置まで打ち上げ、輸送管（照射筒）の上端に取り付けた電磁石で固定する方法を採用しているが、照射筒並びに電磁石部分が直径約 10cm と比較的大型であるため、球形の減速材が適用しにくい。このため、減速材の形状を中空円筒型とし、既設照射設備への適用を容易にするとともに、内外径の異なる複数の中空円筒型減速材を組み合わせることで任意に減速材の厚さを変えられる構造とした。開発した減速中性子校正場の外観を図 2 に示す。減速材は、密度 1.6g/cm<sup>3</sup> の含鉛アクリル材であり、内外径の異なる 4 体を用意した。それら組み合わせることで、肉厚を 13.5mm、35.0mm、59.0mm 及び 77.5mm と変えることができる。基準校正点（線源から 1m 地点）における中性子スペクトルを計算並びに実験により評価した。計算にはモンテカルロ輸送計算コード MCNP4B を用い、減速材のほか、照射筒、減速材設置台、さらに照射室内（床、壁及び天井）構造材を可能な限り計算体系に組み込み、室内散乱中性子線による寄与も評価した。また、基準点での中性子スペクトルはボナー球スペクトロメータ（以下、BSS と記す）を用いて測定した。このスペクトロメータは、直径 5.1cm の球形  $^3\text{He}$  比例計数管と 4 組の厚さの異なるポリエチレン減速材からなる。図 3 に、MCNP4B で計算した中性子スペクトルと BSS から算出した中性子スペクトルを示す。ここでは、計算値、実験値ともに中性子放出率あたりに規格化している。本減速中性子校正場の中性子スペクトルは、含水素物質によって中性子が減速された、いわゆる「核分裂 + 1/E 型スペクトル」を形成しており、これらは MOX 燃料施設内の作業場所でも実測された中性子スペクトルに良く似ている。MCNP4B と BSS の比較では、いずれの減速材厚においても中性子スペクトルは良く一致しており、フルエンスの計算値/実験値の比は 0.94 ~ 1.02 であった。また、基準点での中性子による 1cm 線量当量率は、計算した中性子スペクトルと ICRP Publ.74 の中性子フルエンス—周辺線量当量（1cm 線量当量）換算係数から算出した。

本減速中性子校正場を使用し、種々の中性子個人線量計、中性子サーベイメータの特性試験を実施した。対象とした個人線量計は、TLD バッジ（アルベド型線量計）、固体飛跡検出器、電子式中性子線量計（2 機種）、サーベイメータは減速材付き中性子線量当量（率）計（いわゆる中性子レムカウンタ）4 機種、組織等価比例計数管型中性子サーベイメータ 1 機種、2 個の  $^3\text{He}$  比例計数管を利用した中性子線量当量（率）計 1 機種である。サーベイメータについては、いずれの機種も指示誤差 10%以内で基準値に一致する線量率を示した。一方、個人線量計については、基準値に対して概ねファクター 1.5 以内に入ることが確認できた。

#### ハ．MOX 燃料施設における中性子線量データ集の整備

サイクル機構東海事業所の MOX 燃料施設内の主要工程、約 75 地点において、BSS を用いて中性子スペクトルを測定した。計 75 点の中性子スペクトルデータを形状、平均エネルギー別に分類した結果、MOX 燃料製造施設内の作業場所においては、MOX 燃料を取り扱う大型のグローブボックス周辺、焼結炉周辺、燃料集合体周辺の 3 つに大別できることが分かった。

### 【研究の達成状況（平成13年度）】

#### イ．臨界事故時の中性子線量評価に関する研究

臨界事故において想定される中性子スペクトルに対して、体内に生成される  $^{24}\text{Na}$  放射能から中性子線量に換算する係数を求めた。また、より実用的な個人携帯型放射化検出器として、硫黄を含む加硫ゴムであるエボナイト（ディスク）を利用し、端窓形 GM 計数管による測定によって線量を簡便に評価する手法を開発した。

#### ロ．中性子個人線量計及びサーベイメータ類の高度化研究

$^{252}\text{Cf}$  と中空円筒型含鉛アクリル減速材を用いた減速中性子校正場を開発し、計算と実測により中性子スペクトル、線量率等を設定した。

#### ハ．MOX 燃料施設における中性子線量データ集の整備

MOX 燃料施設の代表工程における中性子スペクトルを得た。本情報は、減速中性子校正場の設計仕様の検討並びに実作業現場での個人線量計等のフィールド照射試験に活用する。

（今後の予定）

#### イ．臨界事故時の中性子線量評価に関する研究

金、硫黄、インジウム等の箔を備えたベルト式臨界事故時用中性子線量計について、臨界事故で想定される中性子スペクトルに対して、その比放射能-中性子線量換算係数を計算する。従来から使用している個人線量計とこれら放射化検出器の組み合わせによって、正確な中性子線量を評価する手法を検討する。さらに、フランスで開催される臨界事故時用線量計の相互比較研究に参加し、これら臨界事故時用線量計の性能を実証する。

#### ロ．中性子個人線量計及びサーベイメータ類の高度化研究

含鉛アクリル材を用いた減速中性子校正場について、高分解能中性子スペクトロメータによる実測を行い、線量基準値の精度などをより向上させる。また、照射室内の位置による中性子スペクトル、線量率の変化に関する情報を定量的に把握する。

#### ハ．MOX 燃料施設における中性子線量データ集の整備

個人線量計、サーベイメータ等の性能実証のためのフィールド照射試験を適宜実施する。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

イ．体内中の  $^{24}\text{Na}$  放射能から線量に換算する係数は、茨城県の緊急時医療マニュアルに掲載される予定である。

ロ．減速中性子校正場は、個人線量計やサーベイメータ等の特性試験で既に実用されている。

### 【研究成果の発表状況】

- (1) 金井, 辻村他, 「MOX 燃料施設を模擬した中性子校正場における種々の個人線量計及びサーベイメータの特性比較」, 日本保健物理学会第 35 回研究発表会, (2001 年 5 月)
- (2) 辻村, 金井他, 「MOX 燃料施設における中性子エネルギー分布の測定結果と法令改正に伴う中性子線量の変化について」, 日本保健物理学会第 35 回研究発表会, (2001 年 5 月)
- (3) 藤元, 百瀬他, 「行動調査と  $\text{Na-24}$  全身計測による線量評価の比較」, 日本保健物理学会第 35 回研究発表会, (2001 年 5 月)
- (4) 辻村, 栗原他, 「臨界事故における個人線量評価のための  $^{24}\text{Na}$  比放射能 - 実効線量換算係数の計算」, 日本保健物理学会第 35 回研究発表会, (2001 年 5 月)
- (5) 辻村, 金井他, 「個人線量計校正用ファントムとしての TLD 内蔵中性子線量当量計の適用検討」, 日本保健物理学会誌, 36(2), (2001 年 6 月)
- (6) 辻村, 金井, 「法令改正に伴うレムカウンタの校正について」, 日本保健物理学会誌 36(2), (2001 年 6 月)
- (7) 辻村, 小嶋他, 「法令改正に対応した外部被ばくによる線量の測定・評価」, サイクル機構技報, No.11, (2001 年 6 月)
- (8) 栗原, 辻村他, "Application of Whole Body Counter to Neutron Dose Assessment in Criticality Accidents", ISORD-1, (2001 年 7 月)
- (9) 布宮, 辻村他, "Measurement of  $\gamma$ -Distributions of Monoenergetic Neutrons with TEPC", ISORD-1, (2001 年 7 月)
- (10) 辻村, 吉田他, 「アンフォールディング法を用いた減速材付き中性子検出器/線量計の応答関数の

評価」, 日本原子力学会 2001 年秋の大会, (2001 年 9 月)

- (11) 金井, 辻村他, 「プルトニウム取扱施設における放射線管理の経験 ( ) 外部被ばく管理」, 日本原子力学会 2001 年秋の大会, (2001 年 9 月)
- (12) 百瀬, 辻村他, "Dose Evaluation Based on  $^{24}\text{Na}$  Activity in the Human Body at the JCO Criticality Accident in Tokai-mura", Journal of Radiation Research, 42, (2001 年 9 月)
- (13) 栗原, 辻村他, "Application of Whole Body Counter to Neutron Dose Assessment in Criticality Accidents", Journal of the Korean Association for Radiation Protection, 26(3), (2001 年 9 月)
- (14) 吉田, 辻村他, TEPC 型中性子サーベイメータの特性評価, 日本原子力学会 2002 年春の年会, (2002 年 3 月)

(発表予定)

- (15) 辻村, 吉田, エボナイトを利用した臨界事故時用中性子線量計, 日本保健物理学会誌 (査読中)

#### 【国内外の研究動向】

##### [ 民間の研究の現状と動向 ]

臨界事故時の線量評価については, JCO 臨界事故における線量評価に関する報告が幾つかあるが, あくまでも事後評価の観点でまとめられたものだけであり, 線量評価精度の向上に関する報告はない。中性子校正場関連については, 日本原子力研究所において, 加速器を利用した単色中性子校正場の開発が進められているが, 民間での研究は皆無である。

(参考文献)

なし

##### [ 海外の研究の現状と動向 ]

IRSN Cadarache 研究所において, 加速器のターゲット(d-D 反応及び d-T 反応)を劣化ウランで覆い, さらにその外側に鉄やポリエチレン等の減速材を配することによって, 実作業環境を模擬した中性子校正場を作成する試みがなされている。

また, フランス CEA Vaulduc 研究センターにおいて SILENE 炉を使用した臨界事故時用線量計の国際相互比較試験が 2002 年 6 月に実施される予定ある。

(参考文献)

- (1) P.F.Chartier et al., Dosimetric Measurements in Simulated Practical Neutron Fields using Several Dosimeter Systems, Radiation Protection Dosimetry, 62, 4, 197-202, (1995)

#### 【研究評価(自己評価)】

##### ○成果の達成レベル

###### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

###### [ 説明欄 ]

##### ○成果活用方策

###### [ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

###### [ 説明欄 ]

○計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

なし

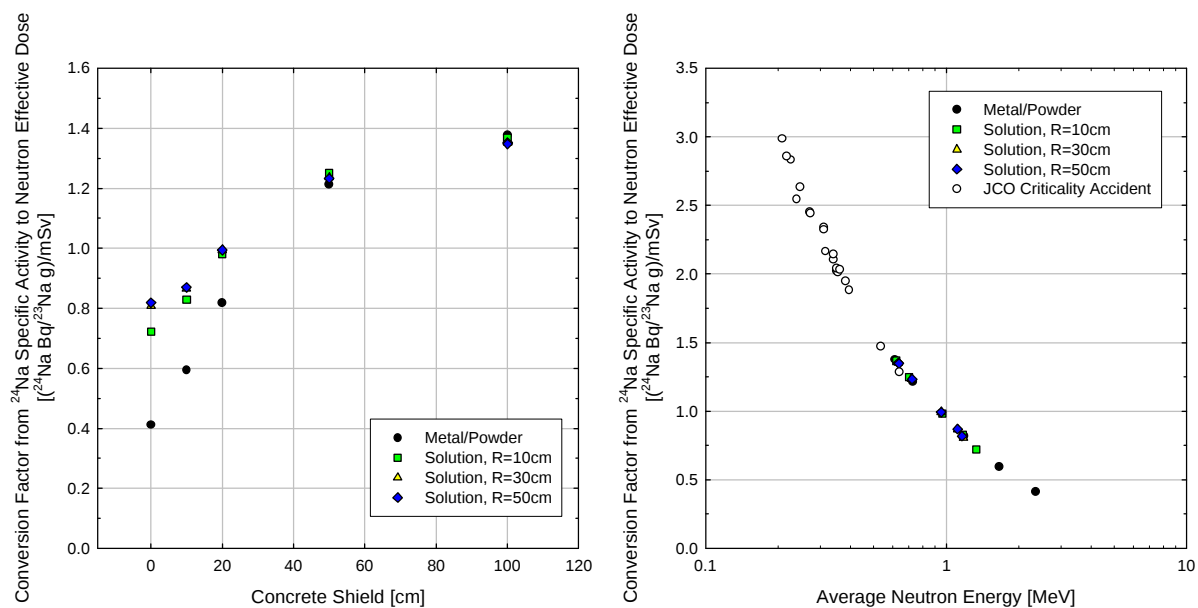


図1 体内中  $^{24}\text{Na}$  比放射能 - 中性子実効線量換算係数  
左図はコンクリート遮への厚さ，右図は中性子場の平均エネルギーの関数として表した。



図2 減速中性子校正場外観写

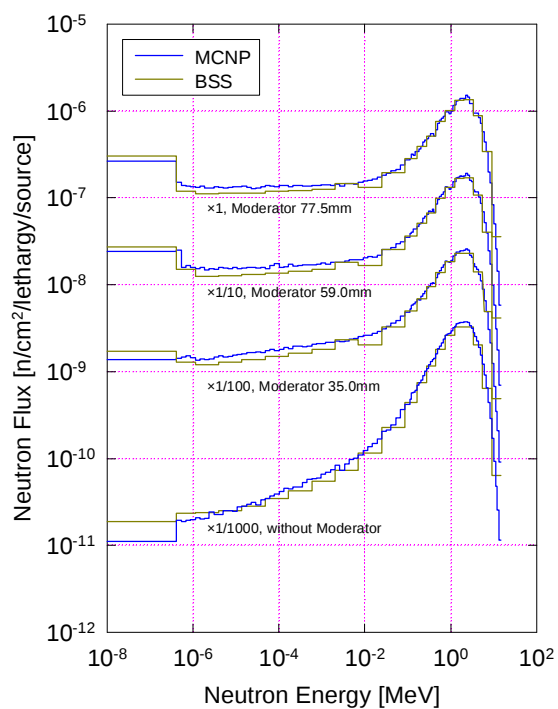


図3 1 m地点における中性子スペクトル  
(計算値と実験値の比較)

# 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

## 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

## 【分類番号】

3 - 1 ( 3 - 3 - 2 )

## 【研究課題名(Title)】

プロセス内化学物質に係る異常事象評価研究  
(Study on abnormal chemical reactions in nuclear reprocessing processes)

## 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

## 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 野尻 一郎 ( のじり いちろう )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 : 029-282-1111

(Name) Ichiro NOJIRI

(Title of Function) Technology Development Section, Technology Co-ordination Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194,  
Phone : +81-29-282-1111

## 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 佐藤 嘉彦 ( さとう よしひこ : Yoshihiko SATO )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

( Technology Development Section, Technology Co-ordination Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works )

## 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

- ☒ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : 異常事象評価試験研究 )  
☐ 本基本計画から新規

## 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

## 【使用主要施設】

クリープ試験棟 安全工学実験室、再処理施設 分析所

## 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

再処理施設のプロセス等では、硝酸等の酸化剤、ヒドラジン等の還元剤、TBP 等の可燃物が存在し、潜在的な異常反応の危険性があり、施設の閉じ込め機能を確保するためにもその反応の挙動を的確に把握する必要がある。現在、TBP 等の有機溶剤と硝酸との反応については研究事例も多く、基礎データも数多く取得されているが、その他のヒドラジン等の反応について詳細な分析を行っている例は少なく、発熱挙動を把握するための基礎データを取得する必要がある。また、それら化学物質の反応挙動を簡便に評価するための発熱挙動解析手法を確立、整備することは、化学物質の危険性を実データと計算データから多角的に検討し、安全なプロセス運転範囲を把握するためにも必要である。

現在の湿式再処理にて還元剤として使用されているヒドラジンからは、アジ化水素、アンモニアが

生成する可能性がある。ただし、以上のような生成物はプロセス内では微量であり、実工程における挙動を実験により検討することは困難である。よって、このような微量生成物の挙動を評価するための基礎データを取得するとともに、挙動を解析できる手法を検討、整備することは、施設の安全性を向上させるために必要である。

#### [ 研究目的 ]

再処理施設のプロセス等で使用される化学物質や混合物(アスファルト硝酸塩混合物等)の熱安定性に係る研究、それら化学物質・混合物の万一の異常時における挙動の評価手法の検討、並びにプロセス内で生成する可能性のある不安定微量生成物の熱安定性やプロセス内挙動に係る研究を実施し、指針・基準類整備のための基礎データの整備を行い、施設の安全性の向上・安全裕度の適切化に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ．化学物質・混合物の熱安全性に係る研究

再処理施設のプロセス等で使用される化学物質(除染廃液等)や混合物(アスファルト硝酸塩混合物等)の実工程における物性・性状等の調査、高感度熱量計等による化学物質・混合物(実試料・模擬試料)の熱安定性に係る基礎データの確認、並びに万一の発熱挙動を予測するための解析手法・モデル等の検討及び発熱挙動の評価を行い、化学物質・混合物の安定操作範囲を確認する。

##### ロ．化学物質・混合物の異常時における挙動に係る研究

再処理施設のプロセス等で使用される化学物質及びそれらの混合物(アスファルト硝酸塩混合物等)の火災・爆発時の事象挙動並びに伝播挙動を評価するための手法の調査・検討を行う。

##### ハ．微量反応生成物の安全性に係る調査・検討

再処理施設のプロセス等で使用される可能性のある化学物質の混合により生成する可能性のある不安定微量生成物の熱安定性及びプロセス内挙動に係る調査を行い、不安定微量生成物のプロセス内での生成・消滅過程及びプロセスに与える影響を検討する。

#### 【研究の達成目標(平成13年度)】

熱安定性に関する基礎データを取得すべき物質を決定する。

#### 【研究実施内容及び成果(平成13年度)】

##### イ．化学物質・混合物の熱安全性に係る研究

再処理工程内で使用される化学物質の中で、火災・爆発のリスクが大きいものの調査を実施した。再処理施設における化学物質が起因となる爆発を考慮すると、急激な化学反応を引き起こす化学物質としては、TBP、ヒドラジン、ホルマリン等が考えられる。サイクル機構にて実施した東海再処理施設の安全性確認<sup>1)</sup>において、TBP、ホルマリンについては、物理的な発生防止機構や幾重にもわたる発生防止策が施されているため、発生の可能性が極めて低いことが確認されている。ヒドラジンについては、ヒドラジンの急激な分解反応が生じたときの槽類換気系のフィルタの状態が検討されている。ヒドラジンの分解反応については、詳細な分析を行っている例は少なく、発熱挙動を把握するための基礎データを取得する必要がある。よって、まずヒドラジンの分解反応について発熱挙動及び圧力挙動を確認することとした。

ヒドラジン分解反応の基礎的な発熱挙動を把握するために、化学物質の火災爆発危険性のスクリーニングに使用されている密封セル示差走査熱量計(Differential Scanning Calorimeter with Sealed Cell, SC-DSC)を用いてヒドラジン分解反応の発熱挙動の測定を開始した。測定例として、0.2M ヒドラジン-2M 硝酸混合物の発熱挙動を図1に示す。

上記の測定における測定条件では、1つの発熱ピークが観測され、反応の開始温度は139℃、ピーク温度は144℃であり、163℃で反応が終了した。発熱量は約50J/g-試料であった。これをヒドラジン1mol当りに換算すると約250kJ/mol-N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>に相当する。

##### ロ．化学物質・混合物の異常時における挙動に係る研究

再処理施設のプロセス等で使用される化学物質及びそれらの混合物の火災・爆発時の事象挙動を評価するために、火災爆発の危険性がある化学物質を扱うことが多い化学工業等の分野で用いられている危険性予測手法の調査を実施した。その結果、反応熱等の潜在的な放出エネルギーの大きさを推定するプログラムとしてCHETAH(The ASTM Computer Program for Chemical Thermodynamic and Energy

Release Evaluation) 及び REITP3(Revised Estimation of Incompatibility from Thermochemical Properties)、反応挙動等の経時変化を解析するプログラムとして TSS(Thermal Safety Software)、SuperChems 及び RELIEF というプログラムが良く用いられている<sup>2)</sup>。

以上の危険性予測手法の中から、入手の容易さ、解析の柔軟性等を考慮して、潜在的な放出エネルギーの大きさを推定するものとして CHETAH、反応挙動等の経時変化を解析するものとして TSS を導入し、PUREX プロセスに代表される現在の湿式再処理工程において使用されている化学物質の中で、潜在的な放出エネルギーが大きいと考えられるものについて、危険性予測解析を実施した。

CHETAH については、ヒドラジン、TBP、n ドデカン、ホルマリンについて、最大分解熱、最大燃焼熱、反応熱等の評価を行った。本プログラムは、全ての化合物を気体として解析することから、凝相においては厳密な値は推定できないものの、反応熱においてはほとんどの反応で 10%程度の精度で推測することが可能であり、新規物質等の火災爆発危険性のスクリーニング手法として有用であると考えられた<sup>2)</sup>。

TSS については、アスファルト固化体及び TBP-硝酸混合物の反応についての反応挙動解析を実施した。解析例として、TBP-硝酸混合物の反応について、加速速度熱量計により得られた測定値から反応速度解析を行った結果及び解析された反応速度を用いて反応挙動を解析した結果を図 2 及び図 3 に示す。熱量計により測定したデータを用いて、反応速度解析から反応挙動解析までをスムーズに実施することが可能であったことから、新規反応の火災爆発危険性評価を迅速に実施できると考えられた。また、対象物質について比熱、熱伝導率等の熱物性や、気液平衡等に関する詳細な物性を得るとともに、事前に模擬実験等により内容物の放散状況を確認し、適切な放散モデルを選択することにより、より現実に即した解析ができると考えられた<sup>2)</sup>。

#### 八．微量生成物の安全性に係る調査・検討

再処理施設のプロセス等で使用される可能性のある化学物質の混合により生成する可能性のある不安定微量生成物として、ヒドラジンの分解反応で生成するアジ化水素の生成・消滅過程に関する調査を実施した。また、プロセス内挙動を推定するために、平成 12 年度に整備したビジュアルシンキングツール STELLA を用いたプロセス内挙動解析プログラム<sup>3)</sup>の導入、整備を行うとともに、より効果的にプロセス内挙動を解析するためのツールであるプロセスシミュレータに関する調査を実施した。並びに、ヒドラジンの分解反応及び分解生成物に関するより詳細なデータを入手するために、ホット環境においてガスクロマトグラフィを主体とした分析装置の導入、整備を実施した。

##### (参考文献)

- 1) 大森 他、“東海再処理施設の事故の拡大防止策及び影響緩和策の検討”：JNC TN8410 99-005 (1999)
- 2) 佐藤 他、“化学物質の反応性評価手法の調査と適用性検討”：JNC TN8410 2001-027 (2002)
- 3) 古閑 他、“微量生成物のプロセス内挙動に関する研究(Ⅳ)”：JNC TJ8400 2000-054 (2000)

#### 【研究の達成状況(平成 13 年度)】

熱安定性に関する基礎データを取得すべき物質を決定するとともに、他の項目についても計画どおり検討に着手し、所期の成果が得られた。

##### (今後の予定)

今後、硝酸濃度等をパラメータとしたヒドラジン分解反応の発熱特性を把握し、ヒドラジン分解反応の基礎的な発熱挙動を明らかにする予定である。ただし、平成 14 年度については、予算、要員ともに確保されていないため、実施できない見通しである。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究の成果は、現有湿式再処理工程の安全評価に活用できるだけでなく、その他の化学物質を使用する工程についての安全評価、安全管理にも活用できる。

#### 【研究成果の発表状況】

- (1) 佐藤 他、“化学物質の反応性評価手法の調査と適用性検討”：JNC TN8410 2001-027 (2002)

##### (発表予定)

なし

## 【国内外の研究動向】

### [ 民間の研究の現状と動向 ]

#### イ．化学物質・混合物の熱安全性に係る研究

日本原子力研究所において、PUREX 法による再処理抽出工程で使用される TBP 及び n ドデカンと硝酸との反応についての研究を実施している<sup>1)</sup>。また、プルトリウム還元剤として使用される硝酸ヒドロキシルアミンの硝酸との反応についての研究が行われている<sup>2)</sup>。

#### ロ．化学物質・混合物の異常時における挙動に係る研究

日本原子力研究所において、再処理施設の火災・爆発時の安全性解析を行うための計算コードである CELVA-1D 及び CELVA-3D を開発し、大型試験装置による検証を行っている<sup>3,4)</sup>。また、三菱原子力工業株式会社では、再処理施設の火災時におけるセル換気系内の熱流動コードである FEVER 及び爆発時における熱流動コードである SWORD を開発している。

#### ハ．微量反応生成物の安全性に係る調査・検討

日本原子力研究所において、PUREX 法による再処理抽出工程での物質挙動を解析するための計算コードである ESSCAR<sup>5)</sup>を開発している。ESSCAR については、微量成分としてアジ化水素の計算が可能となっている。

### ( 参考文献 )

- 1) 宮田 他、“硝酸による再処理溶媒の急激熱分解の反応特性及び反応機構(受託研究)”：JAERI-Tech 2000-035 (2000)
- 2) 関野 他、“プルトリウム還元剤硝酸ヒドロキシルアミンの硝酸との異常化学反応の評価( )”：日本原子力学会 2000 年春の年会要旨集 J23 (2000)
- 3) 西尾 他、“再処理施設の火災・爆発時におけるセル換気系の安全性解析コード(CELVA-1D)(受託研究)”：JAERI-Data/Code 98-017 (1998)
- 4) 西尾 他、“再処理施設の爆発安全性解析のための 3 次元熱流動コード(CELVA-3D)(受託研究)”：JAERI-Data/Code 98-033 (1998)
- 5) 日本原子力研究所、“再処理プロセス・化学ハンドブック”：JAERI-Review 2001-038 (2001)

### [ 海外の研究の現状と動向 ]

#### イ．化学物質・混合物の熱安全性に係る研究

米国において、PUREX 法による再処理抽出工程で使用される TBP と硝酸との反応についての研究が行われている<sup>1)</sup>

#### ロ．化学物質・混合物の異常時における挙動に係る研究

米国において、核燃料施設の火災・爆発時における換気系の安全性を解析するための計算コードである FIRAC<sup>2)</sup>及び EVENT84<sup>3)</sup>を開発している。また、フランスでは、火災時の安全解析を行うための計算コードである FLAME<sup>4)</sup>及び SIMEVNT<sup>5)</sup>を開発している。

#### ハ．微量反応生成物の安全性に係る調査・検討

米国では再処理施設におけるアジ化水素による爆発事故防止のための安全基準が設定されている<sup>6)</sup>。また、ドイツでは、KfK の WAK 再処理プラントにおけるアジ化水素酸のマスフロー試験が行われている<sup>7)</sup>。

### ( 参考文献 )

- 1) T.S.Rudisill, “Initiation Temperature for Runaway Tri-n-butyl Phosphate/Nitric Acid Reaction”：WSRC-TR-2000-00427 (2000)
- 2) B.D.Nichols et al., “FIRAC User’s Manual: A Computer Code to Simulate Fire Accidents in Nuclear Facilities”：NUREG/CR-4561 (1986)
- 3) R.A.Martin et al., “EVENT84 User’s Manual: A Computer Code for Analyzing Explosion Included Gas-Dynamic Transients in Flow Network”：LA-10312-M (1984)
- 4) R.Rzekiecki et al., “Model for Single or Multiple Fires in a Ventilated System: Code Development”：Nucl. Eng. & Design, Vol.125, p.383 (1991)

- 5) J.C.Laborde et al., "Means of Evaluating the Consequence of a Fire in Ventilation and Filtration Networks: IAEA-SM-305/69, p.149 (1989) " : Fire Protection and Fire Fighting in Nuclear Installations, Inter. Atom. Energy Agency, Vienna, 27 Feb.-2, March 1989
- 6) E.K.Dukes et al., "Formation of Hydrazoic Acid from Hydrazine in Nitric Acid Solutions" : USAEC-REPORT DP-728 (1962)
- 7) D.Ertel et al., "The Behavior of Hydrazoic Acid in PUREX Process Solutions under Safety Aspects" : Safety of the Nuclear Fuel Cycle, Edited by K.Ebert et al., VHC Verlagsgesellschaft, Germany

#### 【研究評価（自己評価）】

##### ○ 成果の達成レベル

###### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

###### [ 説明欄 ]

##### ○ 成果活用方策

###### [ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

###### [ 説明欄 ]

##### ○ 計画の進捗状況

###### [ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- ( その理由 :
- ☐ 計画以上に進捗した。

###### [ 説明欄 ]

)

#### 【自由評価欄】

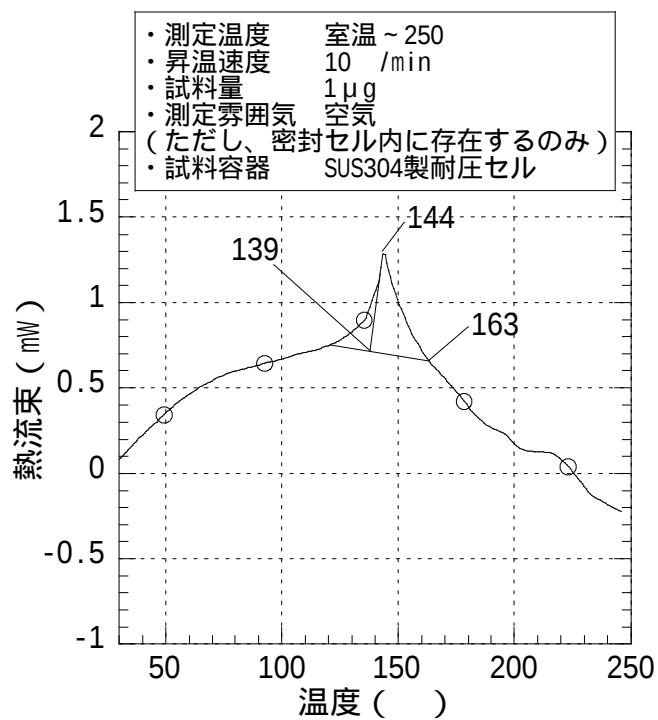


図1 0.2M ヒドラジン-2M 硝酸混合物の DSC 測定結果

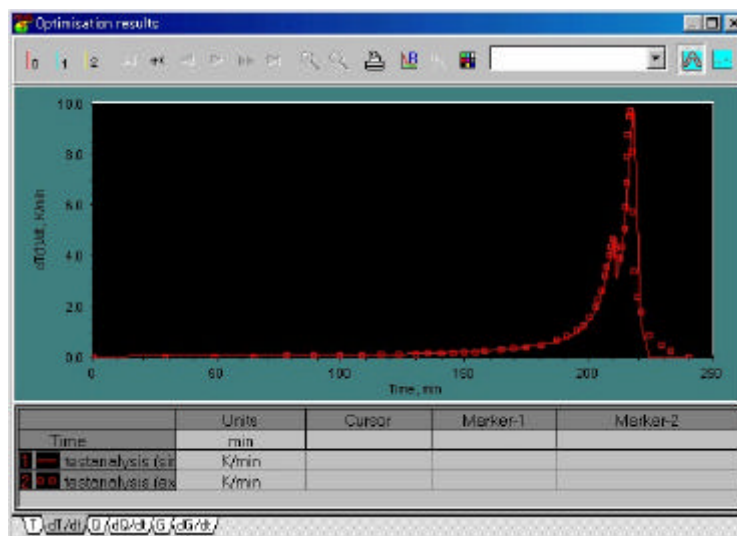


図2 TBP-硝酸混合物の反応について、加速速度熱量計により得られた測定値から TSS により反応速度解析を行った結果  
(点：実測値、線：解析値)

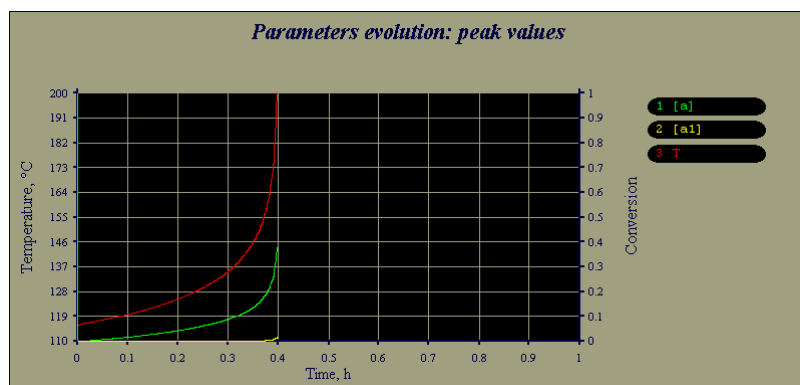


図 3 TBP-硝酸混合物の反応について、解析された反応速度を用いて  
TSS により反応挙動を解析した結果  
(反応系内最高温度の経時変化)

# 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

## 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

## 【分類番号】

3 - 2 ( 3 - 3 - 6 )

## 【研究課題名(Title)】

異常事象時における換気系の安全性に関する研究  
( Study on the Safety of Ventilation System in Emergency )

## 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

## 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 岡 努 (おか つとむ)

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 安全研究グループ

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33、電話番号：029-282-1111

(Name) Tsutomu OKA

(Title of Function) Safety Study Group, Radiation Protection Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone : +81-29-282-1111

## 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 蛭町 秀 (ひるまち すぐる: Suguru HIRUMACHI)

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 安全研究グループ

(Safety Study Group, Radiation Protection Division, Tokai Works)

## 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

## 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

## 【使用主要施設】

安全工学実験室等

## 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

核燃料サイクル施設、特に MOX 加工施設では、その工程の特徴としてグローブボックス (GB) 内でプルトニウム、ウラン等の核燃料物質を開放状態で取り扱うこととなり、当該 GB での火災あるいは GB 周辺 ( 外部 ) での火災等の異常事象が発生したとしても GB の包蔵性及び室、建物の閉じ込め機能を確実に担保しなければならない。

既存施設においては、火災の発生防止対策、火災発生時の拡大防止のための消火設備、外部への放射性物質 ( 核燃料物質 ) の漏えい、飛散防止のための高性能フィルタ等の除去設備が設けられ多重の安全対策が施され、今後の新規施設も基本的に同様の対策が講じられているが、核物質の取扱量の増加、施設建設・運転の経済性等の観点から、安全対策の最適化、合理化が要求されることから、GB 及びその換気系、GB 設置室及びその換気系といった総合的な体系にかかわる試験の実施が必要である。

特に換気系においては、負圧を維持して室内、外部環境への放出放射能の増大を防ぐために運転を継続する必要があるため、異常事象時の健全性や放射性核種 ( 核燃料物質 ) の挙動、安全評価に必要なパ

ラメータ類等の基礎的なデータ取得についての試験研究を実施する必要がある。

〔研究目的〕

火災等の異常事象時における換気系の挙動や閉じ込め等の安全性評価に係る研究を行い、施設の安全性向上及び指針、基準類の整備に資する。

〔研究内容〕

イ．換気系安全性の高度化に関する研究

MOX 加工施設の換気系を対象に最新の設備や新技術の調査を行い、実工程を模擬したグローブボックス換気系試験設備を整備し、火災時の異常事象を想定した換気系性能の評価試験を実施する。この試験結果をもとに、グローブボックス換気系の異常時における挙動特性を把握する。

ロ．換気系評価コードの高度化整備

グローブボックス内火災等の異常時における換気系の挙動として、温度分布、圧力変動等を詳細に評価するため、従来の評価コードに 3 次元熱流体モデルを基本とした評価モデルを付加する等の整備を行う。

【研究の達成目標（平成 13 年度）】

イ．換気系の高度化に関する研究

換気系及び新技術の調査及び試験設備の設計

ロ．換気系評価コードの高度化整備

コードの調査、適用性検討、改良設計

【研究実施内容及び成果（平成 13 年度）】

イ．換気系の高度化に関する研究

機構外で実施された換気系の安全性に関する試験結果をもとに換気系に関する設備やグローブボックス内の空気流線について、放射性物質の飛散を抑えるクリーンルーム等で用いられているダウンフロー方式の換気方法等の技術について調査を進めるとともに、グローブボックス換気系試験設備の整備については、実工程を模擬する試験設備の概念検討を行った結果、実規模の複数のグローブボックスを設置する必要があるため、安全工学実験室 2 に設置してある試験設備のレイアウト等を検討し、新たにグローブボックス等の試験設備を設置できることを確認した。

ロ．換気系評価コードの高度化整備

グローブボックス内火災等の異常時における換気系の挙動評価として、換気系の温度分布や温度伝播特性、圧力の変動等を詳細に解析する必要があるため、3 次元熱流体解析コードの調査を行い、PHOENICS コードのグローブボックス及びその換気系への適用性について検討を行った。

【研究の達成状況（平成 13 年度）】

イ．換気系の高度化に関する研究

実工程を模擬する試験設備として実規模の複数のグローブボックスを設置する必要があるため、安全工学実験室 2 に設置してある試験設備のレイアウト等を検討し新たにグローブボックス等の試験設備を設置できることを確認できた。

ロ．換気系評価コードの高度化整備

適用する 3 次元熱流体解析コードの調査を行い、換気系評価コードとして適用性の見通しを得た。

（今後の予定）

イ．換気系の高度化に関する研究

換気系に関する異常時のデータ収集を進めるとともに試験設備を整備し、グローブボックス内火災試験を行い異常時における換気系の温度伝播特性、圧力変化等のデータ収集、整理を行う。

ロ．換気系評価コードの高度化整備

上記試験で得られたデータを用いた検証計算を通じて、評価コードの改良整備を進め、異常時にお

けるの換気系挙動の評価を行う。

**【成果の利用実績及び活用見通し】**

施設の安全性の向上や指針、基準類整備のための基礎データとして活用できる。

**【研究成果の発表状況】**

なし

(発表予定)

なし

**【国内外の研究動向】**

[ 民間の研究の現状と動向 ]

特に無し

(参考文献)

なし

[ 海外の研究の現状と動向 ]

特に無し

(参考文献)

なし

**【研究評価(自己評価)】**

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
  - ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- (その理由：
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

**【自由評価欄】**

特になし。

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

○ 3 - 3 ( 3 - 3 - 7 )

### 【研究課題名(Title)】

負圧監視・管理のシステム開発に関する研究

( research on ventilation system for under pressure surveillance and administration )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 伊波 慎一 ( いなみ しんいち )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 施設管理部 施設保全第一課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33 電話番号 : 029-282-1111

(Name) Shinichi INAMI

(Title of Function) Facility Maintenance Section , Facility Management Division, Tokai Re-Processing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 〒319-1194 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibarakiken, Japan ,  
Phine : 81-029-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 竹内 謙二 ( たけうち けんじ : Kenji TAKEUCHI )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 施設管理部 施設保全第一課

(Facility Maintenance Section , Facility Management Division, Tokai Re-Processing Center, Tokai Works

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 再処理センター

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

核燃料施設の動的閉じ込め機能としての換気設備において、急激な圧力変動を伴う過渡的变化に対して、施設（主にセル）の負圧の変化を調べることによって、換気設備のシステムに関わる基礎データ、知見を取得し、静的閉じ込め機能に関わる検討を行い、安全裕度を向上した換気設備の設計概念を構築する必要がある。

[ 研究目的 ]

核燃料施設の動的閉じ込め機能としての換気設備において、送排風機の異常により停止及び再起動等の過渡的变化に対して、施設（主にセル）の負圧の変化を調べる等して、換気設備のシステムに係

る基礎データを取得する。これにより、動的閉じ込め機能としての換気設備のシステムの制御等に関する検討を行い、換気設備の設計における安全裕度の基礎となる情報を提供する。

また、換気設備等に関して、安全評価に適用するための故障解析データを取得する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ．負圧監視・管理システムの開発

核燃料施設の動的閉じ込め機能は、送排風機等からなる換気設備で行われているが、この送排風機が異常等により停止、再起動等の過渡的变化を生じて、負圧がこれに伴って変動する。このときの負圧等のデータを採取して、換気設備のシステム、特にダンパ制御、起動制御等とリンクした機能について検討することにより、より閉じ込め安全性を向上させた換気設備のシステムの概念を構築する。

##### ロ．送排風機等保全データの整理

東海再処理施設で蓄積された換気設備等に関する機器の故障データを解析し、確率論的安全評価（PSA）に適用できるようにする。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

イ．現行の東海再処理施設において換気設備における過渡的な変化に対して負圧等の必要なデータを測定し、その挙動・変化について把握する。

ロ．換気設備等における故障解析データ及び保全データの収集を行う。

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

イ．東海事業所再処理センター内分離精製工場において、各種インターロック作動試験時の換気設備における過渡的な変化に対して負圧変動状況について測定を実施した。

本測定の結果、当該施設のセル系統は、換気設備の過渡的な変化においても外気に対し常に負圧を維持していることが分かった（図-1、図-2参照）。

ロ．東海事業所再処理センターの運転において蓄積された換気設備の保全データなどの再整理中である。

#### 【研究の達成状況（平成13年度）】

イ．本測定により、分離精製工場内の換気設備の過渡変化時の負圧データを取得することができたため、所期の成果が得られた。

ロ．換気設備の保全データなどのデータベースに関するシステムの更新中に付き、データの再整理の進捗は遅れている。

#### （今後の予定）

イ．平成14年度については予算確保されていないが、引き続き負圧変動調査を実施する。

ロ．平成14年度については予算確保されていないが、引き続き換気設備の保全データなどの再整理を実施する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

イ．負圧維持に関するシーケンス設計などに活用することができる。

ロ．回転機器の故障確率の算出、保全方法の適正化及び長寿命化への活用が期待される。

#### 【研究成果の発表状況】

#### （発表予定）

なし

#### 【国内外の研究動向】

##### [ 民間の研究の現状と動向 ]

なし

##### （参考文献）

なし

[ 海外の研究の現状と動向 ]

なし

( 参考文献 )

なし

**【研究評価（自己評価）】**

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
( その理由 : )
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

**【自由評価欄】**

これまで、既存施設においてはインターロック作動試験時などの負圧変動についてリアルタイムに測定を実施して確認した経緯はない。このため、本件にて実施設の負圧変動について確認することは、換気設備の基本設計が定常運転状態（換気設備が常時稼働している状態）での負圧管理を想定している施設において、施設の安全性を確認する上で重要であり、施設の安全性の向上においても必要不可欠であると考ええる。

図-1

セル系差圧変動 (インターロックその1)

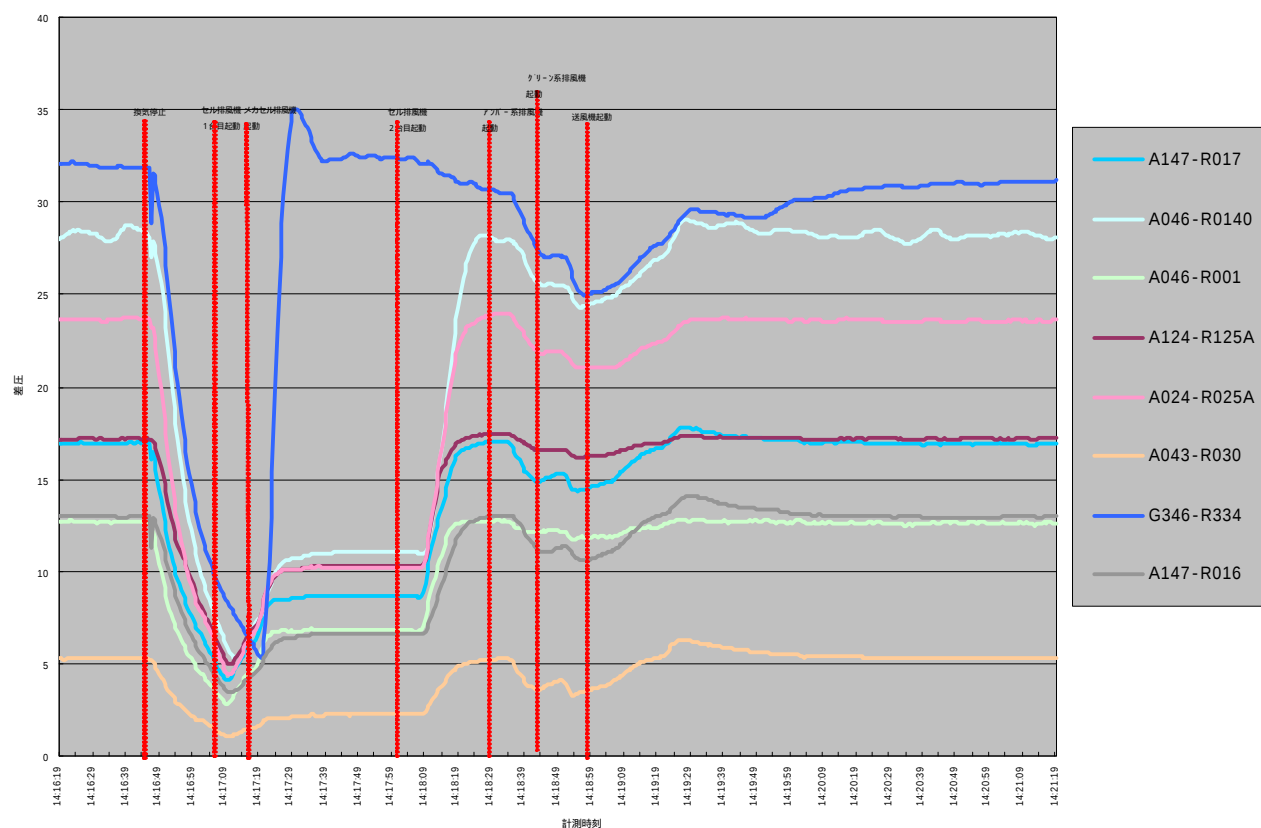
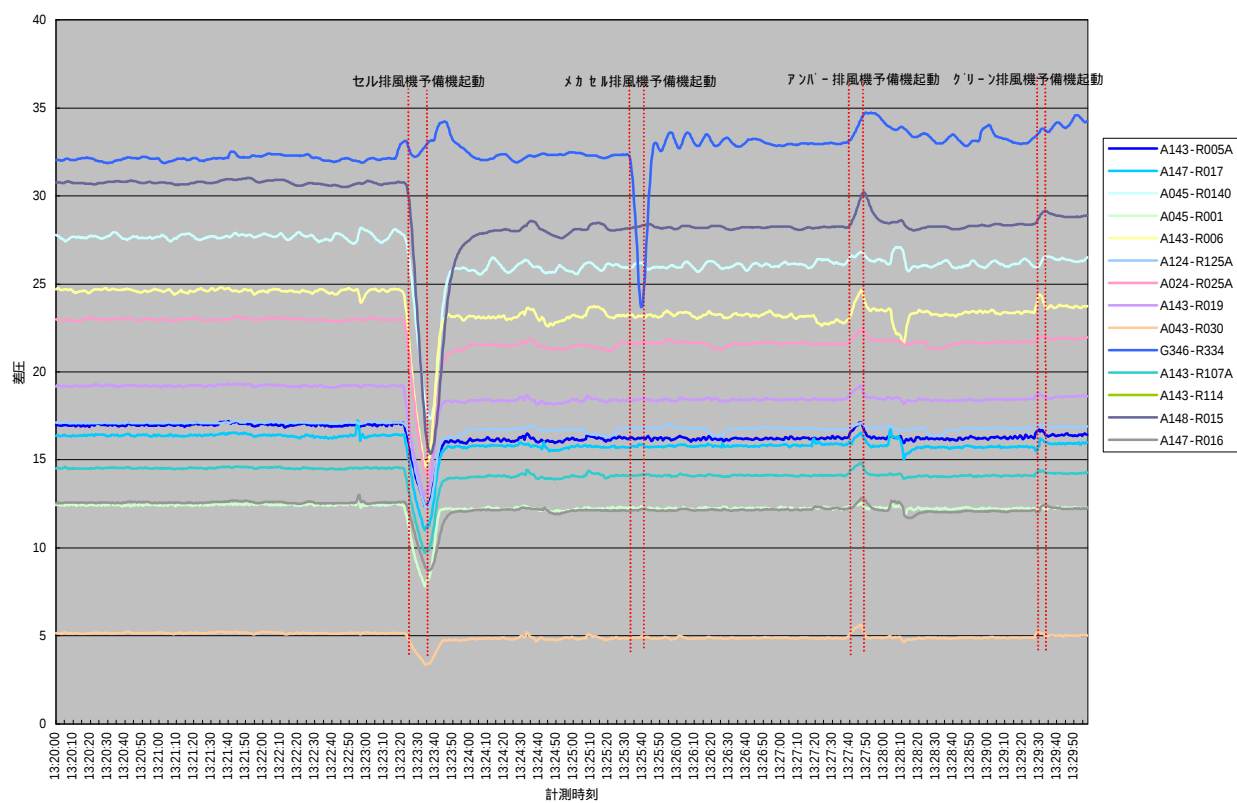


図-2

セル系差圧変動 (インターロックその2)



## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

○ 3・4（3・3・8）

### 【研究課題名(Title)】

グローブボックス等解体技術の開発  
(The development of the grove box dismantling technology)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 安 隆巳(やす たかみ)

[所属] 東海事業所 プルトニウム燃料センター 環境保全部 技術開発室

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号: 029-282-1111

(Name) Takami YASU

(Title of Function) Waste Technology Engineering Section, Waste Management Division,  
Plutonium Fuel Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194, Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 嘉代 甲子男(かしろ かしお: Kashio KASHIRO)

[所属] 東海事業所 プルトニウム燃料センター 環境保全部 技術開発室

(Waste Technology Engineering Section, Waste Management Division, Plutonium Fuel  
Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] なし

### 【使用主要施設】

プルトニウム燃料第三開発室

### 【研究概要】

[研究の経緯]

グローブボックス等核燃料物質で汚染された設備の解体において、金属製の厚物切断には、作業の迅速化を図ることから電気切断方式を用いる場合には、核燃料物質等が微粒子となって拡散する懸念がある。しかしながら、現在の社会情勢では事業者責任として、産業廃棄物は可能な限り低減することが求められており、廃棄物の減容時に発生する微粒子が捕捉できることを確認することは重要な知見の取得となる。

[研究目的]

プルトニウム燃料施設では、建家建設後約 40 年を経過した施設があるとともに、ふげん燃料製

造等のプロジェクトの終了に伴って、今後建家及びグローブボックスのデコミッションが予想される。

その際、グローブボックス等内装設備の切断については、作業の安全性、迅速性及び発生廃棄物低減の観点から、プラズマ切断、レーザ切断等の電気切断方式を採用した遠隔解体手法が考えられる。

このような電気切断方式では、金属等を高温で溶かして切断するため、切断部の金属及びその表面に付着している放射性物質は昇華し、ヒューム状の微粒子となって移行する。

本研究では、切断時に発生する微粒子の挙動を把握するとともに、施設フィルタの捕捉性能を確認する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ.基礎試験

基礎試験では、プルトニウム等を模擬する物質の選定を行い、プラズマ切断及びレーザ切断試験によって発生する微粒子の挙動を把握するとともに、粒子径の確認を行う。

##### ロ.評価試験

基礎試験データを基にプルトニウムを用いて、プラズマ切断機による切断試験を実施する。

また、イ.及びロ.の試験データから各切断機の粒子特性、粒子の移行評価及び施設フィルタの切断粒子に対する捕捉性能評価を行う。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

基礎試験に使用する模擬物質を選定するとともに、平成14年度に実施する基礎試験計画書を作成する。

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

##### 1) 模擬物質の選定

###### (1) 選定結果

酸化ジルコニウム ( $ZrO_2$ )

###### (2) 選定理由

融点が約2700℃で、 $PuO_2$ と $UO_2$ の中間にあり、 $MOX$ に近い。

表1にトレーサ候補化合物の物性を示す。

高温での蒸気圧が $MOX$ に近い。

表2にトレーサ候補化合物の蒸気圧を、添付図—1に $PuO_2$ と $UO_2$ の蒸気圧を示す。

試料の入手が容易である。

##### 2) 基礎試験計画書の作成

酸化ジルコニウムを使用した基礎試験計画書の作成を終了した。

基礎試験装置の概要を添付図—2に示す。

#### 【研究の達成状況（平成13年度）】

模擬物質の選定及び基礎試験計画書の作成を終了したことにより、初期の成果が得られた。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

今後の核燃料取扱施設のデコミッショニング技術を検討するうえでの検証データとして利用する。

#### 【研究成果の発表状況】

なし

#### 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

なし

[ 海外の研究の現状と動向 ]

なし

**【研究評価（自己評価）】**

○ 成果の達成レベル

〔チェック欄〕

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

〔説明欄〕

○ 成果活用方策

〔チェック欄〕

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

〔説明欄〕

○ 計画の進捗状況

〔チェック欄〕

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：)
- ☐ 計画以上に進捗した。

〔説明欄〕

**【自由評価欄】**

表1 トレーサ候補化合物の物性

| 元素名 | 元素系列    | 原子量    | 化合物                            | 分子量    | イオン半径 | 結晶形 | 融点(°C)    | 沸点(°C) | 溶解度               |
|-----|---------|--------|--------------------------------|--------|-------|-----|-----------|--------|-------------------|
| Al  | (IIIB)族 | 26.98  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 101.96 | 0.5   | 三方  | 2050      | 2980   | 不、難(酸、アルカリ)       |
| Ti  | 第一遷移    | 47.88  | TiO <sub>2</sub>               | 79.88  | 0.68  | 立方  | 1750      | >3000  | 不、溶(硫酸、アルカリ)      |
| Zr  | 第二遷移    | 91.224 | ZrO <sub>2</sub>               | 123.22 | 0.74  | 単斜  | 2715      | 約5000  | 不、溶(硫酸、HF)        |
| Hf  | 第三遷移    | 178.49 | HfO <sub>2</sub>               | 210.49 | 0.75  | 単斜  | 2758      |        | 不                 |
| W   | 第三遷移    | 183.84 | WO <sub>3</sub>                | 231.84 |       | 斜方  | 1473      | 1837   | 不、溶(アルカリ)         |
| Ce  | ランタニド   | 140.11 | CeO <sub>2</sub>               | 172.11 | 0.92  | 立方  | 2600      |        | 不、溶(硝酸、硫酸*)       |
| U   | アクチニド   | 238.03 | UO <sub>2</sub>                | 270.03 | 0.93  | 立方  | 2878      | —      | 不、溶(硫酸、濃塩酸)       |
| Pu  | アクチニド   | 240    | PuO <sub>2</sub>               | 272    | 0.9   | 立方  | 2390(He中) |        | 難、溶(熱濃硝酸、熱濃硫酸、弗酸) |

\*)還元剤(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、SnIIその他)があるときのみ酸にだけ、Ce<sup>3+</sup>水溶液となる。

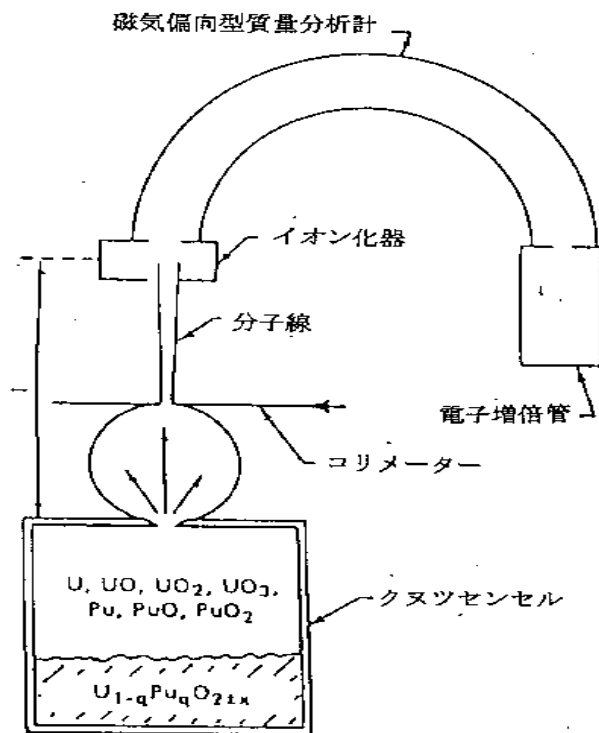
注)溶解度欄 はじめの「溶」、「難」、「不」とあるのは水に対する溶解度の目安、次の「溶」、「難」のあとのカッコ内は溶媒を示す。

表2 トレーサ候補化合物の蒸気圧 (単位: atm)

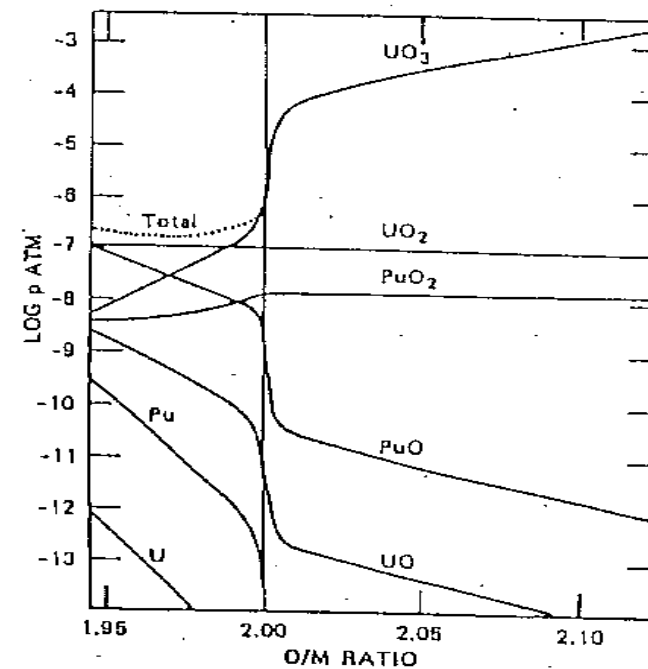
| 化合物                                | 生成物                       | 1500°C   | 2000°C   | 2500° K  | 2500°C   | 3000°C   | 3500°C   | 4000°C   |
|------------------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ | Al                        |          |          |          | 7.73E-08 | 1.04E-04 | 2.66E-02 | 2.01E-01 |
|                                    | AlO                       |          | 2.48E-09 | 1.36E-07 | 6.40E-06 | 1.35E-03 | 7.20E-02 | 1.55E-01 |
|                                    | $\text{AlO}_2$            |          | 2.03E-09 | 5.36E-08 | 1.19E-06 | 7.72E-05 | 1.32E-03 | 2.09E-02 |
|                                    | $\text{Al}_2\text{O}$     |          |          |          | 1.51E-09 | 1.14E-05 | 1.04E-02 | 1.07E-03 |
|                                    | $(\text{AlO})_2$          |          |          |          | 6.70E-09 | 8.63E-06 | 1.69E-03 | 9.61E-04 |
|                                    | $\text{Al}_2$             |          |          |          |          |          | 1.42E-06 | 4.39E-05 |
|                                    | $\text{Al}_2\text{O}_3$   |          |          |          |          | 3.90E-07 | 2.67E-05 | 6.25E-06 |
|                                    | AlN                       |          |          |          |          | 1.36E-09 | 7.71E-07 | 6.17E-06 |
| 合 計                                |                           | —        | 4.50E-09 | 1.89E-07 | 7.68E-06 | 1.56E-03 | 1.12E-01 | 3.79E-01 |
| $\text{TiO}_2$                     | TiO                       |          | 1.21E-08 | 7.16E-07 | 3.91E-05 | 6.90E-03 | 2.74E-01 | 3.13E-01 |
|                                    | $\text{TiO}_2$            |          | 7.18E-07 | 1.16E-05 | 1.72E-04 | 5.26E-03 | 3.71E-02 | 8.41E-03 |
|                                    | Ti                        |          |          |          |          | 5.37E-07 | 3.25E-04 | 4.13E-03 |
| 合 計                                |                           | —        | 7.35E-07 | 1.25E-05 | 2.18E-04 | 1.37E-02 | 4.24E-01 | 7.04E-01 |
| $\text{ZrO}_2$                     | $\text{ZrO}_2$            |          | 6.55E-07 | 1.50E-05 | 3.14E-04 | 1.43E-02 | 1.75E-01 | 3.62E-01 |
|                                    | ZrO                       |          |          |          | 6.51E-09 | 9/26E-06 | 2.22E-03 | 6.79E-02 |
|                                    | Zr                        |          |          |          |          |          | 8.24E-07 | 4.25E-04 |
|                                    | ZrN                       |          |          |          |          |          | 2.25E-09 | 6/77E-07 |
| 合 計                                |                           | —        | 6.55E-07 | 1.50E-05 | 3.14E-04 | 1.43E-02 | 1.77E-01 | 4.30E-01 |
| $\text{HfO}_2$                     | HfO                       |          |          |          |          | 1.60E-06 | 1.79E-04 | 1.35E-02 |
|                                    | $\text{HfO}_2$            |          |          |          | 9.03E-09 | 9.22E-07 | 4.78E-05 | 5.89E-04 |
|                                    | Hf                        |          |          |          |          |          | 1.26E-08 | 1.42E-05 |
| 合 計                                |                           | —        | —        | —        | 9.03E-09 | 2.52E-06 | 2.27E-04 | 1.41E-02 |
| $\text{WO}_3$                      | $\text{WO}_2$             |          | 1.25E-06 | 2.23E-05 | 3.76E-04 | 1.99E-02 | 2.11E-01 | 2.77E-01 |
|                                    | WO                        |          |          |          | 3.82E-08 | 3.43E-05 | 3.00E-03 | 2.78E-02 |
|                                    | $\text{WO}_3$             | 9.24E-07 | 3.83E-04 | 1.36E-03 | 4.63E-03 | 2.36E-02 | 4.40E-02 | 1.11E-02 |
|                                    | $(\text{WO}_2)_2$         | 4.82E-03 | 3.12E-01 | 3.23E-01 | 3.22E-01 | 2.84E-01 | 8.64E-02 | 8.72E-04 |
|                                    | $\text{W}_3\text{O}_8$    | 2.13E-06 | 2.01E-03 | 2.45E-03 | 2.89E-03 | 3.40E-03 | 7.61E-04 | 1.35E-06 |
|                                    | $(\text{WO}_2)_3$         | 5.98E-04 | 1.33E-02 | 5.12E-03 | 1.91E-03 | 4.09E-04 | 2.57E-05 | 1.25E-08 |
|                                    | $\text{W}_5\text{O}_{15}$ | 1.62E-04 | 3.91E-04 | 2.05E-05 | 1.05E-06 | 1.27E-08 |          |          |
|                                    | $(\text{WO}_2)_4$         | 4.62E-05 | 7.14E-04 | 1.29E-04 | 2.28E-05 | 1.63E-06 | 2.69E-08 |          |
|                                    | W                         |          |          |          |          | 2.34E-08 | 2.01E-05 | 1.47E-03 |
| 合 計                                |                           | 5.63E-03 | 3.29E-01 | 3.32E-01 | 3.32E-01 | 3.32E-01 | 3.45E-01 | 3.18E-01 |
| $\text{CeO}_2$                     | CeO                       |          | 4.26E-09 | 2.08E-07 | 7.64E-06 | 1.09E-03 | 3.24E-02 | 3.20E-01 |
|                                    | Ce                        |          | —        |          |          | 1.94E-08 | 1.46E-05 | 3.11E-03 |
| 合 計                                |                           | —        | 4.26E-09 | 2.08E-07 | 7.64E-06 | 1.09E-03 | 3.24E-02 | 3.23E-01 |
| $\text{UO}_2$                      | $\text{UO}_2$             |          | 7.51E-06 | 7.51E-06 | 1.72E-03 | 5.23E-02 | 3.27E-01 | 3.26E-01 |
|                                    | $\text{UO}_3$             | 2.92E-05 | 1.56E-02 | 1.56E-02 | 1.98E-01 | 2.97E-01 | 2.09E-01 | 1.31E-01 |
|                                    | UO                        |          |          |          | 1.67E-08 | 5.46E-05 | 1.02E-02 | 4.06E-02 |
|                                    | U                         |          |          |          |          | 5.12E-09 | 2.87E-05 | 4.76E-04 |
| 合 計                                |                           | 2.92E-05 | 1.56E-02 | 1.56E-02 | 2.00E-01 | 3.49E-01 | 5.46E-01 | 4.97E-01 |
| $\text{PuO}_2$                     | PuO                       |          |          |          |          | 1.32E-03 | 3.39E-01 | 2.22E-01 |
|                                    | $\text{PuO}_2$            | 1.03E-09 | 8.04E-06 | 1.34E-04 | 1.34E-04 | 4.56E-02 | 9.65E-02 | 1.42E-01 |
|                                    | Pu                        |          |          | 6.18E-08 | 6.18E-08 | 6.89E-08 | 8.30E-05 | 1.53E-03 |
| 合 計                                |                           | 1.03E-09 | 8.04E-06 | 1.34E-04 | 1.34E-04 | 4.69E-02 | 4.35E-01 | 3.65E-01 |

注) 2500°C~4000°Cのデータは外挿計算による。

1.00 x 10<sup>-2</sup> atm 以上の分圧を太字で示す。1.00 x 10<sup>-10</sup> atm 以下の分圧は省略した。



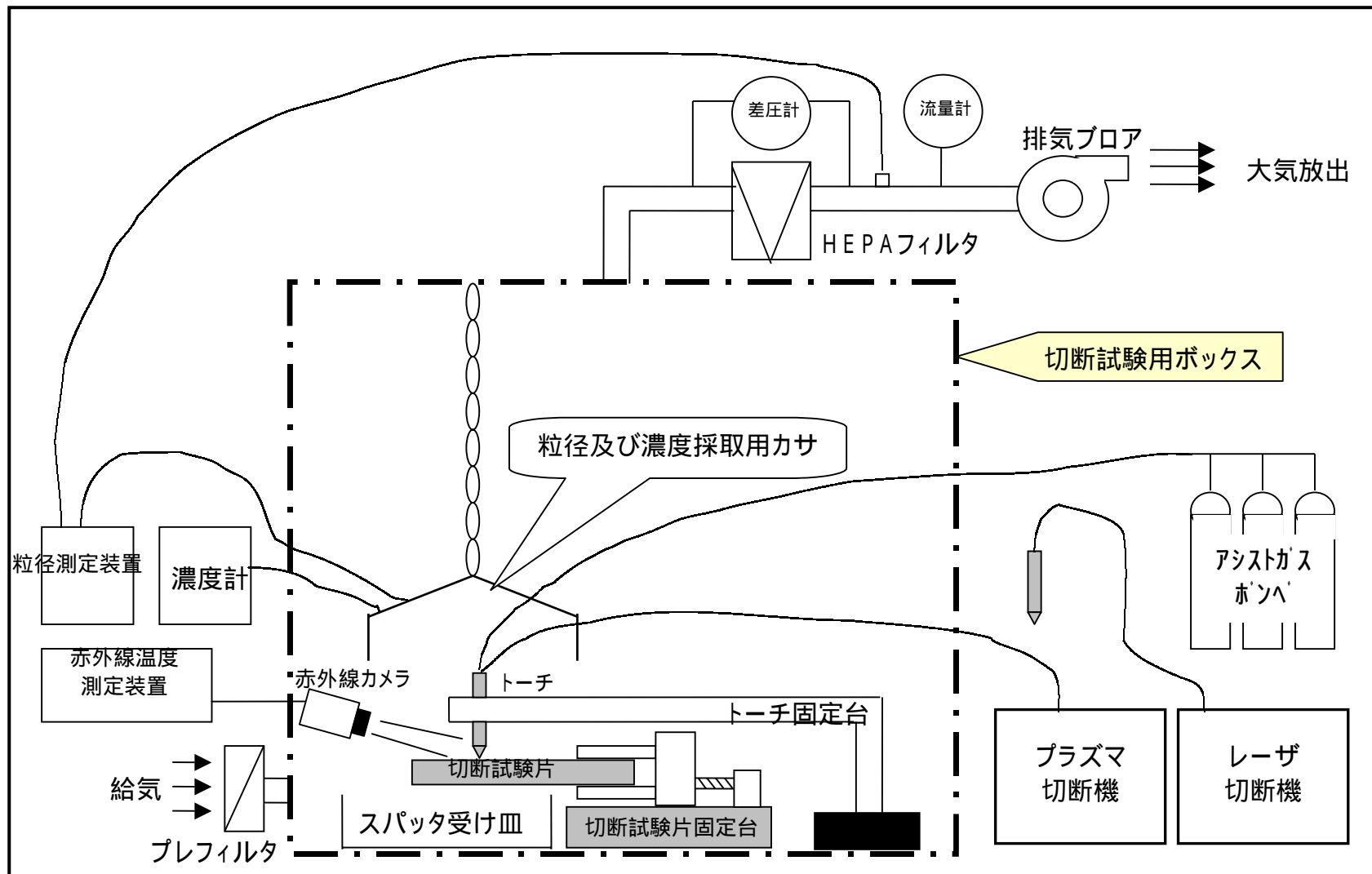
クヌツセンサー：U、Pu 固体酸化物燃料の平衡蒸気圧の  
組成測定用質量分析計



2000° KにおけるU0.85、Pu0.15、O2±xの各分圧（計算）

[From M.H.Rand and T.L.Markin, Thermodynamics of Nuclear Materials—1967,  
Symposium Proceedings, Vienna, 1967, International Atomic Energy Agency, Vienna,  
1968(STI/PUB/162).]

添付図—1 UO2,PuO2のO/Mと蒸気圧の関係



添付図・2 基礎試験装置概要

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成13年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 3 - 5

### 【研究課題名(Title)】

核燃料施設への静的安全機器の適用性に関する研究

(Research on the Application of Apparatuses with Static Safety for Nuclear Fuel Cycle Facilities)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 岡 努(おか つとむ)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 安全研究グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33、電話番号：029-282-1111

(Name) Tsutomu OKA

(Title of Function) Safety Study Group, Radiation Protection Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 蛭町 秀(ひるまち すぐる: Suguru HIRUMACHI)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 安全研究グループ

(Safety Study Group, Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

安全工学実験室等

### 【研究概要】

[研究の経緯]

再処理施設の高レベル廃液貯蔵施設等では、放射線分解により水素や崩壊熱が発生している。現在は、動力を用いたシステムによってこれらの除去を行っているが、地震やその他の事故による全電源喪失により、動力源の供給が停止した場合、あるいは、動的機器そのものの故障等による停止時には、水素や崩壊熱の蓄積、これらの影響による閉じ込め機能の喪失により環境に放射性物質が放出される事故が考えられる。このため、動力源の供給を必要とせず、動的な稼働部を有さない静的原理による除去システムの検討が必要である。

[研究目的]

再処理施設の高レベル廃液貯蔵施設等で発生する放射線分解水素や崩壊熱の除去について、電気や動的機器を用いない静的除去システムの成立性、適用性について、その可能性を検討する上で基礎的な試験を継続し、データを収集、整理し、当該システムの詳細かつ現実的な解析のためのモデルの構築、コードの整備を図り、システム設計や安全解析に資する。

### 【研究実施状況（平成13年度）】

イ．静的水素除去システムの研究

これまでに実施した水素酸素再結合触媒を用いた水素除去特性試験の成果に基づき、課題の全体まとめを行い、これに基づき試験計画の策定を行った。

ロ．静的熱除去システムの研究

これまでに実施した分離型熱サイフォン式ヒートパイプを用いた除熱性能特性試験の成果に基づき、課題の全体まとめを行い、これに基づき試験計画の策定を行った。

核燃料施設への静的安全機器の適用に関する研究について、これまでの試験結果に基づき次年度以降

の試験計画の検討、策定について当初の計画通り実施できた。

（今後の予定）

イ．静的水素除去システムの研究

今後の課題として、触媒に添加する金属の種類、分量等の触媒組成や、触媒の形状効果による水素除去特性の確認試験等を実施する必要がある。

ロ．静的熱除去システムの研究

今後の課題として、ヒートパイプの本数や配置等をパラメータとした、除熱性能の確認試験等を実施する必要がある。

なお、１４年度からは試験装置を用いた試験が予定されているが研究資源の確保が困難な状況にある。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

新規施設、設備の設計、保守・保全の安全性向上に資する。

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

4 - 1 ( 3 - 4 - 3 )

### 【研究課題名(Title)】

臨界監視技術の高度化に関する研究

( The Study of Advanced Criticality Accident Monitoring Technology )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 百瀬 琢磨 ( ももせ たくまる )

浅野 智宏 ( あさの ともひろ )

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 線量計測課

放射線管理第二課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話 : 029-282-1111

(Name) Takumaro MOMOSE, Tomohiro ASANO

(Title of Function) Radiation Dosimetry and Instrumentation Section,  
Reprocessing Radiation Control Section,  
Radiation Protection Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan  
Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 辻村 憲雄 ( つじむら のりお : Norio TSUJIMURA )

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 線量計測課

(Radiation Dosimetry and Instrumentation Section, Radiation Protection Division, Tokai Works)

[ 氏名 ] 三上 智 ( みかみ さとし : Satoshi MIKAMI )

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第二課

(Reprocessing Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

核燃料サイクル開発機構 計測機器校正施設

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

イ．臨界警報装置の高度化

臨界警報装置は、臨界事故が発生した場合、退避の対象となる区域にいる作業者を迅速に退避させ

ることができるよう、臨界を速やかに検知し、警報を吹鳴させる装置であり、高い信頼性が要求される。現在、施設に設置している臨界警報装置は、1970年代後半に開発したものであり、既に20年が経過している。そこで、最新の放射線計測技術を駆使した、より信頼度の高い次世代臨界警報装置を開発する。

#### ロ．臨界安全監視システムの開発

事故に起因する放射性物質の放出に関する情報は、施設周辺環境への影響を把握し、原子力防災対策上も迅速かつ適切な措置を決定するために重要である。臨界事故時には多種類の放射性希ガスが放出されるが、JCO 臨界事故の経験から、周辺環境影響評価には核種毎の放出量のリアルタイムでの把握が重要であることが認識された。このため、臨界安全管理の一環として臨界事故時の放射性希ガスの測定及び評価方法の開発を行うこととした。

### [ 研究目的 ]

臨界事故の未然防止、発生検知のための監視装置の高度化開発を行い、核燃料サイクル施設の臨界安全管理技術の信頼性向上、施設の運転安全性の向上に資する。

### [ 研究内容 ]

#### イ．臨界警報装置の高度化

既存の臨界警報装置について作動条件の把握、誤作動の防止措置等信頼性向上のための調査・試験を行い、装置の高信頼性化を図る。また、臨界警報装置の高度化（検知対象、高信頼化システム等）のための調査・検討を行い、次世代型臨界警報装置開発のための知見を得る。

#### ロ．臨界安全監視システムの開発

臨界事故時の放出等に関する放射線管理情報をより迅速及び的確に把握するため、放射性希ガスの放出などの放射線状況の評価・検討を行う。また、臨界事故時の最適な放出量の測定及び評価方法等の調査を行い、臨界事故時の放出量測定装置等の開発のための知見を得る。

### 【研究の達成目標（平成13年度）】

- イ．既設臨界警報装置の（誤）作動条件等について調査し、その結果を基に、より耐ノイズ性に優れた臨界警報装置用検出器の仕様の検討並びにその特性試験を行う。
- ロ．臨界事故時に発生する放射性希ガスについて、計算コード（ORIGEN）等を用いて組成、放出量を評価するとともに、計算コード（EGS4）を用いて、放射性希ガスの測定体系における計算値と実測値との比較、各種検出器の基本性能の評価、多種類の放射性希ガス混在状態での評価方法の検討を行う。

### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

#### イ．臨界警報装置の高度化

現在、東海事業所の再処理施設及び核燃料物質使用施設に設置している臨界警報装置（5施設、35系統=105台）について、これまでの誤動作等の事例を調査した。シングルフェール（2 out of 3 の論理回路を構成する3台1組の検出器のうち、1台について警報発生レベルを超える誤信号が観測されたもの）の発生率は、調査期間である1989～2001年（13年間）では、計42回、このうち誤警報が1回発生している。検出器1台当りのシングルフェールの平均発生率は、42回/105台/13年であった。誤信号（誤警報）の原因については、電子回路や周囲の状況などに異常はなく、原因を特定できないケースがほとんどであるが、臨界警報装置の検出器内部品の故障あるいは強力な発振回路を内蔵する装置が検出器に近接したことに伴う電磁ノイズの混入事例、また警報設定レベルを低くすることによりシングルフェールの発生頻度が高くなる傾向にあるなど、検出器 - 電子回路系の電氣的な耐ノイズ性の向上が一つの課題になっている。

上記調査結果を踏まえ、次世代臨界警報装置用検出器の仕様を決定するにあたって、電磁波等による電氣的ノイズの影響を受けにくいとされる光通信技術をベースとした放射線検出システムを採用することとした。そこで、臨界警報装置を設置する施設側にシンチレータ等の検出部を、放射線監視室側に光センサー（光電子増倍管）及び電源部をそれぞれ分離して設置し、両者を伝送用光ファイバーで結ぶ検出器システムについて、臨界警報装置としての実現の可否について検討した。検討の第一段階では、シンチレータにヨウ化セシウム、伝送用ファイバーに石英ファイバーを使用し、ファイバー本数、ファイバーの長さによって伝送効率がどのように変化するかを調べた。この結果を踏まえ、より実用規模に近い検出器システムとして、プラスチックシンチレータ、波長シフトファイバー（青色のシンチレーション光を伝送効率の高い緑色に変換する）及び伝送用プラスチックファイバーからなる検出器を新たに試作した。現在、その特性の調査を行っている。

#### □．臨界安全監視システムの開発

臨界事故時に発生する放射性希ガス及びヨウ素等について、計算コード(ORIGEN2.1)を用いて組成、生成量を評価した(図1)。既存の排気モニタ(クリプトンモニタ)は使用済燃料の再処理時に発生するKr-85を対象として計数率と濃度の換算係数が求められているため、臨界事故時に想定される多種類の放射性希ガスが混合した状態でのモニタリングには対応していない。また、図1からも分かるとおり、事故時の放射線状況は、放射性希ガスの混合割合が経過時間に応じ変化する(図2)。そこで、放射性希ガスの混合状態であっても正しい濃度評価が可能な方法の検討として、混合希ガスに対する濃度換算係数算出プログラムを試作することとした。試作に当たってはまず、既存のクリプトンモニタを対象にKr-85を線源として計算コード(EGS4)による計算値と実ガス校正による実測値との比較を行った。その結果、過去の実ガス校正結果の平均値が $4.73\text{E-}2[\text{Bq}/\text{cm}^3/\text{cpm}]$ に対し、EGS4による計算結果は $4.78\text{E-}2[\text{Bq}/\text{cm}^3/\text{cpm}]$ であり、放射性希ガス測定体系のモデル化の妥当性を確認した。次にこのモデルを用いて核種毎の濃度換算係数を計算し、ORIGENコードで計算した経過時間に応じた希ガスの混合割合とEGS4コードで計算した核種毎の濃度換算係数を組み合わせることで、混合ガスとしての濃度評価が可能な計算プログラムを試作した。また、各種検出器に関して情報収集を行い、放射性希ガスの試作測定器への適用可能性のある有効な情報が得られている。

#### 【研究の達成状況(平成13年度)】

##### イ．臨界警報装置の高度化

既設臨界警報装置の誤信号発生状況の調査結果をもとに、次世代臨界警報装置の開発にあたって、耐ノイズ性の向上を目標にあげ、光ファイバー技術を利用した臨界警報装置用検出器を試作し、特性試験を実施した。

##### □．臨界安全監視システムの開発

臨界事故時に発生する放射性希ガス等の組成、生成量の計算による評価、並びに放射性希ガスの測定体系における計算値と実測値との比較及び多種類の放射性希ガスの混在状態での濃度評価が可能な計算プログラムの試作により、所期の成果が得られた。

(今後の予定)

##### イ．臨界警報装置の高度化

平成13年度に試作した、プラスチックシンチレータ、波長シフトファイバ及び伝送用光ファイバーからなる放射線検出器について、特性試験を継続する。また、現在、再処理施設の一部の工程では濃縮 $^{235}\text{U}$ を利用した中性子用臨界警報装置が使用されているが、 $^{235}\text{U}$ は国際規制物質であり、装置の取扱に際し様々な制限を受けるため、それに代わる中性子検出器について調査を開始する。

##### □．臨界安全監視システムの開発

平成14年度以降は、臨界事故時に発生する放射性希ガスの試作測定器の設計、製作、試験を行う計画である。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

イ．再処理施設及び核燃料物質使用施設の臨界警報装置への適用が期待できる。

□．今回試作した混合希ガスの濃度評価を行う計算プログラムの考え方は臨界事故時に発生する放射性希ガスのリアルタイム測定評価システムへの活用が期待できる。

#### 【研究成果の発表状況】

なし

(発表予定)

なし

#### 【国内外の研究動向】

[民間の研究の現状と動向]

イ．臨界警報装置の開発に関する研究は、国内ではほとんど報告されていない。ただし、炉計装分野、多点式エリアモニタなどで、光ファイバー技術を利用した放射線検出器が幾つか報告されている。

□．日本原子力研究所等から核種分析に基づく希ガスモニタリングに関連する報告がある。その他、希

ガスの測定技術に関する文献調査の結果、環境における希ガスモニタリングに関する報告等があるが、臨界事故時の放出源情報を迅速に得るためのモニタ等に関する文献は見あたらなかった。

(参考文献)

イ.

(1)前川立行, 光導波型シンチレータによる放射線多点計測, JAERI Conf-95-2, 24-27(1995)

(2)Y.Yamane et al., Measurement of the thermal and fast neutron flux in a research reactor with a Li and Th loaded optical fibre detector, Nuclear Instruments & Method in Physics Research A432, 403-409(1999)

ロ.

(1)M.Yoshida, et al: " A Calibration Technique for Radioactive Gas Monitor with a Built-in Germanium Detector ", IRPA-10,Proceedings, P-3a-151, CD-ROM

(2) M.Katagiri,et al: " A nuclide-separation wire precipitator for measurement of noble-gas fission products ", Nuclear Instruments and Method in Physics Research A327(1993)463-468

(3) 宮本ユタカ: " 大気放射性核種モニタリング装置の性能比較とその科学研究への応用 " JAERI-Review 2000-025(2000)

(4)南賢太郎, 他: " 緊急時環境放射線モニタリング ", 日本原子力学会誌 Vol.26, No.9, p753-761(1984)

[ 海外の研究の現状と動向 ]

イ. 既存の臨界警報装置の設置場所の検討などの報告が幾つかあるが、新規開発に関する報告はない。

ロ. 核種分析に基づく希ガスモニタリングに関連する報告がある。その他、希ガスの測定技術に関する文献調査の結果、環境における希ガスモニタリングに関する報告等はあるが、臨界事故時の放出源情報を迅速に得るためのモニタ等に関する文献は見あたらなかった。

(参考文献)

イ.

なし

ロ.

(1)L. Erbeszkorn, et al: " Certified reference gas of  $^{85}\text{Kr}$  in a Marinelli beaker for calibrations of gamma-ray spectrometers,Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 369(1996) 463-466

(2) B. Bjurman,et al: " Simultaneous measurements of radioactive noble gases and aerosols in the vicinity of a nuclear power station ", Nuclear Instruments and Method in Physics Research A274(1989)324-331

(3) H.L.Beck et al: " Spectral composition of the  $\gamma$  ray exposure rate due to noble gas released during a reactor accident ", Health Physics Vol.43, No.3(September), pp.335-343,1982

(4)A. Ringbom: " Development of detection techniques for the Swedish noble gas sampler ", FOA--98-00905-861---SE (1999)

**【研究評価(自己評価)】**

○成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

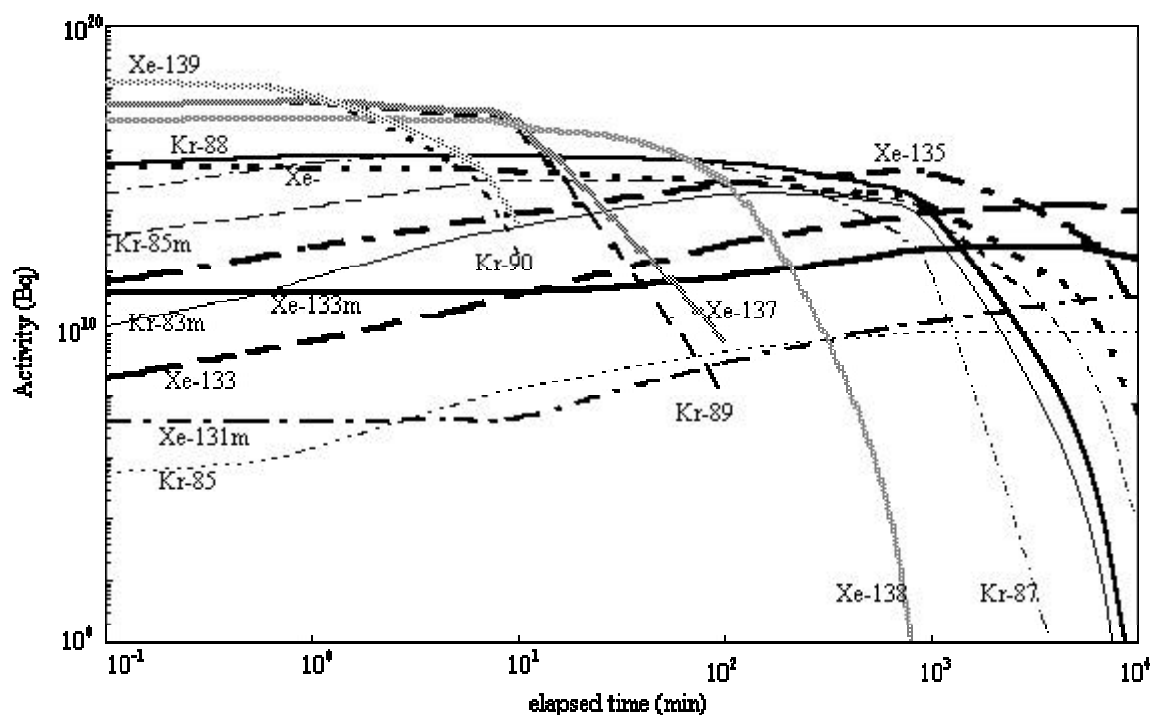


図1 臨界に伴う放射性希ガス生成放射能量の時間変化  
( 計算条件 : origin2.1, PWRUS, 1gU235, 3.23GW × 1sec(=10<sup>20</sup>fissions) )

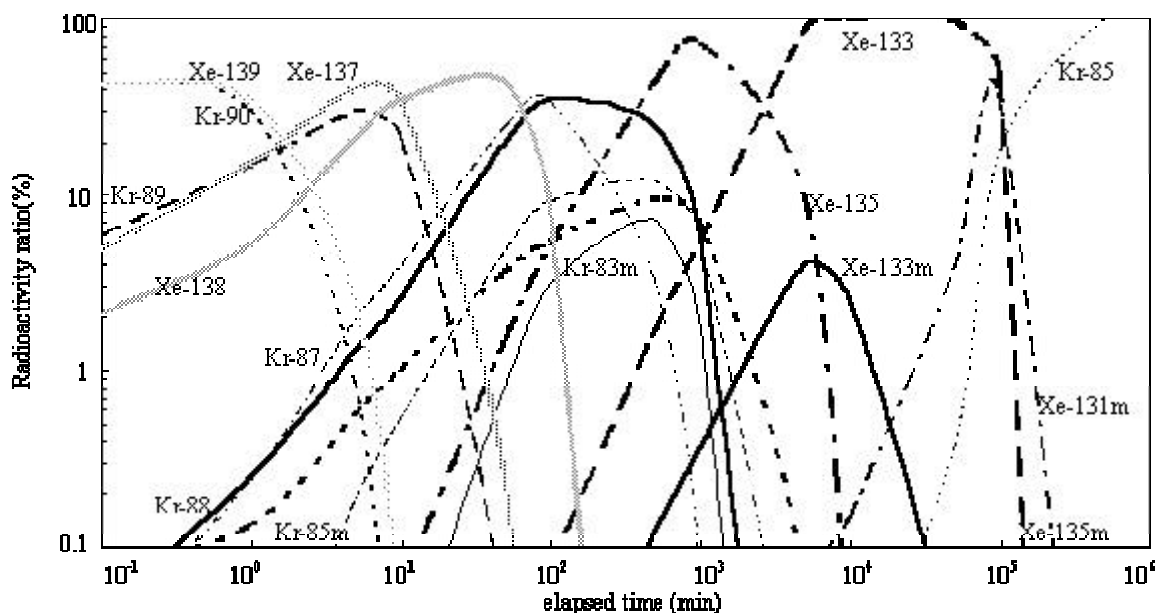


図2 臨界発生後の放射性希ガス核種混合割合の時間変化  
( 計算条件 : origin2.1, PWRUS, 1gU235, 3.23GW × 1sec(=10<sup>20</sup>fissions) )

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

4 - 2 ( 3 - 4 - 4 )

### 【研究課題名(Title)】

走行式放射線モニタの高度化に関する研究

(Development of the Self Moving Survey System)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 小林 博英 ( こばやし ひろひで )

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第一課

[ 連絡先 ] 〒319 - 1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 - 33 電話番号:029-282-1111

(Name) Hirohide KOBAYASHI

(Title of Function) Plutonium Radiation Control Section, Radiation Protection Division,  
Tokai Works

(Address and Phone) 〒319-1194 4-33,Muramatsu,Tokai-mura,Naka-gun,Ibaraki-Ken,Japan,  
Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 根本 典雄 ( ねもと のりお : Norio NEMOTO )

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第一課

(Plutonium Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works)

[ 氏名 ] 井崎 賢二 ( いざき けんじ : Kenji IZAKI )

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第一課

(Plutonium Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

プルトニウム燃料施設

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

原子力施設での重大事故発生時においては、事故対応活動を行う上で施設及びその周辺における放射線状況を把握することは重要である。JCO事故対応においても、現場確認、事故対応作業を開始するにあたり作業員の被ばく等を予測する上で事故現場状況が不明であることが問題となった。このような高汚染及び高線量区域においては人による放射線情報収集活動が困難なことから、遠隔による測定監視が望まれる。

そこで、これまで定常（又は平常時の）放射線測定の自動化の一環として技術開発を行ってきた、

走行式放射線モニタの更なる高度化を図り、事故時モニタリングを考慮したモニタ整備という安全研究への展開が強く要請されている。

#### [ 研究目的 ]

大規模かつ自動化されたプルトニウム燃料施設の放射線状況を効率的に確認するとともに作業員の被ばく低減化のため、走行台車と放射線測定器を組み合わせた走行式放射線モニタを開発し、プルトニウム燃料施設における放射線管理に利用している。

一方、ウラン加工工場臨界事故を受けて、異常時における遠隔での放射線モニタリング機能の強化が必要であることから、現在平常時に利用している走行式放射線モニタを高度化し、臨界事故や有害物質漏えい等の異常時の放射線モニタリングに資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ．走行台車の高度化

建屋図面を入力することで走行ルートが平坦な場所についての走行が可能な走行台車を、図面や段差、エレベータ等の有無に係わらず走行可能となるよう高度化を行う。

##### ロ．情報伝送システムの開発

モニタリング情報の伝送システムを、走行中に蓄積されモニタリング終了後に回収されるバッチ方式から、リアルタイム方式に変更する。特に事故時等の放射線状況に関する情報をより迅速かつ的確に把握するため、映像、放射線測定データの伝送方法や地下室等の密室からのデータ伝送状況について試験・評価する。

##### ハ．ハンドリング装置の開発

走行ルート上の障害物に対する自己回避機能を持つ走行台車の走行範囲拡大を図るため、障害物を遠隔作業により排除（扉の開放、物品の移動等）するハンドリング装置の開発を行う。

##### 二．走行式放射線モニタの高度化

イ．～ハ．の結果を組み合わせ、走行式放射線モニタの高度化を図る。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

##### イ．走行台車の高度化

プルトニウム燃料施設内の環境（階段・不整面）を調査し、建屋状態に適応した走行台車の設計を行う。

##### ロ．情報伝送システムの開発

モニタリング情報のリアルタイム化のため伝送方式の調査を行う。

##### ハ．ハンドリング装置の開発

障害物（物・扉等）等を回避除去する、機能装置の設計に向けた調査を行う。

##### 二．走行式放射線モニタの高度化

事故時の放射線モニタリングに適応した、走行台車及びモニタの組合わせを検討し走行式放射線モニタの高度化に係わる設計を行う。

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

##### イ．走行台車の高度化

プルトニウム燃料施設内での異常発生時の使用を考慮した走行式放射線モニタの台車部設計を行うにあたり、走行式放射線モニタに求められる機能について適応箇所であるプルトニウム燃料施設で調査を行い、台車の基本性能を決定した。

異常時のモニタ進行ルート分析すると1階の場合は「1階へ入る→外周廊下に入る→工程室へ入る」、2階の場合は「1階へ入る→外周廊下に入る→階段を上がる→工程室へ入る」と走行式放射線モニタには、平面はもとより扉、階段と不整面を走破する能力が要求される。また、作業エリア内で状況を観測するためには小型で機動性が良いものが必要となるが、階段や不整面を通過可能とするためには大掛かりな設備になってしまう。

従って、基本設計ではグローブボックスが配置されたプルトニウム燃料施設の工程室内で、平常時作業用モニタとしても使用できる小型で機動性の高い走行式放射線モニタを指向し、異常時には屋外から走行式放射線モニタを目的箇所まで運搬する運搬台車（クローラ方式）と組合わせた親子型（図 - 1、2）とした。

なお、運搬台車部については、既存ロボット技術からの応用を図ることから防災ロボット技術

の動向調査についても行った。

#### ロ．情報伝送システムの開発

プルトニウム燃料施設内での走行式放射線モニタによる異常時モニタリングは、不整面走行とコンクリート建屋内での遠隔操作が課題として上げられ、データ通信には有線、無線を利用したデータ通信が可能であることから、現在、一般的に使用されている既存システム技術からの動向調査を行った。

データ伝送規格としては無線LANとPHS方式による映像伝送、遠隔操作、データ伝送に対する性能比較を行った結果、映像画質レベルは現在のレートでは低品位ではあるが、中継機であるPHSアンテナが整備されているサイクル機構内では制御、データ伝送がどの位置でも可能であることからPHS利用が有利である。なお、伝送レートは年々向上し今後も更に上がると思われることから、情報伝送システムについては更に改善することが可能である。

#### ハ．ハンドリング装置の開発

走行式放射線モニタにロボットアームを搭載し、遠隔でアームを操作し引き戸、ドア、自動ドア等の開閉が容易に行えるハンドリング技術について、既存技術の動向調査を行った。

産業用のロボットアームを使用し、アーム先端にカメラを搭載して遠隔よりドアの開閉やスイッチの操作を行った場合、遠近感覚や掴むタイミング等操作が非常に困難であり、操作には多くの時間を費やすことが予想される。そのためマニピュレータ先端を立体カメラにより映写する等対策を講じることにより、アーム選択の操作を容易にする必要がある。また、ドア側にドア開閉及びドア通過がスムーズに行うことができるドア開けツールを設置する等の対策も必要である。負圧管理された室内のドア開閉に対してはこれら技術の採用を図る必要がある。

#### ニ．走行式放射線モニタの高度化

プルトニウム燃料施設内における平常時及び事故時の放射線モニタリングに適応した走行台車及び放射線モニタについての高度化に関する基本設計を行った。

走行台車は自走式と遠隔式の2通りのにすることにより平常・事故時での運用が図れる。また、放射線モニタについては、平常モニタリングでは異常の有無を監視することが目的のため低いレンジで精度良い測定が要求され、一方、異常時についてはどの程度の放射線状況かを把握する事が目的のため、高レンジ検出器が必要となることから、各種測定器は目的に応じ使用できるモジュールタイプとし、小型化された走行台車への搭載を容易にする方式とした。

### 【研究の達成状況（平成13年度）】

#### イ．走行台車の高度化

利用条件を検討し、走行台車の設計を行うことにより、所期の成果がえられた。

#### ロ．情報伝送システムの開発

制御およびデータ伝送に活用できる既存のシステム動向調査を行ったことにより、システム開発の見通しが得られた。

#### ハ．ハンドリング装置の開発

想定されるハンドリング作業を解析し動向調査を行ったことにより、装置の開発の見通しが得られた。

#### ニ．走行式放射線モニタの高度化

プルトニウム燃料施設における定常時及び事故時の放射線モニタリングに適応した走行式放射線モニタの設計から、装置開発の見通しが得られた。

（今後の予定）

平成13年度設計による走行式放射線モニタについて、プルトニウム燃料施設における定常時及び事故時の放射線モニタリングについて適用評価を行う。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

走行式放射線モニタは異常時に運搬台車に搭載し、プルトニウム燃料施設の屋外から送り込むことにより、臨界事故等の異常事象に対しての計測を行う有効な装置で、作業員への被ばく等危険因子を軽減することができる。

また、通常の定期的な放射線モニタリングの装置としても広く使用でき作業モニタリングの効率化と省力化を図ることができる。

### 【研究成果の発表状況】

なし  
(発表予定)  
なし

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

原子力事故事象として国際原子力機関( I A E A )が定めるクラス 3 相当( 原子力施設外への影響が及ぶもの )を想定し、( 財 ) 製造科学技術センターで国の補助を受け原子力防災ロボットシステム開発を行っている。

この開発においては災害に実施するであろう対策作業「作業環境の把握」「災害終息支援作業」「復旧作業支援」などを対象とし、機種別に 6 種類のロボットから構成され、作業機能を分散させ複数のロボットで一つのタスクを行わせることが出来る支援システムとなっている。

しかし、原子力施設の特徴である遮へい構造物内における遠隔制御については、モニタ制御及びデータ伝送方法について課題が多く更なる高度化が必要な状態にある。

#### ( 参考文献 )

日本ロボット学会誌 V o l . 1 9

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

#### ( 参考文献 )

### 【研究評価(自己評価)】

#### ○ 成果の達成レベル

##### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

##### [ 説明欄 ]

#### ○ 成果活用方策

##### [ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

##### [ 説明欄 ]

#### ○ 計画の進捗状況

##### [ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
  - ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- ( その理由 : )
- ☐ 計画以上に進捗した。

##### [ 説明欄 ]

### 【自由評価欄】

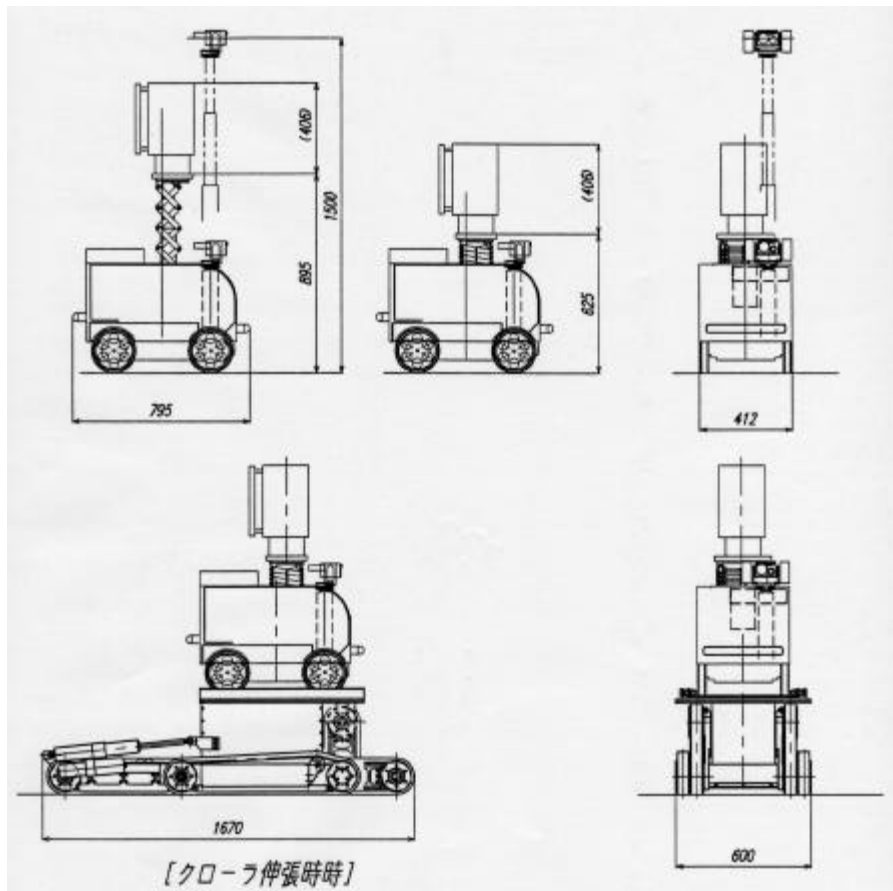


図-1 走行式放射線モニタ システム全体図

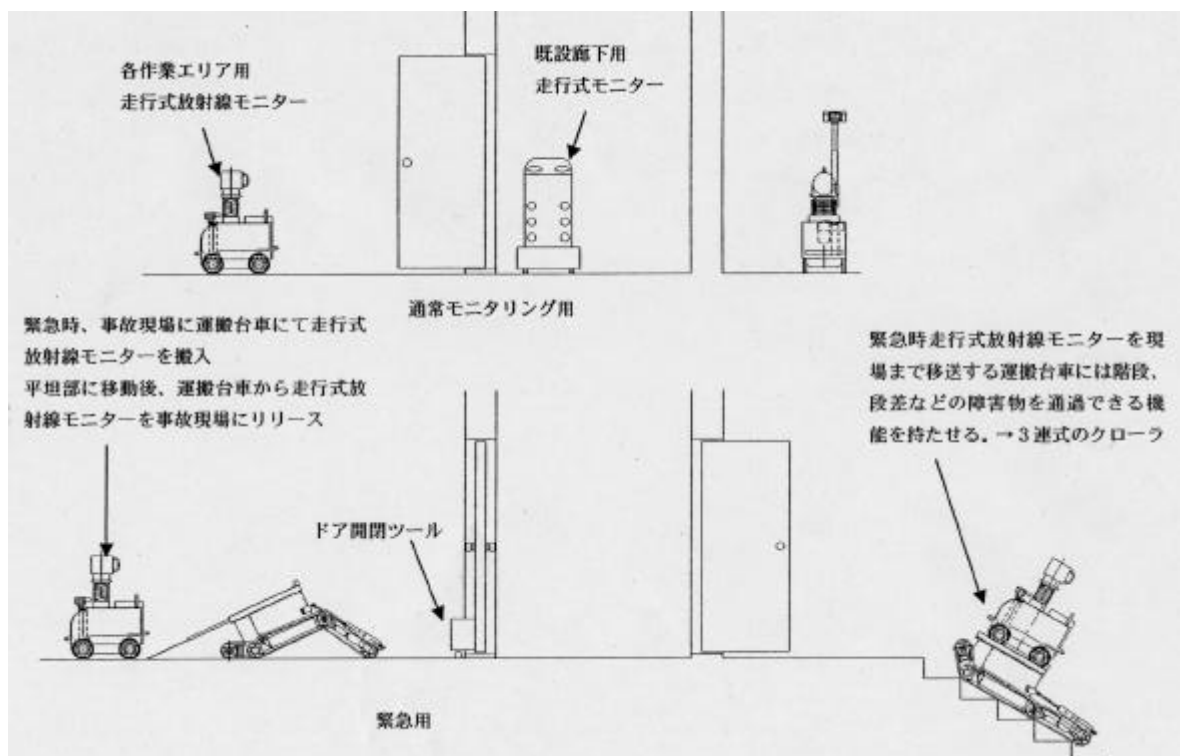


図-2 走行式放射線モニタ 運用概念図

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 4 - 3

### 【研究課題名(Title)】

現場放射線管理の高度化 (Advancement of Radiation Control in the Field)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 鹿志村 芳範 (かしむら よしのり)

[ 所属 ] 大洗工学センター 安全管理部 放射線管理課

[ 連絡先 ] 〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002 電話番号 : 029-267-4141

(Name) Yoshinori KASHIMURA

(Title of Function) Radiation Control Section, Health and Safety Division, O-arai Engineering Center

