

平成 15 年度低レベル放射性廃棄物処分研究  
成果報告会報告書

( 会議報告 )

2004 年 4 月

核燃料サイクル開発機構

東海事業所

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

電話：029-282-1122

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構  
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2004

## 平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会報告書

### (会議報告)

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

#### 要 旨

平成16年4月9日(金)に東海事業所地層処分基盤研究施設にて、平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会を開催した。

発表テーマは、包括的感度解析手法による成立性に関する検討や硝酸塩の影響に関する研究等のTRU廃棄物処分研究と、RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設概念設計である。本報告会では、総数50名の機構内従業員の参加をいただき、率直な意見交換を行った。

本資料は、報告会で配布した配布資料集、質疑応答内容などをとりまとめたものである。

# Meeting for Study on Low-Level Radioactive Waste Disposal in JFY2003 ( Meeting Document )

Materials Research Group, Waste Isolation Research Division,  
Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

## Abstract

The JFY2003 Meeting for Study on Low-Level Radioactive Waste Disposal was held at Geological Isolation Basic Research Facility in Tokai Works on April 9, 2004.

The subjects on disposal for “radioactive waste containing transuranic (TRU) nuclides” and “radioactive waste from medical, industrial and research facilities” were reported. The 50 staffs in the Japan Nuclear Cycle Development Institute joined the meeting and discussed frankly.

This report contains distributed papers, questions and answers, etc.

## 目 次

|   |    |
|---|----|
| 平成 15 年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会スケジュール .....                               | 1  |
| 1. はじめに .....   | 2  |
| 2. 概要紹介 .....   | 3  |
| 3. 包括的感度解析手法を用いたTRU廃棄物処分の成立性に関する検討 .....                              | 8  |
| (1) 成立条件の網羅的抽出手法について .....  | 9  |
| (2) TRU廃棄物処分の成立性に関する試解析結果について .....                                   | 16 |
| 4. TRU廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究 .....                                     | 23 |
| (1) 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷 .....  | 24 |
| (2) 普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性に及ぼすアンモニアの影響 .....                         | 33 |
| (3) セメント系材料の環境下におけるNaNO <sub>3</sub> の圧縮成型ベントナイトの水理特性に<br>及ぼす影響 ..... | 42 |
| (4) 硝酸ナトリウムの影響を考慮した核種移行パラメータ .....                                    | 51 |
| 5. RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設の概念設計 .....                                     | 58 |
| 6. 質疑応答 .....   | 68 |
| 6.1 概要紹介 .....  | 68 |
| 6.2 包括的感度解析手法を用いたTRU廃棄物処分の成立性に関する検討 .....                             | 68 |
| 6.3 TRU廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究 .....                                    | 68 |
| (1) 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷 .....  | 68 |
| (2) 普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性に及ぼすアンモニアの影響 .....                         | 69 |
| (3) セメント系材料の環境下におけるNaNO <sub>3</sub> の圧縮成型ベントナイトの水理特性に<br>及ぼす影響 ..... | 69 |
| (4) 硝酸ナトリウムの影響を考慮した核種移行パラメータ .....                                    | 69 |
| 6.4 RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設の概念設計 .....                                    | 69 |
| 6.5 その他 .....   | 70 |
| 7. おわりに .....   | 71 |

平成 15 年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会スケジュール

日 時：平成 16 年 4 月 9 日（金） 13:15 16:30

場 所：E N T R Y 4 階大会議室

主 催：処分研究部

司 会：馬場主席

13:15 開会挨拶（宮本部長）

13:20 概要紹介（塩月）  
（発表 10 分，質疑 5 分）

13:35 包括的感度解析手法を用いた TRU 廃棄物処分の成立性に関する検討 (1) - 成立条件の網羅的抽出手法について - （大井）  
（発表 13 分，質疑 7 分）

13:55 包括的感度解析手法を用いた TRU 廃棄物処分の成立性に関する検討 (2) - TRU 廃棄物処分の成立性に関する試解析結果について - （曽根）  
（発表 13 分，質疑 7 分）

14:15 TRU 廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究 (1) - 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷 - （本田）  
（発表 13 分，質疑 7 分）

14:35 TRU 廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究 (2) - 普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性に及ぼすアンモニアの影響 - （大澤）  
（発表 13 分，質疑 7 分）

14:55 休憩

15:05 TRU 廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究 (3) - セメント系材料の環境下における  $\text{NaNO}_3$  の圧縮成型ペントナイトの水理特性に及ぼす影響 - （三原）  
（発表 13 分，質疑 7 分）

15:25 TRU 廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究 (4) - 硝酸ナトリウムの影響を考慮した核種移行パラメータ - （三原）  
（発表 13 分，質疑 7 分）

15:45 RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設の概念設計（船橋）  
（発表 13 分，質疑 7 分）

16:05 総合質疑

16:25 まとめ（油井次長）

## 1. はじめに

(開会挨拶)

本日は年度当初の忙しい週末の午後に、低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会にご参加いただきましてありがとうございます。

処分研究部以外の方々は、「処分研究部 = 高レベル廃棄物の地層処分研究のみ」との印象が強いのではないのでしょうか。実際に、処分研究部は、高レベル廃棄物(高レベル廃液のガラス固化体)の地層処分研究の中核機関であり、研究成果としては、H3レポート、2000年レポートをまとめてきました。これに加えて、処分研究部では、TRU 廃棄物の処分研究も力を入れて実施しています。予算的には、東海だけ見ると高レベル廃棄物の処分研究の数分の1の規模であり、その成果としては、高レベル地層処分で培った成果を土台に、平成12年度末にTRU 廃棄物処分概念検討書を電気事業者と共同で取りまとめ、公開しています。それが原子力委員会におけるTRU 廃棄物処分の基本的考え方についての報告書にも貢献してきました。さらに、現在、電気事業者と共に、平成16年度末の第二次レポート取りまとめに向け鋭意努力中であります。このように、高レベル廃棄物だけでなく、再処理センターやプル燃センターの方々が発生するTRU 廃棄物処分の道筋を作るといふ研究も鋭意実施しているということをご理解いただく場にもなると考えています。

これまでのサイクル機構の低レベル廃棄物処分研究は、我が国のTRU 廃棄物処分の実現に向け、電気事業者との役割分担に従い基盤的研究を実施することが、即自分達(サイクル機構)の再処理施設やPu 燃施設から発生する廃棄物の処分実現にも繋がるとの位置付けでありました。低レベル廃棄物管理プログラムがまとまった今、これを実行する段階に入っており、今後は原研との統合も睨み、原研分を含む自社廃棄物の、特にTRU 廃棄物の処分を実現する研究が、直接的に我が国全体の処分の実現に繋がるとの観点を強め、一層研究を邁進したいと考えます。

本報告会には、再処理センターやPu 燃センター、環境センターの方々にもご参加いただいています。研究成果を参加者の皆様にお聞きいただくこと自体が本報告会の目的であります。しかし、発表に対しご質問や疑問、研究の方向性に関する注文をいただき、それにお答えすることにより、皆さんのニーズや疑問点を我々が再確認するなど、双方向で課題を認識し合い共有できる場にすることも目的の一つです。時間的制限もありますが、ぜひ遠慮なくご質問やコメントをいただきたい。

## 2. 概要紹介

(発表者) 処分研究部 処分材料研究グループ  
グループリーダー 塩月 正雄

# 概要紹介

低レベル放射性廃棄物処分実施に向けた取り組みの現状

平成16年4月9日

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(MAG)

塩月 正雄

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究報告会 9th Apr.'04

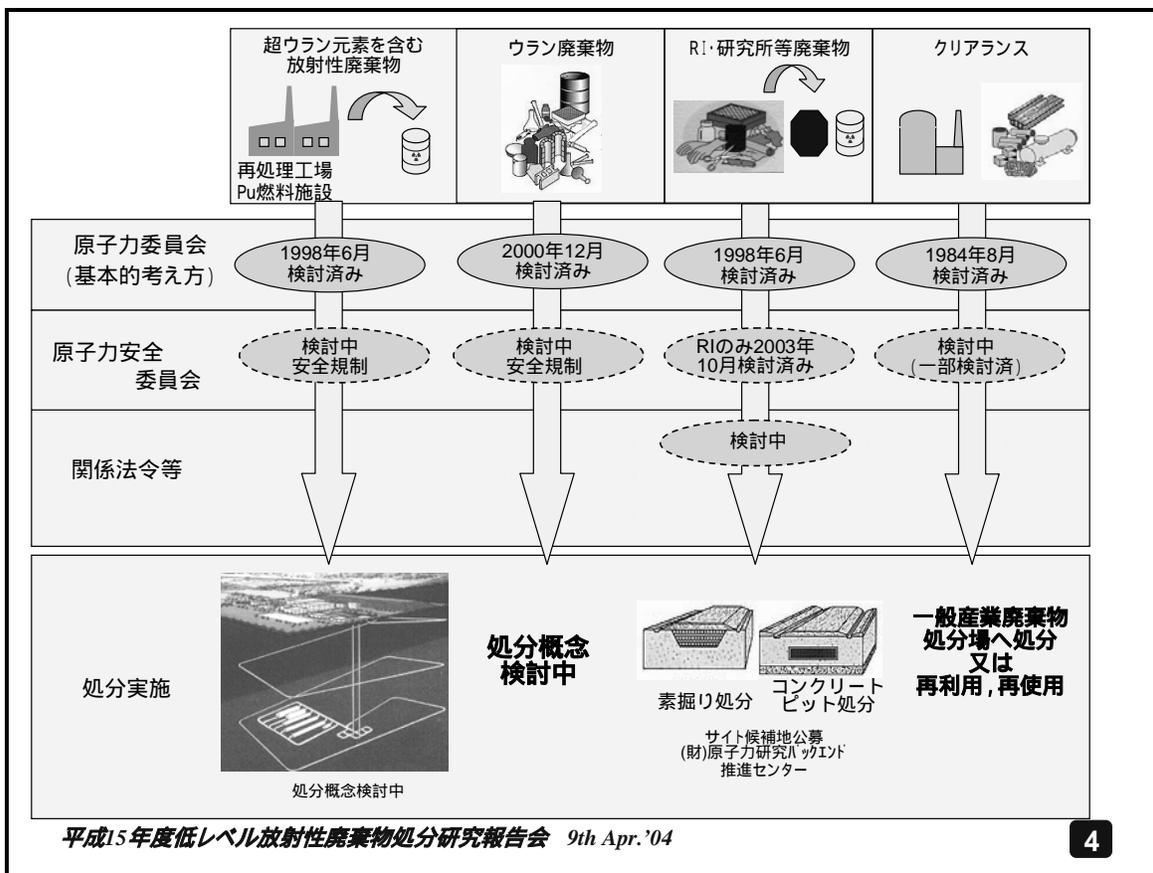
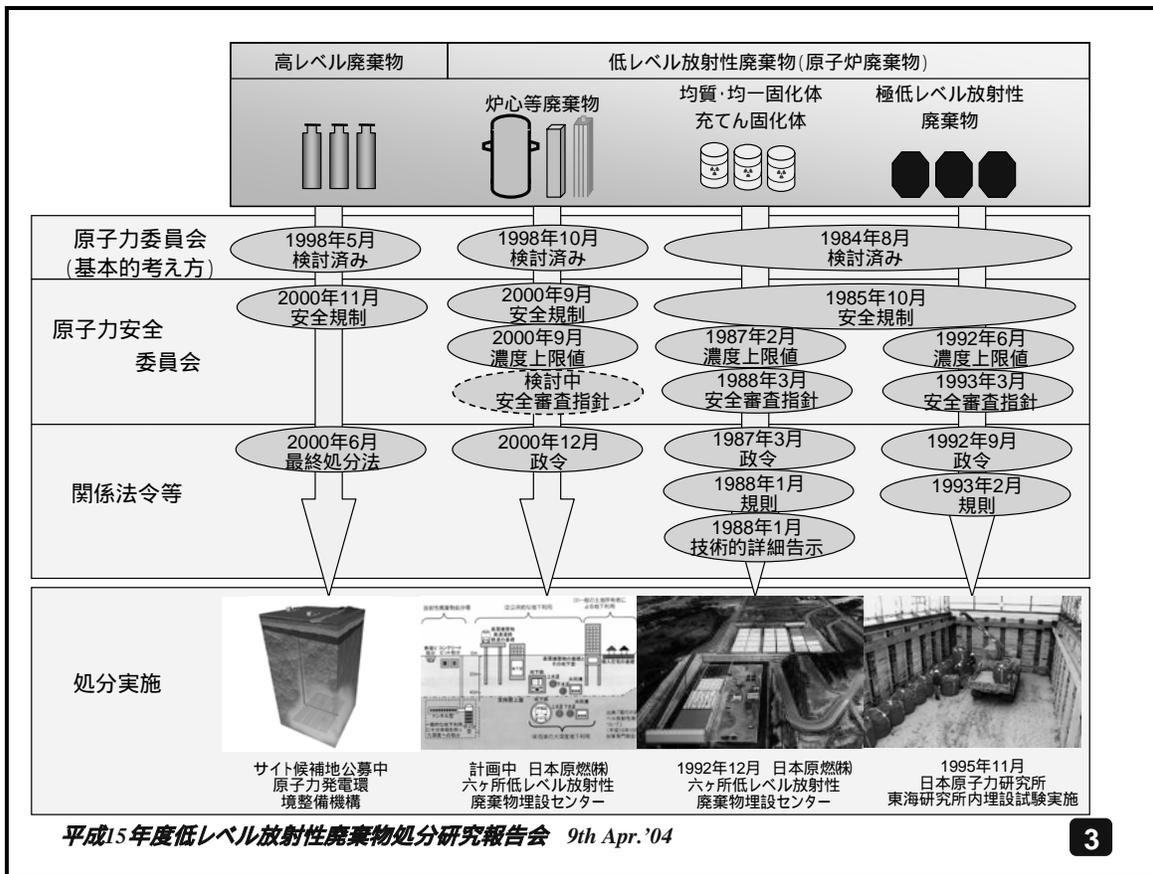
1

## 放射性廃棄物の区分と制度化及び安全規制等の検討の現状

| 廃棄物の区分     | 原子力委員会                        | 原子力安全委員会             |  |                           | 安全規制に係る関係法令等      |                           |                           |                           |
|------------|-------------------------------|----------------------|--|---------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|            | 処分の基本的考え方                     | 安全規制の考え方             | 濃度上限値  | 安全審査指針                    | 政 令               | 規 則                       | 技術的細目告示                   |                           |
| 高レベル放射性廃棄物 | 検討済み<br>(1998年5月)             | 検討済み<br>(2000年11月)   | -  | 今後検討                      | 今後整備              |                           |                           |                           |
| 低レベル放射性廃棄物 | 現在の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物      | 検討済み<br>(1998年10月)   | 検討済み<br>(2000年9月)  | 検討済み<br>(2000年9月)         | 検討中               | 整備済み<br>(2000年12月)        | 今後整備                      | 今後整備                      |
|            | 均質固化体・雑固体等                    | 検討済み<br>(1984年8月)    | 検討済み<br>(1985年10月)   | 検討済み<br>(1987年2月、1992年6月) | 検討済み<br>(1988年3月) | 整備済み<br>(1987年3月、1992年9月) | 整備済み<br>(1988年1月、1993年9月) | 整備済み<br>(1988年1月、1993年9月) |
|            | 極低レベル放射性廃棄物(VLLW)(コンクリート等廃棄物) |                      |  | 検討済み<br>(1992年6月)         | 検討済み<br>(1993年1月) | 整備済み<br>(1992年9月)         | 整備済み<br>(1993年2月)         |                           |
|            | 同上(VLLW)(金属等廃棄物)              |                      |  | 検討済み<br>(2000年9月)         | 検討中               | 整備済み<br>(2000年12月)        | 今後整備                      |                           |
|            | 超ウラン核種を含む放射性廃棄物               | 検討済み<br>(2000年4月)    | 検討中(*)<br>(2000年6月～)   | 今後検討                      | 今後検討              | 今後整備                      |                           |                           |
| ウラン廃棄物     | 検討済み<br>(2000年12月)            | 今後検討                 | 今後検討   | 今後検討                      | 今後整備              |                           |                           |                           |
| R1:研究所等廃棄物 | 検討済み<br>(1998年6月)             | 検討中(*)<br>(2000年6月～) | 今後検討   | 今後検討                      | 今後整備              |                           |                           |                           |
| 扱う必要のないもの  | クリアランスレベルの値                   | 検討済み<br>(1984年8月)    | 検討済み(原子炉施設:2001年7月)<br>検討中(核燃料使用施設、R法対象施設)<br>今後検討予定(超ウラン元素を含む放射性廃棄物、ウラン廃棄物) |                           | 今後整備              |                           |                           |                           |
|            | クリアランスレベル検証                   |                      | 検討済み<br>(原子炉施設)<br>(2001年7月～)<br>今後検討予定<br>(その他)                             |                           |                   |                           |                           |                           |

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究報告会 9th Apr.'04

2



## 低レベル放射性廃棄物処分に係わる 研究開発の分担・協力

| 低レベル放射性廃棄物     | 廃棄物の種類  | 処分方法                | 研究開発項目   |                 |
|----------------|---------|---------------------|--|-----------------|
| サイクル廃棄物 (除HLW) | ・TRU廃棄物 | 浅地中処分 / 余裕深度処分      | 地層処分の研究成果の活用 (電力等の成果を活用)   |                 |
|                |         | 地層処分                | 基盤研究(データベース整備, シナリオ / モデル構築, 性能評価等)についてはJNCで実施 (事業化のための施設設計, 費用算出については電力等の成果を活用) |                 |
|                | ・ウラン廃棄物 | 浅地中処分 余裕深度処分 (地層処分) | 主要発生者(サイクル機構, 日本原燃, 新金屬協会)を中心に検討中  |                 |
| RI・研究所等廃棄物     |         | 浅地中処分               | 共同研究   | 原研にて処分場の概念設計    |
|                |         | 余裕深度処分              |  | サイクル機構にて処分場概念設計 |

■ 管理プログラムに基づく処分実施への課題

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究報告会 9th Apr.'04

5

## TRU廃棄物処分研究開発の現状と展開

平成12年3月, 電気事業者と協力し「TRU廃棄物処分概念検討書」作成  
: TRU廃棄物の安全な処分の見通しを取りまとめ



上記報告書で抽出された技術的課題に係わる研究開発を実施中

|  |  |
|--|--|
| <p><b>サイクル機構:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 個別現象に係わる実験, 解析評価</li> <li>● 性能評価(手法開発, 核種移行解析)</li> </ul> | <p><b>電気事業者:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 事業化に向けた合理的な施設概念検討</li> <li>● 浅地中及び余裕深度処分の評価検討</li> </ul> |
|--|--|



最新の研究開発成果を反映し, 平成16年度末を目途に「第2次TRU廃棄物処分概念検討書 (仮称)」を電気事業者と共同にて作成し, 処分事業化, 安全規制・基準策定にの推進に資する。

研究成果を反映し, 低レベル廃棄物管理プログラムに示すサイクル機構内発生廃棄物の安全な処分を計画的に推進。

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究報告会 9th Apr.'04

6

## 安全評価における主要な研究開発課題

処分の安全性をより信頼性を持って示していくため、

- ・ 安全評価結果に影響の大きい個別現象やデータを明らかにし、
- ・ 重点的にそれらの現実的評価やデータ取得を行い、
- ・ 総合的な安全評価を行う。

個別現象モデル/データの整備

- I129,C-14等のバリア材に対する収着データの取得
- セメント系材料の溶解による長期的な変遷
- セメント材料の影響(高pHセメント溶出液が ベントナイト・岩盤に及ぼす影響)  
上記を考慮した処分場周辺の水理場の長期的変遷を評価するシステムの構築
- 金属の腐食などともなうガス発生の影響
- 硝酸塩の影響

システム性能評価

- 地質環境のバリエーションや変動シナリオ等を含めた網羅的な評価

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究報告会 9th Apr.'04

7

## RI・研究所等廃棄物処分研究開発の概要

- ・ RI・研究所等廃棄物のうち、比較的濃度の低い放射性廃棄物に関しては、日本原子力研究所、日本アイソトープ協会を中心にRANDEC(旧:RI・研究所等廃棄物事業推進準備会)にて検討が進められてきた。
- ・ RI・研究所等廃棄物においても、放射能濃度の比較的高い放射性廃棄物がサイクル機構、日本原子力研究所を中心に存在する。

RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分に関し、サイトを限定しない概念設計を実施する。

- 処分対象の物量、インベントリ等の廃棄体データベースの整理
- 操業に必要な施設、機器設備、操業形態等の検討
- サイトを特定しない一般的な条件での安全評価を実施し、余裕深度処分概念の成立性の検討と評価上重要となるパラメータの抽出
- 建設費、操業費等を試算し、概略の処分コストの算出