(Address and Phone) 4002, Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki-gun, Ibaraki-ken, 311-1393, Japan, Phone:+81-29-267-4141

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 橋本 周 (はしもと まこと : Makoto HASHIMOTO)

齋藤 圭 (さいとう けい : Kei SAITOU)

高田 千恵 (たかだ ちえ : Chie TAKADA)

[ 所属 ] 大洗工学センター 安全管理部 放射線管理課

(Radiation Control Section, Health and Safety Division, O-arai Engineering Center)

### 【使用主要施設】

大洗工学センター 安全管理棟、安全管理附属棟

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

放射線測定技術、被ばく影響の評価手法が進展を遂げているにも関わらず、その成果は現場に十分に反映されていない。中性子の測定評価、線量分布の評価、β線測定など、現在の技術を適用すればより高度で合理的な被ばく管理が期待できるが、適用が進んでいない技術は少なくない。これらの知見を効果的に取り入れることで、放射線管理をより高度に展開させ、放射性物質を取り扱う施設の放射線安全性の向上と作業中のより適切な被ばく管理を図り、さらには周辺環境の放射線安全にも効果をもたらすことが期待できる。安全管理に係るコストも今後重要な要素となってくると考えられ、現状の管理レベルを維持しながら省力化を図るためにも、新しい技術の取り入れは不可欠である。また、放射線作業現場で活用されている放射線管理技術は、原子力施設における緊急事態の際にも大いに活用可能であり、現場の放射線管理技術の高度展開は、原子力防災技術の向上にも結びつくものである。

[ 研究目的 ]

原子炉施設や核燃料物質取扱施設における放射線作業、特に中性子線、ベータ線、ガンマ線の混在場に的確に適用できる放射線測定技術を開発し、それによる放射線作業管理の高度化を図り、放射線作業の安全性の向上に資する。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

イ．中性子線量測定技術の高度化

熱/高速中性子同時検出型計数管の設計検討を行った。NRESP-98 等の計算コードを用いて、計数管の構造、材質等の設計条件における検出器出力を模擬し、それらの比較により最適条件を求めた。

#### ロ．ガンマ線混在場におけるベータ線測定技術の開発

測定技術の開発のために、まず計算シミュレーションにより測定機の応答特性を評価することから始めた。ベータ線検出過程を適切に評価するために、計算コード EGS4 を整備し、改良を加えた。十分な計算能力を整備することができた。

#### ハ．シンチレーションファイバによる線量監視システムの開発

マルチチャネル型レートメータの試作機を整備し、シンチレーションファイバと接続して、その基礎特性を確認した。また、シンチレーションファイバの経年劣化特性把握のための、定期的な特性試験を開始した。

#### ニ．ゲートモニタの高度利用手法の開発

ゲートモニタの主要な放射線検出過程であるベータ線の検出過程を適切に評価するために、計算コード EGS4 を整備し、必要な改良を加えた。十分な計算能力を整備することができた。

(今後の予定)

#### イ．中性子線量測定技術の高度化

平成 15 年度に、熱/高速中性子同時検出型計数管の線量測定への適用の成立性、有効性を確認する。

#### ロ． $\gamma$ 線混在場における $\beta$ 線測定技術の開発

平成 17 年度を目途に、トリプルコインシデンス検出器などの  $\beta$  線の選択的測定技術を見出す。

#### ハ．シンチレーションファイバによる線量監視システムの開発

平成 15 年度までに、線量分布の連続監視システムの開発を目指す。

#### ニ．ゲートモニタの高度利用手法の開発

平成 16 年度を目途に、ゲートモニタのデータの高度活用技術の開発を目指す。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

#### イ．中性子線量測定技術の高度化

熱/高速中性子同時検出型中性子検出器により、線量情報と同時に中性子線量評価を行う上で重要なエネルギーに関する情報を収集することができるので、核燃料取扱作業などにおける作業者の中性子被ばくの的確な管理を主眼とするより高度なモニタリングができる。また、測定装置自体も従来よりも小型軽量のものになることが期待でき、取扱時の機動性が向上する。さらに、原子力災害時の中性子モニタリングを従来よりも緻密に展開することができる。

#### ロ． $\gamma$ 線混在場における $\beta$ 線測定技術の開発

$\beta$  線/ $\gamma$  線混在場において、 $\beta$  線による局部被ばくが無視できないような場合における  $\beta$  線による被ばく量の測定及び汚染測定を迅速かつ適切に行うことができる。

#### ハ．シンチレーションファイバによる線量監視システムの開発

位置・時間連続型エリアモニタは、大型機器の取扱や線源物質の移動等による線量の変動を伴う作業での線量管理に適用できる。特に、局所的に高線量箇所が発生するおそれのある作業の管理に有効である。また、原子力災害時の線量分布に関するモニタリングを従来よりも緻密に展開することができる。

#### ニ．ゲートモニタの高度利用手法の開発

ゲートモニタの高度利用を図ることにより、管理区域の出入管理を、現状よりも的確に展開させることができる。また物品等の搬出管理への適切な応用も期待できる。

### 【研究成果の発表状況】

- (1) 橋本周、齋藤圭 学会発表 「 $^3\text{He}$  を用いた熱-高速中性子同時検出型計数管の開発」日本原子力学会 2002 年春の年会

### 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

#### ハ．シンチレーションファイバによる線量監視システムの開発

メーカ数社が、シンチレーションファイバによる線量監視システムを製品化して販売しているが、マルチチャネルレートメータ機能を有していないため、線量表示の即応性に難点がある。

(参考文献)

なし

[ 海外の研究の現状と動向 ]

ロ．トリプルコインシデンス手法に関して、基礎研究が行われている。

( 参考文献 )

- MEASUREMENT OF BETA RAY SPECTRA INSIDE NUCLEAR GENERATING STATIONS USING A SILICON DETECTOR COINCIDENCE TELESCOPE: SKIN DOSE BETA CORRECTION FACTORS FOR TL ELEMENTS, Y.S.Horowitz, et.al., Radiation Protection Dosimetry Vol.64 pp.193-204(1996)
- A BETA-RAY SPECTROMETER BASED ON A TWO-OR THREE SILICON TELESCOPE, Y.S.Horowitz, et.al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A371(1996)522-534
- A BETA SPECTROMETER FOR MONITORING ENVIRONMENTAL MATRICES, M.Palazzalo, et.al., Health Physics 62(2)(91)155-161

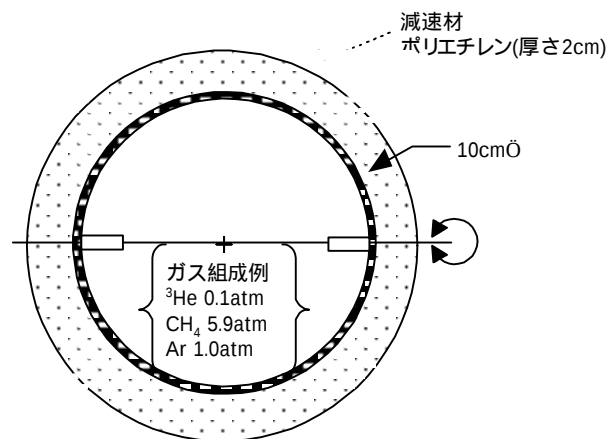


図 1 . 熱/高速中性子同時検出型中性子検出器の設計結果例

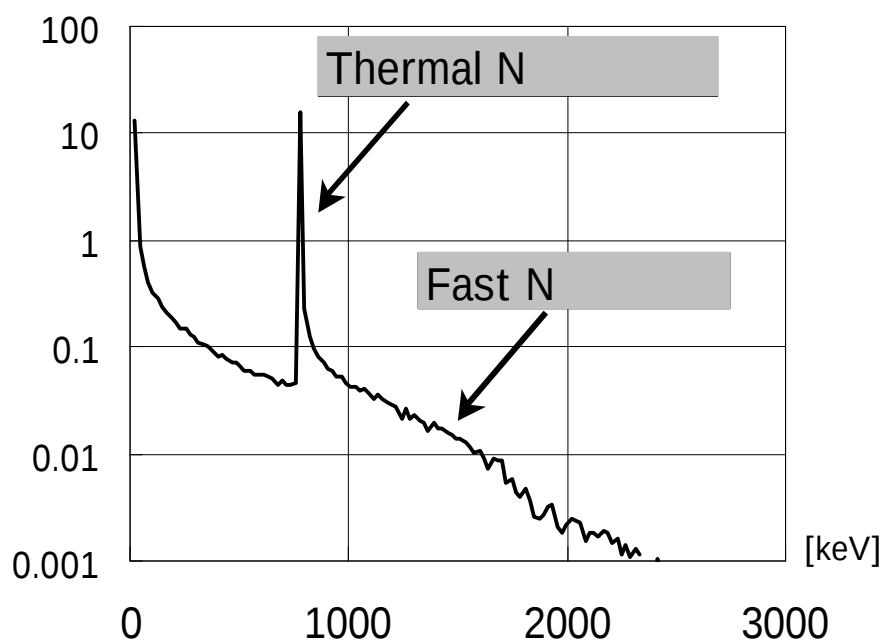


図 2 . 図 1 に示した検出器の出力スペクトル評価結果

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 4・4

### 【研究課題名(Title)】

α線放出核種の放射線管理技術の向上に関する研究

(Research for improving the radiation control technique of alpha radio-nuclides)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 小林 博英(こばやし ひろひで)

武石 稔(たけいしみのる)

圓尾 好宏(まるお よしひろ)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第一課  
環境監視課

人形峠環境技術センター 安全管理課

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号：029-282-1111

(Name) Hirohide KOBAYASHI

Minoru TAKEISHI

Yoshihiro MARUO

(Title of Function)

Plutonium Radiation Control Section,

Environmental Safety Section, Radiation Protection Division, Tokai Works

Environment and Safety Section, Ningyo-toge Environmental Engineering Center

(Address and Phone)

4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 井崎 賢二(いざき けんじ: Kenji IZAKI)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第一課

(Plutonium Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

プルトニウム燃料第三開発室

### 【研究概要】

[研究の経緯]

α線測定による汚染管理は、プルトニウム取扱施設における放射線管理の特徴のひとつである。α線測定では天然放射性核種の影響が大きく、特にα線用空気モニタを用いた空气中放射性物質濃度の連続監視においては、管理目標値とバックグラウンド値の間に1桁程度の余裕しかなく、また、バックグラウンドは換気状態などにより変動することから、微小な汚染の早期検知が困難であり、濃度管理が難しくなっている。

一方で廃棄物の汚染検査においては、α線の飛程が短いため、より測定面に接近したサーベイを行う必要がある。このためには、廃棄物の形状に応じた測定器が必要となるが、現状のサーベイメータでは検出面の形状に制約を受け、廃棄物によっては汚染検査ができないことから、放射性廃棄物として区分処理されるケースがある。

以上のようなことから、α線用空気モニタのバックグラウンド低減及び放射性廃棄物の合理的な管理の観点から不定形物品のサーベイ手法の検討など、α線管理特有の問題の解決に取り組む必要があった。

## [ 研究目的 ]

プルトニウム取扱施設における放射線管理では、プルトニウムの特性を考慮し、 $\alpha$ 線測定による管理を行うとともに厳しい管理基準を設けている。本研究では、天然放射性核種とプルトニウムの弁別測定技術及び $\alpha$ 線測定技術などを向上させることにより、放射線測定の信頼性向上及び合理化を図る。

## 【研究実施状況（平成13年度）】

### イ. 天然放射性核種とプルトニウムの弁別測定技術の評価

これまでに開発してきた弁別技術について調査を行った結果、JNCを含めて国内外で従来行われてきた技術開発は、大きく分けて「放出される $\alpha$ 線のエネルギーの違いを利用した手法」、「 $\alpha$ 線と $\beta$ 線の放出比を利用した手法」、及び、「放射能強度の違いを利用した手法」があり、一部は製品化されている。JNCにおいては、 $\alpha$ 線のエネルギーによる弁別法を取り入れた $\alpha$ 線用空気モニタを使用しているが、現状として、バックグラウンドの高い施設で数十 $\text{min}^{-1}(\text{cpm})$ 程度あり、汚染の早期発見の観点から、さらに弁別技術を向上させなければならない。分別技術を向上させる方法として、いくつかの手法を組み合わせた機能を付加するなど、今後、試験・評価を実施し、改善方法を検討していく。

### ロ. 施設内天然放射性核種の低減に関する調査

施設内天然核種の上昇原因を把握するため、その事前調査として施設内の天然核種の変動傾向について調査を行った。バックグラウンドの変動については施設内の換気と互換性があることが知られているため、本調査においては、以下のような項目を設定し、調査を行った。

#### (1) 施設内換気方式の違いによる空気モニタのバックグラウンド変動調査

東海事業所内使用施設の $\alpha$ 線用空気モニタの指示値について、施設内空気の換気方法との関係を調査した。その結果、施設内空気を循環させている施設とそうでない施設では、変動傾向が異なっていることが確認された。図-1に、施設内換気方式ごとの空気モニタ指示値の変動傾向を示す。

施設内で空気を循環させている施設（以下、「循環換気施設」という）においては、施設内への作業者の出入りが頻繁に行われる時間帯に指示値が上昇し、施設内への出入りが少なくなると指示値が下降し、その後、部屋ごとにあるレベルの指示値に落ち着く傾向が現れた。したがって、作業が実施されている平日においては作業者の入域時刻等がほぼ一定であるため、毎日同様な変動傾向を示し、また、作業者の入域がない休日においては、ほぼ一定のレベルのままになる。図-2に一週間の空気モニタ指示値の変動傾向（循環換気施設）を示す。

一方、施設外の空気を直接施設内に給気し、施設内の空気を循環させることなく施設外に放出している施設（以下、ワンス・スルー換気施設という）については、どの施設も同じ変動傾向を示していた。図-3-a及び図-3-bに施設外の風向と空気モニタ指示値の相関（ワンス・スルー換気施設）を示す。本解析によって得られた変動傾向を以下に示す。

- ・ 施設外の風向と関係があり、ラドンの混在割合の高い「山からの風（西風）」が吹いているときにモニタの指示値は上昇し、ラドンの混在割合の低い「海からの風（東風）」が吹いているときは、モニタの指示値が低下する（モニタろ紙に付着した天然核種が減衰する）。
- ・ 山側からの風が吹いている時間帯において、施設外の大気安定度がGに近い（大気中の拡散が小さい）ときは指示値の上昇割合が大きい、大気安定度がAに近い（大気中の拡散が大きい）ときは上昇割合が低い。
- ・ 施設外の風向データと指示値の関連については、地上70m地点の風向データよりも地上10m付近のデータと関連が強い。

#### (2) 換気機能低下時における天然核種濃度に関する調査

換気状態が低下している施設（CPFのセル工事期間中）及び換気が行われていない施設（Pu3ウラン廃棄物保管室）における天然核種の濃度について調査を行った。

換気が悪い状況では施設内のコンクリートから発生したラドンガスを起源とする天然核種により天然核種濃度が上昇し、施設ごとにある一定の値に落ち着くことが分かった。また、建屋内で外気が混入する場所では、天然核種の濃度が低くなる傾向も確認された。

### ハ. 不定形物品の汚染検査技術の開発

#### (1) 不定形検出面サーベイメータの開発

放射性廃棄物を低減させるためには、あらゆる形状の廃棄物に対して汚染検査を可能にする必要がある。しかし、現在用いられている $\alpha$ 線用サーベイメータ（ZnSシンチレーションサーベイメータ）は、検出面が大きくまた、形も決まっているため、細部の測定が不可能である。

そこで、検出部の形状を任意に変形できるサーベイメータについて検討を行った。

その結果、検出面の形状に制約を与えている部分について改良（代替）が可能であることが分かったため、現在、不定形検出面サーベイメータの開発を進めている。

平成 13 年度に不定形検出面サーベイメータの原型器を製作したが、原型器の問題として中性子感度、 $\gamma$  線感度という問題が生じている。本件に対しては、光電子増倍管を 2 本にし、コインシデンス回路を用いることによって改良を行っているところである。

#### （2）LRAD の性能試験

不定形物品の汚染検査方法として、従来のサーベイメータを用いた方法以外の方法として、 $\alpha$  線によりイオン化された分子を測定する方式「LRAD (Long Range Alpha Detection)」に関して現場適用への評価を行っている。

平成 13 年度は、本装置のバックグラウンド測定及び検出効率の評価を行った。今後、得られたデータを基に検出下限等の評価を行っていく。

#### （今後の予定）

イ． 環境条件の違いによる天然核種の成分の変化を確認するとともに、フィールド試験を実施し、現場適用への比較評価を行う。

ロ． 施設内天然放射性核種の挙動について更なる調査を進め、その結果を基に、バックグラウンドの変動の影響を受けにくい空气中放射性物質濃度管理手法について検討をすすめる。

ハ． 不定形物品の汚染検査技術の開発

不定形検出面サーベイメータの実用化に向け、試作・試験を行う。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究成果は、プルトニウム取り扱い施設の放射線管理に反映させる。

#### 【研究成果の発表状況】

##### （発表予定）

保健物理学会 「建屋換気制限による Rn-Tn 子孫核種増加時の施設放射線管理の経験」

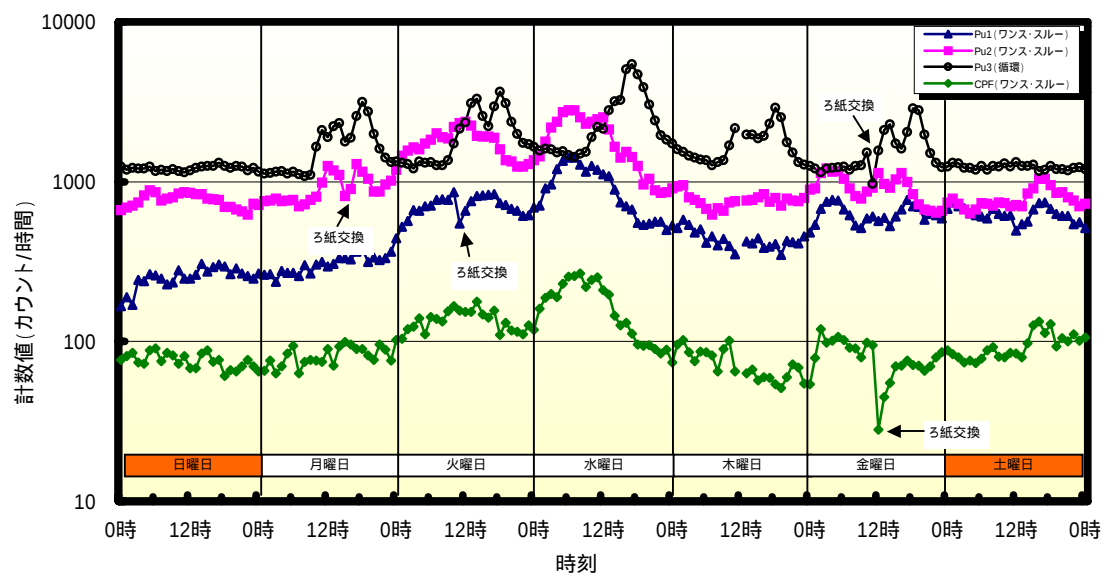


図-1 施設内換気方式ごとの空気モニタ指示値の変動傾向

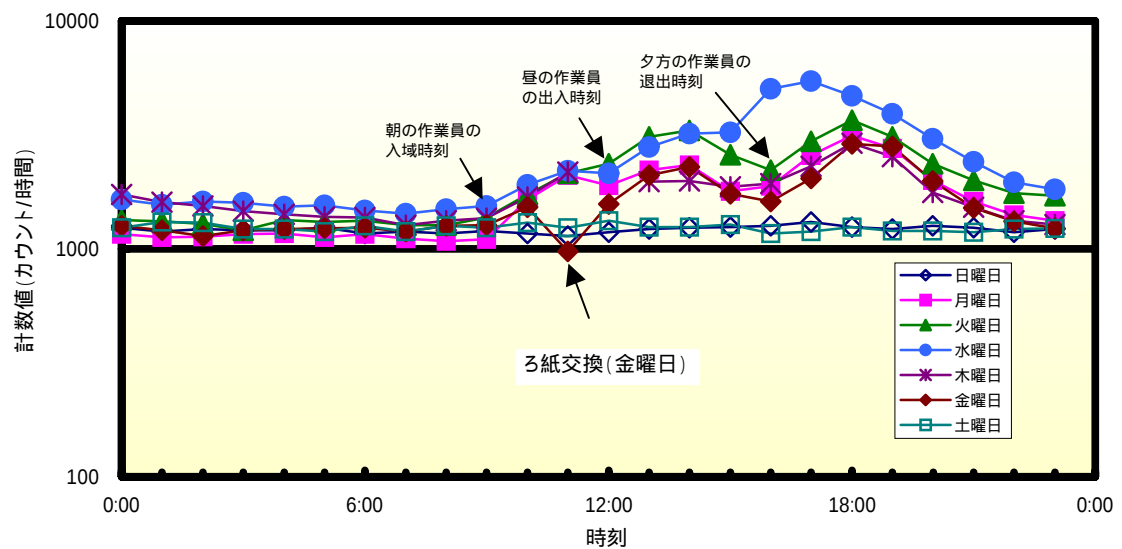


図-2 一週間の空気モニタ指示値の変動傾向(循環空気施設)

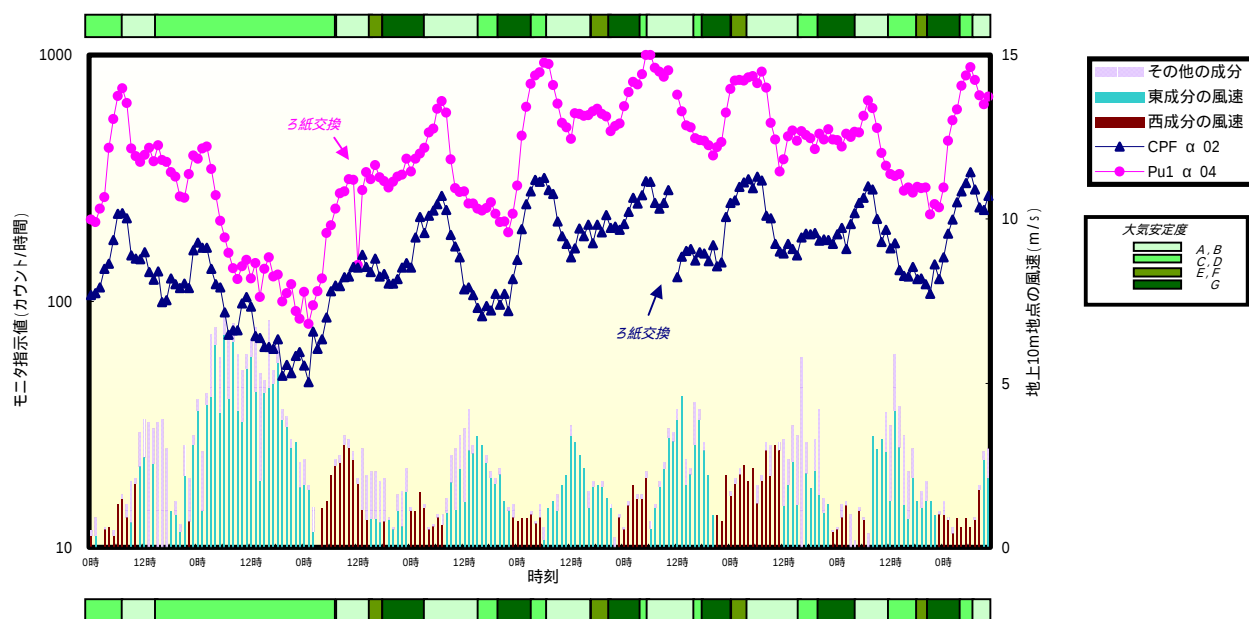


図-3-a 施設外の風向と空気モニタ指示値の相関(ワンス・スルー施設)  
<地上10m地点の風速との関係>

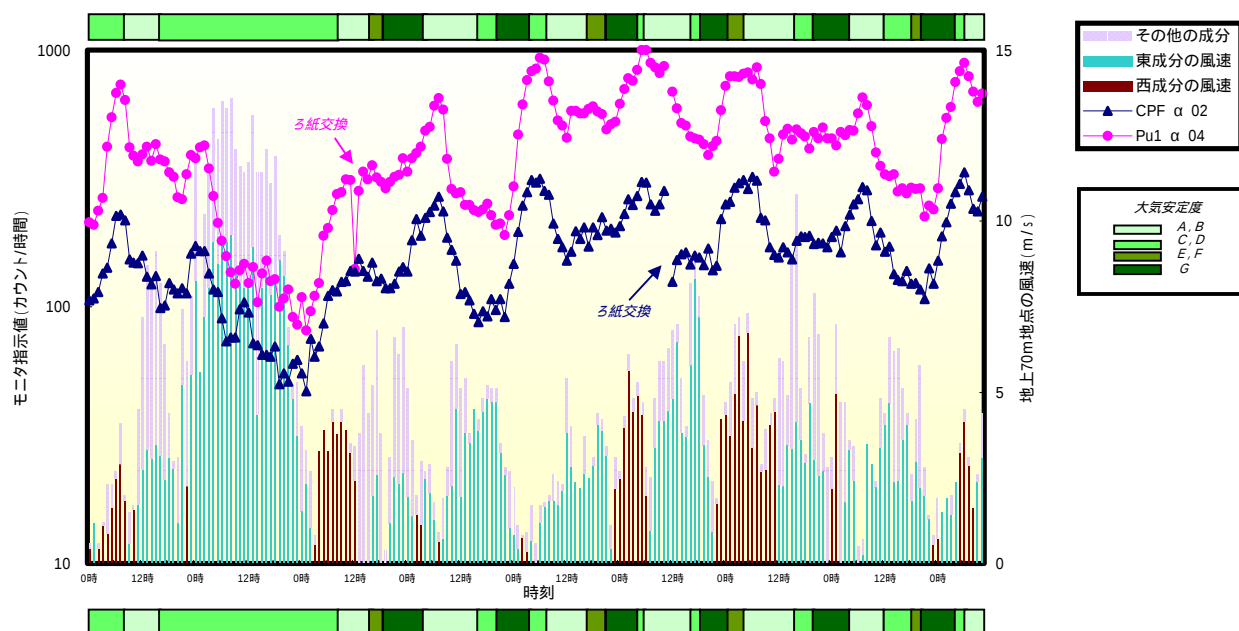


図-3-b 施設外の風向と空気モニタ指示値の相関(ワンス・スルー施設)  
<地上70m地点の風速との関係>

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成13年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 4・5

### 【研究課題名(Title)】

放射線管理用機器の性能向上に関する検討 (A study of improvement for radiation control equipments)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 小林 博英(こばやし ひろひで)

百瀬 琢磨(ももせ たくまる)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第一課

線量計測課

[連絡先] 319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4・33 電話番号 029-282-1111

(Name) Hirohide KOBAYASHI, Takumaro MOMOSE

(Title of Function) Plutonium Radiation Control Section,

Radiation Dosimetry and Instrumentation Section,

Radiation Protection Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194, Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 柴 浩三(しば こうぞう: Kouzou SHIBA)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第一課

(Plutonium Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

プルトニウム燃料製造施設

### 【研究概要】

[研究の経緯]

放射線モニタ等の安定運転のためには、定期点検を確実に実施するとともに効果的な予防保全が重要である。また、運転中に混入するノイズにより発生するモニタ等の誤動作については、原因の特定と解析、さらには十分な対策がとられていなければならない。モニタの誤警報発生は、機器への信頼性が損なわれるばかりでなく、不要な退避による不測の汚染拡大や退避の際にケガなどの二次災害にも繋がるおそれがあり、避けなければならない。

放射線モニタに影響を与えるノイズ源には、ノイズ影響の再現性があり影響が認知されているものや偶発的に発生する発生源の不明なノイズ等様々なものがある。認知されているノイズ源については、効果的な対策を講じることにより機器への影響をなくすることができる。また、偶発的ノイズについては、ノイズ発生のメカニズムを解明し、有効な防護対策を検討しなければならない。

以上のことから、モニタに影響を与えるノイズ源の調査、測定、解析を実施することで、放射線管理用機器の信頼性向上を目的とした対応が必要である。

[研究目的]

放射線管理用機器の誤警報発生原因について調査するとともに、誤警報の発生防止に関する手法を検討し、放射線管理用機器の設計や施設設計に反映することにより、警報の信頼性を向上させることを目的とする。

### 【研究実施状況（平成13年度）】

東海事業所使用施設における過去3年間のノイズによる定置式モニタの警報吹鳴について調査したとこ

る、プルトニウム燃料第二開発室での発生率が圧倒的に多く、全体の 55% を占めていた。図-1 に施設別ノイズ発生割合を示す。プルトニウム燃料第二開発室の発生率が高い理由の一つとしては、モニタの老朽化による耐ノイズ性の低下が挙げられる。また、プルトニウム燃料第二開発室のモニタのノイズ発生割合では  $\alpha$  線用空気モニタが殆どを占めている。図-2 に Pu-2 モニタ別ノイズ発生割合を示す。なお、使用施設全体を見た場合でも図-3 のモニタ別ノイズ発生割合に示されるように  $\alpha$  線用空気モニタのノイズ発生率は高く、他のモニタに比べて耐ノイズ性が低いといえる。

一方、 $\alpha$  線用空気モニタのノイズによる警報吹鳴原因を調査した結果、図-4 に示すように全体の 40% は原因が明らかになっており、対策の検討をする上で有用な情報となる。

過去 3 年間全ての定置式モニタの警報吹鳴、並びに誤作動といった不具合の状況について、データベース化を実施した。一つ一つのデータがノイズによる影響であるかどうかを精査している段階であり、まだ、ノイズ影響のあった全てについてのデータの洗い出しは終わっていない。現時点でノイズによるものであると明らかになっている不具合だけをピックアップし、発生件数をまとめた。施設別で見ると、Pu-2 が半数以上占めており、以下 Pu-3、CPF と続いている。

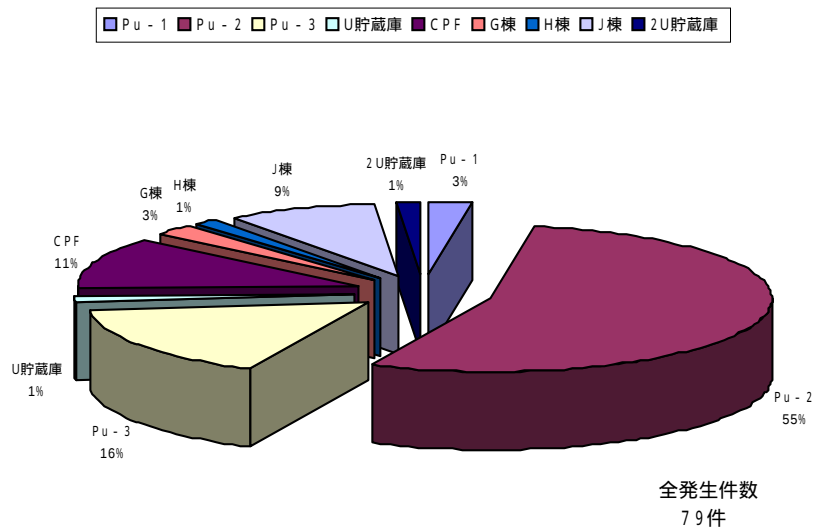
（今後の予定）

- ・全ての不具合について、ノイズによる影響かどうかを精査する。
- ・不具合が発生した定置式モニタについて、経過年数や不具合の発生事象、原因などを調査する。
- ・再現実験やノイズ混入対策方法などを検討する。

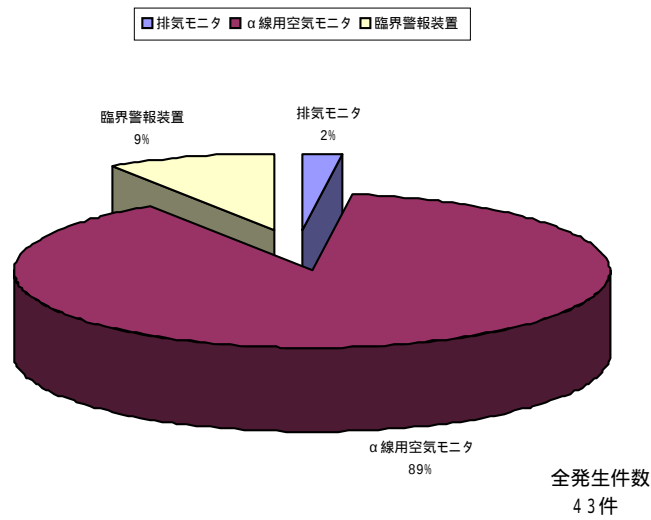
#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究によって蓄積された知見・考え方は、今後の機器設計や施設設計に反映することができるものと思われる。また、既設設備への対応として、ノイズ影響を考慮した点検、保守が可能となり、誤警報防止に繋がるものと思われる。

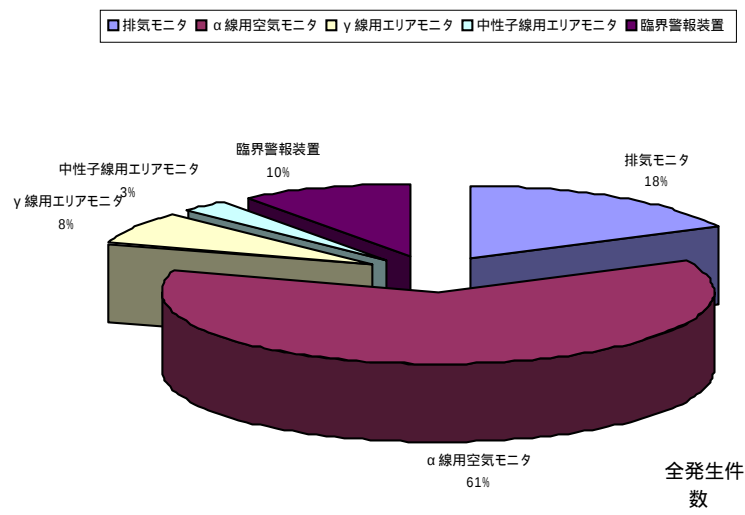
以下に関連する図を添付する。



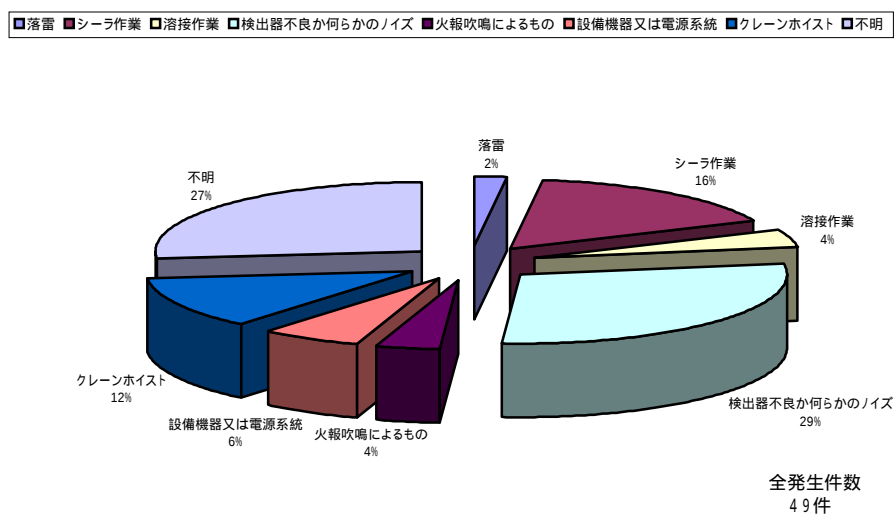
図ー1 施設別ノイズ発生割合



図ー2 Pu-2モニタ別ノイズ発生割合



図ー3 モニタ別ノイズ発生割合



図ー4 α線用空気モニタ発生原因別ノイズ割合

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 4 - 6

### 【研究課題名(Title)】

前処理工程機器設備保全履歴データベースの構築

(Constructing database for maintenance of equipments in mechanical treatment process)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 山本 徳洋 (やまもと とくひろ)

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 処理部 前処理課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Tokuhiko YAMAMOTO

(Title of Function) Mechanical Treatment Section, Reprocessing Operation Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-Mura, Naka-Gun, Ibaraki, 319-1194, Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 角 洋貴 (すみ ひろたか : Hirotaka SUMI)

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 処理部 前処理課

(Mechanical Treatment Section, Reprocessing Operation Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

なし

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

東海再処理施設の前処理行程においては、せん断装置等、機器の不具合の発生により再処理施設の工程運転に影響を与える可能性がある。このため、機器の不具合の発生を未然に防ぐか、あるいは不具合に対し迅速な対応といった機器の適切な維持管理が求められる。

[ 研究目的 ]

東海再処理施設の前処理工程においては使用済燃料の受入・貯蔵、せん断を行っており、これらの工程にはせん断機をはじめとして使用済燃料を取り扱う機器が多数ある。安全に運転を継続するためには、これらの機器の適切な維持管理が必要であるため、設備保全履歴データベースを構築する。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

せん断装置の保守履歴について、保全内容、保全期間の調査を終了し、結果のまとめ方を検討中である。

前処理工程中、最も保守機会の多いせん断装置の保守履歴調査により、機器の保守、特に改良においてはその思想についても改良のポイントとしてまとめることが重要であることが解り、結果のまとめ方についてさらに検討が必要であることがわかった。

（今後の予定）

今後は、せん断装置の保全履歴について結果のまとめ方としてのデータベースの様式の検討を行うとともに、履歴だけではなく改良時の設計図書等の調査を進める。

**【成果の利用実績及び活用見通し】**

調査結果の一部は、再処理施設の定期安全レビューにおける動的機器の保全実績調査に資することができた。

また、設備の保全計画にあたっての重要な情報源として活用の見通しが得られた。

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 4 - 7

### 【研究課題名(Title)】

蒸発缶内部検査技術の確立 (Development of Inspection Technology of the inside of the Evaporator)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 上野 勤 (うえの つとむ)

[所属] 東海事業所 再処理センター 環境保全部 処理第二課

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029 - 282 - 1111

(Name) Tsutomu UENO

(Title of Function) Waste Conditioning Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu Tokai-mura, Ibaraki-ken, 319-1194, Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 芳中 一行 (よしなか かずゆき : Kazuyuki YOSHINAKA)

[所属] 東海事業所 再処理センター 環境保全部 処理第二課

(Waste Conditioning Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

廃溶媒処理技術開発施設

### 【研究概要】

#### [研究の経緯]

廃溶媒処理技術開発施設では、再処理施設から発生する廃溶媒をドデカンと TBP に分離する処理を行っている。それに伴って、リン酸を主成分とした廃液が発生する。

一方、廃溶媒処理技術開発施設では、運転開始から 15 年以上が経過しており、最も腐食環境が厳しいと考えられる蒸発缶の内部について、リン酸廃液による腐食の有無を確認することにした。

これまでに CCD カメラを用いた目視点検を終了している。

本件は、同蒸発缶内部の蛍光浸透探傷試験による検査技術を確認するものであり、本研究においては、遠隔操作による、複雑な構造（カランドリア構造）をもつ蒸発缶内部への浸透剤の塗布技術、洗浄剤による洗浄技術等の課題を解決する必要がある。

#### [研究目的]

廃溶媒処理技術開発施設（ST 施設）では、廃溶媒中のドデカン、TBP を分離するためにリン酸を取り扱っており、リン酸を主成分とした廃液が発生する。

リン酸を取り扱う設備のうち、腐食の観点から、もっともその環境が厳しいと考えられる蒸発缶について、その内部の健全性を確認するために、熱交換部の溶接箇所等の微細な欠陥まで探索可能な蛍光浸透探傷試験による検査技術を確認する。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

予定していた噴射ヘッドを購入した。

14 年度に予定している試験装置の改造のための準備を進めている。

(今後の予定)

本研究を実施するためには、その廃液の処理・貯蔵設備が稼動する必要がある。したがって、低放射性濃縮廃液貯蔵施設(LWSF) 低放射性廃棄物処理技術開発施設(LWTF)の設置の状況を考慮して、予算措置(現在は未確保)を含め、適宜、改造～蛍光浸透探傷試験を計画・実施していく。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

廃溶媒処理技術開発施設で使用している蒸発缶はカランドリア構造の一般的な蒸発缶である。

今回、この蒸発缶の蛍光浸透探傷技術を確立することができれば、他の蒸発缶の検査など(検査治具挿入用ノズルは必要)への活用が期待できる。

また、廃液処理上の問題がないことを確認できれば、機械的な動作部分の設計を実施することで、溶接部を含む各槽類の腐食(欠陥)を内部から確認することができるようになる。

#### 【研究成果の発表状況】

本研究の計画については、日本原燃㈱を対象とした報告会の中で紹介した実績がある。(「第三回東海再処理施設技術報告会」)

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成13年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 4 - 8

### 【研究課題名(Title)】

遠隔保守機器寿命・故障管理システムの検討

(Assessment of the Lifetime of the Remote Maintenance System and Associated Condition Monitoring and Management)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 青嶋 厚(あおしま あつし)

[所属] 東海事業所 再処理センター 環境保全部 処理第三課

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号：029-282-1111

(Name) Atsushi AOSHIMA

(Title of Function) Vitrification Technology Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-Mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone: +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 窪木 道克(くぼき みちかつ: Michikatsu KUBOKI)

[所属] 東海事業所 再処理センター 環境保全部 処理第三課

(Vitrification Technology Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

ガラス固化技術開発施設

### 【研究概要】

[研究の経緯]

ガラス固化技術開発施設(TVF)は遠隔操作保守方式を採用することから、両腕型マニプレータやクレーン等の健全性が運転に影響を及ぼすことになる。従って、機器の寿命予測、計画的な予防保全が重要であり、機器寿命、故障管理システムを構築してデータ取得、整理、評価を行い、計画的な保守・保全の実施、合理化が望まれる。

[研究目的]

大型セル全遠隔保守システムを採用するガラス固化技術開発施設の安定運転の条件の1つに、セル内作業を担う遠隔保守機器の健全性維持が上げられる。これらは、異常・故障や動作不良が確認された場合、事象を迅速かつ正確に判断し、適切な処置を速やかに施すことが要求される。一方、セル外の制御機器とケーブルで接続するセル内設置機器の場合、機器の機能性能を維持復旧するまでに、それ相応の期間を費やしているのが現状である。これらの観点から、現在まで取得してきた運転、保守データを整理するとともに、設計、故障等に関する情報のデータベース化を図り、機器としての寿命の判断、故障の未然防止、並びに故障発生時の速やかな点検、点検手法の提供が可能な予防保全を見据えた管理システムの構築を行う。

### 【研究実施状況（平成13年度）】

イ．寿命推定・故障時対応に向けた情報解析とデータ作成

汎用データベースソフト(Oracle8i 8.1.5)を用いて、データを登録できるシステムを構築した。ま

た、アプリケーション（CANVAS、Auto CAD 2000i 等）を用いて、機器詳細情報（図面、報告書、マニュアル等の図書を含む）管理のシステム化を図った。（別添-1 参照）

故障・動作不良については、両腕型マニプレータシステムの異常・故障情報、故障報告書、FTA 情報、FMEA 情報を管理し、不具合発生時対応や予防保全を支援する機能を持ったシステムを構築した。

両腕型マニプレータに関する異常・故障時のデータを整理し、データベース化を図ったことにより、所期の成果が得られた。

データベースの概要として、両腕型マニプレータシステムの異常・故障情報をデータとして蓄積し、故障報告書の作成とその管理ができるようになった。構成については、TVF 事象報告書のフォーマットに則り、件名、状況・内容、推定原因等を入力し管理できるようになった。（別添-2 参照）

（今後の予定）

□．寿命推定・故障時対応情報の活用インターフェイス設計製作

上記 1 項の活用が可能なインターフェイス（機能、操作画面等）を設計、製作する。また、寿命・故障等を定量的に把握するため、モータ電流監視装置等のオンラインデータを取り込み、活用可能とする。

具体的には、両腕型マニプレータシステム電流測定装置からデータを取り込み、各軸及び各機器に関連付けて管理する。蓄積した電流データについては、両腕型マニプレータシステムの予防保全に向けた解析に活用する。（別添-3 参照）

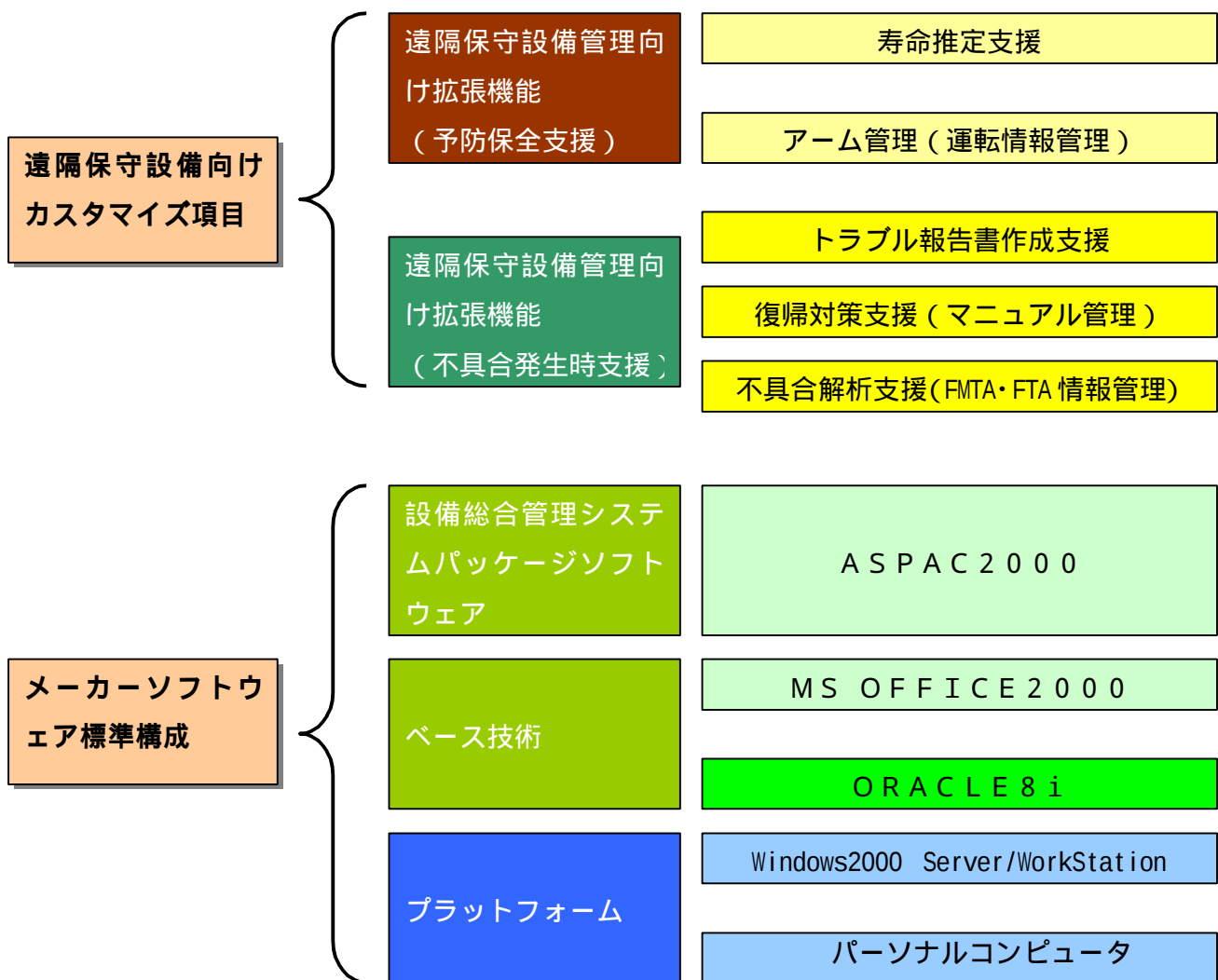
【成果の利用実績及び活用見通し】

両腕型マニプレータに関するデータを全てシステム化したことにより、知りたい情報や見たい図面等を迅速に閲覧できるようになった。

【国内外の研究動向】

〔民間の研究の現状と動向〕

平成 6 年度から当該システムについては、いろいろな事業で幅広く納入されている。中でも、下水道局でのプラント規模の運転管理や図書類を電子化して納める完成図書システム等が採用されている。



別添-1 遠隔保守設備管理システムのソフトウェア構成図

# TVF 事象報告書

| 1班 | 2班 | 3班 | 4班 |
|----|----|----|----|
|    |    |    |    |

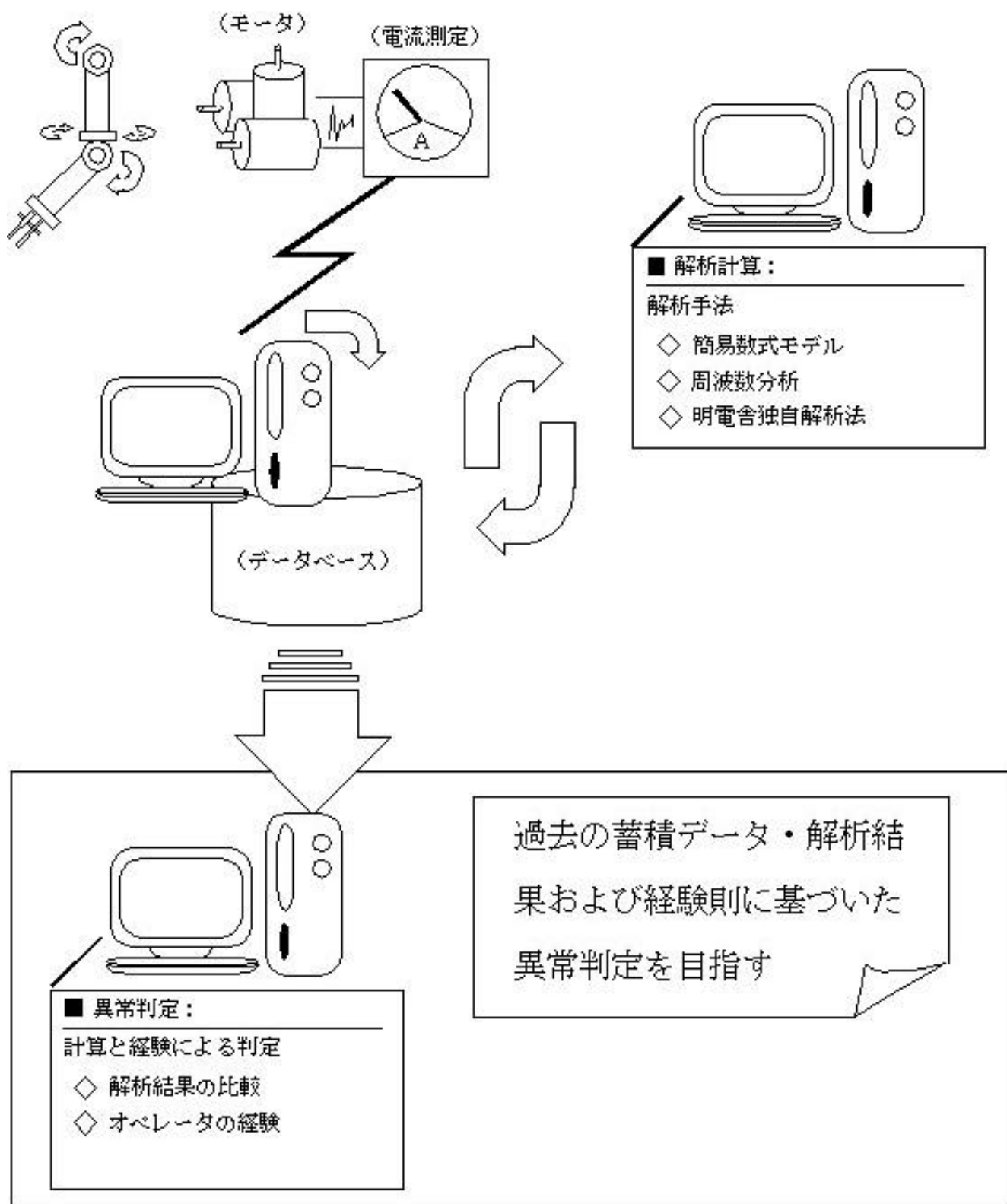
開発運転20\_\_ -

報告日時

|                                                                                                                       |                          |                                 |       |                                   |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------|-----------------------------------|--|
| 件名                                                                                                                    |                          | 左腕1軸 モータ過負荷                     |       |                                   |  |
| ユニットNo. G51__                                                                                                         |                          | 機器名称                            |       | 両腕型マニプレータM1 21                    |  |
| 発生部位                                                                                                                  |                          | 左腕1軸                            |       | 部屋名称 G2 40                        |  |
| 発見日                                                                                                                   |                          | 2000年5月22日                      |       | 発見時刻 10時頃                         |  |
| 発見直・班                                                                                                                 |                          | 直 班                             |       | 発見者 花崎 要                          |  |
|                                                                                                                       |                          |                                 |       | 報告者 大戸 広昭                         |  |
| ①原料供給中か? <input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No Yes → ② No → ③                                 |                          |                                 |       |                                   |  |
| ②原料供給                                                                                                                 | <input type="radio"/> 継続 | 停止期間                            | ガラス原料 | 時 分 ~ 時 分 <input type="text"/> 分間 |  |
|                                                                                                                       | <input type="radio"/> 停止 |                                 | 廃液    | 時 分 ~ 時 分 <input type="text"/> 分間 |  |
| <b>③状況・内容</b><br>M120移動中、左腕1軸にモータ過負荷が発生。1軸の電流値を確認すると6.8Aであった(通常は2A程度)。2・3軸についても同様に高い電流値である。サーボ電源の「切」「入」の後、電流値は正常に戻った。 |                          |                                 |       |                                   |  |
| ④推定原因                                                                                                                 |                          | 原因分類 誤操作 経時変化 調整不良 電気 計装 機械 その他 |       |                                   |  |
| 原因調査中                                                                                                                 |                          |                                 |       |                                   |  |
| ⑤復旧までに時間を要するか <input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No Yes → ⑥ No → ⑦                                       |                          |                                 |       |                                   |  |
| ⑧応急処置・対策 添付資料 <input type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無                                                         |                          |                                 |       |                                   |  |
| 組合書の流れ<br>報告者→①②③④⑤⑥記入→既見→TL→課代→課長(第一組)<br>→⑦⑧⑨担当設備記入→既見→担当TL→課代→課長<br>報告者→①②③④⑤⑥⑦⑧⑨記入→既見→担当TL→課代→課長                  |                          |                                 |       |                                   |  |
| 課長                                                                                                                    |                          | 課代                              |       | TL                                |  |
| 班長・GL                                                                                                                 |                          | 担当者                             |       |                                   |  |

再処理施設保安規定 115条による

別添-2 データベースの概要(構成/例)図



別添-3 両腕型マニプレータ異常検出システム概略図

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成13年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 4 - 9

### 【研究課題名(Title)】

ライニング型貯槽における漏えい検知システムの信頼性向上  
(Reliability of liquid leak detector system for steel lining type vessel)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 鈴木 政美(すずき まさみ)

[所属] 東海事業所 建設工務管理部 建設グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Masami SUZUKI

(Title of Function) Construction Group, Construction and Maintenance Office, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 市坪 浩二(いちつば こうじ : Kouji ICHITUBO)

豊田 義弘(とよだ よしひろ : Yoshihiro TOYODA)

[所属] 東海事業所 建設工務管理部 建設グループ

(Construction Group, Construction and Maintenance Office, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

低放射性濃縮廃液貯蔵施設(建設中)

### 【研究概要】

#### [研究の経緯]

これまでの再処理施設のライニング型貯槽における漏えい液の回収・検知システムは、構造的な制約から漏えい液を完全に閉じ込めて全量回収できない可能性があることから、漏えいを早期に検知することが難しい構造であった。また、漏えい液と検知時間の関係など運転管理に有益なデータを取得した例がなかった。このため漏えい液を確実に回収し、早期に検知できる構造に変更したライニング型貯槽において、漏えい液の回収機能と検知機能などに関するデータを取得する必要があった。

#### [研究目的]

再処理施設のライニング型貯槽は、溶接部からの万一の漏えいを考慮し、漏えい液を検知・回収できるようにしているが、従来の構造では全ての漏えい液を回収できない(微量ながらコンクリート壁面へ浸透する)可能性があった。このため、漏えい液が完全に回収できるように、ライニングの壁部については、ライニング本体と一体となった回収溝(完全な気密を取る構造)とするとともに、床部については、ライニングを二重化する構造を考案し、低放射性濃縮廃液貯蔵施設(LWSF)の設計に反映した。

しかしながら、従来の構造の検知システムを含め、これまでに漏えい量と検知時間との関係など、運転管理に有益なデータを取得した例がないことから、本研究では、LWSFにおける新しい構造の回収溝の機能と、これを組み合わせた検知システムについて、漏えい量と検知時間の関係など、実機での確認試験を行い、ライニング型貯槽の漏えい検知システムの信頼性を確認することを目的としている。

### 【研究実施状況(平成13年度)】

製作・据付段階で壁部及び床部の回収溝を構成する溶接部の非破壊試験を実施し、健全性を確認すると

ともに、施工完了後、形成された壁及び床部の各回収溝の通気、通水性を圧縮空気又は工業水を用いて確認し、漏えい液が確実に集液部に回収できることを確認した。

壁及び床部の各回収溝の健全性（通水性）が確認され、漏えい液が確実に回収できることを確認することができた。

（今後の予定）

模擬液（工業水）を用いた通水試験を実施し、漏えい液量と検知部までの到達時間との関係などのデータ取得を行う。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

低放射性廃棄物処理技術開発施設（LWTF）の設計、製作に反映させる。

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 4・10

### 【研究課題名(Title)】

鋼材からの水素ガス放出によるライニング型遮へい扉への影響検討  
(Influence of the Lining Type Shielding Door on the Hydrogen Evolution from Steel)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 鈴木 政美(すずき まさみ)

[所属] 東海事業所 建設工務管理部 建設グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Masami SUZUKI

(Title of Function) Construction Group, Construction and Maintenance Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 鈴木 弘(すずき ひろし: Hiroshi SUZUKI)

立花 郁也(たちばな いくや: Ikuya TACHIBANA)

[所属] 東海事業所 建設工務管理部 建設グループ

(Construction Group, Construction and Maintenance Division, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

リサイクル機器試験施設 (RETF)

### 【研究概要】

[研究の経緯]

RETF ステンレスライニング型遮へい扉において、ライニングが膨張し扉の自動開閉中に枠との接触によって動作不能となった。ライニング内部のガス分析を行ったところ、ガス成分のほとんどが水素であり、ライニング内部で発生した可能性が高いと考えられた。当該事象に関する類似報告が他にないことから本検討を実施することとした。

[研究目的]

ステンレスライニング型遮へい扉において、内圧によりライニングが膨張し作動不良となる事象が発生した。原因を特定するため、内部のガス分析を行ったところ、高濃度の水素が検出されたことから、ライニングの膨張は鋼材からの水素拡散によるものと推察した。本事象は同構造の既設設備での発生も予想され、稼働中の施設で本事象が発生した場合、閉じ込め及び遮へい性能を損なう恐れがある。このため、鋼材中の水素含有量測定等を実施し、既設設備の点検方法及び新設設備の膨張防止対策を策定する。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

(1) 実機の定期観測（図・1）

RETF 内で事象が確認された扉（R02M6003, M61, R22M33）の経時変化を観測した。ほとんどの扉は膨張が終息しているが、1 基の扉（R02M61）で継続的な膨張が認められ今後も観察・処置が必要である。また、今までの調査結果から発生した水素の量を推定した。ライニングの変形量から内部の圧力は最大で 3kg/cm<sup>2</sup>G、容量は 3 L 程度と推定した。

## (2) 文献調査

鋼材の水素関連の文献（約 80 件）について事象との関連性等を調べた。水素の拡散係数や鋼材製造時の水素挙動、クラッド鋼における表面剥離現象等の近似事象報告例等、鋼材中の水素挙動について参考となる文献を多数入手した。

鋼材中の水素挙動に関する研究は、製造上や使用上の問題から数多く行われているが、長期的に放出される水素の挙動を扱った報告はなく、これらの研究はされていない。これは、一般には鋼材をステンレスで密閉して使用することが少なく、問題とならなかったものと考えられる。このことから、本事象は、原子力特有の鋼材使用方法による事例と考えられる。

## (3) 拡散性水素の測定（図・2，3）

拡散性水素の測定では、極厚鋼材中に膨張の要因となり得る多量の拡散性水素が存在し、鋼材の板厚によって含有量に大きな差異があることが確認された。また、測定結果より試験鋼材の拡散係数を算出し、水素放出量予測を行った。推定放出量と現場調査結果（実機での放出推定量）とがほぼ整合しており、拡散性水素が本事象の主要因となり得ることを確認した。

## （今後の予定）

平成 13 年度の実績から、R02M61 の定期観測を継続し、データの取得を図る。また、鋼材中の拡散性水素がライニング膨張の原因であることを検証するため、ライニングを施した試験片による試験を実施すると共に事象発生予測に利用可能な拡散係数の確定等、本事象に関する総合的な評価を行い対策の検討を実施する。

## 【成果の利用実績及び活用見通し】

得られた知見については、既設設備の点検方法及び新設設備の膨張防止対策に資する。また、同構造を持つ設備はサイクル機構のみでないことから、広く公開していく。

### 調査した参考文献のリスト

- 1) A.Sieverts : Zur Kenntnis der Okklusion und Diffusion von Gasen durch Metalle, Z. Physik Chem., 60(1907), p.129-201.
- 2) A. Sieverts : Die Löslichkeit von Wasserstoff in Kupfer, Eisen und Nickel, Z. Physik Chem., 77(1911), p.591-613.
- 文献 1) 2) に関する総合的文献、日本鉄鋼協会編：鉄鋼製造法 第1分冊 製鉄・製鋼 p.116-121
- 3) 本多 光太郎、広根 徳太郎：塊内に於ける吸収水素の及ぼす内部圧力に就いて、金属の研究 13(1936) p.121-126.
- 4) 村山 周治、松倉 亀雄：鋼材の靱性と水素の挙動について、鉄と鋼 43(1957) p.328-329.
- 5) 吉井 周雄：溶鋼中の水素量と水蒸気分圧との関係、鉄と鋼 44(1958) p.1069-1070.
- 6) 池見 恒夫：真空鑄造法の概況、日本製鋼技報 No.2(1959) p.111-118.
- 7) 小野寺 真作、中川 義隆：真空鑄造法の概況(第3報)、日本製鋼技報、5(1960) p.379-384.
- 8) 井形 直弘：金属材料基礎工学、日刊工業新聞社 (1992) 基礎編 p.58-65
- 9) 石塚 寛、大西 敬三：各種高張力鋼の硫化物腐食われの感受性について、日本金属学会誌 30(1966) p.846-852.
- 10) 下川 義雄：鋼におよぼすHの影響、鉄鋼と合金元素
- 11) 田辺 潤平、百瀬 昭次、福本 勝：下ツギ法による下広扁平キルド鋼塊の内部性状について(第1報)、日本製鋼技報 21(1966) p.2364-2371.
- 12) 石塚 寛、大西 敬三、千葉 隆一：鋼材から放出される水素の観察、日本製鋼技報 25(1969) p.2885-2899.
- 13) 共同研究会特殊鋼部会報告：鋼の真空溶解および真空脱ガス法の進歩、日本鉄鋼協会 1969年8月30日 東京
- 14) 石塚 寛、千葉 隆一：高温高压水素による鉄鋼の脆化、鉄と鋼 56(1970) p.93 - 111.
- 15) 徳田 昭、大西 敬三：鋼の水素脆化に関する最近の研究、日本製鋼技報 29(1971) p.(57)-(66).
- 16) 下川 義雄：鋼の水素脆化現象(研究の歴史的考察ならびに現状)、鉄と鋼 57(1971) p.1792.
- 17) 長 隆郎、井上 道雄：水蒸気からの溶鉄の酸素および水素同時吸収、鉄と鋼 59(1973) p.387-3394.
- 18) 大谷 南海男：水素脆化機構に関する最近の進歩、鉄と鋼 60(1974) p.304-316.
- 19) 高石 昭吾、斎藤 晟、中尾 仁二、川合 亜之：極厚鋼板におけるミクロ偏析部の脱水素熱処理への影響、鉄と鋼 '74-S552.
- 20) 小平 一丸、矢竹 丘、百合岡 信孝：鋼中水素拡散と集積の数値解析および溶接部への応用、溶接学会誌 43(1974) p.921-930.
- 21) 高石 昭吾、斎藤 晟、中尾 仁二、川合 亜之、山場 暁太、馬淵 秀里：極厚低合金鋼板の製造時の熱処理について、鉄と鋼 '75-A25
- 22) 法華津 弘道、丸川 雄浄、小林 隆衛、白石 博章、桑原 明夫：溶鋼における水素の挙動について、鉄と鋼 '75-S437.
- 23) 古賀 敏昭、白石 博章、竹内 泉、戸崎 泰之、伊藤 英明：連铸スラブにおける水素の挙動について、鉄と鋼 '75-S439.
- 24) ) 高石 昭吾、村田 裕信、小舞 忠信、関原 博通：連続鑄造铸片内の水素分布について、鉄と鋼、'73 - S377.
- 25) 梶 晴男、酒井 忠迪：オーバーレイ鋼中の水素分布計算と2,3の適用、鉄と鋼 '75-S731.
- 26) 船越 督巳：厚鋼板の特性と製鋼要因、第36,37回西山記念技術講座 日本鉄鋼協会 p.101 - 146.
- 27) 杉田 宏、安元 邦夫、明松 弘、永幡 勉、木村 和成：CCスラブのカバー徐冷による脱水素、鉄と鋼 '76-S485
- 28) 大西 敬三、千葉 隆一、手代木 邦雄、加賀 寿：室温高压水素ガスによる高張力鋼の脆化、日本金属学会 40(1976)p.650-656.
- 29) 中尾 仁二、山場 暁太、青木 至、川合 亜之、馬淵 秀里、高石 昭吾：極厚低合金鋼板の圧延と熱処理、鉄と鋼 62(1976)p.1708-1719.
- 30) 田川 寿俊、田中 淳一、平沢 猛志、角南 英八郎：大型鋼塊のザクきずの圧着におよぼす圧延プロセスの影響、鉄と鋼 62(1976)p.1720-1733.
- 31) 新実 高保、岡村 正義：超大型鋼塊の製造における保持炉の操業と鋼塊内偏析、鉄と鋼 62(1976) p.1691-1697.
- 32) 高部 昭吾、小舞 忠信、村田 裕信、関原 博通：連続鑄造片における水素の分布におよぼす要因、鉄と鋼 '77 - S127.

- 33) 国武隼人、菊竹 哲夫、斎藤晟、小菅教行、中尾 仁二、五弓 紘：原子炉压力容器用極厚鋼板の製造と材質特性、製鐵研究 82 (1974) p.11085-11103.
- 34) 岡村 正義、永田 弘之、三浦 正淑、新実 高保、鈴木 章：出鋼脱ガス法の応用、鉄と鋼、63(1977) p.2028-2033.
- 35) 森谷 尚玄、俵 正憲：LD-VAD法の操業と品質について、鉄と鋼、63(1977) p.2070-2076.
- 36) 飯田 義治：取鍋精錬総論、第54、55回西山記念技術講座 日本鉄鋼協会 p.25-53.
- 松永 久：脱ガスプロセス、第54、55回西山記念技術講座 日本鉄鋼協会 p.61-69.
- 37) 大西 敬三：極厚鋼材の水素系欠陥とその欠陥防止熱処理法、第54、55回西山記念技術講座 日本鉄鋼協会 p.139-169.
- 38) 菊竹 哲夫、中尾 仁二：鋼板の内質におよぼす脱水素処理の影響、鉄と鋼 '78-S841.
- 39) 特殊精錬法、第3版 鉄鋼便覧 製鉄・製鋼(日本鉄鋼協会、1979) p.671-695.
- 40) 高石 昭吾、村田 裕信、大久保 寛二、中尾 仁二、菊竹 哲夫：転炉溶製による压力容器鋼板の特性、鉄と鋼 '77-A147.
- 41) 鋼板の製造、第3版 鉄鋼便覧 (1) 圧延基礎・鋼板(日本鉄鋼協会 1980) p.221-289. &p.305-311.
- 42) M. Nagano, Y. Hayashi, N. Ohtani, M. Isseki and K. Igaki : Hydrogen Diffusivity in High Purity Alpha Iron、Scripta Metallurgica 16(1982) p.973-976.
- 43) Takashi Otsubo, Syunsuke Goto and Hideshi Sato: Thermal Analysis of Hydrogen in Steel Processings of Second JIM International Symposium 'Hydrogen in Metals' Nov.26-29 1979.
- 44) 藤井 忠臣、狭間 徳一、堀田 隆一、中島 宏幸：溶接冶金委員会資料、WM-890-82.
- 45) 藤井 忠臣、堀田 隆一、狭間 徳一：高温高压容器の水素誘起割れに対する安全性解析 - 実容器壁中の残留水素濃度の解析と水素割れに対する安全性評価、鉄と鋼 '82-S1401.
- 46) 藤井 忠臣、狭間 徳一、野村 和夫、堀田 隆一：高温高压水素環境下における $\gamma$ 系ステンレス鋼肉盛金属の剥離現象 - オートクレープによる剥離割れ試験結果、鉄と鋼 '82-S1416.
- 47) 藤井 忠臣、狭間 徳一、野村 和夫、堀田 隆一、中島 宏幸：高温高压水素環境下における $\gamma$ 系ステンレス鋼肉盛金属の剥離現象 - 実容器の剥離割れ発生に対する安全性評価、鉄と鋼、'84-S1417.
- 48) 斎藤 俊明、乙黒 靖男、伊藤 英明、橋本 勝邦、小池 弘之、中田康敏：オーステナイト系ステンレス鋼オーバーレイ溶接部の剥離割れ防止法の検討、鉄と鋼 '82-S1483.
- 49) 遠藤 良幸：極厚大単重鋼板の製造と材質、第86回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会 昭和57年11月1日、30日) p.89-121
- 50) 藤井 忠臣、狭間 徳一、堀田 隆一、中島 宏幸：オーステナイト系ステンレス鋼肉盛金属のはく離割れ(第1報) - 肉盛金属と母材との境界近傍における水素濃度分布 - 、溶接学会全国大会公演概要、第32集(1983) p.30-31.
- 51) K. Kiuchi and R. B. Mclellan : The Solubility and Diffusivity of Hydrogen in Well-Annealed and Deformed Iron, Acta Metall., 31(1983) p.961-984.
- 52) C. G. Interrante : Basic Aspects of the problem of Hydrogen in steel, Proceedings of the first international conference on Current Solution to Hydrogen Problems in steels, ed by C. G. Interrante and G. M. Pressouyre, p.3-17.
- 53) Y. Tomita, t. kikutake, K. Nagano, K. Okamoto, and H. Nakao : Prevention of hydrogen Cracking in Thick Steel Plates Produced from continuous Casting Slabs, Proceedings of the first international conference on Current Solution to Hydrogen Problems in steels, ed by C. G. Interrante and G. M. Pressouyre, p.63-69.
- 54) G.M. Pressouyer : Current Solution to Hydrogen Problems in Steels, Proceedings of the first international conference on Current Solution to Hydrogen Problems in steels, ed by C. G. Interrante and G. M. Pressouyre, p.18-34.
- 55) T. Fujii, T. Hazama, H. Nakajima and R. Horita : A safety analysis on overlay disbonding of pressure vessels for Hydrogen services, Proceedings of the first international conference on Current Solution to Hydrogen Problems in steels, ed by C. G. Interrante and G. M. Pressouyre, Washington, 1982, p.361-368.
- 56) R. Blondeau, G. M. Pressouyre : Contribution to a Solution to the disbonding problem in 2-1/4Cr-1Mo heavy wall reactors, Proceedings of the first international conference on Current Solution to Hydrogen Problems in steels, ed by C. G. Interrante and G. M. Pressouyre, Washington, 1982, p.356-360.
- 57) T. Sakai, K. Asami, M. Katsumata, H. Takada, O. Tanaka : Hydrogen induced disbonding of

- weld overlay in pressure vessels and its prevention, Proceedings of the first international conference on Current Solution to Hydrogen Problems in steels, ed by C. G. Interrante and G. M. Pressouyre, Washington, 1982, p.340-348.
- 58) H. Okada, K. Naito, J. Watanabe, K. Ohnishi and R. Chiba: Hydrogen induced disbonding of stainless welded overlay in hydro desulfurizing reactor, Proceedings of the first international conference on Current Solution to Hydrogen Problems in steels, ed by C. G. Interrante and G. M. Pressouyre, Washington, 1982, p.331-339.
- 59) G.D. Lawson: Recent Hydrogen Studies, 1988 Steel Making Conference Proceedings p.433-438.
- 60) 羽木 秀樹:  $\alpha$  鉄中の水素の拡散係数におよぼす置換型合金元素(Al, Si, V, Cr, Mn, Co, Ni, Mo)の影響、日本金属学会誌 55 (1991) p.1283-1290.
- 61) 羽木 秀樹: 278 ~ 318K における炭素鋼中の水素の拡散係数とセメンタイト/フェライト界面の水素トラップ効果、日本金属学会誌, 57(1993) p.864 - 869.
- 62) 藤川 辰一郎: 金属中の水素の拡散、金属学会セミナー、最新の水素の検出法と水素脆化防止法、日本金属学会 1999.
- 63) R. Habu: Diffusion Equation for Solute Atoms under a Temperature Gradient, Materials Trans., JIM, 40(1999), p.1355-1360.
- 64) A. San-Martin and F. D. Manchester: Fe - H, ASM Handbook Vol.3 Binary Alloy Phase Diagram, p.195
- 65) E. F. Fujita: The Iron-Hydrogen Phase Diagram, Hydrogen degradation of Ferrous Alloys, ed. by R. A. Oriani, J. P. Hirth and M. Smialowski, Noyes Publications, New Jersey USA
- 66) 野崎 努: 底吹き転炉法、叢書 鉄鋼技術の流れ 第2シリーズ、(日本鉄鋼協会 東京 2000)
- 67) 高田 寿、酒井 忠迪、浅見 清: 水素圧力容器壁中の水素分布、神戸製鋼技報 32(198) No.3 p.61-64.
- 68) 下村淳一、今中 拓一: Cr-Mo 鋼-ステンレス鋼肉盛溶接境界部への操業停止時の水素集積挙動、鉄と鋼、'84-S1482.
- 69) 安田 功一、中野 昭三郎、西山 昇、鎌田 晃郎: 大型中空鋼塊製鍛造シェルリングのクラッド下割れ試験 - 原子炉圧力容器用大型鍛造シェルリングの製作、鉄と鋼、'82-S1393.
- 70) 中井 揚一、上杉 康治、嶋中 浩: 鋼中における水素の拡散挙動、川崎製鉄技報、6 (1974) No.3 p.324-339.
- 71) 高橋 功、安田 顕、伊藤 健治、大橋 延夫: ほうろうのつまとび現象に関与する鋼板要因の評価法、川崎製鉄技報、7(1975) No.2 p.189-200.
- 72) 芳賀 雄彦、久々湊 英雄、今井 卓雄、伊藤 健治: ほうろう用鋼板 KTM について、川崎製鉄技報、7(1975) No.2 p.200-212.
- 73) 黒川 照夫、下村 隆吉、松藤 和雄: 両面ほうろう用熱延鋼板の開発、鉄と鋼、66(1980) No.11 S1131.
- 74) 金子堅次郎: ほうろう、セラミックコーティング、鉄鋼便覧(第3版) 二次加工・表面处理・熱処理・溶接 日本鉄鋼協会編、丸善 東京 1982、p.457.
- 75) 安田 顕、伊藤 健治、西田 稔、原沢 淳子、高橋 順介: Ti 添加鋼の耐つまとび性におよぼすスラブ加熱温度の影響、鉄と鋼、69(1983) No.5 S676.
- 76) 高崎 順介、佐藤 広武、安田 顕、伊藤 健治: Ti 添加極低炭素鋼によるほうろう用鋼板の製造方法、鉄と鋼、69(1983) No.5 S677.
- 77) 高崎 順介、佐藤 広武、浜上 和久、安田 顕、伊藤 健治: 酸素含有量の高い極低酸素鋼による連铸製ほうろう用鋼板 - 連铸製ほうろう用鋼板の開発(第4報)、鉄と鋼 69(1983) No.11 S1368.
- 78) 山崎 修一、大坪 孝至、永妻 重明: ほうろう用鋼板の耐つまとび性と鋼中の水素の挙動、鉄と鋼、70(1984) No.5 S666.
- 79) L. L. Steele: Steel-Related Porcelain Enamel Defects, Ceram. Eng. Sci. Proc. 18(1997) No.5 p.134-140.
- 80) R. L. Hyde: Water vapor and Its Effect on Porcelain Enamel, Ceram. Eng. Sci. Proc. 18(1997) No.5 p.112-118

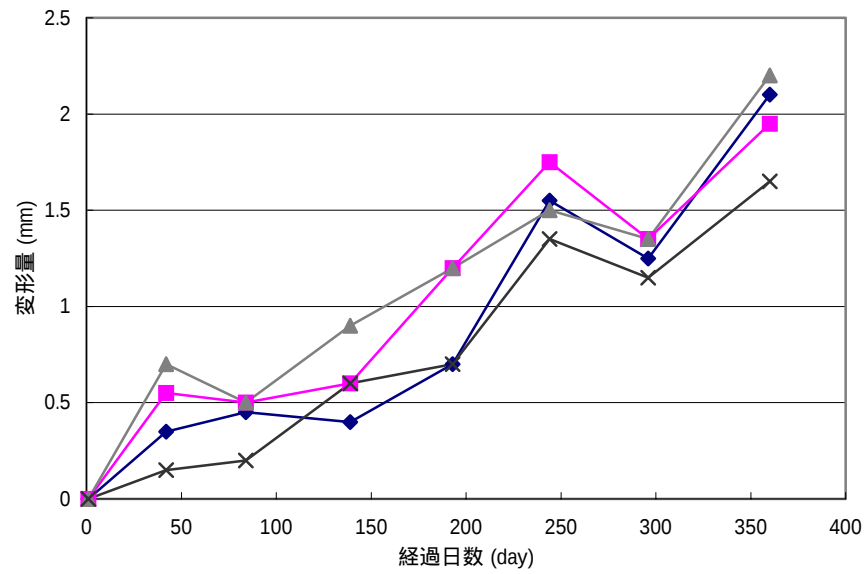


図-1 遮へい扉 ( R02M61) 変形量観測結果

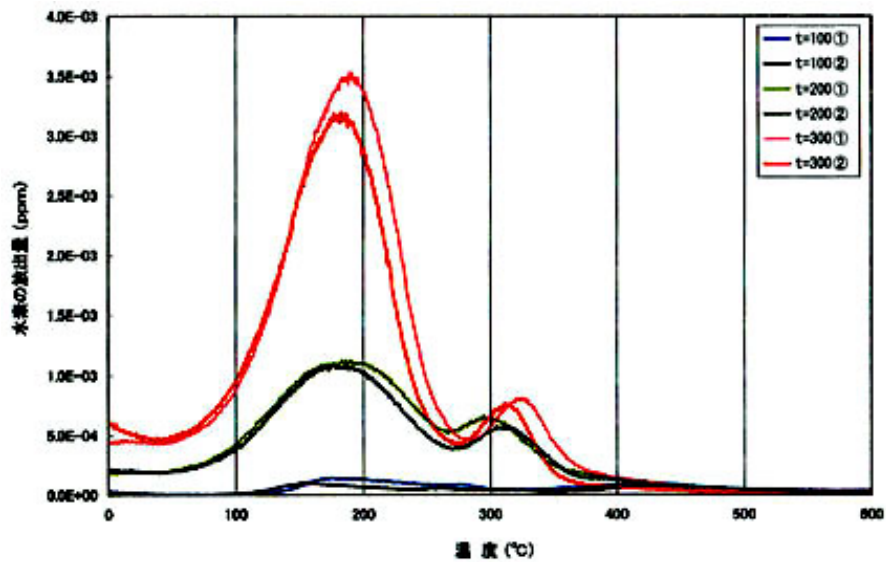


図-2 鋼材中拡散性水素測定結果

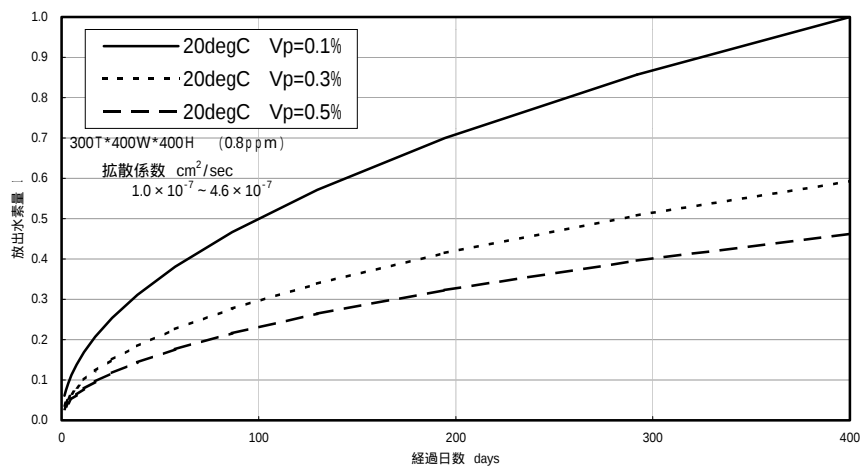


図-3 測定鋼材における水素拡散量推定結果

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

○ 5・1（3・5・3）

### 【研究課題名(Title)】

再処理施設低レベル廃棄物処理技術に関する研究  
(Development on the treatment technology for low level radioactive waste from nuclear reprocessing plant)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 野尻 一郎(のじり いちろう)

小林 健太郎(こばやし けんたろう)

[所属] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

環境保全部 環境管理課

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号：029-282-1111

(Name) Ichiro NOJIRI, Kentaro KOBAYASHI

(Title of Function) Technology Development Section, Technology Co-ordination Division,  
Waste Management Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing  
Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194,  
Tel: +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 三浦 昭彦(みうら あきひこ: Akihiko MIURA)

[所属] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

(Technology Development Section, Technology Co-ordination Division, Tokai Reprocessing  
Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] なし

### 【使用主要施設】

工学試験棟、第二検査技術開発室

### 【研究概要】

[研究の経緯]

再処理施設から発生する放射性廃棄物のうち、高レベル放射性廃棄物と廃溶媒などの一部の低レベル放射性廃棄物を除く多くの廃棄物は、その処理技術や貯蔵に関し、減容、固化、安定化等の検討すべき点が残されている。このため、低レベルの放射性廃液に関しては、低放射性廃棄物処理技術開発施設(LWTF)の建設が開始された。しかし、同時にこの施設内で処理する廃棄物やこの施設から発生す

る廃棄物に関する処理技術の開発が必要であり、当該廃棄物をより安定化した状態での処理・保管を可能にする技術開発の検討を行うこととした。

#### [ 研究目的 ]

再処理施設で発生する低レベル廃棄物の一部の廃棄物(低レベル廃液(アスファルト固化体)、廃溶媒(プラスチック固化体)、可燃固体廃棄物(焼却灰)等)を除き、大部分の廃棄物は施設内に未処理のまま保管されており、将来これら未処理廃棄物を含む低レベル廃棄物を安全、安定に処分する必要がある。本研究では低レベル廃棄物の廃棄体を選定するために必要な各種データを取得し、適切な廃棄体の選定に資することを目的とする。

#### [ 研究内容 ]

##### イ．低レベル廃棄物の性状調査

必要に応じて再処理施設で発生する低レベル廃棄物の性状(種類、発生量、発生形態、放射エネルギー等)を調査する。

##### ロ．固化方法の調査検討

国内外の固化処理方法(コスト、固化方法、固化材、廃棄物充填率、物理的強度、化学的特性等)を調査し、東海再処理施設の低レベル廃棄物それぞれの特性に応じた、適切な固化方法の検討を行う。基本的には東海事業所の「低レベル廃棄物管理プログラム」に則したものとする。

#### ハ．各種パラメータ試験

##### (イ)コールド基礎試験

上記ロ．固化方法の調査検討で選定した固化処理方法について、固化材、廃棄物充填率、物理的強度、化学的特性等をパラメータとした試験を実施し、固化材毎の基本データを取得する。

##### (ロ)ホット基礎試験

廃棄体の化学特性のうち、浸出率については放射性核種の極微量の挙動を追うことはコールド試験では難しいため、必要に応じて放射性同位元素もしくは実廃棄物を用いたホット基礎試験により浸出率データを取得する。

#### ニ．成果報告書作成

#### 【研究の達成目標(平成13年度)】

低レベル放射性固体廃棄物の処理方法についての近年の開発状況を調査し、調査した固化処理方法より1つを選択し、この方法により作製した模擬供試体により物理的特性データを取得する。

#### 【研究実施内容及び成果(平成13年度)】

##### イ．低レベル廃棄物の性状調査

近年、再処理施設から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、TRU 廃棄物を除く廃棄物に関しては、セメントによる充填固化処理、混練固化処理、圧縮処理などの処理方法が注目されている。可燃物に関しても、焼却処理された後にセメントで固化されるなどの処理が行われている。また、サイクル機構ではアスファルト固化処理に代わる液体廃棄物処理プロセスとして、低放射性廃棄物処理技術開発施設(LWTF)の建設が開始された。この施設が完成した場合、その処理運転時に発生する廃棄物についての問題がある。したがって、これに係る検討を実施する必要がある。本研究で対象とする廃棄物は、LWTFで使用が検討されているCs、Sr 吸着剤とし、これに係る処理方法等を検討することとした。

##### ロ．固化方法の調査検討

Cs、Sr 吸着剤が廃棄物となった場合、圧縮処理が不可能であることや混練処理が容易であることなどからセメントとの混練固化処理が妥当であると考えられ、セメントと廃棄物の含有量、水の配合量を文献値に基づき決定した。同時に、処理時に問題となるセメントの凝結遅延と強度補強に関する調査を実施し、「再処理系低レベル放射性固体廃棄物の処理に関する評価」へ反映した。アーウィン系セメントにシリカフュームを加えて pH を抑えた低アルカリ性セメントに、模擬廃棄物として、低放射性廃棄物処理技術開発施設(LWTF)で使用される予定のCs、Sr 吸着剤を加え、セメント配合量、水配合量を固定した供試体を作製

した。この際、添加した模擬廃棄物の配合量をパラメータとした供試体とし、この供試体の圧縮強度を JIS に基づく試験により測定した。また、処分評価上の負荷を低減するため、有機系材料の使用を避け、混練作業及び充てん作業の向上、強度の向上を図るための凝結遅延剤及び強度補強剤の検討試験を実施した。

この結果、Sr 吸着剤、Cs 吸着剤は、充てん量の増大に伴い強度が低下する傾向が見られた(図 1 及び 2 参照)。これは、吸着剤のバインダが柔らかい樹脂(PAN)でできているためであると考えられる。特に Sr 吸着剤では、廃棄物/セメント比が等量となる条件での圧縮強度で約 3.0MPa と小さいものであったが、六ヶ所再処理で定めた浅地中埋設基準 1.5MPa を上回ることができた。Sr 吸着剤固化体の強度が低い原因は、供試体表面に存在する微細なクラックによるものと推定された。このクラックは、セメント表面の乾燥とともに乾燥していた吸着材が空気中の湿度によって水分を吸収・乾燥を繰り返すために発生したものであると考えられる。

無機系凝結遅延剤として知られているホウ酸と六フッ化マグネシウムの遅延効果の確認を行った結果、セメントに対しホウ酸を 0.1wt% 添加することで、混練作業及び充てん作業の効率を下げることなく処理でき、充てん後一日で硬化することが明らかになった。(表 1 参照)

### 【研究の達成状況(平成 13 年度)】

低レベル放射性固体廃棄物の処理方法についての近年の開発状況を調査し、過去 5 年における日本原子力学会発表案件についてのデータシートを作成した。また、セメント混練固化法により、作製した Cs、Sr 吸着剤の模擬供試体を用いた物理的特性についても、当初の予定通り実施することができた。

(今後の予定)

平成 14 年度については、本年度までの成果をまとめることとし、以降の研究については、予算、要員ともに確保されていないため、実施できない見通しである。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究の成果は、現在建設中の低放射性廃棄物処理技術開発施設(LWTF)から発生する廃棄物に適用が可能であるばかりではなく、その他の廃棄物の処理に係る基礎データ・評価手法を使用する工程についての安全評価にも活用できると考えられる。

### 【研究成果の発表状況】

(1) 三浦ほか、“低アルカリ性固化体の特性評価”:日本原子力学会 2002 年春の年会 K29

### 【国内外の研究動向】

[民間の研究の現状と動向]

イ．再処理系低レベル放射性固体廃棄物の処理技術に関する検討

1995 年頃より、水・添加物・硬化剤を混入したスラグセメントによるイオン交換樹脂、再処理系廃棄物の混練固化処理が実施されており、処分に適した廃棄体要件を満たす固化体の作製に成功している<sup>1)-4)</sup>。また、これらの開発において処分環境に対する負荷を軽減する低アルカリ性のセメントの使用が検討され<sup>5)-6)</sup>、混練による固化処理方法を中心とした R&D が実施されるようになってきた。また、下北における低レベル廃棄物の埋設基準が設置され、過去に作製された固化体の再評価や再固化に関する検討のほか<sup>7)-8)</sup>、解体施設から発生するコンクリート廃棄物の再利用などの技術開発が開始されるようになった<sup>9)-11)</sup>。

ロ．再処理系低レベル放射性固体廃棄物の処理に関する評価

セメント混練固化処理のプロセスにおいては硬化時間や流動性などの処理時のハンドリング性に係る検討が行われるようになった。なかでも、処分環境に負荷が少ない低アルカリ性セメントに関する基本性能の確認<sup>12)-14)</sup>や、補強剤・流動性を高めるための添加剤の検討<sup>15)-16)</sup>が行われるようになった。

(参考文献)

- 1) 佐々木 他、“スラグセメント固化(1)—イオン交換樹脂の固化”:日本原子力学会 1995 年秋の大会 J1
- 2) 佐々木 他、“スラグセメント固化(2)—再処理廃棄物の固化”:日本原子力学会 1995 年秋の大会 J2

- 3) 佐々木 他、“スラグセメント固化(3)—放射性廃液の高減容固化”: 日本原子力学会 1996 年秋の大会 L63
- 4) 佐々木 他、“スラグセメント固化(4)—放射性廃液のパイロットプラント試験”: 日本原子力学会 1996 年秋の大会 L64
- 5) 田熊 他、“アーウィン含有クリンカー—セッコウ—スラグ系セメントの水和反応と pH 挙動”: Journal of the Ceramic Society of Japan 104, [11], 1040-1047, (1996)
- 6) 三浦 他、“低アルカリ性固化体の特性評価”: 日本原子力学会 2002 年春の年会 K29
- 7) 増井 他、“セメント固化体の再固化方法の検討(1)”: 日本原子力学会 2002 年春の年会 K27
- 8) 三原 他、“セメント固化体の再固化方法の検討(2)”: 日本原子力学会 2002 年春の年会 K28
- 9) 小西 他、“再生セメントを用いた放射性廃棄物の減容化処理”: 日本原子力学会 1996 年秋の大会 L59
- 10) 小西 他、“再生セメントを用いた放射性廃棄物の減容化処理(その 2)”: 日本原子力学会 1997 年春の年会 L28
- 11) 小西 他、“再生セメントを用いた放射性廃棄物の減容化処理(その 3)”: 日本原子力学会 1997 年秋の大会 I3
- 12) 藤田 他、“アーウィン系低アルカリ性セメントの開発—pH 挙動に及ぼすシリカフォーム添加の影響”: 日本原子力学会 1998 年秋の大会 M6
- 13) 坂本 他、“低アルカリ性を図った溶解特性に関する基礎的検討”: 日本原子力学会 1997 年春の年会 L30
- 14) 坂本 他、“低アルカリ性を図ったセメントの pH と強度の特性について”: 日本原子力学会 1996 年春の年会 M45

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

##### イ．再処理系低レベル放射性固体廃棄物の処理技術に関する検討

諸外国においても高レベル放射性廃棄物を除く廃棄物の多くはセメント固化や直接処分などの方法が採用されている。英国では、1998 年以前より LLW(低レベル放射性廃棄物)や ILW(中レベル放射性廃棄物)にセメント固化処理法が採用されており<sup>1)</sup>、同様にスウェーデン、米国、独国においてもガラス固化処理の対象廃棄物を除く中・低レベル放射性廃棄物に関してセメント固化処理が採用されている。

##### ロ．再処理系低レベル放射性固体廃棄物の処理に関する評価

本研究を実施するにあたり、セメントへの放射性廃液の影響を微細構造的レベルで研究し、細孔におけるポルトランダイト配向と飽和係数を算出する研究を参考とした。本研究では、国内での研究開発が活発であるため、ポルトランダイト配向と飽和係数以外の動向調査は実施していない。

#### ( 参考文献 )

- 1) A. S. D Willis et al, Nuclear Energy, 1998. 10
- 2) A. Guerrero et al., Journal of the American Ceramic Society, Vol. 83, No. 11, Nov. 2000

#### 【研究評価(自己評価)】

##### ○成果の達成レベル

###### [ チェック欄 ]

- ☒ 予定以上の成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

###### [ 説明欄 ]

##### ○成果活用方策

###### [ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。

☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

■ 計画どおり進捗した。

☐ 計画どおり進捗しなかった。

( その理由 :

☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

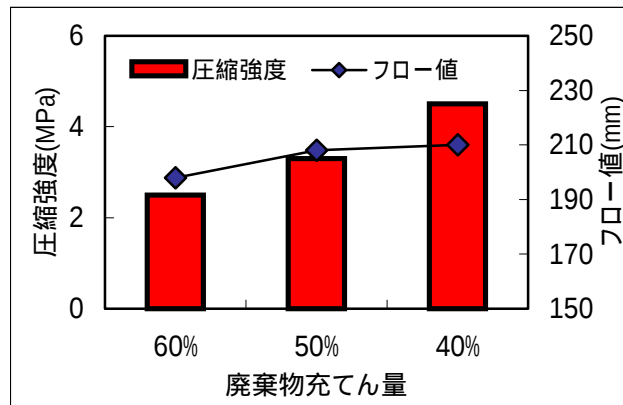


図 1 Sr 吸着剤-NaNO<sub>3</sub> 洗浄

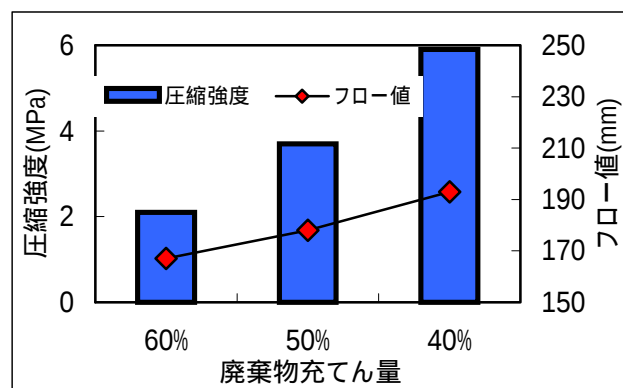


図 2 Cs 吸着剤-NaNO<sub>3</sub> 洗浄

表 1 凝結遅延材の検討

| 六フッ化<br>マグネシウム(g) | ホウ酸(g)       | 硬化時間(min) | 評 価 |
|-------------------|--------------|-----------|-----|
| 0                 | 無 し          | 30        | -   |
| 0.1(0.2%)         |              | 20        |     |
| 0.25(0.5%)        |              | 20        |     |
| 無 し               | 0.025(0.05%) | 120       | ○   |
|                   | 0.05(0.1%)   | 280       |     |
|                   | 0.1(0.2%)    | 600       |     |
|                   | 0.25(0.5%)   | 2400      | ×   |

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 5 - 2

### 【研究課題名(Title)】

ヨウ素除去技術に関する研究（Development of Advanced Iodine Removal Process）

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

〔氏名〕 伊波 慎一（いなみ しんいち）

〔所属〕 東海事業所 再処理センター 施設管理部 施設保全第一課

〔連絡先〕 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号：029-282-1111

(Name) Shinich INAMI

(Title of Function) Facility Maintenance Section, Technical Services Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194 Japan  
Phone: +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

〔氏名〕 舩井 明宏（ますい あきひろ：Akihiro MASUI）

〔所属〕 東海事業所 再処理センター 施設管理部 施設保全第一課

(Facility Maintenance Section, Technical Services Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

再処理施設 分離精製工場

### 【研究概要】

〔研究の経緯〕

東海再処理施設では、主排気筒から放出される放射性ヨウ素の放出低減化対策として、換気系統に銀ゼオライト（AgX）を用いたヨウ素除去を行っているが、オフガス中のNOxにより劣化し、ヨウ素除去効率が低下する問題があった。そこで耐NOx性の性能向上及び吸着後の保持性能についての検討が課題となってきた。

〔研究目的〕

東海再処理工場の換気系でヨウ素除去に用いられている吸着材、銀ゼオライト（AgX）吸着材及びその他の吸着材（Halsorb, 銀アルミナ（AgA）等）の性能比較試験の結果、現運転条件で銀の利用率を低下させる原因として、NOxの影響が示唆された。本件では各吸着材のNOxによる影響評価を行い、銀利用率向上のための検討を行う。その結果から効率的な運転条件を提案する。また、吸着後のヨウ素の保持性能について試験評価を行い、保管廃棄方法の検討を行う。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

試験要領を作成し、比較試験用装置を用いて、各吸着剤について実廃気を用いた性能評価のためのデータ収集試験を行った。（別添参照）

性能試験により各吸着材についてのデータ収集が得られた。現在試験データの整理中。

（今後の予定）

平成 14 年度の予算は確保されていないが、引き続き性能評価のためのデータ収集試験を行う。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

- イ．吸着材の銀利用率を向上させ高性能化することにより再処理施設からの放射性ヨウ素放出量低減及び廃棄物(使用済み吸着材)についても低減することができる。
- ロ．使用済み吸着材のヨウ素の脱離量データを取得することにより、今後の使用済み吸着材の廃棄についての安全性評価につながる。

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

ヨウ素吸着材の一種である硝酸銀添着シリカゲル( A g S )について、ヨウ素吸着性能の評価が行われている。

#### ( 参考文献 )

「Removal of Iodine from Simulated Reprocessing off-gas Streams by Silver Absorbent」  
S.Mukohara ( JNFL ) ,Y.Kondo and T.Fukasawa(Hitachi Ltd)RECORD94 1994

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

再処理施設で使用した使用済み硝酸銀シリカゲルから、I -129 を分離し、安定なX e -130 に変換する研究が行われている。

#### ( 参考文献 )

「Separation of Iodine from AC6120 Adsorber Material for Transmutation」  
GLOBAL95 1995

## 1. 試験に用いた吸着材

|   | ヨウ素吸着材     |     | 略号 | 銀含有率(%) |
|---|------------|-----|----|---------|
| 1 | 銀ゼオライト     | AgX | X  | 37.3    |
| 2 | 高シリカ型ゼオライト | AgZ | Z  | 12.0    |

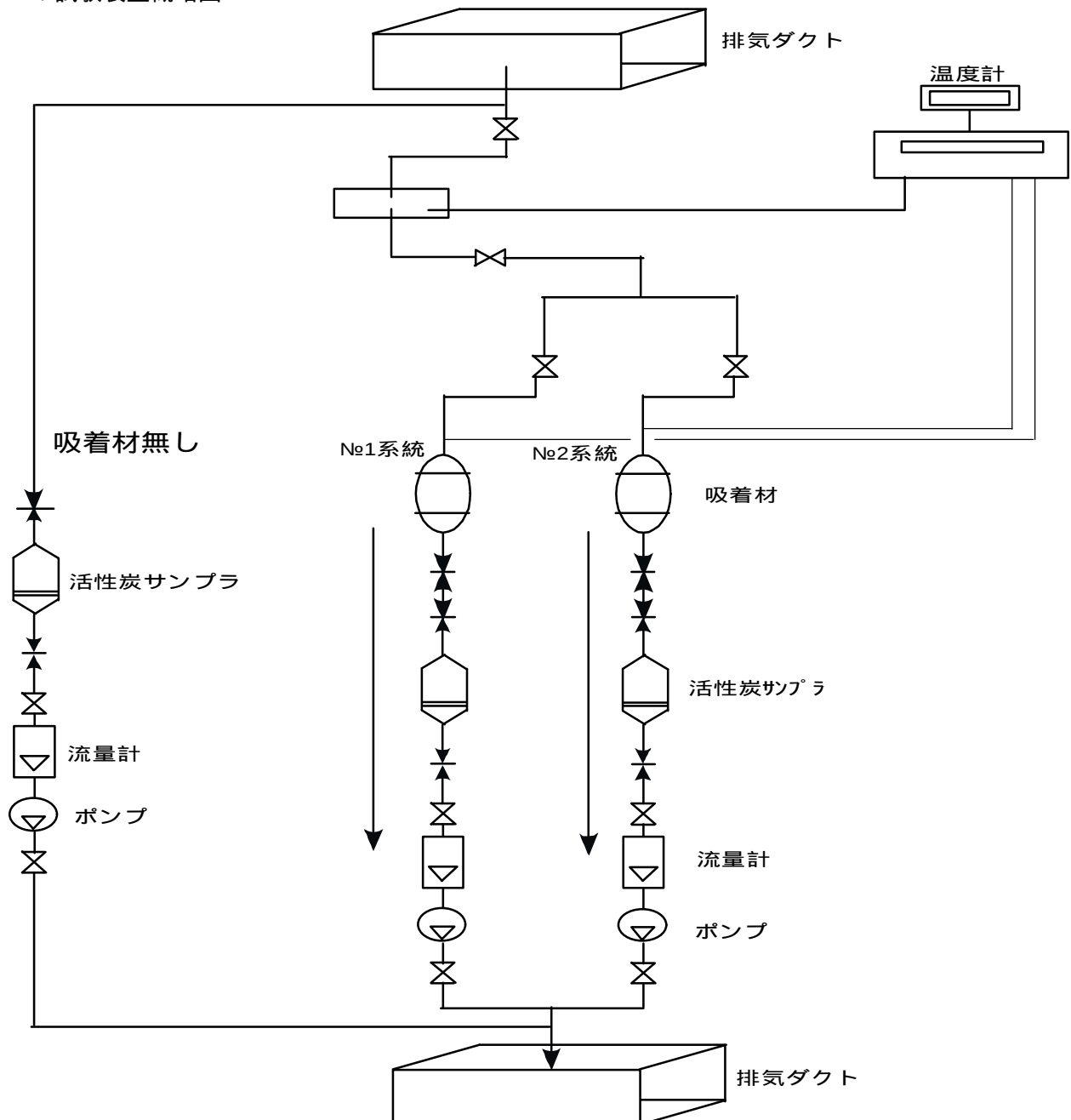
## 2. 吸着材試験条件(実廃気条件と同様)

|        |      |           |
|--------|------|-----------|
| 吸着材条件  | 層圧   | 50mm      |
| 通気ガス条件 | 線速   | 10 l/min  |
|        | 温度条件 | 約 30 ~ 35 |
| 試験期間   | 吸着試験 | 22 日間     |

## 3. 吸着試験結果

|          |      |     |
|----------|------|-----|
|          | AgX  | AgZ |
| 除染係数(DF) | 15.7 | 9.9 |

## 4. 試験装置概略図



## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 5 - 3

### 【研究課題名(Title)】

再処理施設における C-14 の放出挙動に関する調査研究

( Investigation for C-14 Airborne Discharge from Nuclear Reprocessing Facility )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 野尻一郎 ( のじり いちろう )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂群東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Ichiro NOJIRI

(Title of Function) Technology Development Section, Technology Co-ordination Division,  
Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1194, Japan  
Phone: +81-29-282-1111

### 【使用主要施設】

東海再処理施設

### 【研究概要】

#### [ 研究の経緯 ]

C-14 は再処理施設から放出される主要な気体廃棄物の一つであり、平常時の線量評価においてその寄与が大きい核種である。このため、東海再処理施設では、これまでに環境への放出挙動を把握するための測定装置や分析装置の開発を行うとともに、工程内挙動に関するデータの取得を行っていたが、アスファルト固化処理施設における火災爆発事故等により主工程の運転を停止していたため、この期間はデータ取得ができなかった。しかしながら、平成 12 年度に東海再処理施設が運転を開始したことから、C-14 の放出挙動に係るデータ取得を再開し、詳細な放出挙動を把握することとした。

#### [ 研究目的 ]

C-14 は再処理施設から放出される主要な気体廃棄物の一つであり、平常時の線量評価においてその寄与が大きい核種である。このため、C-14 の放出低減により再処理施設から環境影響が低減される。C-14 の放出低減にあたっては、C-14 の再処理工程内の挙動及び放出挙動を詳細に把握することにより、その工程内除去などが効率的に行えることになる。このため、再処理施設のオフガス処理工程及び廃液処理工程に着目して、C-14 の挙動調査を行うとともに、コールド試験により C-14 の詳細な放出挙動を把握し、C-14 の放出低減方策の策定のための知見を得る。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

#### イ．東海再処理施設における C-14 の挙動調査

東海再処理施設の 00-1 キャンペーンでは、せん断オフガス洗浄液、溶解オフガス洗浄液及び低放射性廃液中の C-14 濃度並びに主排気筒における C-14 の詳細な放出量の測定を実施している。これらのデータについて評価・検討を行い、燃料処理期間中に主排気筒から放出される C-14 の主要なソースターム及び燃料処理前における C-14 の放出挙動に関して知見を得た。また、廃液の貯槽間移送に伴って有意な C-14 放出の可能性があることが確認され、この事象についてコールド試験の有用性が確認された。

#### ロ．コールド試験による挙動調査

イ．で得られた知見から低放射性廃液の貯槽間移送によって発生する C-14 の放出挙動について詳細に把握するため、貯槽間移送における CO<sub>2</sub> の発生メカニズムを調査するための試験体系を設定した。化学的なメカニズムとして硝酸と水酸化ナトリウムの反応によって生成する CO<sub>2</sub> の量について、物理的なメカニズムとしてバブリングによって生成する CO<sub>2</sub> の量について、それぞれ測定するための体系を設定することとした。

#### （今後の予定）

東海再処理施設における C-14 の測定データの評価・検討を継続するとともに、コールド試験を実施する。ただし、ガラス固化処理技術開発施設については熔融炉の更新のため運転しないことから、この工程の廃液処理工程における測定データの取得は大幅に遅れることになる。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

- ・ C-14 の放出挙動に係る詳細なデータが得られていることから、今後さらにこれらのデータの評価・検討を行うことにより、C-14 放出低減化方策立案のための知見が得られると考える。

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成13年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 5 - 4

### 【研究課題名(Title)】

スラッジ除去技術の開発 (Technology Development for Sludge Removal from Tanks in hot cells)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 林 晋一郎 (はやし しんいちろう)

[所属] 東海事業所 再処理センター 処理部 化学処理第一課

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Shinichiro HAYASHI

(Title of Function) Dissolution and Clarification Section, Reprocessing Operation Division,  
Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan  
Phone: +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 田口 克也 (たぐち かつや : Katsuya TAGUCHI)

[所属] 東海事業所 再処理センター 処理部 化学処理第一課

(Dissolution and Clarification Section, Reprocessing Operation Division, Tokai  
Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

再処理施設分離精製工場、実規模試験施設

### 【研究概要】

#### [研究の経緯]

使用済燃料溶解液には不溶解残渣等のスラッジが含まれるが、これらのスラッジの蓄積が進行した場合、貯槽の液位、密度測定用計装配管の閉塞、液抜き用ジェットポンプ等の作動不良など、再処理施設の溶解及び清澄工程の安定運転に支障をきたす要因となる。このため、スラッジの除去を定期的に行う必要があるが、対象となる貯槽、配管等は、高線量下のセル内に配置されており、しかも狭隘な環境であることから、スラッジを除去するためには高度な遠隔技術が要求される。

#### [研究目的]

再処理施設の溶解及び清澄工程のプロセス液に含まれるスラッジは、配管の閉塞等の要因になる。このため溶解工程を対象に内部点検、スラッジの洗浄及び除去するための装置を開発し、実機適用により性能を確認する。

### 【研究実施状況（平成13年度）】

#### イ．溶解槽スラッジ回収装置

燃料処理停止期間（インターキャンペン）に実機適用し、濃縮ウラン溶解槽から砂状のスラッジを約9割回収し、所定の性能を確認した。（図-1参照）

#### ロ．サイフォン配管洗浄装置

燃料処理停止期間（インターキャンペン）に実機適用し、所定の性能を確認した。

#### ハ．サイフォン配管スラッジ除去装置

作業期間、要員が確保できなかったため、モックアップ試験は実施しなかった。

#### ニ．移送配管スラッジ除去装置

移送配管スラッジ除去装置の実機製作を行いモックアップ試験により所定の性能を確認した。

ホ．貯槽内部点検装置

作業期間が確保できなかったため、実機適用しなかった。

(今後の予定)

イ．溶解槽スラッジ回収装置

作業期間の調整を行った上で適宜実機適用し、性能を確認する。

ロ．サイフォン配管洗浄装置

作業期間の調整を行った上で適宜実機適用し、性能を確認する。

ハ．サイフォン配管スラッジ除去装置

一連の作業手順確認に係る総合モックアップ試験を実施したのち、作業期間の調整を行った上で適宜実機適用し、性能を確認する。

ニ．移送配管スラッジ除去装置

一連の作業手順確認に係る総合モックアップ試験を実施したのち、作業期間の調整を行った上で適宜実機適用し、性能を確認する。

ホ．貯槽内部点検装置

作業期間の調整を行った上で適宜実機適用し、性能を確認する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

再処理施設の安定運転に資するとともに、六ヶ所再処理施設へ技術反映する。また、「溶解槽スラッジ回収装置」については特許申請中

発明の名称：放射性溶液タンク底部のスラッジ回収装置

出願番号：特願 2000-345361 (平成 12 年 11 月 13 日)

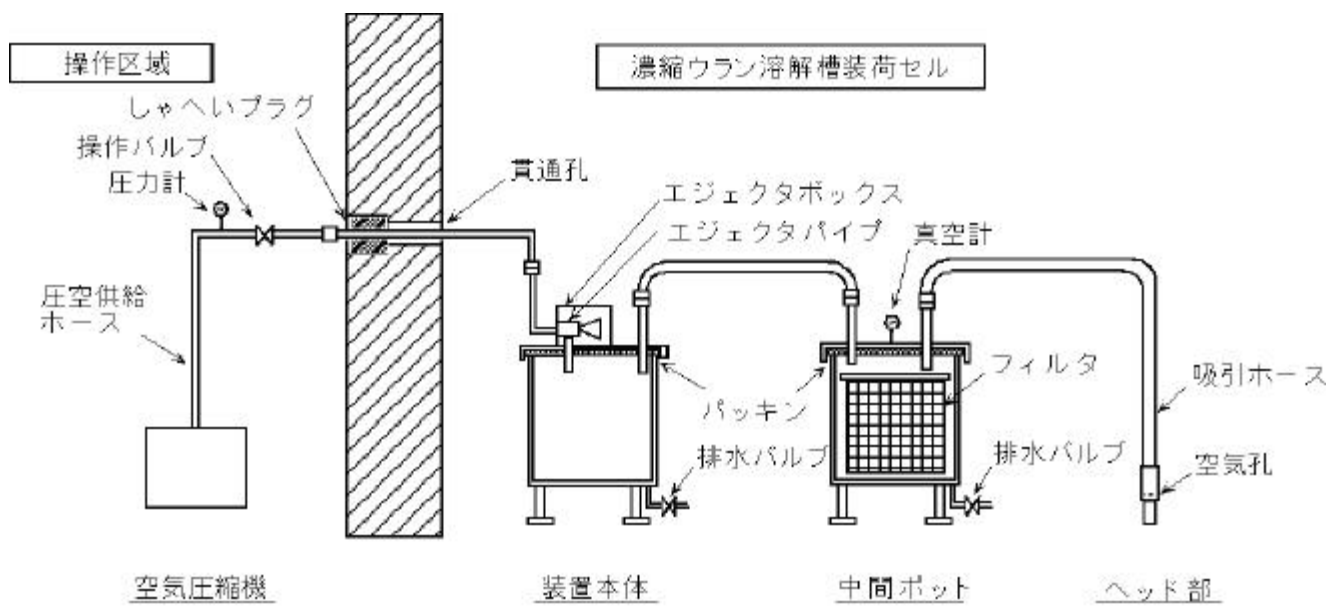
#### 【研究成果の発表状況】

(1)サイクル機構技報 No.9 2000.12(JNC TN1340 2000-004)

(2)東海再処理施設技術報告会(資料集) 1999 年 7 月(JNC TN8410 99-022)

(発表予定)

東海再処理施設技術報告会 予定



図－1 溶解槽スラッジ回収装置概要図

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 5 - 5

### 【研究課題名(Title)】

気相へ移行するヨウ素の挙動 (Behavior of Gaseous Iodine in the Tokai Reprocessing Plant)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 林 晋一郎 (はやし しんいちろう)

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 処理部 化学処理第一課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Shinichiro HAYASHI

(Title of Function) Dissolution and Clarification Section, Reprocessing Operation Division,  
Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan  
Phone : +81-29-282-1111

### 【研究担当者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 橋本 孝和 (はしもと こうわ : Kouwa HASHIMOTO)

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 処理部 化学処理第一課

(Dissolution and Clarification Section, Reprocessing Operation Division, Tokai  
Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

再処理施設分離精製工場、廃棄物処理場等

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

再処理施設においては、昭和 52 年のホット運転開始以来、ヨウ素の工程内挙動について文献調査をはじめ、各換気系統にサンプリング装置を設け、サンプリング・分析による調査を実施しており、調査結果に基づき主要な移行ルートに順次ヨウ素フィルタを設けるなど、環境へのヨウ素の放出低減化に取り組んできている。

[ 研究目的 ]

再処理工程では、ヨウ素は複雑な挙動をすることから、東海再処理施設ではこれまでに再処理工程内の測定結果を基にヨウ素の挙動を明らかにし、これを基にして、気相における主要なルートにヨウ素除去フィルタを設けている。現在、オフガス処理系の運転管理の観点から、気相へ移行するヨウ素の測定を継続的に実施し、挙動を監視している。

本研究では、再処理工程における気相中のヨウ素サンプリング、測定結果をもとにしたバランスなどヨウ素の挙動について評価し、効率的なヨウ素除去に資する。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

イ．気相中のヨウ素測定結果のまとめ

01-1 及び 01-2 キャンペーン期間中、主排気筒からのヨウ素放出状況の監視を行うとともに、換気系に設置したヨウ素サンプリング装置（23 箇所 図 - 1 参照）を用いたサンプリング・分析を行った。調査結果から各換気系でのヨウ素のバランス、ヨウ素フィルタの除去効率などを評価し、ヨウ素の工程内挙動についてキャンペーン毎に整理し、評価を行った。その結果、本期間中において、処理燃料中に含まれるヨウ素の大部分が溶解運転に伴い溶解オフガス処理工程に移行し、更にその約 6 割は酸吸収塔から酸回収工程経由で槽類換気工程に移行するという従来と同様の挙動を示しているこ

とを確認した。

(今後の予定)

イ．気相中のヨウ素測定結果のまとめ

キャンペーン毎に測定結果のまとめを行う。

ロ．挙動評価

キャンペーン毎の測定結果を体系的に整理し、再処理工程におけるヨウ素の挙動を明らかにする。

**【成果の利用実績及び活用見通し】**

現在、分離精製工場の運転管理に利用している。さらに六ヶ所再処理施設へデータ提供する。

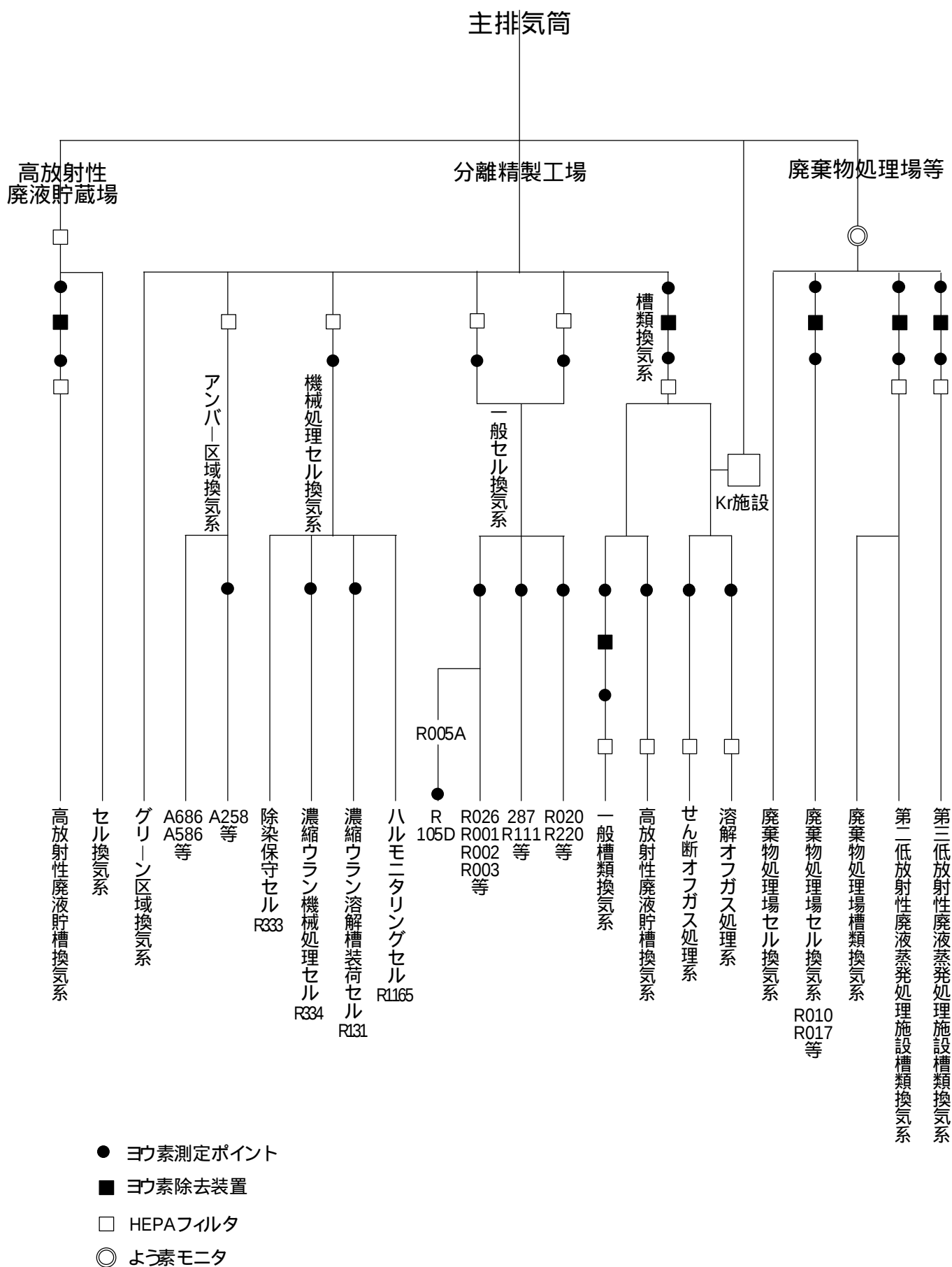


図 - 1 ヨウ素測定ポイント

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 5・6

### 【研究課題名(Title)】

クリプトンの固定化技術開発 (Study on Krypton Immobilization technology and development)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 林 晋一郎 (はやし しんいちろう)

[所属] 東海事業所 再処理センター 処理部 化学処理第一課

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Shinichiro HAYASHI

(Title of Function) Dissolution and Clarification Section, Reprocessing Operation Division,  
Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan  
Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 隅田 幸生 (すみだ ゆきお : Yukio SUMIDA)

[所属] 東海事業所 再処理センター 処理部 化学処理第一課

(Dissolution and Clarification Section, Reprocessing Operation Division, Tokai  
Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

クリプトン回収技術開発施設

### 【研究概要】

[研究の経緯]

再処理施設から環境に放出される放射性物質の量を低減化する研究開発の一環として、再処理工程から放出されるオフガス中の放射性物質であるクリプトンを除去回収する技術開発を行ってきた。回収されるクリプトンについては、安全性及び管理の簡易性の観点から、高圧ガス状態での貯蔵に替わる技術として、イオン注入固定化法を用い金属中にクリプトンを閉じ込める固定化技術が必要である。

固定化技術の開発においては、放射性クリプトンガスを用いた試験を行い、得られた固化体の長期貯蔵の安定性を確認する必要がある。また、実用性の観点から、単機当たりの注入量及び注入速度を増加させたプロトタイプ容器(小型容器の3~4倍程度)の開発を進めていく必要がある。

[研究目的]

再処理オフガスから回収されたクリプトンガスの長期間安定貯蔵の技術確立を目的としてクリプトンガスを金属中に固定化するイオン注入固定化技術を開発する。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

イ．ホット試験

回収クリプトンガス(以下ホットガス)を用いた連続注入試験を3回行った。連続注入試験条件及び結果を表・1に示す。

ホット希釈ガス(回収クリプトンガスを天然クリプトンガスで希釈したガス)を用いて連続注入試験を行い、約300NLのクリプトンガス( $3.5 \times 10^4$  GBq)を固定化した。

ホットガスを用いた連続注入試験を行い、約270NLのクリプトンガス( $1.5 \times 10^5$  GBq)を固定化し

た。

ホットガスを用いた連続注入試験の再現試験を行い、約 280NL のクリプトンガス( $2.9 \times 10^5$  GBq)を固定化した。

#### ロ．コールド試験

プロトタイプ容器試作機を用いた特性試験

プロトタイプ容器の試作機(ターゲット寸法 170mmφ × 430mmH)を製作(図 1)し、ターゲット / サブストレイト電極間距離 40mm の特性試験を実施した。注入速度が 12Ncc/min 以上では、電極電流の上昇、容器温度の上昇傾向が見られた。(図 2) この現象から、注入速度の上昇には容器の熱除去のため、電極の冷却が主要な課題であることがわかった。

プラズマ解析によるスケールアップ因子の検討

プラズマ解析コードにより、プロトタイプ容器のスケールアップのための因子として、容器の高さ方向(200mm、430mm)と径方向(ターゲット電極 / サブストレイト電極間距離 20mm、30mm、40mm)の影響について調べた。

解析の結果から、高さ方向へスケールアップを行う時にはイオン密度の偏在が大きくなるため、これを緩和するには容器の径方向について電極間距離を大きくすることでプラズマの安定化が図れることが明らかになった。

#### (今後の予定)

イ．ホット固化体評価試験

作製した固化体内の Kr-85 の長期貯蔵データを得るために、定期的に固化体内のガスの放射能を測定して、Kr-85 の保持特性を調査する固化体評価試験を行う。

ロ．コールド試験

プロトタイプ容器試作機のターゲット電極の冷却機能を向上させ、15Ncc/min 以上での連続運転ができる条件を検討する。容器形状及び構造の検討にあたっては、プラズマ解析、熱解析等の計算解析コードを利用した検討を行う。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

イオン注入固定化技術で得られた研究成果は、今後の再処理事業(クリプトン回収・固定化)を行う際の選択肢の一つとなる。

#### 【研究成果の発表状況】

- (1) 森本和幸、林晋一郎他 クリプトンガスのイオン注入固定化試験〔X〕  
・回収ガスを模擬したガスによる連続注入試験・ 2001 年秋の原子力学会
- (2) 木村典道、林晋一郎他 クリプトンガスのイオン注入固定化試験〔X〕  
・放射性クリプトンガスでの特性試験及び長期連続試験・ 2001 年秋の原子力学会
- (3) 隅田幸生、林晋一郎他 クリプトン回収・固定化技術に関する研究  
平成 13 年度安全研究成果発表会

#### 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

国内で、固定化の技術開発を行っているのはサイクル機構のみ。

#### (参考文献)

なし

[ 海外の研究の現状と動向 ]

イオン注入固定化法によるクリプトンの固定化技術開発は、英国(Harwell)<sup>1)</sup>、米国(PNL)<sup>2,3)</sup>、ドイツ(KfK)<sup>4)</sup>において実施されていた。各国とも 1980 年代で研究を終了している。

#### (参考文献)

- (1) D.S. Whitmell, ' Immobilization of krypton in a metal matrix, Final report ' Research contract No 402-83-8 WAS UK(H) 1988

- (2)PNL-SA-10536.UC-70  
 (3)PNL-SA-13239 : DE86 007724  
 (4)Kerntechnik 54 (1989) No.4

表 - 1 小型容器を用いたホット連続試験結果のまとめ

| 試験 NO.                 | 連続試験              | 連続試験              | 連続試験              |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 試験時間(h)                | 1300              | 1100              | 1100              |
| ホットガス放射能<br>濃度(GBq/NL) | 120               | 560               | 1100              |
| Kr 注入量(NL)             | 300               | 270               | 280               |
| 固化体放射能量<br>(GBq)       | $3.5 \times 10^4$ | $1.5 \times 10^5$ | $2.9 \times 10^5$ |
| 平均注入速度<br>(Ncc/min)    | 3.9               | 4.1               | 4.4               |
| 最大注入速度<br>(Ncc/min)    | 5.6               | 5.8               | 6.1               |

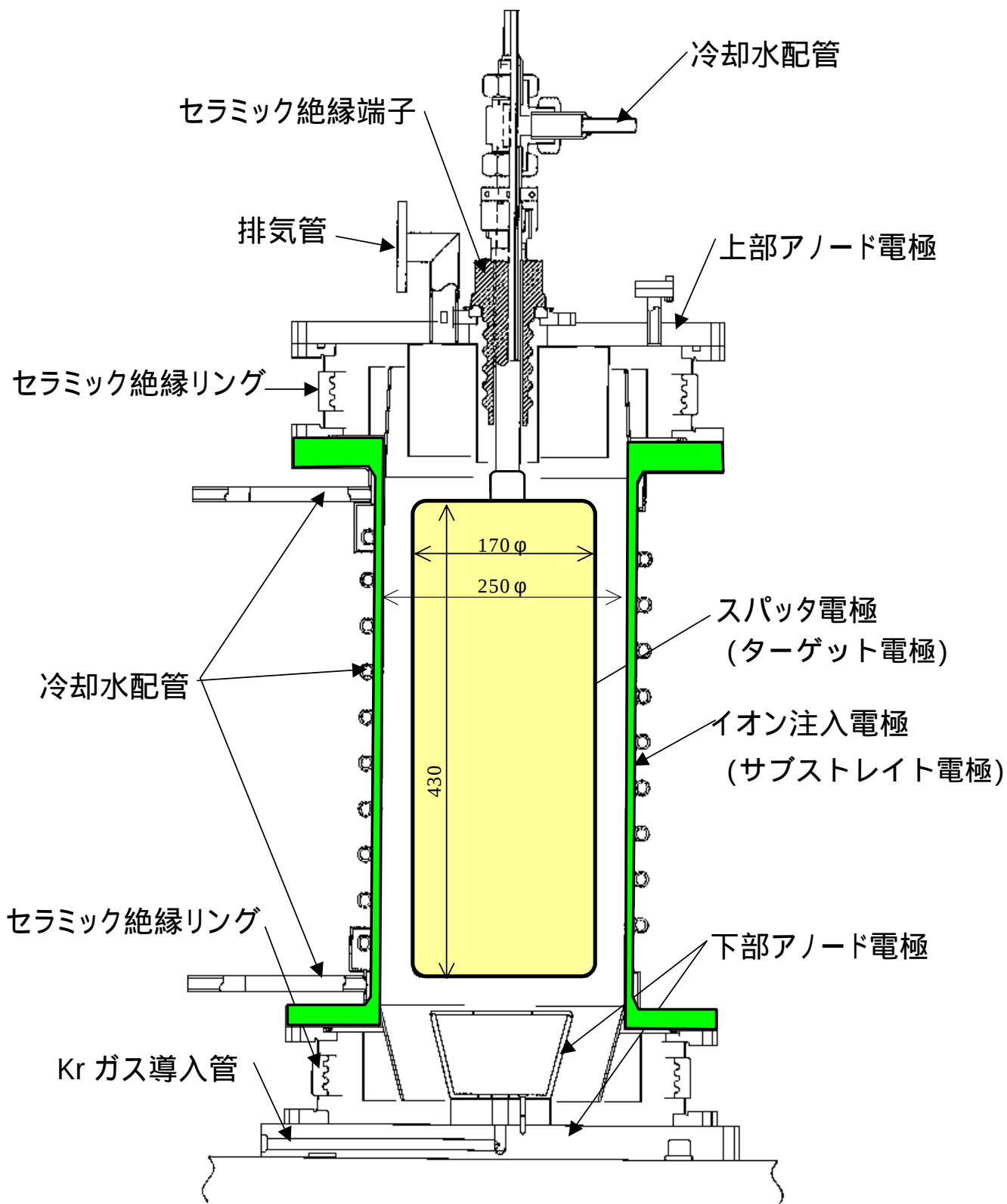


図1 プロトタイプ容器試作機の構造

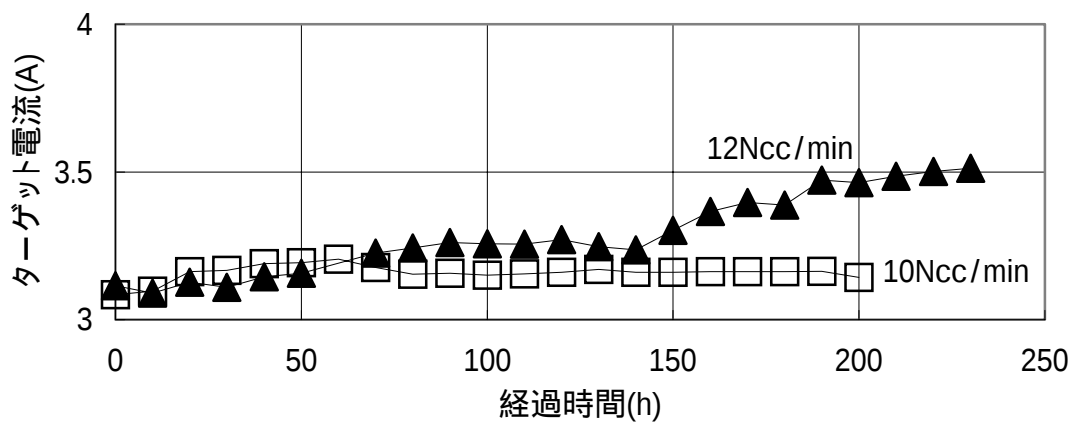
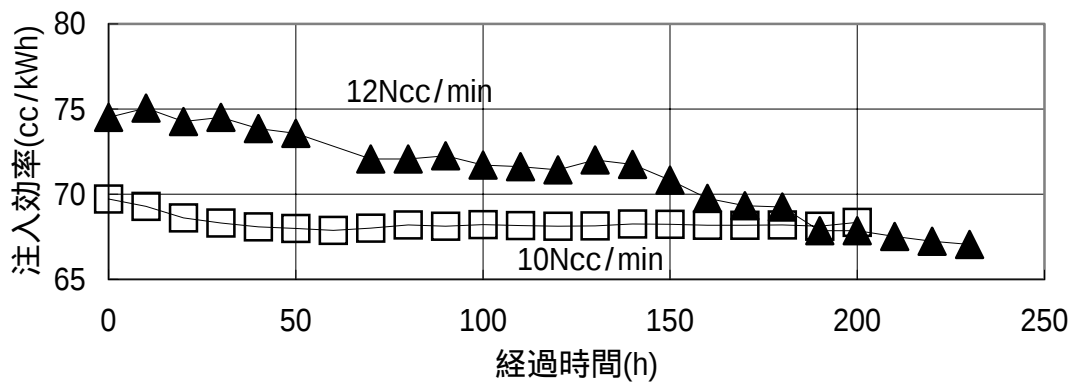
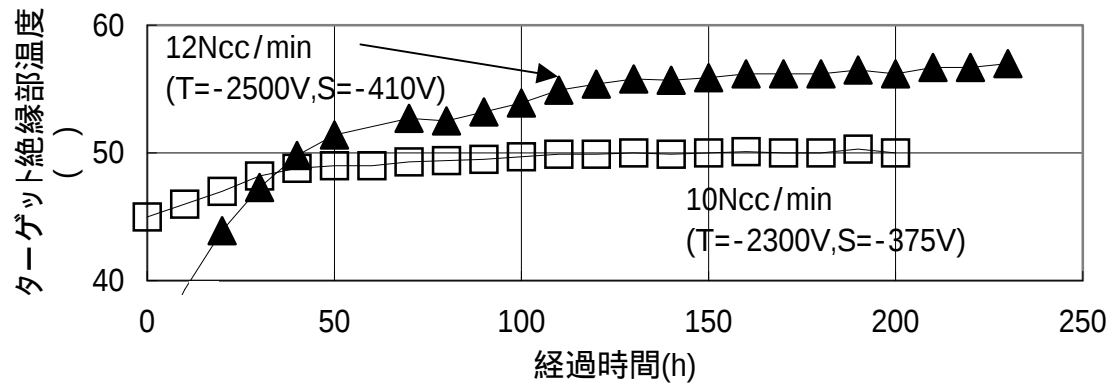


図2 プロトタイプ容器試作機の注入時のパラメータ変化

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 5 - 7

### 【研究課題名(Title)】

不均一系核燃料物質の工程間移動における安全性向上に関する研究

(Research of Safety Improvement for Transfer of Inhomogeneous Nuclear Materials among Processes)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 高橋 芳晴 (たかはし よしはる)

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 処理部 転換技術課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号 029-282-1111

(Name) Yoshiharu TAKAHASHI

(Title of Function) Conversion Technology Section, Reprocessing Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-Mura, Naka-Gun, Ibaraki, 319-1194, Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 田中 秀樹 (たなか ひでき: Hideki TANAKA)

高橋 直樹 (たかはし なおき: Naoki TAKAHASHI)

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 処理部 転換技術課

(Conversion Technology Section, Reprocessing Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai works)

### 【使用主要施設】

プルトニウム転換技術開発施設 A 1 2 7 (液移送室)

### 【研究概要】

#### [ 研究の経緯 ]

核燃料施設では、プルトニウムを含む核燃料物質の工程間 (GB 間) 移動は計量分析結果を用いて安全側に評価、管理しており、臨界管理を核燃料物質の質量で行なっているグローブボックスでは、移動するプルトニウム量の正確な把握ということが必要条件である。固体廃棄物、スクラップ粉末及びスラッジ等、それ自体が不均一のため、直接破壊分析をすることができない形態の核燃料物質は、安全側に尤度を持った推定値を用いて移動している。この推定値の不確かさの程度を、より正確な移動量を知ることができる非破壊分析装置を開発することにより、それらの核燃料物質移動量の迅速な把握及び計測の不確かさを低減することができることに着目し、作業員の被ばく低減並びに施設の安全管理、計量管理の向上を早期に図るものである。

#### [ 研究目的 ]

本研究においては、非破壊分析装置を活用し、被測定対象物中に含有する核燃料物質を高精度かつ迅速に確定する技術を開発することで、質量管理グローブボックス間及び工程内の不確定な核物質移動をなくし、より正確な核燃料物質の管理が実施できることにより、作業員の被ばく低減並びに施設の臨界安全性の向上を図ることを研究の目的とする。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

目標としたクリーンMOXの模擬粉末調製並びにその粉末を使用したキャリブレーション作業については、当初の達成目標のとおり実施することができ、非破壊分析装置 (FCAS) の校正を均一なプルトニウム粉末試料により、0.1g ~ 1.3kg までの校正式を得ることができた。(添付資料参照)

継続研究の為、データ収集を継続しているところである。平成 13 年度に予定していた MOX 粉末を用いた非破壊分析装置のキャリブレーションから平成 14 年度に予定している校正式の算出まで、進めることができ、非破壊分析により粉末系の均一な試料に関してより正確な測定ができるようになった。

(今後の予定)

校正式の誤差評価・同位体の影響評価を平成 14 年度に実施する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

平成 13 年度の成果により、工程内核燃料物質のうち均一なプルトニウムを含有する試料の測定が可能となり、溶液や試験サンプルなど均一なプルトニウムの迅速な測定に利用できる見通しを得た。今後、廃棄物などの不均一系のプルトニウム測定に関して測定対象物のマトリックスの測定精度に対する影響を評価し、非破壊分析装置の運用方法を検討していく。

#### 【研究成果の発表状況】

第 22 回 核物質管理学会日本支部年次大会において

「バッグアウト廃棄物中のプルトニウム量の迅速測定 その 2」 として発表並びに論文作成  
同上論文集 P81～P88 参照

(発表予定)

平成 15 年度に、誤差評価、同位体の影響評価実施後に学会発表の予定。

#### 【国内外の研究動向】

##### [ 民間の研究の現状と動向 ]

プルトニウム量の非破壊測定装置は、査察機器としての開発が一般的であり、国内企業での報告例は見られない。廃棄物や高 $\alpha$ サンプル(スクラップ等)中のプルトニウムの非破壊測定分野では、核物質管理センター・サイクル機構内のプルトニウム燃料センターで主に研究開発が行われている。しかしながら、核燃料物質の工程間移動に非破壊分析装置を用いることについてはまだ実施されていない。

(参考文献)

館野ほか、「パッシブ中性子同時計数法による廃棄物コンテナ中 Pu の測定技術開発」 サイクル機構技報 No.10 2001.3 ほか

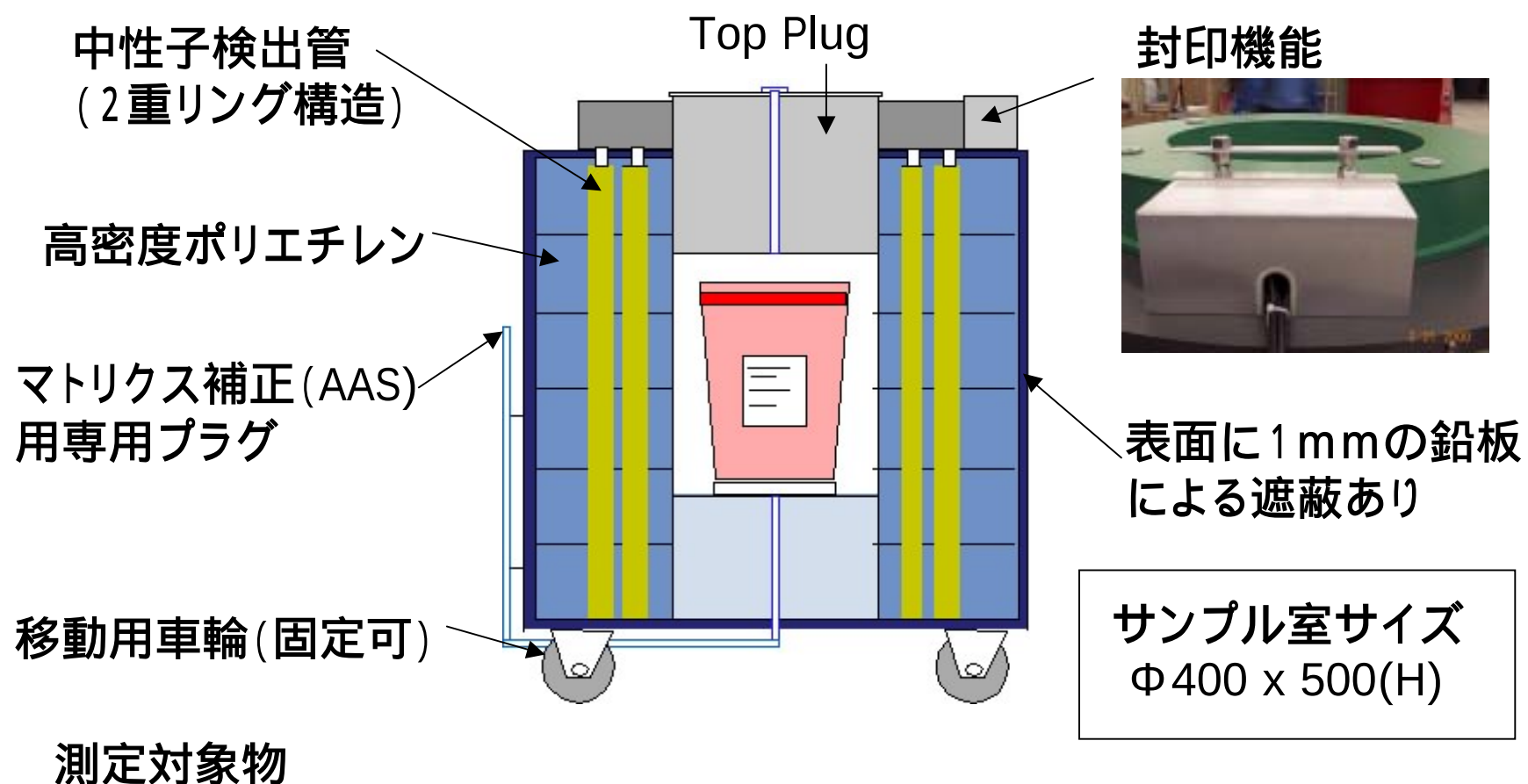
##### [ 海外の研究の現状と動向 ]

DOE(米国エネルギー省)あるいは米国企業(CANBERRA 社・ORTEC 社等)が固体廃棄物中のプルトニウム量の測定・スクラップ等の高 $\alpha$ サンプルに関して積極的な開発と国際会議等の場で活発な議論が行われている。

(参考文献)

J.E.Stewart, et al., The Epithermal Neutron Multiplicity Counter Design and Performance Manual LA-13743-M ほか

# 高速カートン測定装置 ( F C A S )



クリーンMOX・カートンボックス・スクラップ・スラッジ・少量サンプル等

# DA分析値との比較結果

| 分析値                            |                           | 同時計数法                           | DAとの差                                                    | マルチプリティ法                          | DAとの差                                                     |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Declared Pu-240 Effective Mass | Calculated Multiplication | known alpha Measured Pu Mass(g) | known alpha Difference between Declared and Measured (%) | Multiplicity Measured Pu Mass (g) | Multiplicity Difference between Declared and Measured (%) |
| 0.100                          | 0.9936                    | 0.098                           | -2.000                                                   | 0.100                             | 0.000                                                     |
| 0.500                          | 0.9993                    | 0.501                           | 0.200                                                    | 0.500                             | 0.000                                                     |
| 1.499                          | 1.0007                    | 1.506                           | 0.467                                                    | 1.505                             | 0.400                                                     |
| 4.993                          | 1.0045                    | 5.020                           | 0.541                                                    | 4.970                             | -0.461                                                    |
| 6.492                          | 1.0053                    | 6.523                           | 0.478                                                    | 6.504                             | 0.185                                                     |
| 9.995                          | 1.0083                    | 10.009                          | 0.140                                                    | 9.980                             | -0.150                                                    |
| 99.950                         | 1.0122                    | 99.240                          | -0.710                                                   | 100.720                           | 0.770                                                     |
| 500.140                        | 1.0388                    | 496.440                         | -0.740                                                   | 496.670                           | -0.694                                                    |
| 1316.220                       | 1.0744                    | 1321.620                        | 0.410                                                    | 1325.170                          | 0.680                                                     |
| Curve Fitting Error            |                           |                                 | 0.20                                                     |                                   | 0.08                                                      |
| Standard deviation             |                           |                                 | 0.80                                                     |                                   | 0.50                                                      |

Multiplicity法によって得られたMultiplication,  $\alpha$  値は、同時計数 (known  $\alpha$ ) 法で推定した値と同等であった。0.1g から1.3kgまで幅広い校正式が得られた。

クリーンMOXに関しては、両者とも良好な結果が得られた。

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 5 - 8

### 【研究課題名(Title)】

廃棄物処理工程における機器保全に係る調査検討  
(Study on Equipment Maintenance at Low Level Liquid Waste Treatment System)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 伊香 修二(いこう しゅうじ)

[所属] 東海事業所 再処理センタ 環境保全部 処理第一課

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話：029-282-1111

(Name) Shuji IKOU

(Title of Function) Aqueous Waste Treatment Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-Mura, Naka-Gun, Ibaraki, 319-1194, Japan  
Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 高橋 清文(たかはし きよふみ: Kiyohumi TAKAHASHI)

[所属] 東海事業所 再処理センタ 環境保全部 処理第一課

(Aqueous Waste Treatment Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

廃棄物処理場、第2低放射性廃液蒸発処理施設、第3低放射性廃液蒸発処理施設、放出廃液油分除去処理施設、スラッジ貯蔵場、第二スラッジ貯蔵場、廃溶媒貯蔵場

### 【研究概要】

[研究の経緯]

施設の安全・安定運転を継続させるため、個々の機器の健全性を担保することを目的に、機器の故障頻度データを採取し、合理的な保守・保全管理システムを確立する。

[研究目的]

施設の安全・安定運転を継続させるためには、個々の機器の健全性を保たなければならない。しかし、数多くの機器を使用して運転を行う場合、全ての機器を同一に管理することは困難であり、機器の重要性及び故障頻度に応じた管理を行う必要がある。本研究では、機器の故障頻度データを採取整理し、故障頻度の多い機器については、原因を調査し対策等を検討する。

### 【研究実施状況（平成 13 年度）】

イ. 故障補修データの整理及び保全方法の検討

・昭和52年度から平成13年度までの故障補修データを工程毎、種類別に整理した。

(今後の予定)

イ. 故障補修データの整理及び保全方法の検討

・故障補修データをもとに重要性の高い機器については、故障原因の調査を行う。

ロ. 保全方法の検討

・故障原因の調査結果をもとに、対策の検討を行い、機器の保全方法を検討・確定する。

【成果の利用実績及び活用見通し】

合理的な保守・保全管理システムの確立に資する。

## 安全研究（社内研究）成果の概要（平成 13 年度）

### 【研究分野】

核燃料施設の安全性に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 5 - 9

### 【研究課題名(Title)】

廃シリカゲル処理技術開発 (Development of Treatment Technique of Silica gel Waste)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 上野 勤(うえの つとむ)

[所属] 東海事業所 再処理センター 環境保全部 処理第二課

[連絡先] 〒319 - 1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話番号：029-282-1111

(Name) Tsutomu UENO

(Title of Function) Waste Conditioning Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu Tokai-mura, Ibaraki-ken, 319-1194, Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名、所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 芳中 一行(よしなか かずゆき : Kazuyuki YOSHINAKA)

[所属] 東海事業所 再処理センター 環境保全部 処理第二課

(Waste Conditioning Section, Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【使用主要施設】

廃溶媒処理技術開発施設

### 【研究概要】

[研究の経緯]

廃シリカゲルを貯槽から抜き出すための設備を平成 8 年度に設置した。設置後、抜き出し試験を開始したが、アスファルト固化処理施設の火災爆発事故により中断していた。

この抜き出し技術の効率向上と、抜き出し後の貯蔵において、放射性有機ヨウ素等が気相へ移行することがなく安全に貯蔵できることを確認するため、本研究を実施することとした。

[研究目的]

東海再処理工場の廃溶媒処理技術開発施設(ST 施設)では、ドデカンを再使用する目的で、廃溶媒から分離したドデカンを経製する工程の実証運転を実施している。この工程では、従来からのシリカゲルに加え、ドデカン中に含まれる有機ヨウ素を効率的に除去する AgX 及び MS13X を使用し、これまで順調に運転を行ってきた。

本研究は、ドデカン精製工程から発生し貯槽に貯蔵している廃シリカゲルについて、貯槽からの抜き出し技術及び貯蔵の安全性等について研究を行うものである。

### 【研究実施状況(平成 13 年度)】

平成 13 年度は、以下の研究を実施し、所定の成果を得た。

イ. 廃シリカゲル抜き出し技術の確立

実設備を用いて、考えられる 4 種類の抜き出し手順で抜き出し試験を実施し、最も効率よく抜き出せる方法を選定した。(添付図-1)

ロ. 廃シリカゲル貯蔵の安全性評価

ビニールバッグの内側に使用することを想定している内袋(アルミニウムバッグ等)に、模

擬廃シリカゲルを入れ、60 日間保管し、その耐油性等を確認した。目視観察、顕微鏡観察の結果は異常なかったが、ビニールバッグ（内袋を使用しない場合を想定）は柔軟性が幾分損なわれていた。

#### ハ．廃シリカゲルの固化技術フィージビリティスタディ

8 つの試験条件で、コールド固化試験を実施した。その結果、圧縮強度、硬度等の固化体の特性から、廃シリカゲル添加量を含め、固化に適した配合を確認した。（添付表- 1）

（今後の予定）

平成 14 年度以降は以下のことを予定している。

##### イ．廃シリカゲル抜き出し技術の確立

平成 13 年度に選定した方法で、実際に抜き出しを行い、その効果を確認する。

##### ロ．廃シリカゲル貯蔵の安全性評価

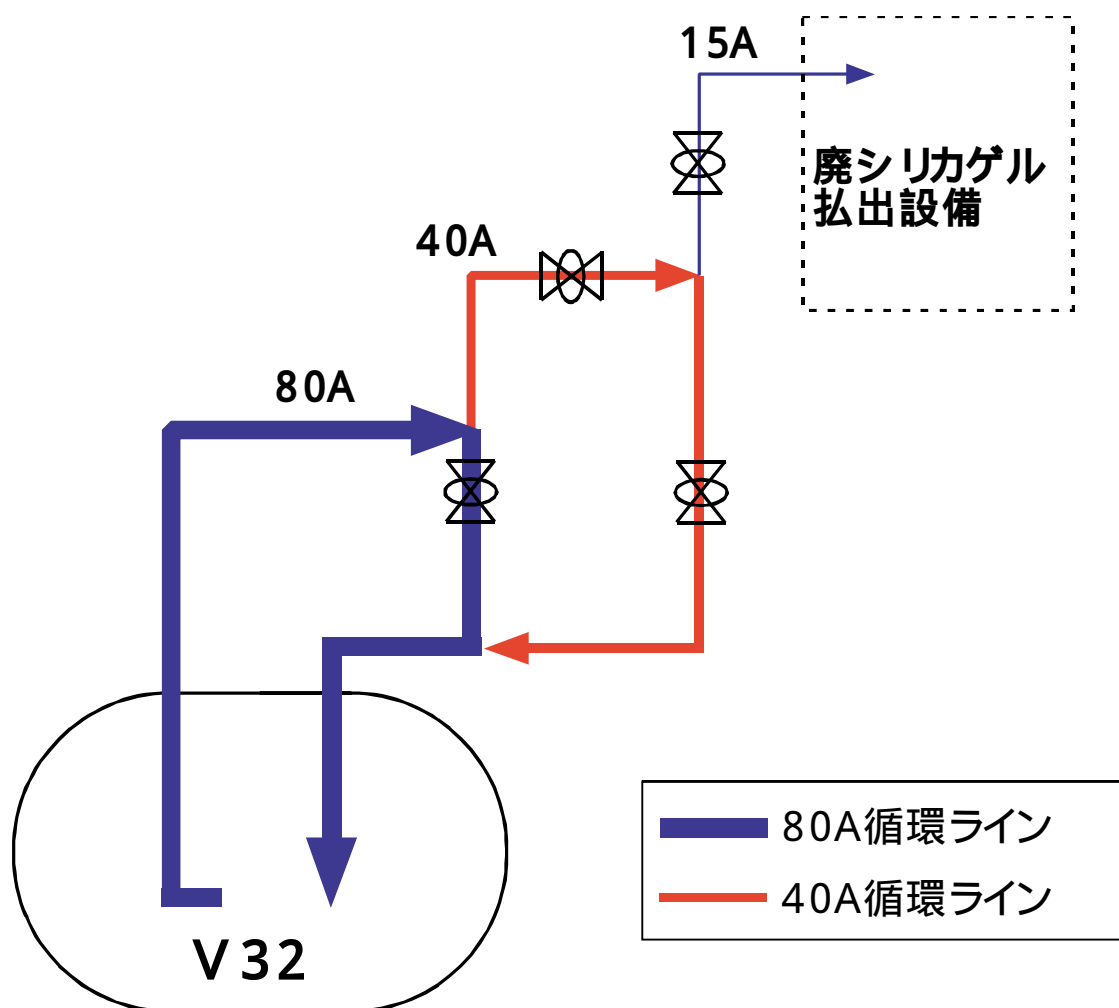
平成 13 年度耐油性を確認した内袋（アルミニウムバッグ）に廃シリカゲルを収納し、それをバッグアウト（ビニールバッグ 2 重）する。それを試験用容器に封入し、一定期間、施設内に保管し、放射性ヨウ素の放出がないことを確認する。

#### ハ．廃シリカゲルの固化技術フィージビリティスタディ

実規模でのコールド固化試験を計画し、実施していく。（予算措置は未）

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究によって得られる成果は、ドデカン精製処理に伴って発生する廃シリカゲル貯蔵時の安全確保及び将来の処理時の安全性評価データとしての活用など、廃シリカゲルの処理・貯蔵対策に活用する。



| 方法 | 初期状態 (抜き出し直前の循環時)                     | 抜き出し時の操作             |
|----|---------------------------------------|----------------------|
| 1  | 80Aライン (流量制限 :バルブ 開度調整 )及び 40Aラインにて循環 | バルブを徐々に閉にし を開として抜き出す |
| 2  | 40Aラインのみでの循環 (バルブ 閉止)                 | バルブを徐々に閉にし を開として抜き出す |
| 3  | 80Aラインのみでの循環 (バルブ 閉止)                 | バルブを徐々に閉にし を開として抜き出す |
| 4  | 80Aライン及び 40Aライン (流量制限 :バルブ 開度調整 )にて循環 | バルブを徐々に閉にし を開として抜き出す |

### 廃シリカゲル抜き出し方法の概要

表 コールド固化試験結果

| № | 配合処方                                                                       | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 硬度<br>(HDA) | 外観観察 評価等*                                                 |
|---|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------|
| 1 | TBP / 固化剤 (48 / 52 廃シリカ<br>ゲル 0wt%)                                        | 2.26                         | 67          | 廃シリカゲルを添加しない場合 (標準)。<br>特に問題はない。                          |
| 2 | TBP / 固化剤 (48 / 52 廃シリカ<br>ゲル 11wt%)                                       | 0.66                         | 34          | 中央部に少数ポイドを確認。<br>充填剤の沈降あり (底から10mm)。<br>圧縮強度、硬度ともに低い。     |
| 3 | TBP / 固化剤 (44 / 56 廃シリカ<br>ゲル 9wt%)                                        | 1.77                         | 66          | 中央部に少数ポイドを確認。<br>充填剤の沈降あり (底から10mm)。<br>下部の圧縮強度が低い傾向にあった。 |
| 4 | TBP / 固化剤 (44 / 56 廃シリカ<br>ゲル 11wt%)                                       | 1.21                         | 56          | 中央部に少数ポイドを確認。<br>充填剤の沈降あり (底から3mm)。<br>下部の圧縮強度が低い傾向にあった。  |
| 5 | TBP / 固化剤 (40 / 60 廃シリカ<br>ゲル 9wt%)                                        | 2.11                         | 78          | 全体的に少数ポイドを確認。<br>充填剤の沈降あり (底から3mm)。<br>圧縮強度のばらつきは小さい。     |
| 6 | TBP / 固化剤 (40 / 60 廃シリカ<br>ゲル 11wt%)                                       | 2.25                         | 75          | 全体的に少数ポイドを確認。<br>充填剤の沈降あり (底から3mm)。<br>圧縮強度のばらつきは小さい。     |
| 7 | TBP / 固化剤 (48 / 52 廃シリカ<br>ゲル 15wt%)                                       | 1.76                         | 74          | 側面に割れあり。<br>全体的に少数ポイドを確認。<br>充填剤の沈降あり (底から3mm)。           |
| 8 | TBP / 固化剤 (48 / 52 廃シリカ<br>ゲル 11wt%) (№4の組み合わせでア<br>エロジル (チクソ剤) 0.5wt% 添加) | 1.64                         | 62          | 全体的に少数ポイドを確認。<br>特に問題なし。                                  |

 標準の固化体

 適した配合

\*今回の評価は、固化の  
フィジビリティを評価す  
るものであり、処分のた  
めに必要な要件としての  
評価は実施していない。  
処分に係わる評価は、廃  
TBPのプラスチック固化  
体全体として、別途評価  
していく必要がある。

# 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

## 【研究分野】

原子力施設の耐震等の安全性に関する研究

## 【分類番号】

○ 7 - 1 ( 5 - 3 - 1 )

## 【研究課題名(Title)】

核燃料施設免震構造に関する高度化研究

(Improvement of Seismic Isolation Safety Design of Nuclear Fuel Facilities)

## 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

## 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 瓜生 満 (うりゅう みつる)

[ 所属 ] 東海事業所 建設工務管理部

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 - 3 3

029-282-1111

(Name) Mitsuru URYU

(Title of Function) Construction and Maintenance Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194, Japan

Phone : +81-29-282-1111

## 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 山崎 敏彦 (やまざき としひこ : Toshihiko YAMAZAKI)

[ 所属 ] 東海事業所 建設工務管理部 管理グループ

(Coordination Group, Construction and Maintenance Division, Tokai Works)

## 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

- ☒ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : 原子力施設の免震構造に関する研究 ( 核燃料施設及び高速炉機器 ) )

☐ 本基本計画から新規

## 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

## 【使用主要施設】

東海事業所 再処理施設ユーティリティ施設

## 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

核燃料サイクル開発機構では、核燃料施設へ免震構造を採用すべく、これまで確証試験や設計手法に関する研究等を進め、その成果を再処理施設ユーティリティ施設の設計、建設に反映してきた。しかしながら、原子炉施設の耐震設計分野の進歩には著しいものがあり、これを参考に免震構造の設計手法にも新しい知見を取り入れることとした。また、免震システムが将来にわたり確実に免震機能を発揮し、建物の健全性を維持させるため、供用期間中における免震システムの信頼性評価の手法を整備・確立することとした。

[ 研究目的 ]

核燃料サイクル開発機構で前期年次計画 ( 平成 8 年度 ~ 平成 12 年度 ) において策定した免震構造用

の設計用入力地震動は、防災方面での実績や信頼性のある複数の手法を用いて策定した。しかし、最近では耐震設計分野において新しい知見に基づく地震動スペクトル(上下動含む)の提案等も始まりつつあり、免震構造を対象にした適合性評価、影響評価等を行い、得られた知見を免震構造設計用入力地震動の策定に適宜反映させていく必要がある。また、免震システムが将来にわたり確実に免震機能を発揮し、建物の健全性を維持させるため、供用期間中における免震システムの信頼性評価の手法を整備・確立する必要がある。

#### [ 研究内容 ]

##### イ．免震構造設計用入力地震動策定手法の高度化

新しい知見に基づく上下動を含む地震動スペクトルを調査するとともに、核燃料サイクル開発機構で所掌する免震建物(大洗工学センター及び東海事業所)を対象に地震観測及び地盤の地震動解析、建家の地震応答解析を行い、適合性評価、影響評価等の総合的な検討を加える。

上記研究で得られた知見を現行の免震構造設計用入力地震動策定手法に適切に反映する。

##### ロ．供用期間中における免震システムの信頼性評価手法の高度化

免震構造では、免震システムが将来にわたり確実に安全機能を発揮させるために、施設の供用期間中に適切な検査(ISI)を行っていく必要があり、検査範囲、検査程度、検査方法、判定基準及び結果の措置を適切に定めるための調査及び手法の整備を行う。

また、供用期間中を通じて地震観測を行い、上記ISI手法と併用して得られるデータを用いて免震システムの信頼性評価手法の整備、確立を図る。

#### 【研究の達成目標(平成13年度)】

##### イ．免震構造設計用入力地震動策定手法の高度化

耐震設計分野における新しい知見に基づく地震動スペクトル(上下動を含む)及び直下地震等に関する策定手法の調査・情報収集を行う。

##### ロ．供用期間中における免震システムの信頼性評価手法の高度化

核燃料施設におけるISI手法に関する調査検討を行い、再処理ユーティリティ施設への適用性を検討する。

#### 【研究実施内容及び成果(平成13年度)】

##### イ．免震構造設計用入力地震動策定手法の高度化

耐震設計分野における新しい知見に基づく地震動スペクトル(上下動を含む)の策定手法の調査・情報収集を行った。

やや長周期地震動も含めた従来の評価手法として、経験的手法(小林の手法、石田の手法)、半経験的手法(瀬尾の手法、入倉の手法)、理論的手法(工藤の手法、北川の手法)等があり、これらを基に、これまで免震構造設計用入力地震動を策定した。しかし、研究や計算機・計算コードの発達に伴って、これらの手法の改良や詳細な解析も可能となり、近年の動向として、以下の様な手法が可能となっている。

- ・ 従来、断層モデルの破壊は断層面内で一様であったが、アスペリティ(破壊の大きな領域)や複雑なすべり分布を考慮することが可能となった。
- ・ 従来の理論的手法では結果が近似解であり完全な理論解ではなかったが、実体波、表面波を含む全ての波動成分を厳密に評価可能となりつつある。

更に、解析手法を以下に示す。

##### ・ グリーン関数法

成層地盤のグリーン関数(ある点にパルス波を作用させたときの任意点の応答)を用いて、実体波、表面波を含む全ての波動成分を考慮した地震動を算定する。グリーン関数の評価には波数積分法や薄層法が用いられ、ほぼ厳密解が得られる。点震源のほか、サブフォールトを重ね合わせることにより任意形状の面震源が可能であり、震源時間関数を変化させることによりアスペリティを表現することも出来る。

##### ・ 離散化手法

地盤を空間的に離散化し、地盤応答を逐次算定する方法であり、差分法、有限要素法などが用いられる。実体波、表面波を含む全ての波動成分を考慮した地震動を理論的に評価することが出来る。成層地盤のみではなく、堆積盆地などの3次元の地盤不正形性を考慮することが出来る点が大きな特徴である。

##### ・ ハイブリッド法

離散化手法では短周期地震動の評価が困難である。このため短周期地震動を統計的手法に基づき評価し、離散化手法による長周期理論地震動と合成する手法である。

これらの手法を用いることで、表面波などの複雑な波動を含んだ地震動の評価が可能となる。

表 1 に、これらの手法を距離減衰式と比較して示す。

#### ロ. 供用期間中における免震システムの信頼性評価手法の高度化

静的及び動的挙動を把握するための検査方法等を検討し、再処理施設ユーティリティ施設建家への測定機器設置を計画した。加速度計はサーボ型加速度計とした。各地震計は、下部基礎版、1 階（免震層上部）R 階それぞれに水平 1 成分、鉛直 1 成分の加速度計を 4 箇所、地中には、設計 GL-1m、-7m、-26m、-100m のそれぞれに、水平 2 成分、鉛直 1 成分の加速度計を設置する。

また、変位計はレーザー式変位計とし、小・大变位の 2 タイプを免震層に設置する。小変位計は水平 2 成分、鉛直 1 成分を 6 箇所に、水平 1 成分、鉛直 1 成分を 2 箇所に設置する。また、大变位計は水平 2 成分を 3 箇所に設置する。また、各測点の環境温度を計測するために温度計（熱伝対）を設置する。積層ゴムアイソレーターのクリープ量観測はレーザー変位計のうち小変位計のものを適用する。計測は自動的に 1 日 4 回（6 時間毎）行い、一部を収録し、整理する。また、地震時の鉛ダンパーの変形量は、レーザー変位計のうち大变位計のものをを用いる。更に、残留歪みの測定は地震時システム起動の 1 時間後に自動的に集録する。図 1 に地震観測システムを示す。また、図 2 に地震計設置位置を示す。

### 【研究の達成状況（平成 13 年度）】

#### イ. 免震構造設計用入力地震動策定手法の高度化

耐震設計分野における新しい知見に基づく地震動スペクトル（上下動を含む）の策定手法の調査・情報収集を行い、近年の動向を把握した。

#### ロ. 供用期間中における免震システムの信頼性評価手法の高度化

核燃料施設における I S I 手法に関する調査検討を行い、再処理ユーティリティ施設への適用性を検討し、モニタリング機器設置の概要を得た。

（今後の予定）

#### イ. 免震構造設計用入力地震動策定手法の高度化

策定手法の情報収集結果を基に、アスペリティを考慮した成層地盤構造における長周期理論地震動の評価を行い、既存地震動との比較を行う。更に、得られた地震動スペクトルの核燃料施設免震構造に対する適用性検討を行い、免震構造設計用入力地震動に適宜反映させる。また、再処理施設ユーティリティ施設を検討対象として、解析モデルの作成、地震応答解析を行い適合性、影響等を評価する。

#### ロ. 供用期間中における免震システムの信頼性評価手法の高度化

核燃料施設における I S I 手法に関する調査検討を行い、再処理ユーティリティ施設への適用性の検討を継続する。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

核燃料施設への免震構造採用に関する安全評価の検討に資する。また、設計技術基準に反映させる。

### 【研究成果の発表状況】

なし。

（発表予定）

なし。

### 【国内外の研究動向】

#### 〔民間の研究の現状と動向〕

建築分野では、これまでの仕様設計から性能設計への移行に伴い、耐震設計における実用的な強震動予測の必要性が高まってきている。同時に、計算機の発達に伴って 3 次元解析も短時間・低コストで可能となり、精度の高い評価がなされつつある。また、計算コードの発達でのパラメーターの増加に伴い、精度の高い地盤情報等が要求されるため、地盤や活断層調査が精力的に進められている。

免震設計は、一般建築の分野では一つの構造形式として定着しているが、我国では原子炉建家等重要度の高い施設への適用実績はない。我国における発電用原子炉施設への免震設計の適用研究は、電共研及び電中研の研究等において調査検討がなされており、高速炉免震技術指針（案）、原子力発電所免震構造設計技術指針（JEAG4614）としてまとめられている。

（参考文献）

- (1) 財団法人電力中央研究所 「高速増殖炉免震設計法に関する研究」総合報告：U34（1998）
- (2) 社団法人日本電気協会 原子力専門部会「原子力発電所免震構造設計技術指針（JEAG4614）」（2000）

[ 海外の研究の現状と動向 ]  
未調査。

**【研究評価（自己評価）】**

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
（その理由： )
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

**【自由評価欄】**

特になし。

表1 各手法の比較

|         |          | 使用波    | 適用域               | モデル             | 長 所                      | 短 所                   | 主な提案・研究者    |
|---------|----------|--------|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|-------------|
| 距離減衰式   |          | 地震観測記録 | 広帯域               | 断層モデル           | 単純・実用的                   | 包絡形の根拠が稀薄             | 翠川・小林、他     |
| グリーン関数法 | 経験的      | 地震観測記録 | 広帯域               | 断層モデル           | 断層面での破壊伝播可能              | 観測波に帰着(広帯域での高精度記録が必要) | 入倉・武村、他     |
|         | 統計(半経験)的 | 人工波    | 短周期 <sup>*1</sup> | $\omega^{-2}$ 則 | 断層面での破壊伝播可能<br>観測波に帰着しない | 地下構造制約<br>長周期帯不適      | 釜江、他        |
| 離散化手法   |          | 初期応力等  | 長周期               | 領域分割            | 地震観測記録不要                 | 短周期帯不適                | Madariaga、他 |
| ハイブリッド法 |          | -      | 広帯域               | (合成)            | 複雑な地下構造可能                | -                     | 入倉・釜江、他     |

\*1: 単純な地下構造では広帯域

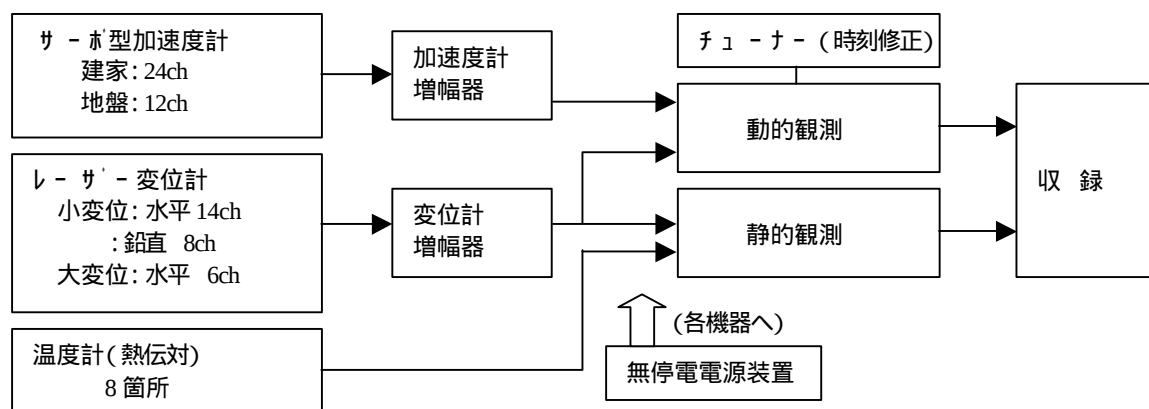


図1 再処理施設ユーティリティ施設の地震観測システム

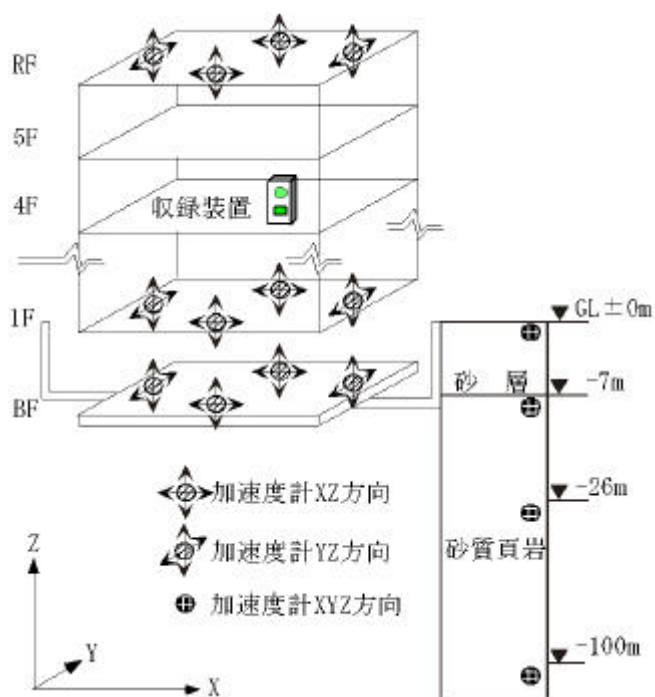


図2 再処理施設ユーティリティ施設の地震計設置位置

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

原子力施設等の確率論的安全評価等に関する研究

### 【分類番号】

2 - 1 ( 6 - 1 - 5 )

### 【研究課題名(Title)】

核燃料施設の信頼性評価手法に関する研究

(Development of Reliability Analysis Method for Nuclear Cycle Facilities)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 野尻 一郎 ( のじり いちろう )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33、電話番号：029-282-1111

(Name) Ichiro NOJIRI

(Title of Function) Technology Development Section, Technology Co-ordination Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone ; +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属】

[ 氏名 ] 石田 倫彦 ( いしだ みちひこ : Michihiko ISHIDA )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

(Technology Development Section, Technology Co-ordination Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☒ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名：核燃料施設の信頼性評価手法に関する研究 )

☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] システム解析手法開発研究 ( I ) ( 岡山大学 )

### 【使用主要施設】

東海再処理センター

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

定量的安全目標の設定、リスク情報を参考とする規制の考え方の導入が検討される中で、確率論的安全評価（以下、「PSA」という）の活用は今後一層促進される状況にある。

核燃料サイクル施設の PSA に関しては、評価のための基本となる手法については、HAZOP、FTA 等従来手法の適用性が確認されているものの、これらを用いて実際の施設の評価を行うにあたっては、多大な労力が必要となることが認識されている。このため、これらの手法を用いて評価を効率的かつ効果的に行うには、システム解析支援ツールの導入が不可欠であることから、再処理施設を対象とした解析システム開発のための研究を行うものである。

信頼性データについては、原子力施設に加えて一般産業施設等に設備の信頼性データについてはすで

に公開されたものが数多くあり、これらを用いた評価は可能となっているが、再処理施設の PSA の実施においては、その評価精度の向上のためには、実プラントの運転実績に基づく信頼性データが不可欠であることから、東海再処理施設等実プラントにおける運転データに基づいた信頼性データの収集・整備を行うものである。

#### [ 研究目的 ]

核燃料施設の確率論的安全評価を合理的、効率的に実施するためのシステム開発、データベース整備を行い、施設の運転安全性の向上、指針等の整備の際のデータ提供に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ．システム分析手法の高度化

核燃料施設を対象としてハザード同定、システム解析を効率的に行える分析システムの整備を行い、実プラントへの適用を通じて手法の高度化を図る。

##### ロ．信頼性データの収集・整備

国内外の文献データ並びに施設からの収集・整備したデータ等を基に機器の故障率、人的過誤率等のデータベースの拡充・整備を行う。

#### 【研究の達成目標（平成 13 年度）】

##### イ．システム分析手法の高度化

解析支援システム開発のための調査、実プラントへの適用を考慮に入れたシステムの高度化検討を行う。

##### ロ．信頼性データの収集・整備

東海再処理施設を対象とした保全履歴データ収集、整理を実施する。

#### 【研究実施内容及び成果（平成 13 年度）】

##### イ．システム分析手法の高度化

昨年度までに検討した HAZOP 解析支援システムを実用的なシステムとするため、新たに対策データベースを付加し、その適用性について検討した。

HAZOP 解析支援システムは、HAZOP 手法に従い「ずれ」を想定しながら各種データベースを参照し、原因・影響等を抽出する(図-1,2 参照)。対策データベースは、対策項目の分類、異常事象 - 対策に関する情報を体系化することで、汎用的な利用を可能とした。対策データベースでは「構成要素、装置に関する知識ベース」に対応する構成要素それぞれについてデータを構築しており、対策に関する情報を検索する際は、「ずれ」に対応する原因・影響 1 つ 1 つの「故障モード」に対して対策が決定される(図-3 参照)。

改良した解析システムを用い、高放射性廃液濃縮工程に対し HAZOP 解析を実施し、適用性の検討を行った(表-1)。この結果、対策データベース自体についての改良の余地はあるものの、HAZOP 手法を実施して得られる原因・影響を抽出するのみならず、各事象に対する対策まで提案できる可能性が示された。

##### ロ．信頼性データの収集・整備

前年度に引き続き、東海再処理施設の機器について保全履歴データを継続収集、運転データの調査・収集を行い、東海再処理施設設備安全管理支援システム（TORMASS）への定常的な登録を実施した。平成 13 年度末における累計保全履歴登録件数は次の通りである。

- |        |           |
|--------|-----------|
| ・ 機械設備 | 147,871 件 |
| ・ 計装設備 | 67,074 件  |
| ・ 電気設備 | 12,176 件  |

#### 【研究の達成状況（平成 13 年度）】

システムの分析手法開発については、解析支援システムの実プラントへの適用性を考慮に入れたシステムの高度化を実施した。また、信頼性データの収集・整備に関しては、継続して保全履歴の登録を実施し、データベースの拡充に努めた。以上のことから所期の成果が得られた。

#### (今後の予定)

##### イ．システム分析手法開発

解析支援システムの実プラント適用性検討のため、より一般的なプラントへの適用性を検討する。

□．信頼性データの収集・整備

東海再処理施設における保全履歴データを継続して収集・整備し、TORMASS データの拡充を図るとともに、データ活用のための機能検討を行う。

【成果の利用実績及び活用見通し】

イ．システム分析手法開発

人が実施する HAZOP 解析結果に、HAZOP 解析支援システムを用いた解析結果を加味することにより、手法に不慣れな人でも詳細でかつ偏りのない評価結果を得ることができると考えられる。

□．信頼性データの収集・整備

東海再処理施設の定期安全レビューの一環として実施している PSA に本研究で整備してきた機器の故障率等の信頼性データを活用できる可能性がある。

【研究成果の発表状況】

なし

(発表予定)

【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

なし

(参考文献)

[ 海外の研究の現状と動向 ]

本研究で行っている解析支援システムと同様の研究が世界各国でも行われている。主な研究機関としては英国 Loughborough 大学、フィンランド VTT、アメリカ Purdue 大学等が挙げられる。Lihou らは、オペラビリティスタディの解析結果を簡単なアルファベットと数字を用いてコード化し、ずれに対する原因、影響の関係を計算機に入力し、配管系の解析に利用した、Weatherill らは解析者との対話形式を用いた HAZOP エキスパートシステムを提案している。Venkatasubramanian らは、フレーム表現を用いて、配管や熱交換器の解析結果をモデル化し、簡単なプロセスへ適用した例を報告している。

(参考文献)

- (1)Lihou D.A.: Computer-Aided Operability Studies for Loss Control, Proc. Of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, pp.579-613(1980)
- (2)M.C.Jones and D.A.Lihou: CAFOS-The Computer Aid for Operability Studies, I.Chem.E.Symposium Series, No.97(1986)
- (3)T.Weatherill and I.T.Cameron: A Prototype Expert System for HAZARD and Operability Study, Comput.Chem.Eng., Vol.13,No11/12, pp1229-1234(1989)
- (4)V.Venkatasubramanian and R.Vaidhyanathan: Knowledge-Based Framework for Automating HAZOP Analysis, AIChE J., Vol.40, pp496-505(1994)

【研究評価(自己評価)】

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：)
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

【自由評価欄】

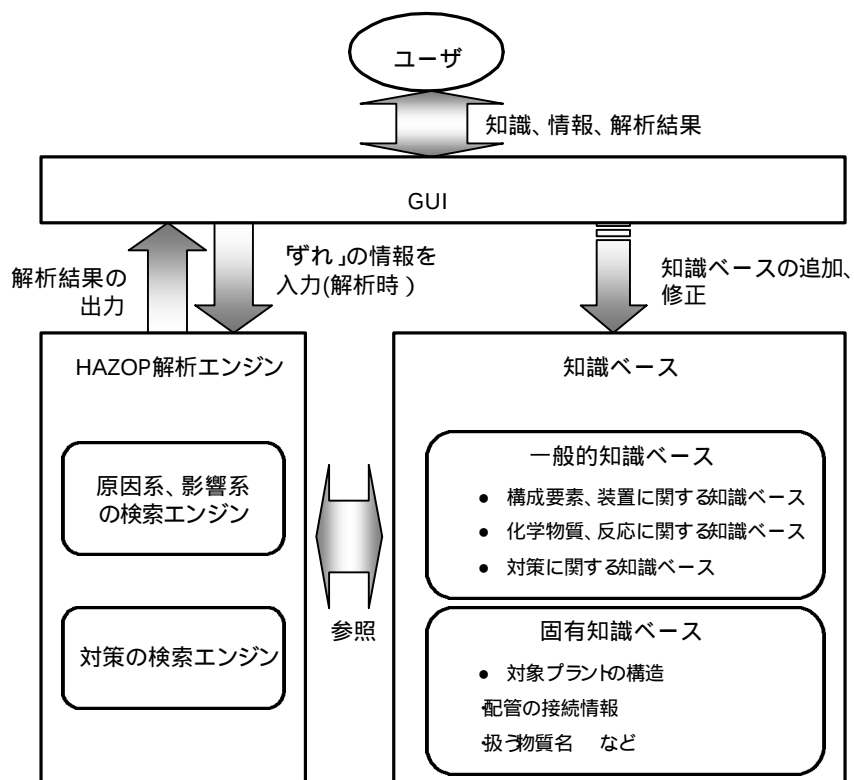


図- 1 HAZOP解析システムの構成

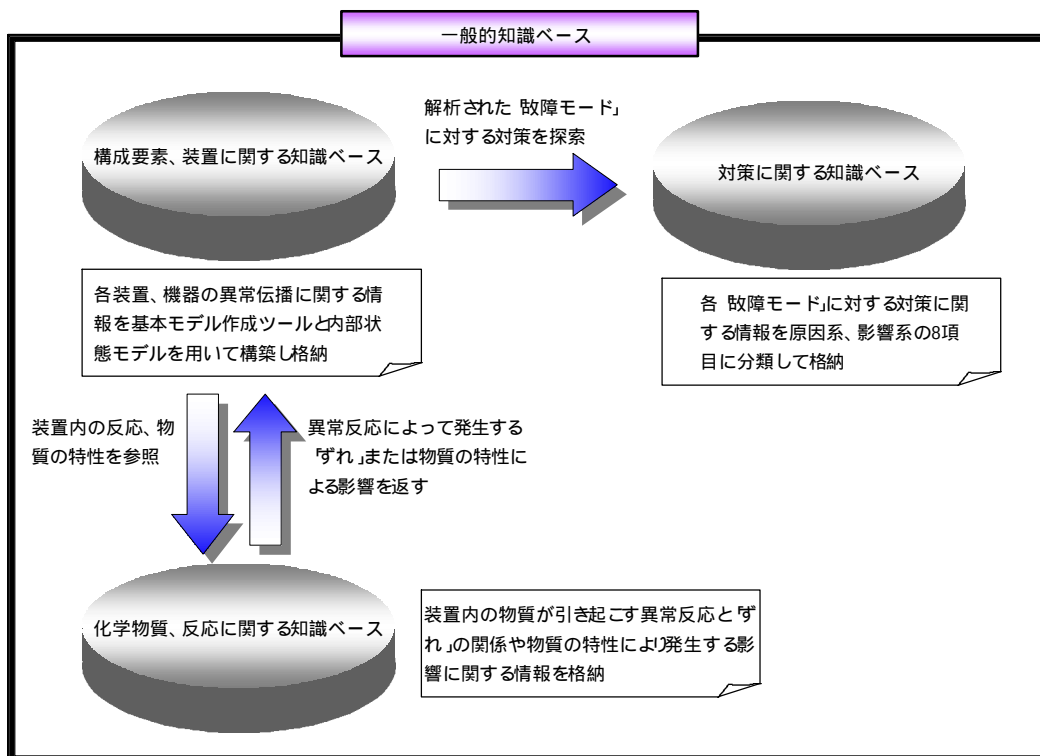


図-2 一般的知識ベースの構成

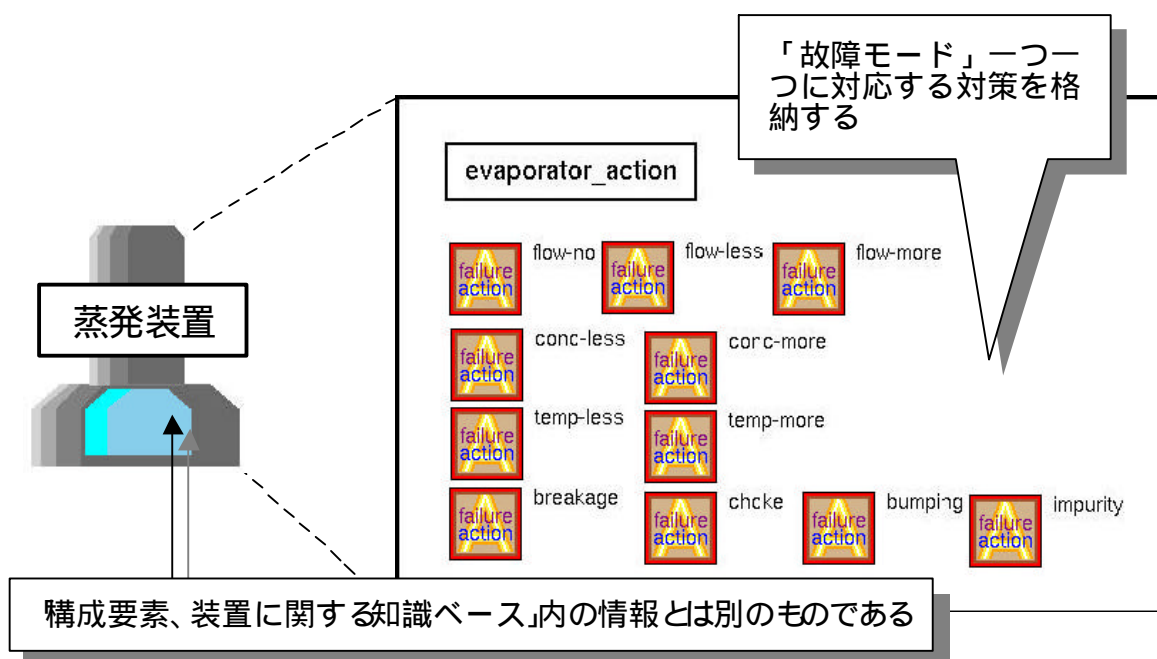


図-3 対策に関する知識ベース

表 - 1 HAZOP解析結果例

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工程      | 高放射性廃液濃縮工程                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 機器名     | 高放射性廃液蒸発缶                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 「ずれ」    | ホルマリン溶液の流量増加                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 考えられる原因 | 誤操作による手動弁開け過ぎ<br>誤操作によるバイパス弁開け過ぎ<br>ホルマリン系からのホルマリン溶液流量増加                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 起こり得る影響 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液流入量増加</li> <li>・ 高放射性廃液蒸発缶内のアルデヒド蓄積</li> <li>・ 高放射性廃液蒸発缶内の異常反応</li> <li>・ 高放射性廃液蒸発缶内の突沸</li> <li>・ 高放射性廃液蒸発缶内の DF 低下</li> <li>・ 窒素酸化物の発生量増加</li> <li>・ 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液酸度低下</li> <li>・ 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性</li> </ul>                                                                                                                                                        |
| 対策      | 誤操作による手動弁開け過ぎ<br>発生防止の設備の設計：誤操作防止を考慮した配置<br>発生防止の設備の運転：誤操作防止処置を実施<br>発生防止の管理の設計：該当なし<br>発生防止の管理の運転：誤操作防止訓練<br>発見の設備：運転表示灯の設置<br>発見の管理：操作パネルの監視<br>誤操作によるバイパス弁開け過ぎ<br>発生防止の設備の設計：誤操作防止表示の設置<br>発生防止の設備の運転：誤操作防止処置を実施<br>発生防止の管理の設計：該当なし<br>発生防止の管理の運転：誤操作防止訓練<br>発見の設備：運転表示灯の設置<br>発見の管理：操作パネルの監視<br>ホルマリン系からのホルマリン溶液流量増加<br>発生防止の設備の設計：該当なし<br>発生防止の設備の運転：定期的整備<br>発生防止の管理の設計：該当なし<br>発生防止の管理の運転：事前点検<br>発見の設備：液位上昇警報器の設置<br>発見の管理：巡回 |

従来のシステムにおいては、対策についての検討はできなかったが、新たに付加した対策データベースにより、発生防止の設備・管理及び運転員の検知面からの検討を加えることが可能となった。

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

原子力施設等の確率論的安全評価等に関する研究

### 【分類番号】

2 - 2 ( 6 - 1 - 6 )

### 【研究課題名(Title)】

MOX 加工施設の確率論的安全評価の適用研究  
(Study on the Application of PSA to MOX Fuel Fabrication Plant)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 岡 努(おか つとむ)

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 安全研究グループ

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33、電話番号：029-282-1133

(Name) Tsutomu OKA

(Title of Function) Safety Study Group, Radiation Protection Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone : +81-29-282-1133

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- ☐ 前期基本計画からの継続 ( )
- ☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 (実施機関) ] なし

[ 実証試験名 (実施機関) ] なし

[ 委託研究名 (実施機関) ] なし

### 【使用主要施設】

なし (調査研究)

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

核燃料施設の安全評価においては、その施設の数が軽水型発電炉等原子炉施設に比較して少なく、また、施設の設計思想、運転管理・保守方法等に関する国情等の差異により、確率論的安全評価手法の標準化、データの蓄積・標準化・共有化を図ることが困難であり決定論的な評価が主体である。

しかし、体系的かつ定量的な確率論的安全評価を実施することにより、安全対策の妥当性に関する相対的かつ客観的な比較検討、合理的な判断、施設の検査及び運転・保守管理計画の最適化、合理化に資することが期待され、MOX 施設への PSA 手法の適用性について検討することは有意義。

[ 研究目的 ]

MOX 加工施設を対象とした PSA 適用検討として、事故シーケンスの抽出及びその発生確率の定量化、異常事象推移解析等を行い、民間 MOX 加工施設の安全審査の判断材料の提供に資する。

[ 研究内容 ]

イ．MOX 加工施設 PSA 実績調査

国内外の MOX 加工施設について、施設の安全評価、PSA の適用実績について調査を行い、異常事象・事故シナリオの検討を行う。

ロ．事象シーケンスの抽出・定量化

モデルプラントの設定及びシステムモデルの作成を行い、事故シーケンスの抽出及びその発生確率の定量化を行う。

#### ハ．異常事象推移解析及び放射性物質の移行評価

異常事象等の推移を解析・評価するための手法の開発・整備を行い、これらを用いてモデルプラントにおける放射性物質の移行評価等を行う。

#### 二．主要なリスク因子の分析・整理

事象発生確率，放射性物質放出リスクの結果等を用いて，主要なリスク因子について分析・整理する。

### 【研究の達成目標（平成13年度）】

#### イ．MOX 加工施設 PSA 実績調査

プラント設計データ，解析手法，信頼性データ等の調査，取得可能情報の入手，整理。

### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

#### イ．MOX 加工施設 PSA 実績調査

国内外 MOX 加工施設，類似施設の安全解析，評価における PSA の適用実績，当該評価に用いる機器の故障率データ等信頼性にかかわる基礎データの調査，収集，解析手法の適用性を検討した。

調査の結果，欧州（英国，仏国）の MOX 加工施設に関しては安全解析評価，確率論的安全評価，機器故障データ等の信頼性評価データに関する公開情報は無かった。

一方，米国においては，かつて計画のあった MOX 加工施設に関する安全解析評価書（BNWL-1697, June 1973）が公開されており，その中で，大事故の事象及びその頻度として以下のような数値が示されている。

（参考-1（1/2））

| 事象     | 発生確率/プラント・年        | 変動幅                                   |
|--------|--------------------|---------------------------------------|
| 竜巻     | $6 \times 10^{-4}$ | $4 \times 10^{-3} - 6 \times 10^{-6}$ |
| 地震（震度） | $2 \times 10^{-5}$ | $10^{-2} - 10^{-8}$                   |
| 航空機衝突  | $10^{-5}$          | $10^{-4} - 10^{-6}$                   |
| 隕石     | $10^{-10}$         | $10^{-9} - 10^{-11}$                  |
| 洪水     | $10^{-4}$          | $10^{-2} - 10^{-6}$                   |
| 火災     | $2 \times 10^{-4}$ | $4 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-5}$ |

また，同レポートには，主要な機器の推定故障率として，以下のような数値が示されている。

（参考-1（2/2））

| 機 器        | 故障率（1/年）             |
|------------|----------------------|
| イオン交換カラム   | $< 0.1$              |
| 乾式グローブボックス | $< 0.1$              |
| オートクレーブ    | $< 0.01$             |
| 燃結炉        | $< 0.05$             |
| 換気系        |                      |
| 直動ファン      | $\sim 0.01$          |
| ベルト式ファン    | $0.4$                |
| 制御系        | $0.08$               |
| 臨界         | $8.6 \times 10^{-3}$ |

また，米国電力研究所による核燃料サイクルにおける事故リスク評価に関する中間報告（EPRI NP-1128, July 1979）によれば，MOX 加工施設のリスクについて，以下のような評価が示されている。

| 事 故 事 象         | リ ス ク                |                       |
|-----------------|----------------------|-----------------------|
|                 | 集団線量<br>(人・レム/GWe-年) | 潜在的影響<br>(ガン発生/GWe-年) |
| 地震（設計基準地震を超える）  | $4 \times 10^{-2}$   | $3 \times 10^{-6}$    |
| 航空機衝突           | $6 \times 10^{-4}$   | $6 \times 10^{-8}$    |
| 還元炉内の水素爆発       | $8 \times 10^{-13}$  | $9 \times 10^{-17}$   |
| 燃結炉内の水素爆発       | $2 \times 10^{-11}$  | $2 \times 10^{-15}$   |
| イオン交換樹脂火災       | $6 \times 10^{-14}$  | $4 \times 10^{-18}$   |
| 湿式スクラップ回収系溶解槽爆発 | $4 \times 10^{-9}$   | $3 \times 10^{-13}$   |
| 最終フィルタの破損       | $5 \times 10^{-6}$   | $4 \times 10^{-10}$   |
| 臨界事故            | $2 \times 10^{-5}$   | $5 \times 10^{-8}$    |
| リスク合計           | $4 \times 10^{-2}$   | $3 \times 10^{-6}$    |

最も新しい情報としては、米国における解体核平和利用計画に基づき、米国エネルギー省（DOE）がサバンナリバーサイトに建設を計画している MOX 燃料加工施設（Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility: MFFF）に関して、規制当局である米国原子力規制委員会（NRC）に対して選出された建設許可申請書（Construction Authorization Request: CAR）が公開されており、施設の設計情報、代表的な建設基準事象の解析結果、ハザード解析結果といった安全解析結果が示されている。

一方、規制当局である NRC が策定した MOX 加工施設の安全性審査の為に標準審査案（Standard Review Plan）の付録 A の中で、確率論的安全評価に基づく評価手順を示しており、施設従業員及び周辺環境の公衆の放射線被ばく及び化学物質の暴露による急性影響並びに環境中の放射性物質濃度によって事故の影響を 3 つに分類し、（カテゴリ-1(Low)、カテゴリ-2(Intermediate)、カテゴリ-3(High)）

また、事故の発生頻度についても

カテゴリ-1: Highly Unlikely  $10^{-5}$ /年/事象以下の頻度

カテゴリ-2: Unlikely  $10^{-5}$ /年/事象を超え  $4 \times 10^{-4}$ /年/事象以下の頻度

カテゴリ-3: Not Unlikely  $4 \times 10^{-4}$ /年/事象を超える頻度

の 3 つに分類し、これらを組み合わせた（積）以下に示すリスクマトリックスが示されている。（参考-3 参照）

| 頻度カテゴリ<br>影響カテゴリ    | 1<br>(Highly Unlikely) | 2<br>(Unlikely) | 3<br>(Not Unlikely) |
|---------------------|------------------------|-----------------|---------------------|
| 3<br>(High)         | 3<br>(許容)              | 6<br>(許容不可)     | 9<br>(許容不可)         |
| 2<br>(Intermediate) | 2<br>(許容)              | 4<br>(許容)       | 6<br>(許容不可)         |
| 1<br>(Low)          | 1<br>(許容)              | 2<br>(許容)       | 3<br>(許容)           |

### 【研究の達成状況（平成 13 年度）】

#### イ．MOX 加工施設 PSA 実績調査

欧州、米国の既存施設及び計画中施設に関する施設設計及び安全評価に関する情報、安全評価に係る基準等の情報を入手、整理した。（参考 1, 2, 3 参照）また、米国における一般産業（石油化学工業）における定量的リスク評価のガイドについても調査を行い、情報を整理した。

しかし、欧州（英国、仏国）の MOX 加工施設における定量的な安全評価、特に確率論的な安全解析手法、機器故障データ等の信頼性データに関して公開情報は無かった。

（今後の予定）

#### イ．MOX 加工施設 PSA 実績調査

引き続き、解析手法、信頼性データ等の調査、取得可能情報の入手、整理を実施するとともに、事故シナリオ、解析手法の検討を行う。

#### ロ．事象シーケンスの抽出・定量化

既存施設、計画中の施設を参考にモデルプラントの検討、事象シーケンスの検討を行う。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

MOX 燃料加工施設の安全解析・評価への参考，同施設の保守・保全，検査対応の合理化等に資する。

### 【研究成果の発表状況】

なし

(発表予定)

なし

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

我が国においては，日本原燃（株）による，青森県六ヶ所の再処理工場サイトへの MOX 加工施設の設置計画が進められており，日本原子力研究所が経済産業省の委託を受けて同様の検討を実施中。

#### ( 参考文献 )

- (1) 原子力安全委員会 HP ( 原子力安全基準専門部会 MOX 加工施設指針検討分科会会議資料 )
- (2) Nuclear Fuel
- (3) Nucleonics Week
- (4) Mixed Oxide Xchange(NRC Quarterly News letter)
- (5) MOX 利用国際セミナー ( 東京都千代田区,パレスホテル,2002 年 2 月 18 日～19 日 )

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

米国において核兵器余剰核燃料物質の適正管理のために，サバンナリバーに，MOX 燃料加工施設 (MFFF: Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility) の建設を計画中であり，これにかかわる規制当局の規制改定( 米国連邦規制 10CFR Part70 )の改定及び施設設置者側の建設許可申請( CAR: Construction Authorization Request )が提出され，規制当局 ( NRC ) より公開されており，施設の概念設計情報及び今後の総合的な安全解析・評価の基礎となる設計基準事象等の事故解析情報が示されている。

#### ( 参考文献 )

- (1)Status Report on the EPRI Fuel Cycle Accident Risk Assessment, EPRI NP-1128,July 1979
- (2)EPRI Nuclear Fuel Cycle Accident Risk Assessment, Nuclear Safety, Vol.22 No.3, 1981
- (3)U.S.NRC Standard Review Plan for the Review of an Application for a Mixed Oxide (MOX) Fuel Fabrication, NUREG-1718, NRC, Washington D.C., 1999
- (4)U.S.NRC Nuclear Fuel Cycle Accident Analysis Handbook, NUREG-1320, NRC, Washington D.C., 1988
- (5) U.S.NRC Nuclear Fuel Cycle Accident Analysis Handbook, NUREG/CR-6410, NRC, Washington D.C., 1998
- (6)J.M. Selby et.al., Considerations in the Assessment of the Consequences of Effluents from Mixed Oxide Fuel Fabrication Plants, BNWL-1697, Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland, Washington, 1973
- (7)IAEA Use of Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Installations with Large Inventory of Radioactive Material, IAEA-TECDOC-711,
- (8)Code of Federal Regulations, Title 10, Energy, Part 70, Domestic Licensing of Special Nuclear Material
- (9)National Nuclear Security Administration, Report to Congress:Disposition of Surplus Defense Plutonium at Savannah River Site, February 15, 2002
- (10)Center for Chemical Process Safety of the AIChE, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, second edition, 2000

### 【研究評価（自己評価）】

#### ○ 成果の達成レベル

##### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られた。

- 予定どおりの成果が得られなかった。

☐ その他

[ 説明欄 ]

米国の施設に関しては、公開情報が入手できたが、欧州（仏国、英国等）の施設については、特に安全評価関係の情報の公開がなされておらず、十分に調査、検討を実施できなかった。

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

施設の設計思想，規制の差異はあるものの，評価すべき事故（想定事故）事象の選択，シナリオの検討，評価の手法等に関して参考になるものと考えられる。

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☐ 計画どおり進捗した。
- 計画どおり進捗しなかった。
- （その理由： \_\_\_\_\_）
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

予算，人員（体制）共に厳しい状況が続いており，課題遂行に資源を投入することが出来なかった。

【自由評価欄】

特になし。

*Considerations in the Assessment of the Consequences of Effluents from Mixed Oxide Fuel Fabrication Plants*

(~~4/5~~ - 1) (1/2)  
BNWL-1697  
(June 1993)

TABLE 14. Frequencies of Major Accidents

| Event           | Probable Frequency Of Occurrence Per Plant - Year | Range                                 |
|-----------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Tornado         | $6 \times 10^{-4}$                                | $4 \times 10^{-3} - 6 \times 10^{-6}$ |
| Earthquake      |                                                   |                                       |
| Intensity IX    | $2 \times 10^{-5}$                                | $10^{-2} - 10^{-8}$                   |
| Airplane Impact | $10^{-5}$                                         | $10^{-4} - 10^{-6}$                   |
| Meteorites      | $10^{-10}$                                        | $10^{-9} - 10^{-11}$                  |
| Flood           | $10^{-4}$                                         | $10^{-2} - 10^{-6}$                   |
| Fire            | $2 \times 10^{-4}$                                | $4 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-5}$ |

Dunlap and Wirdner<sup>(71)</sup> summarize the analyses carried out for these facilities. Doan states that the worst site, in Oklahoma, has a probability of a strike in any year of  $3.62 \times 10^{-3}$ . The probability of a tornado in the western United States, based on a study by Smith and Mirabella<sup>(72)</sup> is  $1.3 \times 10^{-6}$ /year. All locations in the U.S. fall within that range. The average for the contiguous 48 states is  $6.0 \times 10^{-4}$  strikes/year. Doan states that "severe tornadoes of design proportions have a probability of occurrence about two decades below the above figures."

Dunlap and Weidner discuss tornado driven missiles considered in nuclear power plant design for the midwest. They are:

- (1) A 4 in. x 12 in. x 12 ft long wood plank weighing 108 lb traveling on end at 300 mph and striking any place, on the sides of the reactor building.
- (2) A 3 in. diameter schedule 40 pipe 10 ft long traveling on end at 100 mph striking any place over the full height of the structure.
- (3) A passenger car weighing 4000 lb traveling on end at 50 mph with a contact area of  $20 \text{ ft}^2$  and at a height not more than 25 ft above ground level.

**TABLE 15.** Estimates of the Occurrence Frequencies and Failure Rates of Major Equipment

|                              | <u>Failures<br/>or Events<br/>Per Year</u> |
|------------------------------|--------------------------------------------|
| Resin Columns (81)           | <0.1                                       |
| Dry Glovebox Operations (81) | <0.1                                       |
| Autoclave (81)               | <0.01                                      |
| Sintering Furnaces (84)      | <0.05                                      |
| Ventilation Equipment (83)   |                                            |
| Direct Driven Fan            | ~0.01                                      |
| Belt Driven Fan              | 0.4                                        |
| Controls                     | 0.08                                       |
| Criticality                  | $8.6 \times 10^{-3}$                       |

**TABLE 16.** Efficiency of a Two Stage Building Exhaust Filter System Under Various Conditions

| <u>Condition</u>                                                                                         | <u>Most Probable<br/>Filter Transmission</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Filters not tested prior to installation or in place, 8% of filter operating less than design efficiency | $7 \times 10^{-5} \text{ (a)}$               |
| Filters tested prior to installation and in place, routine inspection and replacement program            | $1 \times 10^{-5}$                           |

a. Assumes a filter efficiency of 0.95 for the defective filters.

b. Glovebox Explosions

Since 1967, four glovebox explosions or fires have been reported in which significant amounts of materials were released. One involved a hood, another an explosion in a vacuum dry box, a third was a glovebox explosion and fire involving  $^{238}\text{Pu}$  and the fourth was the Rocky Flats

(4/15-2)(1/2)

Table 5.1.1 summarizes the current status of the radiological accident risk assessment to the public from MOX fuel fabrication. This table shows an overall risk of  $4 \times 10^{-2}$  person-rem/GWe-year and  $3 \times 10^{-6}$  latent cancer/GWe-year. This may be compared with the Reactor Safety Study's risk assessment for power plants of 300 person-rem/GWe-year and  $2 \times 10^{-2}$  latent cancer/GWe-year. Tables 5.1.2 - 5.1.4 provide accident summaries for cases of none, one, and two HEPA filter failures and from these Table 5.1.1 is constructed on a suitably normalized composite.

These results may be compared with those of Cohen and Dance(2,) who found an overall MOX plant risk of  $1-5 \times 10^{-1}$  person-rem/GWe-year and  $1-2 \times 10^{-5}$  latent cancer fatalities/GWe-year. Reasons for the differences are not obvious

Table 5.1.1  
RISK SUMMARY FOR MIXED OXIDE FUEL FABRICATION  
PER GIGAWATT OF ELECTRIC POWER\*

| Accident No. | Accident Description                      | Risk                                  |                                  |
|--------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
|              |                                           | Population Dose (Person-Rem/GWe-Year) | Latent Effects (Cancer/CWe-year) |
| 1            | Earthquake > DBE                          | $4 \times 10^{-2}$                    | $3 \times 10^{-6}$               |
| 2            | Aircraft Crash                            | $6 \times 10^{-4}$                    | $6 \times 10^{-8}$               |
| 3            | Hydrogen Explosion in ROR Reactor         | $8 \times 10^{-13}$                   | $9 \times 10^{-17}$              |
| 4            | Hydrogen Explosion in Sintering Furnace   | $2 \times 10^{-11}$                   | $2 \times 10^{-15}$              |
| 5            | Ion Exchange Resin Fire                   | $6 \times 10^{-14}$                   | $4 \times 10^{-18}$              |
| 6            | Dissolver Explosion in Wet Scrap Recovery | $4 \times 10^{-9}$                    | $3 \times 10^{-13}$              |
| 7            | Loaded Final Filter                       | $5 \times 10^{-6}$                    | $4 \times 10^{-10}$              |
| 8            | Criticality Accident                      | $2 \times 10^{-5}$                    | $5 \times 10^{-8}$               |
| RISK TOTALS  |                                           | $4 \times 10^{-2}$                    | $3 \times 10^{-6}$               |

\* One MOX Plant Serves 14 Power Plants.