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究報告会 9th Apr.'04

8

3. 包括的感度解析手法を用いた TRU 廃棄物処分の成立性に関する検討

- (1) 成立条件の網羅的抽出手法について
- (2) TRU 廃棄物処分の成立性に関する試解析結果について

(1) 成立条件の網羅的抽出手法について

(発表者) 処分研究部 処分材料研究グループ  
大井 貴夫

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会

# 包括的感度解析手法を用いたTRU廃棄物処分の 成立性に関する検討(1) －成立条件の網羅的抽出手法について－

平成16年4月9日

東海事業所 エントリー4F大会議室

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  
大井 貴夫

1

## 報告概要

シリーズ発表 「包括的感度解析手法を用いたTRU廃棄物処分の成立性に関する検討」

- (1) 成立条件の網羅的抽出手法について
- (2) TRU廃棄物処分の成立性に関する試解析

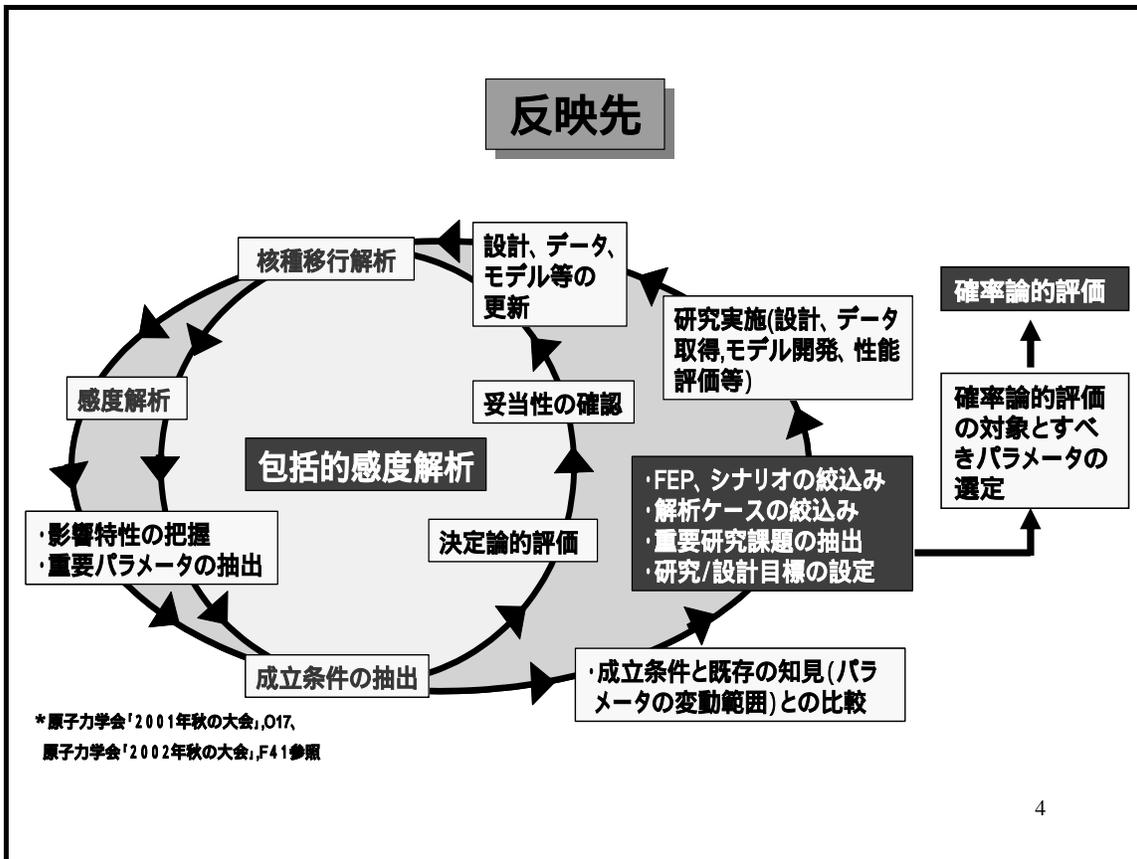
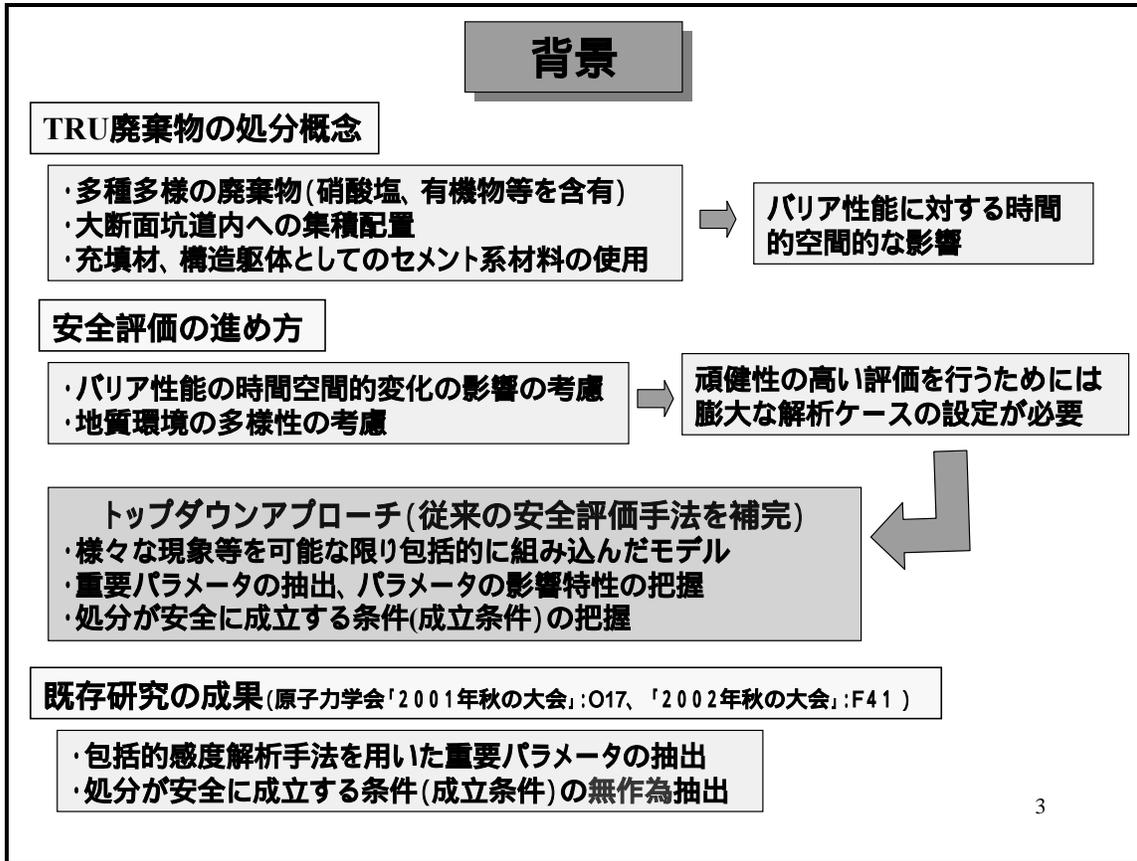
## 本検討の最終ゴール

- ・パラメータの影響特性の詳細把握並びに重要パラメータの抽出
- ・処分が安全に成立する条件(成立条件)の任意抽出あるいは網羅的抽出

## 報告内容

- (1) 背景
- (2) 反映先
- (3) 包括的感度解析手法について
  - 核種移行解析
  - 感度解析
  - 成立条件の抽出
- (4) 成立条件の抽出手順について
- (5) 成立条件抽出のための試解析の概要
- (6) 入力パラメータについて
- (7) 成立条件抽出のための試解析例
- (8) まとめ
- (9) 今後の予定

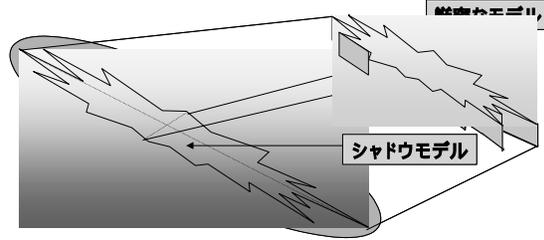
2



## 包括的感度解析手法について

### 核種移行解析

解析対象領域内で生起する核種の移行に係る様々な事象を包括的に表現するシャドウモデル群を用いた解析



### シャドウモデル

- (1) 核種の動きやすさに係る現象  
溶存イオン種、吸着種、沈殿あるいはコロイド等の移行のモデル化
- (2) 核種移行の駆動力に係る現象  
水理、ガス影響のモデル化
- (3) 化学環境場及びバリア性能の時間 / 空間的な変遷に関する現象  
溶解度、分配係数、拡散係数、空隙率、透水係数等の時間 / 空間的な変動をモデル化



パラメータの設定により、既存の性能評価コード(移流分散)の結果を再現可能

5

## 核種の動きやすさに係る現象のシャドウモデル

全濃度Mを用いた溶存イオンの移行、線形吸着を対象とした移流・分散方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial}{\partial x} (d_L V + D) \frac{M}{Rd} \right) - \frac{\partial}{\partial x} V \frac{M}{Rd} - (\lambda M - \tilde{\lambda} \tilde{M}) \quad (1)$$

$$\epsilon R d C = M \quad (2)$$

全濃度Mと拡散移動可能種の濃度比 (-)、移流移動可能種の濃度比 (-)の導入

$$\alpha = \frac{\sum_i D_i m_i}{D \sum_i m_i} = \frac{1}{M} \frac{\sum_i D_i m_i}{D} = \frac{\epsilon C}{M} \left( = \frac{1}{Rd} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\sum_i V_i m_i}{V \sum_i m_i} = \frac{1}{M} \frac{\sum_i V_i m_i}{V} = \frac{\epsilon C}{M} \left( = \frac{1}{Rd} \right) \quad (4)$$

C : 空隙水中の移動可能種の濃度  
 D : 空隙水中の拡散係数  
 D<sub>i</sub> : 核種の存在形態 i に依存した空隙水中の拡散係数  
 V : 実流速  
 V<sub>i</sub> : 核種の存在形態 i に依存した実流速  
 m<sub>i</sub> : 存在形態 i で存在する核種の単位体積中の濃度  
 M : 単位体積中の核種の全濃度  
 P : 単位体積中の沈殿の濃度