EPRI-NP-1120 (July 1979)

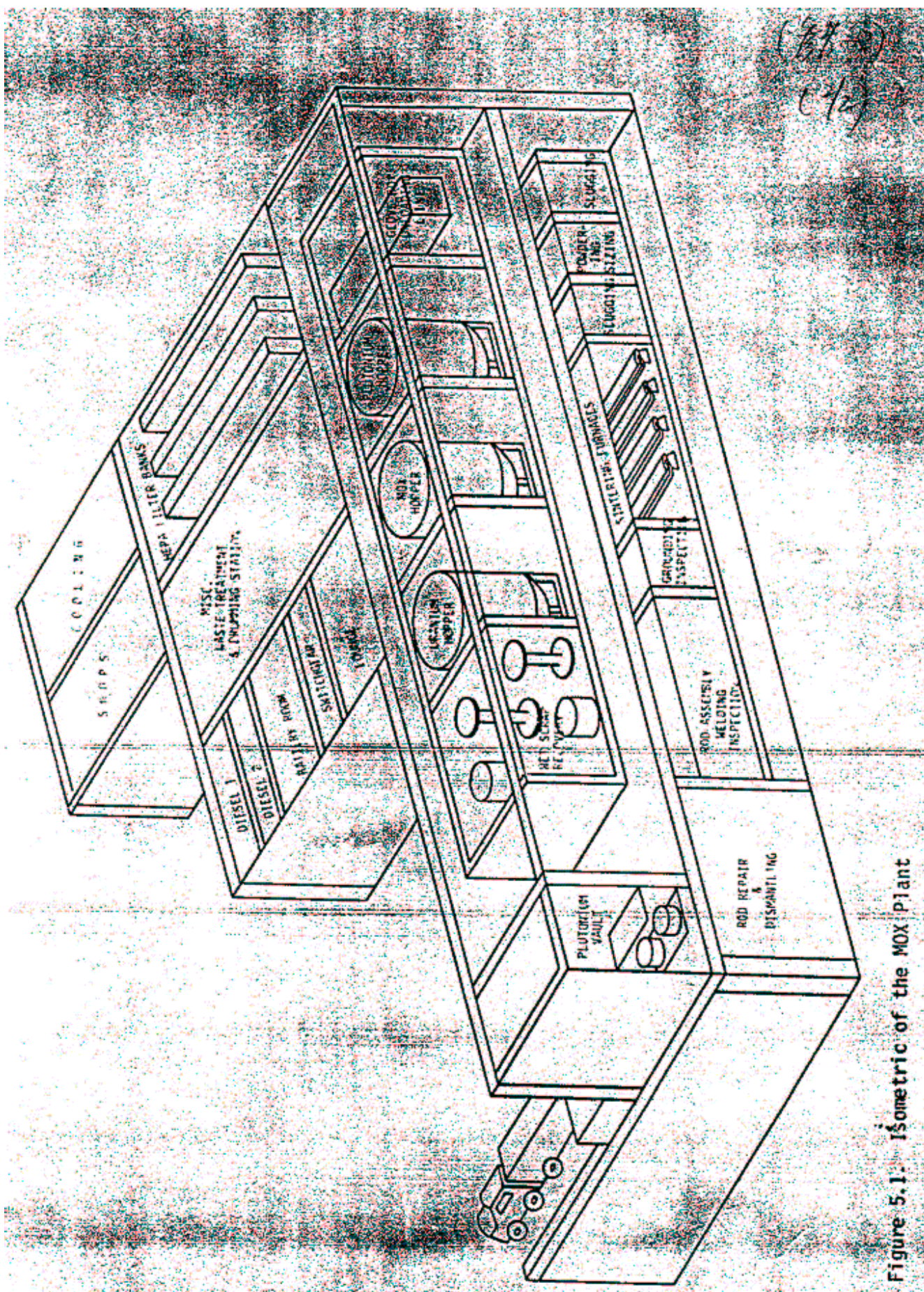


Figure 5.1. Isometric of the MOX plant

## 1. Consequence Category

(NUREG-1718 Standard Review Plan for the Review of an Application for a NYS Fuel Fab. Facility)  
Consequence Severity Categories Based on 10 CFR70.61 (August 2007)

| Consequence Severity Categories Based on 10 CFR70.61 | Workers                                                                                            | Offsite Public                                                                                        | Environment                                                                           |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| category 3:<br>High<br>(70.61 (b))                   | $D > 1\text{Sv} (100\text{rem})$<br>$\geq \text{CHEM3}$                                            | $D \leq 0.25\text{Sv} (25\text{rem})$<br>$30\text{mSv} \text{ラム SOL U intake}$<br>$\geq \text{CHEM2}$ |                                                                                       |
| category 2:<br>Intermediate<br>(70.61 (c))           | $0.25\text{Sv} \leq D < 1\text{Sv}$<br>$\geq \text{CHEM2}$<br>but<br>$< \text{CHEM3}$              | $0.05\text{Sv} \leq D < 0.25\text{Sv}$<br>$\geq \text{CHEM1}$<br>but<br>$< \text{CHEM2}$              | radioactive release<br>$> 5000 \times \text{Table 2 App. B 10 CFR 20}$                |
| category 1:<br>Low                                   | Accidents of lesser radiological and chemical exposures to workers than those above in this column | Accidents of lesser radiological and chemical exposures to the public than those above in this column | radioactive releases producing effects less than those specified above in this column |

D: Total Effective Dose Equivalent (TED)

CHEM3: that could endanger the life of a worker

CHEM2: that could lead to irreversible or other long-lasting health effects

CHEM1: that could cause mild transient health effects

## 2. Likelihood Category

### Risk Matrix

| Consequence category | Likelihood Category                                               |                                                                                     |                                                                      |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                      | 1: Highly Unlikely<br>$\leq 10^{-5} / \text{y} / \text{accident}$ | 2: Unlikely<br>$10^{-5} / \text{y} < 4 \times 10^{-4} / \text{y} / \text{accident}$ | 3: Not Unlikely<br>$> 4 \times 10^{-4} / \text{y} / \text{accident}$ |
| 3: High              | 3: acceptable                                                     | 6: unacceptable                                                                     | 9: unacceptable                                                      |
| 2: Intermediate      | 2: acceptable                                                     | 4: acceptable                                                                       | 6: unacceptable                                                      |
| 1: Low               | 1: acceptable                                                     | 2: acceptable                                                                       | 3: acceptable                                                        |

Likelihood Category 3 includes "unintended events" that might actually be expected to happen, others might be less frequent. For this reason, the term "Likely" was not used for these events.

(88-3)  
(1/1)

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

原子力施設等の確率論的安全評価等に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 2 - 3

### 【研究課題名(Title)】

再処理施設の地震に関する確率論的安全評価の適用研究  
(Seismic PSA Study for Nuclear Reprocessing Facilities)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 野尻 一郎 ( のじり いちろう )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

[ 連絡先 ] 茨城県那珂郡東海村村松 4-33、Tel : 029-282-1111

(Name) Ichiro NOJIRI

(Title of Function) Technology Development Section, Technology Coordination Division, Tokai  
Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Ibaraki-ken

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名、所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 山崎 敏彦 ( やまざき としひこ : Toshihiko YAMAZAKI )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 建設工務管理部 管理グループ

(Coordination Group, Construction and Maintenance Division, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

東海再処理施設

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

原子力発電所について地震 PSA の手法が整備されつつあることから、再処理施設について地震 PSA の検討を行うこととした。

[ 研究目的 ]

再処理施設の地震 PSA を実施するための手法の整備を行うとともに、東海再処理施設を対象として地震 PSA の適用検討を行い、東海再処理施設の地震時リスクに関する知見を得る。

[ 研究内容 ]

イ . 評価手法の調査・検討

原子炉施設を対象に実施されている地震 PSA について評価手法、評価コード、評価実績等に関する情報について調査・収集を行い、東海再処理施設への適用性について検討する。

ロ．地震ハザード評価の検討

地震ハザード評価コードを導入し、東海サイトにおける地震動の発生頻度について定量化検討を行う。

ハ．応答評価及び損傷確率評価の検討

東海再処理施設の建家及び機器から評価対象を選定し、その現実的な応答及び損傷確率について定量化検討を行う。

二．地震リスク評価の検討

東海再処理施設における内的事象に対する評価において検討された事故シーケンスを参考として、地震リスクの定量化検討を行う。

**【研究の達成目標（平成 13 年度）】**

発電炉の地震 PSA に関する手法、実績等の調査を行い、再処理施設の地震 PSA に必要となる情報を整理する。

**【研究実施内容及び成果（平成 13 年度）】**

イ．評価手法の調査・検討

地震ハザード評価コード、地震 PSA のための設計用想定地震の設定法、軽水炉モデルプラント地震 PSA 等の技術資料を入手し、再処理施設地震 PSA の手順の検討を行った(表 - 1)。評価手法に関しては、地震ハザード評価、応答評価及び損傷確率評価については施設依存性が考えられないことから、そのまま発電炉に用いられている手法が適用できることを確認した。

**【研究の達成状況（平成 13 年度）】**

発電炉の地震 PSA に関する基本的な情報の調査・収集を行い、これらの再処理施設への適用性について確認でき、当初の計画どおりの成果が得られた。

（今後の予定）

平成 14 年度については、東海再処理施設の分離精製工場建家を対象として、建家損傷確率の定量化検討を行う。

**【成果の利用実績及び活用見通し】**

東海再処理施設の耐震安全性の定量的な検討に活用できる成果が得られた。

**【研究成果の発表状況】**

なし

（発表予定）

なし

**【国内外の研究動向】**

[ 民間の研究の現状と動向 ]

なし

（参考文献）

[ 海外の研究の現状と動向 ]

なし

（参考文献）

**【研究評価（自己評価）】**

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

☐ 予定以上の成果が得られた。

☒ 予定どおりの成果が得られた。

- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- ( その理由 :
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

表 - 1 発電炉地震 PSA 手法の再処理施設への適用性の検討

| 地震 PSA 手順     | 再処理施設への適用性等                                                       |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|
| 地震ハザード評価      | <p>サイト依存性</p> <p>発電炉の手法がそのまま適用可</p>                               |
| 建家応答評価・損傷確率評価 | <p>対象建家の選定</p> <p>評価手法については発電炉の手法がそのまま適用可</p>                     |
| 機器損傷確率評価      | <p>内的事象評価を参考とした事故事象及び評価対象機器の設定</p> <p>評価手法については発電炉の手法がそのまま適用可</p> |
| 地震リスク評価       | <p>施設依存性大</p> <p>内的事象評価を参考とした事故事象及び事故シーケンスの設定</p>                 |

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

原子力施設等の確率論的安全評価に関する研究

### 【分類番号】

社内研究 2 - 4

### 【研究課題名(Title)】

東海再処理施設の確率論的安全評価の実施

( Probabilistic Safety Assessment on Tokai Reprocessing Plant )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 野尻 一郎 ( のじり いちろう )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33、電話番号：029-282-1111

(Name) Ichiro NOJIRI

(Title of Function) Technology Development Section, Technology Co-ordination Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone ; +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属】

[ 氏名 ] 石田 倫彦 ( いしだ みちひこ : Michihiko ISHIDA )

[ 所属 ] 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

( Technology Development Section, Technology Co-ordination Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works )

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

東海再処理センター

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

本研究は、原子力安全・保安院からの再処理施設の定期安全レビューの実施要請を受け、東海再処理施設にかかる確率論的安全評価（以下「PSA」という）を行うものである。

[ 研究目的 ]

原子力安全・保安院からの再処理施設の定期安全レビューの実施要請を受け、確率論的安全評価を行うものであり、東海再処理施設の安全性確認で検討した事故発生防止策に着目した事象発生確率の定量化検討により、安全上重要な設備、機器、構造物の検討を行うとともに、運転信頼性向上に向けての知見を得る。

[ 研究内容 ]

イ．評価対象事象の選定

東海再処理施設の安全性確認の評価を参考に実際の運転条件を基本とした評価対象事象を選定する。

ロ．事象発生確率の定量化

安全性確認で作成した事象進展フローを基に、イベントツリー及びフォールトツリーを作成し、運転経験に基づく機器信頼性データ及び公開信頼性データを用いて、事象発生確率の定量化を行う。

ハ．重要度評価

ロ．の評価結果から、事故発生確率に大きく寄与する設備、機器、構築物の同定を行う。

【研究の達成目標（平成13年度）】

イ．評価対象事象の選定

東海再処理施設の安全性確認の評価を参考に評価対象事象を選定する。

ロ．事象発生確率の定量化

次年度以降の事象発生確率の定量化作業を実施するため、定量化手法の検討、信頼性データの収集を行う。

【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

イ．評価対象事象の選定

評価対象事象は、「東海再処理施設の安全性確認」において実施した「東海再処理施設の事故の発生防止策の検討」及び「東海再処理施設の臨界安全、遮蔽設計基本データの確認」の結果を参考に、ウラン、プルトニウム及び高放射性廃液を扱う工程における火災、爆発、臨界事象とした。

また、圧縮空気や電気の供給停止については、共通原因故障の観点から重要と判断し評価対象とした。以上の観点から、評価対象事象を以下のように選定した。

- (1) 抽出器における溶媒火災
- (2) ウラン溶液蒸発缶におけるレッドオイル爆発
- (3) プルトニウム溶液蒸発缶におけるレッドオイル爆発
- (4) 高放射性廃液蒸発缶におけるレッドオイル爆発
- (5) 高放射性廃液蒸発缶におけるホルマリン爆発
- (6) 焙焼還元炉における水素爆発
- (7) 誤移送による臨界
- (8) 圧縮空気の供給停止
- (9) 施設の全停電

ロ．事象発生確率の定量化

評価対象事象の発生確率の定量化を実施するための準備作業を実施した。まず定量化手法については、原子炉の定期安全レビュー報告書や国内外の文献調査を実施するとともに、専門家の意見を取り入れながら検討を実施し、PSA で一般的に用いられているイベントツリー及びフォールトツリーを用いる手法を採用することとした。「再処理施設の安全性確認」で作成した事象進展フローは、起因事象から最終到達事象まで時間の流れに沿って事象が進展していくため、時間の経過を考慮できるイベントツリーを用いて記述することが適切であると判断した。また、イベントツリーの各分岐確率の算出にはフォールトツリー解析を実施することとした。一方、警報発報後の運転員の対応操作等ヒューマンエラーの検討については、人間信頼性解析を実施することとなるが、本評価においては、人間信頼性解析手法として PSA で広く用いられている THERP を用いることとした。

フォールトツリー等を定量化するため、機器の故障率等の信頼性データが必要となるが、それらについては、基本的に原子炉の PSA で一般的に用いられているデータを用い、一部東海再処理の実績値も用いることとした。同実績値は、これまでの安全研究において整備してきた東海再処理施設設備保全管理支援システムのデータを基に、必要に応じて統計的な処理を施したものである。

設定した各手法の本評価への適用性を検討するため、抽出工程における溶媒火災事象について予備

検討を実施し、設定した評価手法が再処理施設の PSA に適用できる見通しを得た。予備検討内容及び各評価手順をまとめたものを図-1 に示す。

#### 【研究の達成状況（平成 13 年度）】

##### イ．評価対象事象の選定

評価対象事象の選定については終了。

##### ロ．事象発生確率の定量化

評価方法の設定については終了。

以上から所定の成果が得られている。

##### （今後の予定）

平成 13 年度に設定した評価方法に基づき、評価対象事象の事象発生確率の定量化を実施する。また、東海再処理施設における機器の保全履歴データを用いて機器の故障率を設定するための手法を検討する。

重要度評価については、原子炉の PSA などを参考に評価方法の検討を行う。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究成果を活用することにより、東海再処理施設の安全性をより一層高めることが可能である。

#### 【研究成果の発表状況】

なし

##### （発表予定）

なし

#### 【国内外の研究動向】

##### [ 民間の研究の現状と動向 ]

国内において、核燃料施設の PSA が実施された実績はないが、原子力発電技術機構が中心となり、核燃料施設において PSA を実施する際の評価手法や解析支援ツールの適用性検討などを実施しているようである。

##### （参考文献）

なし

##### [ 海外の研究の現状と動向 ]

核燃料施設における PSA は、英国、米国、ドイツ、フランスなどで実施されている。

- ・ 英国の THORP 再処理工場では、セラフィールド再処理プラントでの運転経験を反映した故障率データベースを用い、イベントツリー／フォールトツリー手法等により評価を実施している。
- ・ 米国の SAVANNAH RIVER においては、稼働中のプラントに対する PSA を実施している。イベントツリー、フォールトツリー手法を用い、定量化に際しては 30 年以上の運転経験に基づく故障率データベースを用いている。
- ・ ドイツにおける再処理施設 PSA としては、PSE プロジェクトが挙げられる。同プロジェクトにおいては、高放射性廃液蒸発缶やプルトニウム濃縮工程での蒸発缶でのレッドオイル爆発などについて詳細な評価を実施している。
- ・ フランスにおいては、UP-3 プラントに対し PSA 評価を実施しており、高レベル廃液貯蔵における冷却機能喪失や水素爆発などを評価している。

##### （参考文献）

なし

#### 【研究評価（自己評価）】

##### ○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- (その理由：
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

環境・線量研究及び被ばく低減化研究

### 【分類番号】

○ 2 - 1 ( 1 - [ 2 ] - ( 1 ) - 2 )

### 【研究課題名(Title)】

環境中のラドン・トリウム及びその壊変生成物の測定、挙動評価などに関する研究

( Study on measurement methods and behavior evaluation of radon, thoron and their progeny in environment. )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 圓尾 好宏 ( まるお よしひろ )

[ 所属 ] 人形峠環境技術センター 安全管理課

[ 連絡先 ] 〒708-0698 岡山県苫田郡上斎原村 1550 電話: 0868-44-2211

(Name) Yoshihiro MARUO

(Title of Function) Environment and Safety Section, Ningyo-toge Environmental Engineering Center

(Address and Phone) 1550 Kamisaibara, Tomata-gun, Okayama 708-0698, Japan, Phone: +81-868-44-2211

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 石森 有 ( いしもり ゆう )

[ 所属 ] 人形峠環境技術センター 安全管理課

(Name) Yuu ISHIMORI

(Title of Function) Environment and Safety Section, Ningyo-toge Environmental Engineering Center

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

- 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : 環境中ラドン及びその壊変生成物濃度の測定及び性状挙動評価手法に関する研究 )

□ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

ラドン標準校正チェンバ、ラドン測定局舎

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

施設運転に関わる環境影響評価の観点から、環境放射能の水準把握は重要である。屋内環境におけるラドン測定・評価は、国内でも系統的に行われ、また報告例も多い。一方、屋外環境でのラドン測定・評価の報告例は少なく、特にラドン壊変生成物については、国内の報告例がほとんどない。これは、ラドン及びその壊変生成物濃度測定手法が標準化されていないこと、特に、ラドン壊変生成物については、長期間の測定が可能な簡便な測定器がないことに起因している。

一方、サイクル機構はウラン鉱山開発に伴って発生した捨石のたい積場などを所有し、その管理が必要である。ラドンはこれらの施設に起因する周辺環境影響評価において重要な核種である。ラドンの環境影響評価で最も特徴的なことは、天然のラドンによる被ばくが既に 1 mSv / y 程度あり、またその

濃度の空間的、時間的な変動幅が大きいことである。従って、施設影響を評価するためには、一般環境中濃度の水準把握及び施設周辺環境での継続的な測定が必要であるとともに、拡散計算による施設影響評価が重要である。

以上の理由から、環境データの蓄積及び校正手法まで含めた測定・評価手法に関する研究開発が必要である。

#### [ 研究目的 ]

自然放射線源からの被ばくとして最も寄与が大きいとされているラドン・トリウム及びその壊変生成物による被ばく線量を高い精度で評価するため、様々な環境におけるこれら放射性核種の存在形態、挙動、分布などを明らかにする。

#### [ 研究内容 ]

ラドンの壊変生成物の挙動については、大気中のエアロゾルの性状に強く関与しているという観点から、これらの放射性核種について屋外環境で測定、調査する。

屋外環境については、壊変生成物を長期間測定するための積分測定器を用いた調査を行う。得られたデータについて解析を行い、それぞれの環境におけるラドン及びその壊変生成物の分布、挙動を明らかにする。

このほか、数値計算によるラドン拡散評価コードを高度化して、種々の環境における拡散計算を行い、測定結果と比較検証を行う。

これらの結果より、ラドン及びその壊変生成物による被ばくの実態を解明する。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

- (1)環境測定の継続。
- (2)ラドン壊変生成物濃度の積分測定器の実証器製作と環境測定。
- (3)拡散コードの高度化に必要な調査。

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

##### (1)環境データの蓄積

従来から実施しているたい積場内及びその周辺におけるラドン濃度、ラドン壊変生成物濃度、ラドン散逸量のデータ蓄積を行った。また、ラドン標準チェンバで測定器の校正チェックを行った。さらに、前期研究成果のまとめを行い、学会誌への投稿を行った。

##### (2)ラドン壊変生成物濃度の積分測定器開発

ラドン壊変生成物濃度の積分測定器による環境測定を実施するとともに、前期研究成果のまとめを行い、学会等での発表を行った。本年度の環境測定結果については図-1の通り例示する。図-1は、平成13年7～9月にかけて行われた結果であり、測定は継続中である。また、ラドン測定局舎の性能評価に関わる測定を実施した。

なお、実証器製作については、研究予算が確保できなかったため、実証器による大規模な測定計画を中止し、試作器による小規模の測定（20台前後）を実施した。測定の実施に当たって、実用上必要不可欠な改造を一部行った。

##### (3)拡散コードの高度化、実証、解析に必要な調査

仏国気候環境科学研究所（Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement）の協力を得て、拡散コードの高度化、実証、解析に必要な調査を実施した。

なお、研究期間初年度であるため、現在データの解析・とりまとめを実施中である。

#### 【研究の達成状況（平成13年度）】

ラドン壊変生成物濃度の積分測定器の実証器製作と環境測定については、規模縮小となったが、ほぼ、所期の成果を達成できた。

#### （今後の予定）

研究予算確保が困難なため、計画規模の縮小により実施する。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

- (1) 環境放射能影響評価の基礎資料として寄与できる。
- (2) ラドン及びその壊変生成物測定技術の向上に寄与できる。
- (3) 山岳地域など、複雑地形における施設影響評価技術の向上に寄与できる。
- (4) ウラン系廃棄物の処理・処分計画において必要であり、研究成果が利用可能である。

### 【研究成果の発表状況】

- (1) 石森有, 古田定昭, 積分型ラドン娘核種濃度測定器による環境測定, 日本保健物理学会第 35 回研究発表会要旨集 (2001)

(発表予定)

- (2) Furuta, S., Ito, K., Ishimori, Y., Measurements of radon around closed uranium mines, J. Environ. Radioactivity, Vol. 62, 97-114 (2002).
- (3) Ishimori, Y., Furuta, S., Environmental monitoring by integrating radon progeny monitors, the International Conference on the Radioactivity in the Environment, 1 - 5 September 2002 in Monaco.
- (4) Ishimori, Y., Ito, K., Furuta, S., Radon and its Progeny Monitoring around Closed Uranium Mine, First Asian and Oceanic Congress for Radiation Protection (AOCRP-1), 20-24 October 2002, Seoul, Korea.

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

国内では、大学、放射線医学総合研究所、(財)環境科学技術研究所、(財)日本分析センター、地方自治体の衛生研究所など、多くの機関で被ばく線量評価、気象研究、地震予知など様々な観点から研究が行われている。しかし、屋外環境での局地的な挙動評価を主目的とした測定は多くない。さらに、屋外環境でのラドン壊変生成物濃度測定についてはほとんどない。国内の現状については下記の文献にまとめられている。また、ラドンチェンバに関しては、最近、放射線医学総合研究所でも整備が行われている。

(参考文献)

- (1) 古田定昭, 伊藤公雄, 石森有; 屋外ラドン濃度～人形峠を中心として～, 下道國, 山田裕司編, ラドン, その人間への影響まで, 放医研環境セミナーシリーズ No. 27, 54-63 (2000)

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

国内外ともに、屋外環境でのラドン濃度測定・評価の報告例は屋内環境に比べて少なく、ラドン壊変生成物についてはさらに少ない。

ラドン壊変生成物濃度測定法に関しては多くの手法が研究されており、市販されている測定器もある。また、積分型の簡便な測定器も多くの開発例がある(1,2,3,4,5,6)。基本的にフィルタ上に吸引捕集したラドン壊変生成物からの放射線を何らかの検出器(半導体検出器, TLD, 固体飛跡検出器など)によって測定する方法が用いられている。しかし、これらは AC 電源を必要とする高価で大型のものであるか、作業時間内の鉱山労働者の被ばく評価など比較的短期間の測定を目的としたものであり、AC 電源のない屋外環境で長期間の平均的な濃度を測定できる測定器は開発されていない。

ラドン壊変生成物粒径分布に関しては、多くの手法が研究(7,8,9,10,11,12,13)されているにもかかわらず、エアロゾルの測定法自身が標準化されていないこと、ラドン壊変生成物の屋外での濃度が低く放射能測定自身が困難であることから、屋外環境でのデータはほとんどない。ICRP Publ. 66 において、新しい呼吸モデルが提案(14)され、平成 13 年度 4 月 1 日より施行される国内の改正法令でも、これに基づいて濃度限度が決められている。しかし、ラドンについてはより直接的で不確実性も小さいという判断で、主にウラン鉱山労働者の疫学調査に基づいたリスク係数が採用された(15)。これは、2つの手法による評価結果が大きく異なることによる。しかし、Publ. 66 検討の初期においては、ラドンの被ばくについても検討が行われた経緯を考慮すれば、将来的にはラドンも他の核種と同様、計算的手法が採用されると考えられる。

ラドン拡散影響評価に関しては、気象研究目的での研究は多いものの、ウラン鉱山のような局地的でかつ複雑な地形での評価(17)はほとんどない。

(参考文献)

- (1) A.L. Frank and E.V. Benton; Radon Dosimetry Using Plastic Nuclear Track Detectors, Nuclear Track Detection, 1, 149-179 (1977)

- (2) J.Durkin; Electronic Radon Daughter Dosimetry, Health Phys., 37, 757-764(1979)
- (3) S.B.Solomon, J.R.Peggies, G.Grealy and V.A.Leach; An Integrating Thermoluminescent Rn Daughter Personal Dosimeter, Health Phys., 52, 143-148(1987)
- (4) C.S.Dudney and A.R.Hawthorne; Radon-222, 222Rn Progeny, and 220Rn Progeny Levels in 70 Houses, Health Phys., 58, 297-311(1990)
- (5) K.N.Yu and Z.J.Guan; A portable Bronchial Dosimeter for Radon Progenies, Health Phys., 75, 147-152(1998)
- (6) W. Zhuo and T.Iida; An Instrument for Measuring Equilibrium- Equivalent 222Rn and 220Rn Concentrations with Etched Track Detectors, Health Phys., 77, 584-587(1999)
- (7) Cheng, Y. S.; Yeh H. C. Theory of a screen-type diffusion battery. Journal of Aerosol Science 11:313-320(1980).
- (8) Twomey S. Comparison of constrained linear inversion and an iterative nonlinear algorithm applied to the indirect estimation of particle size distributions. Journal of Computational Physics 18:188-200 (1975).
- (9) Maher E. F.; Laird N. M. EM algorithm reconstruction of particle size distributions from diffusion battery data. Journal of Aerosol Science 16:557-570 (1985).
- (10) Solomon, S.B., Ren, T Aerosol Science Technology 17:69 (1992).
- (11)Hillamo, R.E., Kauppinen, E., Aerosol Science Technology 14:33. (1991).
- (12)Kesten, J., Butterweck, G., Porstendoefer, J., Reinerking, A., Heymel, H.J., Aerosol Science Technology 18:156 (1993).
- (13)Reineking, A.; Kunutson E.A.; George A.C.; Solomon S.B.; Kesten J.; Butterweck G.; Porstendoefer J., Size distribution of unattached and aerosol-attached short-lived radon decay products: Some results of intercomparison measurements. Radiation Protection Dosimetry 56:113-118, (1994).
- (14)ICRP Publication 66, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, (1994)
- (15)ICRP Publication 65, Protection Against Radon-222 at Home and at Work, (1993)
- (16)Przylibski, T. A. (1999), Radon Concentration Changes in the Air of two Caves in Poland. Journal of Environmental Radioactivity, 45, 81-94
- (17)W.E.Clements, S.Barr, and M.L.Marple, Uranium Mill Tailings Piles as Sources of Atmospheric Radon-222, Natural Radiation Environment III, 1559-1583 (1980)

#### 【研究評価（自己評価）】

##### ○ 成果の達成レベル

###### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

###### [ 説明欄 ]

一部、予算確保が出来ず、研究規模としては縮小となったものの、成果としては、ほぼ所期の目標を達成できた。

##### ○ 成果活用方策

###### [ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☒ その他

###### [ 説明欄 ]

- (1)ウラン系廃棄物の処理・処分計画においてラドン影響評価は必要であり、研究成果が利用可能である。
- (2)環境データの蓄積により、安全性の判断材料としての環境放射能影響評価の基礎資料として寄与できる。
- (3)山岳地域など、複雑地形における施設影響評価技術の信頼性向上に寄与できる。
- (4)その他、放射線計測技術の向上に寄与できる。

○計画の進捗状況

[チェック欄]

- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由： )
- ☐ 計画以上に進捗した。

[説明欄]

一部、予算確保が出来ず、研究規模としては縮小となったものの、今年度の成果としては、ほぼ所期の目標を達成できた。ただし、次年度以降、一部計画変更が必要。

【自由評価欄】

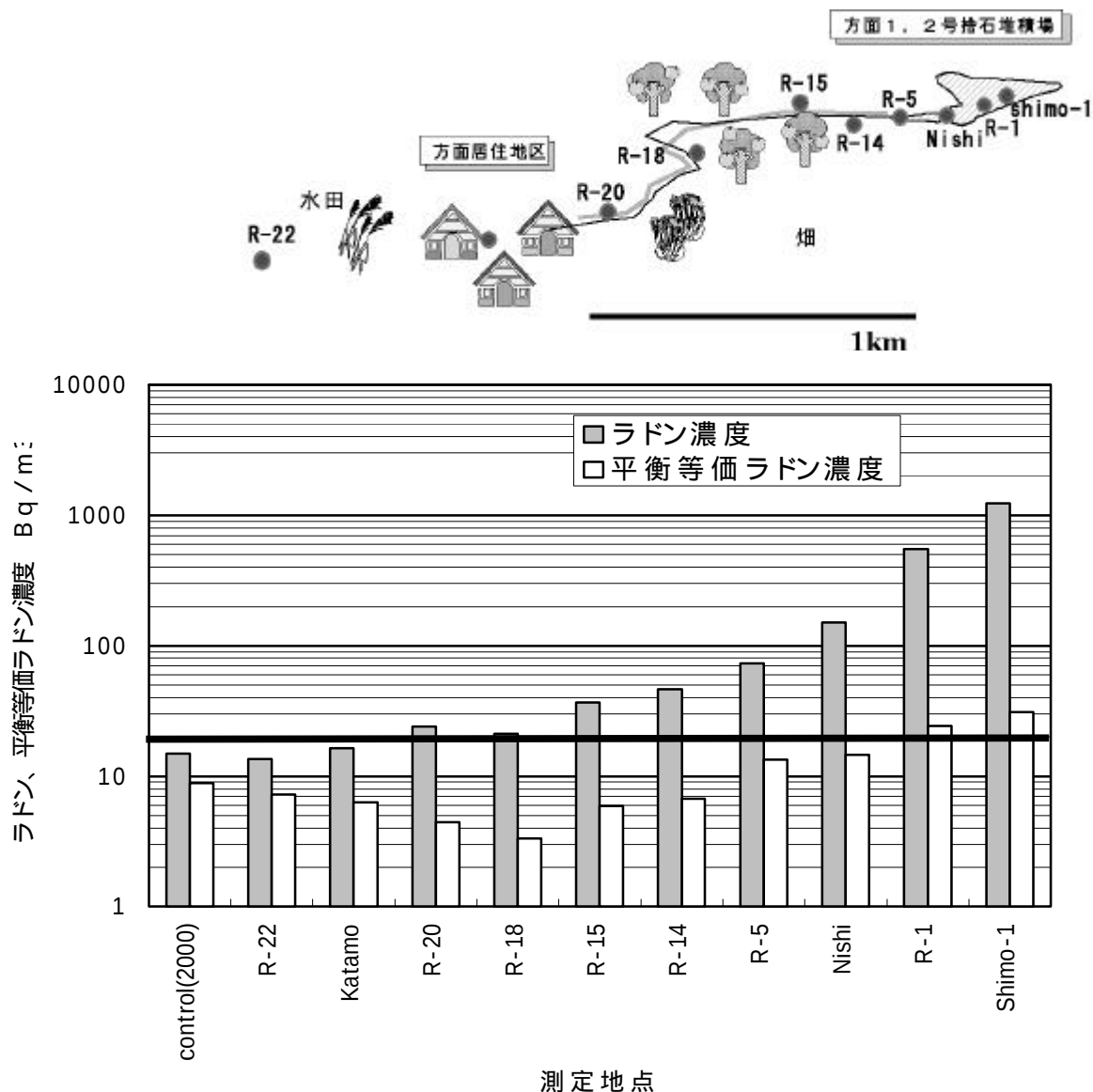


図 - 1 ラドン壊変生成物濃度の積分測定器による測定結果（平成 13 年度第 2 四半期）：

図中太線で示した  $20 \text{ Bq/m}^3$  が年間  $1 \text{ mSv}$  に相当する平衡等価ラドン濃度（ラドン壊変生成物濃度）。測定結果にはバックグラウンドを含み、R-5 から Shimo-1 までが敷地内。なお、参考として、平成 12 年に対照地区（三朝、倉吉、穴鴨、恩原地区）で得られた年平均値の平均値を control(2000)として示した。

註）周辺よりも強いラドン源の近傍では、比較的高いラドン濃度が観察される。しかし、このラドンは充分壊変する前に拡散してしまうため、壊変生成物の濃度である平衡等価ラドン濃度はそれほど高くない。従って、平衡等価ラドン濃度はラドンに比べて著しく低くなる。一方、周辺と同程度のラドン源の近傍では、拡散で失われるのと同程度の供給が常に周辺からあるため、平衡等価ラドン濃度はラドン濃度に近くなる。このため、たい積場内では比較的高いラドン濃度が観察されるものの、平衡等価ラドン濃度はそれほど高くない。逆に、周辺地区ではラドン濃度は高くないものの、ラドン濃度により近い平衡等価ラドン濃度が観察される。

また、大気中でのラドン壊変生成物の挙動は、エアロゾル濃度や樹木や建物など障害物との関係に依存する（壊変生成物の濃度に対して、前者は正に、後者は負の要因として働く）。このため、同じラドン濃度であっても平衡等価ラドン濃度は必ずしも同じにはならない。

このように、ラドン濃度と平衡等価ラドン濃度の割合は場所によって変化している。ラドン濃度に対する平衡等価ラドン濃度の割合は平衡係数と呼ばれ、ラドン影響評価では、場を表現する重要なパラメータとなっている。

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

環境・線量研究及び被ばく低減化研究

### 【分類番号】

○ 3・1（1・[3]・（15）・2）

### 【研究課題名(Title)】

海洋における放射性核種の挙動と拡散予測モデルに関する研究

(Study on The Diffusion Model for Prediction of The Behavior of Radioactive Materials)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 武石 稔(たけいし みのる)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 環境監視課

[連絡先] 319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話：029-282-9377

(Name) Minoru TAKEISHI

(Title of Function) Environmental Protection Section, Radiation Protection Division,  
Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu Tokai-mura Naka-gun Ibaraki-ken  
319-1194 phone:+81-29-282-9377

### 【担当研究者名、所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 中野 政尚(なかの まさなお : Masanao NAKANO)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 環境監視課

(Environmental Protection Section, Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

☐ 前期基本計画からの継続（研究課題名： )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] なし

### 【使用主要施設】

なし

### 【研究概要】

[研究の経緯]

海洋放出に関する環境影響評価は、ごく狭域を対象に行われており、地球規模の長期的な核種移行挙動に關しての研究はほとんど行われていない。地球規模での拡散評価には、核燃料サイクル施設からの放射性物質の放出と沿岸での拡散に關する放出源情報が必要である。しかし、沿岸での拡散は地形など地域の特性に応じて異なることから、地球規模での環境影響を評価するためには、沿岸拡散評価モデルを構築し、地球規模モデルと連携させることが必要である。

[研究目的]

海洋中の拡散、移行、沈降、堆積などの諸過程をモデル化するとともに、モデルのパラメータに必要な海流などについて、観測的な研究を行う。

#### 〔研究内容〕

海水中の放射性核種の鉛直及び水平濃度分布を調査する。また、沿岸の海水及び海底土中の放射性核種の濃度を測定し、蓄積量の評価を行う。

これらの観測的研究を基に、地域ごとの沿岸域、外洋における放射性物質の移行拡散シミュレーションモデルを構築し、そのモデルの検証を行う。なお、沿岸からの放射性物質の移行については、別途沿岸モデルを開発する。沿岸から放出された放射性物質が地球規模でどのように拡散できるかを把握できるよう、これら3つのモデルのリンク法を開発する。さらに、各種のシナリオを想定し、長期的な観点からの環境影響を定量化する。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

- ・東海沖での流動変動要因についての知見の取りまとめ。

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

沿岸域における流動変動要因を明らかにするため、サイクル機構が行った東海沖での流向、流速の観測データ、及び、他の大学、研究機関等が行った関東、東北沿岸及び沖合で観測されたデータなどを用いて、この地域特有の流況解析を行った。

##### **1. 既存データの解析**

これまでに、関東、東北沖で測定された約40,000点の流向・流速データを、海域を0.5度、1度、2度の格子に区分し解析した。図-1に安定度付き流速ベクトル分布（2度格子及び0.5度格子）を示す。格子サイズが2度では沿岸流が表現されず、黒潮などの海流が主要な流向、流速と表現された。一方、0.5度格子の場合には、三陸沖から東海沖、犬吠崎まで達し黒潮の北東流に合流する幅50～60kmの南下流が認められた。なお、安定度とは流速ベクトル平均をスカラー平均で除した値で、Aが最も安定（80～100%）で、20%刻みにB、C、Dと不安定度が大きくなっていき、Eが最も不安定（0～20%）である。犬吠崎沖の黒潮で安定度Bが見られるが、沿岸付近はC～Dが多く、やや不安定な流れであることが確認された。

##### **2. 東海沖での流向・流速の測定**

東海沖約3.7kmの海上で海面から0.5m、1m、3mにおいて流向・流速を連続して観測した。その結果、表層3m内で流速が大きく減衰することがわかった。0.5mの流速を1とすると3mの流速は1/2～1/5程度であった（図-2）。このことから、東海沖での流れは風の影響を強く受けていると考えられた。

##### **3. 風の解析**

東海事業所で観測された地上風のデータを用いて、東海沖の流れに影響する風の状況を解析した。その結果、東海地区においては海陸風（日周変動）が卓越しており、夏に強く、冬に弱い傾向があることがわかった（図-3に10月の例）。また、安定風や風速風向急変時における風と流れの相関を解析した。その結果風速風向急変期間では、3m水深下で流速の東方成分の変動が風の東方成分の変動と0.7の相関係数を有するなど、風と流れに高い相関が認められた。

#### 【研究の達成状況（平成13年度）】

所期の成果が得られた。

（今後の予定）

平成13年度に得られた知見を基にして、放射性物質の移流拡散に関する沿岸拡散評価モデルを検討する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

核燃料サイクル施設からの海洋放出における地球規模の環境影響評価

#### 【研究成果の発表状況】

なし

（発表予定）

なし

## 【国内外の研究動向】

### [ 民間の研究の現状と動向 ]

日本原子力研究所東海研究所において、海流モデルの予測性能を沿岸海域（六ヶ所沖）について評価し、モデルの改良を行っている。また、電力中央研究所我孫子研究所においては、発電所立地点周辺の環境影響予測評価（環境アセスメント）や環境保全に役立てるため、発電所から放出される温排水の拡散や水質変化を 3 次元的に予測する手法、並びに藻場の生産力を評価するモデルの開発に取り組んでいる。

### （参考文献）

Kobayashi, T., S. H. Lee and M. Chino: "Development of Ocean Pollution Prediction System for Shimokita Region - Model Development and Verification -", *J. Nucl. Sci. Technol.*, 39[2], 171-179 (2002)

### [ 海外の研究の現状と動向 ]

アイリッシュ海（セラフィールド再処理工場）、イギリス海峡（ラアーグ再処理工場）における沿岸海洋数値モデルの開発が行われている。

### （参考文献）

Perianez, R.: "Modelling the tidal dispersion of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  in the English Channel", *J. Environ. Radioactivity*, 49, 259-277 (2000)

## 【研究評価（自己評価）】

### ○ 成果の達成レベル

#### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

#### [ 説明欄 ]

### ○ 成果活用方策

#### [ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

#### [ 説明欄 ]

### ○ 計画の進捗状況

#### [ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
  - ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- （その理由：
- ☐ 計画以上に進捗した。

#### [ 説明欄 ]

## 【自由評価欄】

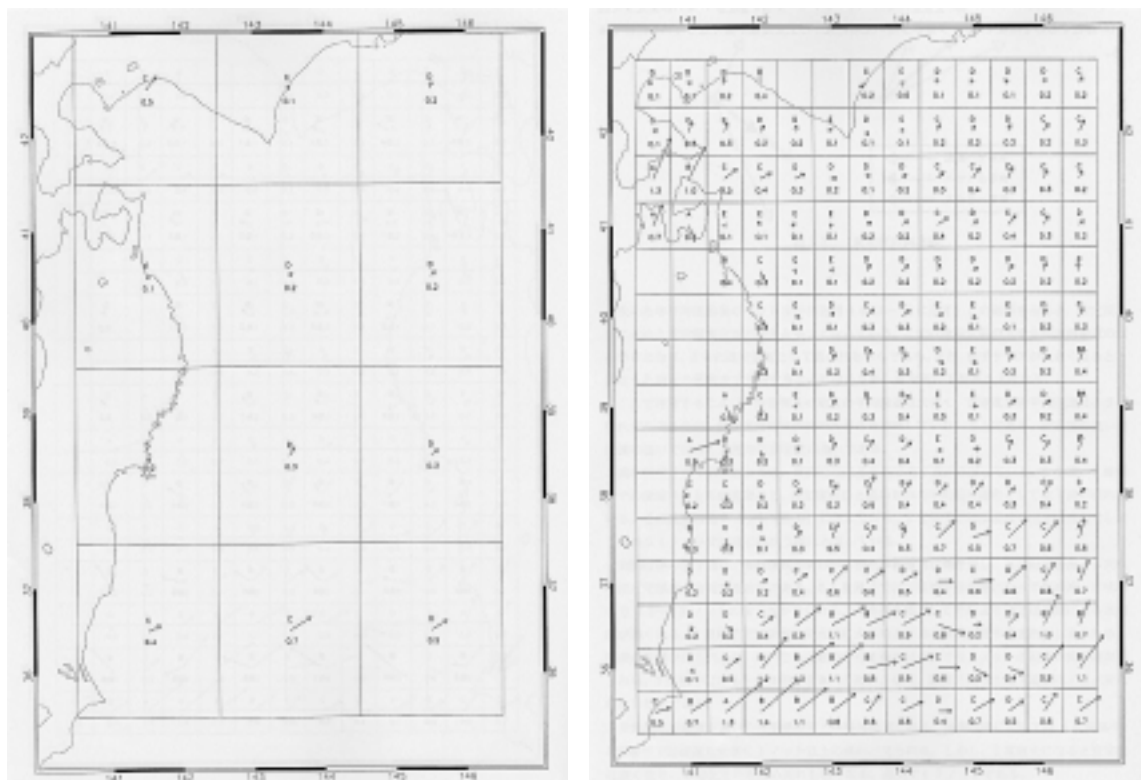


図-1 安定度付き流速ベクトル分布（左：2度格子、右：0.5度格子）

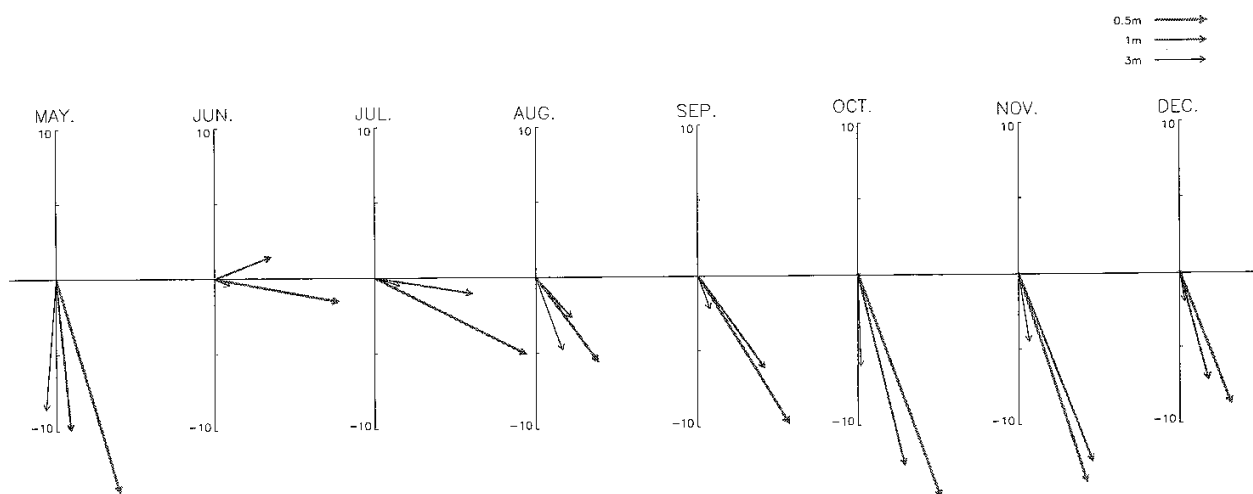


図-2 流向・流速の連続観測における平均流（5月～12月）

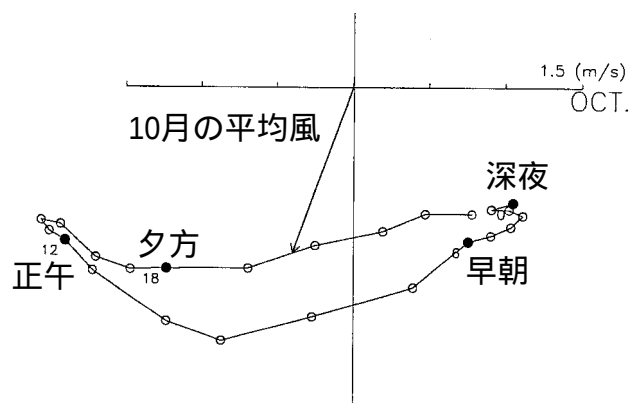


図-3 風の日周変動（10月期）

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

環境・線量研究及び被ばく低減化研究

### 【分類番号】

○ 3・2 (1・[3]・(16)・1)

### 【研究課題名(Title)】

地球規模の海洋環境における放射性物質移行モデルに関する研究  
(Study on The Transfer Model for Radioactive Materials in Global Ocean)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 武石 稔(たけいし みのもる)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 環境監視課

[連絡先] 319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話：029-282-9377

(Name) Minoru TAKEISHI

(Title of Function) Environmental Protection Section, Radiation Protection Division,  
Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu Tokai-mura Naka-gun Ibaraki-ken  
319-1194 phone:+81-29-282-9377

### 【担当研究者名、所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 中野 政尚(なかの まさなお : Masanao NAKANO)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 環境監視課

(Environmental Protection Section, Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- ☒ 前期基本計画からの継続(研究課題名：地球規模の広域拡散評価手法に関する研究)
- ☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] なし

### 【使用主要施設】

なし

### 【研究概要】

[研究の経緯]

海洋放出に関する環境影響評価は、ごく狭域を対象に行われており、地球規模の長期的な核種移行挙動に関しての研究は行われていない。今後、核燃料サイクルを戦略的に進めるにあたっては、放出に対する長期的及び広域的リスクを定量的に評価し、そのリスクが十分に小さいことを示す必要があることから、そのためのモデル及び計算コードを作成する。

[研究目的]

海洋環境における放射性物質の移行プロセスについて、長期的な観点で移行プロセスを捉え、地球規模の環境影響を評価できる環境を整備する。

#### [ 研究内容 ]

スキャベンジングを考慮した全球海洋拡散モデルを核実験場に適用し、海水中放射性物質の実測値とシミュレーションによる計算値を比較検討し、その妥当性を確認する。

さらに、各種のシナリオを想定し、長期的な観点からの環境影響を定量化する。

#### 【研究の達成目標（平成 13 年度）】

- ・ 全球三次元 Cs モデルの改良
- ・ 全球三次元 Pu モデルの作成
- ・ 海洋中 Cs, Pu 実測値による検証

#### 【研究実施内容及び成果（平成 13 年度）】

##### 1 . Cs モデルの改良と検証

これまでに開発してきた Cs モデルをより現実的なものとするため、表層混合厚の考慮、最大マーカー移動量の可変性、地形の変更等を行った。また、大気圏核実験からの Cs-137 の降下量についてビキニ・エネウェタック核実験場からの影響を別個に考慮した。

グローバルなモデル検証として、1960 年代から 90 年代にかけて採取測定された世界 152 地点の鉛直分布とモデル計算による鉛直分布を比較した。152 地点のうち 30 地点は計算格子の粗さ(水平方向 2 度)や、北極海を考慮していないこと、ビキニ環礁からのリークなどの原因から計算値と観測値は合致しなかったが、残り 122 地点については観測された鉛直分布とモデルによる鉛直分布はよく一致した。例として図-1 に 3 ヶ所の海水中 Cs-137 濃度鉛直分布比較図を示す。

ローカルなモデル検証としては、ムルロア環礁からの仮想放出を計算し、他研究者の水平分布計算結果と比較した。その結果、他研究者と同等の結果を得ることができた。

##### 2 . Pu モデルの開発と検証

Pu は Cs と異なり、容易に水中の微小粒子に吸着し、重力によって下方へ沈降していく。その過程（スキャベンジング）をモデル化するために、これまでに発表された Pu スキャベンジングに関する論文や、一般知見を総括し、放射性物質広域海洋拡散評価モデルに組み込むための Pu スキャベンジングモデルを構築した。Pu スキャベンジングモデルを 3 次元 Cs モデルに組み込むことにより、3 次元 Pu モデルを作成し、Cs-137 と同様にビキニ・エネウェタックの影響を別個に考慮した大気圏核実験のフォールアウト量を入力し海水・海底土中 Pu-239,240 濃度を計算した。その結果を 1970 年代から 90 年代に採取測定された海水中 Pu-239,240 濃度鉛直分布、海水・海底土中インベントリーと比較した。その結果、上記 Cs モデルと同様な理由及び海底からの再浮遊現象が原因と思われる不一致地点はあったものの、全体的には良く一致した。図-2 に北太平洋の海底土中 Pu-239,240 濃度インベントリー比較図を、図-3 に 3 ヶ所の海水中 Pu-239,240 濃度鉛直分布比較図を示す。

#### 【研究の達成状況（平成 13 年度）】

所期の成果が得られた。

（今後の予定）

日本海 Cs モデルの作成及び検証を行う。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

実証された放射性物質拡散モデルのノウハウを用いて、沿岸放出の拡散評価コードを作成できる見通しを得た。

#### 【研究成果の発表状況】

（発表予定）

1. 中野政尚：“広域海洋における放射性物質移流拡散モデル”，日本保健物理学会第 36 回研究発表会，(2002)
2. M. Nakano and P.P.Povinec：“Ocean General Circulation Model for Studying the Dispersion Radionuclides in the Global Ocean”，*International Conference on Environmental radioactivity*，(2002)
3. M. Nakano and P.P.Povinec：“Modelling the dispersion of <sup>137</sup>Cs in the water column of the global ocean”，*J. of Marine Systems*，(submitted)
4. M. Nakano and P.P.Povinec：“Modelling the dispersion and scavenging of plutonium in the water

## 【国内外の研究動向】

### [ 民間の研究の現状と動向 ]

宇宙開発事業団、日本原子力研究所及び海洋科学技術センターによって設置された共同チーム(地球シミュレータ研究開発センター)は、スーパーコンピュータを用いたシミュレーションにより未来の地球の姿を映し出す「仮想地球」を創る「地球シミュレータ」を開発した。地球規模の気候変動の解明と予測などを行うために、地球温暖化物質である炭素等に関する海洋シミュレーションに取り組んでいる。

(参考文献)

地球シミュレータ研究開発センターホームページ

<http://www.es.jamstec.go.jp/esrdc/jp/menu.html>

### [ 海外の研究の現状と動向 ]

種々の場所で放射性廃棄物の拡散に関連したモデルが開発されているが、最近ではバレンツ海でクルスク原子力潜水艦沈没事故に関連した局地規模での海洋拡散モデルが開発されている。

(参考文献)

Gerdes, R., Karcher, M., Kauker, F., Koeberle, C.: “Predicting the spread of radioactive substances from the Kursk”, *Trans. American Geophys. Union* 82, 253-257 (2001)

## 【研究評価(自己評価)】

### ○ 成果の達成レベル

#### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

#### [ 説明欄 ]

### ○ 成果活用方策

#### [ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

#### [ 説明欄 ]

### ○ 計画の進捗状況

#### [ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
  - ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- (その理由:
- ☐ 計画以上に進捗した。

#### [ 説明欄 ]

## 【自由評価欄】

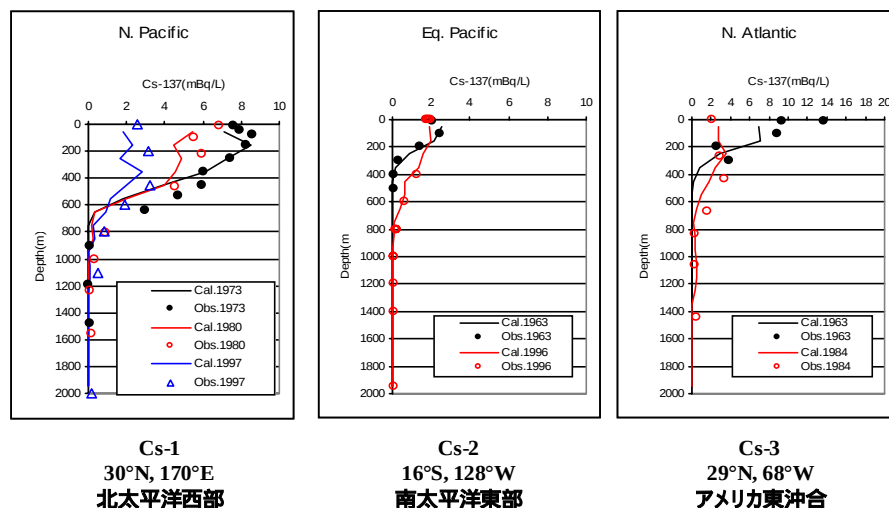


図-1 海水中 Cs-137 濃度鉛直分布比較図

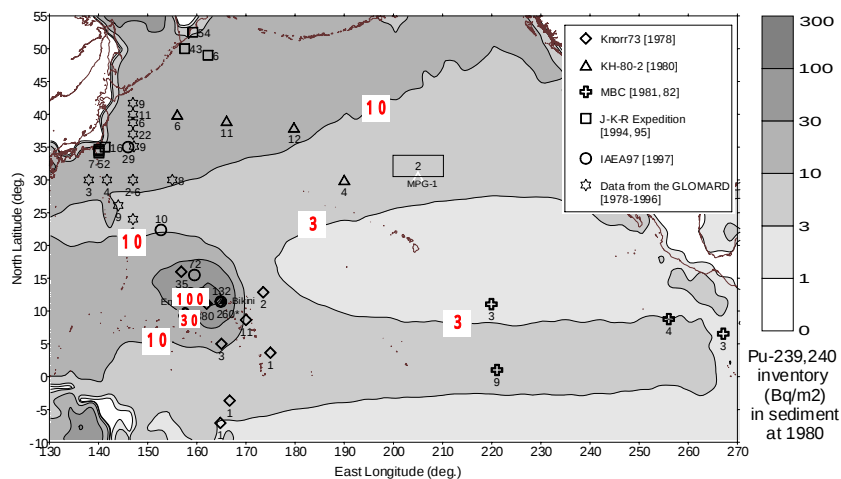


図-2 北太平洋海底土中 Pu-239,240 濃度インベントリーの比較

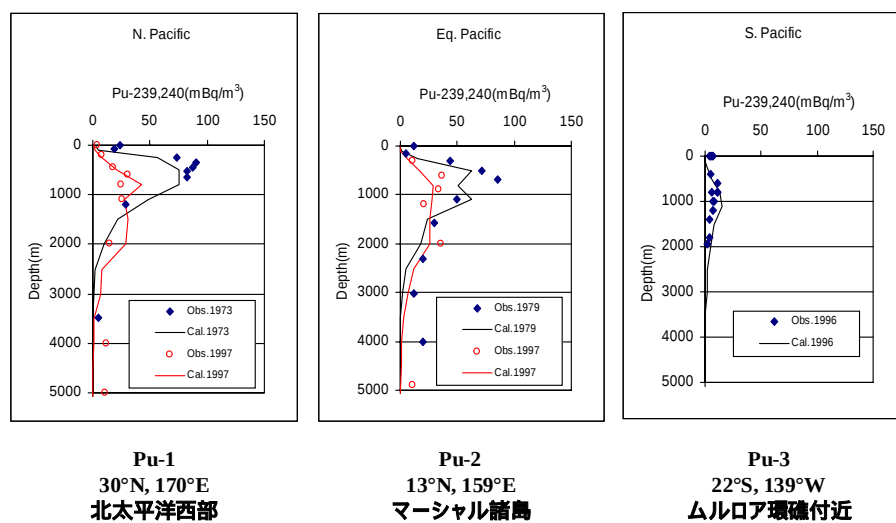


図-3 海水中 Pu-239,240 濃度鉛直分布比較図

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

環境・線量研究及び被ばく低減化研究

### 【分類番号】

6・1（1・[6]・（3）・2）

### 【研究課題名(Title)】

環境試料の迅速分析及び測定技術の高度化に関する研究  
(Study on Rapid Analytical Method and Measuring Technique for Environmental Samples)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 篠原 邦彦(しのはら くにひこ) 武石 稔(たけいし みのもる)  
[所属] 東海事業所 放射線安全部  
[連絡先] 319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4-33 電話: 029-282-9377  
(Name) Kunihiro SHINOHARA, Minoru TAKEISHI  
(Title of Function) Radiation Protection Division, Tokai Works  
(Address and Phone) 4-33 Muramatsu Tokai-mura Naka-gun Ibaraki-ken 319-1194  
Phone: +81-29-282-9377

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 植頭 康裕(うえず やすひろ: Yasuhiro UEZU)  
[所属] 東海事業所 放射線安全部(Radiation Protection Division, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- ☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )  
☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし  
[実証試験名(実施機関)] なし  
[委託研究名(実施機関)] なし

### 【使用主要施設】

安全管理棟

### 【研究概要】

[研究の経緯]

プルトニウムやウランを取り扱う再処理施設や燃料製造加工施設における排気及び大気中プルトニウム等長半減期核種の定量には、これまでおよそ一週間が必要であり、迅速性が要求される原子力緊急時等におけるプルトニウム定量法としては問題があった。そのため、検出器へのパルスの入射時間間隔を解析する方法を利用した迅速定量法を開発する。

[研究目的]

原子力施設から放出された放射性物質を迅速に定量する方法を開発し、緊急時モニタリング指針にマニュアルとして反映させる。

[研究内容]

アルファ線放出核種、ベータ線放出核種、ガンマ線放出核種の迅速定量法並びに全アルファ放射能及び全ベータ放射能の迅速計測法を開発する。特に、核分裂反応により生成される長半減期核種及び超ウ

ラン元素については、キレート樹脂、クラウンエーテル等抽出法の検討及び測定手法の検討を行い、迅速にこれらの濃度を把握できるよう分析技術の高度化を図る。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

- ・ 時間間隔解析及び減算の原理の構築

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

大気浮遊塵中のプルトニウム等人工放射性核種を定量する時に測定上妨害となるのが、ラドンやトリウム等の短半減期の天然放射性核種である。これまでは、陰イオン交換法や溶媒抽出法等によりこれらを除去していたが、分析日数や分析設備を要すること等の理由から、平成13年度からは、検出器に入射したパルスを経電的に解析して、バックグラウンドを除去する次世代モニタリングシステムの開発を実施している。

平成13年度は、プルトニウム等の長半減期核種を定量する際に、化学分析を実施せずに時間間隔解析<sup>1)-7)</sup>（Time Interval Analysis 以下 TIA と略す。）によって測定の妨害となる短寿命天然放射性核種を除去し、これらを迅速に定量するため、TIA 法の理論的妥当性の確認及び短寿命天然放射性核種の抽出試験を実施した。

#### 1. 時間間隔解析理論

検出器に入射した放射線パルスを、相関性を有するパルス対（以下、相関事象と呼ぶ）と相関性を有しないパルス対（以下、ランダム事象と呼ぶ。）に大きく区別する。ラドンやトリウムの壊変生成物のような短寿命核種の場合、微小時間内に親-壊変生成物の連続事象が発生するため、相関事象として取り扱う。一方、プルトニウムやウランは、長い半減期を有することから、検出器に入射した後、微小時間内に不規則に壊変が発生するため、ランダム事象として扱う。

時間間隔解析法には、図・1に示すような隣接時間間隔解析（Single Time Interval Analysis 以下 STA 法と略す。）及び多重時間間隔解析法（Multiple Time Interval Analysis 以下 MTA 法と略す。）があり、これらの条件下での各確率を以下のように定義し、以下に各々の場合の全確率を示す。

|              |                                                              |
|--------------|--------------------------------------------------------------|
| M            | : 全計数率                                                       |
| $P(t)dt$     | : $t=0$ で任意のパルスによってイベントがスタートし、 $t$ 時間後に $dt$ 時間内のイベントで終了する確率 |
| $Cdt$        | : 時間後微小時間 $dt$ 内にランダム事象が発生する確率                               |
| $\lambda dt$ | : $t$ 時間後微小時間 $dt$ 内に相関事象が発生する確率                             |
| $\alpha_t$   | : イベントが相関事象により引き起こされる確率                                      |
| $\alpha_b$   | : イベントがランダム事象により引き起こされる確率                                    |

##### 1.1. STA 法

STA 法は、これまで原子炉内の反応速度等を求めるために利用されてきた理論であり、基本的には2つのパルス間の時間間隔を解析する手法である。

時間間隔分布関数は、

$$M P(t)dt = M \{ \alpha_t \cdot (\lambda + C) \cdot \exp[-(\lambda + C) \cdot t] + \alpha_b \cdot C \cdot \exp(-Ct) \} dt$$

のように表すことができる。

上記式から、隣接時間間隔解析法においては、相関事象由来の第一項にランダム事象由来の第二項を加えたものが、全確率関数となることが確認できた。STA 法の場合には、指数関数的に減少するランダム事象の上に指数関数で減少する相関事象が存在する形となることが確認できた。

また、図・2に示すように、全計数率  $M=5000$ 、相関事象発生率  $\alpha_t=0.2$ 、ランダム事象計数  $C=0.2\text{cps}$  とし、相関事象の抽出時間を 100m 秒から 0.1m 秒に変化させるシミュレーションを行った。STA 法の環境モニタリングへの適用性を確認した結果、ランダム事象（プルトニウム等）が 0.2cps 程度であり、相関事象の抽出時間（目的核種の半減期又は寿命に相当）が 1m 秒程度の核種までには、ランダム成分もほぼ水平であるため有効な手法であることが確認できた。

さらに、全計数率  $M=5000$ 、相関事象発生率  $\alpha_t=0.2$ 、相関事象の抽出時間を 0.1m 秒として、ランダム事象計数を 0.2cps から 20cps に変化させるシミュレーションの結果を図・3に示す。ここでは、ランダム事象数が 2cps までは、相関事象との差を認めることができ、相関事象を容易に捉えることが可能であることが確認できた。

以上の結果から、STA 法では、2cps 程度までのプルトニウム等長半減期核種が含まれる試料において、

1 m 秒程度の半減期もしくは寿命を有する核種を抽出するのに適していることが確認できた。

## 1. 2. MTA 法

一方、任意時間間隔内の隣り合っていないパルス対に対しても解析を行う MTA 法では、パルスの全確率は以下のように表すことができる。

$$MP(t)dt = M[\alpha t \cdot \lambda \cdot \exp(-\lambda t) + C]dt$$

また、全計数率  $M=5000$ 、相関事象発生率  $\alpha t=0.2$ 、ランダム事象計数  $C=0.2\text{cps}$  とし、相関事象の抽出時間を 100m 秒から 0.1m 秒に変化させるシミュレーションを行った。その結果、図-4 に示すように、ランダム成分は常に一定であり、相関事象の抽出時間によって、ランダム成分の割合が変化することが確認できた。そのため、100m 秒までの抽出においては、ランダム数の大小に関わらず、定量ができるものであることが確認できた。

## 2. 短半減期核種の定量

多重時間間隔解析技術により、短寿命核種が抽出できることを確認するために、図-2 に示すようにウラン-232 (以下  $^{232}\text{U}$  と略す。) の壊変生成物である短寿命核種のポロニウム-216 (以下  $^{216}\text{Po}$  と略す。) を硫酸バリウムによる共沈を行い精製し、さらに抽出シンチレータ (ORDERA 社の RADEX) を用いてラジウムのみを単離し、液体シンチレーションカウンタ (ORDERA 社の PERALS 8100AB) により測定した。測定したデータの時間間隔を解析し、 $^{216}\text{Po}$  の半減期である 145 ミリ秒に入射したパルス対を抽出し、抽出したエネルギースペクトル及びタイムスペクトルを取得した。これらの結果から、図-3 に示すようなタイムスペクトル及び図-4 に示すようなエネルギースペクトルを取得することができた。図-3 では、横軸が時間間隔であり、縦軸にカウント数を示しているが、理論に従い  $^{216}\text{Po}$  の半減期である 145 ミリ秒前後に  $^{220}\text{Rn}$  から壊変した  $^{216}\text{Po}$  が検出器に入射したことが認められる。また、これらのエネルギースペクトルからは、 $^{216}\text{Po}$  が抽出されていることが確認でき、本法で定量した  $^{216}\text{Po}$  の濃度は、表-1 に示すように理論値と良い相関を示すことが確認できた。

時間間隔解析技術を用いた短寿命核種の抽出及び定量ができたことから、大気浮遊塵の定量を行う際に、全体のパルスからラドン・トロンの壊変生成物のみを抽出・減算することで、化学分析を実施せずにブルトニウム等長半減期核種の迅速定量が可能であることが示された。

## 【研究の達成状況 (平成 13 年度)】

時間間隔解析理論の妥当性の検証が行えたことにより所期の成果が得られた。

### (今後の予定)

時間間隔解析法により、短寿命核種である  $^{216}\text{Po}$  の定量ができたことから、今後は、これら短寿命核種をエネルギースペクトルから減算する時間間隔減算法について、計測システムの構築を行うとともにデータを採取し、化学分析を実施せずに測定上の妨害となるラドンやトロンの壊変生成物を電氣的に除去し、環境試料中の長寿命核種の迅速定量を目指す。

## 【成果の利用実績及び活用見通し】

再処理施設及び核燃料取扱施設における作業環境モニタリングへの本法の適用が可能  
定常環境モニタリングへの適用が可能

## 【研究成果の発表状況】

### 学会発表

- (1) Y UEZU, Y MARUO and T HASHIMOTO; Determination for Alpha Nuclides in Environmental Samples by Using LSC-TIA Method; LSC2001 (2001.5)
- (2) T HASHIMOTO and Y UEZU; Determination of Natural Alpha-Radionuclides Using a Time Interval Analysis Combined with Alpha-Scintillation Spectrometry; LSC2001(2001.5)
- (3) 植頭康裕、橋本哲夫; 時間間隔解析・減算システムによる天然放射性核種の定量; 第 38 回理工学における同位元素・放射線研究発表会(2001.7)
- (4) Y UEZU and T HASHIMOTO; New Aspects of Time Interval Analysis Method for the Determination of Artificial Alpha Nuclides; 2001 Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry(2001.10)
- (5) 植頭康裕、橋元哲夫; 時間間隔解析・減算システムによる大気浮遊塵中  $\alpha$  線放出核種の迅速定量

法；日本放射化学会第三回環境放射能研究会(2002.3)

(発表予定)

学会発表

- (1) Y UEZU and T HASHIMOTO; Rapid Determination Method for Artificial Alpha Nuclides using Time Interval Analysis Method; International Conference on Radioactivity in the Environment(2002.9)

論文発表

- (1) 植頭康裕、橋本哲夫; 時間間隔解析技術を用いた短寿命核種の定量; RADIOISOTOPES, 51, 6, (2002)

## 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

隣接時間間隔解析を用いた時間間隔解析法は、古くから核物理分野において利用されてきたが、環境試料分析への多重時間間隔解析法の適用に関しては、新潟大学において研究されている。ここでは、玉川温泉の湯の華中の $^{216}\text{Po}$ 、 $^{217}\text{At}$ 等の定量法を開発してきた。

(参考文献)

- 1) 橋本哲夫、久保田知明：時間間隔解析法を用いた玉川温泉水中のトリウム系列核種の絶対測定, Radioisotopes, 38, 415-420, 1989
- 2) T. Hashimoto and Y Sakai: J. Radioanal. Nucl. Chem. 138, 195-206, 1990
- 3) T. Hashimoto, Y Uezu, F. Ishizuka, H. Washio: J. Radioanal. Nucl. Chem., 173, 87-97, 1993
- 4) T. Hashimoto, F. Ishizuka, Y. Yoneyama, T. Kubota, N. Fukuyama: J. Radioanal. Nucl. Chem., 197, 99-114, 1995
- 5) T. Hashimoto, K. Sato, Y. Yoneyama, N. Fukuyama: J. Radioanal. Nucl. Chem., 222, 109-116, 1997
- 6) T. Hashimoto, Y. Yoneyama, K. Sato, Y. Komatsu: J. Radioanal. Nucl. Chem., 239, 619-629, 1999
- 7) T. Hashimoto, Y. Komatsu, D. G. Hong, Y Uezu: Radiat. Meas., 33, 95-101, 2001

[ 海外の研究の現状と動向 ]

環境試料分析への時間間隔解析法の適用に関しては、実施している機関はない。

(参考文献)

特になし

## 【研究評価(自己評価)】

○成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。

(その理由：

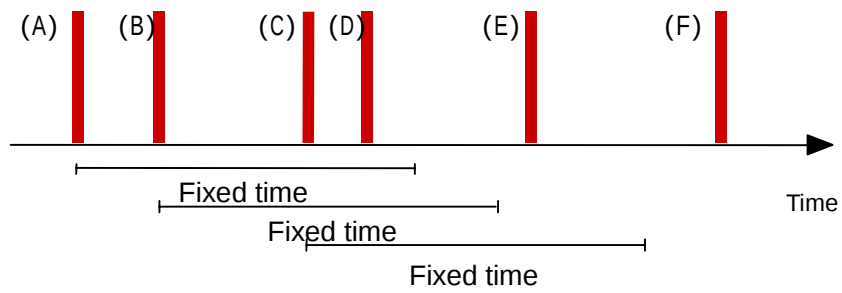
)

☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

**【自由評価欄】**

時間間隔解析技術を環境放射線計測に導入した例として、日本分析化学会誌「ぶんせき」, 4, 2002 に最新の技術として紹介されている。ここでは本法が「新たな環境アセスメントの到来となる。しかがって本成果の実用化に対する期待は大きい。」と評価されており、本研究への期待の大きさを表している。



隣接時間間隔解析法

(A)-(B), (B)-(C), (C)-(D).....

多重時間間隔解析法

(A)-(B), (A)-(C), (A)-(D), (B)-(C), (B)-(D).....

図 - 1 時間間隔解析法におけるパルス抽出方法

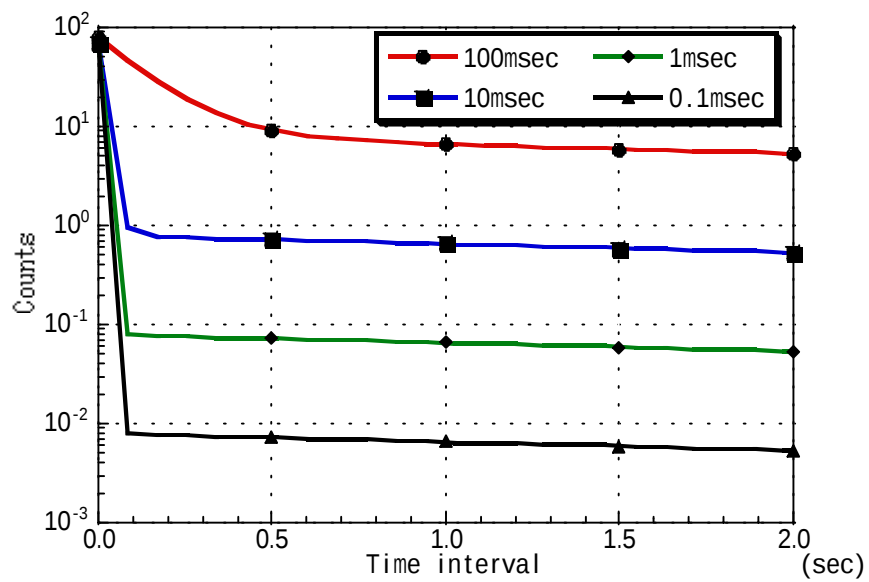
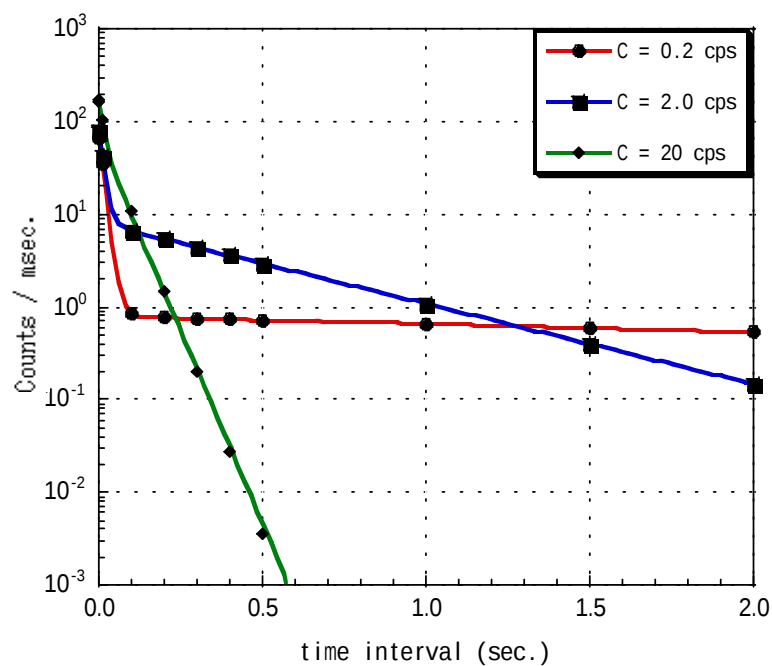


図-2 STA法における相関事象時間間隔の違い



図・3 STA法におけるランダム事象計数率の違いによる  
タイムスペクトル (抽出時間1  $\mu$  sec.)

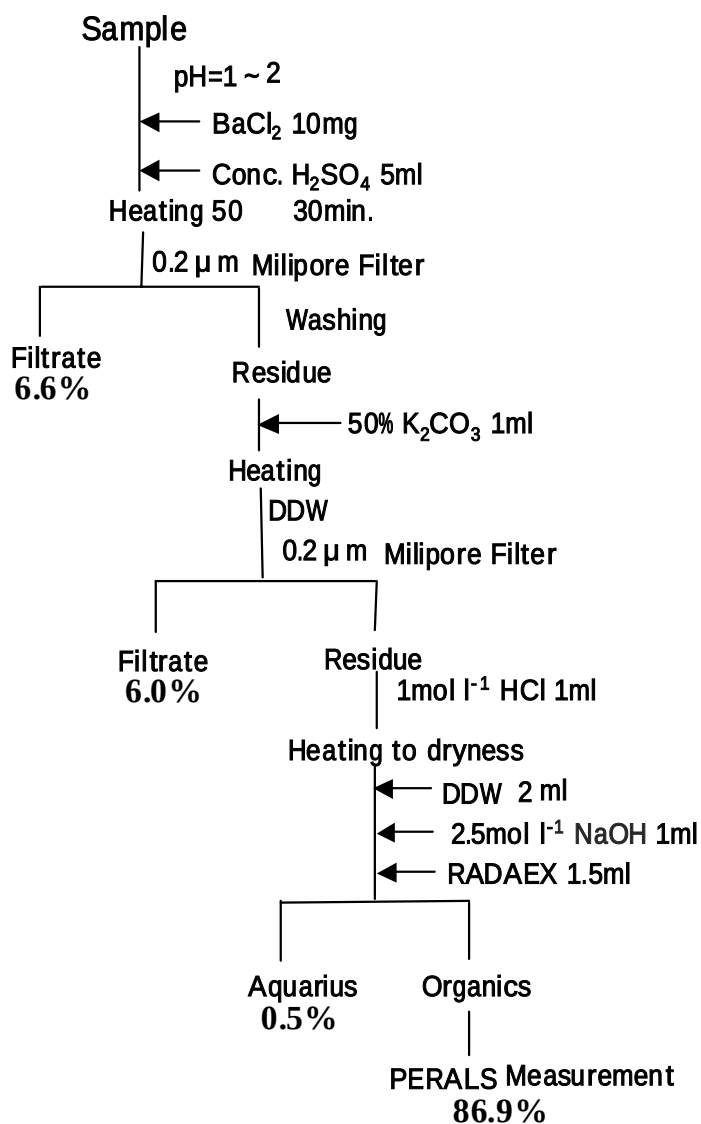


図 - 4  $^{232}\text{U}$  からの Ra 抽出方法

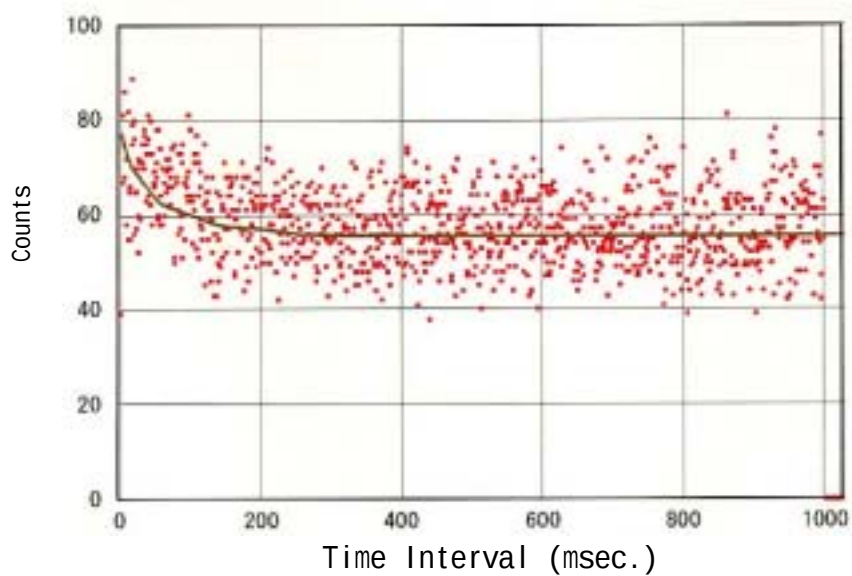


図 - 5  $^{216}\text{Po}$  のタイムスペクトル

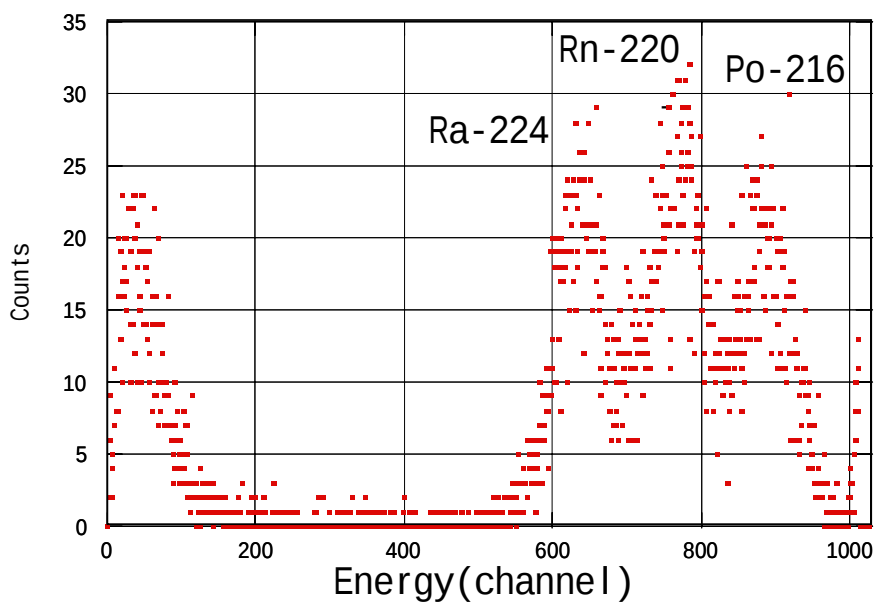


図 - 6 Ra 抽出溶液におけるエネルギースペクトル

表 - 1 時間間隔解析法による Po-216 定量結果

| Sample name | Results of Determination<br>(Bq/ml) | Reference Data<br>(Bq/ml) |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------|
| STD 1       | 45.3 ± 6.62                         | 44                        |
| STD 2       | 4.68 ± 0.54                         | 4.4                       |
| STD 3       | 0.456 ± 0.042                       | 0.44                      |

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

環境・線量研究及び被ばく低減化研究

### 【分類番号】

6 - 2 ( 1 - [ 6 ] - ( 5 ) - 1 )

### 【研究課題名(Title)】

緊急時における個人被ばくモニタリング手法に関する研究

(Study on monitoring for the worker/the public in a radiological emergency)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 百瀬 琢磨(ももせ たくまろ)

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 線量計測課

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33、電話 029-282-1111

(Name) Takumaro MOMOSE

(Title of Function) Radiation Dosimetry and Instrumentation Section,  
Radiation Protection Division, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki-ken  
319-1194 Japan Phone: +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 栗原 治(くりはら おさむ)

[ 所属 ] 東海事業所 放射線安全部 線量計測課

(Name) Osamu KURIHARA

(Title of Function) Radiation Dosimetry and Instrumentation Section,  
Radiation Protection Division, Tokai Works

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

- ☒ 前期基本計画からの継続（研究課題名：内部被ばく線量測定評価法の高度化に関する研究）
- ☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名（実施機関） ] なし

[ 実証試験名（実施機関） ] なし

[ 委託研究名（実施機関） ] なし

### 【使用主要施設】

放射線保健室（全身カウンタ、肺モニタ等）

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

新法令の導入に伴い、より一層高度な内部被ばく線量評価が求められることとなった。加えて、緊急時モニタリングにおいては、女性や幼児を含む様々な被験者が想定され、体外計測の観点から、体格差の補正技術と核種の体内挙動を反映した測定手法を確立しなければならない。前年次安全研究に引き続き、個人内部被ばく線量評価の精度の向上を目指す。

[ 研究目的 ]

緊急時における個人被ばくモニタリング手法及び整備に係る研究を行い、迅速かつ的確な対

応に資する。

#### [ 研究内容 ]

一般公衆などの個人内部被ばくモニタリング計画及び手法に関する研究を行うとともに、施設別の核燃料物質核種の組成情報などの内部被ばく線量評価支援データベースの開発を行うとともに、半導体検出器を用いた全身スキャン型ホールボディカウンタ及びその校正法の開発を行う。またキレート剤投与などの医療処置を考慮した内部被ばく線量評価法を開発する。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

スキャン型全身カウンタの製作及び校正用ファントムを用いた計数効率の評価  
プルトニウム内部被ばく線量コードの製作

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

新しいタイプの体外計測機器であるスキャン型全身カウンタの製作を実施した（図.1 参照）。本装置により、被験者の放射性物質の体内沈着部位が把握でき、線量評価モデルの相互比較によって、より高度な内部被ばく線量評価が期待できる。

本装置の運用においては、計数効率の評価が重要となる。よって、人体形状ファントムを用いた検出効率を実験的に評価した（図.2 参照）。今後、数値ファントムのモデリングを含めた計算シミュレーションを予定しており、その準備作業として、ゲルマニウム検出器の不感層の厚さを実測値と計算シミュレーションから評価した。

また、プルトニウムを取り扱うサイクル機構のニーズに応じた独自の内部被ばく線量評価コード（Rapid Internal Dose Estimation for Plutonium with Age-specific biokinetic model: RAPUTA）（図.3 参照）の開発を先行して本年度から開始した。本コードは、キレート剤適用における内部被ばく線量低減量の検証に用いることを予定している。平成13年度に開発したプロトタイプは、プルトニウムに特化した計算コードであり、検証の結果、ICRP Publ.72 の線量係数とほぼ一致することを確認した。

放射性エアロゾルの粒径測定法の検討については、予算が確保できなかったため、実施できなかった。

#### 【研究の達成状況（平成13年度）】

スキャン型全身カウンタの製作を完了したことにより、所期の成果が得られた。  
内部被ばく線量コードについては、所期の成果が得られた。

（今後の予定）

さらに体内沈着部位別の検出効率の評価や数値ファントムのモデリングを含めた計算シミュレーションを予定している。

平成13年度に開発したプロトタイプをもとに、評価核種の拡張とモデルを用いたパラメータサーベイを行う予定である。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

現在、スキャン型全身カウンタは、肺モニタの定期測定に併せて被験者の測定を実施しており、基礎データの収集を行っている。これらのデータをもとに、最適な測定条件を検討する予定である。なお、スキャン型全身カウンタの検出器は、ベリリウムウインドウを装着した広エネルギー範囲に適用したものであるため、従来の精密型全身カウンタの予備器として運用することが可能であると考えられる。

#### 【研究成果の発表状況】

- (1) O. Kurihara, T. Momose, T. Tasaki, N. Hayashi and K. Shinohara, "Early Faecal Excretion of Inhaled Plutonium", Radiation Protection Dosimetry (to be published)
- (2) 宮原洋ら, "Ge 検出器による体内放射能  $\gamma$ - $\gamma$  同時計測法による高度化(1)", RADIOISOTOPES, Vol.50, No.5, May 2001
- (3) 栗原治, "車載型全身カウンタシステムの防災訓練等への参加", 保健物理, 36(3), 276~278, 2001
- (4) 栗原治ら, "MOX 燃料施設における放射線管理の経験( )", 日本原子力学会「2001 年秋の大会」
- (5) 栗原治ら, "内部被ばく線量測定評価法の高度化に係る研究", 平成13年度安全研究成果発表会(核燃料サイクル分野), 2002/3/20

## 【国内外の研究動向】

### [ 民間の研究の現状と動向 ]

なし

### [ 海外の研究の現状と動向 ]

キレート剤は、プルトニウム等の体外除去剤として諸外国では数多くの適用事例がある。しかしながら、キレート剤適用時における被ばく線量低減効果については十分検討されていないのが現状である。

スキャンングタイプの全身カウンタは、既に国内外において数多く配備されている。しかしながら、測定された放射性物質の体内分布と体内動力学モデルに基づいた体内挙動を相互に反映した内部被ばく線量評価システムとしては十分な研究開発がなされていない。

### ( 参考文献 )

- (1) R.L. Katheren et al, "Partitioning of  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  in Skeleton and Liver of U.S. Transuranium Registry Autopsy Cases", Health Physics Vol.54, No.2, pp181-188,1988
- (2) McIlrory J.F. et al, "U.S. Transuranium Registry Report on the  $^{239}\text{Pu}$  Distribution in a Human Body", Health Physics, Vol.60, pp307 ~ 337,1991
- (3) Ronald L. Kathren and James F. McInroy, "Comparison of Systemic Plutonium Deposition Estimates from Urinalysis and Autopsy Data in Five Whole Body Donors", Health Physics, Vol.60, No.4, pp481-488, 1991
- (4) M.F. Sullivan and L.S. Gorham, "Further Studies on the Absorption of Actinide Elements From the Gastrointestinal Tract of Neonatal Animals", Health Physics, Vol.43, No.4, pp509-519, 1982
- (5) Gary H. Kramer, "LUNG COUNTING: A FUNCTION TO FIT COUNTING EFFICIENCY OF A LUNG COUNTING GERMANIUM DETECTOR ARRAY TO MUSCLE-EQUIVALENT-CHEST-WALL-THICKNESS AND PHOTON ENERGY USING A REALISTIC TORSO PHANTOM", Health Physics. 77(2): 207; 1999
- (6) G. B. Gerber and R. G. Thomas, Radiation Protection Dosimetry, "Guidebook for the treatment of accidental internal radionuclide contamination of workers" Vol.41, 1992
- (7) Internal Commission on Radiological Protection "Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection", ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24(1-3) (Oxford: Pergamon Press), 1994
- (8) Internal Commission on Radiological Protection. "Dose Coefficient for Intake of Radionuclides by Workers Replacement of ICRP Publication 61", ICRP Publication 68, Ann. ICRP 24(2) (Oxford: Pergamon Press), 1994

## 【研究評価(自己評価)】

### ○ 成果の達成レベル

#### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

#### [ 説明欄 ]

### ○ 成果活用方策

#### [ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

#### [ 説明欄 ]

### ○ 計画の進捗状況

#### [ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。

(その理由： )  
☐ 計画以上に進捗した。  
[ 説明欄 ]

【自由評価欄】  
特になし。

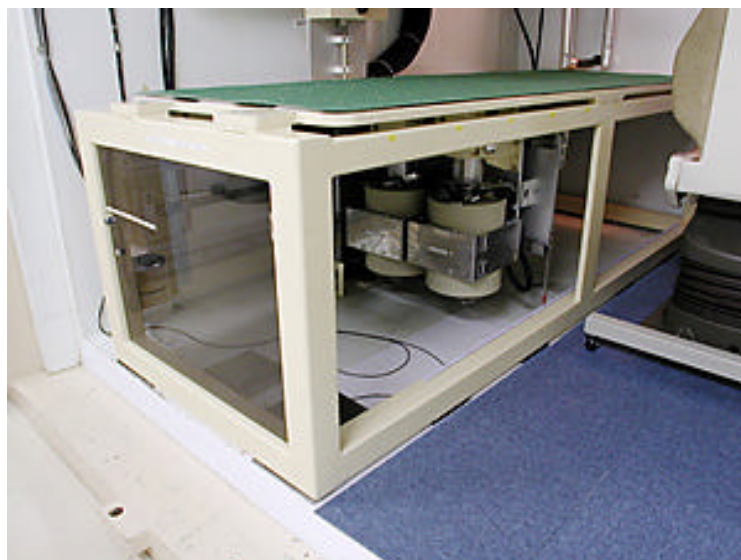


図.1 スキャン型全身カウンタ

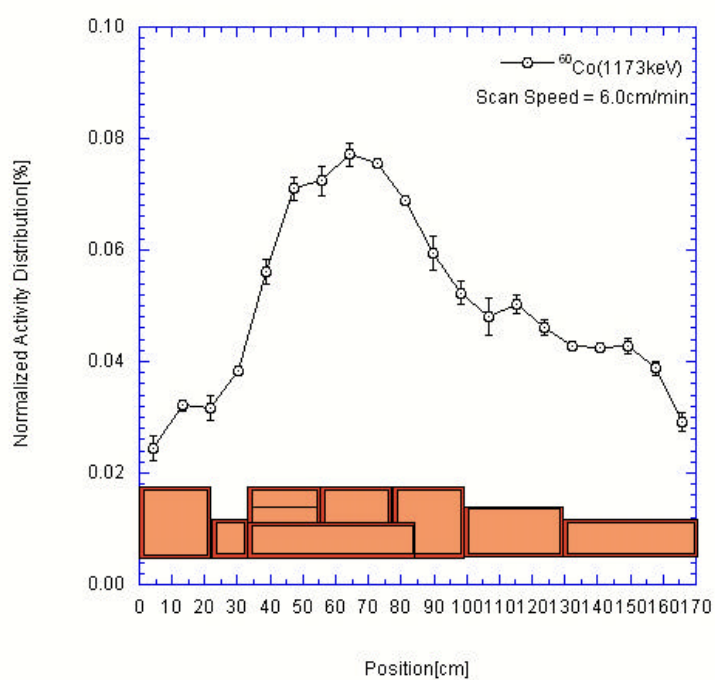


図.2 スキャン型全身カウンタ検出特性

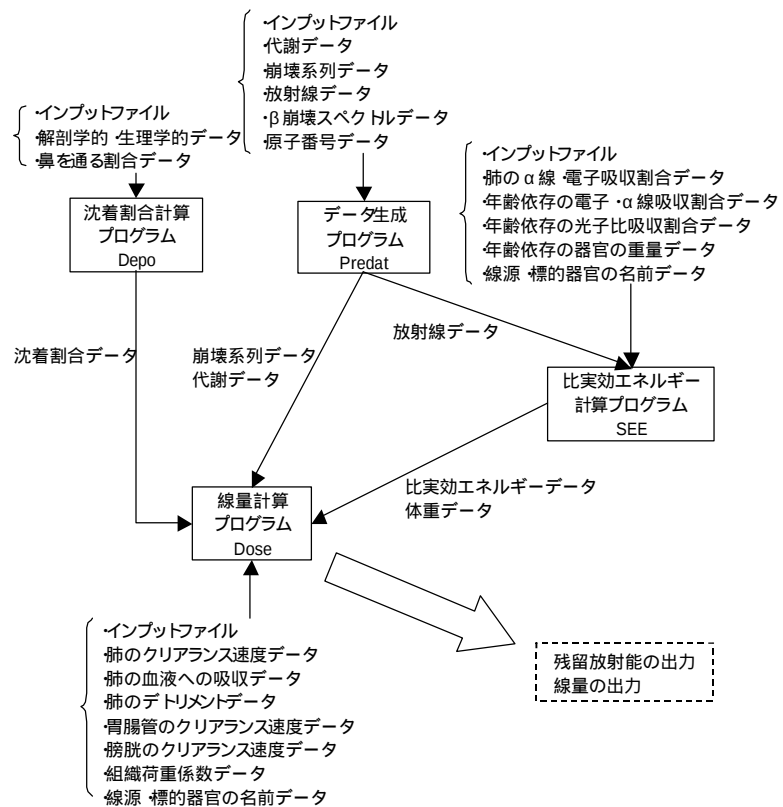


図.3 内部被ばく線量評価システム概要

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

環境・線量研究及び被ばく低減化研究

### 【分類番号】

社内研究 6・3

### 【研究課題名(Title)】

緊急時遠隔空中モニタリング手法に関する研究

(Research on Environmental Monitoring Technique using Unmanned Aerial Vehicle in Emergency)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名, 所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 岩間 俊郎(いわま としお)

[所属] 敦賀本部 技術企画部 環境監視課

[連絡先] 〒919-1279 福井県敦賀市白木 2 丁目 1 番地, 電話:0770-39-1031

(Name) Toshio IWAMA

(Title of Function) Environmental Monitoring Section, Planning Division, Tsuruga Head Office

(Address and Phone) 2-1, Shiraki, Turuga, Fukui, 919-1279 Japan, Phone: +81-770-39-1031

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 奥山 慎一(おくやま しんいち)

[所属] 敦賀本部 技術企画部 環境監視課

(Name) Shinichi OKUYAMA

(Title of Function) Environmental Monitoring Section, Planning Division, Tsuruga Head Office

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究, 実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)]

緊急時における野外モニタリングに手法に関する研究((財)若狭湾エネルギー研究センター)

### 【使用主要施設】

ヤマハ発動機(株) 向笠テスト場

### 【研究概要】

[研究の経緯]

原子力災害発生時には, 周辺住民の放射線防護のために, 様々な手法による放射線や放射性物質の放出源に関する情報の迅速な把握が必要となる。

なお, 原子力災害発生時には, 放射線レベルが高い, 或いは放出源情報の把握が困難などの理由により人が容易に近づけない場所が発生することも考えられ, このような状況においても安全, かつ迅速に放射線モニタリングを実施し放射線源情報を把握することは防災上重要であることから, これらを可能とする遠隔空中モニタリング手法を開発研究することが必要である。

[研究目的]

原子力災害発生時における遠隔での放射線モニタリング機能の強化を目的として, 無人ヘリコ

プター等を利用できる野外モニタリング手法を開発し、緊急時モニタリング設備、体制の整備に資する。

#### [ 研究内容 ]

無人ヘリコプター、無人飛行船（以下、無人ヘリ等という）に搭載可能な緊急時モニタリング設備を開発し、緊急時における遠隔空中モニタリング手法の整備を行う。

#### イ. 無人空中モニタリング手法に関する調査研究

民生用無人ヘリ等を利用した種々の観測手法について調査し、空中モニタリングへの適用性の課題を調査し、問題点及びモニタリング設備の開発課題を検討する。

#### ロ. 無人ヘリ等搭載用放射線測定システムの開発

小型軽量のガンマ線・中性子線測定器、GPS、高度計、CCDカメラ等を組み込み、無線にて測定結果、位置情報を伝送できるシステムの開発を行う。また、これらの機器の放射線場における特性試験を実施する。

#### ハ. 放射線分布マッピングシステムの製作

前記の無人ヘリ等搭載用放射線測定システムからの伝送結果を解析し、放射線状況が迅速に把握できる放射線分布マッピングシステムを製作する。

#### 二. 無人ヘリ等操縦支援システムの開発

ロ. のGPS、高度計を用い、無人ヘリ等の飛行、測定地点、経路をプログラム化し、飛行位置の目視確認が困難な場所での操縦者の支援を行うシステムの検討、開発を行う。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

- ・ 公開資料を基に、遠隔空中モニタリング適用可能な無人ヘリ等を調査し、現状課題をまとめる。
- ・ 既存の無人ヘリ等の運転に対する放射線測定機器のノイズ特性を調査しまとめる。

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

#### イ. 無人空中モニタリング手法に関する調査研究

無人ヘリに関するセミナー等に参加し、無人ヘリに関する国内各社の開発の現状及び無人ヘリの特長を調査した。また、本研究を先行して行っているフランスにおいて同手法導入の調査を行うとともに関連技術情報の収集を行った。（表・1）

#### ロ. 無人ヘリ等搭載用放射線測定システムの開発及び

#### ハ. 放射線分布マッピングシステムの製作

図・1に示す自律型無人ヘリへの搭載用として放射線測定器（図・2）及び放射線状況を地上局でリアルタイムに把握できる放射線分布マッピングシステムを製作し、1秒毎に測定データを伝送する試験を行った。

本試験では、カリ肥料を地上に設置し、予めプログラムした楕形の飛行コース（高度3～5m）で放射線測定器の応答特性を調査するとともに、海岸付近における実フライト試験（高度30～50m）を行い、自然放射線の変動等を測定した（図・3、図・4）。

上記試験により、放射線レベルの変動を迅速かつ十分な性能での測定及び地上局におけるリアルタイムでの放射線分布がマッピングできることを確認した。なお、本試験を通じて、以下に示す自律型無人ヘリの特長を生かした緊急時空中モニタリングが可能になるものと考えられた。

- (1) 航空法の制約を受けず、地上付近でのモニタリングが可能
- (2) 短時間での繰り返し測定が可能
- (3) 事前に飛行ルートのプログラム化が可能なことから、複雑地形においてもモニタリングが可能
- (4) 地上局を低線量率の場所に設営することにより、測定者の被ばく低減化が期待できる
- (5) ヘリ本体は産業用ヘリであり、メンテナンス体制が確立していることから、安定運用が期待できる。

本試験に使用した放射線測定器は放射線の変動を野外環境で確認するため、高感度のものを使用した。様々な検出感度の測定器、あるいは異なる測定対象用の計測機器を搭載することにより、緊急時に適切なモニタリングが可能と考えられる。

## 二. 無人ヘリ等操縦支援システムの開発

無人ヘリ等操縦支援システム及び安全着陸支援システムの開発の現状調査を行う予定。

### 【研究の達成状況（平成13年度）】

#### イ. 無人空中モニタリング手法に関する調査研究

無人ヘリに関するセミナー等への参加による情報収集から、所期の成果を得られた。

#### ロ. 無人ヘリ等搭載用放射線測定システムの開発

空中での低い放射線の変動を野外環境下で確認を可能とする高感度の検出器を用いたヘリ搭載用測定器を試作し、それらを用いてノイズ調査、測定器応答特性試験及び海岸付近での実フライト試験を実施し、これら結果より初期の成果を得られた。

#### ハ. 放射線分布マッピングシステムの製作

地上局へ測定データを送信し、地上局の端末に放射線情をカラーマップとトレンドグラフでリアルタイムに表示させる放射線分布マッピングシステムを製作し、ロで試作した測定器と合わせて試験を実施し、これら結果より初期の成果を得られた。

（今後の予定）

#### イ. 無人ヘリへ搭載を可能とする小型軽量の機器（ガンマ線、中性子測定器及びダストサンブラ等）の調査、仕様案の作成及びガンマ線測定用試作機を製作する。

#### ロ. 無人ヘリ操縦支援・安全着陸支援システムの検討調査を行う。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

研究の成果等から、無人ヘリを用いた緊急時遠隔空中モニタリングの適用の可能性は高いものと考えられる。今後、原子力災害時に対応した小型軽量の測定器及び安全航行を可能とするシステム等の開発、研究により、原子力災害時の環境モニタリングにおける活用が可能になるものと考えられる。

### 【研究成果の発表状況】

第36回日本保健物理学会研究発表会で発表（平成14年6月6日）

（発表予定）

### 【国内外の研究動向】

#### 〔民間の研究の現状と動向〕

自律機能を有した無人ヘリは、国内の複数のメーカーで開発され、それらは火山活動被害調査（有珠山、三宅島）に使用されている。

（参考文献）

なし

#### 〔海外の研究の現状と動向〕

フランス国においては、CAC SYSTEM 社製遠隔操作式ヘリコプターの SYSDRON Program が考案され、事業者が主体となる緊急時支援組織グループ・アントラ（Group INTRA）へ導入が予定されている。

（参考文献）

なし

### 【研究評価（自己評価）】

#### ○ 成果の達成レベル

##### 〔チェック欄〕

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。

- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：)
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

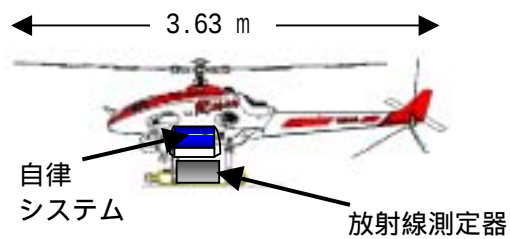
)

【自由評価欄】

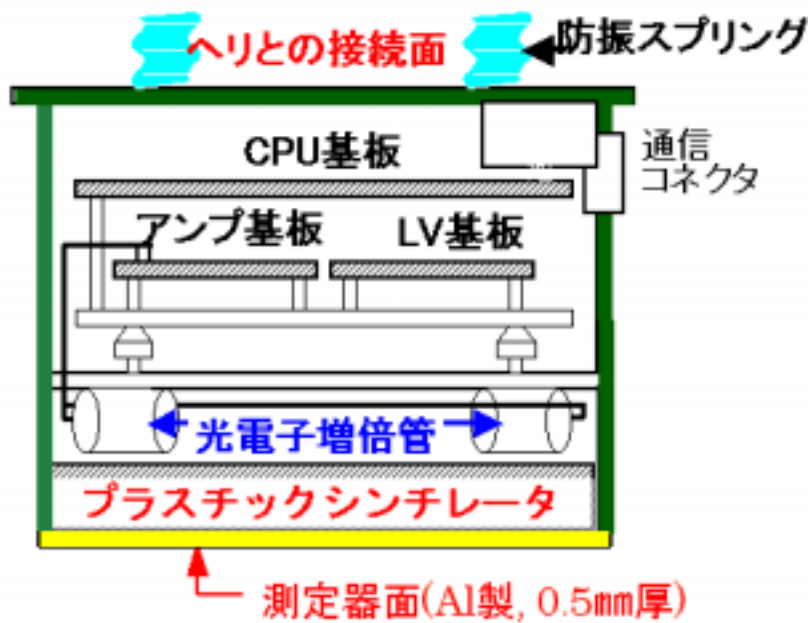
特になし。

表・1 各社の小型無人ヘリの特長

| 無人機（会社名）                                     | 特長等                                                                                                                                                                                                | 大きさ・重量・ペイロード                                         |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| ロボコプタ・<br>（川田工業）                             | ：有人ヘリが母機<br>：自律飛行可<br>：滞空時間約 1.5 時間                                                                                                                                                                | 全長 7.3m，ロータ 8.18m<br>総重量 794 k g，ペイロード 300kg<br>無人ヘリ |
| RPH- 2<br>（富士重工）                             | ：農業散布無人機改良型，自律飛行可。<br>：2 t トラック収納オールインワン型。<br>：滞空時間約 2 時間                                                                                                                                          | 全長 4.1m，ロータ径 4.8m<br>総重量 330kg，ペイロード 100kg<br>無人ヘリ   |
| カムコプタ・<br>（日商エアロ）                            | ：オーストリア SCHIEBEL 社製，自律飛行可<br>：滞空時間 2.5 時間                                                                                                                                                          | 全長 2.3m，ロータ径約 3m<br>重量 52kg，ペイロード 25kg<br>無人ヘリ       |
| イーグルアイ<br>（三井物産エアロ）                          | ：ベル社のチルトロータ機，自律飛行可                                                                                                                                                                                 | 全長 5.45m，幅 4.63m<br>重量 800 ポンド，ペイロード 100 ポンド<br>固定翼機 |
| サイファー<br>（三菱商事）                              | ：シコルスキー社のコアクシャルロータ型 VTOL 機<br>：滞空時間約 2 時間，ミッション範囲 30km，自律飛行可                                                                                                                                       | 直径約 2m<br>重量 115kg，ペイロード 20kg<br>無人ヘリ（二重反転ロータ）       |
| RMAX<br>（ヤマハ）                                | ：滞空時間約 1.5 時間，自律飛行可                                                                                                                                                                                | 全長 3.6m，ロータ 3.1m<br>重量 95kg，ペイロード 30kg（標準機）<br>無人ヘリ  |
| スコルピオン<br>（山田洋行）                             | ：固定翼機                                                                                                                                                                                              | 全長 3.6m，幅 4.9m<br>重量 174kg，ペイロード 26kg                |
| フランス国<br>SYSDRON<br>Program<br>（CAC SYSTEM社） | ：有人ヘリ（イタリア，ドラゴンフライ社製 H E L I O T ）<br>：自律飛行可<br>：滞空時間約 2.5 時間                                                                                                                                      | ロータ 6.70m<br>総重量 500kg，ペイロード 120kg<br>無人ヘリ           |
|                                              | その他<br>・放射線検出器 Na I，線量率，計数率表示，B G レベルから測定可，50 K e V 以上～<br>・地上において強度分布をマップ上へ表示<br>・ケーブル類はシールドされ，電子機器は金属ケースに納める。<br>・C C D カメラ，赤外線温度センサー搭載<br>・操作クルー 3 名（イタリア製ヘリコプターに不具合多し変更検討中）<br>・電波が届かない場合，自動着陸 |                                                      |



図・1 無人ヘリ側面図



■ 検出器 (プラスチックシンチレータ)

(270(w) × 300(d) × 20(t)mm)

検出範囲: BG ~ 0.02mSv/h

検出エネルギー: 60keV 以上

データ収集周期: 1回 / 秒

測定器重量: 約 8.5kg (筐体含む)

データ出力単位: cps

■ 耐電磁ノイズ試験 (電波ノイズ標準場)

発生ノイズなし (30 ~ 1000MHz)

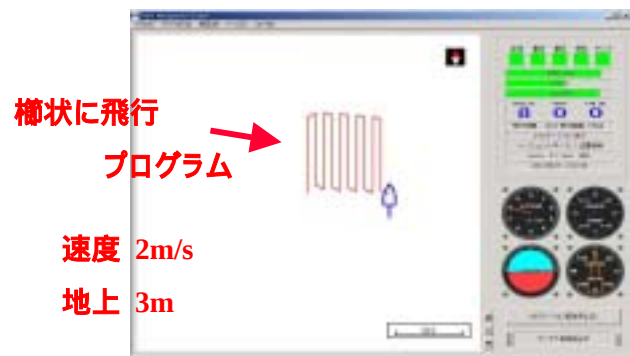
電界強度 1V/m の場において影響なし

(自律ヘリ発生ノイズ 40  $\mu$ V/m)

図・2 無人ヘリ搭載用放射線測定器



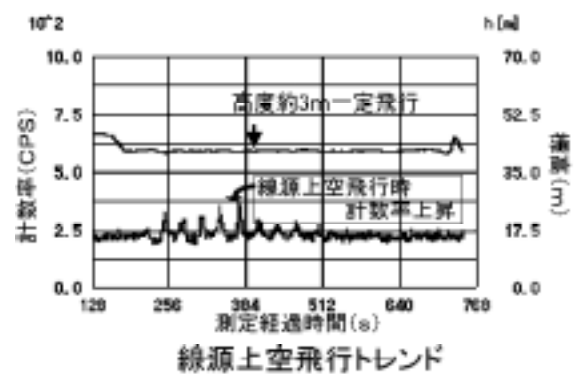
試験用園芸肥料の設置



プログラム飛行経路



線源探索結果



線路上空飛行トレンド

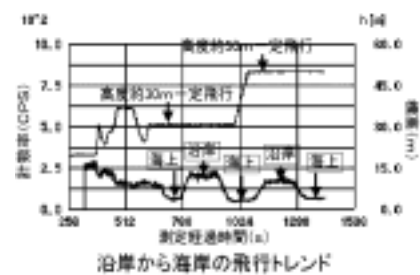
図・3 カリ肥料を用いた測定器応答特性試験

- 沿岸から海上へ  
一定高度(地上高30m及び50m)を飛行
- 高度30mから高度100m飛行

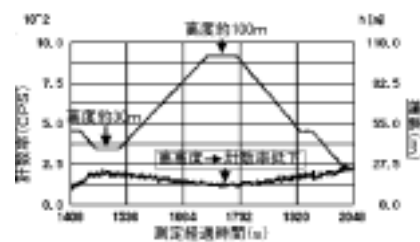
高度30~100m飛行



一定高度約30及び50mで飛行



沿岸から海岸の飛行トレンド



高度約30mから約100mまで上昇時のトレンド

図・4 海岸付近実フライト試験

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

環境・線量研究及び被ばく低減化研究

### 【分類番号】

6・4（1・[6]・（12）・1）

### 【研究課題名(Title)】

極低濃度長半減期放射性核種の定量法に関する研究  
(Study on The Determination Method for Ultra-low Level and Long Half-life Nuclides)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 篠原 邦彦(しのはら くにひこ) 武石 稔(たけいし みのる)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 環境監視課

[連絡先] 319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話: 029-282-9377

(Name) Kunihiro SHINOHARA, Minoru TAKEISHI

(Title of Function) Environmental Protection Section, Radiation Protection Division,  
Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu Tokai-mura Naka-gun Ibaraki-ken 319-1194 Japan

Phone: +81-29-282-9377

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 植頭 康裕(うえず やすひろ) 藤田 博喜(ふじた ひろき)

[所属] 東海事業所 放射線安全部 環境監視課

(Name) Yasuhiro UEZU, Hiroki FUJITA

(Title of Function) Environmental Protection Section, Radiation Protection Division,  
Tokai Works

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] なし

### 【使用主要施設】

安全管理棟

### 【研究概要】

[研究の経緯]

核燃料施設からの廃棄物管理及びその環境放射能モニタリングへの影響を評価するため、従来の放射線測定法では検出困難な極低濃度長半減期放射性核種の定量法を開発する。今年度は、土壌試料中のヨウ素 - 129 (以下  $^{129}\text{I}$  と略す。) 定量法の高度化研究を実施した。これまでは、中性子放射化分析法に代わる手法として、マイクロ波導入プラズマ質量分析法(以下 MIP-MS と略す。)による定量法を開発を行ってきた。

## [ 研究目的 ]

核燃料施設からの廃棄物管理及びその環境放射能モニタリングへの影響を評価するため、従来の放射線測定法では検出困難な極低濃度長半減期放射性核種の定量法を開発する。

## [ 研究内容 ]

前処理の迅速化を図るとともに、質量分析法などを適用することにより、極低濃度長半減期放射性核種の定量法を開発する。

### 【研究の達成目標（平成 13 年度）】

- ・ 質量分析法による<sup>129</sup>I 定量法の高度化

### 【研究実施内容及び成果（平成 13 年度）】

図-1 にこれまで開発した土壤中<sup>129</sup>I の分析法<sup>1)</sup>を示す。今年度は、この中の燃焼により試料からヨウ素を揮発捕集する部分、PdI<sub>2</sub> を用いたヨウ素の抽出・精製の部分及び測定溶液としてアルカリ溶媒へ抽出していた部分の高度化を図った。

#### 1. アルカリ抽出

既存法では、燃焼装置が必要であることや酸素を供給しながら 1000℃ に燃焼させることによる安全上のリスク等を改善するため、ヨウ素のアルカリによる置換性を利用した手法<sup>2)</sup>による土壌からの溶離法について検討した。この方法は、土壌試料をポリエチレン容器に入れ、炭酸ナトリウム溶液、亜硫酸ナトリウム溶液及びヨウ素単体を入れ振とうさせることにより<sup>129</sup>I を試料から分離する方法である。

実際に 10g の表土(黒ぼく土)を 300ml のポリエチレン容器に封入し、5w/v%炭酸ナトリウム 100ml、5w/v%亜硫酸ナトリウム 5ml と 10mgI<sup>-</sup>/ml のヨウ素単体を入れ、3 分間振とうさせ、GA100 のろ紙によりろ過を行った。この結果、90%以上のヨウ素の回収率を得ることができた。表-1 にアルカリ抽出法によるヨウ素回収試験結果を示す。ここでは、粘性の低い黒ぼく土による試験を実施したのみであり、粘性の高い土壌や有機物含有量の高い土壌においては、抽出率が異なることが十分予想されるために、今後は、土質等の違いによる抽出率についてのデータの蓄積が必要と思われる。さらに実環境において有意値を得るためには、100g 程度の供試量が必要であることから、本法における操作性に関しても引き続き検討を行う必要がある。

#### 2. 固相抽出によるカチオンの抽出

既存法では、ヨウ素を精製するために、パラジウムによる共沈法を用いていたが、簡便にヨウ素を抽出するために、市販されているカチオン吸着剤である固相抽出ディスク(3M 社 Empore Disk ANION-SR)を用いてヨウ素を選択的に吸着、溶離する試験を実施した。本固相抽出ディスクは、本来、クロマトグラフの前処理として用いられているものであるが、ヨウ素もハロゲン元素であり、電気陰性度、電子親和力が各々 2.21、3.03 と比較的大きなため、この固相抽出ディスクが適用できると考えられた。本試験では<sup>129</sup>I 標準溶液を希釈し、7mBq/ml に調整したものを固相抽出ディスクに吸着させ、溶離させるものである。その結果、表-2 に示すように測定値は 6.2±0.23 mBq/ml となった。この値から、回収率は 89%であり、変動係数は 3.7%と算出された。この結果からは、固相抽出ディスクの本法への適用が十分可能であることを確認した。

#### 3. TMAH によるヨウ素の精製

土壌中の<sup>129</sup>I を質量分析法で定量する際の測定溶液は、これまで 10%の TMAH を用いてきたが、この溶媒の濃度が高いために粘性が高く、それに伴って機器内部にヨウ素がメモリされ、洗浄に長い時間を要していた。また、10%のアルカリ溶液を導入することで機器内部に残留している硝酸との中和反応が生じるため、硝酸アンモニウム塩の発生が認められ、この塩による試料導入部の目詰まりや脈動による感度の変化が認められた。そこで、測定溶液として用いていた TMAH の濃度を変化させ、保持できる安定ヨウ素の割合を見た。

その結果、図-2 に示すように 0.5%以上の TMAH 濃度であれば、溶液中の<sup>129</sup>I をほぼ回収することが可能であることが確認され、この試験の結果、従来、測定試料当たり 30 分も要していた洗浄時間がおおよそ 10 分に短縮することが可能となり、さらに、試料導入部分の塩の析出も減少できた。このことから、今後は、0.5%濃度の TMAH でヨウ素を抽出することにした。

### 【研究の達成状況（平成13年度）】

<sup>129</sup>I 分析法におけるアルカリ抽出法や固相抽出ディスクの適用が行え、既存法の改良ができたことにより所期の成果が得られた。

（今後の予定）

土質の異なる試料におけるアルカリ抽出法の抽出率の把握及び固相抽出ディスクの最適条件の選定などについて検討する。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

特になし

### 【研究成果の発表状況】

#### 学会発表

- （１） 藤田博喜、植頭康裕；質量分析法による土壌中 <sup>129</sup>I の定量、第43回環境放射能調査研究成果発表会（2002年3月）
- （２） 藤田博喜、植頭康裕；質量分析法による土壌中 <sup>129</sup>I の定量、第3回環境放射能研究会（2002年3月）

#### 論文発表

- （１） 植頭康裕、渡辺均、武石稔、篠原邦彦；表層土壌中の <sup>99</sup>Tc の分布と挙動；サイクル機構技報，12，139-144(2001)
- （２） 植頭康裕、中野政尚、藤田博喜、渡辺均、圓尾好宏；質量分析法を用いた土壌中ヨウ素-129 分析法の開発；第二回環境放射能研究会 Proceedings，23-26(2001)
- （３） 植頭康裕、渡辺均、武石稔、篠原邦彦；質量分析法と放射化学分析法を組み合わせた回収ウランのバイオアッセイ法；サイクル機構技報，14，181-186(2002)

（発表予定）

- （１） 藤田博喜；質量分析法による土壌中 <sup>129</sup>I の定量、第3回環境放射能研究会 Proceedings

### 【国内外の研究動向】

#### 〔民間の研究の現状と動向〕

質量分析法を用いたヨウ素-129 の定量法の開発は、筑波大学、放医研、日本分析センター、環境技術研究所において行われている。しかし、マイクロ波導入質量分析装置を用いた定量は日本国内では行われていない。

（参考文献）

- （１） 植頭康裕、森田重光、中野政尚、渡辺均、片桐裕実； 質量分析法による環境試料中のヨウ素-129 定量法の開発、RADIOISOTOPES，49，3，2000
- （２） Y. Muramatsu, S. Uchida, P. Sriyotha and K. Sriyotha; Some Consideration on the Sorption and Desorption Phenomena of Iodine and Iodate on Soil, Water, Air, and Soil Pollution 49 (1990) 125-138

#### 〔海外の研究の現状と動向〕

海外では、環境試料中のヨウ素-129 の分析は、中性子放射化分析法又は加速器質量分析法を用いる手法がほとんどであり、ICP-MS や MIP-MS を用いた質量分析法は、ほとんど見られない。

（参考文献）

- （１） O.T.Farmer，C.J.Barinaga, D.W. Koppenaal; Determination of <sup>129</sup>I in ambient air by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS); J. Radioanal. Nucl. Chem., 234, 153-157(1998)
- （２） Rosamund J. Cox and Christopher J. Pickford; Determination of Iodine-129 in Vegetable Samples by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry; J. Anal. Atom. Spect., 7 635-640 (1992)

**【研究評価（自己評価）】**

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由： )
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

**【自由評価欄】**

特になし

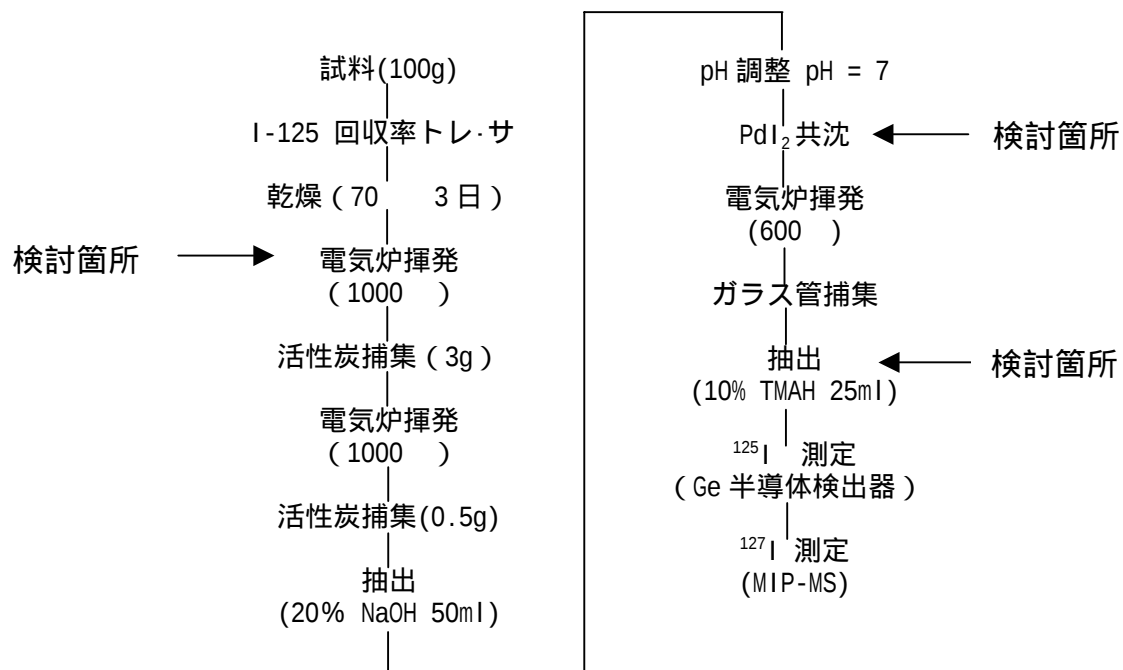


図 - 1 質量分析法による土壤中ヨウ素-129 分析フロー

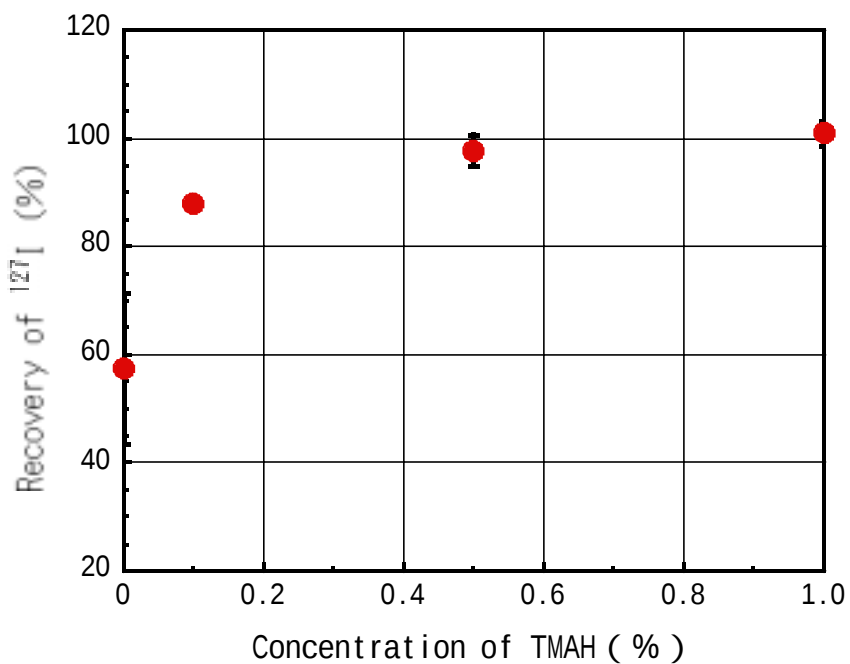


図-2 TMAH の濃度の違いとヨウ素の回収率との関係

表- 1 アルカリ抽出法による土壤中ヨウ素抽出試験結果

| 試行数        | 回収率 ( % ) |
|------------|-----------|
| 1          | 90 ± 1.2  |
| 2          | 95 ± 1.1  |
| 3          | 94 ± 0.72 |
| 平均値 ± 標準偏差 | 93 ± 2.6  |

表 - 2 固相抽出ディスクによる  $^{129}\text{I}$  定量結果

| 標準溶液濃度 7.0mBq/ml |             |           |
|------------------|-------------|-----------|
| 試行数              | 測定値(mBq/ml) | 回収率 ( % ) |
| 1                | 6.4 ± 0.060 | 91        |
| 2                | 6.4 ± 0.19  | 91        |
| 3                | 6.0 ± 0.17  | 86        |
| 平均値 ± 標準偏差       | 6.2 ± 0.23  | 89 ± 2.9  |

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

1 - 1 ( 2 - 1 - 1 ( 2 ) )

### 【研究課題名(Title)】

安全評価の基本的考え方等に関する調査研究

( Study on a basic strategy for post-generic safety assessment )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 1)五十嵐 寛、2)内田 雅大

[ 所属 ] 1)経営企画本部 バックエンド推進部 地層処分研究計画グループ、  
2)東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

[ 連絡先 ] 1)〒100-8245 東京都千代田区丸の内 1-1-2(NKK ビル) TEL 03-5220-3311

(Name) 1) Hiroshi IGARASHI, 2) Masahiro UCHIDA

(Title of Function) 1) Geological Isolation Research Project Group, Nuclear Cycle Backend Division, Executive Office for the Policy Planning and Administration,  
2) Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 1) NKK BLDG., 1-1-2 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8245, Japan

Phone : +81-3-5220-3311

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 1)宮原 要(みやはら かなめ: Kaname MIYAHARA)

2)加藤 智子(かとう ともこ: Tomoko KATO)

[ 所属 ] 1)経営企画本部 バックエンド推進部 地層処分研究計画グループ(東京事務所駐在)  
(Geological Isolation Research Project Group, Nuclear Cycle Backend Division, Executive Office for the Policy Planning and Administration (Tokyo Office))

2)東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ  
(Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- ☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )
- ☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名(実施機関) ] 「放射性廃棄物処分の安全評価における安全指標(濃度, フラックス)の使用」に関する共同研究プロジェクト(IAEA)

[ 実証試験名(実施機関) ] なし

[ 委託研究名(実施機関) ] なし

### 【使用主要施設】

なし

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

わが国の幅広い地質環境を対象として地層処分の技術的信頼性を示した地層処分研究開発第2次取りまとめを踏まえ、実際の地質環境を対象とした安全評価手法の高度化や信頼性向上が課題とされており、安全性の論拠を示す上での安全評価の役割と実際の地質環境を対象とすることによる留意点を念頭に、安全評価の基本的考え方等に関する調査研究を行うものである。

#### 〔研究目的〕

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全確保に関する考え方や安全基準等について、諸外国の事例等を調査・整理するとともに、安全目標、評価時間枠及び評価時間枠に応じた安全指標の考え方、補完的安全指標等に関する検討を行い、具体的な安全基準・指針類の策定に資する。

#### 〔研究内容〕

##### ロ) 安全評価の基本的事項に関する検討

制度的管理の有効期間や地質環境が安定と見なせる期間を考慮し、時間スケールに応じた評価の考え方をシナリオに応じて整理し、適切な安全指標について検討するとともに、安全基準・指針類を策定するために必要な情報を整理する。また、天然に存在する放射性物質や化学物質の濃度、フラックスの補完的安全指標としての適用性について検討する。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

- ・セーフティケースの構成要素の整理
- ・性能評価における時間スケールの取扱いの考え方の整理
- ・天然安全指標に関わるデータベースの構築
- ・天然安全指標を用いた評価の方法論の検討

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

- ・地層処分の安全性の判断に資するよう、安全性の論拠を作成しその信頼性を示すための構成要素を整理した。それらには、安全性の論拠を構築するための基本的アプローチ、システム構築と安全評価に係る基盤の整備、適切なサイト選定と設計に基づく頑健な処分システムの構築、性能評価の結果や補完的な評価を組合せた総合的な評価、評価基盤から総合評価まで含めた信頼性の確認、問題点の抽出と評価の繰り返し、一連の評価の考え方、手法、結果や議論のわかりやすい提示（環境影響評価報告書など）などが挙げられる。
- ・放射性廃棄物の時間的变化、地質環境の長期安定性、人間環境のそれぞれの観点から、第2次取りまとめでの時間スケールの取り扱い方を整理した。
- ・既存の地球化学関連の研究、環境放射能研究で示された、天然に存在する放射性物質濃度等に関する文献調査を行い、わが国の地質環境物質（岩石・土壌・地下水等）の濃度データ及び隆起・侵食速度等のプロセスデータを収集した（図1参照）。特に天然放射性物質濃度に関しては、天然放射性物質濃度の値をはじめとして、文献に記載されている地形、サンプリング手法、分析方法等の情報を入力したデータベースを作成し、収集した情報を整理した（表1参照）。これによって、対象物質または対象元素ごとのデータ収集状況を迅速に把握することが可能となった。
- ・これらのデータベースの一部については、IAEAの国際共同研究「放射性廃棄物処分の評価における安全評価指標の利用に関するプロジェクト」において国際的データベース作成に供するわが国の研究状況として情報提供した。
- ・天然安全指標を用いた評価技術として、ナチュラルフラックスを用いた評価の方法論を検討した。

#### 【研究の達成状況（平成13年度）】

- ・上記の成果は達成目標を満たしており、所期の成果が得られた。

#### （今後の予定）

補完的安全評価技術に関しては、天然安全指標に関わるデータベースの構築を継続するとともに、得られた地質環境物質の濃度データや侵食速度等のプロセスデータに基づいた物質移行フラックスを算出するための方法論等について検討を進める。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

IAEAの安全評価指標に関する国際的データベースへの情報提供。

**【研究成果の発表状況】**

なし  
(発表予定)  
なし

**【国内外の研究動向】**

[ 民間の研究の現状と動向 ]  
未調査  
(参考文献)  
なし

[ 海外の研究の現状と動向 ]

IAEA の国際共同研究において「放射性廃棄物処分の安全評価における安全指標（濃度、フラックス）の使用」をテーマとしたプログラムが実施されており、特に、天然放射性物質または毒性元素の濃度、フラックスに焦点をあてて、それらの国際的データベースとその使用（処分場起源の放射性物質の濃度、フラックスとの比較）に関する検討が行われている。

(参考文献)  
なし

**【研究評価（自己評価）】**

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：)
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

**【自由評価欄】**

特になし

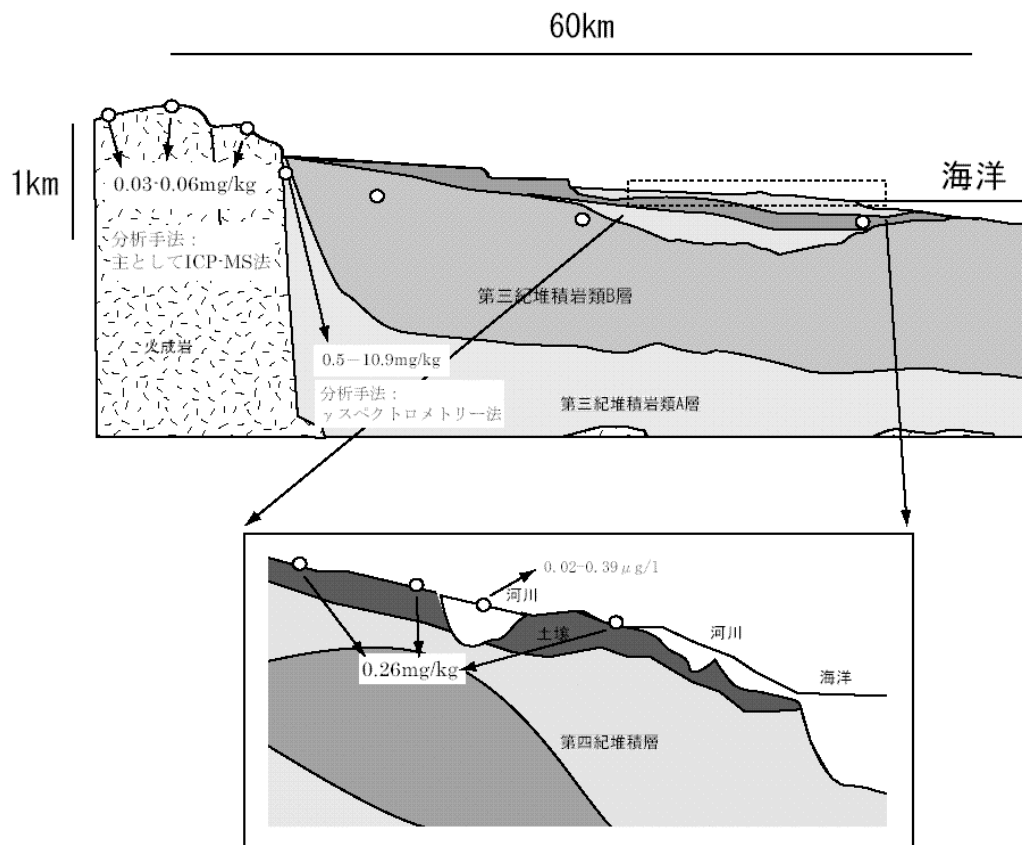


図1 地質環境モデルへの濃度データの投影例の概念図

( 図中の○印は、濃度データが得られた試料採取地点を示す。得られた分析値に対し、分析手法や分析値の精度に関する情報を記した濃度データを投影する。)

表 1 天然安全指標データベースで収集対象とした情報

|              |                                                                |
|--------------|----------------------------------------------------------------|
| 対象とした地質環境物質  | 岩石，土壌，地下水，河川水，雨水 等                                             |
| 対象とした化学元素    | U，Th，K，Rb，Sn，Cs，Cu，Ra，Rn 等                                     |
| 対象スケール       | 全国土における国土スケールデータ（侵食速度等）<br>ある特定の地域における地域スケールデータ（地化学図，放射能調査結果等） |
| 地表での物質移動プロセス | 隆起・侵食 等                                                        |
| その他収集した情報    | 地形，環境試料のサンプリング方法，元素濃度の分析方法，サンプル数 等                             |

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

2 - 1 ( 2 - 2 - 1 ( 1 ) )

### 【研究課題名(Title)】

環境変動に伴う地質環境の安定性評価に関する研究  
( Study on Long-term Stability for Geological Environment )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 福島 龍朗 ( ふくしま たつお )

[ 所属 ] 東濃地科学センター 地質環境研究グループ

[ 連絡先 ] 〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31 0572-53-0211

(Name) Tatsuo FUKUSHIMA

(Title of Function) Geoscience Research Group, Tono Geoscience Center

(Address and Phone) 959-31, Jorinji, Izumi-cho, Toki, Gifu, Japan 509-5102

Phone : +81-572-53-0211

### 【研究担当者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 石丸 恒存 ( いしまる つねあり ) 藤原 治 ( ふじわら おさむ )

[ 所属 ] 東濃地科学センター 地質環境研究グループ

(Name) Tsuneari ISHIMARU, Osamu FUJIWARA

(Title of Function) Geoscience Research Group, Tono Geoscience Center

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☒ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : 地質環境の長期安定性に関する研究 )

☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] 地質環境の長期予測に関する研究 ( 産業技術総合研究所 )

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

なし

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

我が国は太平洋を取り巻く変動帯に位置し、10 万年オーダーの時間スケールでの安全性を考慮する高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、変動帯の特徴である火山活動や地震・断層活動、隆起運動などに十分な注意が必要である。地層処分の実施に際しては、長期的な地質環境の変化によって地層処分システムの性能が著しく損なわれることのないよう、地球化学的・物理的に十分に安定な地域を選び、想定される変化を見込んで適切な工学的対策を施すことが重要である。このような観点から、我が国で特に考慮すべき天然事象として、火山活動、地震・断層活動、隆起・侵食、気候・海水準変動について、その発生規模や地理的分布並びに地質環境への影響の程度と範囲を明らかにする必要がある。

#### [ 研究目的 ]

地震、断層、隆起、火山等の天然現象に関するデータを総合的に整備・解析するとともに、環境変動シミュレーション手法の開発を行い、地層処分システムの長期的な安全評価手法の信頼性向上と安全基準・指針類の策定に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ) 環境変動評価システムの開発

地震・断層活動、隆起運動、火山活動などの天然現象の変化(プロセス・メカニズム)及びそれらによる地質環境への影響に関するデータを収集・整備する。また、それらのデータを用いて、環境変動シミュレーション手法の開発を行う。

##### ロ) 環境変動モニタリング

長期安定性に関するデータ及び環境変動シミュレーション手法の信頼性を高めるため、地殻変動観測及び地下水観測を行い、長期安定性に関するデータの精度の向上及び環境変動シミュレーション手法の改良に必要なデータを取得する。

#### 【研究の達成目標(平成13年度)】

平成12年度までの各天然事象の地理的・空間的分布と地質環境への影響に関する全国的なデータベースの作成を踏まえて、平成13年以降は具体的な地域・地質環境を想定した長期的な安定性の評価手法の構築を進める。上述の各天然事象の複合による影響を評価する手法を開発し、地層処分技術の安全評価に資することを長期的な目標とし、当面は、その前提となる各天然事象の発生時期や規模を予測する技術、及び地質環境への影響を評価する技術の開発を進める。

#### 【研究実施内容及び成果(平成13年度)】

##### イ) 環境変動評価システムの開発

10万年程度の期間について、

- ・隆起と侵食による地形変化の3次元シミュレーション手法の開発を開始し、全国の地形計測値の統計解析を行うとともに、シミュレーションプログラムを開発し、試行的なシミュレーションを行った(図1、2)。
- ・氷期に想定される永久凍土の分布と影響評価の手法の開発を開始し、日本列島で氷期に形成される凍土の層厚分布をシミュレーションした(図3)。
- ・火山・地熱活動地域の予測と影響評価の手法の開発を開始し、火山以外の高地熱異常地域における熱源の調査(図4)や、単成火山の形成プロセスの調査(図5)、火山周辺の地下水水質の統計解析(図6)などを行った。
- ・震源断層(地表に現れていないが地下に伏在していて大規模地震を起こす可能性のある断層)の検出手法と断層活動の影響評価手法の開発を開始し、震源断層を示唆する地形特性などの調査を行った(図7)。

##### ロ) 環境変動モニタリング

- ・東濃鉱山周辺における試錐孔を利用した地下水位観測などを継続した。
- ・鳥取県西部地震(2000.10)などに伴う地下水の水理状況の変化に関する情報を収集・解析した。

#### 【研究の達成状況(平成13年度)】

##### イ) 環境変動評価システムの開発

- ・地形変化シミュレーション技術については、プログラムの基本機能(斜面勾配をパラメータとした侵食量計算)を開発した。
- ・永久凍土のシミュレーションについては、気温や地質条件による感度解析を行い、北海道における永久凍土の形成深度の上限・下限を推定した(プログラム開発は終了)。
- ・火山周辺の地下水の化学特性を取りまとめた。
- ・中国地方について単成火山の分布の時間変遷を、紀伊半島について高地熱異常地域の広がりなどを解析した。
- ・震源断層については、鳥取県西部地震の震源域などを事例として、震源分布と地形・地質的特長との関係を解析した。

##### ロ) 環境変動モニタリング

- ・東濃鉱山周辺における観測は、長期的な変動をモニタリングするために継続中である。平成 13 年度中に地震に伴う水位の大きな変化はなかった。
- ・地震と地下水位変化との関係については、鳥取県西部地震などを例にそのメカニズムが判明しつつある。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

##### イ) 環境変動評価システムの開発

- ・概要調査地区選定に必要な地殻変動や地質環境条件などの評価データ並びに評価技術を提供できる見通しを得た。
- ・地域評価の安全審査指針（調査項目、調査法、評価法など）の策定に反映可能なデータと技術を提供できる見通しを得た。

##### ロ) 環境変動モニタリング

今後とも継続したモニタリングと解析により、従来の知見の裏づけや、確証データが得られると期待される。

#### 【研究成果の発表状況】

- 1) 200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ (2002): 200 万分の 1 日本列島活断層図, わが国の地質環境の長期安定性 2) 定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.39-40.
- 3) 第四紀火山カタログ委員会 (2002): 日本の第四紀火山カタログ, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.57-62.
- 4) 伊達二郎, 高橋 洋, 矢野雄策, 田中明子, 高橋正明, 大久保泰邦, 笹田政克, 梅田浩司, 中司 昇, 小松 亮 (2002): 全国地温勾配図の作成, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.67-72.
- 5) 段丘アトラスワーキンググループ (2002): 段丘アトラス, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.108-110.
- 6) 檀原 徹, 岩野英樹, 藤原 治 (2002): 第四紀テフラ資料の高精度年代測定 - その試料評価と測定精度, トラック長解析を中心として -, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.86-91.
- 7) 藤縄明彦, 林信太郎, 梅田浩司 (2001): 安達太良火山の K-Ar 年代 - 安達太良火山形成史の再検討 -, 火山, 46, pp.95-106.
- 8) 藤原 治 (2001): 第四紀構造盆地の沈降量図, 小池一之・町田 洋 編「日本の海成段丘アトラス」, 東京大学出版会, pp.85-96.
- 9) 藤原 治 (2001): 高密度での  $^{14}\text{C}$  年代測定による完新世の地震イベント解析, 第 14 回タンデム加速器およびその周辺技術の研究会報告書, pp.158-161.
- 10) 藤原 治, 鎌滝孝信 (2001): いわゆる "混合群集" を利用した地層からのイベント解読 - 南関東の完新統の津波堆積物を例として -, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.126.
- 11) 藤原 治, 三箇智二, 大森博雄 (2001): 日本列島における侵食速度の分布 (CD-ROM 版), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-015.
- 12) 原口 強, 藤原 治, 高田圭太 (2002): 海岸移動調査のためのジオスライサー地層採取法, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.95-101.
- 13) 石丸恒存, 藤原 治, 郡谷順英, 中司 昇, 三箇智二, 布施圭介 (2001): 日本列島における地下地質情報 (CD-ROM 版), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-016.
- 14) 石丸恒存, 角田地文 (2002): 日本列島における大規模火砕流の特徴と熱的影響解析, サイクル機構技報, No.14(2002.3), pp.161-170.
- 15) 海域地質構造マッピングワーキンググループ<sup>4</sup> (2002): 日本周辺海域の地質構造マッピング, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.41-46.
- 16) 角田地文, 石丸恒存, 松崎達二, 鎌田浩毅, 檀原 徹 (2001): 日本列島における大規模火砕流の特徴と基盤岩への熱的影響解析, 日本応用地質学会中部支部平成 13 年度研究発表会講予稿集, pp.15-20.
- 17) 鎌滝孝信, 藤原 治 (2001): 急速埋没イベントを示す貝類化石群: 千葉県館山市に分布する完新統の例, 日本第四紀学会 2001 年大会講演要旨集, pp.20-21.
- 18) 鎌滝孝信, 藤原 治 (2001): 地層に高密度で放射性炭素年代値を入れる意義: 房総半島における研究例から, 第 14 回タンデム加速器およびその周辺技術の研究会報告書, pp.118-121.
- 19) 鎌滝孝信, 藤原 治 (2001): 房総半島九十九里浜の完新統における前浜 - 外浜環境を示す貝化石群, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.125.
- 20) 鎌滝孝信, 藤原 治 (2002): 九十九里浜平野地下に分布する完新統の発達過程, 日本古生物学会第

151 回例会講演予稿集, p.52.

- 21) 小松 亮, 黒墨秀行, 福田大輔, 浅沼幹祐, 梅田浩司 (2002): 温泉地化学データベースの作成, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.77-81.
- 22) 小松 亮, 福田大輔, 浅沼幹弘, 石丸恒存, 佐野有司 (2001): 紀伊半島における温泉ガスのヘリウム同位体比分布, 日本火山学会講演予稿集 2001 年度秋季大会, p.162.
- 23) 近藤康生, 鎌滝孝信 (2001): 房総第四系の二枚貝類を中心とする陸棚底生群集の再評価、特に貧化石層に含まれる低多様度の群集について, 第四紀研究, 40, pp.259-265.
- 24) 河村知徳, 太田陽一, 荒井良祐, 小先章三, 平田 直, 伊藤谷生, 井川 猛, 石丸恒存 (2002): 野島断層 3 次元・2 次元高分解能反射法地震探査, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.51-54.
- 25) 倉本真一, 中尾征三, 湯浅真人, 村上文敏, 長谷川功, 中司 昇, 高木俊夫, 雷 興林 (2001): 「日本周辺海域音波探査データベース (CD-ROM 版)」 (編集・発行 地質調査所).
- 26) 黒瀬 歩, Brouard, B., 青木和弘, 前川恵輔, 川村 淳 (2002): 間隙水圧の地震時動的挙動解析, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.55-56.
- 27) 町田 洋 (2002): 日本列島の海岸線: 「日本の段丘アトラス」, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.23-29.
- 28) Martin, A.J., Takahashi, M. and Amano, K. (2001): West to east shift of the locus of magmatism of small monogenetic volcanoes in the first collided oceanic arc segment, south Fossa Magna, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.49.
- 29) 増田富士雄, 藤原 治, 酒井哲弥, 荒谷 忠 (2001): 房総半島九十九里浜平野の海浜堆積物から求めた過去 6000 年間の相対的海水準変動と地震隆起, 地学雑誌, 110, pp.650-664.
- 30) 増田富士雄, 藤原 治, 酒井哲弥, 荒谷 忠, 田村 亨, 鎌滝孝信 (2001): 千葉県九十九里浜平野の完新統の発達過程, 第四紀研究, 40, pp.223-233.
- 31) 向山 栄, 猪股隆行, 横田祐子, 梅田浩司 (2002): 第四紀火山地形解析, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.63-66.
- 32) 中尾征三, 湯浅真人, 倉本真一, 長谷川功, 中司 昇, 高木俊男, 長谷川正, 畑山一人 (2002): 日本周辺海底地質図および音波探査プロフィールデータベース, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.49-50.
- 33) 中田 高 (2002): 日本の活断層: 「活断層詳細 GIS マップからわかること」, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.13-15.
- 34) 野原 壯, 田中秀実, 渡辺邦夫, 古川 昇, 高見 明 (2001): 茂住祐延断層帯周辺岩盤の水理地質学的特徴, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, Sm-007.
- 35) 奥野孝晴, 池田和隆, 中山文也, 石丸恒存 (2002): 活断層における空中物理探査, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.37-38.
- 36) 三箇智二, 藤原 治, 大森博雄 (2002): 日本列島における侵食速度の分布, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.111-115.
- 37) 笹田政克, 矢野雄策 (2002): 地下の温度構造: 「日本列島地温勾配図」, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.10-12.
- 38) 鈴木毅彦, Eden, D., 檀原 徹, 藤原 治 (2001): 東北日本弧の大規模火砕流にともなう中期更新世広域テフラ - 八甲田国本テフラ -, 日本第四紀学会 2001 年大会講演要旨集, pp.8-9.
- 39) 鈴木毅彦, Eden, D., 檀原 徹, 藤原 治 (2001): 東北日本の大規模火砕流は広域テフラを生産したか?, 月刊地球, 23, pp.610-613.
- 40) 高木俊男, 柳田 誠, 小澤昭男, 藤原 治 (2002): 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.82-85.
- 41) 高木俊男, 藤原 治, 佐々木勝司, 川崎輝祐 (2002): 沈降量分布図, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.102-107.
- 42) 武田精悦 (2002): 地質環境の長期安定性に関する将来予測研究の課題, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.31-35.
- 43) 棚瀬充史, 水落幸弘, 小松 亮, 梅田浩司 (2002): 貫入岩体が地質環境へ与える熱的, 力学的影響の調査 - 成果と今後の課題 -, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.73-76.
- 44) 徳山英一, 本座栄一, 木村政昭, 倉本真一, 芦寿一郎, 岡村行信, 荒戸裕之, 伊藤康人, 徐 垣, 日野亮太, 野原 壯, 阿部寛信, 坂井眞一, 向山建二郎 (2001): 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史, 海洋調査技術, 13, pp.27-53.
- 45) 徳山英一, 海域地質構造マップ WG (2002): 日本列島の生い立ち: 「日本列島周辺海域の構造発達史」, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.16-21.

- 46) 山口正秋, 須貝俊彦, 太田 剛, 大森博雄, 杉山雄一, 藤原 治 (2001): ボーリング・コアの総合解析にもとづく濃尾平野の堆積環境の推定, 日本地理学会 2001 年度秋季学術大会講演要旨集, 60, p.90.
- 47) 山口正秋・須貝俊彦・大森博雄・杉山雄一・藤原 治・鎌滝孝信(2002)濃尾平野における完新統の堆積速度とその時間変化. 日本地理学会発表要旨集, 61, p. 136
- 48) 柳田 誠, 藤原 治, 佐々木俊法, 三筒智二 (2001): 日本の地滑り地形分布図 - 地形・地質との関連 -, 日本応用地質学会中部支部平成 13 年度支部研究発表会講予稿集, pp.11-14.
- 49) 柳田 誠, 佐々木俊法, 藤原 治 (2001): 起伏量と谷密度による山地と丘陵との区分, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, Qm-P009.
- 50) 米田茂夫, 伊勢明広, 藤原 治, 松末和之 (2002): 日本列島周辺における第四紀後期の気候および海水準の変遷, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.92-94.

## 【国内外の研究動向】

### [ 民間の研究の現状と動向 ]

(財)電力中央研究所、電気事業連合会により、地層処分の安全評価を行う上での地殻変動や火山活動の重要性や、その予測手法などの考え方が整理されている(1)。また、(社)土木学会により、概要調査地区選定に際して注意すべき火山活動、地震活動、隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動の影響と、それに対する基本的対応方針がまとめられている(2)。

#### (参考文献)

- (1)(財)電力中央研究所, 電気事業連合会 (1999) 高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術.
- (2)(社)土木学会原子力土木委員会地下環境部会 (2001) 概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方.

### [ 海外の研究の現状と動向 ]

地質環境の長期安定性の観点から、処分地の選定や性能評価上重要な天然事象について国際的に議論がなされ、影響の種類などに関して網羅的なリストが作成されている((1),(2)など)。また、各国ごとに自国の自然条件などを考慮して、検討の対象とすべき天然事象を抽出し研究が行なわれている((3)-(6)など)。例えば高緯度に位置する北欧諸国では気候変動に伴う氷河の影響が主要なテーマであり((7)など)、アメリカではユッカマウンテン地域の火山活動の評価が重視されている((8)など)。

#### (参考文献)

- (1) IAEA (1985) Procedures and data, performance assessment for underground radioactive waste disposal systems. Safety Series, 68
- (2) IAEA (1994) Siting of geological disposal facilities; A safety guide; A publication within the RADWASS program. Safety Series, 111-G 4.1
- (3) USDOE (1982) 10CFR Part960; Nuclear Waste Policy Act of 1982; General guidelines for the recommendation of site for the nuclear waste repositories. U. S. Department of Energy, USA.
- (4) AECL (1994) Environmental impact statement on the contact for disposal of Canada's nuclear fuel waste. AECL-10711, COG-93-1, AECL, Canada.
- (5) Nagara (1985) Project Gewhar 1985; Nuclear waste management in Switzerland: Feasibility studies and safety analyses. Nagra Project Rep., NGB 85-09.
- (6) SKB (1994) RD&D-Program 92; Supplement, treatment and final disposal of nuclear waste; Supplement to the 1992 program in response to the government decision of December 16, 1993.
- (7) SKI (1995) The central scenario for SITE-94: A climate change scenario. SKI Rep. 95.
- (8) NRC (1995) Technical bases for Yucca Mountain Standards. National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., USA.

## 【研究評価(自己評価)】

### ○ 成果の達成レベル

#### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。

- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- 指針・基準類への整備に反映できる。
- 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- ( その理由 :
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

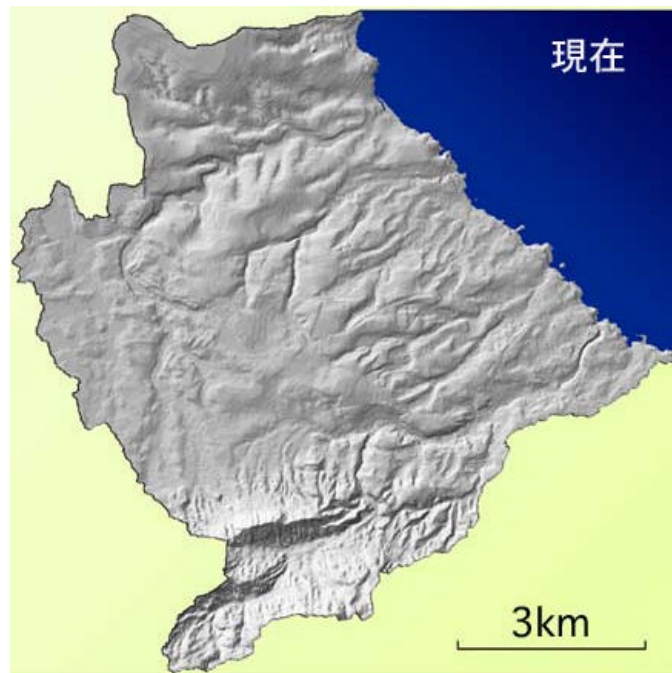


図1 地形変化解析事例地域の現在の地形陰影図（新規作成した5m解像度の数値地図）  
右上の青い領域は海

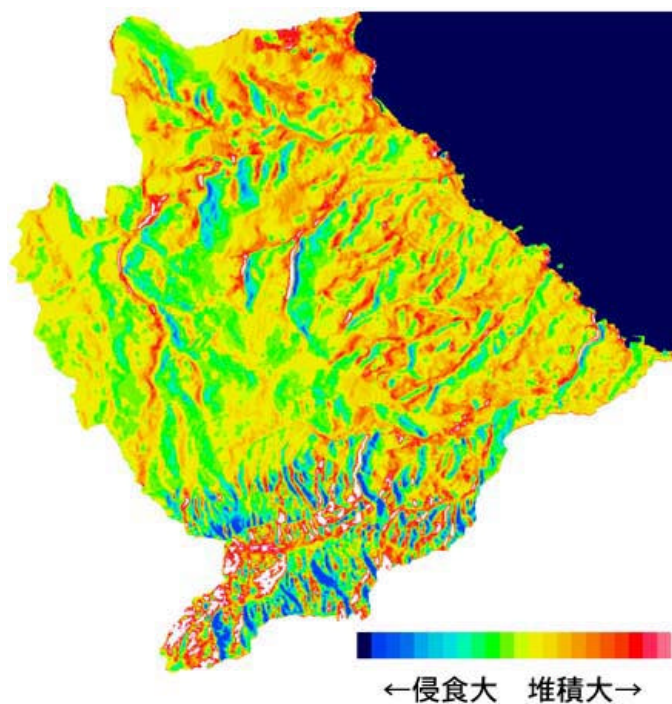


図2 計算された10万年間の侵食量の分布  
最大侵食量は約50m

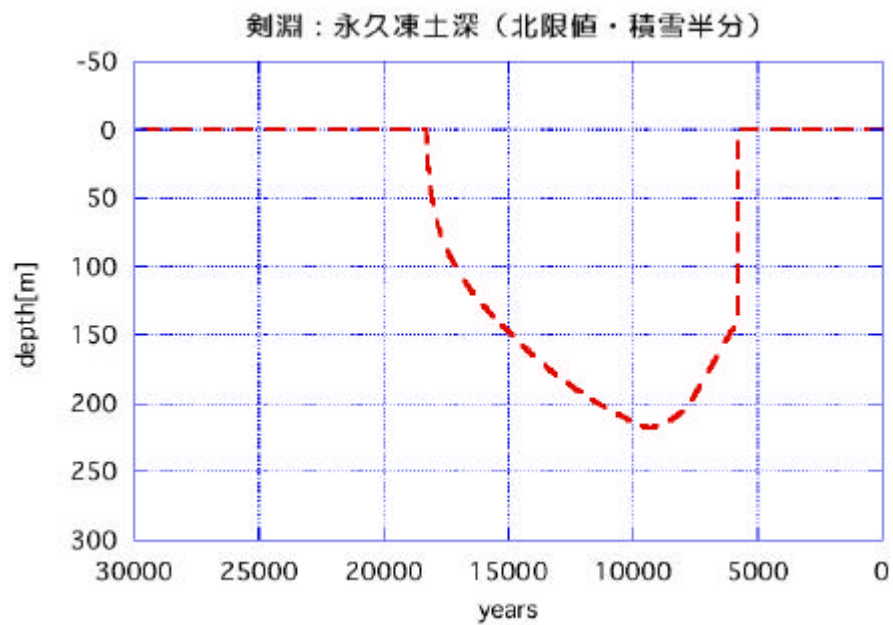


図3 北海道北部の永久凍土形成の解析結果の一例  
3万年前から現在までの計算．

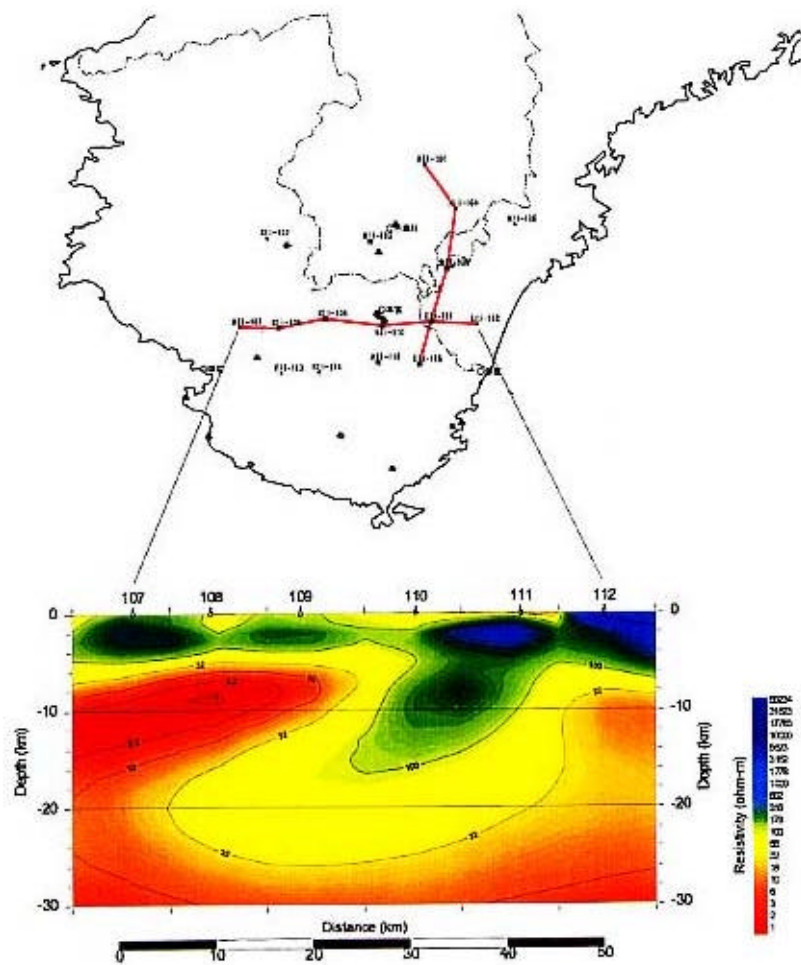


図4 紀伊半島南部の比抵抗構造  
比抵抗の対比が明瞭で、温度などの異なる層が重なっていることがわかる．



図5 島根県の横田単成火山群の時空分布

同心円の外側へ向かって，100万年程度をかけて火山活動が拡大したことがわかる．

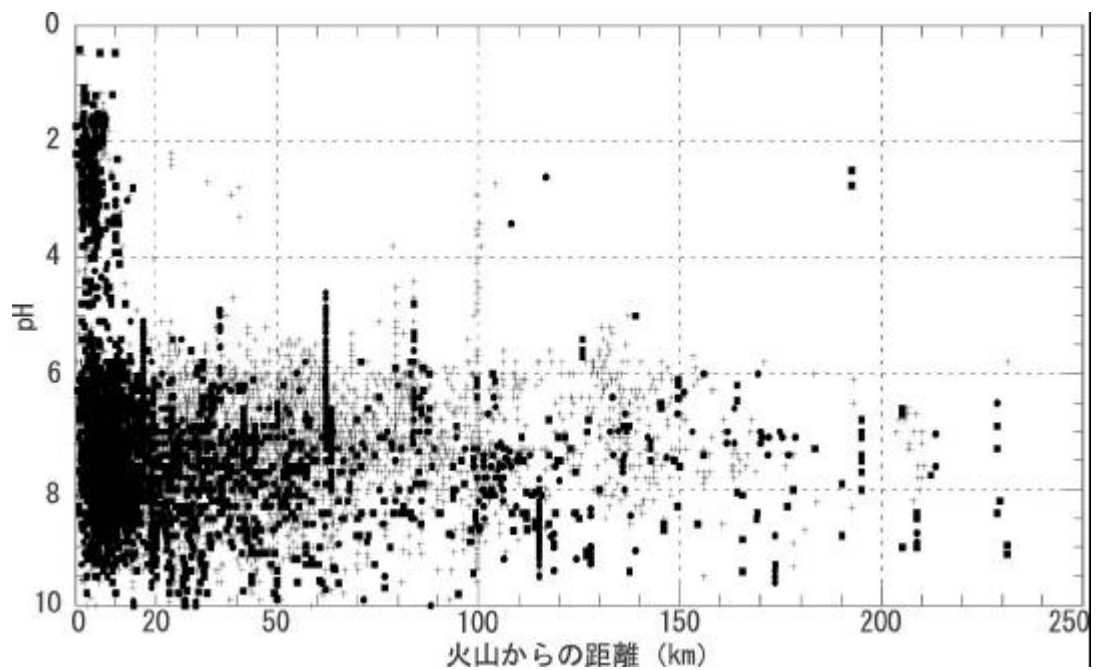


図6 地下水（温泉水）のpHと火山からの距離との関係

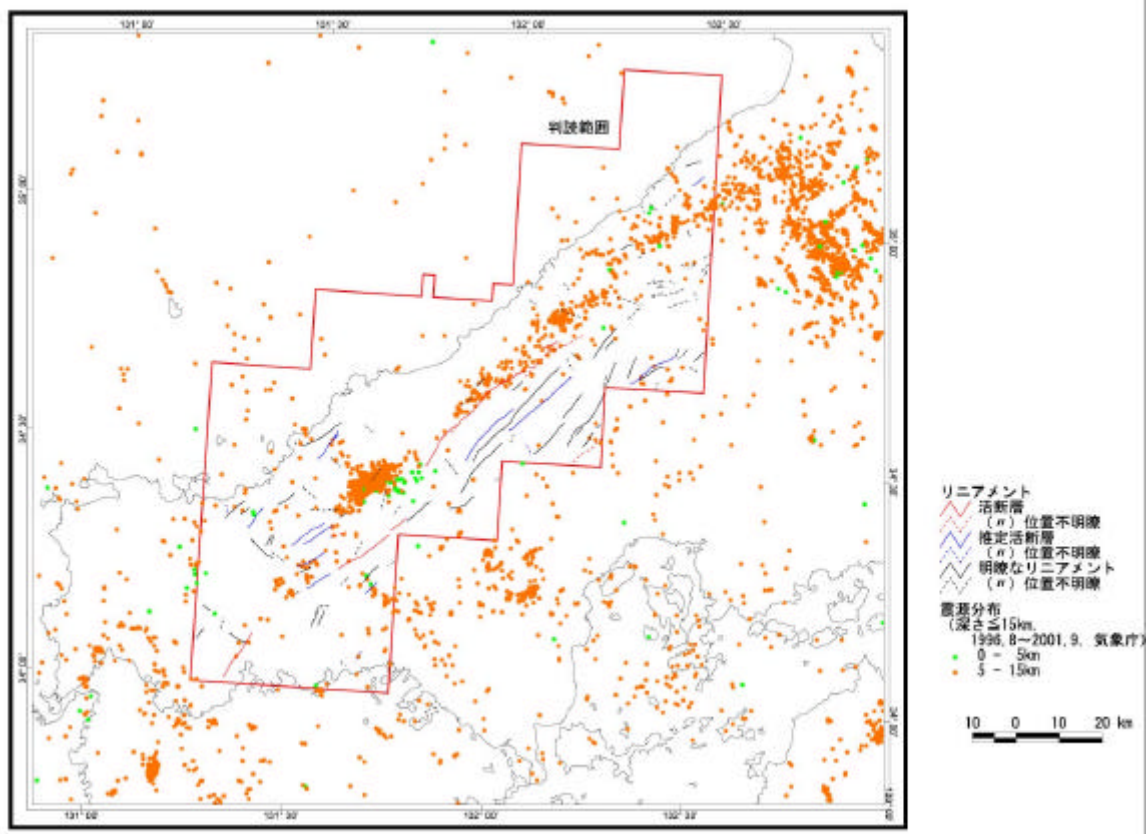


図7 微小地震の震源分布と地形リニアメント分布（事例対象：中国地方）

## 安全研究成果調査票（平成13年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

2 - 2 ( 2 - 2 - 2 ( 1 ) )

### 【研究課題名(Title)】

結晶質岩に関する地質環境評価手法に関する研究

(Methodology development for the characterization of crystalline rock)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 武田 精悦(たけだ せいえつ)

[所属] 東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所 研究グループ

[連絡先] 〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺959-31

(Name) Seietsu TAKEDA

(Title of Function) Underground Research Group, Mizunami Underground Research Laboratory,  
Tono Geoscience Center

(Address and Phone) 959-31, Jorinji, Izumi, Tokishi, Gifu, 509-5102, Japan

Phone : +81-572-53-0211

### 【研究担当者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 濱 克宏(はま かつひろ), 中野 勝志(なかの かつし), 竹内 真司(たけうち しんじ),  
池田 幸喜(いけだ こうき), 天野 健治(あまの けんじ)

[所属] 東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所 研究グループ

(Name) Katsuhiko HAMA, Katsushi NAKANO, Shinji TAKEUCHI, Koki IKEDA, Kenji AMANO

(Title of Function) Underground Research Group, Mizunami Underground Research Laboratory,  
Tono Geoscience Center

### 【研究期間】

平成13年度 ~ 平成17年度

[前期基本計画からの継続の有無]

☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] なし

### 【使用主要施設】

正馬様用地, 東濃鉱山, 東濃地科学センター周辺地域, ペレトロン年代測定装置

### 【研究概要】

[研究の経緯]

サイクル機構では、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発として、「深地層の科学的研究」(以下、地層科学研究)を実施してきている。地層科学研究の課題項目の1つに、「地質環境特性に関する研究」があり、この研究のうち花崗岩を対象とした研究については、東濃地科学センター(岐阜県土岐市)周辺において、約10km四方の領域を対象とした「広域地下水流動研究」と数百m四方程度の領域を対象とした「超深地層研究所計画」の2つのプロジェクトを進めてきた。これまでの研究では、各プロジェクトについて、地質・地質構造や地下水水理特性といった個別分野ごとに成果のとりま

とめを行ってきた。本研究課題では、上述の2つの研究プロジェクトの成果を有機的に組み合わせることにより、結晶質岩を対象とした地質環境評価手法の構築を目標として、平成13年度から新たに開始するものである。

#### [ 研究目的 ]

結晶質岩を対象とした地質環境に関するデータを整備し、これらを基に地質環境評価手法を開発することにより、安全基準・指針類の策定及び安全評価手法の確立と関連する地質環境評価手法の信頼性向上に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ) 地質環境評価手法に関する研究 ( 広域スケール )

地下水の主要流動経路の特定や水質形成機構を解明するため、広域 ( 地下水流動に関係する涵養域から流出域を含む数km四方以上の領域 ) における地表から地下深部までの地質・地質構造を把握するための文献調査、空中写真判読、空中物理探査、地上物理探査、地表踏査、試錐調査を実施し、地下深部の地質構造、水理地質学的特性、地下水の地球化学的特性データを取得する。これらのデータを基に、地質構造概念モデル、水理地質構造モデル、地下水の地球化学モデルを構築し、広域スケールの結晶質岩を対象とした地表からの調査技術、モデル化手法を開発する。併せて、ボーリング孔を用いて測定されたデータに関し、品質管理技術、精度評価手法について調査を行うとともに、構築されたモデルの妥当性の評価手法について、海外での事例の調査を含めて検討を行う。

##### ロ) 地質環境評価手法に関する研究 ( 地下研究施設スケール )

地表からの調査により取得される地質環境に関するデータを基に、地下の地質環境を推定し、地下施設建設に伴う影響を予測するとともに、海外での事例の調査を含めて予測結果の評価方法を検討する。

坑道からの調査により地質環境データを取得し、地表からの調査による予測の妥当性を評価するとともに、地下施設の設計・建設技術の有効性を確認し、また、掘削影響修復技術の有効性を確認する。さらに、ボーリング孔等を用いて測定されたデータに関し、品質管理技術と精度評価手法について調査を行う。

#### 【研究の達成目標 ( 平成13年度 )】

イ) 地質環境評価手法に関する研究 ( 広域スケール )、ロ) 地質環境評価手法に関する研究 ( 地下研究施設スケール ) 両者について、平成17年度に計画している本研究成果の取りまとめに向けて、平成12年度までの既存の研究成果の取りまとめを行う。

#### 【研究実施内容及び成果 ( 平成13年度 )】

##### イ) 地質環境評価手法に関する研究 ( 広域スケール )

###### 1) 研究の概要

広域スケールでの研究 ( 広域地下水流動研究 ) は、地層科学研究の一環として、平成4年度から東濃鉾山周辺地域を研究開発の場として実施している。本研究の目標は、広域 ( ここでは地下水流動系の涵養域から流出域までを包含する数km四方以上の領域 ) における地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水の流動特性や地球化学特性などを明らかにするために必要な調査・解析ならびに調査・解析結果の妥当性を評価するための技術の開発 ( 動燃事業団、1997 ) であり、この目標に向け、地下深部の地質環境に関わる現象やそのメカニズムに関する研究を進めている。

本研究では、開始から5年程度の間は、主として調査・評価技術に関する要素技術の開発とその有効性・適用性の確認に主眼を置いた調査研究を行い、「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第2次取りまとめ ( 以後、「第2次取りまとめ」) にその成果を反映した。

「第2次取りまとめ」以降は、それまでの要素技術開発と並行して、地下深部の地下水流動系の全体像を把握するための地上からの調査技術やモデル化技術の整備を進めている。

本研究のように広範囲な領域の地質環境を対象とする段階では、密度の高い調査の実施は現実的に困難であり、調査手段も文献調査や空中および地上からの調査に限定される。したがって、このような段階における地質環境の評価項目と評価に必要な調査の質と量を検討するための事例を提示することが調査・評価技術の整備にあたり重要である。

このような観点から、本研究では、実際の地質環境を対象とした調査研究を通して、限定された情報量で地質環境の何がどの程度把握できるのかを事例的に示すとともに、用いられた各種調査・評価技術の適用性の確認、およびそれらの技術の組合せや手順などを示した調査・評価フローの構築を目標としている。

広域地下水流動研究では、地下深部の地下水の流動特性および地球化学特性に関連した地質学、水理・水文学、地下水の地球化学の各分野での研究とともに、各分野間にまたがる「地質環境情報の統合化」を実施している。また、調査・評価技術の適用性評価にあたっては、測定データや解析結果に含まれる不確実性の評価も重要である。これらの不確実性は、対象となる地質環境の不均質性や異方性の程度とともに調査量と深く関係するものと考えられることから、本研究では既存情報に基づく地質環境の概念モデルの構築を出発点とし、「計画立案→調査・解析→モデルの構築(更新)」といった一連のプロセスを繰り返し、段階的に地質環境のモデル化を進めることにより、不確実性を考慮した地質環境の調査・評価技術に関する研究開発を実施している。

研究実施領域の設定には、研究対象となる地下水流動系の涵養域から流出域までを包含する必要があるために、文献情報に基づく予察的な地下水流動解析を実施し、解析から得られた深度 1,000m 付近までの地下水の流動方向に基づき、図 1 に示す約 10km 四方の研究実施領域を設定した(動燃事業団, 1998)。設定された研究実施領域は、本地域の主要河川である木曽川と土岐川に挟まれた丘陵地帯に位置しており、土岐川支流の日吉川流域(約 25km<sup>2</sup>)を包含している。領域内の標高差は約 360m、平均勾配は日吉川沿いで約 3.2%である。地質は主に、基盤をなす中生代白亜紀の花崗岩類(土岐花崗岩)、およびそれを覆う新第三紀堆積岩類(主に中新統の瑞浪層群)からなる(図 2)。

本研究は、結晶質岩である土岐花崗岩を主要な研究対象としているが、地下水の涵養や水質形成の観点で花崗岩上位の堆積岩類の存在を無視しえないことから、新第三紀層も調査研究の対象に含まれている。

これらの岩体・地層における研究項目として以下に示す地質環境特性が挙げられる。

a) 地質・地質構造

- ・地層 / 岩体の規模(層厚)およびその物性
- ・大規模な断層破砕帯の分布・性状

b) 地下水流動特性

- ・地下水涵養量
- ・地下水の水理ポテンシャル分布
- ・岩盤の透水性

c) 地下水の地球化学特性

- ・雨水 / 河川水の水質, 同位体組成
- ・岩石の鉱物組成, 化学組成
- ・地下水の水質, 同位体組成
- ・地下水の pH
- ・地下水の Eh
- ・地下水の起源 / 滞留時間
- ・地下水中的コロイドの種類, 量
- ・地下水中的有機物 / 微生物の種類, 量

「第 2 次取りまとめ」以降は、上記の地質環境特性の把握に向け、対象とする地下水流動系の主要な流動方向に沿って配列した試錐孔(DH-9~13 号孔: 図 3)による調査、大規模な地質構造の把握を目的とした物理探査などを展開した。さらに、地下水流動解析などの境界条件や初期条件となる地下水涵養量や間隙水圧などの長期観測を継続している。

## 2) 地質・地質構造に関する調査研究

### 岩相分布

研究実施領域の概略的な地質・地質構造を把握する目的で、ヘリコプターによる空中物理探査(磁気探査, 電磁探査, 自然放射能探査)を実施した。これらの調査項目のうち、自然放射線探査で得られたガンマ線強度分布図と地表地質調査による地質図とを比較した結果、1600cps 以上の地域は地表における花崗岩の分布域と一致していることが明らかになった。このことから、空中自然放射能探査と地表地質調査を併用することにより、花崗岩の分布を広範囲に精度良く把握することが期待できる(サイクル機構, 2001a)。

また、地上電磁探査（MT 法・CSMT 法）により推定された比抵抗分布から、瑞浪堆積盆から西方の東濃鉾山、また、北方の白倉地区、細久手地区、さらに東方の宿洞地区へ低比抵抗域が伸びていることがわかる。また、研究実施領域の北西部に位置する津橋地区、美佐野地区にも低比抵抗域が分布する。これらの低比抵抗域は、試錐調査の結果から、花崗岩上面の古河川系を示すチャンネル構造に堆積した堆積岩類に対応するものと考えられる。

本地域の堆積岩類と花崗岩の比抵抗値は大きく異なり、 $80 \sim 200 \Omega \cdot m$  を境に区分できる。そのため、上述の地上電磁探査のデータに基づき、堆積岩類と花崗岩とを区分するしきい値を  $100 \Omega \cdot m$  に設定し、基盤不整合面等高線図を作成した。本図で推定される不整合面の深度は、試錐調査の結果と整合していることから、地上電磁探査は、堆積岩類と花崗岩との不整合面の分布・形状を広範囲に把握する上で有効な手法といえる（サイクル機構、2001a、2001b）。

#### 不連続構造

断層などの大規模な不連続構造を推定するための調査技術整備の一環として、リニアメントの地質学的意味を確認する目的で、断層が確認されている試錐孔の周辺を対象に、空中写真を用いたリニアメント判読、および地表露頭・試錐孔での割れ目調査を実施した。その結果、300m 以上のトレース長を有するリニアメントの主卓越方向（NS 系）は、リニアメント近傍の地表露頭での剪断割れ目の主卓越方向と調和的であり、また、そのようなリニアメントは、試錐孔で確認された断層の地表投影位置の近傍に位置していることが明らかになった。

このことから、リニアメントのトレース長およびリニアメント周辺の露頭での剪断割れ目の分布状態が、地表から地下深部に連続する断層破碎帯の存在を推定するための指標となり得ることが示された（サイクル機構、2001a）。

上述の調査結果を受け、研究実施領域内における広域地下水流動を規定すると考えられる断層などの大規模な不連続構造の存在をリニアメント判読結果に基づき検討した。本検討では、井上ほか（1992）の報告に基づき、リニアメントのトレース長（3km 以上）およびリニアメント近傍での地表露頭調査や試錐調査などの結果から、五つの大規模な不連続構造を推定した（三枝ほか、2001）。

### 3）岩盤の水理に関する調査研究

#### 表層水理調査

表層水理調査では、水収支観測を実施している七つの流域（図 4）で水収支解析を実施し、各流域における年度ごとの岩盤浸透量を検討した。

水収支観測で得られた各流域の年度ごとの降水量と岩盤浸透量との相関図を図 5 に示す。

この図より、各流域での年度ごとの岩盤浸透量には、以下に示す特徴が認められる。

- ・ 相対的に大きな流域である全流域（正馬川、柄石川）での年度ごとの降水量と岩盤浸透量との間に相関はほとんど認められない。
- ・ 正馬川上流域、正馬川モデル流域、柄石川小流域では岩盤浸透量が大きく、とくに正馬川上流域では、年度ごとの降水量と岩盤浸透量の間には正の相関が認められる。
- ・ 正馬川下流域では、岩盤浸透量が小さく、年度ごとの降水量と岩盤浸透量の間には弱い負の相関が認められる。

これらの結果から、正馬川の上流域・下流域などの狭い領域を観測対象とした場合は、局所的な地形に支配された浅部の地下水流動系における観測流域の位置を反映した値が得られると推測される。また、正馬川全体を対象としたような広い観測流域の場合は、より深部の地下水流動系における観測流域の位置を反映した岩盤浸透量が得られると考えられる。

したがって、広域地下水流動系のモデル化にあたっては、より広範囲な観測流域を対象とした水収支観測も必要と考えられる。

#### 深層水理調査

深層水理調査では、地下水の間隙水圧分布と岩盤（主に土岐花崗岩）の透水性を把握するために、本研究で掘削された試錐孔（13 孔）で透水試験を実施した。

その結果、研究実施領域における地下水は、図 6 に示すように、地下水流動解析で推定された涵養域と流出域で掘削された試錐孔でのデータを除くとおおむね静水圧分布を示すことが明らかになった。また、岩盤の透水性については、これまでに 133 点の透水係数が計測された。用いた試験方法は、パルス試験、

スラグ試験，ならびに揚水試験である。この試験結果を花崗岩上面からの深度別にプロットすると，上面から約 400m 付近までは高透水性，それより深部が低透水性を示す傾向がみられる（図 7）。花崗岩上面から 400m の深度で区切った場合の花崗岩の上部・下部の透水係数分布を図 8 に示す。花崗岩上部と下部での透水係数の最頻値は，各々  $10^{-8}$  (m/sec) オーダー， $10^{-9}$  (m/sec) オーダーであり，両者の透水性に 1 オーダーの違いが認められる。この透水係数の違いは，花崗岩浅部に発達する低角割れ目に起因すると考えられる。

#### 地下水流動解析

広域スケールを対象とした地下水流動解析については，これまでに研究実施領域において，水理学的な境界条件や地質区分の違いが地下水流動解析結果に与える影響を検討した（須山・三枝，2000）。ここでの課題として，後背地の地形が地下水流動に及ぼす影響を考慮したモデル化，解析領域の設定方法の検討が挙げられた。この結果を受け，約 10km 四方の研究実施領域の後背地を含む数十 km 四方程度の領域における地形の特徴を考慮した地下水流動解析の検討に着手した。

最初の試みとして，文献情報のみに基づく地下水流動解析の結果で，ローカルスケールの地下水流動に関して何がいえるのかを見極める目的で，約 25km 四方の領域を設定し解析を実施した。図 9 に地下水流動解析の結果（地下水の全水頭分布）を示す。この結果から，約 10km 四方の研究実施領域内の深部における地下水流動は，地形面から推測される土岐川水系と木曽川水系の境界付近を涵養域とし，流出域を研究実施領域南部の土岐川付近とすること，また，研究実施領域内を南西方向へ流動していることが推定された（サイクル機構，2001）。

これらの解析結果は，試錐孔で実測された水頭分布および地下水の水質分布と整合していることから，少なくとも地下水流動系の涵養域や流出域の位置，および主流動方向については，文献情報のみの解析でも十分利用できるといえる。

次に，地下水流動のモデル化技術での課題である解析結果の妥当性評価の一環として，地球化学的手法による地下水流動状態の解析を東濃鉱山周辺域で試みた。具体的には，東濃鉱山周辺域での地下水の水素・酸素安定同位体比，トリチウム濃度，放射性炭素濃度によって，地下水の滞留時間を算出し，その分布を把握した。その結果，地下水の滞留時間は，数千年～1 万数千年前と算出され，深度とともに古くなることが示された。また，各深度の地下水の滞留時間から，堆積岩中の地下水の流動速度は， $10^0 \sim 10^2$  mm/年オーダーと推定された。この流動速度は，地下水流動解析で求められた流動速度と良く一致している。このことから，地球化学的手法による地下水流動状態の解析は，地下水流動解析結果の検証方法として有効である事が示された（Iwatsuki et al., 2001）。

#### 4) 地下水の地球化学に関する調査研究

広域地下水流動研究において対象としている土岐花崗岩中の地下水の地球化学特性については，「第 2 次取りまとめ」までに以下の知見が得られている。

- ・水素・酸素同位体比から，地下水の起源は天水である。
- ・ $^{14}\text{C}$  法により，深度 1,000m 付近の地下水の滞留時間が 1 万年のオーダーと推定される（徐ほか，1999）。
- ・深度 300m 以浅の地下水は，Na-Ca- $\text{HCO}_3$  型で，中性（ $\text{pH}=7$ ）かつ酸化性の地下水であるのに対して，深度 300m 以深の地下水は Na- $\text{HCO}_3$  型で弱アルカリ性（ $\text{pH}=9$ ）かつ還元性の地下水である。
- ・地下水の水質形成に寄与する主要な水 - 岩石反応としては，方解石の溶解反応，地下水 - 粘土鉱物間のイオン交換反応，長石類の溶解反応が考えられる（Iwatsuki and Yoshida, 1999）。
- ・地下水の酸化還元状態を支配する主要な反応は，鉄，硫黄を含む鉱物（黄鉄鉱や黒雲母など）の溶解反応である可能性が高い。
- ・鉄関連細菌など酸化還元関連微生物が，酸化還元状態と関連している可能性がある。

以上の知見から，土岐花崗岩中の地下水の地球化学特性について，図 10 に示す水質形成モデルが構築されている。

「第 2 次取りまとめ」以降は，広域地下水流動研究の目的である，地下水流動系の涵養域から流出域までを包含する領域における地下水流動や，それに伴う水質の変化などを効率的に把握するための技術の整備を継続して実施している。

ここでは，地下水の地球化学に関する調査研究について，地下水の地球化学特性への微生物の影響，および 地下水流出域における塩水系地下水の存在について，現在までに得られている知見を報告する。

## 地下水の地球化学特性への微生物の影響

地下水中の微生物については、その存在はもちろん、その役割を調査することが、地下水の地球化学特性を把握する上で重要である。本調査では、まず存在が確認されている鉄関連細菌について以下の調査を行った。

研究実施領域内の試錐孔（DH-3 号孔：図 11）から採取した地下水について、地下水中に存在する鉄関連細菌数および地下水培養液中の鉄酸化コロイド（1 $\mu$ m 以上）の数を計数した。その結果、深度 130m および 330m の地下水培養液中において鉄酸化コロイドが最も多く観察され、この分布は地下水中の鉄関連細菌の分布と一致していた。このことは、鉄関連細菌が地下においても鉄（ ）→鉄（ ）酸化反応の触媒となり、鉄コロイド形成などにより地下水の地球化学特性へ影響与える可能性があることを示している（岩月ほか、2001）。

## 地下水流出域における塩水系地下水の存在

地下水の流出域においては、涵養域と比較して相対的に滞留時間が長く、溶存成分に富む地下水が存在すると考えられる。これまでは、主に研究実施領域内の涵養域周辺に試錐孔を配置していたが、流出域において掘削された試錐孔（DH-12 号孔：図 11）で、これまでに認められていなかった Na-Cl 型の地下水が試錐孔全体にわたって確認された。なお、DH-12 号孔においては、堆積岩（瑞浪層群）の厚さが 170m 程度と涵養域と比較して厚いものの、堆積岩と花崗岩の化学組成は、他の試錐調査で得られたデータと違いはなかった。

## ロ）地質環境評価手法に関する研究（地下研究施設スケール）

### 1）概要

超深地層研究所計画では、原子力委員会（2000）および原子力安全委員会（2000）で挙げられている「第 2 次取りまとめ」以降の地層科学研究に関連する課題のうち、「深部地質環境データの蓄積」を行い、それらの情報に基づき「地表からの地下深部までの調査の体系化」を行うこと、安全評価における「実際の地質環境条件を適切に考慮した設計、シナリオに基づく評価」の手法を確認していくことに必要な地質環境の情報を取得することを課題として進めている。そのため、超深地層研究所計画は、結晶質岩を主な対象に、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」と「深地層における工学技術の基盤の整備」を全体目標として、約 20 年間からなる調査・研究を進めている（サイクル機構、2002）。

本計画は、大きく三つの段階に分けて進める。

#### ・第 1 段階：地表からの調査予測研究段階

地表からの調査により地下の地質環境を推定し、第 2 段階で掘削する研究坑道が遭遇する地質環境を推定する。また、本段階で得られた地質環境の情報に基づき、第 2 段階の研究計画および研究坑道の詳細設計・施工計画を策定する。

#### ・第 2 段階：研究坑道の掘削を伴う研究段階

研究坑道などを掘削しながら遭遇する地質環境や研究坑道の掘削による地質環境の変化に関する情報を取得し、第 1 段階で行った地質環境の推定結果の妥当性や、推定のために用いた地表からの調査・解析技術の適用性を評価する。さらに、第 3 段階の研究計画を策定するとともに、研究坑道の設計・施工などに関する工学技術の有効性を確認する。

#### ・第 3 段階：研究坑道を利用した研究段階

掘削した研究坑道を利用して、地質環境に関する情報を取得し、第 2 段階の推定結果の妥当性を確認する。また、研究坑道の施工・維持・管理などに関する様々な工学技術の有効性を確認する。

本計画では、深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備をひとつの目標としている。この目標を達成するためには、研究成果の反映先を明確にし、どのようなデータをどのような手法で取得し、分野間の横断的な解釈やモデル化をどのように考えて進めれば、地質環境をどこまで理解でき、最終的なアウトプットに到達できるのかを事例的に示すことが重要である（大澤ほか、2001）。図 12 に、海外の調査・解析・評価の統合化の事例（Nagra, 1999）を参考に構築した、本計画第 1 段階の統合化データフローの例（地質・地質構造）を示す。地質・地質構造の統合化データフローのほかに、地下水の水理、地下水の化学、岩盤力学の統合化データフローも構築している。この中で、地層処分技術の信頼性の向上や安全評価手法の高度化といった観点から、地下水の移行経路長や地下水流量のような、地層処分システムの安全性を評価するうえで重要と考えられるパラメータを設定している。

また、地表からの調査は、前述の統合化データフローに沿ってデータ取得、解析・解釈、モデルの構築を行うことになるが、段階的に行われる調査により情報が増加する過程のなかで、調査計画の立案から調査結果の評価に至る一連のプロセスを繰り返し行うことにより、情報の過不足や不確実性など地質環境に対する理解度を評価し、それらを次の調査計画へ反映させる。

本計画は、平成8年度より岐阜県瑞浪市明世町の正馬様にあるサイクル機構用地（約14ha、以下、正馬様用地）において、地表からの調査を実施してきた。この地域には、白亜紀の花崗岩（土岐花崗岩）が広く分布しており、これを基盤として、その上位を新第三紀中新世の堆積岩（瑞浪層群）が不整合で覆い、さらにその上位を固結度の低い新第三紀鮮新世の砂礫層（瀬戸層群）が不整合で覆っている（図13）。また、東西方向に伸びる月吉断層が存在する。

正馬様用地では、平成8年度から平成11年度において、地上物理探査、表層水理調査、および深度1,000mの試錐孔調査（MIU-1～3号孔）を実施した（中野・大澤，2001）。これらの試錐孔調査では、岩芯観察、物理検層、水理試験、力学試験および岩芯を用いた室内試験などを行った。これらの情報と既存の情報をを用いて段階的に地質構造、水理地質構造、岩盤力学の各モデルの構築と地下水流動解析を行うとともに、調査・解析手法の適用性を確認してきた（サイクル機構，2001）。また、国内外の先行事例や国の原子力長期計画が示した深地層の研究施設に求める成果などを考慮し、第2段階および第3段階の調査・研究項目を抽出するとともに、研究坑道の展開手順や研究坑道掘削の仕様の決定方法などを検討した。

さらに、平成12年度からは、正馬様用地北東部の地質環境の情報を取得すること、地下水の地球化学特性に関する情報を取得することなどを目的として4本目（MIU-4号孔）の試錐孔調査（斜孔：JNC，1999）を実施するとともに、MIU-2号孔を揚水孔とする長期揚水試験などを行ってきた。図14にこれまで行った主な調査内容を示す。

#### 1) 地質・地質構造に関する調査研究

正馬様用地の堆積構造、不連続面の形状および不連続面に関する情報を取得することを目的に、南北と東西の2測線で反射法弾性波探査を行った。試錐孔調査結果を参考に南北測線における反射断面記録を解釈した結果、堆積構造、不連続面にかかわる情報のほか、花崗岩上部の水平割れ目が卓越していると考えられる不連続面を推定できた。

また、正馬様用地で掘削された3本の深度約1,000mの鉛直試錐孔において、岩芯観察、物理検層、ポアホールテレビ（BTV）観察を行った。加えて、採取した岩芯を用いた岩石鉱物試験を行った。

岩芯観察の結果、各試錐孔とも、地表から地表下90m付近まで堆積岩が分布することや黒雲母花崗岩の最上部には厚さ10～15m程度の風化部が存在することが明らかとなった。また、MIU-2号孔および3号孔においては、それぞれ深度約900mと700mで月吉断層を捕らえている。いずれも、約10～20m幅のカタクレーサイト帯からなり、その周囲には幅100m程度の割れ目帯が分布する。BTV調査の結果を基にした割れ目累積本数の深度分布より、風化部より下位の黒雲母花崗岩を低角度の割れ目が発達した上部割れ目帯（3～5本/m）、割れ目の少ない健岩部（1～3本/m）、および断層に伴う割れ目帯（3～6本/m）の大きく三つの異なる割れ目系を有する地質構造要素に区分することができた（図15）。これらの結果を踏まえ構築した、地質構造の概念を図16に示す。

さらに、正馬様用地周辺で行われた試錐孔調査、リニアメント判読、および地表調査の結果から、正馬様用地を対象とした地下水流動解析の解析領域（約4×6km）およびその周辺において、地下水の移行経路となる可能性のある断層およびリニアメントの分類を行った。

- ・分類1：地表露頭でその存在が明瞭に観察される断層
- ・分類2：地表露頭では認められないが、試錐孔で捕捉される断層
- ・分類3：地質図に記載される断層のうち、地形に表れているもの
- ・分類4：地質図に記載される断層であるが、地形には顕著に表れないもの
- ・分類5：LANDSAT，SPOT，空中写真で判読され、かつ地形に明瞭に表れるリニアメント
- ・分類6：LANDSAT，SPOT，空中写真で判読されるが、地形には明瞭に表れないリニアメント
- ・分類7：LANDSAT，SPOT，空中写真のうち、2種類の画像もしくは写真で判読されるリニアメント
- ・分類8：LANDSAT，SPOT，空中写真のうち、どれか1種類の画像もしくは写真で判読されるリニアメント

上記の分類のうち、「分類1～7」の断層およびリニアメントで、トレース長が3km以上のものを地質構造モデルで考慮する断層として抽出した。また、複数のリニアメントが直線的に配列し、一つの連続する

リニアメントとみなせる場合、リニアメントのトレース長は、連続するリニアメントのトレース長を用いた。また、トレース長の判断基準となる 3km は、「SPOT 画像で判読されるリニアメントのトレース長が 3km 以上の場合、そのリニアメントが断層である確率は 100% である」(井上ほか, 1992) に基づいた。これらの判定の結果から、地質構造モデルに考慮する不連続構造として、五つの断層を推定した。

これまで示した正馬様用地およびその周辺における調査結果に基づき構築された地質構造の概念に基づき構築した地質構造モデルを図 17 に、そのうち、断層だけを取り出して示したモデルを図 18 に示す。これらのモデル化においては、地形面や各地質構造要素の境界面や断層面の形状は、地質図や試錐孔で確認された各地質構造要素の境界位置を用いて、ミニマム・テンション理論 (Briggs, 1974) を用いて推定した。とくに、上部割れ目帯の層厚については、花崗岩を被覆する堆積岩の層厚と良好な相関関係が認められたことから、その相関式を用いて上部割れ目帯の空間分布を推定した。

前述の調査およびモデル化では、モデル化に用いられた試錐調査は鉛直孔であり、高角度傾斜の割れ目に関する情報が不十分である、割れ目分布に着目したより詳細なモデル化を進める上で、水みちの分布に関する情報が不足している、などの課題があった。そのため、平成 12 年度から約 2 年間をかけ、斜孔による試錐調査 (MIU-4 号孔) を行った。現在、MIU-4 号孔調査の結果を解析中であるが、現段階までに、高角度割れ目 (帯) の分布密度がこれまでの鉛直孔の試錐調査結果から推定されたものと比較してはるかに大きいこと、また高透水性に関連した小規模な地質構造として十数ヶ所の断層岩が関連していることなどの知見が得られている。さらに、水みちという観点での割れ目の分類が試みられている (天野ほか, 2001)。

## 2) 岩盤の水理に関する調査研究

正馬様用地で行ってきた 3 本の試錐調査 (MIU-1 ~ 3 号孔) において水理試験を行い、統計解析を行った。その結果、割れ目頻度分布から推定された各地質構造要素 (上部割れ目帯、健岩部、月吉断層に伴う割れ目帯) ごとに比較すると、健岩部の透水係数は、上部割れ目帯と断層に伴う割れ目帯と比較して 1 オーダー程度低い透水性を有していることがわかった (サイクル機構, 2001a)。

また、透水係数の深度分布と水圧分布を検討した結果、以下の点が明らかとなっている。

- ・上部割れ目帯と月吉断層に伴う割れ目帯で高い透水性を示し、健岩部で低い透水性を示す。
- ・月吉断層の下盤側は上盤側に比べ約 30m 水位が高いことから、同断層は遮水壁として機能している可能性が高い。

また、正馬様用地中央部から北東方向に鉛直から 30 度傾けて掘削した 4 本目の試錐孔 (MIU-4 号孔) における水理試験の結果、3 本目までの鉛直孔での試験結果と比較して高い透水性を有する傾向があることが明らかとなった。同時に実施した流体検層 (フローメータ検層・温度検層) において、流速の変化や温度の変化として識別される多くの透水性割れ目が検出された。その理由として、鉛直孔においては遭遇率の低い鉛直割れ目が多く存在し、これが透水性割れ目として機能しているためと推察される。

なお、水理試験を行うにあたっては、現場におけるデータ品質の担保が重要である。このため、MIU-4 号孔の水理試験に関して、図 19 に示す試験手順を適用し、透水性の評価を行った (小出ほか, 2001)。

これまで行ってきた調査結果のうち、現段階では、正馬様用地で行った 3 本の試錐調査 (MIU-1 ~ 3 号孔)、正馬様用地周辺で行われた試錐調査、地表踏査、リニアメント判読結果に基づき構築された地質構造モデル (図 17) に基づき水理地質構造モデルを構築し、地下水流動解析を行っている (三枝ほか, 2001)。

水理地質構造モデルを構築する際は、構築された地質構造モデルの各地質構造要素に、それらの平均的な透水係数を把握するため、比較的長い区間を対象として行った揚水試験結果 (サイクル機構, 2001a, 2001b) の幾何平均値を設定した。地質構造モデルで設定された五つの推定断層のうち、月吉断層近傍の断層と平行な方向の透水性に関する情報はあるものの、月吉断層に直交する方向の透水性や、その他の推定断層の透水性に関する情報は取得されていない。そのため、以下に示すケースを設定し、断層の水理特性に着目した感度解析を行った。

- ・断層直交方向を低透水性に、断層面方向の透水性を直交方向と比較して高くすることによって、透水異方性を考慮したケース (基本ケース)
- ・基本ケースの断層直交方向の透水性を低くし、透水異方性を大きくしたケース
- ・基本ケースの断層面方向の透水性を直交方向と同一し、透水異方性のないケース
- ・断層直交方向および断層面方向の透水性が高いケース

月吉断層は低透水性として設定し、さらに、月吉断層の透水性が地下水流動場に与える影響を検討する

目的で、 $1 \times 10^{-10}$ 、 $1 \times 10^{-11}$ 、 $1 \times 10^{-12}$  m/sec の 3 ケースを設定した。地下水流動解析においては、その評価指標として、任意の 24 点から下流側境界に至る最短移行経路をパーティクルトラッキング法で抽出し、上記の透水性の設定の違いが、移行経路長、移行時間に与える影響を検討した。

その結果、基本ケースと比較し、地下水の主な流動方向（北→南）に直交する EW 系断層の低透水性のケースと、主な流動方向に並行する NNW 系断層および NW 系断層の透水性が高いケースで大きな違いが認められた。基本ケースでは EW 系断層を通過し下流側境界にパーティクルが移行する傾向を示すが、EW 系断層の透水性が低いケースの場合は、パーティクルは断層を通過せず側方境界に移行する傾向を示す。また、NNW 系断層および NW 系断層の透水性が高いケースの場合は、基本ケースにおいて主流動方向に直交する断層部で地表方向へ上昇していたパーティクルが、高透水性の断層に沿って下流方向（南方向）へ移行する傾向を示している。

さらに、水理地質構造の概念やモデル化の違いによる地下水流動への影響の評価を目的として、これまで示した水理地質構造モデルとそれによる地下水流動解析を含めて、五つの水理地質構造モデルによる地下水流動解析を行った。

その結果、とくに断層のモデル化の違いが、移行経路および移行経路長に大きな影響を与えることが明らかとなった。この結果は、月吉断層による遮水性を強調するために異方性を取り入れるとともに、断層周辺に高透水性の割れ目帯をモデル化した場合には移行経路長は短くなり、それらを考慮していないモデルの場合には移行経路長が長くなる傾向を示している（澤田ほか、2001）。また、それらを考慮していても上部境界条件を不透水境界とした場合には、断層に沿った上方向の流れが生じにくくなり、結果として移行経路長が長くなる傾向を示している。

移行時間については、数年～数千年の範囲に分布する。これは、モデルの有効空隙率の設置値が異なるためである。移行時間が数百年～数千年の移行時間を示すモデルは、既存文献の情報に基づき一律の値もしくはそれぞれの領域ごとに一定の値（0.01～0.3）を提供したモデルである。一方、数年～数十年の移行時間を示すモデルは、要素ごとに亀裂密度と亀裂開口幅もしくは透水係数から有効空隙率（ $10^{-5} \sim 10^{-3}$ ）を算出したモデルである。この結果は、これまでの調査・研究ではトレーサ試験など、地下水流速に関わるデータはなく、そのため前述したような様々な方法により値が算出されたことによる。

### 3) 地下水の地球化学に関する調査研究

正馬様用地内で実施した試錐調査のうち、MIU-1～3 号孔においては、採水調査を効率的に進められなかったために、4 本目の試錐孔（MIU-4 号孔）においては、試錐掘削中に水理試験と組み合わせて地下水採水を行うなど、調査手順の改善を行い、調査を実施した（JNC、1999；サイクル機構、2001a）。

ここでは、地下水化学特性に関するデータが取得された MIU-4 号孔について、調査手法、結果を中心に報告する。

#### 調査手順の改善

試錐孔を利用して地下水採水を行う際に、データの品質は大きく下記の 3 点に支配されると考えられる。

##### ・掘削水の選定、水質管理

調査対象地域において降水系地下水（溶存成分濃度が低い、緩衝能が小さい）の存在が想定される場合には、試錐掘削中の周辺地下水における汚染の程度を低減するために、想定する地下水水質と類似した水質の掘削水を使用することが必要である。すなわち、降水系地下水が存在する場を、塩水を使用して掘削した場合、地層水の採取が不可能となることや、塩水系地下水が存在しているといった誤った解釈を導く可能性が高い。

東濃地域では、既存の研究成果から、正馬様用地においても降水系地下水が優勢であることが想定されていることから、領域内の河川水（主に地下水、雨水の混合水）を使用することとした。また、掘削水は循環使用が原則であるため、水質の管理も重要である。試錐掘削中には、掘削水とカッティングスルが反応することにより、掘削水中の溶存成分濃度が著しく上昇する。その結果、溶存成分濃度の高い掘削水を使用することになってしまい、データ品質を低下させることになる。それを防止するために、常時掘削水の水質をモニタリングし、定期的に掘削水を交換するなど、掘削水水質を一定に保つことが必要である。さらに、掘削水中に蛍光染料などのトレーサ物質を一定濃度で添加しておくことにより、地下水採水時には、染料濃度を指標として掘削水の残留割合を定量的に把握することが可能である。

##### ・採水調査実施時期

土岐花崗岩中には透水性の高い割れ目（帯）が存在している。試錐掘削中にこのような割れ目に遭遇すると、大量の掘削水が注入されることになる。目的深度までの試錐掘削終了後に、地下水採水を実施する調査プログラムとした場合には、掘削水による汚染の程度が著しく、地層水を採取ことが極めて困難になるケースがあった。これを避けるために、試錐掘削中に逸水帯に遭遇した場合、直ちに地下水採水を実施することが可能となる柔軟な調査プログラムが必要である。

・当該試錐孔における優先調査項目

試錐調査においては実施する各調査項目の優先順位を決める必要がある。全ての調査項目について、品質の高いデータを取得することは、試錐調査中のトラブルを考えると、現実的ではない。したがって、優先順位が高い調査項目を、当初計画どおり実施することにより、他のデータの品質を低下させることもあり得る。このようなトラブル発生時にも迅速な対処が可能で、かつ目的を果たせるような柔軟で合理的な調査プログラムが必要である。

以上述べたことを考慮した調査プログラムを構築した（JNC，1999）。

**調査結果**

ここでは、MIU-4 号孔の掘削深度 82.50～88.65m（堆積岩：地表からの深度 72.00～77.44m）での採水結果と MIU-4 号孔における調査で得た知見について述べる。

MIU-4 号孔では堆積岩と花崗岩を明確に分けて調査するために、堆積岩／花崗岩不整合直上で掘削を停止し、シングルパッカー式で地下水採水を実施した。地下水採水中には、前述の蛍光染料濃度に加えて、地上における物理化学パラメータ測定、主要化学成分濃度測定を実施した。本深度においては、掘削水による地層水の汚染が 0.6%まで減少し、当初設定した基準値 1.0%を満足することができた。この原因のひとつに、試錐掘削停止後直ちに採水を実施したことが考えられる。なお、地下水タイプは Na-HCO<sub>3</sub> 型、pH = 9.5 と弱アルカリ性であった（表 1：サイクル機構，2001b）。

MIU-4 号孔においては、合計 5 深度（堆積岩 1 深度、花崗岩 4 深度）において地下水採水を実施し、各種測定および分析を実施した。その結果、MIU-4 号孔においては、土岐花崗岩中の地下水は、弱アルカリ性（pH 9～10）の Na-HCO<sub>3</sub> 型であり、これまでの土岐花崗岩中の地下水地球化学に関する研究結果と整合していた。

**【研究の達成状況（平成 13 年度）】**

当初計画どおり、既存研究成果の取りまとめを行うことができた。

（今後の予定）

平成 13 年度までの成果を踏まえて、平成 14 年度以降の研究計画の策定、研究を継続して実施する。

**【成果の利用実績及び活用見通し】**

本研究は、深部地質環境に関する知見を一層充実させることにより、国が進める安全基準の具体化などに必要な最新の技術や成果を提供するものである。安全基準の策定等の安全規制への反映については、本研究からは、

- ・地表から地下深部までの地質環境データの取得と整理
- ・地下深部の地質環境のモデル化
- ・地下施設の建設に伴う地質環境の変化の予測

等の成果が得られ、処分候補地選定の要件、処分予定地選定基準の策定において基準を設ける際の科学的根拠の整備に活用される。また、安全評価の基本的考え方に関する調査研究など、他の安全研究課題への基礎情報の提供を行う。

**【研究成果の発表状況】**

別紙リストのとおり。

（発表予定）

**【国内外の研究動向】**

[ 民間の研究の現状と動向 ]

国内においては、地下深部を対象とした研究例は少なく、資源探査、探鉱、土木工事（ダムやトンネルの建設など）に必要な調査の結果がほとんどである。したがって、本研究のように総合的な調査を行い、モデルの構築までを実施した例はない。

(参考文献)

[ 海外の研究の現状と動向 ]

海外においては、地層処分研究開発を進めている国が複数あり( スウェーデン、スイス、イギリス、アメリカなど )、地表からの試錐孔あるいは地下研究施設などを利用して、十数年にわたり実施されている。

(参考文献)

例えば、

Rhen I, Backblom G, Gustafson G, Stanfors R and Wikberg P (1997) ; ASP0 HRL-Geoscientific evaluation 1997/2, SKB TR97-03.

### 【研究評価(自己評価)】

#### ○成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

#### ○成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

#### ○計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由 : )
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

### 【自由評価欄】

特になし。

## 引用文献

### イ) 地質評価手法に関する研究 (広域スケール)

#### 1) 研究の概要

- ・動力炉・核燃料開発事業団 (1997): 広域地下水流動研究基本計画書, 動燃事業団技術資料, PNC TN7020 98-001.
- ・(2)動力炉・核燃料開発事業団 (1998): 東濃地域を対象とした広域地下水流動解析, 動燃事業団技術資料, PNC TN7410 98-004.
- ・糸魚川淳二 (1980): 瑞浪地域の地質, 瑞浪市化石博物館専報, No.1, pp.1-50.
- ・核燃料サイクル開発機構 (2001a): 広域地下水流動研究年度報告書 (平成 11 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-008.
- ・核燃料サイクル開発機構 (2001b): 広域地下水流動研究年度報告書 (平成 12 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-017.

#### 2) 地質・地質構造に関する調査研究

- ・井上大栄, 水落幸広, 桜田裕之 (1992): リニアメントの断裂系としての特性とその評価, 応用地質, 33, pp.147-156.
- ・糸魚川淳二 (1980): 瑞浪地域の地質, 瑞浪市化石博物館専報, No.1, pp.1-50.
- ・核燃料サイクル開発機構 (2001a): 広域地下水流動研究年度報告書 (平成 11 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-008.
- ・核燃料サイクル開発機構 (2001b): 広域地下水流動研究年度報告書 (平成 12 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-017.
- ・三枝博光, 前田勝彦, 稲葉 薫 (2001): 水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価 (その 6) - 不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析, 地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集, pp.299-308.

#### 3) 岩盤の水理に関する調査研究

- ・Iwatsuki, T., Xu, S., Mizutani, Y., Hama, K., Saegusa, H. and Nakano, K. (2001): Carbon-14 study of groundwater in the sedimentary rocks at the Tono study site, central Japan, Appl. Geochem., 16, pp.849-859.
- ・核燃料サイクル開発機構 (2001): 広域地下水流動研究 年度報告書 (平成 12 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-017.
- ・須山泰宏, 三枝博光 (2000): 広域地下水流動研究における地質構造モデルの構築と地下水流動解析, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-012.

#### 4) 地下水の地球化学に関する調査研究

- ・岩月輝希, 村上由記, 長沼 毅 (2000): 深部地下環境における微生物によるコロイド生成, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会要旨集 CD-ROM, A6-P003.
- ・Iwatsuki, T. and Yoshida, H. (1999): Water chemistry and mineralogy of fracture systems in the basement granite in the Tono uranium mine area, Gifu Prefecture, central Japan, Geochem. Jour., 33, pp.19-32.
- ・徐 勝, 岩月輝希, 伊藤 茂, 阿部雅人, 渡辺雅人 (1999): 花崗岩中の地下水の年代推定, 1999 年度日本地球化学会講演要旨集, p.78.

### ロ) 地質評価手法に関する研究 (地下施設スケール)

#### 1) 研究の概要

- ・原子力安全委員会 (2000): 高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的な考え方について (第 1 次報告) .
- ・原子力委員会 (2000): 原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画 (平成 12 年 11 月 24 日) .
- ・Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) (1999): Working programme for MIU-4 borehole investigations, JNC Tech. Rep., JNC TN7410 99-007.
- ・核燃料サイクル開発機構 (2001): 超深地層研究所計画の現状 - 平成 8 年度 ~ 11 年度 -, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2000-014.
- ・核燃料サイクル開発機構 (2002): 超深地層研究所地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018.