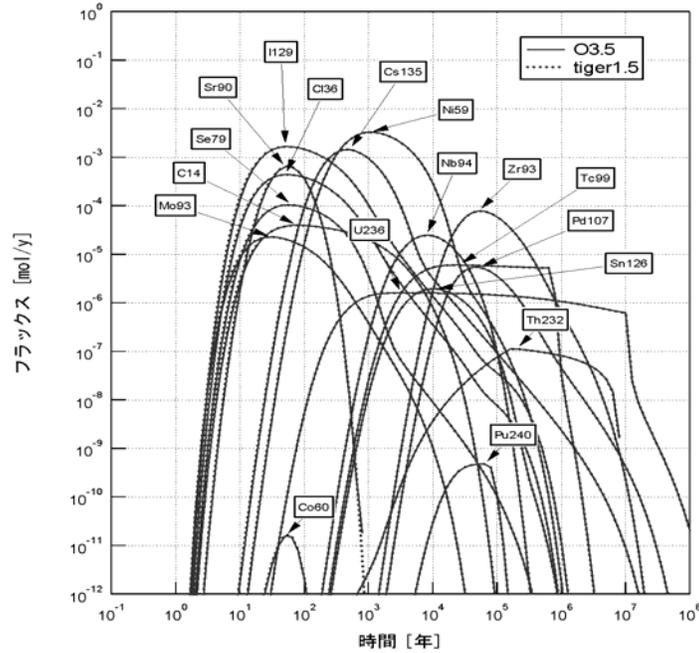
様々な形態の移動可能種の濃度を遅延係数Rdの代わりに、 $\alpha$ 、 $\beta$  で表現

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial}{\partial x} (d_L V \beta + D \alpha) M \right) - \frac{\partial}{\partial x} \beta V M - (\lambda M - \tilde{\lambda} \tilde{M}) \quad (5)$$

- ・  $\alpha$ 、 $\beta$  を仮定し、移動可能種の濃度を与えることにより、溶存イオン種、吸着種、沈殿、真性コロイドの移行を表現する。
- ・ 移動可能種の濃度は全濃度Mの対数を横軸、移動可能種の濃度 M の対数を縦軸に取り、溶解度Cs、遅延係数Rdと両対数での傾きFを用いて算出

6

モデルの検証



性能評価コードTigerとの比較

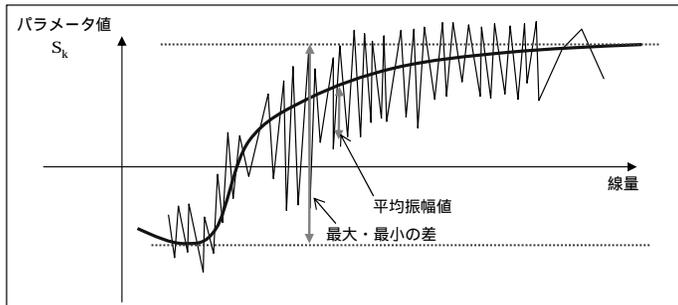
感度解析(1)

ムービングバンド法

・有限母集団の分散と標本の分散の関係式に基づく標準変化量を分割したバンド毎に求め、その連続線によって、入力パラメータが出力の変動に及ぼす影響の程度/特殊性を示す統計的手法

・最小二乗法によって得られる多項式近似曲線の最大値と最小値の差と近似値と解析値の差の平均値(平均振幅)の比を感度指標

\*線量に対する特殊性が大きく、かつ、出力値の変動の主要な要因となりうるパラメータの感度指標が高くなる。



$$S_i^j = \frac{\mu_i^j - \mu_i}{\sigma_i^k}$$

$$\sigma_i^k = \sqrt{\left(\frac{1}{k} - \frac{1}{K}\right)} \sigma_i$$

J : バンド番号(0 < j < L, L: バンド数、解析結果を昇順に並べて分割)

I : パラメータ番号

S<sub>i</sub><sup>j</sup> : パラメータiのj番目のバンドの標準変化量

μ<sub>i</sub><sup>j</sup> : パラメータiのj番目のバンドに含まれるパラメータ値の平均(標本平均)

μ<sub>i</sub> : パラメータiの全平均

σ<sub>i</sub><sup>k</sup> : パラメータiのk個の標本値の標準偏差(標本の標準偏差)

σ<sub>i</sub> : パラメータiの標準偏差

k : ひとつのバンドに含まれる解析結果の数(0 < k < K, K: 全解析数, K = k × L)

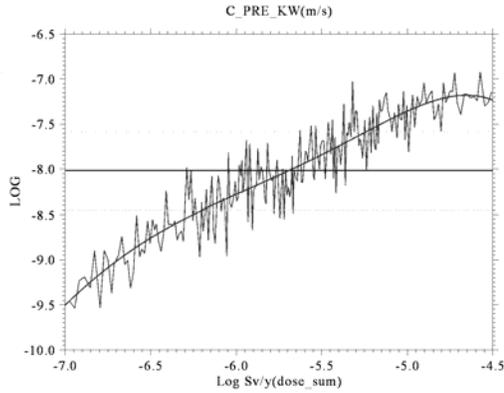
**影響度の特殊性**

**非線形性 小**

・母岩透水係数の増加に応じて線量が増加

**他のパラメータとの相互作用 小**

・他のパラメータの変動の影響を受けず、線量の変動に対する主要な要因となっている

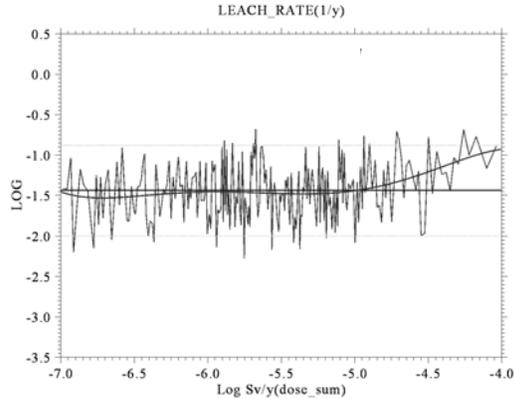


線量に対するI-129の母岩透水係数の特殊性

**非線形性 大**

・10 μ Sv/yを境に感度が異なる  
 ・高線量領域で浸出率の影響度が高まる  
**他のパラメータとの相互作用 大**  
 ・高線量領域を支配するパラメータの存在に伴い特殊性が顕著に現れる可能性がある。

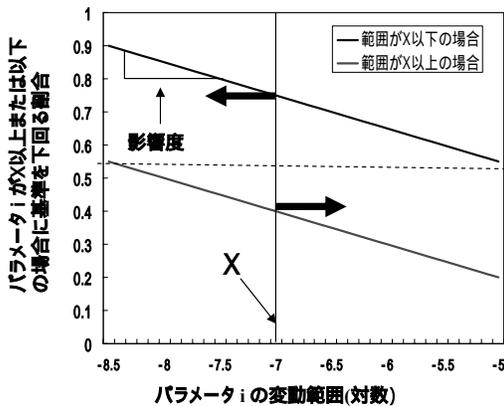
他のパラメータの影響により特殊性が変化



線量に対するI-129の浸出率の特殊性

**感度解析(2)**

条件付き確率に基づくSI値 (Sufficiency Index)  $P(y | X_i)$  の導入  
 (パラメータ  $i$  の範囲が  $X$  よりも大または小:  $X_i$  の場合に (線量基準値を下回る:  $y$ ) 割合



線量に対して正の影響を与えるパラメータ  $i$  のSI値を用いた影響度分析の例

**成立条件の組み合わせの抽出のための関係式**

パラメータの任意の組み合わせにおいて線量基準値を下回る割合と、パラメータ個々のSI値の総積PSI値との関係式の導出

$$1 - P(Y | X_1 \cap X_2 \cap X_3 \dots \cap X_N) \geq$$

$$1 - P(Y) \prod_{i=1}^N \left( \frac{P(Y | X_i)}{P(Y)} \right)$$

- $P(Y)$  : 線量基準を超える割合
- $P(y) = 1 - P(Y)$  : 線量基準を下回る割合:  $P(y)$  値
- $P(Y | X_1 \cap X_2 \cap X_3 \dots \cap X_N)$  : パラメータ  $X_i$  の組み合わせにおいて線量基準を超える割合
- $P(y | X_1 \cap X_2 \cap X_3 \dots \cap X_N) = 1 - P(Y | X_1 \cap X_2 \cap X_3 \dots \cap X_N)$  : パラメータ  $X_i$  の組み合わせにおいて線量基準を下回る割合 (求めたい成立条件)
- $P(Y | X_i)$  : パラメータ  $i$  の範囲が  $X$  より大または小の場合に線量基準を超える割合
- $P(y | X_i) = 1 - P(Y | X_i)$  : パラメータ  $i$  の範囲が  $X$  より大または小の場合に線量基準を下回る割合 (SI値)

## 成立条件の抽出手順について

・成立条件となりうるパラメータまたは、それらの組み合わせが既知の場合



保守的決定論解析による成立条件の抽出は容易

・様々な地質環境やバリア材料の時間空間的変遷を表現する多くのパラメータの中から、成立条件となる複数のパラメータからなる組み合わせを見つけることは困難



- (1)感度解析の実施による影響度の高いパラメータの抽出
  - (2)影響度の高いパラメータを対象としたSI値,PSI値による成立条件(パラメータ値または、パラメータ値の組み合わせ)の推定
  - (3)推定したパラメータまたはそれらの組み合わせ以外のパラメータを保守的に設定した保守的決定論解析による成立条件の抽出
  - (4)成立条件の保守性の程度の確認
- 保守的決定論解析と統計解析結果との比較
- 保守的決定論解析結果と同等の線量を与える結果の同定 / 分析
- 上記結果の発生頻度に関する分析
- 保守性の程度の確認

11

(2) TRU 廃棄物処分の成立性に関する試解析結果について

(発表者) 処分研究部 処分材料研究グループ  
曾根 智之

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会

# 包括的感度解析手法を用いたTRU廃棄物処分の 成立性に関する検討(2)

TRU廃棄物処分の成立性に関する試解析結果について

平成16年4月9日

東海事業所 エントリー4F大会議室

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  
曾根 智之

1

## 報告概要

シリーズ発表 「包括的感度解析手法を用いたTRU廃棄物処分の成立性に関する検討」

- (1) 成立条件の網羅的抽出手法について
- (2) TRU廃棄物処分の成立性に関する試解析

## 報告の趣旨

・処分が安全に成立する条件(成立条件)の任意抽出あるいは網羅的抽出のための手法の提示

## 報告内容

- (1) 背景
- (2) 反映先
- (3) 包括的感度解析手法について
  - 核種移行解析
  - 感度解析
  - 成立条件の抽出
- (4) 成立条件の抽出手順について

- (5) 成立条件抽出のための試解析の概要
- (6) 入力パラメータについて
- (7) 成立条件抽出のための試解析例
- (8) まとめ
- (9) 今後の予定