- ・中野勝志，大澤英昭（2001）：超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状，サイクル機構技報，No.12（2001.9），pp.91-106.
- ・National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra) (1999)：Synthesis of geological investigations at Wellenberg, Nagra Bulletin No.32.
- ・大澤英昭，中野勝志，太田久仁雄（2001）：超深地層研究所計画における地表からの調査研究成果の統合化，日本原子力学会「2001 年秋の大会」予稿集，p.918.

## 2) 地質・地質構造に関する調査研究

- ・天野健治，前田勝彦，熊崎直樹，水野 崇，三枝博光，竹内真司，濱 克宏，中野勝志，グレン マックラック，リチャード ムカフ（2001）：透水性割れ目を同定・分類する地質学的調査手法の開発，日本地質学会第 108 年 学術大会講演要旨，p.172.
- ・Briggs, I.C. (1974): Machine contouring using minimum curvature, Geophys., 39, pp.39-48.
- ・井上大栄，水落幸広，桜田裕之（1992）：リニアメントの断裂系としての特性とその評価，応用地質，33， pp.147-156.
- ・糸魚川淳二（1980）：瑞浪地域の地質，瑞浪市化石博物館専報，No.1，pp.1-50.
- ・中野勝志，大澤英昭（2001）：超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状，サイクル機構技報，No.12（2001.9），pp.91-106.
- ・三枝博光，前田勝彦，稲葉 薫（2001）：水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価（その 6） - 不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析，地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集， pp.299-308.

## 3) 岩盤の水理に関する調査研究

- ・糸魚川淳二（1980）：瑞浪地域の地質，瑞浪市化石博物館専報，No.1，pp.1-50.
- ・核燃料サイクル開発機構（2001a）：超深地層研究所計画の現状 - 平成 8 年度～11 年度 - ，サイクル機構 技術資料，JNC TN7400 2000-014.
- ・核燃料サイクル開発機構（2001b）：広域地下水流動研究の現状 - 平成 4 年度～11 年度 - ，サイクル機構 技術資料，JNC TN7400 2001-001.
- ・小出 馨，杉原弘造，長谷川健，武田精悦（2001）：花崗岩を対象とした深部地質環境の調査技術開発の 課題と現状 - 測定データの品質保証の観点で構築した地下水調査法の提案 - ，資源と素材，117， pp.785-793.
- ・中野勝志，大澤英昭（2001）：超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状，サイクル機構技報，No.12（2001.9），pp.91-106.
- ・三枝博光，前田勝彦，稲葉 薫（2001）：水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価（その 6） - 不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析，地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集， pp.299-308.
- ・澤田 淳，三枝博光，竹内真司，中野勝志，井尻裕二（2001）：水理地質構造モデル化概念の違いによる 深部地下水流動への影響評価（その 1） - 複数の概念モデル化手法による不確実性の検討，地盤工学会 「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集，pp.249-258.

## 4) 地下水の地球化学に関する調査研究

- ・動力炉・核燃料開発事業団（1997）：広域地下水流動研究基本計画，動燃事業団技術資料，PNC TN7020 98-001.
- ・Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) (1999)：Working programme for MIU-4 borehole investigations, JNC Tech. Rep., JNC TN7410 99-007.
- ・核燃料サイクル開発機構（2001a）：超深地層研究所計画の現状 - 平成 8 年度～平成 11 年度 - ，サイクル機構 技術資料，JNC TN7400 2001-001.
- ・核燃料サイクル開発機構（2001b）：超深地層研究所計画年度報告書（平成 12 年度），サイクル機構技術 資料，JNC TN7400 2001-011.

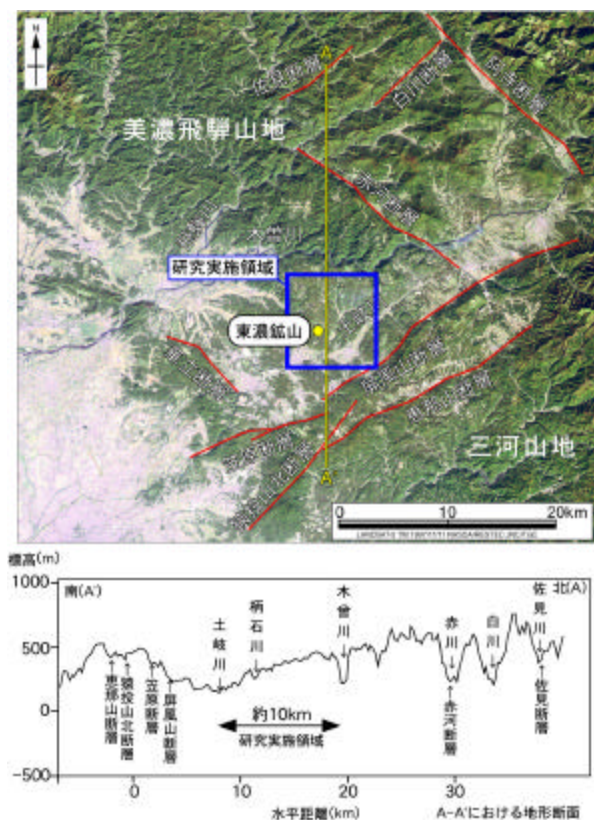


図 1 広域地下水流動研究の研究実施領域

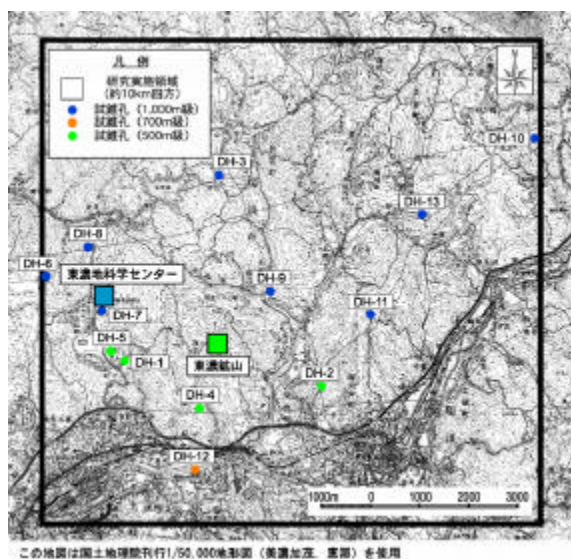


図 3 試錐孔位置図

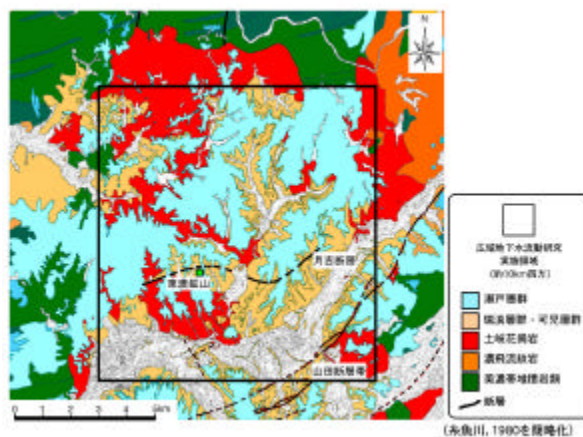


図 2 研究実施領域周辺の地質状況

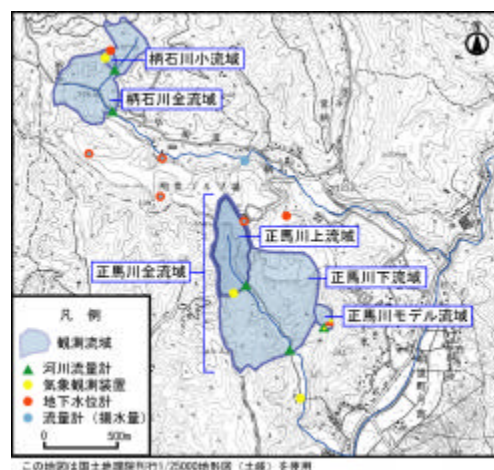


図 4 水収支観測点位置図

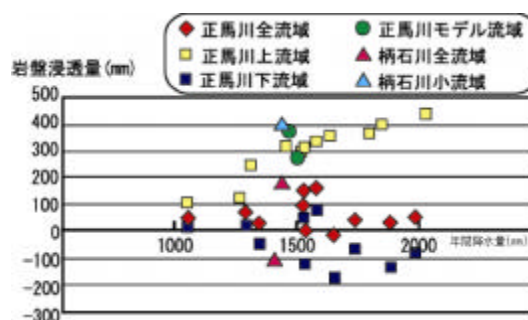


図 5 各年度の降水量と岩盤浸透量との相関

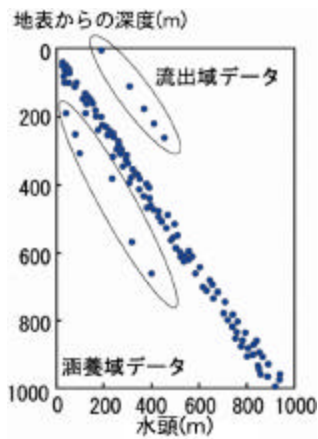


図 6 研究実施領域における水頭分布

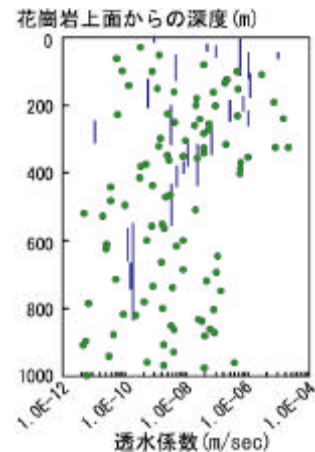


図 7 土岐花崗岩の透水係数と深度との関係

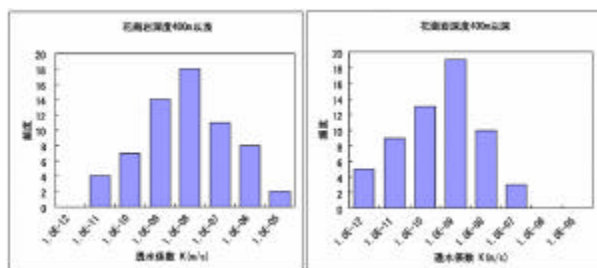


図 8 土岐花崗岩の透水係数分布

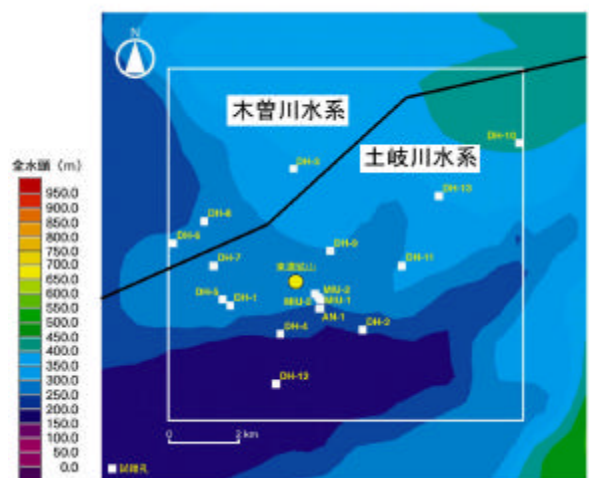


図 9 地下水流動解析結果（水頭分布）

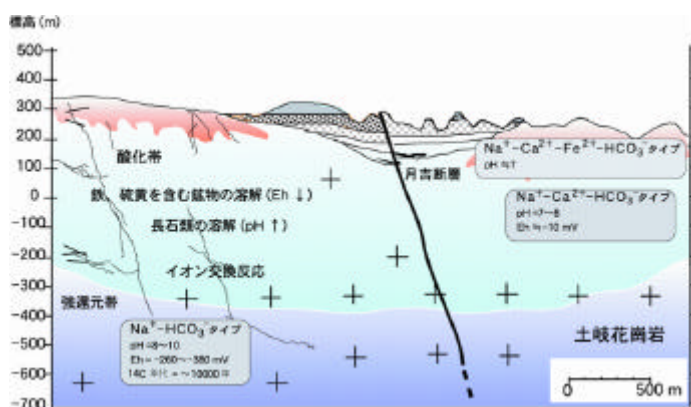


図 10 土岐花崗岩中の地下水水質形成モデル

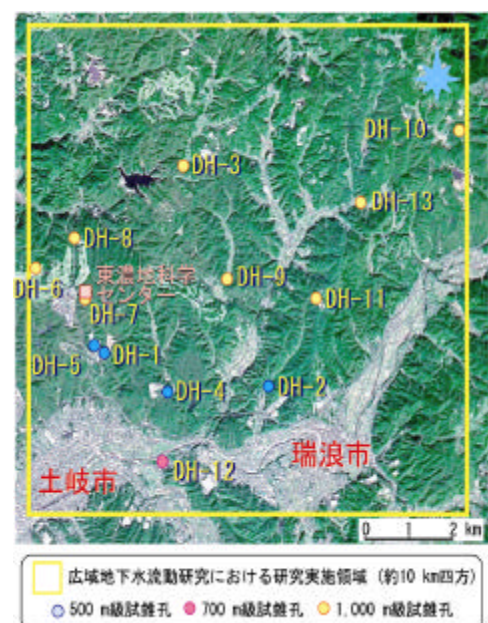


図 11 試錐孔位置図

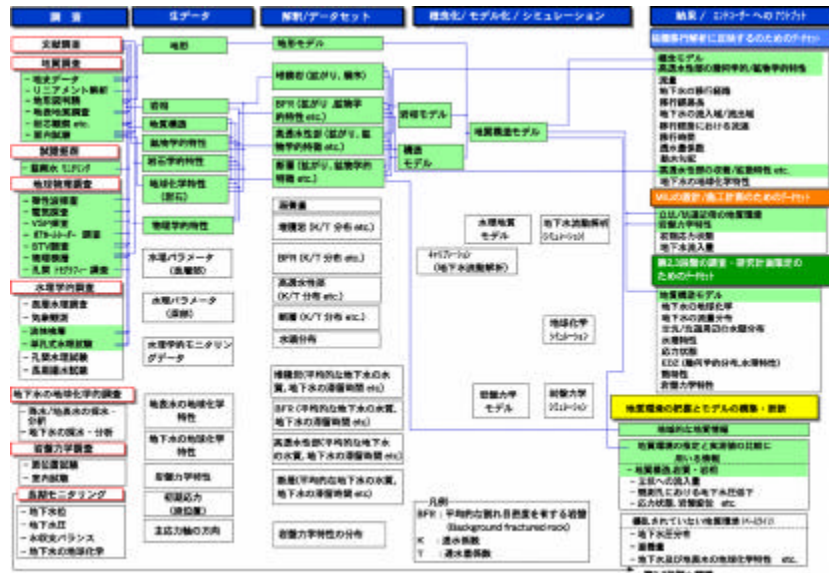


図 12 統合化データフローの例（地質・地質構造）

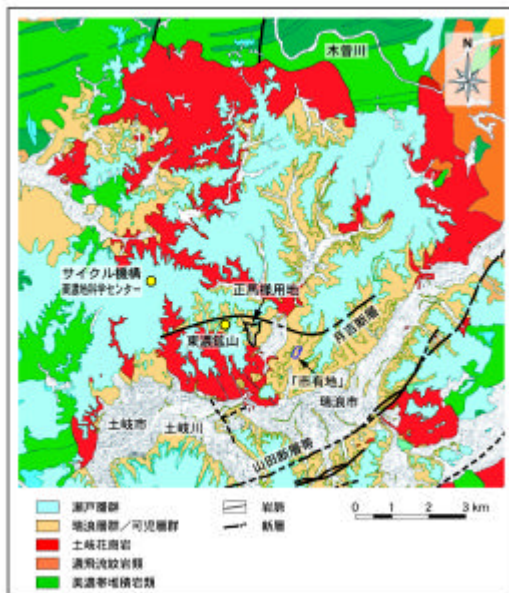
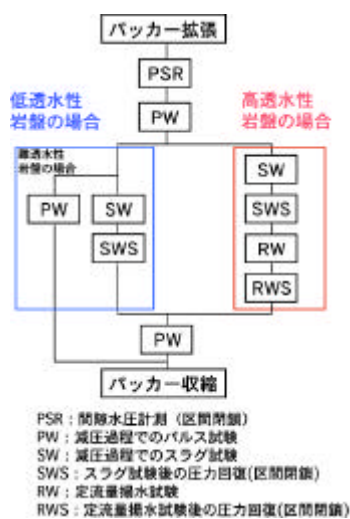
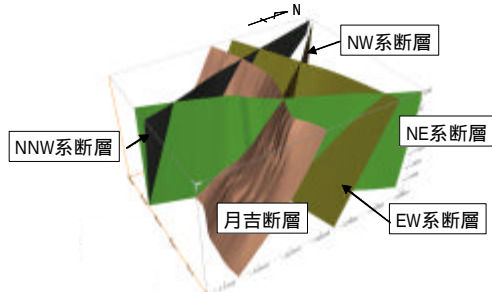
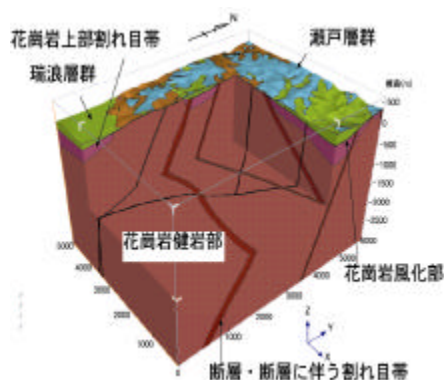
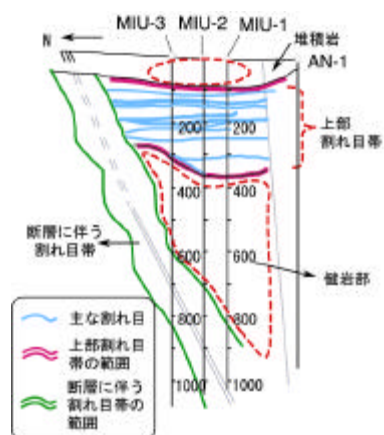
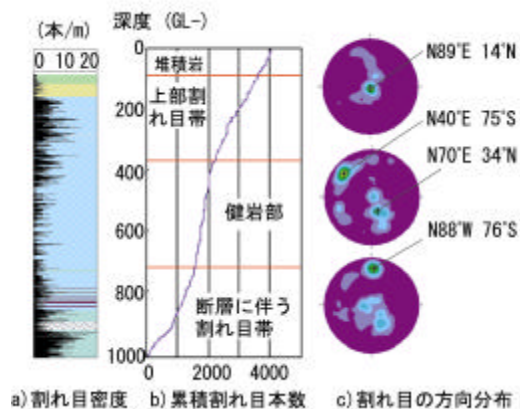


図 13 地質概要



|         | これまでの調査項目                                                                                                                  | 目的                                                                                                |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 表層地質調査  | 河川流量観測、気象観測、表層地下水位観測、土壌水分観測、など                                                                                             | 表層の未固結砂礫層から岩盤への地下水の面量を推定する。                                                                       |
| 地下水位観測  | 自由地下水位面観測<br>M P による観測 (AN-1,3,MIU-1,3号孔)                                                                                  | 領域の定常的な地下水位およびボーリング孔掘削による地下水位の変化の実測値を取得する。<br>水みちでの定常的な間隙水圧とボーリング孔掘削による間隙水圧の変化の実測値を取得する。          |
| 物理探査    | 電気探査 (1測線×約200m)<br>電磁探査 (MT法)<br>反射法 (1測線×約600m)<br>VSP (発振7点、～GL-112m)                                                   | 不整合、地層構造、変質帯、破砕帯などの分布・連続性を推定する。                                                                   |
| ボーリング調査 | ○標準ボーリング孔<br>・AN-1号孔(鉛直孔) 約1,000m<br>・AN-3号孔(鉛直孔) 約400m<br>○新掘ボーリング孔<br>・MIU-1,2,3号孔 (鉛直孔) 各約1,000m<br>・MIU-4号孔(傾斜孔) 約790m | 領域の地質とその分布を確認する。また、水みちとなりうる地質構造要素(断れ、断層、褶曲)を抽出し、その特徴を把握する。<br>領域での透水係数の深部変化、および水みちの透水係数の実測値を取得する。 |
|         |                                                                                                                            | 領域に分布する地質の地球化学的特性とその深部方向の変化を把握する。<br>領域に分布する花崗岩の力学特性とその深部方向の変化を把握する。                              |

図 14 正馬様用地におけるこれまでの調査・研究の概要



| 採水区間：掘削長82.50～88.65m<br>地質：土岐夾炭層 |       |                                      |      |
|----------------------------------|-------|--------------------------------------|------|
| pH                               | 9.5   |                                      |      |
| EC (μ/Scm)                       | 157   |                                      |      |
| Eh <sub>Fe</sub> (mV)            | -88   |                                      |      |
| Eh <sub>NO</sub> (mV)            | -7    |                                      |      |
| DO (ppb)                         | 0.0   |                                      |      |
| Na <sup>+</sup> (mg/ℓ)           | 49.83 | F (mg/ℓ)                             | 6.67 |
| K <sup>+</sup> (mg/ℓ)            | 0.20  | Cl <sup>-</sup> (mg/ℓ)               | 1.03 |
| Mg <sup>2+</sup> (mg/ℓ)          | <0.1  | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/ℓ) | 4.94 |
| Ce <sup>2+</sup> (mg/ℓ)          | 1.44  | H <sub>2</sub> S (mg/ℓ)              | 0.27 |
| T.Fe (mg/ℓ)                      | <0.05 | 7日/度 (meq/ℓ)                         | 1.76 |
| Al (mg/ℓ)                        | <0.1  | TiC (mg/ℓ)                           | 17.9 |
| Si (mg/ℓ)                        | 5.8   | TOC (mg/ℓ)                           | 1.5  |
| 掘水量 (ℓ)                          |       | 1891.6                               |      |
| 蛍光染料(アミノG酸) (mg/ℓ)               |       | 0.33                                 |      |

表 1 掘削長 82.50-88.65m 区間の化学成分

## (別紙リスト)

- (1)200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ<sup>1</sup> (2002): 200 万分の 1 日本列島活断層図, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.39-40.
- (2)天野健治, 前田勝彦, 熊崎直樹, 水野 崇, 三枝博光, 竹内真司, 濱 克宏, 中野勝志, グレン・マックランク, リチャード・メトカーフ (2001): 透水性割れ目を同定・分類する地質学的手法の開発 - [ その 1: 土岐花崗岩体を例とした研究開発の現状と課題 ] - , 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.172.
- (3)Arthur, R.C., Iwatsuki, T., Hama, K., Amano, K., Metcalfe, R. and Ota, K. (2001): The redox environment of deep groundwaters associated with the Tono uranium deposit, Japan. Abst. 2001 MRS Fall Meeting, Boston, Massachusetts, November 26-30, 2001, p.687.
- (4)朝倉利明, 東條文治, 鎌滝孝信 (2002): 下総層群地蔵堂層から産出した二枚貝化石の種組成・殻サイズ・成長速度の変化と相関について, 日本古生物学会第 151 回例会講演予稿集, p.53.
- (5)第四紀火山カタログ委員会<sup>2</sup> (2002): 日本の第四紀火山カタログ, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.57-62.
- (6)伊達二郎, 高橋 洋, 矢野雄策, 田中明子, 高橋正明, 大久保泰邦, 笹田政克, 梅田浩司, 中司 昇, 小松 亮 (2002): 全国地温勾配図の作成, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.67-72.
- (7)段丘アトラスワーキンググループ<sup>3</sup> (2002): 段丘アトラス, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.108-110.
- (8)檀原 徹, 岩野英樹, 藤原 治 (2002): 第四紀テフラ資料の高精度年代測定 - その試料評価と測定精度, トラック長解析を中心として - , わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.86-91.
- (9)Debski, W. (2001): Tomographic imaging of thermally induced fractures in granite using bayesian inversion, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, Sr-001.
- (10)Debski, W. and Ando, M. (2002): Robust and accurate seismic (acoustic) ray tracer. Abst. 2002 Japan - Taiwan Joint Seminar on Earthquake Mechanisms and Hazards, Nagoya, Japan, 27-28 January 2002.
- (11)Doughty, C. and Karasaki, K. (2001): Evaluation of uncertainties due to hydrogeological modeling and groundwater flow analysis (2) - LBNL effective continuum model using TOUGH2 - , 地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集, pp.259-268.
- (12)藤縄明彦, 林信太郎, 梅田浩司 (2001): 安達太良火山の K-Ar 年代 - 安達太良火山形成史の再検討 - , 火山, 46, pp.95-106.
- (13)藤田夕佳, 村上由記, 長沼 毅, 岩月輝希, 濱 克宏 (2001): 東濃地域における地下水微生物相の分子系統学的解析, 第 18 回しんかいシンポジウム予稿集, p.196.
- (14)藤原 治 (2001): 第四紀構造盆地の沈降量図, 小池一之・町田 洋 編「日本の海成段丘アトラス」, 東京大学出版会, pp.85-96.
- (15)藤原 治 (2001): 高密度での <sup>14</sup>C 年代測定による完新世の地震イベント解析, 第 14 回タンデム加速器およびその周辺技術の研究会報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7200 2001-001, pp.158-161.
- (16)藤原 治, 鎌滝孝信 (2001): いわゆる " 混合群集 " を利用した地層からのイベント解読 - 南関東の完新統の津波堆積物を例として - , 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.126.
- (17)藤原 治, 三箇智二, 大森博雄 (2001): 日本列島における侵食速度の分布 (CD-ROM 版), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-015.
- (18)Hama, K., Bateman, K., Coombs, P., Hards, V.L., Milodowski, A.E., West, J.M., Wetton, P.D., Yoshida, H. and Aoki, K. (2001): Influence of bacteria on rock-water interaction, and clay mineral formation in subsurface granitic environments. Clay Min., 36, pp.599-613.
- (19)花木達美, 鈴木 一, 小谷静夫 (2001): 東濃鉱山におけるモニタリングシステムについて, 資源と素材, 117, pp.351-353.

- (20)原口 強, 藤原 治, 高田圭太 (2002): 海岸移動調査のためのジオスライサー地層採取法, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.95-101.
- (21)羽佐田葉子, 熊澤峰夫 (2001): ブートストラップ法を用いた存否イベント解析の誤差評価, 日本地震学会講演予稿集 2001 年度秋季大会, P101.
- (22)ハスパートル, 安江健一, 竹内 章 (2001): 跡津川断層中部で新たに確認された断層露頭とその意義, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.270.
- (23)ハスパートル, 安江健一, 竹内 章, 那須忠利 (2001): 跡津川断層中部で新たに確認された断層露頭 (速報), 活断層研究, 20, pp.46-51.
- (24)畑 浩二 (2002): 土岐花崗岩体の力学物性評価のための室内試験, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 株式会社大林組), JNC TJ7400 2001-016.
- (25)広城吉成, 神野健二, 佐伯和利, 池見洋明, 岩月輝希, 松岡信明, 岡村正紀, 田籠久也 (2002): 環境同位体による塩水化地下水の地球化学的考察, 水工学論文集, 46, pp.205-210.
- (26)細田 宏, 下山昌宏, 永野修一, 竹村聖吾 (2002): MIU-2 号孔における地下水水圧・水質観測装置の引上げ作業, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 応用地質株式会社), JNC TJ7440 2001-035.
- (27)細野隆康, 前村庸之 (2002): 不飽和領域の原位置計測手法の研究 (平成 13 年度), サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 株式会社ダイヤコンサルタント), JNC TJ7400 2001-014.
- (28)市川 康明 (2002): 長期岩盤挙動評価のための微視的観点による基礎的研究, サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 名古屋大学), JNC TJ7400 2001-017.
- (29)稲葉 薫, 登坂博之, 三枝博光, 徳永朋祥 (2001): 海域を含む大規模地表・地下水モデリングの試み, 日本応用地質学会平成 13 年度研究発表会講演論文集, pp.339-342.
- (30)石丸恒存, 藤原 治, 郡谷順英, 中司 昇, 三箇智二, 布施圭介 (2001): 日本列島における地下地質情報 (CD-ROM 版), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-016.
- (31)石丸恒存, 角田地文 (2002): 日本列島における大規模火砕流の特徴と熱的影響解析, サイクル機構技報, No.14(2002.3), pp.161-170.
- (32)伊藤久雄, 桑原保人, 今西和俊, 木口 努, 西上欽也, 水野高志, ハスパートル, 竹内 章 (2001): 発破による茂住祐延断層の微細構造: 概要, 日本地震学会講演予稿集 2001 年度秋季大会, P054.
- (33)伊藤 茂, 徐 勝, 阿部雅人, 渡辺雅人, 有我真希, 岩月輝希 (2001): 東濃地科学センターにおけるペレットロンの現状, 第 14 回タンデム加速器およびその周辺技術の研究会報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7200 2001-001, pp.51-54.
- (34)岩月輝希, 濱 克宏 (2001): 東濃ウラン鉱床を対象としたナチュラルアナログ研究: 地下水・鉱物データに基づく酸化還元フロントの解析, 日本原子力学会 2001 年秋の大会予稿集, p.933.
- (35)Iwatsuki, T., Metcalfe, R., Amano, K., Hama, K., Arthur, R.C. and Sasamoto, H. (2001): Data book on groundwater chemistry in the Tono area. JNC Tech. Rep., JNC TN7450 2001-003.
- (36)岩月輝希, 村上由記, 長沼 毅 (2001): 深部地下環境における微生物によるコロイド生成, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, A6-P003.
- (37)岩月輝希, 佐竹 洋, 吉田英一, 濱 克宏 (2001): 方解石の結晶形・同位体に基づく地下深部の古水理地球化学的研究, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, A0-P003.
- (38)岩月輝希, 徐 勝, 伊藤 茂 (2001): 岐阜県東濃地域における C-14 を用いた研究の現状, 第 14 回タンデム加速器およびその周辺技術の研究会報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7200 2001-001, pp.108-111.
- (39)Jin, A.S., Moya, C.A. and Ando, M. (2000): Simultaneous determination of site responses and source parameters of small earthquakes along the Atotsugawa fault zone, central Japan. Bull. Seismol. Soc. Amer., 90, pp.1430-1445.
- (40)海域地質構造マップワーキンググループ<sup>4</sup> (2002): 日本周辺海域の地質構造マッピング, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.41-46.
- (41)角田地文, 石丸恒存, 松崎達二, 鎌田浩毅, 檀原 徹 (2001): 日本列島における大規模火砕流の特徴と基盤岩への熱的影響解析, 日本応用地質学会中部支部平成 13 年度研究発表会講演予稿集,

pp.15-20 .

- (42)核燃料サイクル開発機構(2001): 地質環境の長期安定性に関する研究年度計画書(平成13年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-014 .
- (43)核燃料サイクル開発機構(2001): 超深地層研究所地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-009 .
- (44)核燃料サイクル開発機構(2001): 超深地層研究所計画年度報告書(平成11年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-003 .
- (45)核燃料サイクル開発機構(2001): 超深地層研究所計画年度報告書(平成12年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-011 .
- (46)核燃料サイクル開発機構(2001): 超深地層研究所計画年度計画書(平成11年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-004 .
- (47)核燃料サイクル開発機構(2001): 超深地層研究所計画年度計画書(平成13年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-013 .
- (48)核燃料サイクル開発機構(2001): 超深地層研究所計画の現状 - 平成8年度~平成11年度, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-001 .
- (49)核燃料サイクル開発機構(2001): 第14回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7200 2001-001 .
- (50)核燃料サイクル開発機構(2001): 平成13年度地層科学研究情報・意見交換会 - 要旨集 -, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-011 .
- (51)核燃料サイクル開発機構(2001): 広域地下水流動研究年度報告書(平成11年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-008 .
- (52)核燃料サイクル開発機構(2001): 広域地下水流動研究年度報告書(平成12年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-017 .
- (53)核燃料サイクル開発機構(2001): 広域地下水流動研究年度計画書(平成12年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-002 .
- (54)核燃料サイクル開発機構(2001): 広域地下水流動研究年度計画書(平成13年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-012 .
- (55)核燃料サイクル開発機構(2001): 東濃鉱山における調査試験研究年度報告書(2000年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-007 .
- (56)核燃料サイクル開発機構(2001): 東濃鉱山における調査試験研究年度報告書(平成11年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-006 .
- (57)核燃料サイクル開発機構(2001): 東濃鉱山における調査試験研究年度計画書(2001年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-010 .
- (58)核燃料サイクル開発機構(2001): 東濃鉱山における調査試験研究年度計画書(平成11年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-005 .
- (59)核燃料サイクル開発機構(2002): 超深地層研究所地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018 .
- (60)核燃料サイクル開発機構(2002): 超深地層研究所計画年度計画書(平成13年度改定版), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-019 .
- (61)鎌滝孝信, 藤原 治(2001): 急速埋没イベントを示す貝類化石群: 千葉県館山市に分布する完新統の例, 日本第四紀学会2001年大会講演要旨集, pp.20-21 .
- (62)鎌滝孝信, 藤原 治(2001): 地層に高密度で放射性炭素年代値を入れる意義: 房総半島における研究例から, 第14回タンデム加速器およびその周辺技術の研究会報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7200 2001-001, pp.118-121 .
- (63)鎌滝孝信, 藤原 治(2001): 房総半島九十九里浜の完新統における前浜 - 外浜環境を示す貝化石群, 日本地質学会第108回学術大会講演要旨, p.125 .
- (64)鎌滝孝信, 藤原 治(2002): 九十九里浜平野地下に分布する完新統の発達過程, 日本古生物学会第151回例会講演予稿集, p.52 .
- (65)神谷俊治, 狩野公明, 供田 高(2001): 平成13年度正馬川モデル流域河川流量計の拡充, サイク

- ル機構技術資料（契約業務報告書；株式会社三弘），JNC TJ7440 2001-031．
- (66)菊地直樹，近藤康生，鎌滝孝信（2001）：天草下島牛深沖で漁網に引き上げられた絶滅種トウキョウホタテを含む貝類遺骸群（予報），日本古生物学会 2001 年年会講演要旨集，p.189．
- (67)小出 馨（2001）：衛星データによる地すべり地の規模及び活動性の推定，日本応用地質学会平成 13 年度研究発表会講演論文集，pp.183-186．
- (68)小出 馨，前田勝彦（2001）：東濃地域を対象とした広域地下水流動研究の現状（その 2），サイクル機構技報，No.12(2001.9)，pp.107-122．
- (69)小出 馨，杉原弘造，長谷川健，武田精悦（2001）：花崗岩を対象とした深部地質環境の調査技術開発の課題と現状 - 測定データの品質保証の観点で構築した地下水調査法の提案，資源と素材，117，pp.785-793．
- (70)小松 亮，黒墨秀行，福田大輔，浅沼幹祐，梅田浩司（2002）：温泉地化学データベースの作成，わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2001-018，pp.77-81．
- (71)小松 亮，福田大輔，浅沼幹弘，石丸恒存，佐野有司（2001）：紀伊半島における温泉ガスのヘリウム同位体比分布，日本火山学会講演予稿集 2001 年度秋季大会，p.162．
- (72)近藤康生，鎌滝孝信（2001）：房総第四系の二枚貝類を中心とする陸棚底生群集の再評価、特に貧化石層に含まれる低多様度の群集について，第四紀研究，40，pp.259-265．
- (73)河村知徳，太田陽一，荒井良祐，小先章三，平田 直，伊藤谷生，井川 猛，石丸恒存（2002）：野島断層 3 次元・2 次元高分解能反射法地震探査，わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2001-018，pp.51-54．
- (74)倉本真一，中尾征三，湯浅真人，村上文敏，長谷川功，中司 昇，高木俊夫，雷 興林（2001）：「日本周辺海域音波探査データベース（CD-ROM 版）」（編集・発行 地質調査所）．
- (75)黒瀬 歩，Brouard,B.，青木和弘，前川恵輔，川村 淳（2002）：間隙水圧の地震時動的挙動解析，わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2001-018，pp.55-56．
- (76)熊崎直樹，水野 崇，前田勝彦，竹内真司，中野勝志，グレン・マックランク，天野健治（2001）：透水性割れ目を同定・分類する地質学的手法の開発 - [ その 3：地球物理学的手法（物理検層）を用いた試み ] - ，日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨，p.173．
- (77)國友孝洋，熊澤峰夫（2001）：回転型 ACROSS 震源装置の新制御システム，日本地震学会講演予稿集 2001 年度秋季大会，P100．
- (78)町田 洋（2002）：日本列島の海岸線：「日本の段丘アトラス」，わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2001-018，pp.23-29．
- (79)前田勝彦，熊崎直樹，水野 崇，濱 克宏，中野勝志，リチャード・メトカーフ，天野健治（2001）：透水性割れ目を同定・分類する地質学的手法の開発 - [ その 2：鉱物学的・地球化学手法を用いた試み ] - ，日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨，p.172．
- (80)Mamada,Y.，Kuwahara,Y.，Ito,H. and Takenaka,H.（2001）：3-D finite-difference simulation of fault zone trapped waves -Application to the fault zone structure of the Mozumi-Sukenobu Fault, central Japan-. 2001 Fall Meeting, Eos, Trans. Amer. Geophys. Union, 82, F886, S41A-0589, American Geophysical Union.
- (81)儘田 豊，桑原保人，伊藤久雄，竹中博士（2001）：3 次元差分法による断層トラップ波のシミュレーション - 茂住祐延断層への適用 - ，日本地震学会講演予稿集 2001 年度秋季大会，C49．
- (82)Martin,A.J.，Takahashi,M. and Amano,K.（2001）：West to east shift of the locus of magmatism of small monogenetic volcanoes in the first collided oceanic arc segment, south Fossa Magna, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨，p.49．
- (83)増田富士雄，藤原 治，酒井哲弥，荒谷 忠（2001）：房総半島九十九里浜平野の海浜堆積物から求めた過去 6000 年間の相対的海水準変動と地震隆起，地学雑誌，110，pp.650-664．
- (84)増田富士雄，藤原 治，酒井哲弥，荒谷 忠，田村 亨，鎌滝孝信（2001）：千葉県九十九里浜平野の完新統の発達過程，第四紀研究，40，pp.223-233．
- (85)松井裕哉，大西有三，大津宏康，西山 哲，矢野隆夫（2002）：地下空洞の変位計測へのデジタル画像計測法の応用，第 11 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集 CD-ROM，H05．

- (86)松崎達二, 梅田浩司, 石丸恒存, 湯佐泰久, 檀原 徹 (2001): 岩石の年代測定による基盤上昇速度推定の試み, 日本応用地質学会平成 13 年度研究発表会講演論文集, pp.203-206 .
- (87)McCrank,G.F., Amano,K., Koide,K., Matsui,H., Mikake,S., Nakano,K., Ota,K., Saegusa,H., Sugihara,K., Takeda,S. and Takeuchi,S. (2001): Mizunami Underground Research Laboratory in Japan - Pre-excavation site characterization and influence on design concepts. Proc. 8th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation (ICEM'01), Brugge, Belgium, September 30-October 3 2001, CD-ROM, American Society of Mechanical Engineers.
- (88)McCrank,G.F., Amano,K., Nakano,K., Takeuchi,S., Hama,K., Osawa,H. and Sugihara,K. (2001): The Mizunami Underground Research Laboratory: Geotechnical and science challenges, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.304 .
- (89)McCrank,G.F.D., Sugihara,K., Ota,K., Mikake,S., Amano,T., Koide,K. and Takeda,S. (2001): The MIU Research Laboratory, Japan - Geoscience activities during construction and operation. Proc. 9th International High-level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM), Las Vegas, USA, April 29-May 3, 2001, CD-ROM, American Nuclear Society.
- (90)McKenna,S.A., Eliassi,M., Inaba,K. and Saegusa,H. (2001): Evaluation of uncertainties due to hydrogeological modeling and groundwater flow analysis (Part5) -Groundwater flow modeling focused on complexity in the interpreted fault network using POR-SALSA-, 地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集, pp.289-298 .
- (91)Metcalfe,R. (2001): Geochemical approaches to evaluate groundwater flow system stability: Implications of research at Sellafield, UK and Äspö, Sweden, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, A0-005 .
- (92)Metcalfe,R. (2001): Some implications for site characterisation to Horonobe from experience at Sellafield, U.K. and Äspö, Sweden: Constraining groundwater flow models using hydrogeochemistry, 日本原子力学会 2001 年秋の大会予稿集, p.総 8 .
- (93)Metcalfe,R., Amano,K., Hama,K., Iwatsuki,T., Saegusa,H., Arthur,R.C. and Pearson,F.J. (2001): Groundwater geochemistry in the Toki granite - New approaches for understanding a groundwater flow system using groundwater geochemistry (a case study of the Toki granite) -, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.174 .
- (94)Metcalfe,R., Kunimaru,T., Hama,K., Amano,K. and Iwatsuki,T. (2001): Water-rock interaction around the fault: Implications for waste disposal. Proc. 10th International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-10), Villasimius, Italy, 10-15 July 2001, vol.2, pp.1343-1346, A.A.Balkema, The Netherlands .
- (95)水野 崇(2001): DH-12 号試錐掘削ならびに調査研究結果速報, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-009 .
- (96)水野 崇(2001): DH-13 号試錐掘削ならびに調査研究結果速報, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-010 .
- (97)水野 崇, 熊崎直樹, 前田勝彦, 中野勝志, グレン・マックランク, 天野健治 (2001): 透水性割れ目を同定・分類する地質学的手法の開発 - [ その 4: 構造地質学的手法を用いた試み ] -, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.173 .
- (98)水田義明 (2001): 3 次元応力場の同定手法に関する研究, サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 社団法人資源・素材学会), JNC TJ7400 2001-012 .
- (99)Möri,A., Geckeis,H., Missana,T., Guimera,J., Degueudre,C., Meyer,P., Ota,K., Papenguth,H., Alexander,W.R. and Hernan,P. (2001): The Colloid and Radionuclide Retardation Experiment (CRR) at the Grimsel Test Site -First evidences for the colloid-mediated radionuclide transport in a granitic fracture. Abst. 8th International Conference on Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration '01) Bregenz, Austria, 16-21 September 2001, p.117.
- (100)森田 豊, 渡辺邦夫 (2001): 水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価 (その 4) - 大断層の地下水流動と物質移動に与える影響に着目したフラクチャー・ネットワーク

- 解析 - ,地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集 ,pp.279-288 .
- (101)向山 栄,猪股隆行,榎田祐子,梅田浩司(2002):第四紀火山地形解析,わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集,サイクル機構技術資料,JNC TN1400 2001-018, pp.63-66 .
- (102)中島崇裕,國友孝洋,熊澤峰夫,横山由紀子,茂田直孝(2001):東濃電磁アクロスシステムを用いた連続送信実験,地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集,Eq-P011 .
- (103)中野勝志,大澤英昭(2001):超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状,サイクル機構技報,No.12(2001.9), pp.91-106 .
- (104)中尾征三,湯浅真人,倉本真一,長谷川功,中司 昇,高木俊男,長谷川正,畑山一人(2002):日本周辺海底地質図および音波探査プロファイルデータベース,わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, pp.49-50 .
- (105)中田 高(2002):日本の活断層:「活断層詳細 GIS マップからわかること」,わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集,サイクル機構技術資料,JNC TN1400 2001-018, pp.13-15 .
- (106)田智浩,徳永朋祥,浅井和見,三枝博光(2001):沿岸海底からの淡水性湧水の採水 - 黒部川扇状地沖合での例 - ,月刊地球,23, pp.857-862 .
- (107)中田智浩,徳永朋祥,浅井和見,渡辺正晴,茂木勝郎,三枝博光(2001):海底からの淡水性湧水分布のマッピング - 黒部川扇状地沖合での検討 - ,日本応用地質学会平成 13 年度研究発表会講演論文集, pp.343-346 .
- (108)中山芳樹,竹友将典(2002):AI 孔を用いた水位観測調査業務(AI 孔水位計設置(その2)),サイクル機構技術資料(契約業務報告書;株式会社日本パブリック), TJ7440 2001-034 .
- (109)西垣 誠,南部卓也,竹内竜史,竹内真司(2001):クロスホール試験の解析法の開発に関する研究,サイクル機構技術資料,JNC TY7400 2001-002 .
- (110)野原 壯,田中秀実,渡辺邦夫,古川 昇,高見 明(2001):茂住祐延断層帯周辺岩盤の水理地質学的特徴,地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集,Sm-007 .
- (111)大久保誠介(2002):長期岩盤挙動評価のための巨視的観点による基礎的研究,サイクル機構技術資料(研究委託報告書;東京大学),JNC TJ7400 2001-010 .
- (112)奥野孝晴,池田和隆,中山文也,石丸恒存(2002):活断層における空中物理探査,わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集,サイクル機構技術資料,JNC TN1400 2001-018, pp.37-38 .
- (113)Onishi,C.T. and Shimizu,I. (2001): Characterization of pore structure of crystalline rock affected by a reverse fault using laser scanning confocal microscope technique, Tono area, Japan. Abst. Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics, Noordwijkerhout, Netherlands, 2-4 April 2001, p.125.
- (114)大西セリア智恵美,清水以知子,上原真一,溝口一生,嶋本利彦(2001):断層近傍の花崗岩の間隙構造と浸透率:予察,地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, A9-P002 .
- (115)大澤英昭,中野勝志,太田久仁雄(2001):超深地層研究所計画における地表からの調査研究成果の統合化,日本原子力学会 2001 年秋の大会予稿集, p.918 .
- (116)大澤英昭,佐藤 努,古屋和夫,児玉敏雄,酒井隆太郎(2002):断層活動に伴う周辺地下水流動系の変化に関する数値解析的検討 - 野島断層周辺の二次元浸透流解析 - ,わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集,サイクル機構技術資料,JNC TN1400 2001-018, pp.47-48 .
- (117)太田久仁雄,Alexander, W.R. (2001):結晶質岩を対象とした放射性核種の移行・遅延モデルの構築と妥当性評価 - Nagra/JNC 原位置試験研究の概要 - ,サイクル機構技報, No.11(2001.6), pp.119-128 .
- (118)Ota,K., Alexander,W.R., Smith,P.A., Möri,A., Friedg,B., Frick,U., Umeki,H., Amano,K., Cowper,M.M. and Berry,J.A. (2001): Building confidence in radionuclide transport models for fractured rock: The Nagra/JNC Radionuclide Retardation Programme. Sci. Basis Nucl. Waste Manag. XXIV.
- (119)Ota,K., Möri,A., Schild,M. and Alexander,W.R. (2001): Influence of the mode of matrix

- porosity determination on matrix calculations. Abst. 8th International Conference on Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration'01), Bregenz, Austria, 16-21 September 2001, p.87.
- (120)三枝博光, 前田勝彦, 稲葉 薫 (2001): 水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価 (その 6) - 不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析 -, 地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集, pp.299-308.
- (121)三枝博光, 森田 豊, 渡辺邦夫 (2001): 水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価 (その 4) - 大断層の地下水流動と物質移動に与える影響に着目したフラクチャー・ネットワーク解析 -, 地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集, pp.279-288.
- (122)坂井哲郎, 柿田 毅, 鈴木 一 (2001): 微風速条件下における東濃鉱山の熱環境解析, 資源素材学会 2001 年春季大会講演集(I)資源編, pp.95-96.
- (123)榊 利博, Rajaram,H., 松井裕哉, 長沼 毅 (2002): 亀裂性堆積岩の不飽和領域における水分移動, 月刊地球/号外, 36, pp.68-73.
- (124)酒見 泰, 高橋嘉夫, 濱 克宏, 天野健治, 清水 洋 (2001): 地下深部の花崗岩の水 - 岩石反応に伴う希土類元素の挙動, 日本地球化学会 2001 年会, p.11.
- (125)三箇智二, 藤原 治, 大森博雄 (2002): 日本列島における侵食速度の分布, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.111-115.
- (126)笹田政克, 矢野雄策 (2002): 地下の温度構造: 「日本列島地温勾配図」, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.10-12.
- (127)笹尾英嗣, 宮田初穂 (2001): 第 14 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, サイクル機構技報, No.12(2001.9), pp.149-150.
- (128)澤田 淳, 三枝博光, 竹内真司, 中野勝志, 井尻裕二 (2001): 水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価 (その 1) - 複数の概念モデル化手法による不確実性の検討 -, 地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集, pp.249-258.
- (129)榎木義一 (2002): 深部地質環境の調査・解析技術の体系化に関する研究 (その 2), サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 社団法人システム総合研究所, JNC TJ7400 2001-011).
- (130)瀬戸政宏, 相馬宜和, 前田信行, 松井裕哉, Villaescusa,E., 勝山邦久 (2001): AE 法と DRA による地下応力測定試験方法とケーススタディ, 資源と素材, 117, pp.829-835.
- (131)嶋田 純, 高倉 望, 濱 克宏, 小島圭二, 山川 稔 (2001): 地下水中の環境同位体から見た再冠水時の地下水挙動, 日本地下水学会 2001 年秋季講演会要旨集, p.20.
- (132)清水以知子, 大西セリア智恵美, 溝口一生, 上原真一, 嶋本利彦 (2001): 断層近傍の花崗岩の浸透率と間隙構造, 日本地質学会第 108 回学術大会講演要旨, p.91.
- (133)Shimo,M., Nishijima,N. and Fumimura,K. (2001): Evaluation of uncertainty due to hydrogeological modeling and groundwater flow analysis (3) -Taisei Equivalent Heterogeneous Continuum Model using EQUIV\_FLO-, 地盤工学会「亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム」発表論文集, pp.269-278.
- (134)下山 昌宏 (2001): 平成 13 年度明世地区表層水理研究測量調査, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 応用地質株式会社), JNC TJ7440 2001-030.
- (135)進士喜英, 狩野裕之, 竹内真司, 竹内竜史 (2001): 井戸貯留の影響下での回復試験の実施と解析方法に関する一考察 - 揚水/回復過程で井戸貯留を変更する場合 -, 第 36 回地盤工学研究発表会, pp.1243-1244.
- (136)Stenhouse,M.J., Arthur,R.C., Ota,K. Iwatsuki,T., Metcalfe,R. and Takase,H. (2001): Application of systems analysis to a natural analogue project. Abst. 2001 MRS Fall Meeting, Boston, Massachusetts, November 26-30, 2001, p.688.
- (137)須藤茂夫, 水田義明 (2002): 3 次元応力場の同定手法に関する研究報告書, サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 資源・素材学会), JNC TJ7400 2001-012.

- (138)鈴木毅彦, Eden, D., 檀原 徹, 藤原 治 (2001): 東北日本弧の大規模火砕流にともなう中期更新世広域テフラ - 八甲田国本テフラ -, 日本第四紀学会 2001 年大会講演要旨集, pp.8-9.
- (139)鈴木毅彦, Eden, D., 檀原 徹, 藤原 治 (2001): 東北日本の大規模火砕流は広域テフラを生産したか?, 月刊地球, 23, pp.610-613.
- (140)平 朝彦 (2002): 地球システム変動の理解と予測, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.1-3.
- (141)高木俊男, 柳田 誠, 小澤昭男, 藤原 治 (2002): 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.82-85.
- (142)高木俊男, 藤原 治, 佐々木勝司, 川崎輝祐 (2002): 沈降量分布図, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.102-107.
- (143)武田精悦 (2002): 地質環境の長期安定性に関する将来予測研究の課題, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.31-35.
- (144)棚瀬充史, 水落幸弘, 小松 亮, 梅田浩司 (2002): 貫入岩体が地質環境へ与える熱的, 力学的影響の調査 - 成果と今後の課題 -, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.73-76.
- (145)谷本大輔, 長沼 毅, 村上由記, 渡辺史子, 天野健治, 岩月輝希, 濱 克宏 (2001): 脂質分析による東濃地域の深部地下微生物相の推定, 第 18 回しんかいシンポジウム予稿集, pp.194-195.
- (146)徳永朋祥, 浅井和見, 中田智浩, 谷口真人, 嶋田 純, 三枝博光 (2001): 沿岸海底下での地下水採取技術の開発とその適用 - 黒部川扇状地沖合での例 -, 地下水学会誌, 43, pp.279-287.
- (147)徳山英一, 本座栄一, 木村政昭, 倉木真一, 芦寿一郎, 岡村行信, 荒戸裕之, 伊藤康人, 徐 垣, 日野亮太, 野原 壯, 阿部寛信, 坂井真一, 向山建二郎 (2001): 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史, 海洋調査技術, 13, pp.27-53.
- (148)徳山英一, 海域地質構造マップ WG (2002): 日本列島の生い立ち: 「日本列島周辺海域の構造発達史」, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.16-21.
- (149)鳥井原誠, 丸山 誠, 畑 浩二, 鈴木健一郎 (2002): 応力集中による破壊現場のモデル化に関する研究 (その 1), サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 株式会社大林組), JNC TJ7400 2001-013.
- (150)鶴我佳代子, 國友孝洋, 茂田直孝, 羽佐田葉子, 熊澤峰夫, 山岡耕春 (2001): 可搬型アクロス震源による地下構造探査手法の開発 ~ 第一報 ~ 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集 Su-P003.
- (151)徐 勝, 星住英夫, 落合洋治, 青木治三, 宇都浩三 (2001): 新期雲仙火山の加速器放射性炭素年代, 第 48 回日本地球化学会年会講演要旨集, pp.150.
- (152)徐 勝, 星住英夫, 落合洋治, 青木治三, 宇都浩三 (2001): 雲仙火山科学掘削コア試料の AMS14C 年代, 第 14 回タンデム加速器およびその周辺技術の研究会報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7200 2001-001, pp.130-134.
- (153)山田裕司, 福津久美子, 床次眞司, 一坪宏和, 花木達美 (2001): GSA 法によるラドン子孫核種の粒径分布測定, 日本原子力学会 2001 秋の大会予稿集, p.6.
- (154)山口正秋, 須貝俊彦, 大森博夫, 藤原 治, 鎌滝孝信, 杉山雄一 (2002): 濃尾平野における完新統の堆積速度とその時間変化, 日本地理学会発表要旨集, 61, p.136.
- (155)山口正秋, 須貝俊彦, 太田 剛, 大森博雄, 杉山雄一, 藤原 治 (2001): ボーリング・コアの総合解析にもとづく濃尾平野の堆積環境の推定, 日本地理学会 2001 年度秋季学術大会講演要旨集 p.90.
- (156)山口卓哉, 小嶋 智, 矢入憲二, 中居 優, 中野勝志 (2001): 美濃帯メランジュの頁岩基質の透水性 - ボーリングコアを用いた室内透水試験 -, 日本応用地質学会中部支部平成 13 年度支部研究発表会予稿集, pp1-4.
- (157)山本卓也, 窪田 茂 (2002): 双設坑道安定性評価試験における調査計画・施工計画の策定, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 大成建設株式会社), JNC TJ7400 2001-015.
- (158)柳田 誠, 藤原 治, 佐々木俊法, 三筒智二 (2001): 日本の地滑り地形分布図 - 地形・地質との関連 -, 日本応用地質学会中部支部平成 13 年度支部研究発表会講演予稿集, pp.11-14.

- (159)柳田 誠, 佐々木俊法, 藤原 治 (2001): 起伏量と谷密度による山地と丘陵との区分, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, Qm-P009.
- (160)米田茂夫, 伊勢明広, 藤原 治, 松末和之 (2002): 日本列島周辺における第四紀後期の気候および海水準の変遷, わが国の地質環境の長期安定性について - 天然事象研究シンポジウム - 要旨集, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2001-018, pp.92-94.
- (161)湯佐泰久 (2001): 自然から学ぶ放射性廃棄物処分の智慧 - 地質学の役割 -, 日本地質学会発行「明日を拓く地質学 - 現場に応える地質学へ - 」, pp.82-112.
- (162)Zhou, Q.Y., Matsui, H. and Shimada, J. (2002): Characterization of unsaturated zone near around cavity in fractured rocks by using electrical resistivity tomography. Proc. Bridging the Gap between Measurement and Modeling in Heterogeneous Media, Berkeley, California, 25-28 March, 2002, pp.179-183.
- (163)Zhou, Q.Y., Matsui, H., Shimada, J. and Sato, A. (2002): Applications of electrical resistivity tomography in mapping rock dispersivity and monitoring water flow in heterogeneous media. Proc. Bridging the Gap between Measurement and Modeling in Heterogeneous Media, Berkeley, California, 25-28 March, 2002, pp.173-178.
- (164)周 啓友, 松井裕哉, 嶋田 純, 佐藤 朗 (2001): 地面配置電極による地下水水位変動を検知する比抵抗映像法の有効性, 日本水文学会学術大会発表要旨集 15, pp.18-21.

<sup>1</sup>200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ: 中田 高, 東郷正美, 今泉俊文, 渡辺満久, 堤 浩之, 千田 昇, 奥村晃史, 宮内崇裕, 鈴木康弘, 岡田篤正, 松田時彦, 隈元 崇, 野原 壯, 郡谷順英, 佐々木達哉, 三輪敦志, 高橋奈緒.

<sup>2</sup>第四紀火山カタログ委員会: 宇井忠英, 荒牧重雄, 河内晋平, 小林哲夫, 小山真人, 佐藤博明, 高橋正樹, 千葉達朗, 津久井雅志, 林信太郎, 梅田浩司, 湯佐泰久.

<sup>3</sup>段丘アトラスワーキンググループ: 小池一之, 町田 洋, 山崎晴雄, 鈴木毅彦, 貝塚爽平, 米倉伸之, 長岡信治, 前杵英明, 八木浩司, 渡辺満久, 宮内崇裕, 藤原 治.

<sup>4</sup>海域地質構造マップワーキンググループ: 徳山英一, 芦寿一郎, 荒戸裕之, 伊藤康人, 岡村行信, 木村政昭, 倉本真一, 徐 垣, 日野亮太, 本座栄一, 安間 恵, 半場康弘, 向山建二郎, 野原 壯, 郡谷順英.

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

2 - 3 ( 2 - 2 - 3 )

### 【研究課題名(Title)】

堆積岩に関する地質環境評価手法に関する研究

(Understanding the Undisturbed Deep Geological Environment of Sedimentary Rocks)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 青木 和弘 (あおき かずひろ)

[ 所属 ] 幌延深地層研究センター 研究調整グループ

[ 連絡先 ] 〒098-3207 北海道天塩郡幌延町宮園町1-8 電話 : 01632-5-2022

(Name) Kazuhiro AOKI

(Title of Function) Co-ordination Group, Horonobe Underground Research Center

(Address and Phone) 1-8 Miyazono-machi Horonobe-cho Teshio-gun, Hokkaido, 098-3207 Japan

Phone : +81-1632-5-2022

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

幌延深地層研究センター

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

幌延深地層研究計画は、調査研究の開始から調査研究の終了まで 20 年程度の計画とし、「地上からの調査研究段階 ( 第 1 段階 )」「坑道掘削時の調査研究段階 ( 第 2 段階 )」「地下施設での調査研究段階 ( 第 3 段階 )」の 3 つの段階に分けて実施する。本計画は平成 12 年 3 月から開始されたので、平成 13 年度は、「地上からの調査研究段階 ( 第 1 段階 )」の 2 年目 ( 実質的には 1 年目 ) にあたる。

平成 13 年度までの第 1 段階の初期の調査研究結果に基づいて、平成 14 年度の早期に幌延深地層研究所設置地区を選定する。その後、平成 14 年度の調査データを参考にするとともに、土地利用状況や開発行為に伴う許認可手続き等を総合的に検討し、平成 14 年度内に研究所設置場所を決定する。

[ 研究目的 ]

堆積岩を対象とした地質環境に関するデータを整備し、これらを基に地質環境評価手法を開発することにより、安全基準・指針類の策定及び安全評価手法の確立と関連する地質環境評価手法の信頼性向上に資する。( 堆積岩を対象に地質環境調査技術を適用、具体的データを取得し、得られた情報を用いて安全評価手法を適用することにより、今後の安全基準や指針等の策定に資する知見を得る。 )

## [ 研究内容 ]

### イ) 地表からの調査によるデータ取得、モデル化

堆積岩を対象に物理探査手法やボーリング調査等の地表からの調査技術を適用し、地表から地下深部までの体系的な地質環境データを取得し、これらのデータを基に地質構造、岩盤力学、地下水流動、地下水地球化学、地下施設掘削影響領域などの地質環境をモデル化することを通じて、地表からの調査技術及びモデル化技術の開発を行う。

### ロ) モデルの妥当性評価手法の検討

坑道掘削を伴う次の段階で使用するこれらモデルの妥当性の評価手法を検討する。

### ハ) モニタリングシステムの検討

調査活動や地下施設の建設が地質環境に与える影響を観測するためのモニタリングシステムを検討する。

## 【研究の達成目標（平成13年度）】

### イ) 地表からの調査によるデータ取得、モデル化

空中物理探査、地上物理探査、地質調査、試錐調査を行い、地表から地下深部までの地層の分布や断層などの地質構造、地下水の透水性や水質、地層の強度などのデータを取得し、モデル化を行うとともに、これらの知見を研究所設置地区の選定に用いる。また、表層水理データ取得のための観測システムの検討を行う。

### ロ) モデルの妥当性評価手法の検討

地質環境をモデル化するための基本となる地質構造モデルを検討し、これを可視化する。地下水の水理モデルでは、解析領域の取り方が解析結果に与える影響などの検討を行う。地下水の地球化学モデル及び岩盤力学モデルは、試錐調査により取得される各地質環境データを基に具体的なモデルを構築する手法の検討を行う。

### ハ) モニタリングシステムの検討

試錐孔を用いたモニタリング技術開発では、堆積岩地域の試錐孔を利用したモニタリング方法を構築するため、海外での実施例を調査する。遠隔監視システムの開発では、受信システムの整備を行う。

## 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

### イ) 地表からの調査によるデータ取得、モデル化

#### 1) 物理探査

既存地質情報等から研究の対象となる堆積岩が深度 500m 程度に十分な広がり・厚さで分布すると推定される地域を包含する範囲について、ヘリコプターを用いた空中物理探査（電磁、磁気、自然放射能探査）、地上物理探査（電磁探査）を実施した。

空中物理探査、地上物理探査（電磁探査）の結果は、研究所設置候補区域の選定の際に前提とした地質分布、地質構造等と整合的であった。また、既存試錐調査及び現在実施中の試錐調査の比抵抗検層データとの比較においても概ね調和的な結果が得られた。

空中電磁探査の結果は、砂岩、礫岩を主体とする更別層、勇知層の分布域を  $30 \sim 500 \Omega \cdot m$  程度の高比抵抗として捉え、泥質岩を主体とする声間層、稚内層、増幌層（上部泥岩層）分布域が  $1 \sim 10 \Omega \cdot m$  程度の低比抵抗を示すのと対照的である（図1）。

空中磁気探査結果は、全体的に南西から北東へ磁気が低下する傾向があり、既存の広域磁気図の傾向と調和的である。砂岩を主体とする更別層と勇知層との境界部で北北西 - 南南東方向の高磁気異常が分布し、ヌカナン断層の東においても増幌層の砂岩の分布に対応すると考えられる高磁気異常が分布している（図2）。空中放射能探査結果は、天塩川沿いの沖積低地や丘陵地の沢部で自然放射線強度が高い傾向があるが、地質や地質構造との明瞭な相関は認められない（図3）。

地上物理探査（電磁探査）結果では、比抵抗の平面分布は、本地域の地質構造と調和的に北北西 - 南南東方向の傾向を示し、地表～海拔 - 500m 程度までは大曲断層西側の砂岩・礫岩を主体とする更別層、勇知層と東側の泥質岩を主体とする声間層、稚内層、増幌層と明瞭なコントラストを示している（図4）。

## 2) 地質調査

既存の地質情報の確認を行うこと及び岩石鉱物学的基礎データの取得、分析手法の適用性を確認することを目的とし、地表調査及びこの際採取した岩石試料を用いて岩石鉱物学試験（顕微鏡観察・モード分析、粉末X線回折、全岩化学分析、微化石分析、ロックエバル分析、古地磁気分析、年代測定）を実施した。

平成13年度の地表調査からは、概ね既存の地質情報と整合的な結果が得られた。しかし、大曲断層、東側の稚内層分布域に声問層に類似する泥岩が分布することや、従来地層が西傾斜と推定されていた所が東傾斜であることなど、地質層序や地質分布に関する課題の一部が具体的となった。

## 3) 表層水理調査

地下深部での地下水流動を予測するためには、地下水流動の上部境界条件となる「地表から岩盤への浸透量」を明らかにすることが必要である。寒冷地で時代の異なる複数の堆積岩の分布する地域を対象とした表層水理観測流域の選定の考え方、観測流域の抽出及び、観測手法・システムについて検討した。

広域を代表する表層水理データ取得の観点から、幌延町内の地形・地質・被覆（植生）等の条件から代表的な流域を抽出した。また、寒冷地特有の条件を考慮し、冬期における表層水理観測手法・システムを検討した（図5）。この検討結果を基に、平成13年度の厳冬期に河川の流量測定、積雪面蒸発量測定、河川流量観測の凍結防止方法の調査を実施し、現在、データを取りまとめている。

## 4) 試錐調査

対象となる地層の分布を確認するための情報の取得、安全に関わる地層の力学的強度、地下水溶存ガス量に関するデータのほか、地下水の透水性や水質に関するデータ取得のため、2孔の試錐を掘削した。

試錐調査により研究の対象となる地層が深さ500m付近に150m以上の厚さで分布することを確認した。また、調査によって得られた地層の強度やガスのデータに基づき、地下施設を安全に建設できることを確認した。

## ロ) モデルの妥当性評価手法の検討

地表からの調査で得られたデータに基づき、地層や地下水の状況を表す地質環境モデル（地質構造モデル、地下水の水理モデル、地下水の地球化学モデル）を構築した。調査の進展によるデータ数の増加に併せて、それぞれのモデルの更新・改良を逐次行った。

### 1) 地質構造モデル

サイクル機構がこれまでに取りまとめている地質分布や地質層序、断層などの地質構造に関する情報、幌延町内の地質分布や地質層序に関する情報、既存の石油・天然ガス調査井の地質分布に関する情報など、既存の弾性波探査結果による地下の地質分布、大曲断層の位置・傾斜に関する情報などを参考に、幌延町内の地質図及び深さ5,000mまでの地質断面図を作成し、可視化を行った。

#### ) 地表地質図（図6）

既存の地質・地質構造に関する情報に基づき、幌延町内全域の地表地質図について、1:50,000のスケールで取りまとめを行った。

#### ) 地質断面図（図7）

地質構造に関する情報や既存の石油・天然ガス調査井に関する情報、既存の弾性波（地震）探査に関する情報、既存の電磁探査に関する情報を参考に、サイクル機構がこれまでに取りまとめている海拔約-1,500m迄の地質断面図の確認・修正を行うとともに、基盤岩である白亜系が分布する海拔-5,000mまでの地質断面図を作成した。

### 2) 地下水の水理モデル

平成13年度は、地下水流動解析における検討課題のうち、解析領域の設定、涵養量の設定に関する検討を実施した。また、入力データの不確実性が解析結果に及ぼす影響に関する基礎的検討として地下水流動感度解析を実施した。

### 3) 地下水の地球化学モデル

平成 13 年度の地下水の地球化学に関する調査研究では、平成 14 年度の早い時期に行われる、研究所設置地区選定に資するデータ（地下水中のガスの含有量、岩石、地下水の化学組成、酸化還元電位など）を取得すると共に、各調査において取得される地球化学データの品質管理方法、技術の検討を行った。

HDB-2 孔から採取された地下水（344.9m～404.9m 区間）は、掘削水に用いている地下水の電気伝導度に比べ、あきらかに電気伝導度が高いことから塩濃度の高い地下水（塩水系）であると推定される。掘削水の汚染の程度を推定する指標として、揚水時の連続的なモニタリングと蛍光染料濃度が有効であることが分かった。しかしながら、泥水を用いた掘削時に泥水中での蛍光染料の濃度を一定に保つ手法が確立できていないことから、今後検討する必要がある。

### ハ) モニタリングシステムの検討

地質環境の長期的な変化をモニタリングするには、試錐孔での地下水圧・水質、地下水物理化学パラメータなどを測定する「試錐孔を用いたモニタリング技術開発」と弾性波や電磁波を用いた遠隔的なモニタリングを目指した「遠隔監視システムの開発」に分けて技術開発を実施した。

#### 1) 試錐孔を用いたモニタリング技術開発

堆積岩地域の試錐孔を利用したモニタリング方法を構築するため、海外で実施されている様々なモニタリング方法について、機器の材質、耐久性、測定項目などを調査した。その結果、寒冷地でかつ石油やガスの存在する場所において、地下水の圧力変化の測定、地下水の採水及び地下水の温度を測定できるものが、若干の改良で適用できる機種があることが分かった。

#### 2) 遠隔監視システムの開発

地下施設の建設前、建設中、建設後の地質構造や地質環境の変化を、弾性波や電磁波を用いて常時観測する遠隔監視システムのうち、弾性波及び電磁波アクロス用データロガー、弾性波アクロス用地震計、電磁アクロス用磁力計などの受信システムの整備を行った。

### 【研究の達成状況（平成 13 年度）】

#### イ) 地表からの調査によるデータ取得、モデル化

本年度の調査により研究対象となる地層が、深さ 500m 付近に 150m 以上の厚さで分布すること、地層の強度やガスのデータに基づき、地下施設を安全に建設できることを確認した。これらの技術的要件、安全要件に関する検討を行い、研究所設置地区を選定するための準備を行うことができたので、所期の研究目的を達成できた。

#### ロ) モデルの妥当性評価手法の検討

地質環境モデルのうち、地質構造モデルと水理地質構造モデルを作成した。また、地下水の地球化学モデル及び岩盤力学モデルは、試錐調査により取得された各地質環境データを基に、具体的なモデルを構築する手法の検討を行ったので所期の目的を概ね達成した。今後は地質環境（地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤力学）のモデルを作成・更新する。また、モデル作成に用いたデータを現在構築中のデータベースに登録し、データを一元的に管理する。

### ハ) モニタリングシステムの検討

試錐孔を用いたモニタリング技術開発では、海外で実施されているモニタリング方法を若干改良すれば幌延で適用できる機種があることが分かり所期の目的を達成できた。今後は、これらのモニタリング装置からメンテナンス、設置目的などを検討し、適宜試錐孔へ設置する予定。遠隔監視システムの開発では、受信システムの整備を所期の目的どおり達成することができた。今後は、研究所設置地区及びその周辺地区において、受信システムの設置に適した場所の選定の参考とするために、高圧線などによる電氣的ノイズ、自動車などによる地盤の振動などの環境ノイズの測定を行う。

### （今後の予定）

平成 14 年度の早い時期に研究所設置地区を選定し、選定された研究所設置地区とその周辺地区において物理探査、地質調査、表層水理調査、試錐調査を行う。さらに設置地区内で研究所の設置場所を選定する。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究の成果は、堆積岩を対象とした地層処分の安全審査基本指針、安全審査指針の策定において、基準等（設計要件、安全評価シナリオ、安全指標・基準値）を設ける際の科学的根拠の整備に反映できる。具体的には空中及び地上物理探査、試錐調査、地下水や力学の試験、地質環境のモデル化、地質環境の変化の予測解析、モデルの妥当性の確認などに用いる調査の実施手順などのフローである。その中には、物理探査手法の選択や観測条件、水理試験手法の精度や測定区間の設定など個々の調査技術の有効性の評価手法などが含まれる。また、モデル化手法に関するものとしては、モデル化すべき構造の抽出やモデル化に必要なデータの選択、特性の空間分布の推定の方法などモデル化技術の有効性評価手法、予測する手法の選択や、予測する項目、精度、確認の方法など予測解析技術や妥当性確認手法の有効性の評価手法などが含まれる。

### 【研究成果の発表状況】

- (1) 浴 信博、守屋俊文ほか（2002）：幌延深地層研究計画における堆積岩を対象とした物理探査、物理探査学会第106回学術講演会論文集，p.137-140.
- (2) サイクル機構（2001a）：深地層研究所（仮称）計画地表から行う調査研究（第1段階）計画，サイクル機構技術資料，JNC TN1410 2001-001 .
- (3) サイクル機構（2001b）：深地層研究所（仮称）計画平成12年度調査研究計画，サイクル機構技術資料，JNC TN1410 2001-002 .
- (4) サイクル機構（2001c）：幌延深地層研究計画平成13年度調査研究計画，サイクル機構技術資料，JNC TN1410 2001-003 .
- (5) 内田雅大（2001）：幌延における安全評価技術開発上の課題，日本原子力学会「2001年 秋の大会」要旨集，p.総6.
- (6) 山崎真一（2001）：幌延深地層研究計画の概要，日本原子力学会バックエンド部会主催第17回夏期セミナー資料集.
- (7) 山崎真一（2001）：幌延深地層研究計画概要、日本原子力学会「2001年 秋の大会」要旨集，p.総5.
- (8) 油井三和、栗原雄二、宮野前俊一（2001）：幌延における処分技術開発上の課題，日本原子力学会「2001年秋の大会」要旨集，p.総7.

### 【国内外の研究動向】

〔民間の研究の現状と動向〕

（参考文献）

〔海外の研究の現状と動向〕

堆積岩を対象にした地下研究施設は、ベルギー（モル）、スイス（モンテリー）、仏（ビュール）がある。ベルギー及びスイスは「地下施設での調査研究段階（第3段階）」、仏は「坑道掘削時の調査研究段階（第2段階）」に入っている。また、堆積岩中での調査研究に関する国際的な情報交換の場として、Clay Club が毎年1回開催されている。

（参考文献）

### 【研究評価（自己評価）】

○成果の達成レベル

〔チェック欄〕

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

〔説明欄〕

○成果活用方策

〔チェック欄〕

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。

- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
( その理由 : )
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

【自由評価欄】

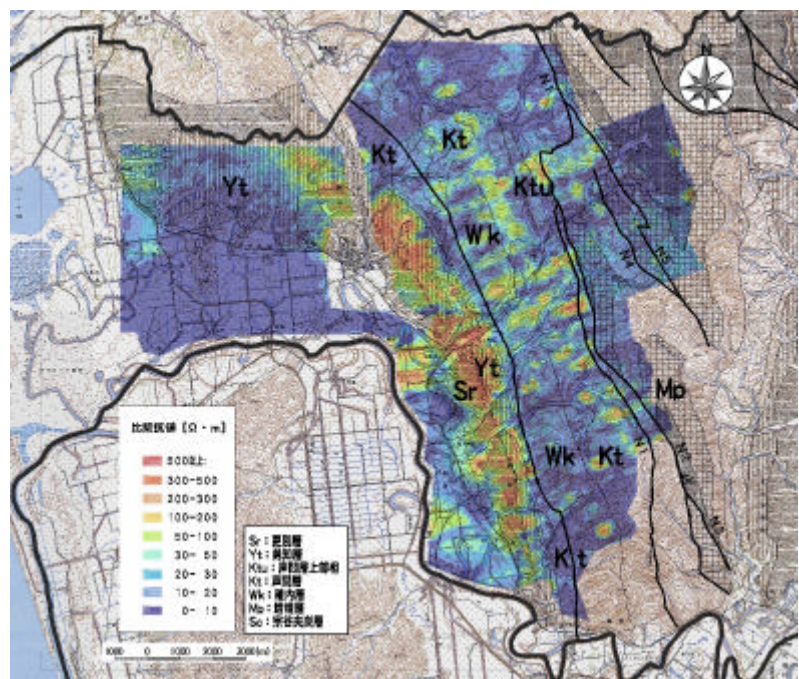


図1 空中電磁探査 見掛比抵抗分布図（100m 深度）

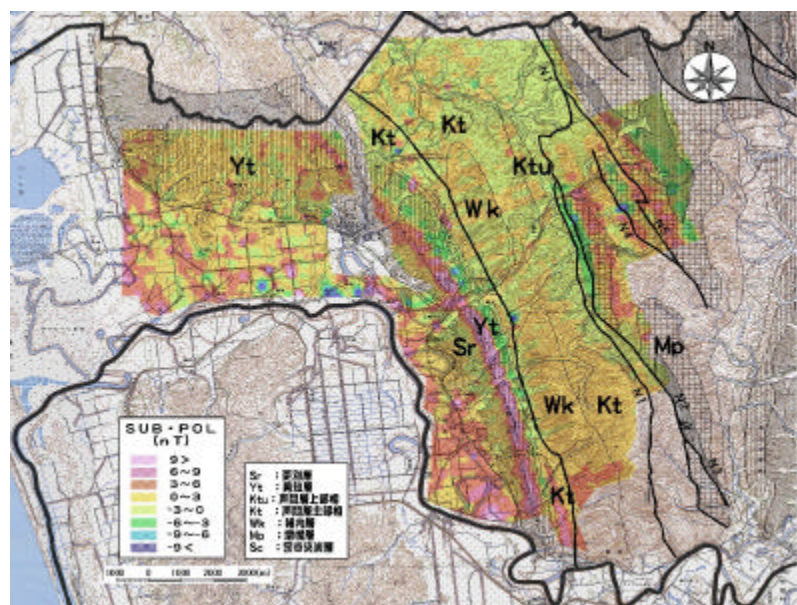


図2 空中磁気探査結果（傾向面解析図：上方接続 500m）

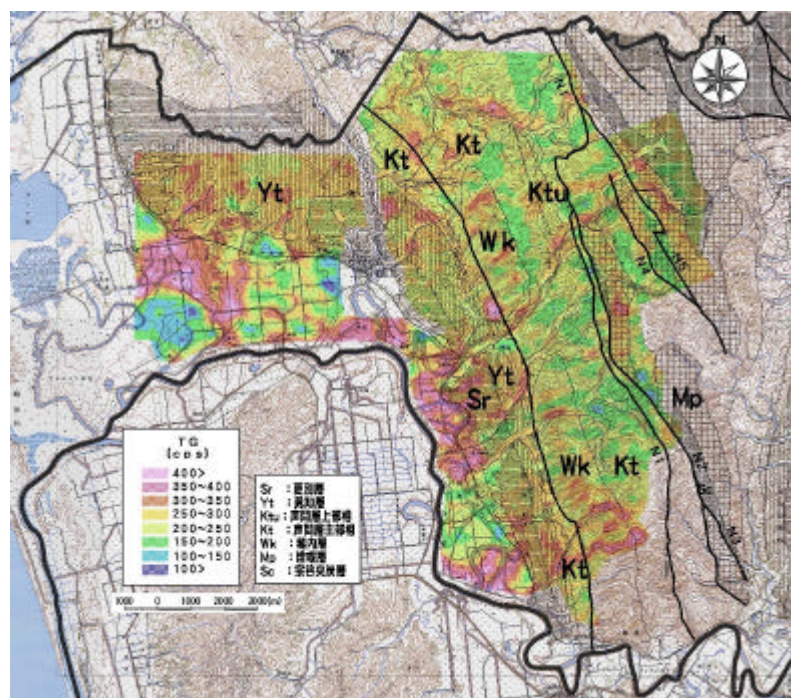


圖3 空中放射能探查結果（全 $\gamma$ 線分布圖）

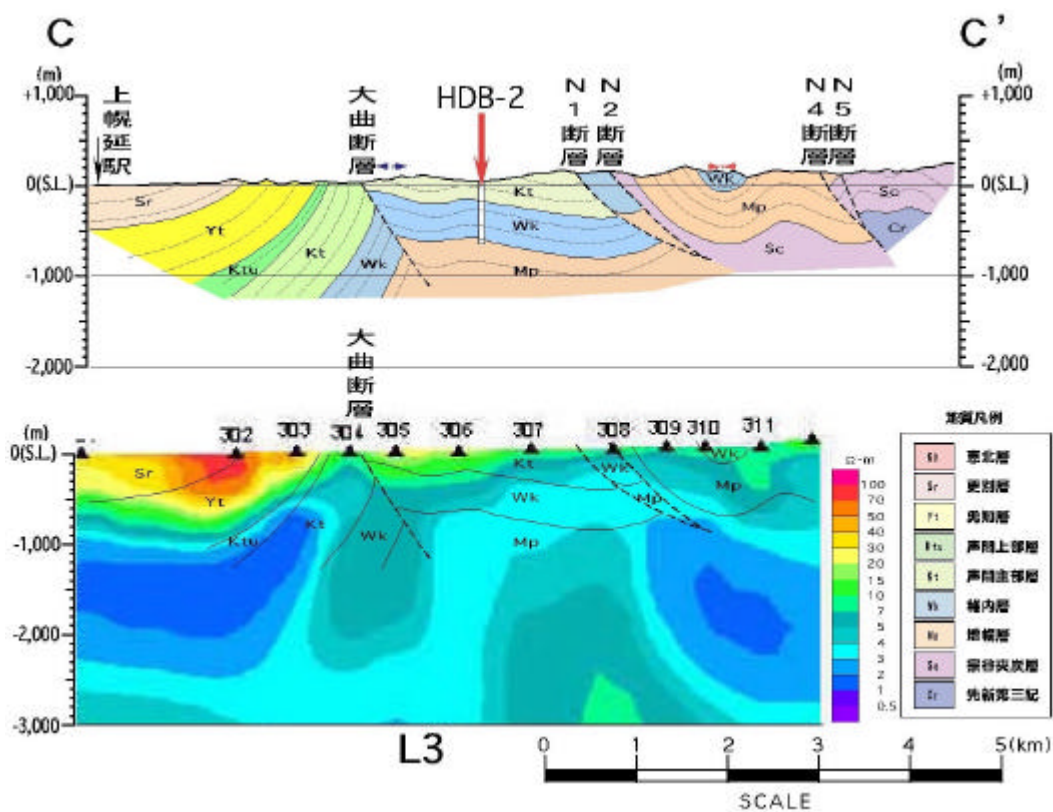


圖4 地上物理探查（電磁探查）調查結果（L3 断面）

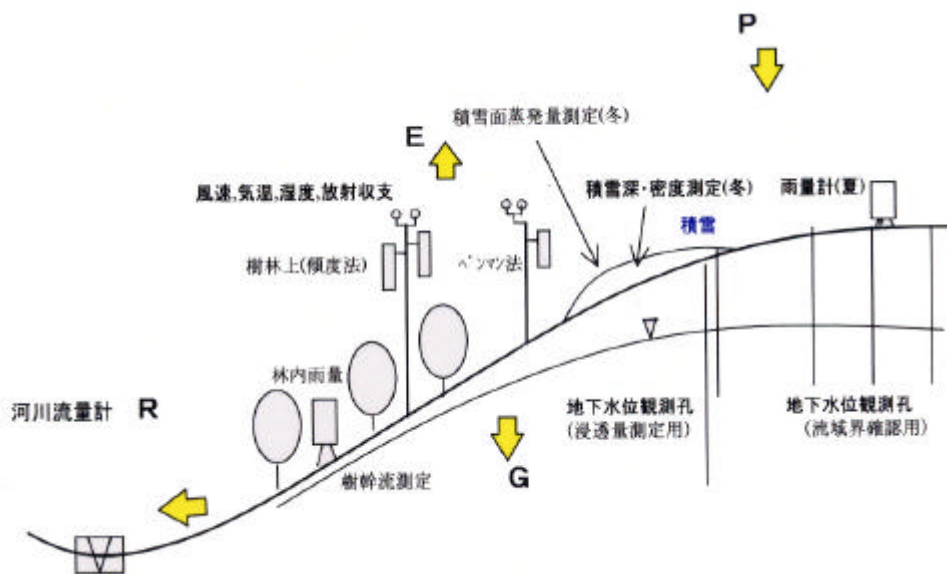


図5 表層水理観測システムの概念

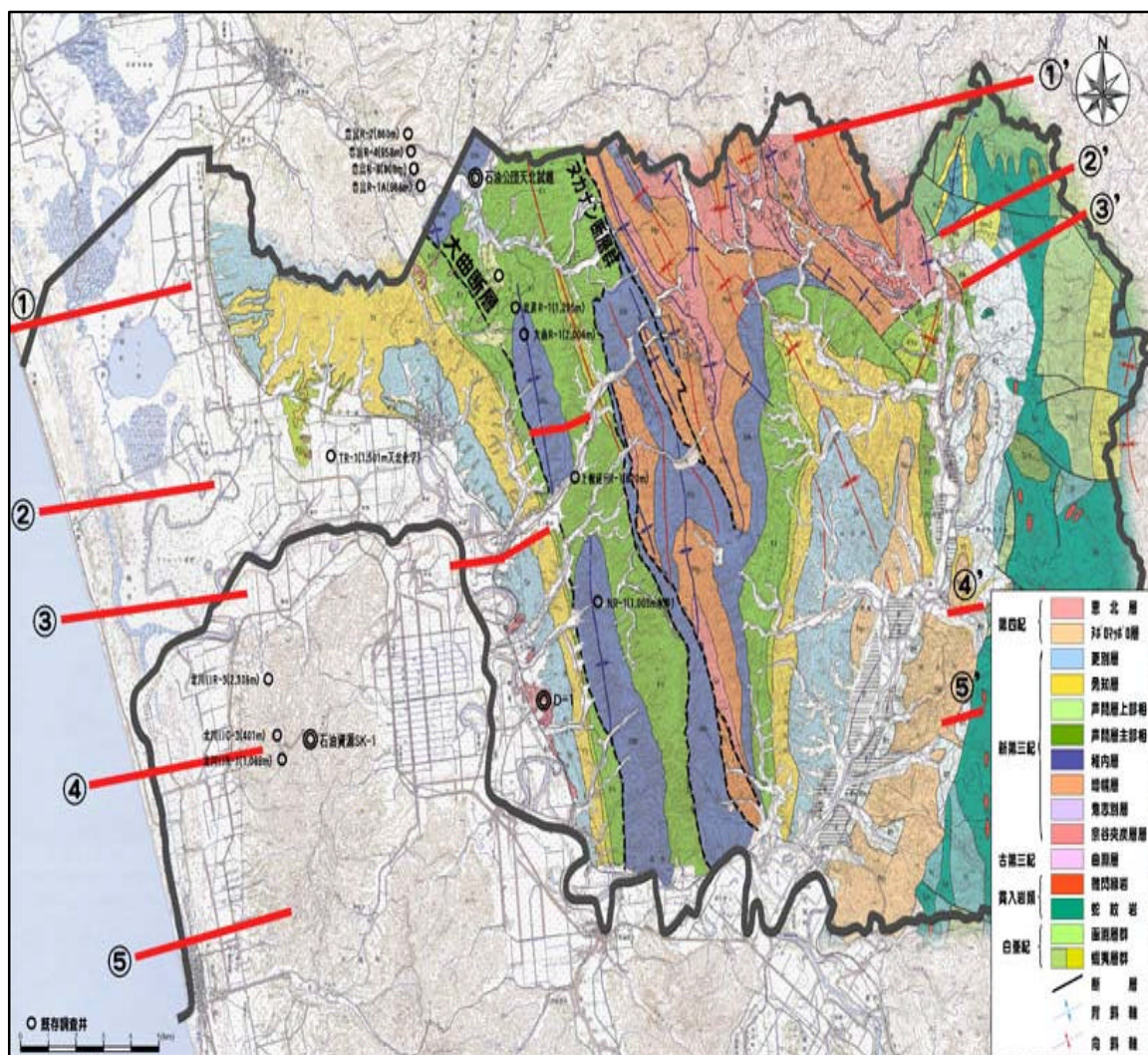


図 6 地表地質図

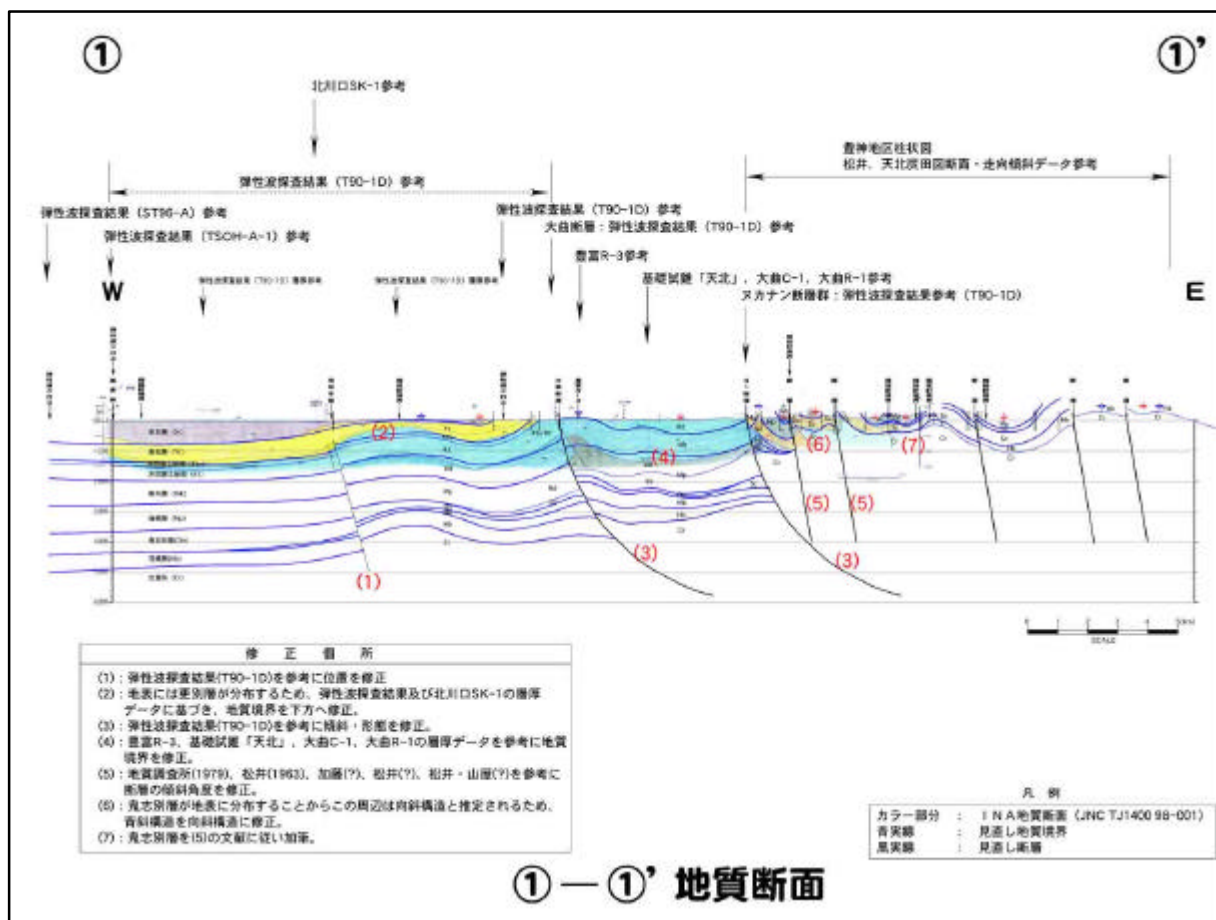


図7 地質断面図

表1 ロックエバル分析結果

|    | 試料番号   | 岩質    | 地層名 | T max<br>( ) | S1<br>(mg/g) | S2<br>(mg/g) | S3<br>(mg/g) | T O C<br>(%) | H I<br>(mg/g) | O I<br>(mg/g) | P I  | S1+S2<br>(mg/g) | S2/S3 |
|----|--------|-------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------|-----------------|-------|
| 1  | 露-9A   | 泥岩    | 声問層 | 389          | 0.15         | 2.27         | 0.79         | 1.60         | 142           | 49            | 0.06 | 2.42            | 2.87  |
| 2  | 露-120  | 珪藻質泥岩 | 声問層 | 398          | 0.15         | 2.81         | 0.61         | 1.57         | 179           | 39            | 0.05 | 2.96            | 4.61  |
| 3  | 露-11   | 珪藻質泥岩 | 声問層 | 400          | 0.14         | 3.27         | 0.59         | 1.67         | 196           | 35            | 0.04 | 3.41            | 5.54  |
| 4  | 露-27   | 珪藻質泥岩 | 声問層 | 404          | 0.14         | 3.31         | 0.57         | 1.50         | 221           | 38            | 0.04 | 3.45            | 5.81  |
| 5  | 露-122  | 珪藻質泥岩 | 声問層 | 396          | 0.19         | 3.14         | 1.20         | 1.68         | 187           | 71            | 0.06 | 3.33            | 2.62  |
| 6  | 露-92   | 珪藻質泥岩 | 声問層 | 401          | 0.14         | 2.55         | 0.83         | 1.54         | 166           | 54            | 0.05 | 2.69            | 3.07  |
| 7  | 露-24A  | 頁岩    | 稚内層 | 419          | 0.02         | 1.42         | 0.63         | 0.87         | 163           | 72            | 0.01 | 1.44            | 2.25  |
| 8  | 露-28   | 頁岩    | 稚内層 | 435          | 0.01         | 0.60         | 0.41         | 0.63         | 95            | 65            | 0.02 | 0.61            | 1.46  |
| 9  | 露-23 C | 泥岩    | 増幌層 | 430          | 0.02         | 0.60         | 0.35         | 0.42         | 143           | 83            | 0.03 | 0.62            | 1.71  |
| 10 | 露-23A  | 泥岩    | 増幌層 | 421          | 0.02         | 0.91         | 0.39         | 0.83         | 110           | 47            | 0.02 | 0.93            | 2.33  |

S1 : 既存の炭化水素, S2 : ケロジェンの熱分解により生じた炭化水素

S3 : ケロジェンの熱分解により生じた二酸化炭素 TOC : 全有機炭素量, HI : Hydrogen Index,

OI : Oxygen Index PI : Production Index ( S1/(S1+S2) )

## 安全研究成果調査票（平成13年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

2 - 4 ( 2 - 2 - 5 )

### 【研究課題名(Title)】

地質環境におけるナチュラルアナログ研究  
(Natural Analogue Study of Geological Environment)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 福島 龍朗(ふくしま たつお)

[所属] 東濃地科学センター 地質環境研究グループ

[連絡先] 〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31 電話番号：0572-53-0211

(Name) Tatsuo FUKUSHIMA

(Title of Function) Geoscience Research Group, Tono Geoscience Center

(Address and Phone) 959-31 Jorinji Izumi Tokishi Gifu 509-5102 Japan

Phone : +81-572-53-0211

### 【研究担当者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 岩月 輝希(いわつき てるき)

[所属] 東濃地科学センター 地質環境研究グループ

(Name) Teruki IWATSUKI

(Title of Function) Geoscience Research Group, Tono Geoscience Center

### 【研究期間】

平成13年度 ~ 平成17年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- ☐ 前期基本計画からの継続（研究課題名：）  
☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] わが国のウラン鉱床に関するナチュラルアナログ研究 - 特に東濃ウラン  
鉱床について - (筑波大学)

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] なし

### 【使用主要施設】

東濃鉱山及び周辺試錐孔

### 【研究概要】

[研究の経緯]

地下深部における、放射性核種の長期間にわたる移行を予測、解析しその安全性を例示するために、ウラン鉱床のナチュラルアナログ研究は大変有効な手法である。地下深部における放射性核種の長期的安定性を示すには、実際に地質環境中に長期間保存されてきたウラン鉱床において、ウラン系列核種の保存状態とその環境が長期にわたって被ってきた地質環境変動を比較解析する必要がある。そのため、東濃ウラン鉱床を対象として、鉱床上流部、下流部においてウラン系列核種の分析を行うとともに、周辺の水理・地球化学環境の長期的変遷を明らかにするための調査解析を実施する。

〔研究目的〕

ウラン鉱床や断層を利用し、想定される地質環境下における物質の固定・移行特性を明らかにするとともに、これらの特性を評価するための調査・解析手法を開発することにより、地層処分の安全評価手法の信頼性向上に資する。

〔研究内容〕

イ．岩盤中の物質移行に関する研究

ウラン鉱床を利用して、還元環境下での地質環境中のウラン系列核種をはじめとする微量元素の長期にわたる移行挙動を把握するための地球化学データを取得する。

ロ．断層に関する研究

断層及びその周辺部の力学特性、水理特性、地球化学特性、物質移行特性に関する調査結果を総合し、断層及びその周辺の地質環境特性を定量的に評価し得る調査手法を構築する。

【研究の達成目標（平成13年度）】

イ．岩盤中の物質移行に関する研究

核種移行解析を行うためのデータベースの構築。

ロ．断層に関する研究

月吉ウラン鉱床を横断する月吉断層の分布状態、水理・地球化学特性の把握。

【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

イ．岩盤中の物質移行に関する研究

ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境に関して、酸化還元フロントの移動速度と堆積岩の還元緩衝能力を評価したほか、ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響要因に関して、天然ウランの化学種と化学的条件の相関について解析した（図1）。また、地下水中の有機物の濃度・種類・起源、微量元素濃度への影響を把握するための、微生物の種類・存在量などの基礎的な情報を取得した。

ロ．断層に関する研究

月吉断層の分布状態、活動履歴や水理学的な機能に関する知見を取得した（図2）。

【研究の達成状況（平成13年度）】

イ．岩盤中の物質移行に関する研究

物質移行に関与する岩盤の地球化学的性質を把握でき、所期の成果が得られた。

ロ．断層に関する研究

断層の水理・地球化学的性質を把握でき、所期の成果が得られた。

（今後の予定）

イ．岩盤中の物質移行に関する研究

ウラン系列核種の移行状態（移行距離、移行時間）について調査解析を行う。

ロ．断層に関する研究

断層周辺のウラン系列核種の分布状態について調査解析を行う。

【成果の利用実績及び活用見通し】

なし

【研究成果の発表状況】

- (1) Randy Arthur, 岩月輝希, 濱克宏, 天野健治, Richard Metcalfe, 太田久仁夫 (2002) The Redox Environment of Deep Groundwaters Associated with the Tono Uranium Deposit, Japan. MRS 2002 [放射性廃棄物管理のための科学的基礎国際シンポジウム], in press.
- (2) M.J. Stenhouse, R. Arthur, 太田久仁雄, 岩月輝希, Richard Metcalfe, 高瀬博康 (2002) Application of Systems Analysis to a Natural Analogue Project. MRS 2002 [放射性廃棄物管理のための科学的基礎国際シンポジウム], in press.

- (3) 武藤逸紀, 鹿園直建, 小室光世, 歌田実, 岩月輝希 (2002) 東濃ウラン鉱床周辺の新第三紀瑞浪層群堆積岩類の地球化学, 2002 年地球惑星関連科学学会合同大会
- (4) 岩月輝希・村上由紀・長沼毅・浜克宏 (2002) 天然環境の水 鉱物 微生物システムの予察研究 ウラン鉱床の長期的保存に関わる岩盤の酸化還元緩衝能力について, 2002 年地球惑星関連科学学会合同大会

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

なし

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

ウラン鉱床を対象としたナチュラルアナログ研究は, ' オクロ天然原子炉 '( ガボン共和国 ), シガーレイク ( カナダ ), アリゲータリバー ( オーストラリア ) 等を対象として行われている。いずれもウラン系列核種の移行状態と水理・地球化学環境の関連などが調査されている。

( 参考文献 )

P. Eberly et al., 1994. Petrographic analysis of samples from the uranium deposit at OKLO, Republic of Gabon. Radiochimica Acta, 66/67, 455-461

J. Smellie and Karlsson 1996. A reappraisal of some Cigar Lake issues of importance to performance assessment. SKB-TR-96-08

### 【研究評価 ( 自己評価 )】

#### ○ 成果の達成レベル

##### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

##### [ 説明欄 ]

#### ○ 成果活用方策

##### [ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

##### [ 説明欄 ]

#### ○ 計画の進捗状況

##### [ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
  - ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- ( その理由 : )
- ☐ 計画以上に進捗した。

##### [ 説明欄 ]

### 【自由評価欄】

特になし。

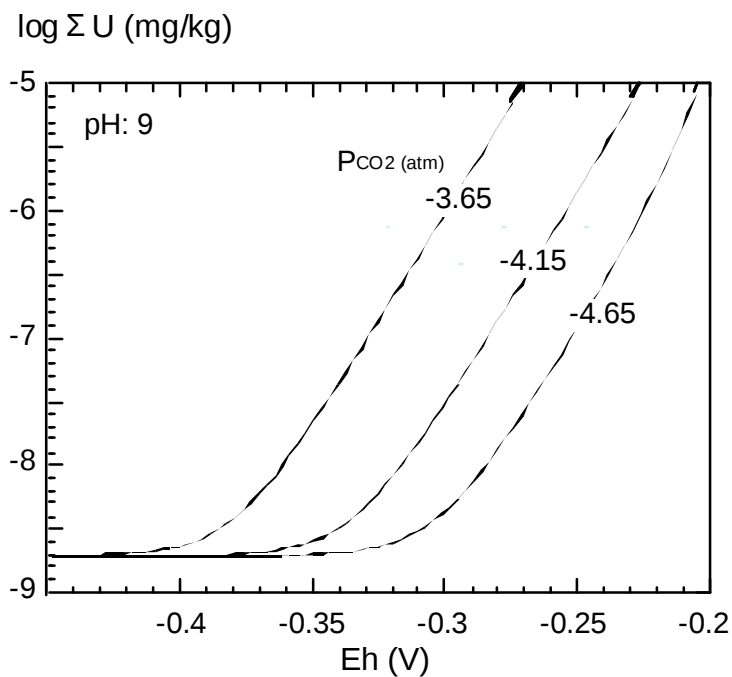


図1 天然ウランの化学種と地下水の化学的  
条件との相関

東濃ウラン鉱床周辺の地下水の化学組成をもとにウラン [ $\text{UO}_2(\text{am})$ ] の溶解度について解析した結果、 $\text{UO}_2(\text{am})$  の溶解度は地下水の pH, Eh, 炭酸ガス分圧によって 1000 倍程異なることが明らかになった。

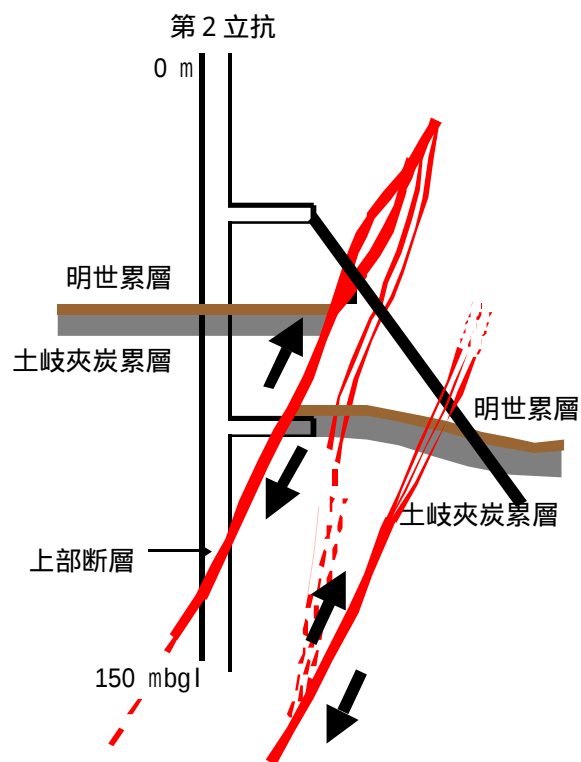


図2 月吉断層の分布状態

月吉断層は東濃鉱山周辺の上図のように分布していることが明らかになった。また、断層の上盤側と下盤側で地下水の水圧分布が異なり、断層と直交する方向の地下水流動に対して断層が遮水帯の役割をしている事が明らかになった。

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

3 - 1 ( 2 - 3 - 1 )

### 【研究課題名(Title)】

安全評価シナリオに関する研究 (Research on Scenario for Safety Assessment)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 内田 雅大(うちだ まさひろ)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村 4-33 電話：029-282-1111

(Name) Masahiro UCHIDA

(Title of Function) Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, Japan

Phone : (+81)29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 牧野 仁史(まきの ひとし: Hitoshi MAKINO), 若杉 圭一郎(わかすぎ けいいちろう:

Keiichiro WAKASUGI), 加藤 藤孝(かとう ふじたか: Fujitaka KATO)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

(Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

■ 前期基本計画からの継続(研究課題名: 安全評価シナリオに関する研究)

□ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] 地層処分の性能評価におけるシナリオ解析の高度化 (I) (三菱総合研究所)

### 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設 (ENTRY)

### 【研究概要】

[研究の経緯]

評価シナリオは、地層処分システムの長期的な安全性を評価するための枠組みを定めるものであり、安全規制等においても重要課題の一つとなる。シナリオの開発においては、場所毎の特徴を勘案しつつ、基本シナリオにおいて考慮する地下深部での様々な特性やプロセス、及び変動シナリオや接近シナリオで考慮する天然現象や人間侵入などに起因する不確実性について、それらの安全評価における考え方や取り扱いを定めることが必要になる。このようなシナリオの検討を効率的に進めるためには、地層処分システムの長期安全性に関係する可能性のある特性、事象、プロセスについての情報の拡充、シナリオ開発手法の拡充及びシナリオ開発のケーススタディを行うことにより、必要な情報とその情報に基づくシナリオ開発の経験を蓄積していくことが必要となる。

#### [ 研究目的 ]

安全評価の対象とすべき評価シナリオについて、個別現象などに関する最新の知見に基づき、シナリオ設定に係る知識ベースの拡充を進めるとともに、サイト固有な状況を的確に記述できるようシナリオ開発手法を高度化し、安全評価手法の信頼性向上と安全基準・指針類の策定に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ.シナリオ構成要素の拡充

地層処分システムの性能に影響する可能性のある事象、プロセス、特性等に関する最新の知見・データを段階的に取り込むことにより、シナリオの構成要素を拡充し、シナリオの記述内容の信頼性向上を図る。

##### ロ.シナリオ開発手法の改良

地層処分システムの長期的な不確実性を考慮した評価シナリオを効率的に設定するため、シナリオ開発手法の改良を行う。

##### ハ.特定の状況に対応するシナリオのケーススタディ

改良されたシナリオ開発手法を用いて、サイトスペシフィックなシナリオ設定についての事例研究を行い、得られた知見をシナリオ開発手法の改良に反映させる。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

##### イ.シナリオ構成要素の拡充

シナリオ作成にかかわる基盤情報の拡充・整理

##### ロ.シナリオ開発手法の改良

シナリオ開発に関する国内外の動向調査

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

##### イ.シナリオ構成要素の拡充

シナリオ作成にかかわる基盤情報の拡充・整理として、第2次取りまとめ段階での人工バリアに係わる事象、プロセス、特性（以下 FEP）について、それら FEP に係わる情報を第2次取りまとめ以降に得られた情報も盛り込んだ形で整理・拡充した。

##### ロ.シナリオ開発手法の改良

シナリオ開発に関する国内外の動向調査として、シナリオ開発の役割や進め方に関する国際的な議論あるいは国外の研究機関での検討例などを調査するとともに、その調査結果も踏まえて第2次取りまとめでのシナリオ開発を鑑みることにより、今後のシナリオ開発手法の改良における課題を以下のように整理した：

- ・ シナリオ開発を解析ケース選定までを含む作業と定義する
- ・ 十分性や網羅性ととも手法のわかりやすさの向上を目指す
- ・ 調査研究をガイドする役割と、安全評価の中での役割を区別しつつ、当面は調査研究をガイドする役割を中心にしたシナリオ開発手法の改良を目指す

#### 【研究の達成状況（平成13年度）】

##### イ.シナリオ構成要素の拡充

人工バリアに係わる FEP について情報を整理・拡充し、所期の成果が得られた。

##### ロ.シナリオ開発手法の改良

シナリオ開発に関する動向調査を踏まえて今後のシナリオ開発手法の改良における課題を整理し、所期の成果が得られた。

（今後の予定）

##### イ.シナリオ構成要素の拡充

天然バリアに係わる FEP について情報を整理・拡充する。

## ロ.シナリオ開発手法の改良

シナリオ開発手法の改良に係る課題を踏まえて、シナリオ開発手法の改良方針を策定する。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

安全評価シナリオの開発のための基盤技術として、安全基準や安全審査指針の策定等に反映していく予定である。

### 【研究成果の発表状況】

- (1) 大久保博生(2002): 地層処分の性能評価におけるシナリオ解析の高度化 (I), サイクル機構技術資料(業務委託報告書; 株式会社三菱総合研究所)(公開手続き中)。

(発表予定)

なし

### 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

なし

(参考文献)

なし

[ 海外の研究の現状と動向 ]

OECD/NEA でのシナリオ開発に係わる議論(例えば(1)(2))及び国外の研究機関での検討(例えば(3))が行われており、これらに対する調査結果を、上記「ロ.シナリオ開発手法の改良」に反映している。

(参考文献)

- (1) OECD/NEA (1991): Review of Safety Assessment Methods, A Report of the Performance Assessment Advisory Group of the Radioactive Waste Management Committee, OECD Nuclear Energy Agency.  
(2) OECD/NEA (2001): Scenario Development Methods and Practice, An Evaluation Based on the NEA Workshop on Scenario Development, Madrid, Spain, May 1999, OECD Nuclear Energy Agency.  
(3) L.E.F Bailey and D.E. Billington (1998): Overview of the FEP Analysis Approach to Model Development, Nirex Science Report S/98/009.

### 【研究評価(自己評価)】

#### ○成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。  
☒ 予定どおりの成果が得られた。  
☐ 予定どおりの成果が得られなかった。  
☐ その他

[ 説明欄 ]

#### ○成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。  
☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。  
☐ 安全性の向上に反映できる。  
☐ 原子力防災対策に反映できる。  
☐ その他

[ 説明欄 ]

○計画の進捗状況

[チェック欄]

- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：
- ☐ 計画以上に進捗した。

[説明欄]

)

【自由評価欄】

# 安全研究成果調査票（平成13年度）

## 【研究分野】

地層処分

## 【分類番号】

3 - 2 ( 2 - 3 - 2 )

## 【研究課題名(Title)】

安全評価モデルの体系化・高度化に関する研究

( Study on Integration and Advancement of Methodology for Safety Assessment )

## 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

## 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 内田 雅大(うちだ まさひろ)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村 4-33 電話：029-282-1111

(Name) Masahiro UCHIDA

(Title of Function) Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, Japan

Phone : (+81)29-282-1111

## 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 畑中 耕一郎(はたなか こういちろう:Koichiro HATANAKA), 澤田 淳(さわだ あつし:Atsushi SAWADA), 吉野 尚人(よしの なおと:Naoto YOSHINO), 若杉 圭一郎(わかすぎ けいいちろう:Keiichiro WAKASUGI), 加藤 智子(かとう ともこ:Tomoko KATO), 伊藤 貴司(いとう たかし:Takashi ITO), 牧野 仁史(まきの ひとし:Hitoshi MAKINO)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

( Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works )

## 【研究期間】

平成13年度 ~ 平成17年度

[前期基本計画からの継続の有無]

☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )

☒ 本基本計画から新規

## 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名(実施機関) ]

・ 亀裂性岩盤内の水理・物質移動に関する研究(米国ロレンス・バークレー研究所)

・ 地層処分システムの性能評価及び実験的研究(米国サドバリー国立研究所)

[ 実証試験名(実施機関) ] なし

[ 委託研究名(実施機関) ]

地層処分安全評価における生物圏評価手法の高度化に関する検討(II)(日揮株式会社)

## 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設(ENTRY)

## 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

地層処分の安全評価の信頼性を向上させるためには、地下深部あるいは人工バリア等の様々な特性やプロセスに関する最新の知見を取り込むとともに評価の妥当性と合理性の向上を勘案し、人工バリア、

天然バリア及び生物圏における個別現象の解析手法を高度化することが必要である。また、あわせて、瑞浪や幌延等の地下研究施設から得られる地質環境条件や設計条件に関する情報を有効に利用して、将来的に選定される地層処分サイトの総合的な安全評価を行えるように、人工バリア、天然バリア及び生物圏における個別現象評価手法を整備・体系化し、安全裕度の把握や安全評価手法の信頼性を向上させることが重要である。

#### [ 研究目的 ]

サイトが特定された場合に得られると考えられる個々の地質環境の特性やそれに基づく設計情報及び地表環境条件を的確に安全評価に反映することにより、より現実的で詳細な評価ができる安全評価モデルを構築し、安全裕度の把握や安全評価手法の信頼性向上に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ) 人工バリア中核種移行モデルの高度化

人工バリア中核種移行モデルに関して、沈殿 / 溶解反応などの速度論的な反応や腐食生成物中への収着挙動、廃棄体間の濃度干渉効果等を考慮し、より詳細かつ複合的な評価ができるようにモデルの改良を行い、人工バリアシステムの安全裕度の向上を図る。

##### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

亀裂や断層の内部構造 / 充填物質、地球化学特性、コロイド等の天然バリア特有の諸要因が核種移行に与える影響について、室内試験や国内外の研究機関との共同研究及び文献調査等を通して、これらの特性や重要性を把握する。また、これらのモデル化について検討を行い、性能評価モデルの高度化に反映させる。

##### ハ) 生物圏評価モデルの高度化

生物圏での核種移行 / 線量評価の観点から、サイトが特定された場合に得られると考えられる詳細な情報を想定し、コンパートメントモデルの適用性を確認し、モデルの高度化を図るとともに、安全評価上重要なサイト固有のデータ項目の抽出を行う。

なお、上記イ)～ハ)で検討したモデルを統合し、総合的な安全評価手法としてのモデルの体系化を図る。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

- ・ 人工バリア、天然バリア及び生物圏における重要な個別現象のモデル化と安全評価手法の高度化・合理化のための課題整理
- ・ 安全評価手法体系化の方法論構築と体系化に必要な科学的知見あるいは技術の抽出

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

##### イ) 人工バリア中核種移行モデルの高度化

第2次取りまとめレファレンスケースの人工バリア中核種移行解析では、バリア性能の向上に関わるいくつかのプロセスを保守性の観点から考慮しなかった。今後は、現実的かつ詳細な人工バリア中核種移行モデルを構築することにより、安全裕度の向上あるいは既存のモデルの保守性の程度の定量化が必要になる。そのため、今年度は、人工バリア中核種移行モデルにおいてより詳細にモデル化することが考えられるプロセスを検討した。その結果、複数の廃棄体を考慮することにより生ずる廃棄体間の濃度干渉効果、及び人工バリアと天然バリアのインターフェースとして考えられる掘削影響領域での核種移行プロセスが抽出され、さらにこれらのプロセスを考慮した人工バリア核種移行モデルを構築する見通しが得られた。

##### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

結晶質岩中については、サイトスケールと単一～複数亀裂のスケールでの検討並びにパラメータの信頼性評価手法の開発を行った。サイトスケールについては、亀裂ネットワークモデルについて、サイトを特定した場合や地表からの段階的な調査に応じたモデルの改良・適用事例の検討を行うために、地表面や不整合面、断層面といった曲面、任意のモデル境界面形状等を合理的に表現する機能（図1）及び地表堆積岩モデル（図2）を開発した。単一～複数亀裂のうち、単一亀裂中の充填物質等を対象とした室内拡散試験に関しては、亀裂中の充填物質、亀裂周辺の変質帯等における物質移行現象の理解及び物質移行特性の評価を行うために、釜石鉱山で採取した岩体からガウジで充填された亀裂、亀裂中の再結晶化部、亀裂に沿った変質部、未変質部を含む4つの試験サンプルを切り出し、拡散試

験を実施し、4つの試験サンプルの拡散係数を算出し、第2次取りまとめに使用した拡散係数を含め、比較・評価した(図3)。単一亀裂/亀裂交差部中の移流・分散現象を対象とした室内試験に関しては、亀裂性岩盤を対象とした核種移行評価モデルの信頼性向上に資するために、単一亀裂内空隙構造の不均質性について、水理学的開口幅と物質移行開口幅の関係について把握し(図4)、チャンネル構造の有無に関する検討及び応力(垂直・せん断)が亀裂内空隙構造に及ぼす影響についての検討した。また、亀裂交差部の透水特性について、亀裂交差部を含む岩体での透水・トレーサ試験を実施することにより検討した。単一亀裂中の物質移行プロセスの影響評価に関する研究については、第2次取りまとめで使用された1次元平行平板モデルの信頼性を評価するために、3枚の亀裂から構成される亀裂ネットワーク構造をモデル化し、亀裂開口幅の透水係数の不均質性がそこでの物質移行に与える影響を評価した。また、単一亀裂内に流れに寄与しない部分として澱み域が存在する場合に、その大きさや形状が移行現象にどのように影響を及ぼすかを評価した。結晶質岩中の移行パラメータの信頼性評価手法については、原位置で実施される種々の試験(例えば、トレーサ試験)で確認できるパラメータ値の範囲(不確実性)を定量的に評価するために亀裂性媒体を対象とした核種移行モデルに逆解析を適用することによりパラメータ値を同定し、同定したパラメータの信頼区間を評価する手法を開発した(図5)。また、スウェーデンのsp HRLにおいて実施されたトレーサ試験結果を用いて、流速、分散長、湿潤辺長、分配係数の値を同定するとともにそれらの不確実性を定量的に評価した(図6)。

不均質多孔質媒体中の核種移行評価については、不均質透水係数場発生、水理解析及び移行経路の導出、物質移行解析からなる多孔質岩盤の評価方法を構築し、不均質透水係数場の相関性を表わすバリオグラムのシル(分散値)、水平方向と垂直方向のレンジ(相関長)の変化と分散長の相関性を検討・評価した。

#### ハ) 生物圏評価モデルの高度化

- ・ 海域をGBIとした生物圏評価の代替モデルに関する検討

「第2次取りまとめ」で検討した沿岸海域堆積層をGBI(地質環境と生物圏とのインターフェイスであり放射性核種の生物圏への流入地点)とした生物圏モデル(沿岸海域モデル)をベースに海域の環境に関する知見を取り込みながら代替モデル(潮間帯モデル及び周辺海洋モデル)を作成し、沿岸海域モデルとの比較により代替モデルの特性を把握した(図7)。

- ・ 生物圏評価データベース

IAEAの国際共同研究BIOMASSでの検討をベースとして、生物圏評価に使用するパラメータ値の選定において、透明性と信頼性を確保し、かつ効率的なデータ選定手法を開発した。

- ・ 実際の地表環境条件に対する既存のモデル化手法の適用性検討

生物圏評価においてGBIを適切にモデル化するための検討のひとつとして、地表近傍での特性、事象およびプロセスに着目した予察的なFEPデータベースを作成した。

イ)～ハ)での検討を踏まえ、安全評価手法体系化の方法論として、

- ・ まず、取得されるデータと安全評価での核種移行評価モデルの入力との対応などについて、その間に介在する種々の技術情報やその流れおよび中間モデルなどの網羅的な整理
- ・ 次に、この網羅的な整理結果に基づいて、安全評価手法の体系化において重点的に実現すべき技術情報やその流れと考慮する中間モデルなどの絞込み

を課題として抽出し、これら課題についての検討を開始した。

また、これら体系化に必要な技術として、

- ・ 体系化された技術情報やその流れを管理・追跡するための計算機技術

を課題として抽出し、一部の技術についての検討を開始した。

#### 【研究の達成状況(平成13年度)】

##### イ) 人工バリア中核種移行モデルの高度化

人工バリア中核種移行解析モデルにおいてより詳細にモデル化すべきプロセスを整理することにより、所期の成果が得られた。

##### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

室内試験及び原位置試験の解析、既存のモデルを用いたプロセス評価解析を実施することにより、天然バリア性能を評価するための手法高度化に向けての課題・問題点を明らかにすることができ、所期の成果が得られた。

#### ハ) 生物圏評価モデルの高度化

代替モデルの検討、データ選定手法の検討、実際の地表環境条件に対する既存のモデル化手法の適用性の検討により、生物圏評価の手法の高度化に向けての課題・問題点を明らかにすることができ、所期の成果が得られた。

安全評価手法体系化については、重要となる方法論や必要となる技術を明らかにすることができ、所期の成果が得られた。

(今後の予定)

#### イ) 人工バリア中核種移行モデルの高度化

今年度抽出したプロセスを考慮した人工バリア中核種移行解析モデル及びコードを開発する。

#### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

結晶質岩中における亀裂ネットワークモデルについて、超深地層研究所計画等の実際の問題に適用して問題点等を抽出しつつ、モデル化機能の改良・高度化を進める。また、亀裂ネットワーク中の核種移行解析コードの二次元化や、信頼性の向上のための研究の進展に応じて機能の統合化を検討する。結晶質岩中の移行パラメータの信頼性評価手法について、他のトレーサ試験結果の評価を行う。また、定量化された不確実性が安全評価に与える影響を組み合わせで評価していくことで、原位置で実施される種々のトレーサ試験から得られる核種移行評価に用いるモデルやパラメータ値の妥当性もしくは保守性を確認するために必要な試験項目や精度等の明確化に資する。単一亀裂中の充填物質等を対象とした室内拡散試験に関しては、交差亀裂を対象とした拡散試験を実施し、その結果を解析・評価する。単一亀裂／亀裂交差部中の移流・分散現象を対象とした室内試験に関しては、岩体研削撮影装置による試験に基づく亀裂内流体解析技術の開発を行う。単一亀裂中の物質移行プロセスの影響評価に関する研究については、本研究で得られた成果を我が国や諸外国で実施されている地下研での原位置試験解析に適用していく。不均質多孔質媒体中の核種移行評価については、解析モデルや相関モデルの違いが多孔質岩盤の物質移行特性に与える影響評価を行う。

#### ハ) 生物圏評価モデルの高度化

地表環境中の物質移行評価モデルの高度化の一環として、土壌を GBI とする生物圏モデルを構築し、「第2次取りまとめ」において検討した水域を GBI とする生物圏モデルとの相違について検討するとともに、パラメータの感度解析等によりモデルの特性を把握する。

生物圏評価データベースに関しては、本検討で開発したデータ選定手法に基づいて、特に知見が乏しく、かつ評価結果に与える影響が大きなパラメータのデータ設定に関わる調査・検討を重点的に実施し、生物圏評価の不確実性を定量的に把握する。

実際の地表環境条件に対する既存のモデル化手法の適用性検討では、具体的な地表環境条件が与えられた場合の GBI 設定を網羅性の観点から検討する。

安全評価手法体系化の方法論の構築と体系化を進めていくために、取得されるデータと安全評価での核種移行評価モデルの入力との対応などについての網羅的な整理及びその絞込みを進めるとともに、技術情報とその流れを管理・追跡できる計算機技術の整備を進める。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

総合的な安全評価手法のための基盤技術として、安全基準や安全審査指針の策定等に反映していく予定である。

#### 【研究成果の発表状況】

##### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

- (1) Altman, S.J, Uchida, M., Tidwell, V.C., Boney, C.M. and Chambers, B.P. (2001): Visualization and Quantification of Heterogeneous Diffusion Rate in Granodiorite Samples by X-Ray Absorption Imaging, SANDIA REPORT, SAND2001-1842.
- (2) 江崎哲郎, 神野健二, 三谷泰裕, 蔣宇静, 内田雅大, 吉野尚人 (2001): 岩盤不連続面の力学・透水メカニズムの実験的・解析的研究—先行基礎工学分野に関する平成 12 年度報告書—, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2001-005.

- (3) 畑明仁, 井尻裕二, 鈴木俊一, 大石雅也, 杉原豊 (2002): 原位置トレーサー試験の逆解析による核種移行特性の不確実性評価, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 大成建設株式会社), JNC TJ8440 2002-002.
- (4) 井尻裕二, 澤田淳, 坂本和彦, Dershowitz, W.S., 内田雅大, 石黒勝彦, 梅木博之 (2001): ラプラス変換有限要素法を用いた割れ目ネットワーク中の核種移行解析モデルの開発, 土木学会論文集, No.694 / -57, pp.229-243.
- (5) 井尻裕二, 澤田淳, 坂本和彦, 内田雅大, 石黒勝彦 (2001): 放射性廃棄物地層処分の性能評価に及ぼす不連続面の影響について, 地球惑星科学関連学会 2001 合同大会, A0-007.
- (6) 井尻裕二, 澤田淳, 坂本和彦, 内田雅大, 石黒勝彦, 梅木博之, 大西有三 (2001): 割れ目ネットワークモデルの水理特性に及ぼす割れ目スケール効果の影響, 土木学会論文集, No.694 / -57, pp.179-194.
- (7) 井尻裕二, 澤田淳, 内田雅大, 石黒勝彦, 坂本和彦 (2001): 割れ目ネットワークモデルを用いた岩盤中の核種移行解析, 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集, pp.201-210, 地盤工学会.
- (8) 大西有三, 大津宏康, 西山哲, 澤田淳, 中井亮太郎 (2001): 不連続性岩盤の統計的手法に基づく空間分布特性に関する研究, 平成 13 年度土木学会関西支部年次学術講演概要, III-36-1.
- (9) 澤田淳 (2002): 亀裂ネットワークモデルによる割れ目を有する岩盤の水理・物質移動解析, つくばテクノロジーショーケース, p.29, つくばサイエンスアカデミー.
- (10) 澤田淳 (2001): 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究 (地層中の水理・核種移行問題について), 第 18 回岩盤システム工学セミナー, pp.27-46, システム総合研究所.
- (11) 澤田淳, 井尻裕二, 大西有三, 大津宏康, 西山哲 (2002): 亀裂トレース長のスケール依存性を考慮した検討, 第 11 回岩の力学国内シンポジウム論文集, A04.
- (12) 澤田淳, 坂本和彦 (2001): チャンネルネットワークモデル近似に伴う不確実性の検討, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN8400 2001-010.
- (13) 澤田淳, 三枝博光, 竹内真司, 中野勝志, 井尻裕二 (2001): 水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価 (その 1), 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集, pp.249-258, 地盤工学会.
- (14) 白川敏彦, 畑中耕一郎 (2001): 多孔質岩盤中の水理 / 核種移行解析評価プログラムの理論的背景と使用方法の整備, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2001-027.
- (15) 鐵圭一, 澤田淳 (2001): 高粘性流体を用いた天然亀裂岩体の透水試験 - NETBLOCK 試験報告 -, サイクル機構技術資料, JNC TN8430 2001-006.
- (16) Tsang, C.F. and Karasaki, K. (2001): JNC-DOE Collaborative Program on Mass Transport : Characterization and Predictive Technologies, 2000-2001 Annual Report, JNC Technical Report, JNC TY8400 2001-006.
- (17) 内田雅大 (2001): 高レベル放射性廃棄物地層処分にに向けた安全裕度増大と信頼性向上に向けた水理上の取り組み, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, A0-008.
- (18) 内田雅大 (2001): 幌延における安全評価技術開発上の課題, 日本原子力学会「2001 年秋の大会」要旨集, p.総 7.
- (19) 内田雅大, Dershowitz, B., Metcalfe, R., Shuttle, D., Cave, M., 竹内真司 (2002): 地下水水質変化を考慮した水理解析の試み スウェーデンエスボ地下研究施設での例, 第 11 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, D05.
- (20) 内田雅大, 吉野尚人 (2001): 亀裂状媒体水理試験設備 (LABROCK) 用試験岩体の切りだし・整形, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2001-015.
- (21) 内田雅大, 吉野尚人 (2001): LABROCK 用透水性キャリブレーション岩体の採取, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2001-016.
- (22) 山田直之, 鐵圭一, 澤田淳 (2001): 実岩体を用いた透水試験 - NETBLOCK 試験報告 -, サイクル機構技術資料, JNC TN8430 2001-003.
- (23) 吉野尚人, 佐藤久 (2002): 亀裂状媒体水理試験設備 (LABROCK) による透水・トレーサー試験 — 2001 年度までの成果 —, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2002-001.
- (24) 吉野尚人, 内田雅大 (2001): 天然単一亀裂の水理特性に関する一考察, 第 56 回土木学会年次学術講演会, CS1-021.
- (25) 吉添誠, Dershowitz, W. (2002): 亀裂ネットワークモデルおよび GoldSim による解析 Fracture Network Modeling and GoldSim Simulation Support, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 三菱商事株式会社) (公開手続き中).

#### ハ) 生物圏評価モデルの高度化

- (1) 加藤智子, 鈴木祐二, 石黒勝彦, 池田孝夫, Richard Little, 内藤守正 (2001): 沿岸海域を核種放出域とした地層処分生物圏評価の代替モデル, 日本保健物理学会第 35 回研究発表会予稿集, C16.
- (2) 三木崇史, 吉田英爾, 池田孝夫 (2002): 地層処分安全評価における生物圏評価手法の高度化に関する検討 (II), サイクル機構技術資料 (業務委託報告書; 日揮株式会社), JNC TJ8400 2002-009.

#### 二) その他 (安全評価手法体系化)

- (1) 辻本恵一, 篠原芳紀, 齋藤茂幸, 上田真三, 河村裕二, 富山真吾, 大橋東洋 (2002): 地質環境モデルの構築技術に関する研究, サイクル機構技術資料 (業務委託報告書; 三菱マテリアル株式会社) (公開手続き中).
- (2) 石原義尚, 福井裕, 佐川寛, 伊藤隆哉, 松永健一, 小華和治, 桑山有紀 (2002): 地層処分システムの設計・安全評価体系のシステム化に関する研究, サイクル機構技術資料 (業務委託報告書; 三菱重工業株式会社) (公開手続き中).
- (3) 石原義尚, 岩本裕, 小林茂樹, 根山敦史, 遠藤修司, 進藤智徳 (2002): 地層処分統合解析システムの製作設計, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 三菱重工業株式会社) (公開手続き中).

#### (発表予定)

##### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

- (1) 畑明仁, 細野賢一, 井尻裕二, 澤田淳 (2002): 原位置トレーサー試験の逆解析による不確実性評価 (その1 データの不確実性の評価), 平成 14 年度全国大会第 57 回年次学術講演会論文集 (印刷中).
- (2) 細野賢一, 畑明仁, 井尻裕二, 澤田淳 (2002): 原位置トレーサー試験の逆解析による不確実性評価 (その2 モデルの不確実性の評価), 平成 14 年度全国大会第 57 回年次学術講演会論文集 (印刷中).
- (3) 吉野尚人, 澤田淳 (2002): 逆解析による核種移行パラメータ同定値の信頼性評価, 平成 14 年度全国大会第 57 回年次学術講演会論文集 (印刷中).
- (4) Sawada, A., Y. Ohnishi, H. Ohtsu, Y. Ijiri, S. Nishiyama (2002): Applicability of the Fractal Concept to Fracture Network Models for Rock Masses, 3rd Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering (in press).

#### ハ) 生物圏評価モデルの高度化

- (1) T. Kato, Y. Suzuki, M. Naito, K. Ishiguro, T. Ikeda, R. Little, G. Smith (2002): Biosphere Modelling for the Safety Assessment of High-level Radioactive Waste Disposal in the Japanese H12 Assessment, The First Asian and Oceanic Congress for Radiation Protection (AOCRP-1) (in preparation).
- (2) R.H. Little, T. Kato, T. Miki, G.M. Smith, R.C. Walke, B.M. Watkins and H. Yoshida (2002): The Practical Application of a Reference Biospheres Methodology to Derive Flux to Dose Conversion Factors for the Japanese H12 Performance Assessment, International Conference on Radioactivity in the Environment (in preparation).

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

##### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

室内スケールでの亀裂中の地下水流れに関しては、国内においても、複雑な形状を有する亀裂表面や亀裂交差部の透水特性の影響を評価するために、格子ボルツマン法等による単一亀裂内の流れの現象を詳細に直接的にモデル化する手法が用いられつつある。

#### (参考文献)

- (1) 松岡俊文, 三善孝之, 村田澄彦, 芦田譲 (2002): 格子ボルツマン法による単一フラクチャ内の流体解析, 第 11 回岩の力学国内シンポジウム, G03.

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

##### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

室内スケールでの亀裂中の地下水流れに関しては、世界的な動向として、複雑な形状を有する亀裂表面や亀裂交差部の透水特性の影響を評価するために、格子ボルツマン法等による単一亀裂内の流れ

の現象を詳細に直接的にモデル化する手法が用いられている。

#### ハ) 生物圏評価モデルの高度化

スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 (SKB) が実施した使用済核燃料の深地層処分のための長期安全性評価研究に関する成果報告書 (以下, SR97(18)) では, 生物圏評価の取扱いについて, 詳細な方法論とその結果 (地圏からの核種移行率を線量に変換するための換算係数; 以下, EDF) を示している。SR97 の生物圏評価では, 生物圏を, 土地利用や決定グループの観点から見て均一な領域に分割し, この領域ごとにコンパートメントモデルを用いて EDF を算出している。これは第2次取りまとめにおける生物圏評価の取扱いと類似している。

(参考文献)

#### ロ) 天然バリア中核種移行モデルの高度化

- (1) Ishiguro M.(2002): Lattice gas automaton scheme with stochastic particle movement for a rotated fluid flow, Jur. of NUCLEAR SCI. and TECH., vol.39, no.1, pp.59-70
- (2) Lee, C.(1995): Low peclet number of mixing behavior at fracture junctions, Doctoral Dissertation, New Mexico Institute of Mining and Technology, New Mexico.
- (3) Zhang, X., A. G. Bengough, J. W. Crawford and I. M. Young(2002): A lattice BGK model for advection and anisotropic dispersion equation, Advances in Water Resource., 25, pp.1-8.

#### ハ) 生物圏評価モデルの高度化

- (1) SKB (1999): Deep repository for spent nuclear fuel, SR97-Post-closure safety, Main Report Summary, TR-99-06.

### 【研究評価 (自己評価)】

#### ○ 成果の達成レベル

##### [チェック欄]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

##### [説明欄]

#### ○ 成果活用方策

##### [チェック欄]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

##### [説明欄]

#### ○ 計画の進捗状況

##### [チェック欄]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由: )
- ☐ 計画以上に進捗した。

##### [説明欄]

### 【自由評価欄】

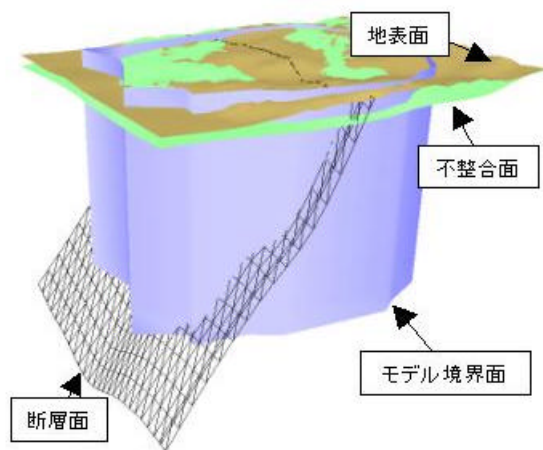


図1 地表面、不整合面、断層面、モデル境界面モデル例

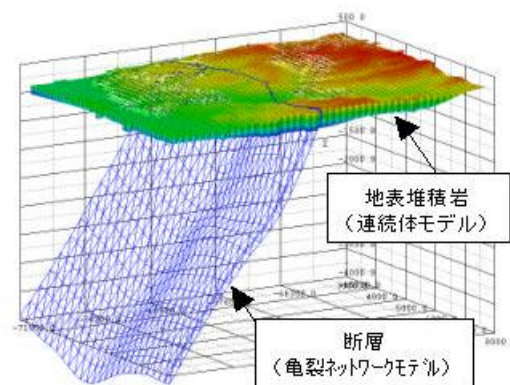


図2 地表堆積岩の連続体要素と断層モデル

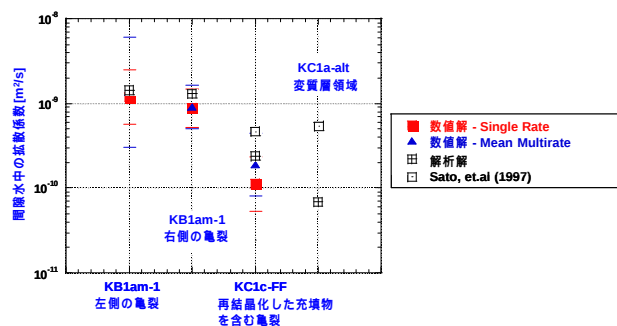


図3 亀裂性岩盤中各領域における間隙水中の拡散係数

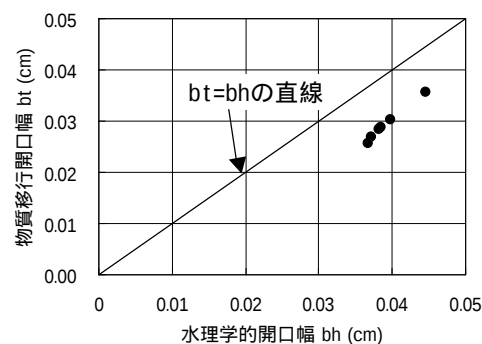


図4 水理学的開口幅と物質移行開口幅の関係

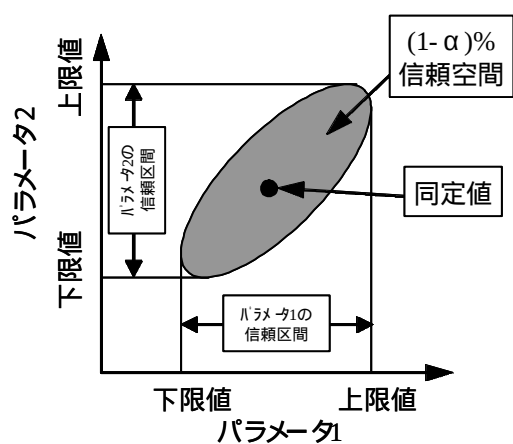


図5 同定したパラメータの信頼区間概念図

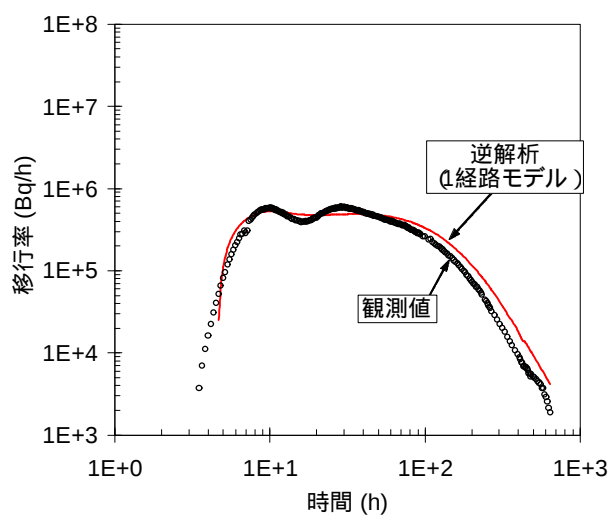


図6 逆解析結果 (HT0、均質一次元モデル)

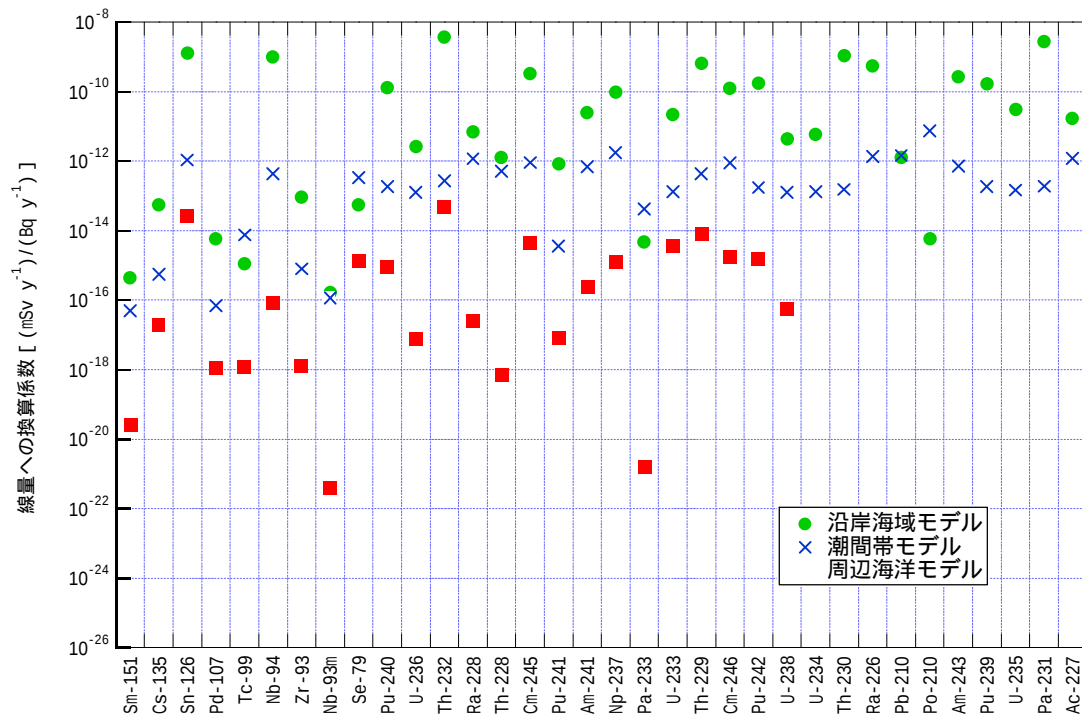


図7 海域をGBIとした生物圏モデルを用いて算出した線量への換算係数  
(海洋漁業従事者グループ)

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

3 - 3 ( 2 - 3 - 3 ( 1 ) )

### 【研究課題名(Title)】

安全評価におけるシナリオ、モデルの不確実性に関する研究  
( Study on the Effect of Uncertainties for Scenario and Model on Safety Assessment of Geological Disposal System )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 内田 雅大(うちだ まさひろ)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村 4-33 電話 : 029-282-1111

(Name) Masahiro UCHIDA

(Title of Function) Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, Japan

Phone : (+81)29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属 (Name, Title of Function)】

[氏名] 若杉 圭一郎(わかすぎ けいいちろう : Keiichiro WAKASUGI), 牧野 仁史(まきの ひとし : Hitoshi MAKINO)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

( Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works )

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- ☒ 前期基本計画からの継続( 研究課題名 : 地層処分システムの確率論的評価手法に関する研究 )
- ☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] 安全評価におけるシナリオ、モデルの不確実性に関する研究 ( 日本原子力研究所 )

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] なし

### 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

地層処分の安全評価では、評価対象領域の大きさと長期にわたる評価時間を考慮するために、評価において不確実性の影響を避けることが困難である。このため、不確実性の要因を整理・分析し、それらが評価結果に与える影響を定量的に示すための手法を整備することが課題となる。平成 12 年度までは、第 2 次取りまとめに向けた不確実性評価技術の開発やデータの不確実性に着目した検討を進めてきたが、今後はシナリオやモデルの不確実性についてもその影響をより詳細に評価するための手法を整備しておく必要がある。

#### [ 研究目的 ]

地層処分の安全評価に内在するシナリオ、モデルの不確実性について、定量的な解析を実施するための手法を検討することにより、地層処分システムの長期的な安全性の評価手法の高度化及び安全基準・指針類の策定に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ．安全評価シナリオ、モデルの不確実性の整理

安全評価に用いるパラメータの不確実性の評価に加え、地層処分システムの将来挙動を表現するシナリオ、モデルの不確実性として考慮すべき要因(水理地質構造モデル、核種移行プロセスモデル等)を網羅的に整理する。

##### ハ．不確実性の定量的評価の検討

イ)で開発・整備した手法を用いて、シナリオ、モデル及びパラメータの不確実性を考慮した確率論的な安全評価を行い、処分システム全体の長期安全評価に伴う不確かさを定量化するための検討を行う。

#### 【研究の達成目標(平成13年度)】

##### イ．安全評価シナリオ、モデルの不確実性の整理

諸外国の安全基準、国内外での最新の研究成果、及び幌延地下研究施設で得られた情報を踏まえたシナリオ・モデルの不確実性の取扱いに関する整理・検討を行う。

#### 【研究実施内容及び成果(平成13年度)】

##### イ．安全評価シナリオ、モデルの不確実性の整理

第2次取りまとめにおいては、我が国で考慮される一般的な地質環境を仮想的に設定し、地層処分の技術的信頼性を示すことを目的に安全評価を行った。今後は、具体的な地質環境条件を適切に考慮した安全評価を実施するために、地質環境が本来的に有する空間的不均質性や極めて長い時間を考慮することによる不確実性に起因するシナリオ・モデル等の不確実性について整理しておく必要がある。このため今年度は、地質環境調査から得られる情報に基づき行われる安全評価で考慮すべきモデルの不確実性を明らかにするための準備として、地質構造モデル・水理地質構造モデルの構築手順、及びそれら手順の中でのデータの処理等に関連する情報の流れについて整理した。さらに、これら情報の流れを体系化することにより、地質環境調査から安全評価への不確実性の伝搬経路を明らかにする見通しを得た。

さらに、具体的な地質環境情報に基づく安全評価において、モデルに起因する不確実性を評価するための概念検討を行った。具体的には、地質環境情報に基づいて構築された地質環境モデルにおいてパーティクルトラッキング法により抽出される移行経路情報を参考情報として、移行経路長や移行時間のモデル上の取扱いの違いを不確実性として取り込んだ物質移行モデルを構築した。この結果、このモデルの不確実性により、結果が数オーダーに渡って異なり得ることが確認された。このことから、物質移行モデルにおける移行経路長や移行時間に係わるモデル化技術の重要性が示唆された。

#### 【研究の達成状況(平成13年度)】

##### イ．安全評価シナリオ、モデルの不確実性の整理

地質環境調査から安全評価への不確実性の伝搬経路を整理するための見通しが得られ、所期の成果を得た。具体的な地質環境情報に基づく安全評価において、結果に対する影響が高いと考えられる重要因子を予察的解析により整理し、所期の成果を得た。

##### (今後の予定)

##### イ．安全評価シナリオ、モデルの不確実性の整理

シナリオ・モデルの不確実性の取扱いに関する整理・検討を継続する。

##### ハ．不確実性の定量的評価の検討

シナリオ・モデルの不確実性を定量的に評価するための手法について検討する。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究を通じて得られた成果のうち、考慮すべきデータ、モデル及びシナリオの不確実性に関する整理やそれらを安全評価において効率的に評価するための技術については、安全基準や安全審査指針の策定等に反映していく。また、種々の不確実性要因が安全評価結果に与える影響の重要度を定量的に評価するための技術については、安全評価上重要な研究課題の絞り込みや地質環境調査における優先事項の特定等に反映していく予定である。

### 【研究成果の発表状況】

- (1) 若杉圭一郎, 小尾繁, 牧野仁史 (2002): モンテカルロシミュレーションによる高レベル放射性廃棄物地層処分の安全評価に対するデータ不確実性解析、サイクル機構技報, No14, JNC TN1340 2001-010, pp.149-160.
- (2) Makino H., McKenna S.A. and Wakasugi K. (2001): Sensitivity Analysis of Monte Carlo Simulation Results Using the Kolomogorov-Smirnov d Statistic, Proceedings of 2001 Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology (IAMG2001).

(発表予定)

なし

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

平成 13 年度経済産業省から日本原子力研究所へ委託された「確率論的アプローチによる長期的評価手法による評価」において、シナリオの不確実性の一つとして考えられる人間侵入を確率論的に評価する検討が行われている。具体的には、地層処分における人間侵入事象として、ボーリングによる処分場へのアクセスを想定し、過去に我が国で実施されたボーリングについて、目的、位置、深度等の情報をデータベースとして開発している。

(参考文献)

なし

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

米国ユッカマウンテンプロジェクトでは、サイト適合性指針に基づき予備的なサイト適合性評価が実施された (DOE, 2001)。この中で、安全評価で考慮すべきシナリオとして、基本シナリオとは別に破壊的なシナリオ、すなわち「火山活動シナリオ」、「地震シナリオ」、「臨界シナリオ」及び「偶発的な人間侵入シナリオ」が設定された。また、さまざまな不確実性を考慮した安全評価を実施するために、総合システム安全評価 (TSPA) コードが開発され、安全評価解析に用いられた。各シナリオについては、不確実性を考慮したさまざまな確率論的な評価が行われ、ユッカマウンテンサイトの地層処分場としての適用性が確認された。

(参考文献)

DOE (2001), Yucca Mountain Preliminary Site Suitability Evaluation, DOE/RW-0540

### 【研究評価 (自己評価)】

#### ○ 成果の達成レベル

##### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

##### [ 説明欄 ]

#### ○ 成果活用方策

##### [ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。

- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

特になし。

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

3 - 4 ( 2 - 3 - 4 )

### 【研究課題名(Title)】

地下水水質形成モデルの検証および高度化に関する研究  
( Model development and validation for Groundwater evolution )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 油井 三和 ( ゆい みかず )

[ 所属 ] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33, 電話番号 : 029-282-1111

(Name) Mikazu YUI

(Title of Function) Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 柴田 雅博 ( しばた まさひろ : Masahiro SHIBATA ), 久野 義夫 ( のく よしお : Yoshio KUNO )

亀井 玄人 ( かめい げんと : Gento KAMEI )

[ 所属 ] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア研究グループ / 放射化学研究グループ

( Barrier Performance Group / Radiochemistry Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works )

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] 地下水中に存在するコロイドの特性評価に関する研究 ( 三菱マテリアル株式会社 )

### 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

高レベル放射性廃棄物の地層処分については、今後の安全規制に係る基準・指針類の策定や処分事業に向けて、安全評価モデルの高度化等の安全評価の信頼性向上に関わる基盤的な技術や情報を整備しておくことが必要である。このためには、第二次取りまとめの課題を踏まえて、処分システムの化学的な場をどのように理解し、評価においてどのように取り扱うかという点について、着実にかつタイムリーに研究を進めていくことが必要である。

## [ 研究目的 ]

深部地下水の水質形成モデルの改良・高度化を行うとともに、地下水と人工バリア材料との長期の相互作用及びそれに伴う緩衝材空隙水水質の変化のメカニズムを解明することにより、処分場の長期的な地球化学環境を明らかにし、安全評価手法の信頼性向上に資する。

## [ 研究内容 ]

原位置で取得されるデータ等を利用し、以下の研究を行う。

### イ) 地下水地球化学モデルの開発

実測された深部地下水データの熱力学的・速度論的解析をもとに、深部地下水の水質形成モデルの改良、高度化を行う。モデルの開発に必要な鉱物の熱力学データ、溶解・沈殿速度データの調査・評価を行い、データベースとして整備する。また、微生物、有機物が地下水水質に及ぼす影響、深部地下水中でのコロイドの安定性や存在状態に関する検討を行う。

### ロ) ニアフィールド地球化学モデルの開発

地下水と人工バリア材料の長期の相互作用に関する長期室内試験や類似する天然現象の観察を行うことを通じて、ニアフィールドにおける間隙水の水質推定モデルの高度化及び検証を行う。

## 【研究の達成目標（平成13年度）】

- ・ 深部地下水実測データの調査
- ・ 地球化学基礎データの調査・収集
- ・ 天然地下水中のコロイドデータの収集
- ・ 緩衝材間隙水水質の時間空間変化に関する室内試験の実施及び関連する天然事象の観察

## 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

### イ) 地下水地球化学モデルの開発

- ・ 海水系地下水に着目し、千葉県茂原地域の地下水中の高濃度のヨウ素に着目し、地下水水質の解釈を試みた。その結果、地下水水質には、鉱物 - 地下水反応のみならず堆積環境に存在した藻類などの分解が強く関与していることがわかり、水質の解釈には有機物の寄与を考慮することが不可欠であることを指摘した。
- ・ 地下水中のコロイドの存在状態を明らかにすることを目的に、ベントナイト鉱山や他の鉱山の坑道内の湧水を採取し、コロイドの組成、濃度及び粒径分布を測定した。その結果、地下水中の溶存元素（Mg, Al, Ca 等）はコロイドに収着して疑似コロイド化している可能性が示唆された。また、コロイドの粒径分布はサンプリング後経時的に変化することが認められ、地下水水質を評価するにあたってはコロイドの安定性を考慮する必要があることが示唆された。

### ロ) ニアフィールド地球化学モデルの開発

- ・ 緩衝材間隙水水質の時間空間変化に関する室内試験として、セルに圧縮成型したベントナイト（長さ40mm，直径40mm）を、蒸留水，人工海水及び低アルカリ性セメント平衡液にフィルターを介して接触させ、所定の時間経過後に、ベントナイト試料をスライスし、ベントナイト中の元素分析，pH試験紙を挟みこんでの圧搾による間隙水のpH測定等を行った。また、天然類似現象の観察として、河川付け替え工事により、ベントナイト鉱床上部を川が流れるようになった地点のベントナイト鉱床に着目し、川底の原鉱石のボーリング試料に対し、鉱物組成，化学組成，交換性陽イオン組成等の深度変化を調べ、データを得た。天然事例のデータでは川との接触面に近い部分においてCaや $\text{SO}_4^{2-}$ の減少が認められた。

## 【研究の達成状況（平成13年度）】

### イ) 地下水地球化学モデルの開発

- ・ 実測地下水水質の検討，及び地下水中のコロイド特性評価の実施により所期の成果が得られた。

### ロ) ニアフィールド地球化学モデルの開発

- ・ 室内試験及び天然事例調査により緩衝材化学の時間空間変化に関するデータが得られたことで所期の成果が得られた。

( 今後の予定 )

イ) 地下水地球化学モデルの開発

- ・ 深部地下水水質のモデル化 , 地下水中のコロイド特性評価等を継続する。

ロ) ニアフィールド地球化学モデルの開発

- ・ 取得した室内試験データ及び天然事例調査結果の解析を実施し現象の説明を試る。

**【成果の利用実績及び活用見通し】**

イ) 地下水地球化学モデルの開発

本研究成果は , 将来の処分候補地選定の各段階において , 性能評価の観点からの必要となる地質環境条件項目や測定基準の提示 , 地下水水質形成機構の評価に反映される。

ロ) ニアフィールド地球化学モデルの開発

本研究成果は , 地層処分システムの安全評価において , 人工バリア内の核種移行評価の基本となる緩衝材間隙水水質等の人工バリア内の化学環境の長期評価に反映される。

**【研究成果の発表状況】**

イ) 地下水地球化学モデルの開発

- (1) 亀井 玄人 ( 2001 ) : 茂原ガス田の地下水に含まれるヨウ素の起源と挙動 , 資源地質 , 51 , pp.145-151.
- (2) 久野義夫 , 亀井玄人 , 大谷洋之 : ベントナイト鉱山の地下水中的コロイド コロイド生成と地下水水質との関係 - , 日本原子力学会 2001 年秋の大会 予稿集 , p930.
- (3) Kuno, Y. , Kamei, G. and Ohtani, H. (2002) : Natural colloids in groundwater from a bentonite mine, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. (accepted)
- (4) 上田真三 , 黒澤進 ( 2002 ) : 地下水中に存在するコロイドの特性評価に関する研究 , サイクル機構技術資料 ( 研究委託報告書 ; 三菱マテリアル株式会社 )

ロ) ニアフィールド地球化学モデルの開発

なし

( 発表予定 )

なし

**【国内外の研究動向】**

[ 民間の研究の現状と動向 ]

国内においては , 地層処分の観点から類似の研究を行っている機関は見当たらない。

[ 海外の研究の現状と動向 ]

イ) 地下水地球化学モデルの開発

地下研究施設等における地下水水質の地球化学的解釈については , スウェーデン (1) , フィンランド (2) 等において実施されている。また , コロイドに関しては , スイス Grimsel Test Site を中心に , in-situ での地下水中に存在するコロイドの特性データの取得が行われている (3,4)。

ロ) ニアフィールド地球化学モデルの開発

緩衝材間隙水に関しては , 間隙水の搾り出しなどによるデータ取得と , 地球化学計算コードを用いたモデル化の試みは , いくつかの研究機関がそれぞれ異なる粘土に対して実施している (5,6)。また , 共存鉱物の溶解沈殿等を考慮した緩衝材中の化学の時間空間的な変化の解析を試みた報告はあるが (7) , モデルの検証は行われていないのが現状である。

( 参考文献 )

イ) 地下水地球化学モデルの開発

- (1) 例えば M. Laaksoharju (1999) : Groundwater characterisation and modelling : problems, facts and possibilities. SKB Technical Report TR-99-42.
- (2) 例えば , P. Pitk nen, A. Luukkonen, P. Ruotsalainen et al. (1998) : Geochemical modeling of groundwater evolution and residence time at the Olkiluoto site. POSIVA 98-10.
- (3) C. Degueudre, H. R. Pfeiffer, W. Alexander, et al. (1996) : Colloid properties in granitic

- groundwater systems. I: Sampling and characterization, Appl. Geochem., 11, pp.677-695.
- (4) C. Degueldre, R. Grauer and A. Laube (1996) : Colloid properties in granitic groundwater systems. II: Stability and transport study, Appl. Geochem., 11, pp.697-710.

ロ) ニアフィールド地球化学モデルの開発

- (5) A. Muurinen and J. Lehtikoinen (1999) : Porewater chemistry in compacted bentonite, POSIVA 99-20.
- (6) A. M. Fernandez, J. Cuevas and P. Rivas (2001): Pore water chemistry of the Febex bentonite, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.663.
- (7) D. Arcos, J. Bruno, S. Benbow et al (2000): Behaviour of bentonite accessory minerals during the thermal stage, SKB Technical Report TR-00-06.

【研究評価（自己評価）】

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
  - ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- (その理由 :
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

【自由評価欄】

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

3・5（2・3・5（1））

### 【研究課題名(Title)】

深部地下環境下における核種移行データの取得及びデータベースの整備  
(Data Acquisition and Database Development for the Radio-Nuclide Transport in Geological Environment)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 山田 一夫(やまだ かずお)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 放射化学研究グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話 029-287-3642

(Name) Kazuo YAMADA

(Title of Function) Radiochemistry Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan

Phone : +81-29-287-3642

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 北村 暁(きたむら あきら: Akira KITAMURA), 佐藤 治夫(さとう はるお: Haruo SATO),  
宮本 真哉(みやもと しんや: Shinya MIYAMOTO), 鈴木 寛(すずき さとる: Satoru SUZUKI),  
飛塚 早智子(とびつか さちこ: Sachiko TOBITSUKA), 柴田 雅博(しばた まさひろ: Masahiro SHIBATA), 久野 義夫(くの よしお: Yoshio KUNO), 亀井 玄人(かめい げんと: Gento KAMEI)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 放射化学研究グループ / 処分バリア研究グループ (Radiochemistry Group / Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

昭和 61 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- 前期基本計画からの継続 (研究課題名: 人工バリア中の核種移行評価に係るデータベースの整備、天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究)

□ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)]

・熱化学および吸着に関する基礎データの整備(米国 DOE, パシフィックノースウエスト研究所)

[実証試験名(実施機関)]

なし

[委託研究名(実施機関)]

・超ウラン元素の加水分解及び錯生成に関する研究(京都大学)  
・緩衝材中の核種移行挙動に対する粘土の幾何学的微細構造の影響に関する研究( ) (北海道大学)  
・地下水中に存在するコロイドの特性評価に関する研究(三菱マテリアル株式会社)

### 【使用主要施設】

東海事業所 地層処分基盤研究施設、地層処分放射化学研究施設

## 【研究概要】

### 〔研究の経緯〕

高レベル放射性廃棄物の地層処分については、実施主体が設立されたことから、今後は処分事業を視野に入れた処分場の技術基準及び安全基準の策定等が重要な課題となっている。そのため、基盤となるデータのより一層の信頼性の向上、データベースの充実、及び鍵となる核種移行プロセスのより詳細な現象理解とモデル化が必要である。また、最終的な安全評価は、標準化された手法あるいは手順によって得られたデータに基づいて行われると予想される。このためには、早急に深部地下環境下における核種移行データの取得及びデータベースの整備、安全評価のための核種移行に関するモデルの整備、並びにデータ取得方法の標準化に向けた検討が不可欠である。

### 〔研究目的〕

地層処分の安全評価に必要となる、深部地下環境下における熱力学的基礎データ、核種挙動評価データ等の取得を行うとともに、国際的な最新情報の調査・評価を実施し、情報をデータベース化することにより、地層処分の安全評価に用いるデータの信頼性向上に資する。

### 〔研究内容〕

#### イ) 熱力学的基礎データの取得

安全評価に必要な核種の移行挙動評価データ（溶解度、分配係数、拡散係数）の信頼性を向上させるため、熱力学的基礎データ（溶解生成物の安定度定数、錯生成定数、表面錯体平衡定数、イオン交換定数等）を深部地下環境を模擬した系において取得する。さらに、データ取得方法の標準化を検討する。

#### ロ) 核種移行挙動評価データの取得

実ガラス固化体、原位置の地下水及び岩石等を用いて、処分環境を模擬した条件での核種移行試験等を実施し、ガラスからの核種の浸出挙動やガラス近傍での溶解度制限固相の生成に関する評価、岩石基質中のマトリクス拡散深さの評価、核種移行に及ぼすコロイドの影響評価等を行う。また、熱力学的な基礎データを用いて、溶解・拡散等の現象理解と安全評価のためのモデルの確立を行う。

#### ハ) 核種移行評価に係るデータベースの整備

OECD/NEA 等の国際機関における熱力学データ整備の情報や、上記イ) 及びロ) で得られるデータを含む国内外の研究機関における核種移行関連研究を広範に調査・評価し、熱力学データ、放射性核種の溶解度、岩石・人工バリア材料への収着データ等の核種移行関連データをデータベースとして整備する。

## 【研究の達成目標（平成13年度）】

### イ) 熱力学的基礎データの取得

溶解度、分配係数、拡散係数などの核種移行関連データ及び熱力学的基礎データ等を核種の化学的性質を考慮しつつ取得する。また、核種移行に関するデータ取得方法について整理するための方法論や必要情報等を検討する。

### ロ) 核種移行挙動評価データの取得

実ガラス固化体を用いた核種移行試験を行うとともに、核種移行に及ぼすコロイドの影響評価に着手する。

### ハ) 核種移行評価に係るデータベースの整備

国内外の研究機関における核種移行関連研究を調査し、熱力学、収着、拡散係数の各種データベース整備を進める。

## 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

### イ) 熱力学的基礎データの取得

炭酸共存下における Np(IV) の溶解度測定では、pHc、全炭酸濃度、イオン強度をパラメータとして試験を行った。図 1 a に、試験結果の一例を示す。溶解度制限固相として  $\text{Np}(\text{OH})_4(\text{am})$  を、溶存化学種として 2 種類のヒドロキソ炭酸錯体 ( $\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$ ,  $\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_4^{4-}$ ) を仮定し、2 つの平衡反応における各イオン強度での見かけの平衡定数を決定した。さらに、イオン相互作用を考慮した活量係数モデル (SIT) を用いてイオン強度 0M における平衡定数を決定した。SIT 法による外挿の結果を図 1 b に示す。得られた  $\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$  の平衡定数は、既存の最新データとほぼ一致した。 $\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_4^{4-}$  の平衡定数は、本研究が初の報告となった [1,4]。

炭酸共存下における Np のスメクタイトに対する収着試験では、全炭酸濃度をパラメータとして、バッチ法により行った。得られた結果を図 2 に示す。分配係数が全炭酸濃度の増加とともに減少していることが

わかる。この依存性を Np(IV)及び Np(V)の複数の溶存化学種によって得られた複合的な分配係数であると予想し、各化学種の分配係数をパラメータとした最小二乗法による適合を実施した。この解析で得られた各化学種の分配係数を表 1 に示す。分配係数が、化学種の負電荷が大きくなるとともに減少していく傾向のあることがわかった[2,3,31]。

ベントナイト中の Pb の拡散試験では、ベントナイト乾燥密度、珪砂混合率、温度をパラメータとして、見掛けの拡散係数を取得した。得られた結果を図 3 に示す。乾燥密度の影響については、乾燥密度が増加するに伴って拡散係数も減少した。一方、珪砂混合率の増加及び温度が上昇するに伴って拡散係数も増加した。また、密度として、ベントナイト中のスメクタイト部分の密度に着目した、スメクタイト部分密度と拡散係数との関係について検討した結果、スメクタイト部分密度の増加に伴い一様に拡散係数は減少した。このことから、ベントナイト中の Pb の拡散は、スメクタイト部分の特性に支配されると考察した。また、拡散係数の温度依存性データから拡散（見掛けの拡散係数）の活性化エネルギーを求めた[14,17]。

Np の溶解度に及ぼすフミン酸の影響として、フミン酸濃度をパラメータとして過飽和法によりバッチ試験を行った。フミン酸の官能基濃度に対する全 Np 濃度を図 4 に示す。フミン酸濃度の増加に伴い、全 Np 濃度も増加する傾向が見られ、弱アルカリ性領域 (pH=8) における Np—フミン酸錯体の形成が示唆された。これは、Sm(III)や Th(IV)と同様の傾向であった。しかし、天然有機物の存在量を考慮すると、処分環境において Np の溶解度に及ぼすフミン酸の影響は、炭酸と比較し顕著ではないと考えられる。また、Np(IV)—フミン酸錯体の見かけの錯生成定数を求めた[30]。

核種移行に関するデータ取得方法については、従来までの核種移行研究で培ってきた経験に基づき、整理するための方法論や必要情報等の検討を開始した。

#### ロ) 核種移行挙動評価データの取得

緩衝材中の水及び溶質の拡散挙動に MD-HA 結合解析法を適用する研究を進めた。MD-HA 結合解析法は、まず、分子動力学計算 (MD) から導出される粘土分子近傍の水分子の物性などミクロな領域での物性値を把握し、次に、モデル化したベントナイトの間隙構造をもとに、ミクロな物性値の分布から材料全体の物性値を導出する均質化解析 (HA) という手法を組み合わせ、圧縮ベントナイトの拡散係数の導出を行うものである。電子顕微鏡観察、XRD 測定などから、圧縮ベントナイトの乾燥密度とスメクタイト層間と積層体間の存在割合を表現する簡易なモデルを構築した。このモデルを基に、スメクタイト粒子が配向して圧縮成型されるクニピア F 中の水の実効拡散係数を解析した。図 5 の がスメクタイトの配向方向と平行な方向への拡散、■が配向方向と垂直な方向への拡散の解析であり、前者は に、後者はその他の実験値のプロットと対応する。配向方向の値は解析値が 2 倍程大きいものの傾向性は良い一致を示している。一方、配向と垂直方向への拡散は、低密度側で解析値との一致が悪くなるが、これは低密度での配向の乱れなどに起因するものと推定した[22,23,24,25]。

ガラスからの核種の浸出挙動やベントナイト中の拡散挙動を同時に評価する、実ガラス固化体及び Pu 含有ガラス固化体を圧縮ベントナイト中に埋め込んだ研究は、それぞれ試験を継続した。

コロイドの影響評価については、実験室及び原位置試験場でベントナイトコロイドが共存する場合の核種の移行試験を行い[37,41]、核種移行が助長されるケース、助長されないケースがあることが確認された。その理由としては、コロイドと核種の収着挙動の可逆・不可逆性に起因しているものと考えられる。また、事例研究として、地下水中の天然コロイドと核種の収着試験を実施した結果、核種はコロイドに有意に収着することが認められた[40]。

#### ハ) 核種移行評価に係るデータベースの整備

第 2 次取りまとめで利用された放射性元素の熱力学データベース (JNC-TDB) は、地球化学計算コード PHREEQE での読み込みが可能なフォーマットで整備されてきた。しかしながら、一般的に利用されている地球化学計算コードには PHREEQC, EQ3/6, The Geochemist's Workbench (GWB) 等があり、これらのコードで JNC-TDB を利用するためには、それぞれの計算コードで読み込み可能なフォーマットで熱力学データベースが準備されている必要がある。そこで、PHREEQE から PHREEQC 及び GWB にデータベースフォーマットを変換するためのプログラムを作成するとともに、JNC-TDB や、海外機関で整備されてきた熱力学データベースを、これらの地球化学計算コードでも読み込み可能なフォーマットに変換し利用可能な環境を整えた[32]。また、米国 DOE との国際共同研究を通じ、活量補正に関わる Pitzer パラメータに関する情報収集を行った。収着データについては、文献データベースによる予備的調査を実施した。

### 【研究の達成状況（平成 13 年度）】

#### イ) 熱力学的基礎データの取得

試験条件を系統的に制御した精緻な試験研究を行い、溶解度、分配係数、拡散係数などの核種移行関連

データ及び錯生成定数などの熱力学的基礎データを放射性核種を用いて取得した。また、従来までの核種移行研究の経験に基づき、核種移行に関するデータ取得方法について整理するための方法論や必要情報等の検討を開始した。以上のことから、所定の研究目的を概ね達成できた。

#### ロ) 核種移行挙動評価データの取得

拡散挙動に MD-HA 結合解析法を適用し、解析結果と試験結果を比較検討することにより、現象理解と安全評価のためのモデルの確立に資した。また、実ガラス固化体を用いた核種移行試験を継続し、コロイドの影響評価に関する試験の準備を開始したことから、所定の研究目的を概ね達成できた。

#### ハ) 核種移行評価に係るデータベースの整備

熱力学データベース整備に関しては、今後の作業における基幹となる利用環境を整備することにより所期の成果が得られた。

#### (今後の予定)

核種移行関連データ及び熱力学的基礎データ等を核種の化学的性質を考慮しつつ取得を継続する。

実ガラス固化体を用いた試験を継続し、地下水コロイドの特性評価のための評価手法の開発及びデータの取得を実施する。また、放射性核種とコロイドの相互作用(収着性)に関する検討に取りかかる。

熱力学データベースの外部公開システムを構築し、熱力学データ、収着・拡散データも調査・評価を進め、データベース更新作業を実施する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

本研究で得られた成果は、安全評価及びデータベース整備のための基礎データとして利用できる。また、溶解・拡散等の現象理解及び核種移行モデルの妥当性評価に利用できる。さらに、データベースや核種移行現象の理解は、安全評価におけるデータ取得方法の標準化や核種移行パラメータの設定手法に関する基盤情報として利用される。

#### 【研究成果の発表状況】

- [1] Kitamura, A., Kohara, Y. (2001): Solubility of Neptunium (IV) in Carbonate Media, Actinides-2001 International Conference, Final Program and Abstracts, p.104.
- [2] Kitamura, A., Tomura, T., Shibutani, T. (2001): Sorption Behavior of Neptunium onto Smectite under Reducing Conditions in Carbonate Media, NUCEF 2001, Abstracts, PW-8.
- [3] Kitamura, A., Tomura, T., Shibutani, T. (2001): Sorption Behavior of Neptunium onto Smectite under Reducing Conditions in Carbonate Media, JNC Technical Report, JNC TN8400 2001-015.
- [4] 北村暁, 小原幸利 (2002): 炭酸共存下における Np(IV)の溶解度測定, 日本原子力学会「2002 年春の年会」要旨集, p.726.
- [5] Kozaki, T., Suzuki, S., Kozai, N., Sato, S., Ohashi, H. (2001): Observation of microstructure of compacted bentonite by microfocus X-ray computerized tomography (micro-CT), Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.38, No.8, pp.697-699
- [6] 小崎完 (2002): 緩衝材中の核種移行挙動に対する粘土の幾何学的微細構造の影響に関する研究( ) (業務委託報告書), JNC TJ8400 2001-044
- [7] 森山裕丈, (2002): 超ウラン元素の加水分解及び錯生成に関する研究(業務委託報告書), JNC TJ8400 2001-048
- [8] 中田弘太郎, 佐藤留美, 田中知, 長崎晋也, 北村暁, 館幸男, 戸村努, 佐藤治夫 (2001): マグネタイト/溶液界面における Cr(VI)の還元, 日本原子力学会「2001 年秋の大会」予稿集, p.916.
- [9] Ochs, M., Lothenbach, B., Shibata, M., Sato, H., Yui, M. (2001): Sensitivity analysis of radionuclide migration in compacted bentonite: A mechanistic model approach, Migration'01, ABSTRACTS, pp.163-164.
- [10] Ochs, M., Lothenbach, B., Shibata, M., Sato, H., Yui, M. (2001): Sensitivity analysis of radionuclide migration in compacted bentonite: A mechanistic model approach, Radiochimica Acta (in press)
- [11] Ochs, M., Lothenbach, B., Wanner, H., Sato, H., Yui, M. (2001): An Integrated Sorption-Diffusion Model for the Calculation of Consistent Diffusion and Distribution Coefficients in Compacted Bentonite, Journal of Contaminant Hydrology 47, pp.283-296

- [12]Sato, H. (2001): The Effect of Pore Structural Factors on Diffusion in Compacted Sodium Bentonite, MRS Symposium Proceedings Vol.663
- [13]Sato, H. (2002): A Study on the Effect of Clay Particle Orientation on Diffusion in Compacted Bentonite, WM02 Conference Proceedings, pp.1-15
- [14]Sato, H., Miyamoto, S. (2001): Diffusion behavior of  $^{210}\text{Pb}$  in compacted sodium bentonite, Migration'01, ABSTRACTS, pp.85-86.
- [15]Sato, H., Miyamoto, S. (2001): The Effects of Silica Sand Content and Temperature on Diffusion of Selenium in Compacted Bentonite under Reducing Conditions, NUCEF 2001, Abstracts, PW-10.
- [16]Sato, H., Miyamoto, S. (2002): Effect of Redox Potential of Diffusion of Redox Sensitive Elements in Compacted Bentonite – Selenium (Se) –, TrePro2002 Workshop Proceedings (in press)
- [17]佐藤治夫 (2001): MIGRATION01 国際会議およびボールシェラー国立研究所(PSI)における専門家会議, JNC TN1200 2001-005
- [18]佐藤治夫, 鈴木覚 (2002): 圧縮ベントナイト中の拡散に及ぼす粘土粒子の配向性の影響に関する基礎的研究, 日本原子力学会「2002 年春の年会」要旨集, p.680.
- [19]Suzuki, S., Fujishima, A., Ueno, K., Shibata, M., Sato, H., Ichikawa, Y., Kawamura, K. (2001): Microstructural modeling of compacted Na-bentonite for prediction of mass transport properties, Migration'01, ABSTRACTS, pp.173.
- [20]Suzuki, S., Sato, H. (2001): Effect of salinity on diffusivities of  $\text{Sr}^{2+}$  and  $\text{I}^-$  ion in compacted sodium-bentonite, Migration '01, ABSTRACTS, pp.80-81.
- [21]鈴木覚 (2001): 圧縮ベントナイト中の  $\text{Sr}^{2+}$  及び  $\text{I}^-$  イオンの実効拡散係数に対する塩濃度の影響, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, A6-006.
- [22]鈴木覚, 上野健一, 藤島敦, 柴田雅博, 佐藤治夫, 市川康明, 藤井直樹, 河村雄行 (2001): 圧縮ベントナイトの微細構造のモデル化と MD-HA 結合解析法の拡散問題への適用, 日本原子力学会「2001 年秋の大会」予稿集, p.899.
- [23]鈴木覚, 藤井直樹, 上野健一, 市川康明, 河村雄行 (2001): 圧縮ベントナイトの微細構造のモデル化と MD-HA 結合解析法の拡散問題への応用, 粘土科学討論会
- [24]鈴木覚, 藤島敦, 上野健一, 市川康明, 藤井直樹, 河村雄行, 柴田雅博, 佐藤治夫, 北山和美 (2001): 圧縮ベントナイトの微細構造のモデル化と MD-HA 結合解析法の拡散問題への応用, 粘土科学 Vol.41, No.2 (in press)
- [25]鈴木覚, 藤島敦, 上野健一, 市川康明, 藤井直樹, 河村雄行, 柴田雅博, 佐藤治夫 (2001): 圧縮ベントナイトの微細構造のモデル化と MD-HA 結合解析法の拡散問題への応用—先行基礎工学研究に関連した共同研究の研究開発状況—, JNC TY8400 2001-003
- [26]鈴木覚, 河村雄行 (2001): 分子動力学によるスメクタイトに対する Sr の収着構造の研究, サイクル機構技報 No.13 (in press)
- [27]鈴木覚, 河村雄行 (2001): 分子動力学による Na 型スメクタイトの層間水の振動スペクトルの研究, JNC TN8400 2001-005
- [28]Tachi, Y., Shibutani, T., Sato, H. (2001): Experimental and Modeling Studies on Sorption and Diffusion of Radium in Bentonite, Journal of Contaminant Hydrology 47, pp.171-186
- [29]立川博一 (2002): 核種移行評価の信頼性向上に関する調査及び技術的レビュー (契約業務報告書), JNC TJ8420 2001-011
- [30]飛塚早智子, 小原幸利, 佐藤治夫 (2001): 還元条件での Np の溶解度に及ぼすフミン酸の影響, 日本原子力学会「2001 年秋の大会」予稿集, p.937.
- [31]戸村努, 澁谷朝紀, 北村暁 (2001): 炭酸共存下における Np(IV)のスメクタイトに対する分配係数, 日本原子力学会「2001 年秋の大会」予稿集, p.903.
- [32]吉田泰, 柴田雅博: 熱力学データベース利用環境の整備, 日本原子力学会 2001 年秋の大会予稿集, 888.
- [33]Chinju H., Kuno Y., Nagasaki S. and Tanaka S (2001), Deposition Behavior of Polystyrene Latex Particles on Solid Surfaces during Migration through an Artificial Fracture in a Granite Rock Sample, J. Nucl. Sci. Technol., Vol.38, pp.439-443.
- [34]久野義夫, 亀井玄人, 大谷洋之 (2001): ベントナイト鉱山の地下水中のコロイド・コロイド生成と地下水水質との関係、日本原子力学会 2001 年秋の大会予稿集、p930
- [35]Kuno Y., Kamei G., and Ohtani H. (2001), Natural Colloids in Groundwater from a Bentonite Mine – Correlation between Colloid Generation and Groundwater Chemistry –, Proceed. Material Res. Soc. Meeting, Boston, Nov. 2002, accepted.

- [36] 久野義夫、鎮守浩史、亀井玄人、長崎晋也、田中知 (2002): 亀裂岩石中でのコロイドおよび溶質の移行研究 (先行基礎工学分野に関する研究協力 共同研究報告書) 核燃料サイクル開発機構公開技術資料 JNC TY8400 2001-007
- [37] 久野義夫、油井三和 (2001): ベントナイトコロイドに収着した Sr の岩石亀裂中での移行挙動 サイクル機構技法、No.13, pp.53-63.
- [38] 黒澤進、林賢一、加藤博康、上田真三、久野義夫、油井三和 (2000): ベントナイトコロイドに収着された Sr の岩石亀裂中の移行、日本原子力学会 2002 年秋の大会予稿集 p695
- [39] 鎮守浩史 (2001): コロイドの付着における物質移動係数の評価手法、日本原子力学会 2002 年春の大会
- [40] 上田真三、黒澤進 (2002): 地下水中に存在するコロイドの特性評価に関する研究 (実務委託報告書), JNC TJ8400 2001-52
- [41] Ota,K., Kuno,Y., Shibata,M., Yoshida,Y. and Yui,M. (2000): Laboratory work in support to CRR Phase 1 experiments at GTS. JNC Tech. Rep., JNC TN7420 2000-003.

(発表予定)

北村暁、小原幸利: アルカリ性水溶液中における Np(IV)の炭酸錯体生成、放射化学討論会

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

溶解度、分配係数、拡散係数については、大学をはじめ、原研、電中研、民間企業において取得され、報告されている。データベースの整備については、民間においては行われていない。原研において、個別元素の熱力学データの整備や収着データのデータベース化が行われている。

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

溶解度、分配係数、拡散係数については、大学をはじめ、様々な研究機関において取得され、報告されている。

熱力学データに関しては、個別元素について OECD/NEA が整備を進めている。研究機関独自で整備を進めているものとして、イギリス AEA テクノロジーの HATCHIES データベース等がある。また、各国の処分安全評価プロジェクト毎に評価に用いるために整備されたデータベースも存在する。収着データベースとしては、以前に OECD/NEA で整備を実施していたが、中断されている。収着データベースも各国の処分安全評価プロジェクト毎に評価に用いるため整備されたものが存在する。拡散データに関しては、日本のようにジェネリックなサイトに対してのデータベースは存在しない。

### 【研究評価 (自己評価)】

#### ○ 成果の達成レベル

##### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

##### [ 説明欄 ]

#### ○ 成果活用方策

##### [ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

##### [ 説明欄 ]

#### ○ 計画の進捗状況

##### [ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。

☐ 計画どおり進捗しなかった。

(その理由：

)

☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

【自由評価欄】

表 1 解析によって得られた各溶存化学種のスメクタイトに対する分配係数( $K_{di}$ )

| 溶存化学種                                        | $K_{di}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ) |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| $\text{NpO}_2^+$                             | $4.8 \times 10^{-1}$                           |
| $\text{NpO}_2\text{CO}_3^-$                  | $1.8 \times 10^{-1}$                           |
| $\text{NpO}_2(\text{CO}_3)_2^{3-}$           | $< 5.3 \times 10^{-4}$                         |
| $\text{NpO}_2(\text{CO}_3)_3^{5-}$           | $< 7.0 \times 10^{-5}$                         |
| $\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$ | $1.4 \times 10^{-2}$                           |

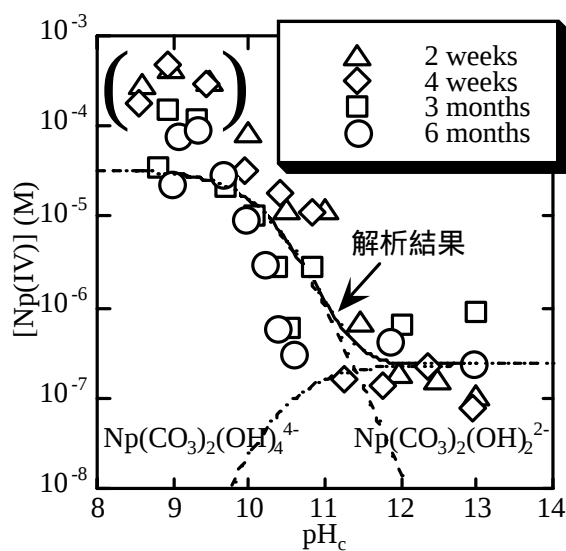


図 1a 炭酸共存下における Np(IV)溶解度の  $\text{pH}_c$  依存性

( $I = 2.0\text{M}$ ,  $C_T = 0.1\text{M}$ )

括弧内のデータは初期 Np 濃度に近いため、解析には用いていない。

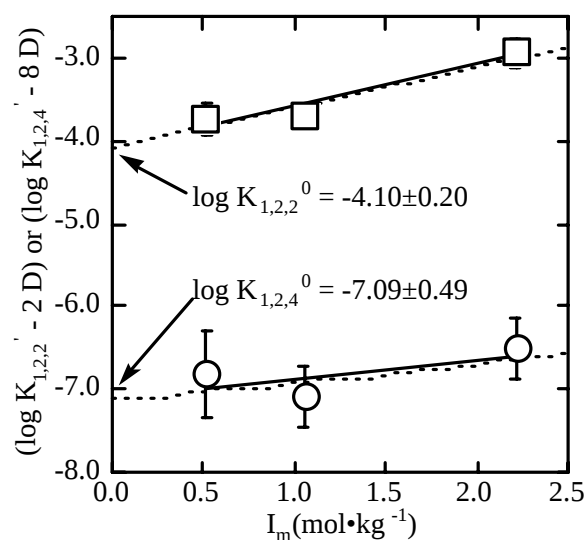


図 1b SIT 法による見かけの平衡定数のイオン強度 0 への外挿

( $I_m$ : 重量モル濃度単位のイオン強度、

D: Debye-Hückel 項)

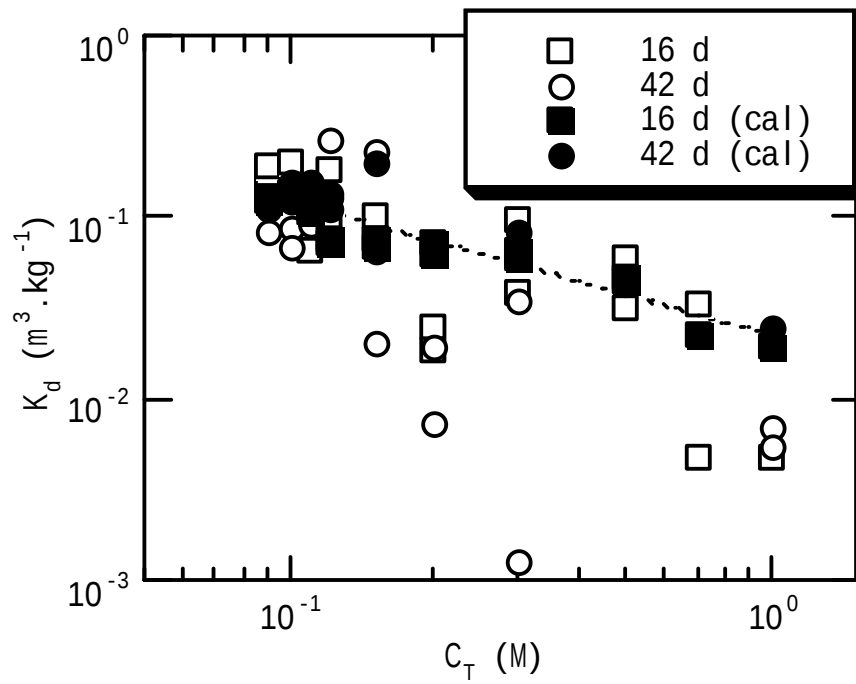


図2 スメクタイトに対する Np の分配係数の全炭酸濃度 ( $C_T$ ) 依存性  
( $\text{pH}=8.6 \pm 0.3$ )

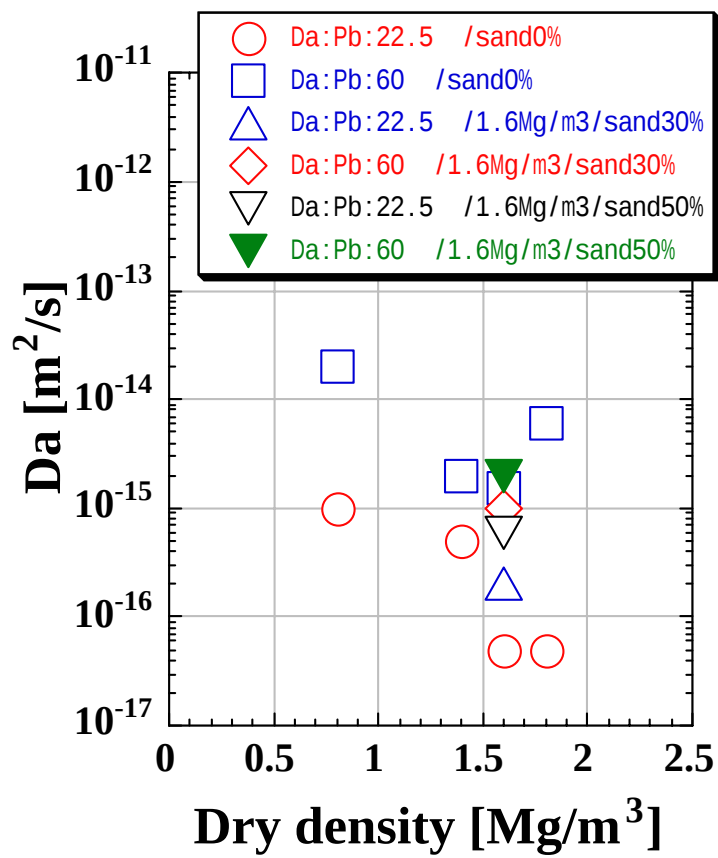


図3 ベントナイト中の Pb の見掛けの拡散係数

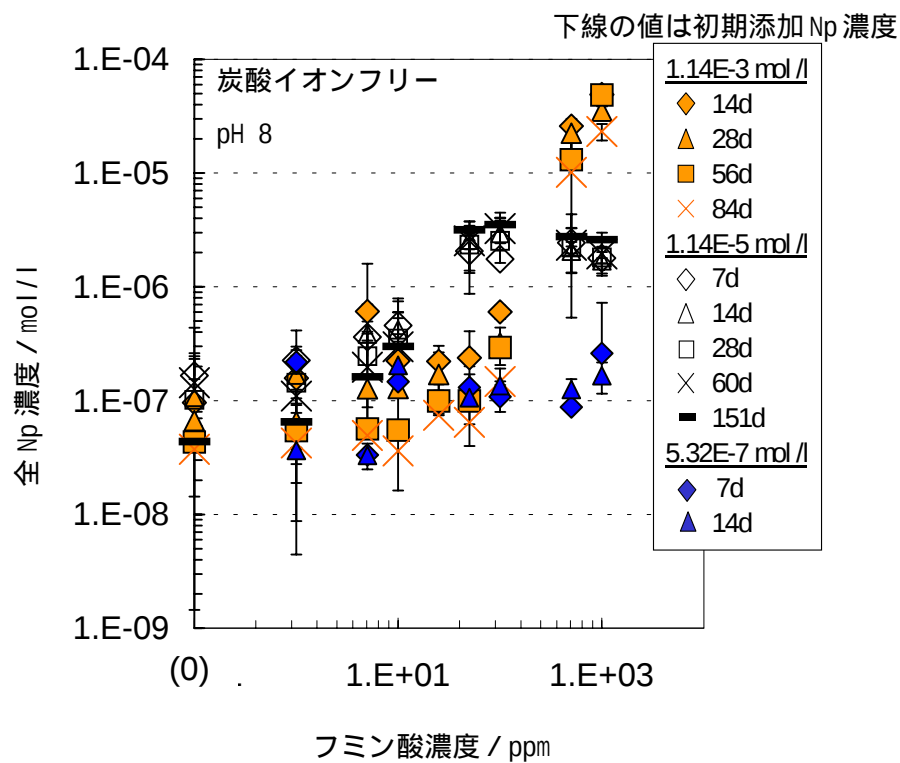


図 4 全 Np 濃度のフミン酸濃度依存性

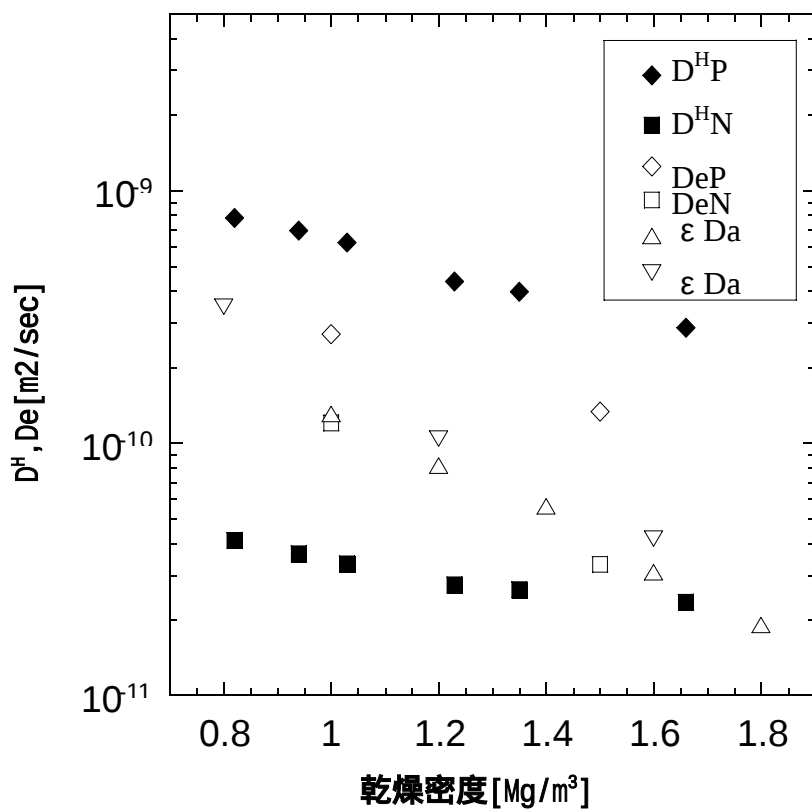


図 5 圧縮ベントナイト中の水の拡散結果と MD-HA 結合解析結果の比較

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

4・1（2・4・1（1））

### 【研究課題名(Title)】

人工バリア及び岩盤の長期挙動に関する研究

(Study of Long-term Behavior of Engineered and Geological barrier systems)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 油井 三和(ゆい みかず)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33, 電話番号: 029-282-1111

(Name) Mikazu YUI

(Title of Function) Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone: +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 柴田 雅博(しばた まさひろ: Masahiro SHIBATA), 大沼 敏(おおぬま さとし: Satoshi OONUMA), 棚井 憲治(たない けんじ: Kenji TANAI), 谷口 直樹(たにぐち なおき: Naoki TANIGUCHI), 伊藤 彰(いとう あきら: Akira ITO)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

(Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works)

[氏名] 宮野前 俊一(みやのまえ しゅんいち: Shunichi MIYANOMAE)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

(Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- ☒ 前期基本計画からの継続(研究課題名: 人工バリアの長期物理的安定性に関する研究)
- ☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)]

- ・国際共同研究「GAMBIT Club」(SKB, NAGRA, POSIVA, ENRESA, ANDRA, JNC)
- ・国際共同研究「DECOVALEX」(SKI, SKB, NIREX, CNSC, Ontario Power, DOE, NRC, ENRESA, IPSN, CEA, BGR, STUK, JNC)
- ・国際共同研究「Prototype Repository Project」(SKB, POSIVA, ENRESA, AITEMIN, CIMNE, GRS, BGR, UWC, ANDRA, CRIEPI, JNC)

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)]

- ・天然におけるスメクタイトの緑泥石化に関する調査(上越教育大学)
- ・オーバーパック候補材料の腐食挙動モデルの高度化研究(腐食防食協会)

- ・チタンオーバーパックの水素脆化に関する研究（神戸製鋼所）
- ・地層処分環境下におけるオーバーパック材料の超長期試験（神戸製鋼所）
- ・軟岩を対象とした長期岩盤挙動研究（前田建設）
- ・人工バリアにおける熱-水-応力連成挙動評価研究（間組）
- ・実規模原位置試験の連成挙動評価研究（間組）
- ・熱-水-応力-化学連成挙動に関する研究（三菱重工業，間組）
- ・温度勾配下での緩衝材の浸潤時における間隙水化学に関する研究（コベルコ科研）

## 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設

## 【研究概要】

### 〔研究の経緯〕

高レベル放射性廃棄物の地層処分については、今後の安全規制に係る基準・指針類の策定や処分事業に向けて、人工バリア性能等の信頼性向上に関わる基盤的な技術や情報を整備しておくことが必要である。このためには、第二次取りまとめの課題を踏まえて、人工バリア及び岩盤の長期挙動に関する研究を着実にかつタイムリーに進めていくことが必要である。

### 〔研究目的〕

具体的な地質環境条件を対象に人工バリアや地下施設に対して、長期予測モデルの検証等を行い、安全評価基準・指針類の策定及び安全評価モデル・データの信頼性向上に資する。

### 〔研究内容〕

人工バリアや地下施設を対象として、以下の研究を行う。

#### イ) 緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関する研究

緩衝材の変質挙動や塩水に対する影響等の長期物理的・化学的安定性に係る現象モデル及びデータの検証を室内において実施するとともに、原位置における検証試験計画を立案する。

#### ロ) オーバーパックの腐食挙動に関する研究

オーバーパックの処分環境下における長期腐食挙動について、腐食機構を解明するための研究を行う。また、腐食挙動に係る現象モデル及びデータの検証を室内において実施するとともに、原位置における検証計画を立案する。

#### ハ) ガス移行挙動に関する研究

人工バリア中及び周辺岩盤中のガス移行挙動に係る現象モデル及びデータの検証を室内において実施するとともに、原位置における検証計画を立案する。

#### ニ) 岩盤長期変形挙動に関する研究

ニアフィールド環境条件を模擬した温度・圧力・間隙水圧条件において、三軸圧縮応力下での岩石のクリープ特性、疲労特性に関する実験的研究を実施し、それらの特性を明らかにするとともに、基礎データを蓄積する。また、これらのデータに基づき長期岩盤強度及び変形予測手法の開発を行う。

#### ホ) 再冠水挙動に関する研究

人工バリア埋設後の再冠水挙動に係る現象モデル及びデータの検証を室内において実施するとともに、原位置における検証計画を立案する。

なお、これらの研究により得られたデータは体系的にデータベースとして取りまとめ、モデルと合わせて体系的解析ツールの構築に資する。

## 【研究の達成目標（平成13年度）】

- イ) 塩濃度をパラメータとした試験により緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関するデータを取得する。
- ロ) オーバーパックの処分環境下における主に環境因子による長期腐食挙動への影響に関するデータを取得する。

- 八)温度、背圧条件を考慮したガス移行試験を行いデータの拡充を図るとともに、応力連成モデルの開発を実施する。
- 二)評価手法の取りまとめや軟岩の挙動測定事例、測定手法の抽出を行うとともに、クリープ試験を実施する。
- ホ)熱・水・応力・化学連成モデル構築のための基盤調査や基礎データを取得する。

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

##### イ)緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関する研究

- ・緩衝材の基本特性については、人工海水を用いた飽和水理試験を行い、海水系条件下における緩衝材の透水性に係るデータの拡充を行った。その結果、降水系の値より1桁程度大きくなる傾向になることが分かった（図1）。
- ・緩衝材の長期力学的変形挙動については、クリープ破壊挙動を正確に把握するため、緩衝材三軸圧縮試験装置の載荷ピストンによる軸摩擦の影響を抑制するために装置の改造を行った。
- ・緩衝材の流出・侵入挙動については、降水系条件下における時間と侵入距離の関係に関するデータの拡充を図り、亀裂幅が大きいほど、また、ベントナイト含有量が多いほど亀裂への侵入が促進されることが分かった（図2）。
- ・緩衝材の変質・劣化挙動については、腐食生成物と緩衝材との相互作用に関する知見を充足するために、天然でのスメクタイトの緑泥石化を調べることとし、堆積岩中にスメクタイトと共存する緑泥石の産状の詳細調査を開始した。緩衝材のアルカリ性環境での変質評価のための基本データであるスメクタイトの溶解速度データの取得を行い、新たな速度式、速度定数の検討を行った。

##### ロ)オーバーパックの腐食挙動に関する研究

セメントによる炭素鋼の腐食形態への影響をアノード分極測定により確認した。その結果、低アルカリ性セメントを使用すれば緩衝材中で炭素鋼はほとんど不動態化しえず、全面腐食を受けることがわかった（図3）。また、還元性環境におけるチタンの腐食速度と水素吸収挙動に関しては、人工海水及び0.1M NaHCO<sub>3</sub>水溶液を用いた90日間の浸漬試験を行った結果、還元性環境におけるチタンの腐食速度は $10^{-2} \sim 10^{-1} \mu\text{m/y}$ のオーダーであり、腐食に伴って発生した水素のほとんどがチタン中に吸収されることが分かった。チタンの水素脆化条件については、約500ppm及び1000ppmの水素を吸収させたチタン試料の引張試験、曲げ試験並びに酸性から中性環境の範囲におけるチタン合金の低歪み速度試験を行った結果、水素吸収による機械特性の明確な劣化は認められなかったが、表面には微小な亀裂の発生が観察された。酸性溶液中ではチタンの不動態皮膜が不安定な電位領域において脆化が認められた。炭酸塩水溶液環境における純銅のアノード分極特性については、炭酸水素イオン濃度の増加により不動態型の分極挙動に近づき、塩化物イオン濃度の増加により活性溶解型の分極挙動に近づくことが確認された。また、硫酸イオンは不動態を破壊する方向に作用する傾向や緩衝材共存系での溶液条件による影響が小さいことなどが確認された。

##### ハ)ガス移行挙動に関する研究

実際の処分環境条件のうち地下水圧の影響を考慮したガス移行挙動を把握するため、MX-80を用いた三軸ガス移行試験を行った。この結果、膨潤応力の1.5倍以上の圧力で破過し、膨潤応力程度の圧力でガスの流動が停止した。膨潤応力程度でガスの流動が停止したことに関しては、Horsemanらの試験結果に類似しているものの、破過圧力については、高めにでている。これらに関しては、今後データを拡充し詳細に検討する必要がある。また、従来の実験では把握しきれないベントナイト中のガス或いは水の挙動、すなわちベントナイト中のガス移行メカニズムをより詳細に把握し、モデル開発に反映するため、X線CTスキャナの適用可能性に関する予備的な検討として、当該装置を用いた緩衝材の飽和度分布測定を行った。その結果、図4に示すように飽和度の変化とCT値の変化が対応していることから、当該手法の適用が可能であることが分かった。

##### 二)岩盤長期変形挙動に関する研究

岩盤の長期力学的変形挙動に影響を及ぼし得る環境条件のうち、熱及び乾湿繰り返し作用を抽出し、それらを模擬した条件下にて、泥岩試料を用いた定歪速度試験を実施した（図5）。評価モデルは、各種提案されているモデルのうち、大久保らにより提案されたコンプライアンス可変型モデルを例にとった。その結果、用いた泥岩試料においては、熱及び乾湿繰り返し作用は岩石の強度・変形特性、及びクリープ特性に影響を及ぼすことが推測され、熱の作用による影響よりも乾湿繰り返し作用による影響のほうが顕著であることが分かった。また、評価モデルの信頼性検討に資する予備的な検討として、ニアフィール

ドの力学状態を模擬した実験を実施した。その結果、実験結果より推測される塑性領域の発生量は、Kastner の解析解とほぼ整合がとれていることが分かった。

#### ホ)再冠水挙動に関する研究

熱・水・応力連成挙動については、国際共同研究 DECOVALEX において参加各機関の所有する解析コードとの比較を行い、第二次取りまとめで使用した熱・水・応力連成モデルの更なる検証及び高度化を行った。また、国際共同研究 Prototype Repository Project では、これまでの経験に基づき、熱・水・応力連成挙動の計測装置の適用性、計測位置の選定について技術協力を行うとともに、実規模原位置試験の連成挙動評価として人工バリア試験の予測解析を行い結果の提供を行った。熱・水・応力・化学連成解析コードに関しては、プロトタイプの開発、塩の蓄積に関する数値解析（表 1、図 6）及び柔軟な連成解析体系の実現に向けた検討を実施した。また、塩の蓄積を確認する試験装置を製作した。

### 【研究の達成状況（平成 13 年度）】

#### イ)緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関する研究

降水系条件下でのデータ取得の継続並びに海水系条件下での試験等を通じて、緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関する知見が充足されたことにより、初期の成果が得られた。

#### ロ)オーバーパックの腐食挙動に関する研究

環境因子による腐食への影響としてセメントによる炭素鋼の腐食への影響、純銅のアノード分極特性に及ぼす陰イオンの種類と濃度の影響などのデータが取得され、所期の成果を得た。チタンについては耐食性に及ぼす溶液条件、電位条件などによる影響についてデータが取得され、所期の成果を得た。

#### ハ)ガス移行挙動に関する研究

背圧条件を考慮したガス移行試験を通じて、処分環境条件下でのガス移行挙動に関する知見が得られたことにより、初期の成果が得られた。

#### ニ)岩盤長期変形挙動に関する研究

ニアフィールド環境を模擬した条件下でのデータ取得や模型実験を通じ、岩盤の長期力学的変形挙動に関する知識が充足されたことにより、初期の成果が得られた。

#### ホ)再冠水挙動に関する研究

熱・水・応力連成モデルの検証及び高度化、熱・水・応力・化学連成解析コードのプロトタイプ開発、塩の蓄積を確認する試験装置の製作を通じて、熱・水・応力・化学連成モデル構築のための基盤情報調査及び基礎データ取得について、所期の成果が得られた。

#### （今後の予定）

##### イ)緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関する研究

- ・緩衝材の基本特性については、水理、膨潤及び熱等に関する各特性におけるデータ取得手法の標準化に関わる基盤情報の整備、温度や塩濃度等を考慮した試験データの拡充並びに関係式の一般化を進める。
- ・緩衝材のクリープ挙動については、クリープ破壊試験によるデータの拡充を図るとともに、既存構成モデルとの比較検討を通じてモデルの限界を把握するとともに、その改良を行う。
- ・緩衝材の流出・侵入挙動については、より信頼性のある長期的な侵入挙動に関する評価を行うために、海水条件下におけるデータの取得や X 線 CT を利用した緩衝材の状態的な把握等を行うとともに、侵入現象モデルの構築を進める
- ・緩衝材の変質・劣化挙動については、鉄腐食生成物及びセメント系材料との相互作用に関する実験的研究を継続するとともに、長期安定性に関連する情報の体系的な整理を行う。

##### ロ)オーバーパックの腐食挙動に関する研究

主に普通セメントの使用を想定し、高 pH 環境での炭素鋼の局部腐食進展挙動などを実験的に検討する。チタンについては長期の試験による還元性環境での腐食速度、水素吸収量、水素吸収率の経時変化に関する調査やチタンオーバーパックにおける長期的な水素濃度分布の予測手法、水素脆化生起条件の検討を行う。また、処分環境における純銅の局部腐食生起条件、進展挙動、さらには、硫化物共存下での還元性環境における純銅の腐食挙動を検討する。

#### ハ)ガス移行挙動に関する研究

降水系条件下におけるデータの取得を継続するとともに、海水系条件や温度さらには地下水圧などの影響を考慮したデータの拡充を図る。また、X線CTによるガス移行メカニズムの詳細な把握に向けて、本格的な可視化研究を開始する。さらに、これらの成果をもとにGAMBITプロジェクトを通じて応力場との連成も考慮したガス移行モデルの開発を進める。

#### ニ)岩盤長期変形挙動に関する研究

ニアフィールド環境を模擬した条件(温度・応力・間隙水圧)下でのデータ蓄積、模型実験を継続し、評価モデルとの比較検討を実施する。

#### ホ)再冠水挙動に関する研究

熱・水・応力・化学連成解析コードの開発を継続するとともに、地層処分システムの熱・水・応力、化学場の変遷に関する数値解析を実施していく。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

#### イ)緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関する研究

本研究の成果は、様々な地質環境条件における人工バリア設計や長期の性能評価に係る評価手法やデータベースの構築、並びにデータ取得手法の標準化や測定基準の策定に反映される。

#### ロ)オーバーパックの腐食挙動に関する研究

本研究は様々な地質環境条件に対するオーバーパック候補材料の腐食寿命の評価に係る測定手法・評価手法及びデータベースの構築に反映される。また、オーバーパックの材料選定、オーバーパック厚さの設定などオーバーパック設計に反映される。

#### ハ)ガス移行挙動に関する研究

本研究を通じて得られるガス移行特性データやガス移行挙動メカニズムに関する知見は、人工バリア性能の維持限界条件の評価に係る手法やデータベースの構築に反映される。

#### ニ)岩盤長期変形挙動に関する研究

本研究の成果は、実現象に忠実な評価が必要であるニアフィールドにおける力学的相互作用評価手法やデータベースの構築に反映される。

#### ホ)再冠水挙動に関する研究

本研究を通じて開発される熱・水・応力・化学連成解析コードは、様々な地質環境条件・人工バリア仕様に対するニアフィールドの熱・水・応力、化学場の長期的変遷を数値実験により予測するものである。本研究の成果は、人工バリア設計や性能評価に係る評価手法やデータベースの構築、並びに熱・水・応力・化学連成挙動に関する測定手法の標準化や測定基準に反映される。

### 【研究成果の発表状況】

- (1)Boegesson, L., Chijimatsu, M., Fujita, T., Nguyen, T. S., Rutqvist, J. and Jing, L. (2001): Thermo-hydro-mechanical characterisation of a bentonite-based buffer material by laboratory tests and numerical back analyses, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol.38, pp.95-104.
- (2)千々松正和, 杉田裕, 小林晃, 大西有三 (2001): DECOVALEX プロジェクトにおいて実施された各解析手法による FEBEX トンネルの掘削水理解析結果の比較, 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム, pp.233-242.
- (3)千々松正和, 谷口航, 鈴木英明, 西垣誠 (2001): 熱-水-応力連成モデルを用いた高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるニアフィールド評価, 土木学会論文集, No.687/ -56, pp.9-25.
- (4)千々松正和, 雨宮清, 杉田裕 (2001): ベントナイトベレットを用いた緩衝材の隙間充填性に関する検討(その2) 楔形状の隙間に対する充填性に関する検討, 土木学会第56回年次学術講演改講演概要集, 共通セッション pp.4-5.
- (5)千々松正和, 根山敦史, 石原義尚, 雨宮清, 塩崎功, 岩田浩, 佐川寛, 中川浩一 (2001): 熱-水-応力-化学連成挙動に関する研究・成果報告書, サイクル機構技術資料(研究委託報告書; 三菱重工

業株式会社, 株式会社間組), JNC TJ8400 2002-003.