2

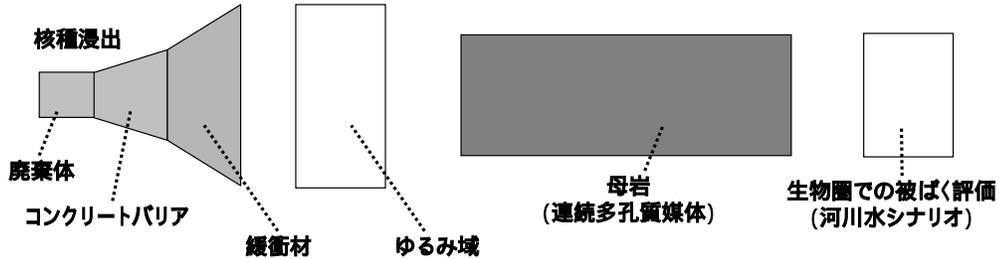
# 成立条件抽出のための試解析の概要

## 評価対象廃棄体 / 核種

・地層処分グループ1 (廃銀吸着材: I-129) を対象とした試解析

## 評価体系

収着、移流、分散、沈殿/溶解、コロイド・ガス移行、地球化学環境、水理場の時間・空間変化 線量換算



## 解析方法

- ・75種の変動パラメータの範囲を保守性を考慮して設定
- ・一様分布に基づくパラメータのランダムサンプリングによる2,000回以上の解析の実施
- ・基準線量 ⇒ 10 μSv / y

3

# 入力パラメータ

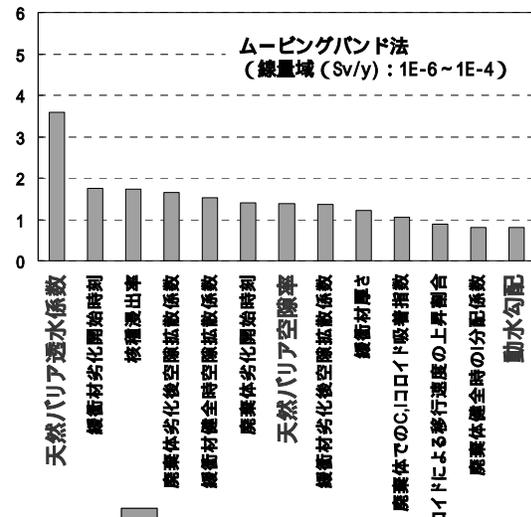
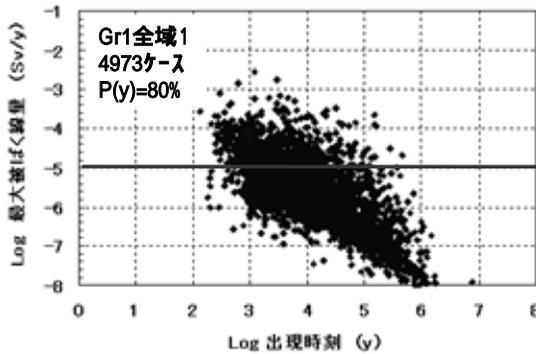
| No | 分類           | パラメータ名       | No                | 分類     | パラメータ名                    | No | 分類     | パラメータ名                              |                    |
|----|--------------|--------------|-------------------|--------|---------------------------|----|--------|-------------------------------------|--------------------|
| 1  | 設計条件         | インベントリ       | 26                | バリア特性  | 天然バリア空隙拡散係数               | 51 | 場の変遷   | 緩み域での地球化学異常発生継続時間                   |                    |
| 2  |              | 廃棄体の処分量      | 27                |        | 天然バリア空隙率                  | 52 |        | 廃棄体劣化開始時間                           |                    |
| 3  |              | 廃棄体埋設比率      | 28                |        | 天然バリア分散長                  | 53 |        | 廃棄体劣化継続時間                           |                    |
| 4  |              | 廃棄体定置領域断面積   | 29                |        | 動水勾配                      | 54 |        | 緩衝材劣化開始時間                           |                    |
| 5  |              | コンクリートバリアの厚さ | 30                |        | 分配係数                      | 55 |        | 緩衝材劣化継続時間                           |                    |
| 6  | 解析条件         | 緩衝材厚さ        | 31                | 分配係数   | 廃棄体劣化後のI, C, Np, U, ThのKd | 56 | コロイド影響 | 廃棄体領域でのI, C, Np, U, Thの擬似コロイドへの吸着指数 |                    |
| 7  |              | 核種浸出開始時間     | 32                |        | 緩衝材健全時のI, C, Np, U, ThのKd | 57 |        | 廃棄体領域での擬似コロイドによる移行速度の上限値            |                    |
| 8  |              | 緩み域流速増倍比率    | 33                |        | 緩衝材劣化後のI, C, Np, U, ThのKd | 58 |        | 廃棄体領域での真性コロイドによる液相種の増分指数(第二勾配)      |                    |
| 9  |              | 緩み域の厚さ       | 34                |        | 母岩健全時のI, C, Np, U, ThのKd  | 59 |        | 廃棄体領域での真性コロイド生成濃度の上限値(第二節点)         |                    |
| 10 |              | 天然バリア長さ      | 35                |        | 母岩劣化時のI, C, Np, U, ThのKd  | 60 |        | 緩衝材領域でのI, C, Np, U, Thの擬似コロイドへの吸着指数 |                    |
| 11 | バリア特性        | 廃棄体からの核種浸出率  | 36                | 分配係数   | 劣化後のKdの回復率                | 61 | 場の変遷   | 緩衝材領域での擬似コロイドによる移行速度の上限値            |                    |
| 12 |              | 廃棄体健全時透水係数   | 37                |        | 溶解度                       | 62 |        | 緩衝材領域での真性コロイドによる液相種の増分指数(第二勾配)      |                    |
| 13 |              | 廃棄体劣化後透水係数   | 38                |        | I, C, Np, U, Thの溶解度       | 63 |        | 廃棄体領域での真性コロイド生成濃度の上限値(第二節点)         |                    |
| 14 |              | 廃棄体健全時空隙率    | 39                |        | 地球化学異常終了後の溶解度の回復率         | 64 |        | コロイドフィルトレーション関連透水係数                 |                    |
| 15 |              | 廃棄体劣化後空隙率    | 40                |        | 線量換算係数                    | 65 |        | 母岩領域でのI, C, Np, U, Thの擬似コロイドへの吸着指数  |                    |
| 16 | バリア特性        | 廃棄体健全時空隙拡散係数 | 41                | 線量換算係数 | C-14の線量換算係数               | 66 | 場の変遷   | 母岩領域での擬似コロイドによる移行速度の上昇割合            |                    |
| 17 |              | 廃棄体劣化後空隙拡散係数 | 42                |        | Np-237の線量換算係数             | 67 |        | 母岩領域での真性コロイドによる液相種の増分指数(第二勾配)       |                    |
| 18 |              | 緩衝材健全時透水係数   | 43                |        | U-233の線量換算係数              | 68 |        | 母岩領域での真性コロイド生成濃度の上限値(第二節点)          |                    |
| 19 |              | 緩衝材劣化後透水係数   | 44                |        | Th-229の線量換算係数             | 69 |        | ガス影響                                | 廃棄体単位体積あたりのガス発生速度  |
| 20 |              | 緩衝材健全時空隙率    | 45                |        | 場の変遷                      | 70 |        |                                     | ガス影響による地下水流速増加開始時間 |
| 21 | 緩衝材劣化後空隙率    | 46           | 廃棄体領域での地球化学異常継続時間 | 71     | ガス影響による地下水流速増加継続時間        |    |        |                                     |                    |
| 22 | 緩衝材健全時空隙拡散係数 | 47           | 廃棄体領域での地球化学異常物質濃度 | 72     | ガス影響により空隙水が上方に押し出される期間    |    |        |                                     |                    |
| 23 | 緩衝材劣化後空隙拡散係数 | 48           | 緩衝材領域での地球化学異常物質濃度 | 73     | ガス影響により下方に排水される領域中の空隙水の割合 |    |        |                                     |                    |
| 24 | バリア特性        | 人工バリア分散長     | 49                | 場の変遷   | 母岩領域での地球化学異常物質濃度          | 74 | 場の変遷   | ガス影響により上方に押し出される緩衝材空隙水の割合           |                    |
| 25 |              | 天然バリア透水係数    | 50                |        | 緩み域での地球化学異常発生開始時間         | 75 |        | コンクリート継ぎ目の表面積に対する割合                 |                    |

表 バリア特性に関するパラメータ(1/3)

| パラメータ                     | 領域                   | 基本条件    |         | 変動時条件   |      | スケール | 備考(昨年度パラメータ設定根拠)  |
|---------------------------|----------------------|---------|---------|---------|------|------|---|
|                           |                      | 最小値     | 最大値     | 最小値     | 最大値  |      |   |
| 核種浸出率(1/y)グループ1           | 廃棄体                  | 1.0E-04 | 10      |         |      |      | 浸出率に関しては、ガラス固化、HIP、セメント固化等の今後の30年保持材料の新技術の投入も見込み、セメント固化体や銅マトリックス固化体に対して期待されている保持性能10 <sup>5</sup> 年(斎藤等、2001)(福本他、2001)を考慮し、最小浸出率を10 <sup>-4</sup> /yとした。最大値は、瞬時溶解に近い値(0.1年で全量放出)とした。   |
| 透水係数(m/s)                 | 廃棄体<br>コンクリート<br>バリア | 1E-13   | 1E-11   | 1E-13   | 1E-5 | 対数   | 基本条件の最小値および最大値は、以下を参照して健全時コンクリートの値を想定した。<br>健全なコンクリートの透水係数(供試体レベルの試験)<br>・1.0E-13~1.0E-12m/s。(岡田他、p202、図4-76)<br>健全なコンクリートの透水係数(実規模レベルの試験)<br>・1.0E-11m/s。(坂口他、1997)<br>コンクリートに対する水の絶対透過係数<br>・1.0E-11m/s(Mayer, et al, 1992)<br>変動条件については、最小値は基本条件と同じとし、最大値については(核燃料サイクル開発機構他、2000、4-209)を参考として、劣化したコンクリート(C-S-Hゲルがほとんど存在しない)の状態を仮定し、細粒砂程度の透水係数1E-05を想定した。 |
| 空隙拡散係数(m <sup>2</sup> /s) | 廃棄体<br>コンクリート<br>バリア | 1.0E-13 | 1.0E-11 | 1.0E-13 | 4E-9 | 対数   | 基本条件の最小値及び最大値については(Idemitsu, et al, 1997)、(稲場他、1998)(実効拡散係数1.3E-13及び2.0E-12を空隙率0.15で除した値)(8.6E-13)、(1.3E-11)を参考として、健全なコンクリートの値を仮定した。<br>変動条件については、最小値は基本条件と同じとし、最大値については(動力炉・核燃料開発事業団、1992、4-108)の自由水中のCsの拡散係数(自由水中の拡散係数の最大値:60度)4.0E-09m <sup>2</sup> /sとした。   |