- (6) 千々松正和, 根山敦史, 石原義尚, 雨宮清, 塩崎功, 岩田浩, 佐川寛, 中川浩一 (2001): 熱-水-応力-化学連成挙動に関する研究・概要報告書・, サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 三菱重工業株式会社, 株式会社間組), JNC TJ8400 2002-004.
- (7) Chijimatsu, M., Fujita, T., Sugita, Y., Amemiya, K. and Kobayashi, A. (2001): Field Experiment, Results and THM Behavior in the Kamaihi mine experiment, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol.38, pp.67-78.
- (8) 伊藤彰, 川上進, 油井三和 (2002): 熱-水-応力-化学連成挙動研究の現状と今後の計画, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2001-028.
- (9) Kobayashi, A., Fujita, T. and Chijimatsu, M. (2001): Continuous approach for coupled mechanical and hydraulic behavior of a fractured rock mass during hypothetical shaft and sinking at Sellafeld, UK, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol.38, pp.45-57.
- (10) 宮野前俊一, 小川豊和, 井上博之, 梨本裕 (2002): 軟岩の長期力学的変形挙動に関する研究, サイクル機構技術資料, (発表手続き中)
- (11) 西田光宏, 小林晃, 青山咸康, 杉田裕 (2001): トンネル掘削による周辺岩盤の水圧挙動, 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム, PP.243-248.
- (12) Nguyen, T. S., Boegesson, L., Chijimatsu, M., Rutqvist, J., Fujita, T., Hernelind, J., Kobayashi, A., Ohnishi, Y., Tanaka, M. and Jing, L. (2001): Hydro-mechanical response of a fractured granitic rock mass to excavation of a test pit - the Kamaishi Mine experiment in Japan, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol.38, pp.79-94.
- (13) 大場孝信 (2002): 天然におけるスメクタイトの緑泥石化に関する調査, サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 上越教育大学), JNC TJ8400 2001-054.
- (14) 柴田俊夫, 瀬尾眞浩, 杉本克久, 水流徹, 井上博之 (2002): オーバーパック候補材料の腐食挙動モデルの高度化研究, サイクル機構業務委託報告書, JNC TJ8400 2001-049.
- (15) 杉田裕, 千々松正和, 雨宮清 (2001): ベントナイトペレットを用いた緩衝材の隙間充填性に関する検討 (その1) ベントナイトペレット膨潤後の止水性に関する検討, 土木学会第56回年次学術講演改講演概要集, 共通セッション pp.2-3.
- (16) 鈴木英明, 藤田朝雄, 杉野弘幸 (2001): 圧縮ベントナイト中の温度勾配による水分移動, 土木学会第56回年次学術講演改講演概要集, 共通セッション pp.24-25.
- (17) 鈴木英明, 千々松正和, 藤田朝雄, 中野政詩 (2002): 不飽和圧縮ベントナイト中の水分移動パラメータに関する考察, 土木学会論文集, No.701/ -58, pp.107-120.
- (18) 谷口直樹, 川上進, 森田光男 (2001): ベントナイト/ケイ砂混合体における炭素鋼の不動態化条件, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2001-025.
- (19) 谷口直樹, 本田明, 藤原和雄 (2001): 腐食生成物としてのマグネタイトによる炭素鋼オーバーパックの腐食への影響, 材料と環境 2001 講演集 p.270.
- (20) 和田隆太郎, 山口憲治, 西村務, 栗本宣孝, 中西智明, 竹内靖典, 藤原和雄, 建石剛 (2002): 地層処分環境下におけるオーバーパック材料の超長期試験研究, サイクル機構業務委託報告書, JNC TJ8400 2002-001.
- (21) 和田隆太郎, 栗本宣孝, 藤原和雄, 安倍睦, 建石剛, 舩形剛 (2002) チタンオーバーパックの水素脆化に関する研究 サイクル機構業務委託報告書, JNC TJ8400 2002-002.

(発表予定)

- (1) 伊藤彰, 川上進, 油井三和, 千々松正和 (2002): 温度勾配下における緩衝材浸潤時の物質移行に関する数値解析, 土木学会第57回年次学術講演改講演概要集, 共通セッション.
- (2) 川崎学, 谷口直樹, 川上進 (2002): 炭酸塩水溶液およびケイ砂混合ベントナイト中における純銅のアノード分極挙動, 材料と環境 2002 講演集
- (3) 杉田裕, 伊藤彰, 川上進, 油井三和, 大西有三, 小林晃, 操上広志, 千々松正和, 雨宮清 (2002): 人工バリアや周辺岩盤における連成モデルの開発プロジェクト 国際共同研究「DECOVALEX」, 土木学会第57回年次学術講演改講演概要集, 共通セッション.
- (4) 杉田裕, 千々松正和, 雨宮清 (2002): ベントナイトペレットによる隙間充填性および人工海水下での性能確認, 土木学会第57回年次学術講演改講演概要集, 共通セッション.
- (5) 鈴木英明, 伊藤彰, 杉田裕, 川上進 (2002): 水理学的ゆるみ域がおよぼす処分坑道周辺の不飽和領域形成に関する感度解析, 土木学会第57回年次学術講演改講演概要集, 共通セッション.

## 【国内外の研究動向】

### [ 民間の研究の現状と動向 ]

イ)緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関する研究：なし

ロ) オーバーパックの腐食挙動に関する研究

マグネタイトによる炭素鋼の腐食加速現象に関する研究<sup>(1)</sup>、チタンの水素脆化に関する研究が行われている<sup>(2)</sup>。

ハ)ガス移行挙動に関する研究：なし

二)岩盤長期変形挙動に関する研究

粘弾性モデルによる評価<sup>(3)</sup>や、弾粘塑性モデルによる評価が行われている。また、模型実験を用いた評価<sup>(4)</sup>が行われている。

ホ)再冠水挙動に関する研究

国内では、Ohnishi et al.により熱・水・応力連成連成解析コード THAMES<sup>(5)</sup>が開発された。サイクル機構は、人工バリア及び周辺岩盤の熱・水・応力連成モデルを構築し、緩衝材中の連成挙動を表現できるように THAMES の改良を行った<sup>(6)</sup>。

### ( 参考文献 )

- (1)深谷祐一、明石正恒(2001): マグネタイト堆積による炭素鋼の腐食加速機構の検討、第48回材料と環境討論会講演集 p.329.
- (2)中山元、中村規子、深谷祐一、明石正恒(2001): Ti合金の水素に起因する応力腐食亀裂の進展、材料と環境 2001 講演集 p.155.
- (3)井上博之、藤田朝雄、大久保誠介(2000): 軟質泥岩の長期変形特性の把握に関する一考察、土木学会第55回年次学術講演概要集、共通セッション, pp.334-335.
- (4)神籾健一、井上博之(2001): 模型実験による軟質地山の掘削挙動解析、トンネルと地下、第32巻10号, pp.57-65.
- (5)Ohnishi, Y., Shibata, H. and Kobayashi, A. (1985): Development of Finite Element Code for the Analysis of Coupled Thermo-Hydro-Mechanical Behaviors of a Saturated-Unsaturated Medium, Proc. of Int. Symp. On Coupled Process Affecting the Performance of a Nuclear Waste Repository, Berkeley, pp.263-268.
- (6)千々松正和、藤田朝雄、菅野毅、小林晃、茂呂吉司(1995): 膨潤応力を考慮した熱-水-応力連成解析、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第3部(A), pp.26-27.

### [ 海外の研究の現状と動向 ]

イ)緩衝材の長期物理的・化学的安定性に関する研究

スウェーデンでは NaCl 溶液や CaCl<sub>2</sub> 溶液を用いて、ベントナイトの主な物理特性(透水性や膨潤特性など)に与える影響に関するデータの取得を実施している<sup>(1)</sup>。

ロ) オーバーパックの腐食挙動に関する研究

カナダ、フィンランド、スウェーデンなど銅をオーバーパック候補材料としている国の研究者により深部地下環境における銅の腐食挙動の知見がまとめられている<sup>(2)</sup>。

ハ)ガス移行挙動に関する研究

圧縮ベントナイト中のガス移行モデルの開発を目的として、国際共同研究「GAMBIT Club」が行われており、実験結果と解析結果との比較検討、並びに応力場との連成を考慮した検討が行われている<sup>(3)</sup>。

二)岩盤長期変形挙動に関する研究

フランス ANDRA が、現在建設中の Meuse/Haute-Marne URL の岩盤を対象として、長期力学的変形挙動に関する研究を進めている<sup>(4)</sup>。また、アメリカ WIPP<sup>(5)</sup>等で原位置試験を通じた、モデルの適用性に関する検討が実施された。

ホ)再冠水挙動に関する研究

人工バリア及び周辺岩盤の熱-水-応力連成モデルの開発・確証を目的として、国際共同研究

「DECOVALEX」が行われており、各国の熱-水-応力連成解析コードが比較検討されている<sup>(6),(7)</sup>。化学現象を考慮した連成解析コードについては、アメリカ LLNL( Lawrence Livermore National Laboratory) が熱-水-化学連成解析コード NUFT-C、イギリス Cardiff University が熱-水-応力-化学連成解析コード COMPASS、スペイン Technical University of Catalunya が熱-水-応力-化学連成解析コード CODE-BRIGHT の開発を行っている。

( 参考文献 )

- (1)Pusch. R. and Geodevelopment. AB. (2001) : Experimental study of the effect of high porewater salinity on the physical properties of a natural smectitic clay, SKB TR-01-07.
- (2)King, F., Ahonen, L., Taxen, C., Vuorinen, U. and Werme, L.(2001) : Copper corrosion under expected conditions in a deep geologic repository, SKB TR-01-23.
- (3)Swift, B., Hoch, A. and Rodwell, W.(2001) : Modelling gas Migration in compacted bentonite - GAMBIT Club Phase 2 Final Report -, POSIVA 2001-02.
- (4)ANDRA(2000) : Experimental programme at the Meuse/Haute-Marne Underground Research Laboratory, A short review.
- (5)D.E.MUNSON( 1997 ): Constitutive Model of Creep in Rock Salt Applied to Underground Room Closure, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol.34, No.2, pp.233-247.
- (6) Jing, L., Stephansson, O., Tsang, C-F., Knight, L. J. and Kautsky, F. (1996) : DECOVALEX Project Exective Summayr, SKI Report 99:24.
- (7)Stephansson, O., Jing, L. and Tsang, C-F. (1996) : Coupled thermo-hydro-mechanical processes of fractured media, Developments ingeological engineering, 79, Elsevier.

【研究評価（自己評価）】

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☒ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- ( その理由 : )
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

【自由評価欄】

特になし

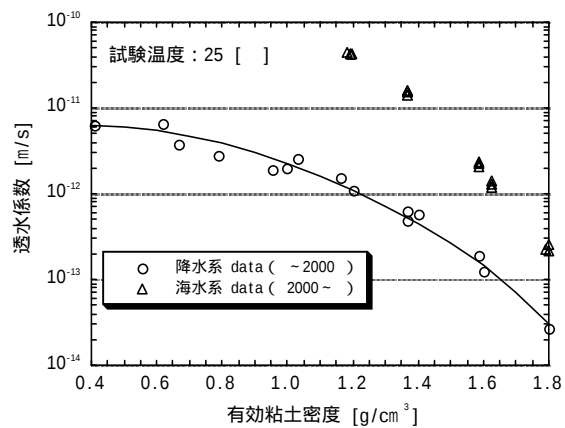


図1 人工海水及び蒸留水を比較した透水係数

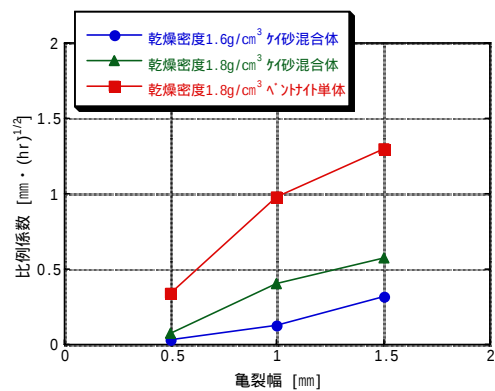


図2 亀裂幅と比例係数の関係

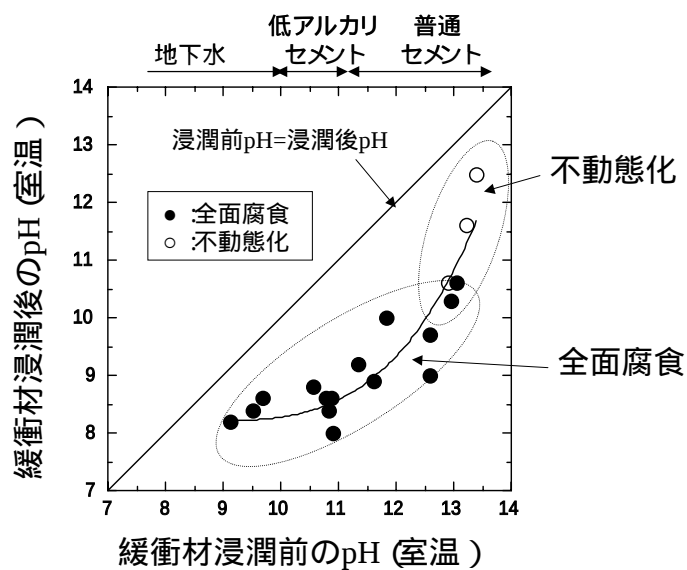


図3 緩衝材による pH 緩衝性と緩衝材中における炭素鋼の腐食形態

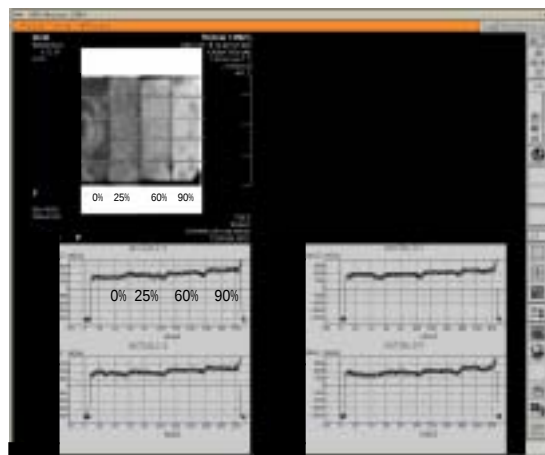


図4 X線CTによる予備試験結果の一例 (軸方向断面)

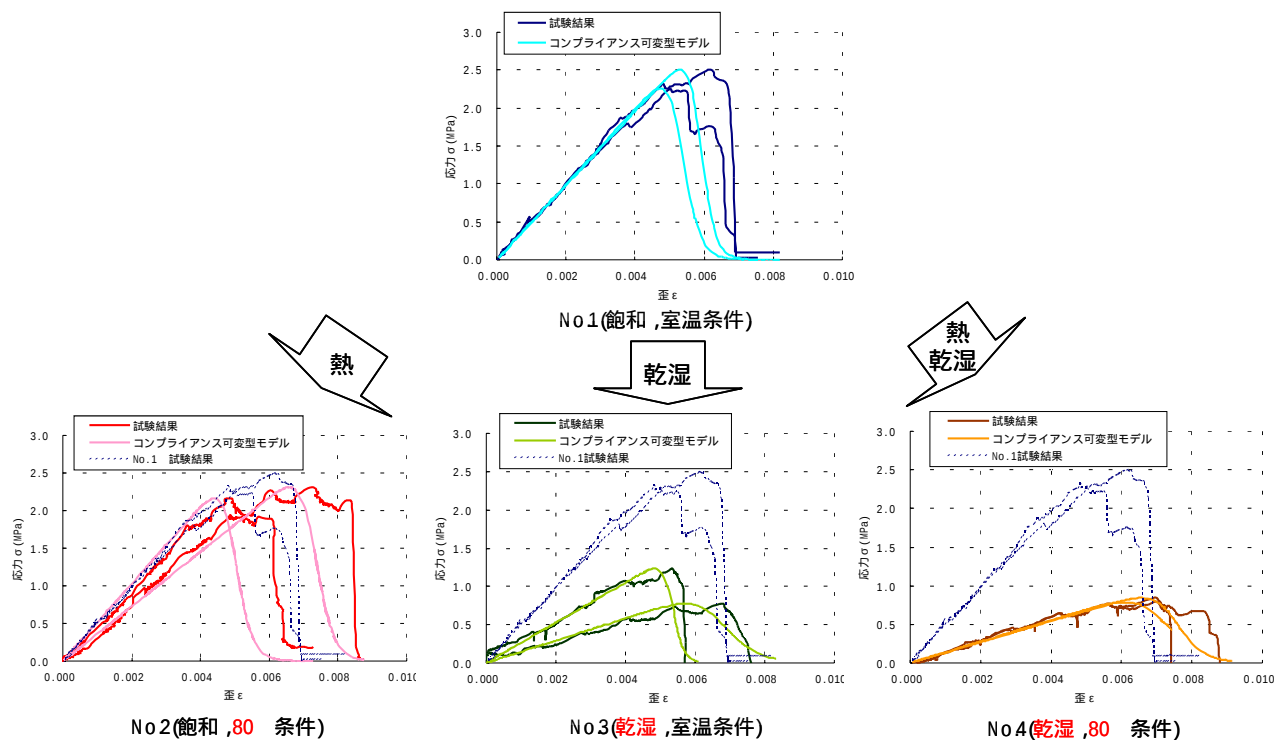


図 5 実環境を模擬した条件下での定歪速度試験結果

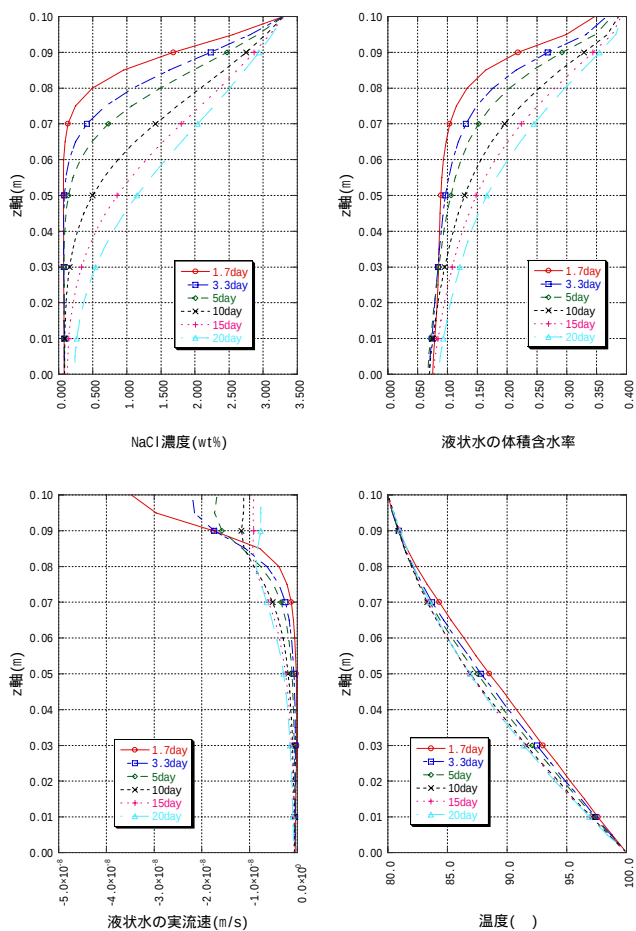


図 6 緩衝材中の塩の蓄積に関する数値解析結果

表 1 数値解析条件

| 解析モデル                       |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| ・ベントナイトケイ砂混合体               |                     |
| 乾燥密度 1,600kg/m <sup>3</sup> |                     |
| ・L=0.1m (z=0.0~z=0.1m)      |                     |
| ・z 方向分割数: 20                |                     |
| 初期条件                        |                     |
| 温度                          | 80                  |
| 体積含水率                       | 8.4%                |
| NaCl 濃度                     | 0.07wt%             |
| 境界条件                        |                     |
| 温度                          | 上面 (z=0.1m): 80 固定  |
|                             | 下面 (z=0.0m): 100 固定 |
|                             | 側面: 断熱              |
| 流れ場                         | 上面: 圧力水頭 0.0m 固定    |
|                             | 下面, 側面: 流入出なし       |
| NaCl 濃度                     | 上面: 3.3wt% 固定       |
|                             | 下面, 側面: 流入出なし       |

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

4 - 2 ( 2 - 4 - 2 ( 1 ) )

### 【研究課題名(Title)】

人工バリア等の性能保証に係る工学技術研究

( Engineering technology research on the performance gurantee for the Engineered Barrier System (EBS) )

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 油井 三和 ( ゆい みかず )

[ 所属 ] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 029-287-3695

(Name) Mikazu YUI

(Title of Function) Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division,  
Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) Muramatsu 4-33, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1194, Phone : +81-29-287-3695

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 杉田 裕 (すぎた ゆたか) 川上 進 (かわかみすすむ) 棚井 憲治 (たない けんじ)

[ 所属 ] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

(Name) Yutaka SUGITA, Susumu KAWAKAMI, Kenji TANAI

(Title of Function) Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division,  
Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ]

トンネル・シーリング性能試験 ( カナダ原子力公社 : AECL )

実規模スケールでの処分場プロジェクト ( スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 : SKB )

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ]

イ) 施工に係る性能保証研究

緩衝材とオーバーパックの相互作用に関する腐食挙動評価研究 ( ) ( 鋼管計測 )

ロ) 処分場管理 / モニタリングに関する研究

地層処分におけるモニタリング概念の構築研究 ( 大林組 )

地層処分における廃棄体再取り出しについての検討 ( 石川島播磨重工 )

実規模シーリングシステムに関する研究 ( ) ( 鹿島建設 )

### 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設

## 【研究概要】

### 〔研究の経緯〕

第2次取りまとめでは、処分場の位置を限定しない一般論として、処分施設が現状技術や将来において予想される技術によって成立することが提示された。しかしながら、実際の処分場のように地下深部に掘削される岩盤の中では、机上や地上での検討では考えられない事象が起こることも予想される。人工バリアの長期挙動を中心として、設計・製作・施工技術と安全評価との関連性を考慮した人工バリアに期待する性能の明確化並びに性能保証項目や評価方法等の基盤情報の整備を進め、安全規制に係る基準・指針類の策定に資することが重要である。

### 〔研究目的〕

具体的な地質環境条件下において、人工バリアや処分施設の設計・施工のうち枢要技術について検証を行い、処分場の設計に適用すべき安全基準・指針類の策定に資する。

### 〔研究内容〕

#### イ) 施工に係る性能保証研究

オーバーバックの製作、緩衝材の製作・施工、埋め戻し、処分場建設等に関するデータを地上施設での要素試験及び原位置での試験を通じて取得するとともに、得られたデータを基盤情報として体系的に整理する。

#### ロ) 処分場管理／モニタリングに関する研究

操業前から処分場閉鎖までの各段階における安全確認のための体系的なシナリオ構築を図り、安全確認すべきモニタリング項目の抽出、モニタリングに使用される計測機器、モニタリングすべき項目が具備する必要がある技術要件等のモニタリングに関する基本的な考え方を整理する。

## 【研究の達成目標（平成13年度）】

### イ) 施工に係る性能保証研究

基盤情報としての整備を実施するために、人工バリア等の性能保証項目の抽出、評価方法やデータベースの整理方法の検討、関連要素試験によるデータ取得等を実施する。

### ロ) 処分場管理／モニタリングに関する研究

処分場管理／モニタリングに関する諸外国の基本的考え方を調査するとともに、モニタリング技術の現状について調査する。

## 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

### イ) 施工に係る性能保証研究

- ・性能保証に関する検討として、人工バリア等の処分場を構成する各要素（緩衝材、オーバーバック、埋め戻し等）について長期的安全性の観点から性能保証すべき項目について、処分事業開始からの時間の経過に伴いこの項目が変化することを十分考慮して抽出した。また、この項目に対してどのように保証するのかを具体的に示した。
- ・人工バリアの搬送・定置装置の要求機能に関するものとして、緩衝材ブロックの施工で起こると考えられる部分的な隙間がオーバーバックの腐食挙動にどのように影響するかを把握するための要素試験を実施した（図1参照）。試験水（人工海水、炭酸水素ナトリウム溶液）、隙間幅、隙間の存続状態（膨潤でふさがり、隙間は存続、隙間なし）をパラメータとした短期の試験では、顕著な影響は確認されなかった。
- ・安全規制や設計基準の策定に資することを目的に、処分事業における操業システムの実現性や問題点を把握するための操業シミュレーションシステムを構築した。また、第2次取りまとめに示された操業における一連の設備機器をモデルデータとして作成し、システムに投入した（図2参照）。
- ・閉鎖技術に求められる要件を明確にするため、海外における閉鎖要件の事例調査を行った。調査の結果、膨潤性の材料で埋め戻すこと、閉鎖要素は埋め戻し材・プラグ・グラウトであることや要求性能は岩盤程度との考え方が多いこと、安全評価に基づいた具体的な仕様は決められていないこと等が分かった。

### ロ) 処分場管理／モニタリングに関する研究

- ・人工バリア性能モニタリングに関する調査として、国際機関 IAEA、OECD/NEA のほか米国、フランス、ベルギー、スイス、ドイツ、スウェーデン、フィンランドの諸外国の調査を行い、各々の処分概念におけるモニタリングに対する対応、基準や指針、それらの中の人工バリア性能確認モニタリングの動向などに留意して最新の情報を整理した。

- ・処分場の管理に関するものとして、諸外国における再取り出しに関する考え方の調査を行い、その結果として再取り出しを意図しないという原則を念頭に置きつつ形式や程度に違いはあるものの再取り出しのオプションを視野に入れていることが分かった。また、第2次取りまとめで示した概念を基とした再取り出しの技術的成立性について検討を行い、成立する条件や課題を整理した。
- ・モニタリングに関する技術情報として、海外の地下研究施設における原位置試験より、実環境における計測機器の状態を把握することによる機器の性能、機器耐久性、計測機器の埋設方法等に関する情報を取得した。

### 【研究の達成状況（平成13年度）】

#### イ）施工に係る性能保証研究

人工バリア等の性能保証に関する項目抽出、整理方法の検討、人工バリアの搬送・定置に係る要素試験によるデータの取得、操業に関するシミュレーションシステムの開発、閉鎖技術に関する要件の調査等、基盤情報としての知見を得ることができ、所期の成果が得られた。

#### ロ）処分場管理／モニタリングに関する研究

処分場管理／モニタリングに関するものとして人工バリア性能モニタリング・再取り出しに関する国際機関、諸外国に対する調査を行い、その考え方をとりまとめ、また原位置試験における計測状況把握による計測機器に関する情報が得られ、所期の成果が得られた。

（今後の予定）

#### イ）施工に係る性能保証研究

人工バリアの性能保証や閉鎖技術に対する要件に関する整理を継続する。また、人工バリアの定置に関わる技術的課題を明らかにするために、考えられる人工バリア定置後の挙動を再現した試験を継続して実施し、それらが人工バリア性能に与える影響を把握する。

#### ロ）処分場管理／モニタリングに関する研究

国際機関及び諸外国の考え方を参考として、わが国における人工バリア性能モニタリングの考え方の整理を実施する。整理においては、技術的な観点のみでなく社会的要請の観点も考慮して実施する。また、モニタリング技術に関する調査を実施するとともに、海外における原位置試験（硬岩系）への参画を継続し、実環境における計測技術に関する知見を収集する。さらに、岩種を軟岩系、水質を降水系及び海水系とする環境を想定した計測技術の適用性も検討する。

### 【成果の利用実績及び活用見通し】

#### イ）施工に係る性能保証研究

施工に係る性能保証研究では、性能保証項目やその評価方法・データベースの整備、緩衝材の搬送・定置機器設備への要求事項の抽出、閉鎖技術に関する要件の明確化することができ、これらの情報は処分場の技術基準や安全審査基本指針策定のための技術情報として反映することができる。

#### ロ）処分場管理／モニタリングに関する研究

処分場管理／モニタリングに関する研究では、諸外国における処分場管理（特に人工バリア性能モニタリング）の考え方、測定項目・技術に関連する情報についてとりまとめて提示することにより、わが国における処分場管理のための安全審査基本指針策定のための技術情報として提示する。

### 【研究成果の発表状況】

#### イ）施工に係る性能保証研究

なし

#### ロ）処分場管理／モニタリングに関する研究

- 1) 杉田裕，升元一彦（2002）：トンネルシーリング性能試験におけるプラグの設計・施工技術，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 2002-005.
- 2) 升元一彦，杉田裕（2001）：カナダ URL における蒸発散量計測による湧水変化の評価，土木学会第56回年次学術講演改講演概要集，共通セッション，pp.2-3.

（発表予定）

- 1) 杉田裕，川上進，油井三和（2002）：原位置における実規模プラグのシーリング性能に関する研究，日本原子力学会 2002 年「秋の大会」
- 2) 升元一彦，杉田裕（2002）：カナダ URL における実規模プラグの性能確認試験，土木学会第57回年次学術講演会

- 3) Masumoto, K., Kawabata, J., Toida, M., Sugita, Y., Kozak, E. and Chandler, N. (2002): Modeling of Transport Properties of Excavation Damage Zone and Plug based on Tracer Experiment of Tunnel Sealing Experiment, Excavation Damage Zone Workshop In NARMS-TAC 2002.

### 【国内外の研究動向】

#### [ 民間の研究の現状と動向 ]

##### イ) 施工に係る性能保証研究

なし

##### ロ) 処分場管理 / モニタリングに関する研究

原子力環境整備促進・資金管理センターにおいて、H12 年度よりモニタリングに関する検討が実施されている<sup>1)</sup>。

#### ( 参考文献 )

- 1) ( 財 ) 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 12 年度高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査報告書 ( 第 3 分冊 ) モニタリング機器技術高度化調査 ( 1/2 地層処分モニタリングシステム技術の開発、平成 13 年 3 月 ) 。

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

##### イ) 施工に係る性能保証研究

地下研究施設において実規模の原位置試験を実施し、人工バリアの施工・埋め戻し技術等に関する体系的なデータ取得、評価を実施している<sup>1),2)</sup>。

##### ロ) 処分場管理 / モニタリングに関する研究

国際的な課題としてモニタリングの考え方<sup>3)</sup>、再取り出しの考え方<sup>4)</sup>、等に関する検討が実施されている。

#### ( 参考文献 )

- 1) Chandler, N., Cournut, A., Dixon, D., Fairhurst, C., Hansen, F., Gray, M., Hara, K., Ishijima, Y., Kozak, E., Martino, J., Masumoto, K., McCrank, G., Sugita, Y., Thompson, P., Tillerson, J. and Vignal, B. (2000): The five years report of the Tunnel Sealing Experiment : an international project of AECL, JNC, ANDRA and Wipp, Atomic Energy of Canada Limited Report, AECL-12727.
- 2) Svemar, C. and Pusch, R. (2000): sp Hard Rock Laboratory - Prototype Repository - Project description, SKB IRR-00-30.
- 3) IAEA (2001): Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste, IAEA-TECDOC-1208.
- 4) OECD/NEA Ad-hoc Group on Retrievability and Reversibility (2001): Considering Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste, Draft Report.

### 【研究評価 ( 自己評価 )】

#### ○ 成果の達成レベル

##### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。  
☒ 予定どおりの成果が得られた。  
☐ 予定どおりの成果が得られなかった。  
☐ その他

##### [ 説明欄 ]

#### ○ 成果活用方策

##### [ チェック欄 ]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。  
☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。  
☐ 安全性の向上に反映できる。  
☐ 原子力防災対策に反映できる。  
☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

)

【自由評価欄】

特になし

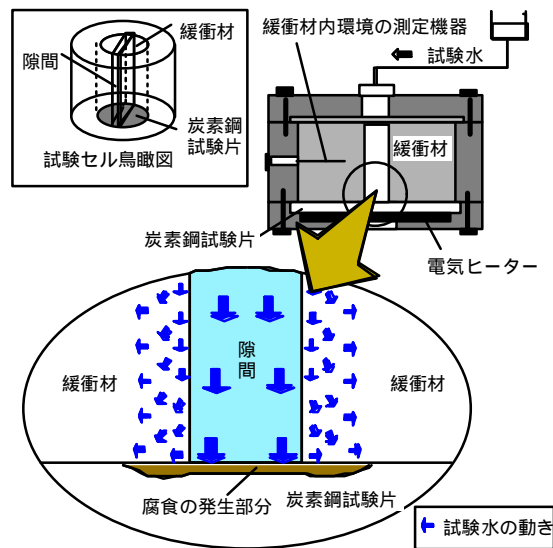


図1 緩衝材ブロック隙間を模擬した腐食試験のイメージ

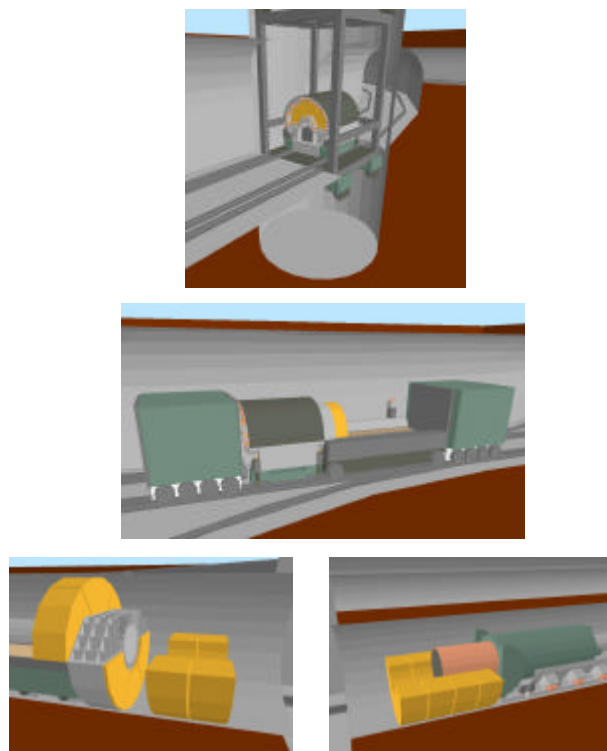


図2 操業シミュレーションシステムに投入したモデルデータの例

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

4・3（2・4・3）

### 【研究課題名(Title)】

人工バリアのナチュラルアナログ研究

(Natural Analogue Study on Engineered Barrier Materials)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 油井 三和(ゆい みかず)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

[連絡先] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33, 電話番号: 029-282-1111

(Name) Mikazu YUI

(Title of Function) Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki, 319-1194 Japan

Phone: +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of function)】

[氏名] 吉川 英樹(よしかわ ひでき:Hideki YOSHIKAWA) 上野 健一(うえの けんいち:Kenichi UENO) 宮本 純司(みやもと じゅんじ:Junji MIYAMOTO)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

(Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 8 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

- ☒ 前期基本計画からの継続(研究課題名: 人工バリアのナチュラルアナログ研究)
- ☐ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)] ・アルカリ性環境でのガラスおよびベントナイトの変質に関するナチュラルアナログ研究(株式会社ダイヤコンサルタント)  
・土壌中の考古学的金属製品の腐食に関する調査(日立エンジニアリング株式会社)  
・ガラス固化体の長期鉱物化に関する研究(九州大学)

### 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設

### 【研究概要】

[研究の経緯]

高レベル放射性廃棄物の地層処分については、今後の安全規制に係る基準・指針類の策定への反映や処分事業に向けて安全性の判断材料としての活用として、材料の長期的な挙動についての基盤的な技術や情報を整備しておくことが必要である。このため、天然の類似現象の調査研究が行われている。

第二次取りまとめの課題を踏まえて、着実にかつタイムリーに研究を進めていく上で、本計画においては古代ガラス、歴史的金属遺物の調査並びに室内比較試験を計画している。

#### [ 研究目的 ]

人工バリアの各要素について、履歴の明らかな天然類似現象を調査・研究することにより、人工バリアの長期的な核種閉じこめ機能及び人工バリア相互作用等に関わる安全評価手法の信頼性の向上に資する。

#### [ 研究内容 ]

##### イ) ガラスの溶解・変質に関する研究

廃棄物ガラスの長期挙動に関するナチュラルアナログとして、発掘調査で出土する古代ガラスを対象とした調査・研究を行う。また、古代ガラスと廃棄物ガラスの類似性に関する比較試験を実施する。

##### ロ) 金属の腐食に関する研究

オーバーパックの長期挙動に関するナチュラルアナログとして、粘土質土壌環境に長期間埋まっていた鉄製品の腐食調査を行うとともに、海水環境で長期間使用されたチタン製品、発掘調査で出土する鉄製及び青銅製遺物を対象とした調査・研究を行う。また、土中の溶存酸素濃度などの埋設環境因子のうち、現在測定が困難な項目の原位置測定手法を開発する。

##### ハ) ベントナイトの変質に関する研究

緩衝材の長期挙動に関するナチュラルアナログとして、鉄、コンクリートと長期間接触していたベントナイトを対象とした調査・研究を行う。また、イライト化事例の情報をさらに蓄積する。

##### ニ) 比較試験

ナチュラルアナログ研究によるデータを処分環境での人工バリア材料の長期挙動モデルの検証に役立てるため、材料と環境条件を変数として比較検討のための試験を行う。

#### 【研究の達成目標（平成13年度）】

##### イ) ガラスの溶解・変質に関する研究

地質調査等で取得されたボーリングコア中の埋没環境が分かる火山ガラス等の試料を取得し、ガラスの溶解・変質に関するデータを取得する。

##### ロ) 金属の腐食に関する研究

金属のナチュラルアナログとして相応しい発掘調査で出土する鉄製、青銅製遺物等を対象とした試料の選定を行い、腐食に関するデータを取得する。

##### ハ) ベントナイトの変質に関する研究

鉄、コンクリートと長期間接触していたベントナイト、イライト化事例または高アルカリ地下水と接触していたベントナイト等の天然事例を選定し試料を採取し、変質に関するデータを取得する。

##### ニ) 比較試験

人工バリア材料の長期挙動モデルの検証に役立てるため、材料組成や環境条件を変数とした長期の比較試験データを取得する。

#### 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

##### イ) ガラスの溶解・変質に関する研究

南関東における深度 2000m 程度のボーリングコア中の凝灰岩層中に含まれる火山ガラス(凝灰岩類)を調査対象試料として防災科学技術研究所の地殻活動観測井から得られたボーリングコアを試料とすることとした。目視により凝灰岩層が認められた横浜市と市原市において得られたコアを調査対象として火山ガラス変質について調査を実施した。最高温度約 70 の条件に埋没していたガラスは、変質鉱物としてモンモリロナイト及び斜プチロル沸石が認められたが、温度約 50 以下では変質鉱物が認められなかった。

##### ロ) 金属の腐食に関する研究

北海道千歳市（イヨマイ7遺跡）と島根県大社町（出雲大社境内遺跡）で出土した鉄器を対象にX線CTによる調査を行った。イヨマイ7遺跡は、約500年前の遺跡と考えられ、太刀、刀子及び鉄ぞく（やじり）が出土した。このうち太刀には鉄が残っており、この期間の腐食量は2～6mmであった。出雲大社境内遺跡からは古代神殿の柱に使用された約700年前の鉄帯や釘などが多数出土したが、このうち7点を調査した。鉄帯と釘の各1点に鉄残存が認められ、腐食量は2mmと推定された。両調査対象鉄器はいずれも赤褐色の錆（ゲーサイト： $\alpha$ -FeOOH）で厚く覆われていたことから、埋蔵雰囲気は酸化性であったと考えられるが、いずれの結果も100年間以下のデータを外挿した値を超えていないことが分かった。

#### ハ）ベントナイトの変質に関する研究

天然におけるアルカリ性地下水湧出地点周辺の粘土鉱物の変質調査対象として、北海道羅臼地区の地熱地域（90以上）を選定し、周囲の粘土鉱物の変質について調査した。しかし、湧出していた地下水（温泉水）のpHは9前後であり、高pH溶液に対するベントナイトの長期安定性評価の研究では不十分なものと判断された。

#### ニ）比較試験

模擬ガラス固化体を用いて種々のNaOH濃度条件でガラスの溶解／鉱物化実験を行った。NaOH濃度が高い場合は方沸石が低い場合はNa-バイデライトが生成しやすいことが分かった。また、ガラスの溶解／変質速度は方沸石、Na-バイデライトの生成や成長の影響を受けることが分かった。Csの浸出挙動ではガラス溶解／変質後もCsの多くは変質ガラス内に留まることが分かった。

### 【研究の達成状況（平成13年度）】

#### イ）ガラスの溶解・変質に関する研究

南関東における深度2000m程度のボーリングコア中の凝灰岩層中に含まれる火山ガラス（凝灰岩類）を調査対象試料として選定した。同試料を用いてガラスの変質について顕微鏡観察を実施した。一部試料から変質鉱物が確認された。

#### ロ）金属の腐食に関する研究

北海道千歳市（イヨマイ7遺跡）と島根県大社町（出雲大社境内遺跡）で出土した鉄器を試料として調査に用いることができた。各試料についてX線CTにより腐食データを取得した。出雲大社出土物は別途年代測定の手続きを完了でき、履歴の分かる試料入手という目標の達成ができた。

#### ハ）ベントナイトの変質に関する研究

アルカリ性地下水湧出地点周辺の粘土鉱物の変質に関する調査として北海道羅臼地区を選定し、粘土鉱物の変質調査を実施することができた。

#### ニ）比較試験

模擬ガラス固化体を用いて各種条件で溶解／鉱物化実験を行い、生成鉱物の分析、浸出元素量の測定を実施した。その結果から、ガラス固化体の溶解と鉱物化反応の関係及びセシウムの浸出挙動について検討した。目標である材料組成や環境条件を変数とした試験の一部を実施することができた。

#### （今後の予定）

#### イ）ガラスの溶解・変質に関する研究

地下水水質や年代等の地質情報を精査し、より詳細に変質の発生する温度、時間条件を明確にするとともに、化学的環境条件の検討も進めていく。

#### ロ）金属の腐食に関する研究

更なるデータの蓄積により材料の種類や環境条件を考慮したより正確な定量化を図る。そのためには、腐食環境因子の把握が重要であるが総合的に判断できるよう、できるだけ多項目について分析、評価を行う。

#### ハ）ベントナイトの変質に関する研究

pH>12の溶液が湧出するサイトとしてヨルダンのサイトをNAGRAとの国際共同研究の一環として実施し、モンモリロナイトの長期安定性に関する情報やデータを蓄積していく。

#### ニ）比較試験

生成鉱物を定量し、その生成速度に関するより詳細なデータを取得する。また、熱力学的平衡

計算及びナチュラルアナログとの比較により、鉱物の生成条件を整理、評価する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

- ・ 人工バリア材料の核種閉じ込め性能に関する安全評価モデルの信頼性の検証及び、同性能に関する安全基準策定に有用な基礎データの提供。
- ・ 地層処分システムの核種閉じ込め性能に対する、専門家をはじめとする社会的合意形成への寄与。

#### 【研究成果の発表状況】

- イ) ガラスの溶解・変質に関する研究
  - ・ 二口克人, 桜本勇治, 廣木峰也 (2002): アルカリ性環境でのガラスおよびベントナイトの変質に関するナチュラルアナログ研究, サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 株式会社ダイヤコンサルタント), JNC TJ8400 2001-046.
- ロ) 金属の腐食に関する研究
  - ・ 本田卓, 山口伸吾 (2002): 土壌中の考古学的金属製品の腐食に関する調査(II), サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 日立エンジニアリング株式会社), JNC TJ8400 2001-045.
- ハ) ベントナイトの変質に関する研究
  - ・ 二口克人, 桜本勇治, 廣木峰也 (2002): アルカリ性環境でのガラスおよびベントナイトの変質に関するナチュラルアナログ研究, サイクル機構技術資料 (研究委託報告書; 株式会社ダイヤコンサルタント), JNC TJ8400 2001-046.
- ニ) 比較試験
  - ・ 稲垣 (2002): ガラス固化体の長期鉱物化に関する研究, サイクル機構技術資料 (受託研究報告書; 九州大学工学研究院エネルギー量子工学部門), JNC TJ8400 2001-0xx.

(発表予定) 日本原子力学会 2002 年秋の年会、日本原子力学会 2003 年春の年会、第 39 回理工学における同位元素・放射線研究発表会

#### 【国内外の研究動向】

##### [ 民間の研究の現状と動向 ]

- イ) ガラスの溶解・変質に関する研究
  - 特になし
- ロ) 金属の腐食に関する研究
  - 埋設後数十年を経過したガス管を用いて環境因子を見出しながら腐食調査が行われた例があるが定量的推定が困難と成っている。
- ハ) ベントナイトの変質に関する研究
  - 特になし
- ニ) 比較試験
  - ガラス固化体表面に生成される鉱物については、いくつかの研究が報告されているが、電子顕微鏡を用いるなど生成量は微量であり定量的、系統的評価が難しい状況である。

##### (参考文献)

- ロ) 金属の腐食に関する研究
  - 佐古光実聡: 日本瓦斯協会誌、33、p73(1986)
- ニ) 比較試験
  - ・ T.Murakami, T.Banba, M.J.Jercinobic and R.C.Ewing, in Scientific Basis for Nuclear Waste Management XII, edited by W.Lutze and R.C.Ewing(Mat.Res.Soc.Symp.Proc. Vol.127), p.65(1988)
  - ・ S.Gin, J.P.Mestre, J.Nucl.Maters. 295, 83 (2001)

##### [ 海外の研究の現状と動向 ]

- イ) ガラスの溶解・変質に関する研究
  - 特になし
- ロ) 金属の腐食に関する研究
  - 鉄製品のナチュラルアナログ研究としては特になし
- ハ) ベントナイトの変質に関する研究

処分坑道建設材料としてのセメント系物質の使用に伴う、高 pH 環境下でのベントナイトの長期安定性が懸念されている。Pusch は高 pH 環境下でのモンモリロナイトの沸石化を問題としてる。

## 二) 比較試験

特になし

### (参考文献)

#### ハ) ベントナイトの変質に関する研究

- ・ Pusch, R.: Stability of Deep-sited Smectite Minerals in Crystalline Rock-Chemical Aspects, KBS TR 83-16, pp1-68, (1983)

### 【研究評価(自己評価)】

#### ○ 成果の達成レベル

##### [チェック欄]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

##### [説明欄]

#### ○ 成果活用方策

##### [チェック欄]

- ☒ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

##### [説明欄]

#### ○ 計画の進捗状況

##### [チェック欄]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由: )
- ☐ 計画以上に進捗した。

##### [説明欄]

### 【自由評価欄】

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

5・1（2・5・1（1））

### 【研究課題名(Title)】

TRU 核種を含む放射性廃棄物処分の安全評価の信頼性向上に向けたデータ及び評価手法の整備  
(Date acquisition and development of assessment method for the safety assessment of TRU waste)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[氏名] 宮本 陽一(みやもと よういち)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分材料研究グループ

[連絡先] 319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 TEL: 029-282-1111(内3139)

(Name) Yoichi MIYAMOTO

(Title of Function) Materials Research Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194

Phone: +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[氏名] 本田 明(ほんだ あきら: Akira HONDA) 大井 貴夫(おおい たかお: Takao OHI) 三原 守弘(みはら もりひろ: Morihiro MIHARA) 飛塚 早智子(とびつか さちこ: Sachiko TOBITSUKA) 佐原 史浩(さはら ふみひろ: Fumihiro SAHARA) 大澤 勉(おおさわ つとむ: Tsutomu OOSAWA) 大塚 剛樹(おおつか よしき: Yoshiki OTSUKA) 諸岡 幸一(もろおか こういち: Kouichi MOROOKA)

[所属] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分材料研究グループ

(Materials Research Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works)

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[前期基本計画からの継続の有無]

☐ 前期基本計画からの継続(研究課題名: )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[共同研究名(実施機関)] なし

[実証試験名(実施機関)] なし

[委託研究名(実施機関)]

- ・低アルカリ性コンクリートの実用性試験及び変質評価(株式会社 大林組)
- ・セメント系材料に対する硝酸塩等の影響評価(株式会社 太平洋コンサルタント)
- ・高アルカリと硝酸塩の影響を受けたベントナイト及び岩石の水理特性評価(株式会社 大林組)
- ・TRU 廃棄物処分環境下における硝酸塩の金属との化学的相互作用による変遷に関する研究(株式会社 神戸製鋼所)
- ・地層処分における微生物影響の評価研究(石川島播磨重工業株式会社)
- ・微生物の地層処分環境条件における馴化の研究(株式会社 関西新技術研究所)
- ・ニアフィールド構成材料のガス移行特性に関する研究(東洋エンジニアリング株式会社)
- ・ニアフィールド水理場の長期変遷評価システム構築に関する研究(鹿島建設株式会社/株式会社 クインテッサ・ジャパン)

- ・セメント系材料の水理・力学特性の変遷に関する研究（鹿島建設株式会社／株式会社 太平洋コンサルタント）
- ・核種移行解析の網羅性の確認・評価（その３）（日揮株式会社）
- ・浅地中処分想定廃棄体の処分適合性に関する検討（日揮株式会社）

## 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設（エントリー）

## 【研究概要】

### 〔研究の経緯〕

数年後に予想されるTRU廃棄物の処分事業に関連した法整備に、処分方策の確立に関する詳細かつ具体的な研究成果を反映させるために、早急かつ着実に研究を進める必要がある。

### 〔研究目的〕

TRU核種を含む放射性廃棄物の性状に起因して起こる特有な現象に着目し、信頼性の高い核種移行データ等を取得・整備するとともに性能評価モデル／コードの開発及び解析評価を実施し、TRU核種を含む放射性廃棄物の地層処分に係る安全評価手法の確立及び関連する安全基準・指針類の策定に資する。

### 〔研究内容〕

TRU核種を含む放射性廃棄物の性状に起因して起こる特有の現象を考慮したデータ取得・整備及び性能評価解析のため、以下の研究を実施する。

#### イ）セメントの長期的溶解変質に関する研究

セメントの変質を定量的に把握するため、既存のセメント変質モデルの妥当性を評価検討する。

#### ロ）高pH、硝酸塩環境下における人工バリア及び岩盤の長期的変質に関する研究

セメント成分の溶出によって生成される高pH地下水による人工バリア及び岩盤の長期変質挙動を把握するとともに核種移行パラメータへの影響を把握する。廃棄体を起源とする硝酸塩の分解挙動を把握するとともに硝酸塩による人工バリア及び岩盤特性への影響や核種移行パラメータへの影響を把握する。

#### ハ）有機物の影響に関する研究

地下水中の天然有機物及び廃棄体や人工バリア材を起源とする有機物の地下水中での挙動を把握するとともに、核種移行プロセスや核種移行パラメータへの影響を把握する。

#### ニ）微生物活動の影響に関する研究

地下深部での微生物の活動状況に関する情報をもとに核種移行プロセスや核種移行パラメータへの影響を把握する。

#### ホ）ガス発生及び移行の影響に関する研究

廃棄体や人工バリア材の劣化に伴い発生するガスとその移行挙動に関するデータの拡充を行い、既存のガス移行モデルの妥当性を評価する。

#### ヘ）評価モデル及びコードの開発並びに性能評価

イ）～ホ）で得られた知見やデータを評価シナリオの設定や性能評価モデルの開発に反映させるとともに、モデルの妥当性について検証する。また、感度解析等の実施により、処分システムの性能を評価する。

## 【研究の達成目標（平成13年度）】

### イ）既存のセメント変質モデルの調査・整理

### ロ）高pH地下水による人工バリア及び岩盤の長期変質挙動の調査及び試験。硝酸イオンの変遷/影響の調査・試験。

### ハ）天然有機物及び人工有機物の特性・挙動調査及び試験。

### ニ）地下深部での微生物調査並びにアルカリ環境での微生物の生育検討

### ホ）金属からのガス発生速度の取得及び人工バリア中のガスの移行モデルの調査。

### ヘ）TRU 廃棄物処分の評価シナリオ / 性能評価モデルの整理。

## 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

### イ）セメントの長期的溶解変質に関する研究

セメントの水和物の一つであるカルシウムケイ酸塩水和物（C-S-Hゲル）の溶解モデルについて調査を行った。実験結果より得られた経験的なモデルと熱力学モデルに基づく理論的なモデルとに整理した。さらに、理論的モデルを用いて処分施設内におけるセメント系材料長期挙動評価を実施し（図・1）、既存の経験的モデルを用いた結果と調和的であることを確認した<sup>10)</sup>。

#### ロ）高pH、硝酸塩環境下における人工バリア及び岩盤の長期的変質に関する研究

pH12を超えるアルカリ性溶液中のベントナイトの変質に関して、既存の文献を調査・まとめるとともに、熱力学モデルに基づきナトリウム濃度とpHをパラメータとしてベントナイト（ナトリウム型モンモリロナイト）が安定に存在しうる領域について検討を行った。高アルカリ領域では、アナルサイムが安定に存在することが熱力学モデルに基づく検討においても示され、予備的に実施した実験結果と調和的であった（図・2）<sup>2)</sup>。また、pHが11程度のセメント浸出液についてベントナイト、花崗岩及び凝灰岩の浸漬試験を行い二次鉱物の生成状況の調査を行った。360日間の浸漬において、凝灰岩及びベントナイトについて底面間隔38オングストロームの新規鉱物の生成が確認された。

硝酸イオンの変遷については、炭素鋼の腐食にともない硝酸イオンが還元され、アンモニアに変遷することが実験的に示された。硝酸イオンが還元されるため水の還元にもなう水素ガス発生量が低下した。また、セメント系材料に対する硝酸イオンの影響調査<sup>4)</sup>を行うとともに硝酸イオン共存条件におけるAm及びThのセメント系材料に対する収着試験を実施した。硝酸イオンの有無による収着分配係数への影響は見られなかった（図・3）。

#### ハ）有機物の影響に関する研究

天然有機物の試験として、フミン酸濃度をパラメータとして過飽和によりNpの溶解度試験を実施した。フミン酸濃度の増加に伴い、全Np濃度も増加する傾向が見られ、Np(IV)・フミン酸錯体の見かけの錯生成定数を求めた。

また、廃棄物に含まれる可能性のある人工有機物について処分施設内に持ち込まれる量や分解挙動について試験及び調査を行い研究対象とする有機物の重要度分類を行うとともに、セメント系材料に用いられる有機系混和剤の溶出について検討を行った（図・4）<sup>3,6)</sup>。また、有機物と核種の相互作用について文献調査を実施した。

#### ニ）微生物活動の影響に関する研究

ベントナイト鉱床の地下サンプルについて微生物の存在状況を坑道壁面から深さ方向（1mのコアをサンプリング）に調査した。坑道表面から50cmになると表面のサンプルと比較して一桁微生物の存在量が低下し、1mLの試料あたり $10^6$ 程度の菌数の微生物が存在していることが示された。また、微生物を種々の天然環境からサンプリングした試料をアルカリ性環境に馴化させた試験を実施した。高アルカリ貯水池よりサンプリングした試料にはアスファルト分解能が最も高い微生物が存在していた（図・5）。

#### ホ）ガス発生及び移行の影響に関する研究

金属の腐食による水の還元にもなう水素ガスの発生速度を取得した。得られたガス発生速度を腐食速度に換算し、既存の文献と比較し、腐食速度として評価した。その結果、温度50℃程度のpH12以上のアルカリ条件での炭素鋼、ステンレス鋼及びジルカロイの腐食速度はそれぞれ $0.1\mu\text{m/y}$ 、 $0.01\mu\text{m/y}$ 及び $0.001\mu\text{m/y}$ と評価された（図・6）<sup>7)</sup>。また、人工バリアのガスの移行モデルについては、セメント系材料に対するガスの移行モデルの調査を実施した。

#### ヘ）評価モデル及びコードの開発並びに性能評価

TRU廃棄物処分における評価シナリオとして、化学反応、応力及び水理に関わる評価事象の関連を整理するとともに、個々の事象を評価するためのモデルの整理を行った<sup>9,10,11,12)</sup>。さらに、処分システムの性能評価を実施するためにセメント系材料に対する核種の収着データベースの整備（図・7）<sup>1)</sup>を行った。また、TRU廃棄物処分に生じうる重要事象を抽出するために、処分システム内で生じる様々な事象を簡略化して取り込んだ包括的な核種移行解析を行い、処分システムの安全性に及ぼす重要な入力パラメータを把握する手法の開発を行った<sup>5,8)</sup>。

### 【研究の達成状況（平成13年度）】

イ）～ヘ）の各研究を実施することにより、所期の成果が得られた。

(今後の予定)  
イ)～ヘ)の研究を平成13年度に継続して実施する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

数年後に予想される TRU 廃棄物の処分事業に関連した法整備に活用する。

#### 【研究成果の発表状況】

- 1) 加藤 大生, 三原 守弘 他: “TRU 廃棄物処分におけるセメント系材料に対する核種の収着データベースの整備”, サイクル機構技報, No.14(2002)
- 2) 市毛 悟, 三原 守弘 他: “ベントナイトの長期安定性の検討”, JNC TN8430 2001-007(2002)
- 3) 藤田 英樹, 根岸 久美 他: “有機系混和剤を添加したセメントペースト硬化体からの有機物溶出挙動・バッチ試験による評価・”, 日本原子力学会 2001 年 秋の大会 北海道大学 (2001)
- 4) 根岸 久美, 藤田 英樹 他: “硝酸塩がセメント水和物の変質に与える影響”, 日本原子力学会 2001 年 秋の大会 北海道大学 (2001)
- 5) 高瀬 博康, 稲垣 学 他: “TRU 廃棄物処分に関する包括的感度解析手法の開発”, 日本原子力学会 2001 年 秋の大会 北海道大学 (2001)
- 6) 藤田英樹, 根岸 久美 他: “有機混和材を添加したセメントペースト硬化体からの有機物溶出挙動(II)・圧搾試験による評価・”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)

(発表予定)

- 7) 三原 守弘, 西村 務 他: “低酸素かつアルカリ条件における炭素鋼, ステンレス鋼及びジルカロイからのガス発生率及び腐食速度の評価”, サイクル機構技報, No.15 (2002) (投稿中)
- 8) 大井 貴夫, 三原 守弘 他: “TRU 廃棄物処分における N.F. 水理場の変遷に関する研究(1)・包括的感度解析手法に基づく重要研究課題の抽出について・”, 日本原子力学会 2002 年秋の大会 (2002) (投稿中)
- 9) 高瀬 博康, 青山裕司 他: “TRU 廃棄物処分における N.F. 水理場の変遷に関する研究(2)・ニアフィールド水理場の長期的変遷評価システムの構築・”, 日本原子力学会 2002 年秋の大会 (2002) (投稿中)
- 10) 三原 守弘, 大井 貴夫 他: “TRU 廃棄物処分における N.F. 水理場の変遷に関する研究(3)・化学的変遷モデル、力学的変遷モデルの検討・”, 日本原子力学会 2002 年秋の大会 (2002) (投稿中)
- 11) 大澤 勉, 大井 貴夫 他: “TRU 廃棄物処分における N.F. 水理場の変遷に関する研究(4)・システム化に向けたセメント系材料の特性評価・”, 日本原子力学会 2002 年秋の大会 (2002) (投稿中)
- 12) 笹倉 剛, 畔柳 幹雄 他: “TRU 廃棄物処分における N.F. 水理場の変遷に関する研究(5)・システム化に向けたベントナイト系材料の特性評価・”, 日本原子力学会 2002 年秋の大会 (2002) (投稿中)

#### 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

イ)～ホ)に示した個別の研究に関して, アルカリ性かつ還元条件での金属の腐食速度の取得<sup>1)</sup>, セメント系材料のガスの移行特性の評価<sup>2)</sup>, セメント系材料の溶解に関わる研究<sup>3,13,14,15)</sup>や溶解に伴う核種移行特性や物理的特性を調査した研究<sup>4,5)</sup>, ベントナイト及びセメント系材料の相互作用<sup>6,7,8,16,17,18,19)</sup>, セメント系材料の環境における核種の移行挙動<sup>10,11,12)</sup>, 陰イオンの収着特性に関わる微生物の影響に関する研究<sup>9)</sup>が他の研究に機関においても着実に進められている。

(参考文献)

- 1) 脇 敏一, 斎田 勇三 他: “アルカリ・還元雰囲気下の腐食速度評価試験・浸漬パラメータの影響評価・”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)
- 2) 佐藤 立, 溝渕 麻子 他: “キャピラリーバンドルモデルによる透気試験のシミュレーション解析”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)
- 3) 芳賀 和子, 須藤 俊吉 他: “セメント系材料の溶解特性に関する基礎的検討(6)・空隙量が  $\text{Ca}^{2+}$  イオンの拡散に与える影響・”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)
- 4) 小林 康利, 小澤 孝 他: “セメント系材料の変質による拡散係数への影響評価”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)

- 5) 柴田 真仁, 芳賀 和子 他 “ 通水により溶解変質したOPC水和物の強度特性 ”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)
- 6) 斎藤 隆義, 大西 利満 他 “ ベントナイトとモルタルの接触面近傍の変質 (I) ベントナイトスラリーの変質調査 ”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)
- 7) 大西 利満, 斎藤 隆義 他 “ ベントナイトとモルタルの接触面近傍の変質 ( ) モルタルの変質調査 ”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)
- 8) 今井 淳, 佐藤 努 他 “ EXP070 タイムカプセル調査におけるベントナイトとコンクリートの接触事例 ”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)
- 9) 大貫 敏彦, 坂本 文徳 他 “ 陰イオンの移行に及ぼすバイオマットの影響 ”, 日本原子力学会 2001 年秋の大会 (2001)
- 10) 岩井田 武志, 田中 知 “ C-S-H(CaO-SiO<sub>2</sub>系水和物)へのCsの収着挙動 ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 11) 澤田 博司, 坂本 義昭 他 “ 天然バリア中の<sup>63</sup>Ni, <sup>226</sup>Raの収着及び核種移行への高pHの影響 (I) ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 12) 澤田 博司, 坂本 義昭 他 “ 天然バリア中の<sup>63</sup>Ni, <sup>226</sup>Raの収着及び核種移行への高pHの影響 ( ) ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 13) 金子 昌章, 中田 耕太郎 他 “ 水和物の溶解によるセメント変質モデルの開発 (その2) ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 14) 杉山 大輔, 藤田 智成 他 “ 地下水流動条件におけるセメント溶解変質挙動の予備検討・セメント水和物粉碎試料のカラム法連続溶解実験 ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 15) 山田 憲和, 木戸 好浩 他 “ 複合バリア施設の長期性能評価 : (1/3)手法 ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 16) 大谷 崇, 中澤 俊之 他 “ 複合バリア施設の長期性能評価 : (2/3)手法 ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 17) 安田 和弘, 須藤 俊吉 他 “ 複合バリア施設の長期性能評価 : (3/3)手法 ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 18) 山口 徹治, 坂本 好文 他 “ ベントナイト系緩衝材の長期変質に関する実験的研究 (1) 既往研究からの考察 ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)
- 19) 坂本 好文, 中山真一 他 “ ベントナイト系緩衝材の長期変質に関する実験的研究 (2) 既往研究からの考察 ”, 日本原子力学会 2002 年春の年会 (2002)

#### [ 海外の研究の現状と動向 ]

英国 Nirex 社では高レベル放射性廃棄物と低レベル放射性廃棄物 (TRU 核種を含む廃棄物含む) の共同処分についての検討がなされている<sup>1)</sup>。また、スイス Nagra においても高レベル放射性廃棄物と TRU 廃棄物を深地層中に処分することを検討しており、地下研究施設を利用した研究が行われている<sup>2)</sup>。

#### ( 参考文献 )

- 1) Nirex: “ Issues Associated with the Co-Disposal of ILW/LLW and HLW/SF in the United Kingdom ”, WM ' 02 Symposia(2001)
- 2) Nagra: “ Integration of TRU Disposal in Switzerland ”, WM ' 02 Symposia(2001)

#### 【研究評価 ( 自己評価 )】

##### ○ 成果の達成レベル

###### [ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

###### [ 説明欄 ]

##### ○ 成果活用方策

###### [ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☒ 安全性評価の判断材料として活用できる。

- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☐ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

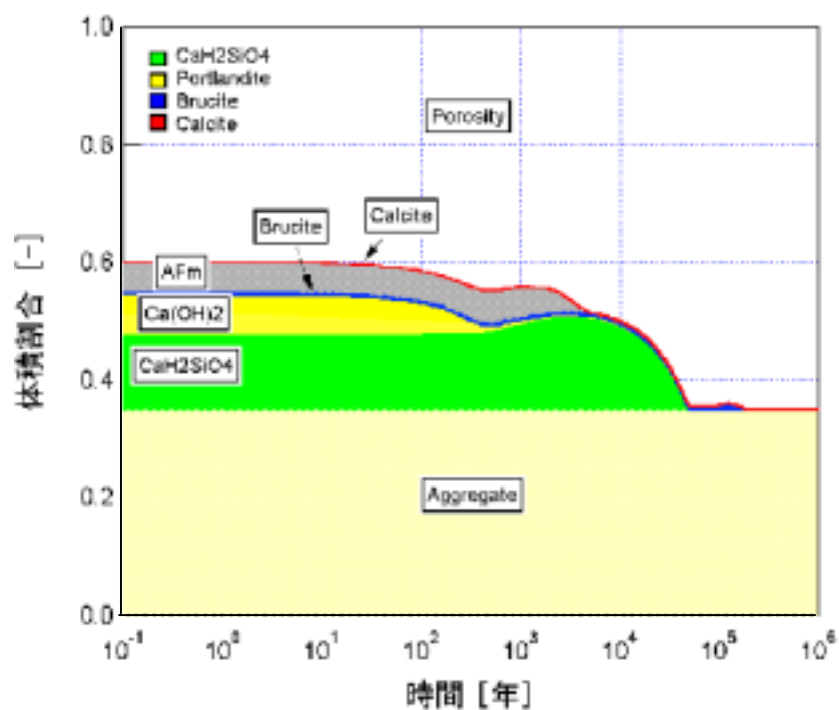
- 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。
- ( その理由 :
- ☐ 計画以上に進捗した。

)

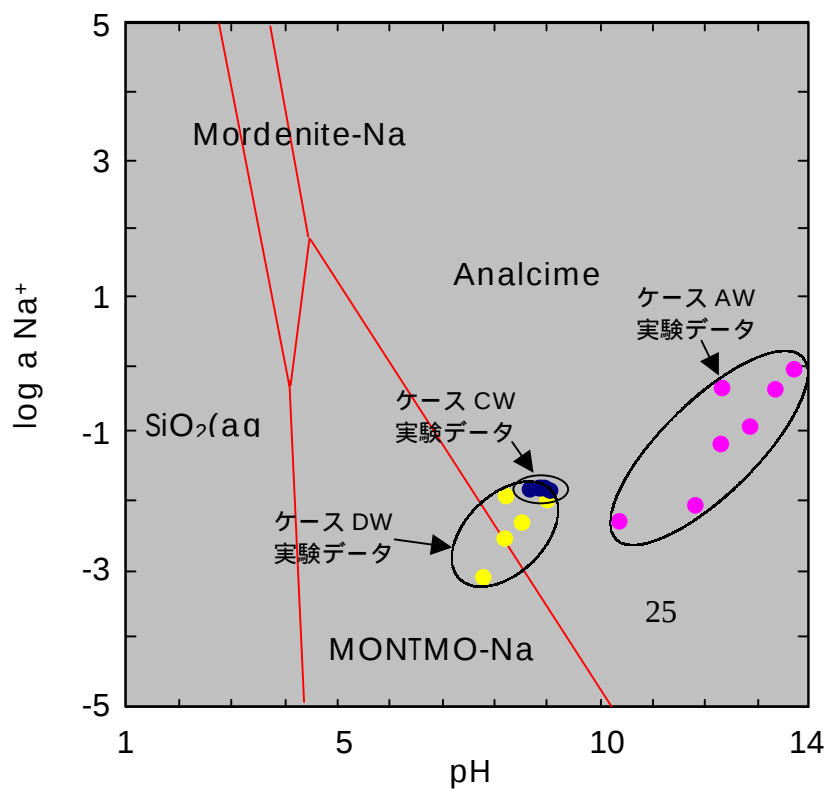
[ 説明欄 ]

【自由評価欄】

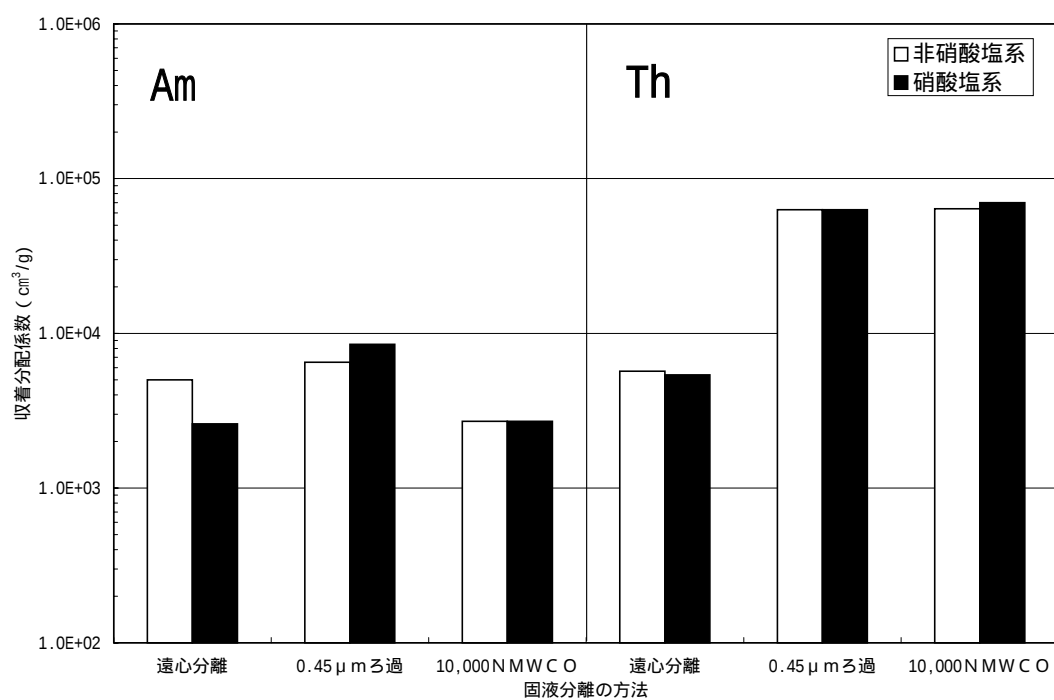
TRU 廃棄物処分研究に関わる個別の研究について、着実に計画どおり進捗している。また、個別の研究をとりまとめ、システムの評価を行うための手法の整備も着実に進んでいる。本計画が予定されている平成 17 年度には、個別の研究成果を有機的に評価に組み込み、安全評価の信頼性を向上させる予定である。



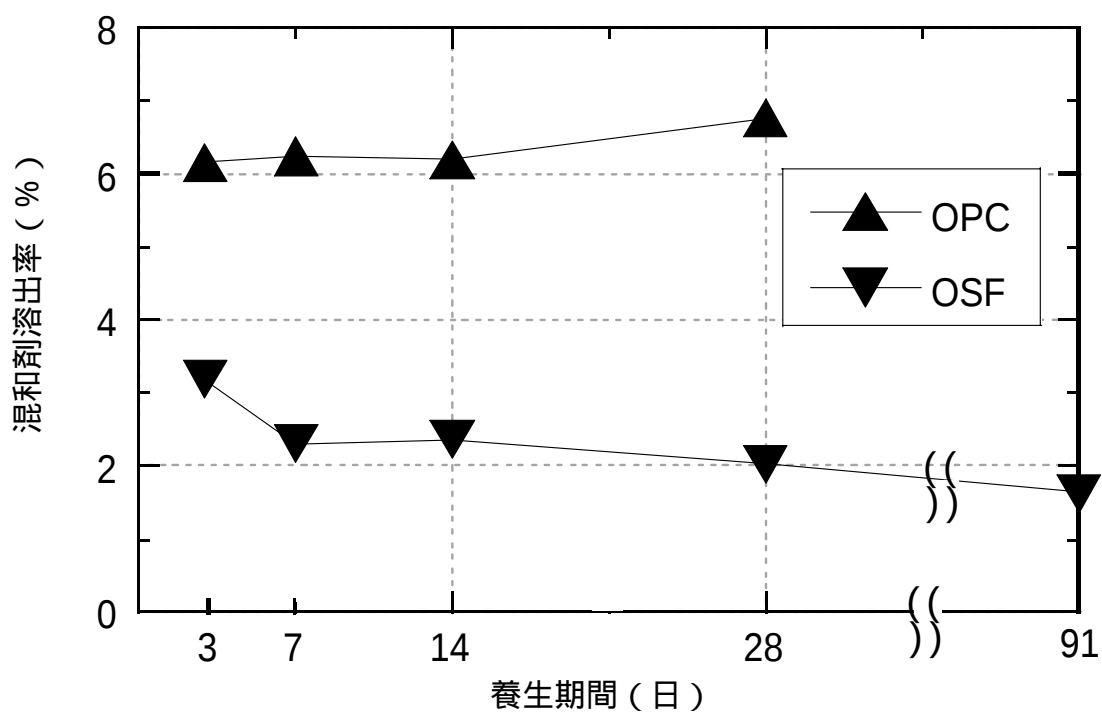
図—1 処分施設内のセメント系材料の長期挙動評価結果の一例  
(C-S-H ゲルの溶解には理論的モデルを使用)



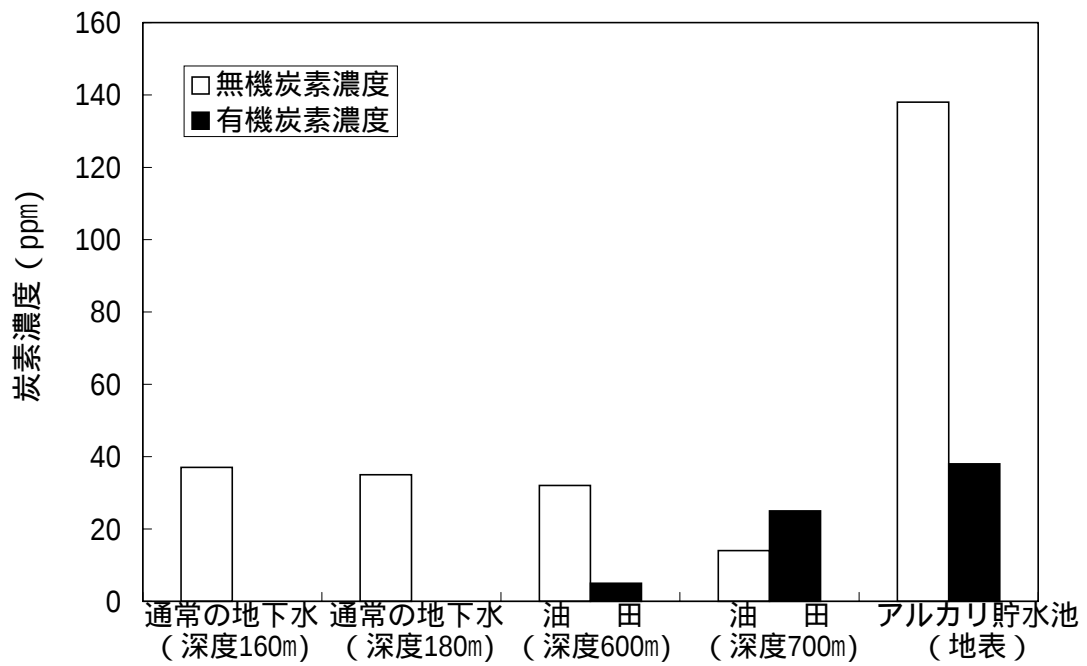
図・2 高アルカリ領域における各鉱物の熱力学的安定性の予備検討結果  
(DW: 蒸留水, CW: pH 1-5, AW: pH 1-3)



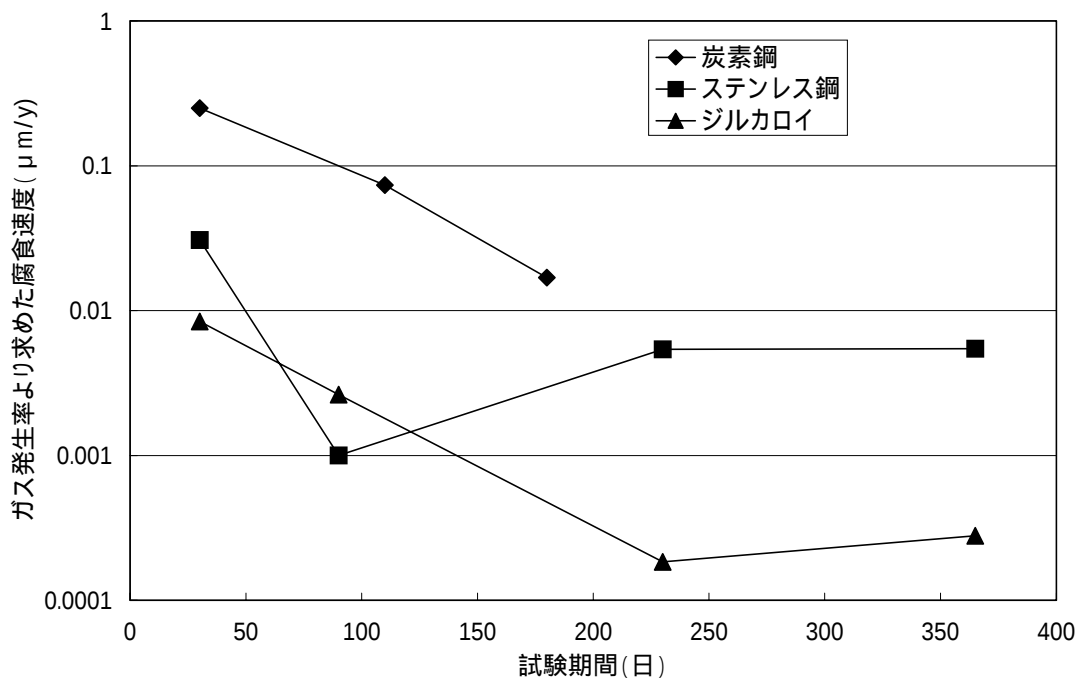
図・3 セメント系材料（普通ポルトランドセメントペースト）に対する Am及びThの収着分配係数（硝酸塩系は、NaNO<sub>3</sub> 3mol/L に調整）



図・4 セメント系材料からの有機系混和剤溶出率の評価結果（OPC：普通ポルトランドセメント、OSF：低アルカリ性セメント）



図・5 アスファルトの分解試験（浸出液の無機炭素及び有機炭素濃度を測定、温度30℃、6週間、嫌気性雰囲気、pH12.5）



図・6 アルカリ性及び低酸素条件における金属（炭素鋼，ステンレス鋼，ジルカロイ）の腐食速度の経時変化

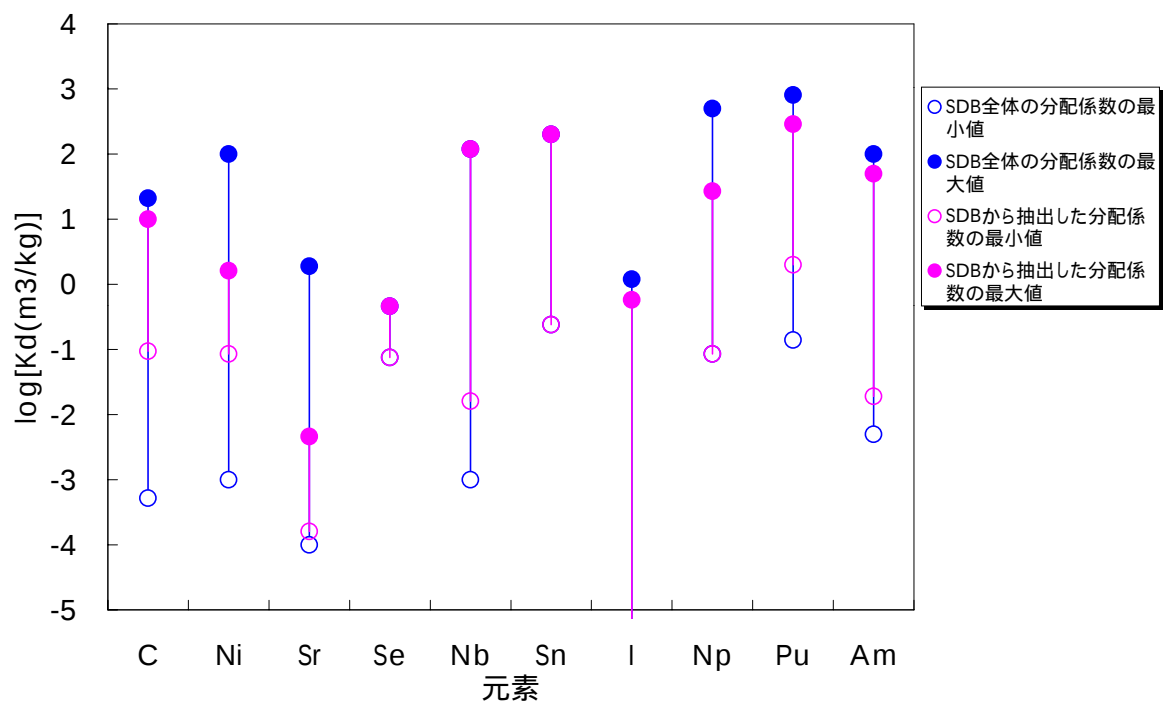


図-7 セメント系材料に対する核種の収着データベース（SDB）  
より抽出した分配係数（Kd）の範囲の一例

## 安全研究成果調査票（平成 13 年度）

### 【研究分野】

地層処分

### 【分類番号】

5 - 2 ( 2 - 5 - 2 )

### 【研究課題名(Title)】

ヨウ素の高度保持廃棄体・人工バリア材に関する研究

(Research on Advanced Waste Form and Engineered barrier for Iodine)

### 【実施機関(Organization)】

核燃料サイクル開発機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

### 【研究者名、所属及び連絡先(Name, Title of Function, Address and Phone)】

[ 氏名 ] 宮本 陽一 ( みやもと よういち )

[ 所属 ] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分材料研究グループ

[ 連絡先 ] 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33、電話：029-282-1111

(Name) Yoichi MIYAMOTO

(Title of Function) Materials Research Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

(Address and Phone) 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1194 Japan,

Phone : +81-29-282-1111

### 【担当研究者名及び所属(Name, Title of Function)】

[ 氏名 ] 福本 雅弘 ( ふくもと まさひろ : Masahiro FUKUMOTO ) 本田 明 ( ほんだ あきら : Akira HONDA )  
須黒 寿康 ( すぐろ としやす : Toshiyasu SUGURO )

[ 所属 ] 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分材料研究グループ

( Materials Research Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works )

### 【研究期間】

平成 13 年度 ~ 平成 17 年度

[ 前期基本計画からの継続の有無 ]

☐ 前期基本計画からの継続 ( 研究課題名 : )

☒ 本基本計画から新規

### 【関連する共同研究、実証試験等】

[ 共同研究名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 実証試験名 ( 実施機関 ) ] なし

[ 委託研究名 ( 実施機関 ) ] 深部地下処分におけるヨウ素含有廃棄体の溶解度及び浸出率の評価  
( 三菱重工業株式会社、三菱マテリアル株式会社 )

### 【使用主要施設】

地層処分基盤研究施設

### 【研究概要】

[ 研究の経緯 ]

ヨウ素-129 が放射性廃棄物処分時の性能評価上重要な放射性核種であることが明らかとなり、その減容・安定化に有効な廃棄体化技術が求められた。

[ 研究目的 ]

ヨウ素の移行抑制機能に優れた廃棄体、人工バリア候補材について、ヨウ素の浸出率や収着挙動等の移行抑制に係るデータを取得し、処分システムの信頼性向上に資する。

## [ 研究内容 ]

銅マトリックス固化体やヨウ素を含有させた鉱物等について、処分環境を模擬した条件下における材料の化学的安定性やヨウ素の浸出率、収着係数、溶解度等のデータを取得する。また、得られたデータをもとに処分システム構成要素としての適用性を検討する。

## 【研究の達成目標（平成13年度）】

模擬の銅マトリックス固化体やヨウ素ソーダライト及びアパタイトマトリックス固化体を作製する。浸出率等測定試験を開始する。

ヨウ素の見かけの拡散係数，実効拡散係数の小さい粘土鉱物を調査する。

## 【研究実施内容及び成果（平成13年度）】

### ・銅マトリックス固化

コールドの模擬廃ヨウ素吸着剤に対して、HP（ホットプレス）法による銅マトリックス固化体を作製し、Na型ベントナイトによる銅の腐食抑制効果を確認するため、分極抵抗法を用いた腐食試験を実施した。

図1にヨウ素吸着剤としてAgS（銀シリカゲル）が30vol%程度となるようにHP法（700℃，25MPa，保持時間3h）で作製した銅マトリックス固化体の腐食試験装置概念図を示す。

銅マトリックス固化体のベントナイト有り、ベントナイト無し、銅粉末のみをHPした固化体のベントナイト有りによる銅の腐食速度を分極抵抗法で測定した結果を図2に示す。ベントナイトに覆われた1440時間後の銅の腐食速度は、 $7.3 \times 10^{-6}$  m/y程度であり、ベントナイトによる銅の腐食抑制効果は見られなかった。ヨウ素吸着剤を含まない、銅粉末のみをホットプレスした固化体では、浸漬直後の腐食速度は、銅マトリックス固化体と同程度であるのに対し、1440時間後では、1ケタ低い値となっている。このことから、ベントナイトの腐食抑制効果が見られなかった原因は、吸着剤中のヨウ素による銅の腐食加速効果によると考えられる。

### ・ソーダライト固化

従来、乾式法（開放系）で合成していたが、合成時の揮発によりヨウ素含有量が低下したため、HIP法（密閉系）によりヨウ素ソーダライトを合成し、合成した試料について塩化物イオン共存下での溶解度及び浸出率の評価を行った。

HIP法により、795℃、100MPaで4時間保持して作製した固化体を写真1に、XRD分析結果を図3に示す。

XRDの結果はヨウ素ソーダライトのピークと一致し、不純物等のピークは確認されなかった。なお、ヨウ素含有率については、理想値22wt%に対し、16.4wt%と、約73%程度の含有率であったが、従来の乾式法による合成の含有率50%よりは向上した。

続いて溶解度試験及び浸出試験の結果を図4、5に示す。溶解度試験の結果、ヨウ素濃度は、試験開始後すぐに一定となったため、試験期間28日目の液相中の濃度を溶解度と評価した結果、約 $4 \times 10^{-3}$  M/Lとなり、乾式法で合成したヨウ素ソーダライトの溶解度より約1オーダー程度大きくなっている。

原因としては、合成方法の違い及び試験試料の洗浄が不十分であった可能性が考えられる。浸漬試験開始直後からヨウ素濃度が増加し、すぐに一定となっていることから、試料中に未反応のNaIが含まれ、これが溶解することにより溶解度が高くなった可能性も考えられる。

浸出試験結果は、ヨウ素の規格化浸出率で、粉末試料では $10^{-6}$  g/cm<sup>2</sup>/dであり、温度による顕著な違いは見られなかった。

### ・アパタイトマトリックス固化

ヨウ素を含有した水酸アパタイト及びフッ素アパタイトの成形体をプラズマホットプレス（900℃，90MPa，1時間保持）により作製し、その固化体の浸出率を評価した。

試験の結果を図6に示す。ヨウ素の浸出率は時間の経過に伴い緩やかに減少し、 $10^{-4} \sim 10^{-3}$  g/cm<sup>2</sup>/dオーダーで安定する傾向を示した。又、ヨウ素とアパタイトマトリックスであるカルシウムの浸出率は2ケタ前後開きがあり、ヨウ素が優先して浸出している傾向が認められた。

### ・ヨウ素の見かけの拡散係数，実効拡散係数の小さい粘土鉱物を調査

粘土鉱物の内、標準データとして組成等が明らかなもの及び存在量等の観点から比較的入手しやすいものを調査対象とし、カオリナイト（日本粘土学会参考資料JCSS-1101（関白））パイロフィライト

(日本粘土学会参考資料 JCSS-2101(勝山) )、ナトリウム型モンモリロナイト( Na-モンモリロナイト ) (クニミネ工業製 クニピア F )、カルシウム型モンモリロナイト( Ca-モンモリロナイト ) ( Na-モンモリロナイトを Ca にイオン交換したもの ) の 4 種を選定した。

#### 【研究の達成状況(平成 13 年度)】

銅マトリックス固化体、ヨウ素ソーダライト固化体、アパタイトマトリックス固化体に対し、廃棄体特性に関するデータの取得を行った。

ヨウ素移行抑制機能に効果が期待される粘土鉱物を選定した。

(今後の予定)

ヨウ素高度保持廃棄体の開発については、平成 12 年度より経済産業省の委託で原環センターが総合的に我が国で開発中の複数の固化法の開発についての取りまとめを、開発メーカを指揮して進めている。客観的な相互比較のため、統一的な浸出特性等の試験実施が検討されている。したがって、その固化法に含まれるソーダライト固化及びアパタイト固化については、その研究推進を原環センター及び開発メーカに引き継ぐことを前提に見直す方向で検討を行う。

銅マトリックス固化体については、腐食速度は時間とともに減少する傾向があるため、ベントナイトを用いた深部地下環境を想定した条件下でのより長期の腐食試験を実施する。

粘土鉱物が有するヨウ素移行抑制機能に関する基礎データの取得を継続する。

#### 【成果の利用実績及び活用見通し】

商業再処理施設における適用を目指す。

#### 【研究成果の発表状況】

- ・福本雅弘、須黒寿康、廃ヨウ素吸着剤の銅マトリックス固化体の腐食速度測定試験( )、日本原子力学会 2001 年春の年会(2001)

(発表予定)

なし

#### 【国内外の研究動向】

[ 民間の研究の現状と動向 ]

- ・日立製作所 西高志氏らにより、AgI ガラスによるヨウ素の固定化が研究されている。
- ・神戸製鋼 和田隆太郎氏らにより、H I P 岩石固化体によるヨウ素の固定化が研究されている。
- ・東芝 金子昌章氏らにより、セメント固化によるヨウ素の固定化が研究されている。

(参考文献)

- ・斉藤典之、藤原啓司、西高志、野下健司、吉田拓真、鈴木悌、AgI ガラスによるヨウ素固定化技術( )；固化技術の最適化、日本原子力学会 2001 年秋の大会(2001)
- ・斉藤典之、藤原啓司、西高志、野下健司、吉田拓真、鈴木悌、AgI ガラスによるヨウ素固定化技術( )；ヨウ素保持特性評価、日本原子力学会 2001 年秋の大会(2001)
- ・藤原啓司、斉藤典之、和田隆太郎、西村務、栗原宜孝、H I P 岩石固化体によるヨウ素固定化技術( )；固化技術の最適化、日本原子力学会 2001 年秋の大会(2001)
- ・藤原啓司、斉藤典之、和田隆太郎、栗原宜孝、西村務、H I P 岩石固化体によるヨウ素固定化技術( )；ヨウ素保持特性評価、日本原子力学会 2001 年秋の大会(2001)
- ・藤原啓司、斉藤典之、金子昌章、豊原尚実、三塚哲正、セメント固化によるヨウ素固定化技術( )；固化技術の最適化、日本原子力学会 2001 年秋の大会(2001)
- ・藤原啓司、斉藤典之、豊原尚実、金子昌章、三塚哲正、セメント固化によるヨウ素固定化技術( )；ヨウ素保持特性評価、日本原子力学会 2001 年秋の大会(2001)

[ 海外の研究の現状と動向 ]

(参考文献)

**【研究評価（自己評価）】**

○ 成果の達成レベル

[ チェック欄 ]

- ☐ 予定以上の成果が得られた。
- ☒ 予定どおりの成果が得られた。
- ☐ 予定どおりの成果が得られなかった。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 成果活用方策

[ チェック欄 ]

- ☐ 指針・基準類への整備に反映できる。
- ☐ 安全性評価の判断材料として活用できる。
- ☐ 安全性の向上に反映できる。
- ☒ 原子力防災対策に反映できる。
- ☐ その他

[ 説明欄 ]

○ 計画の進捗状況

[ チェック欄 ]

- ☒ 計画どおり進捗した。
- ☐ 計画どおり進捗しなかった。  
(その理由：)
- ☐ 計画以上に進捗した。

[ 説明欄 ]

**【自由評価欄】**

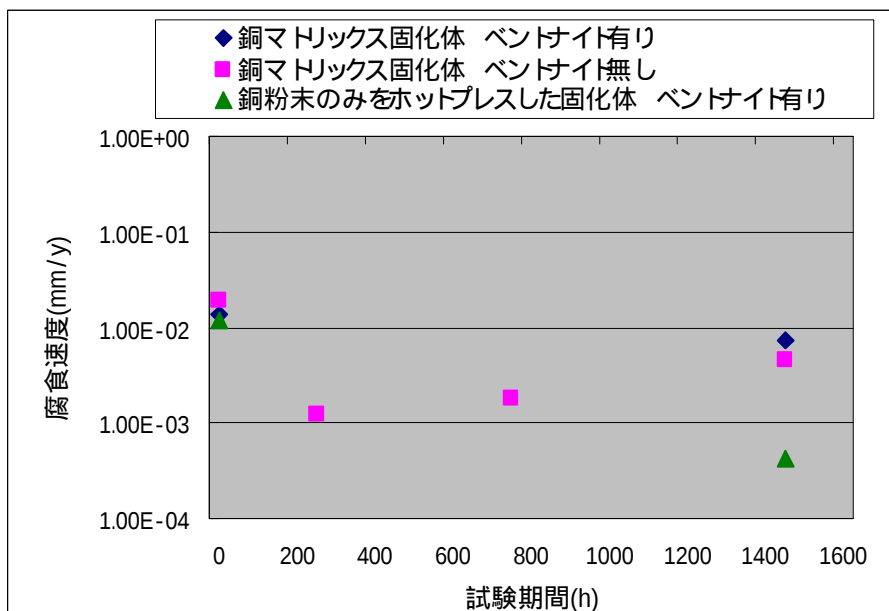
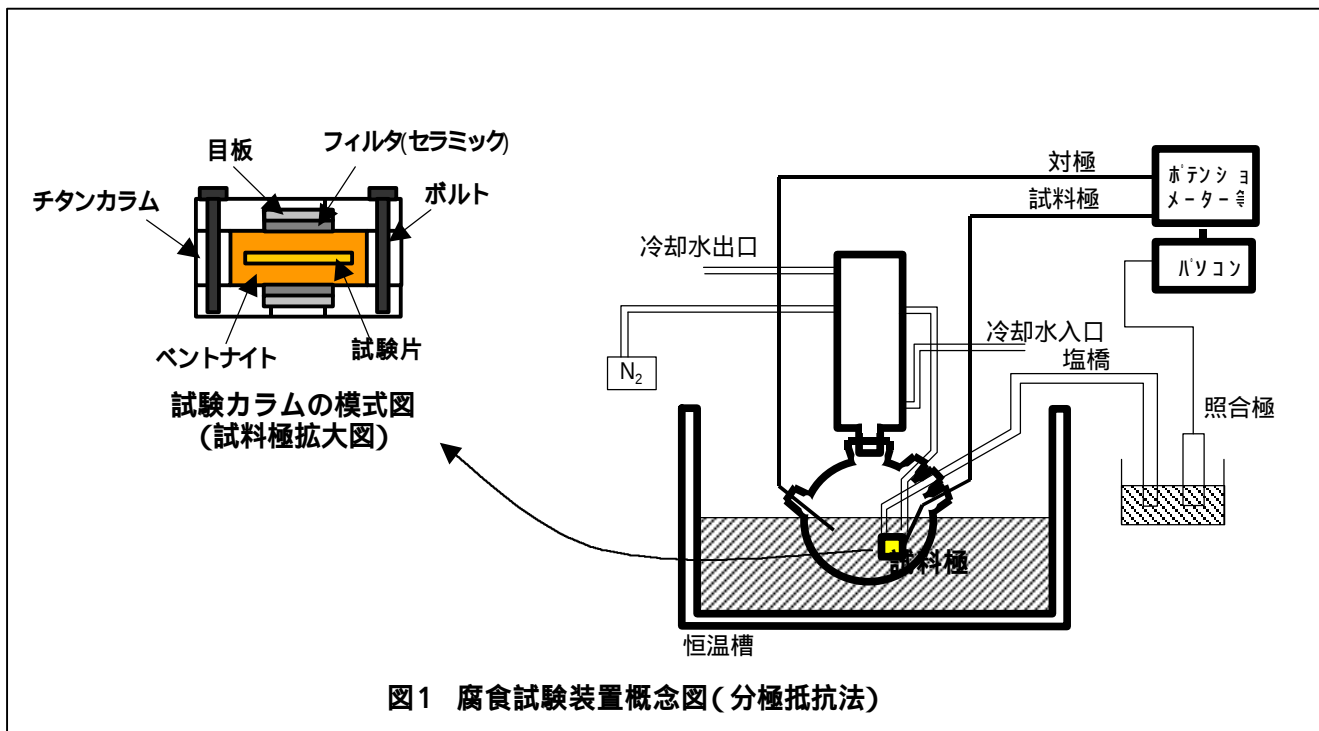
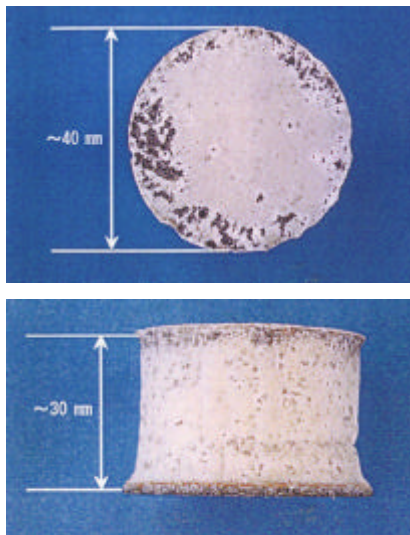


図2 銅マトリックス固化体の腐食速度測定結果(分極抵抗法)



上 面  
\* 黒い斑点は付着した  
カーボンシート  
側 面

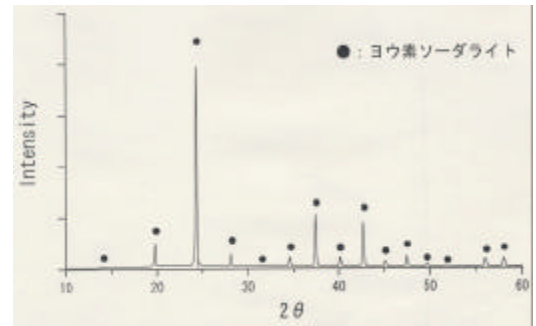


図3 HIP 法で合成したヨウ素ソーダライト  
固化体の XRD 分析結果

写真1 HIP 法で合成したヨウ素ソーダライト固化体

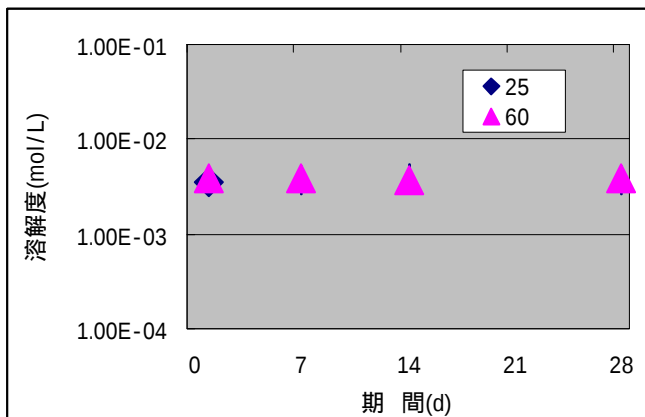


図4 ヨウ素ソーダライトのヨウ素の溶解度試験結果

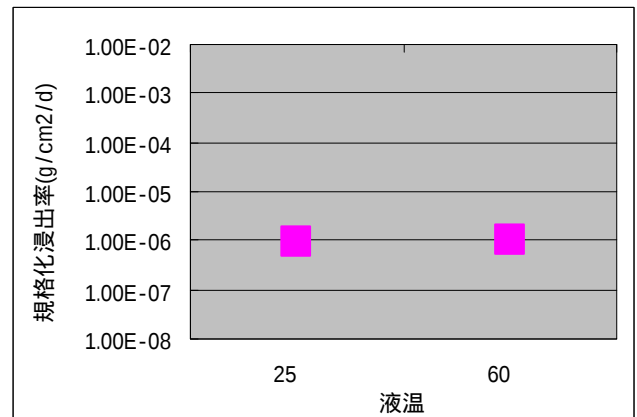


図5 ヨウ素ソーダライトのヨウ素の浸出試験結果  
(粉末試料)

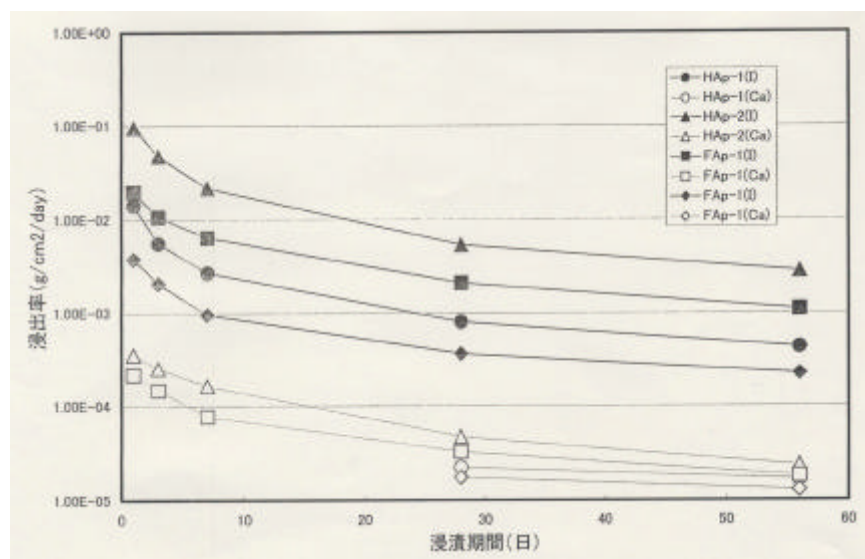


図6 アパタイト固化体の浸出試験結果