成立条件抽出のための試解析結果(一例)

地層処分Gr1の1次統計解析結果



成立条件推定の一例 : 水理パラメータを制限

水理パラメータに着目した成立条件の推定

TRU廃棄物処分概念検討書のレファレンス値を用いた保守的決定論解析の結果

| 成立条件<br>パラメータ      | 組み合わせA  | 組み合わせB  |
|--------------------|---------|---------|
| 天然バリア空隙率 (-)       | 0.2     | 0.2     |
| 動水勾配 (-)           | 0.01    | 0.01    |
| 天然バリアの透水係数 (m/s)   | 1.0E-09 | 1.0E-08 |
| その他のパラメータ          | 保守的設定   | 保守的設定   |
| 最大線量 ( $\mu$ Sv/y) | 5.13    | 34.7    |



10  $\mu$  Sv/yを下回るために追加的に制限すべきパラメータ及びその値の同定

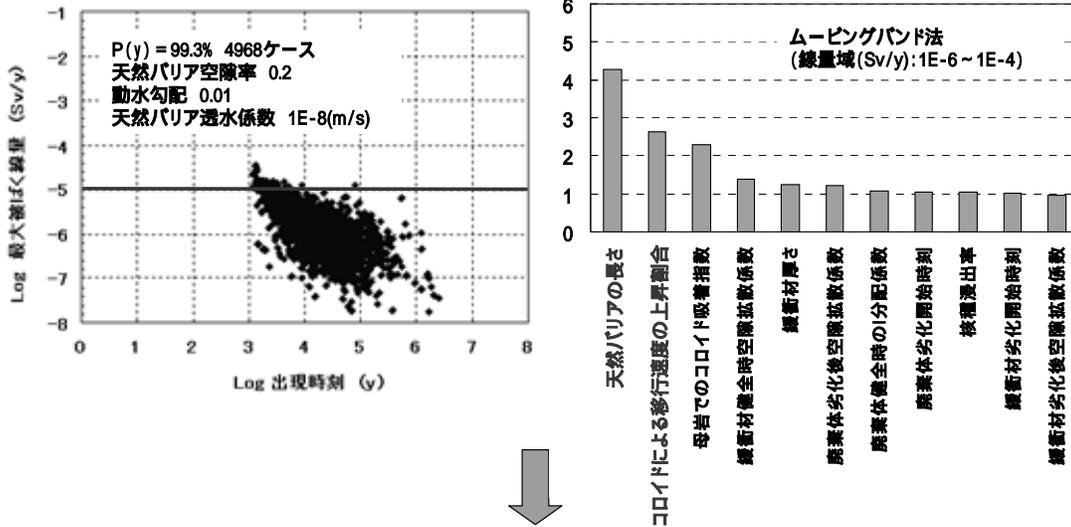


- ・2次統計解析の実施
- ・影響度の高いパラメータの再抽出

7

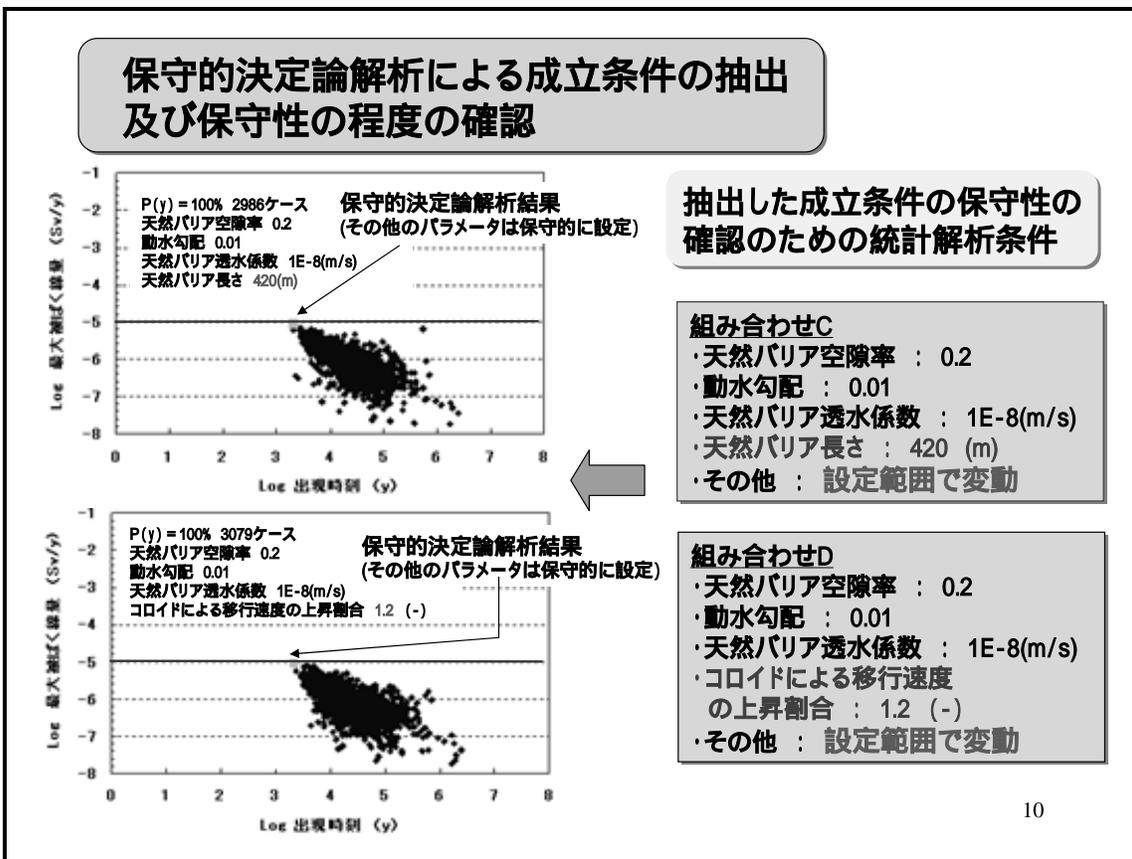
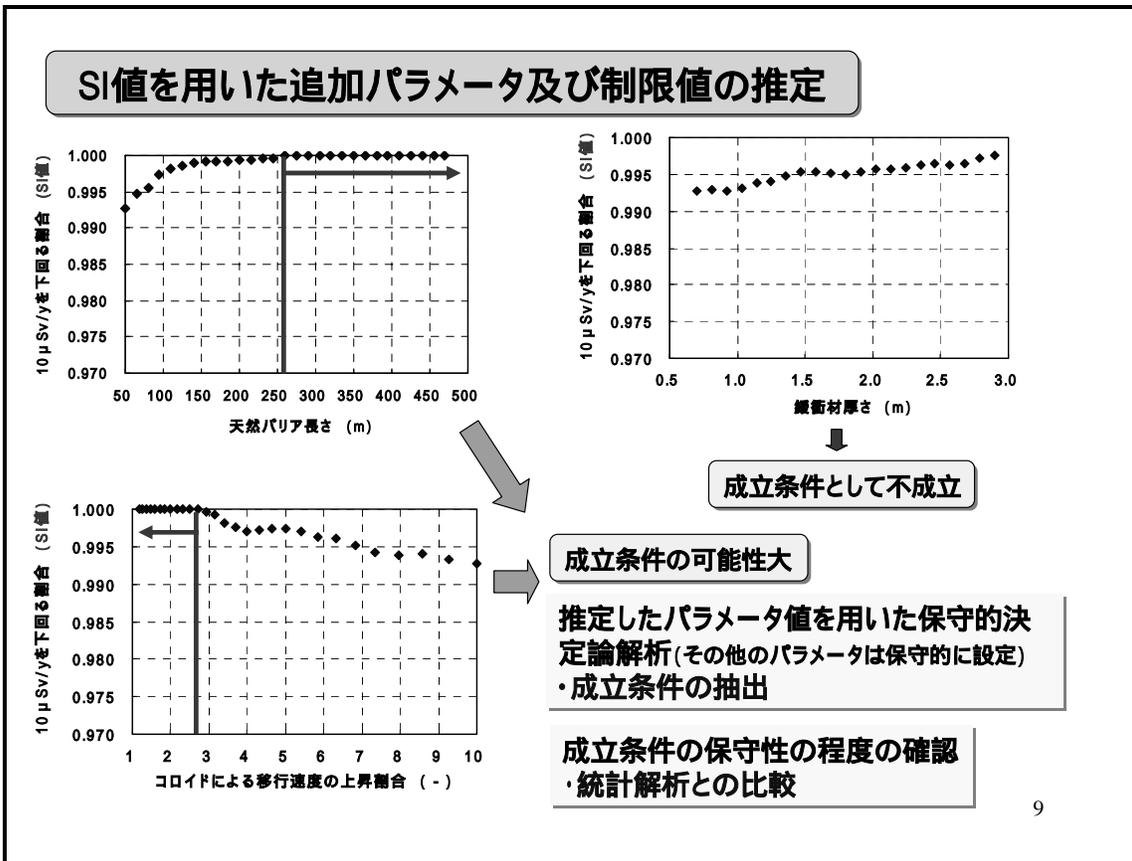
成立条件推定のための2次統計解析

組み合わせBの3つの水理パラメータを固定した2次統計解析



SI値及びPSI値を用いた追加パラメータ及び制限値の推定

8



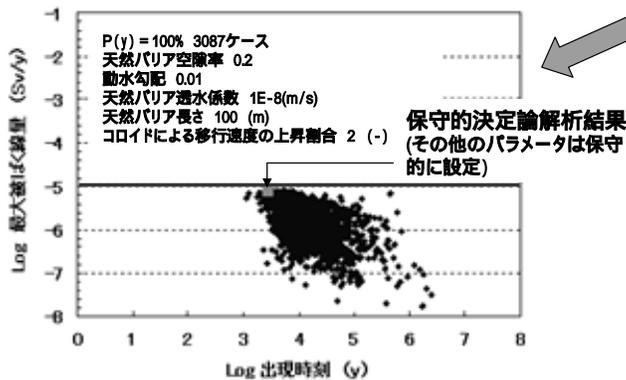
### PSI値を用いた追加パラメータの組み合わせの推定

| パラメータ            | 成立条件 | 組み合わせE  |
|------------------|------|---------|
| 天然バリア空隙率         |      | 0.2     |
| 動水勾配             |      | 0.01    |
| 天然バリアの透水係数 (m/s) |      | 1.0E-08 |
| 天然バリア長さ(m)       |      | 100 <   |
| コロイドによる移行速度の上昇割合 |      | <2      |
| その他のパラメータ        |      | 保守的設定   |
| PSI値             |      | 100%    |

推定したパラメータ値を用いた保守的決定論解析(その他のパラメータは保守的に設定)  
・成立条件の抽出

成立条件の保守性の程度の確認  
・統計解析との比較

抽出した成立条件の保守性の確認のための統計解析条件



組み合わせE  
・天然バリア空隙率 : 0.2  
・動水勾配 : 0.01  
・天然バリア透水係数 : 1E-8(m/s)  
・天然バリア長さ : 100 (m)  
・コロイドによる移行速度の上昇割合 : 2  
・その他 : 設定範囲で変動

### まとめ

・処分場で生起する様々な事象を包括的に考慮した上で、処分が安全に成立する条件を任意に網羅的に抽出可能な手法を構築した。

・抽出手順に沿って、水理パラメータに着目した成立条件の抽出例を示した。

### 今後の予定

成立条件の推定精度の向上

- \* パラメータの相関関係の把握 → 解析の有意性の向上
- \* パラメータ範囲の適切な設定 → 対象線量域への出力結果の集中

影響度の相対順位の正確な把握

亀裂媒体モデルの組み込みと亀裂媒体を対象とした解析

興味の対象となるパラメータを含む成立条件の詳細抽出

研究 / 設計目標の提示、解析ケース等の絞込みへの反映

#### 4. TRU 廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究

- (1) 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷
- (2) 普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性に及ぼすアンモニアの影響
- (3) セメント系材料の環境下における $\text{NaNO}_3$ の圧縮成型ベントナイトの水理特性に及ぼす影響
- (4) 硝酸ナトリウムの影響を考慮した核種移行パラメーター

(1) 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷

(発表者) 処分研究部 処分材料研究グループ  
本田 明

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会

TRU廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究( )

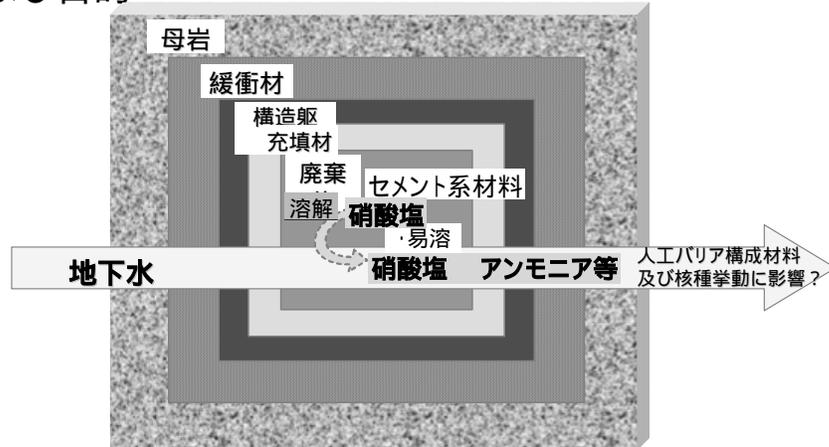
## - 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷 -

平成16年4月9日

東海事業所 エントリー4階大会議室

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  
本田 明

### 背景および目的



TRU廃棄物処分場の概念図

- ・使用済核燃料の再処理工程からのプロセス廃液には硝酸塩が含まれ、TRU廃棄物に移行し処分施設に持ち込まれる可能性がある。
- ・硝酸イオンは周囲の還元性の物質等と反応し、種々の酸化還元存在状態(e.g.,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ )を取る可能性がある。
- ・硝酸塩および硝酸塩起源の化学物質は、バリア材や核種移行パラメータ等に影響を与える可能性がある。

## 研究の目標と課題

### 研究目標

TRU廃棄物の処分システムに及ぼす硝酸塩及び硝酸塩起源物質の影響を評価する。

### 研究課題



- ・処分環境における硝酸塩の化学的変遷挙動の評価
- ・処分システム構成要素及び核種挙動に及ぼす硝酸塩及び硝酸塩起源物質の影響把握
- ・処分システム性能に及ぼす硝酸塩及び硝酸塩起源物質の影響評価

## TRU廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究

- ・ 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷(本田)
- ・ 普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性に及ぼすアンモニアの影響(大澤)
- ・ セメント系材料の環境下における硝酸ナトリウムの圧縮成型ベントナイトの水理特性に及ぼす影響(三原)
- ・ 硝酸ナトリウムの影響を考慮した核種移行パラメータ(三原)

## 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷

### • 研究の目的

TRU廃棄物の処分システムに及ぼす硝酸塩影響評価

鉄による硝酸イオンの亜硝酸イオン/アンモニアへの還元が実験的に確認された[九石,1999]。処分施設内には鉄系材料が共存。

硝酸塩の影響評価には、硝酸塩を起源とする化学物質(亜硝酸イオン/アンモニア)の影響評価も含まれる。

硝酸塩を起源とする化学物質の濃度の変化を定量的に評価するモデルが必要

硝酸イオンの鉄による還元過程を評価するためのモデル開発が必要

## 硝酸ナトリウム共存下でのアンプル型浸漬試験

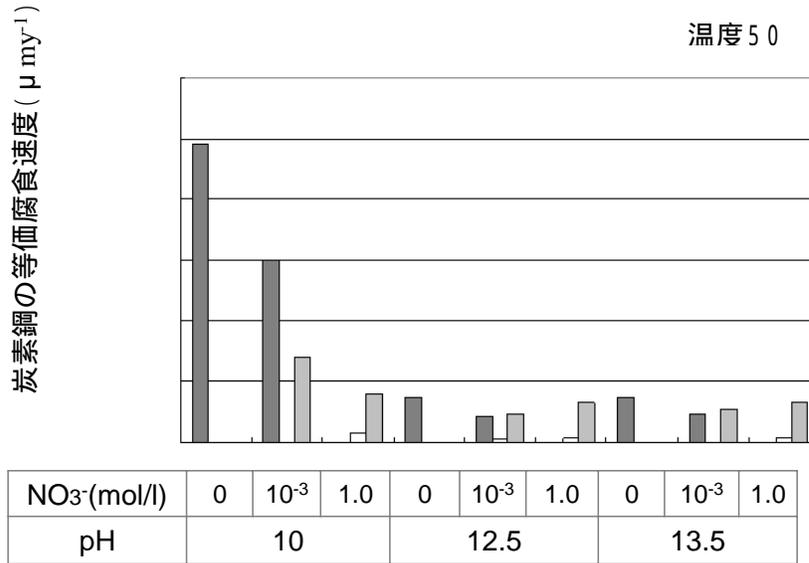


Ar 雰囲気(<1ppm O<sub>2</sub>)で炭素鋼製の線材を45本(120cm<sup>2</sup>)、試験溶液とともにガラスアンプル中に封入し、所定の期間、所定の温度に保持する。

ガスクロマトグラフィーに接続した気密チェンバー内でアンプルを破壊し、気相部の分析を実施

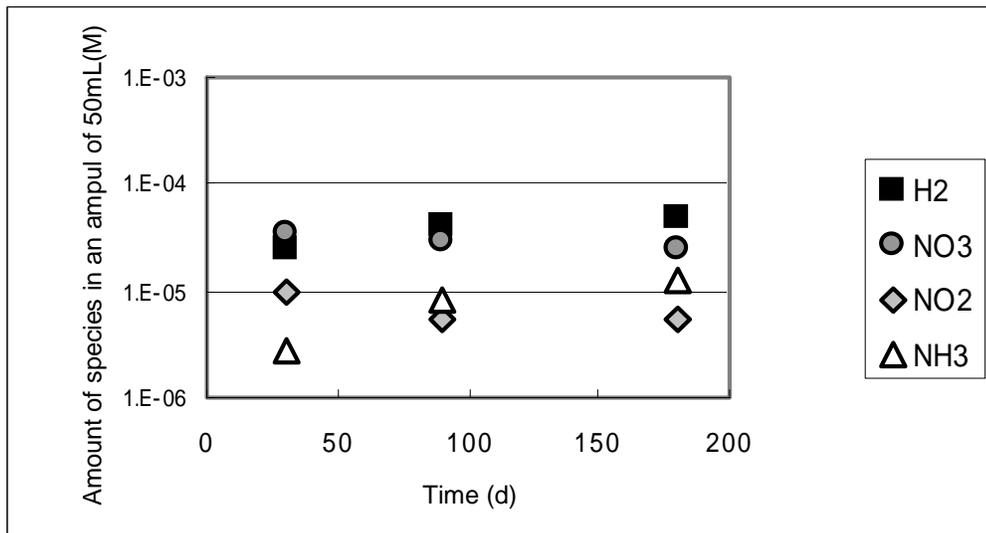
液相及び金属の分析を実施

### H<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 及びNH<sub>3</sub>の発生速度から算定した 等価腐食速度(180日)



### 炭素鋼の還元作用による硝酸塩の 化学的変遷挙動(実測値)

初期硝酸塩濃度 1mM

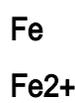


金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷モデルの原理・概要

原理：鉄表面におけるアノード反応とカソード反応について、電位を媒介として電荷の授受をつりあわせ硝酸塩類の還元反応の時間変化を追跡する

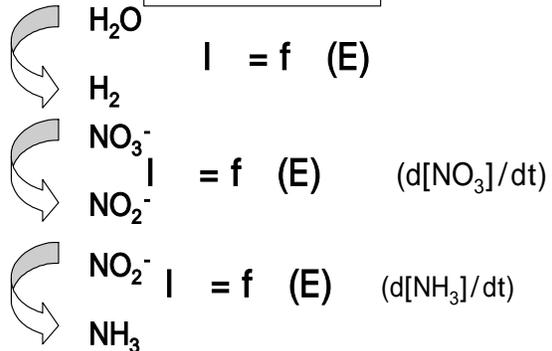
アノード反応

$$I = f(t)$$



カソード反応

$$I = f(E)$$



時刻tにおける反応の電荷バランス、 $I = I_a + I_c + I_r$

$f_a(t) = f_c(E) + f_r(E) + f_n(E)$  の成立するEを求める  
求めたEを  $f_a$ 、 $f_c$ 、 $f_n$  に代入し時刻tにおける反応速度を決定

硝酸イオン還元反応速度式に対する影響因子の反映

$$d[NO_3^-]/dt = k[NO_3^-] = f(E, T, pH) \cdot [NO_3^-]$$

$k \propto \exp(-\alpha E)$   
 $k \propto \exp\left(-\frac{\beta}{T}\right)$   
 $k \propto [H^+]^\gamma$

各種条件のもとで電気化学的実験により速度定数kと影響因子との相関式を回帰分析により求める

$$d[NO_3^-]/dt = k[NO_3^-] = a \cdot \exp(-\alpha E) \cdot \exp\left(-\frac{\beta}{T}\right) \cdot [H^+]^\gamma \cdot [NO_3^-]$$

$I = \frac{nFV}{S} \cdot d[NO_3^-]/dt$       n:電子数、F:ファラデー定数、  
V:溶液量、S:電極表面積

## 速度式の決定

### アノード 鉄の酸化

- ・ 硝酸塩非共存系のアンフル試験の結果から

$$I = A \cdot [H^+]^n \cdot t^m \quad (A, n, m \text{ は定数})$$

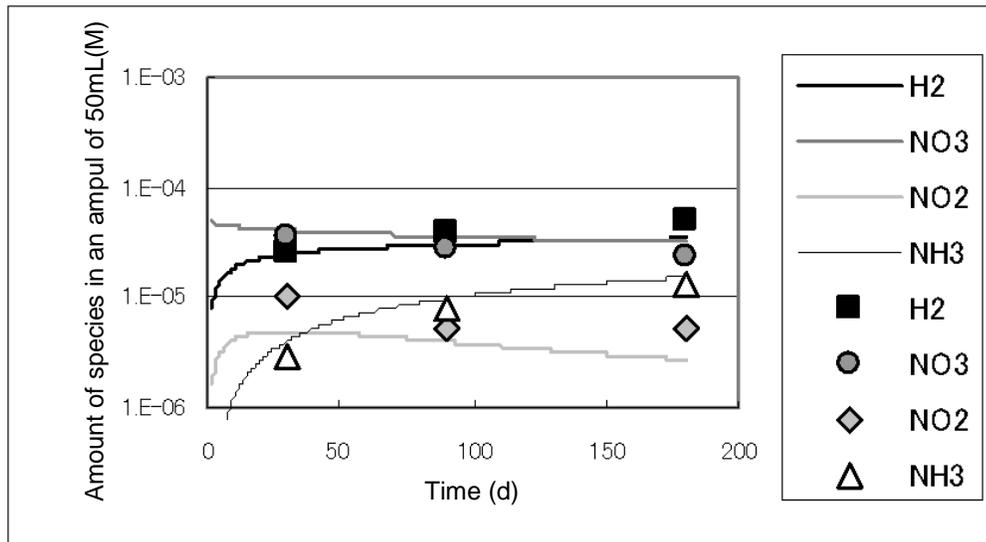
### カソード 水の分解による水素発生

- ・ 動電位測定結果を数式化

$$I = B \cdot \exp\left(\frac{C}{T}\right) \cdot \exp(DE) \quad (B, C, D \text{ は定数})$$

## 炭素鋼の還元作用による硝酸塩の 化学的変遷挙動(実測値とモデル計算) 1

初期硝酸塩濃度 1mM



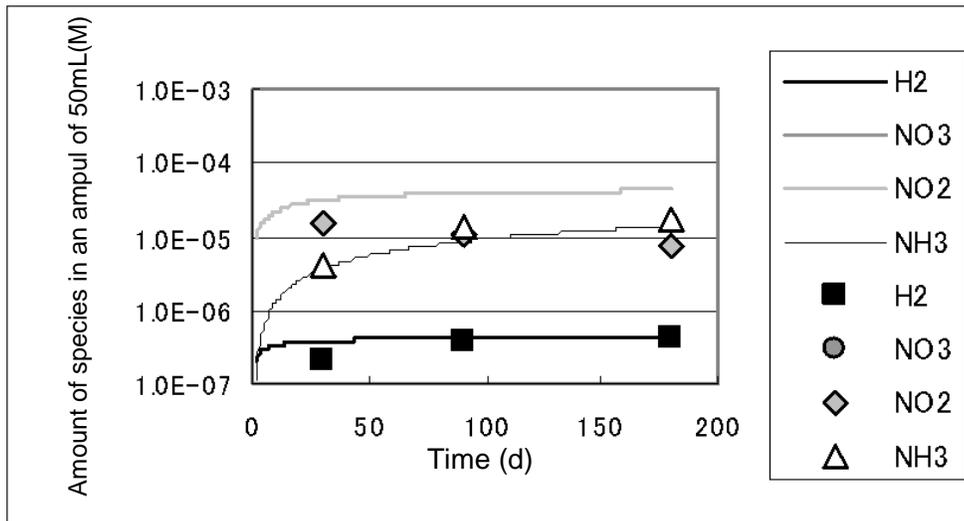
## 硝酸イオン変遷の反応速度式

$$r_{NO3/NO2} = \frac{k \cdot q_{\max} \cdot K_{NO3} \cdot [NO_3]}{1 + K_{NO3} \cdot [NO_3]}$$

$$r_{NO2/NH3} = \frac{k \cdot q_{\max} \cdot K_{NO2} \cdot [NO_2]}{1 + K_{NO2} \cdot [NO_2]}$$

## 炭素鋼の還元作用による硝酸塩の 化学的変遷挙動(実測値とモデル計算) 2

初期硝酸塩濃度 1M



## まとめ

- ・硝酸イオンが、炭素鋼の腐食に伴い、亜硝酸イオンおよびアンモニア/アンモニウムイオンに還元されるプロセスと水が還元され水素ガスを発生するプロセスを、電気化学反応速度式の組み合わせとしてモデル化した。
- ・この硝酸塩の変遷モデルにより、実験結果を表現することができた。

(2) 普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性に及ぼすアンモニアの影響

(発表者) 処分研究部 処分材料研究グループ  
大澤 勉

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会

TRU廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究(2)  
- 普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性  
に及ぼすアンモニアの影響 -

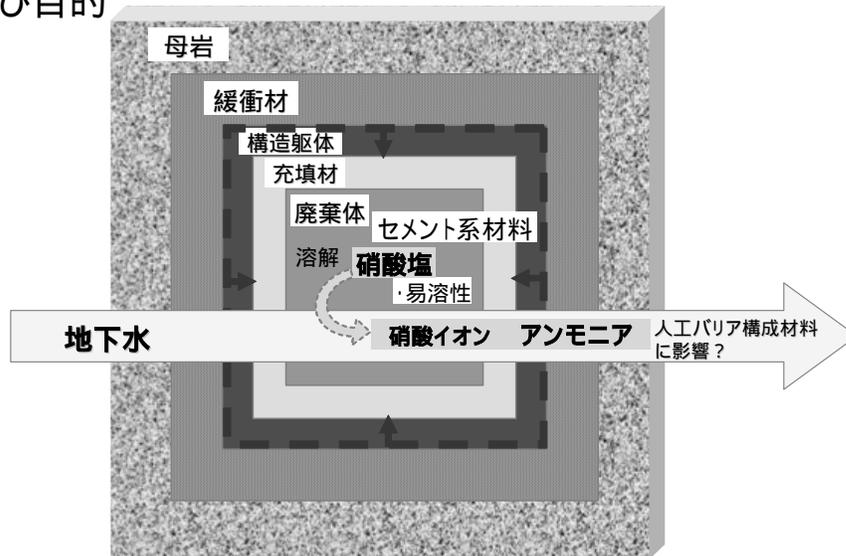
平成16年4月9日

東海事業所 エントリー4階大会議室

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  
大澤 勉

1

背景および目的



TRU廃棄物処分場の概念図

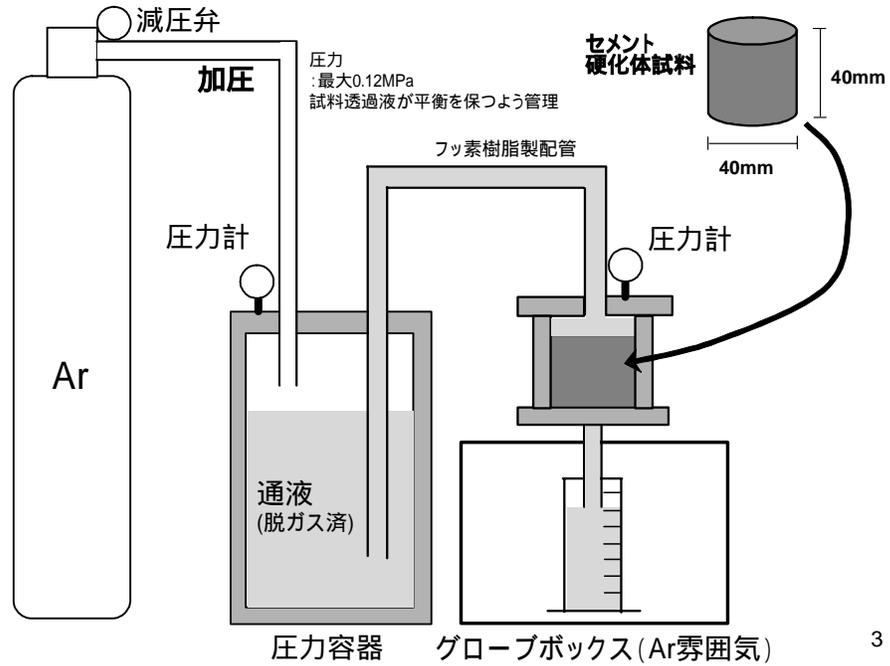
- ・線量評価上、ヨウ素 129・炭素 14等の易溶性核種が支配核種 処分場の水理特性が重要
- ・バリア材料の一つであるセメント系材料の水理・力学特性に及ぼす硝酸イオンの影響は昨年度報告。
- ・本年度は処分環境において硝酸イオンがアンモニアまで還元されたことを想定し、**アンモニアの影響を評価。**

2

# 実験

・方法: 通液法

カラム式液透過試験装置の概略



## ・通液

積算液固比90まで 0.5M NH<sub>3</sub> 1M NaNO<sub>3</sub> 液固比90以降 イオン交換水  
(現在 液固比200まで経過)

既報  
と  
比較

積算液固比90まで 1M NaNO<sub>3</sub> 液固比90以降 イオン交換水  
イオン交換水のみ

ただし、と、は試料の作製時期異なる。

## ・供試体

セメント : 普通ポルトランドセメント(OPC)  
水/セメント重量比(W/C) : 105%のセメントペースト  
練り混ぜ : 30 RH70%でブリーディングが収まるまで繰り返し  
養生 : 50 28日間  
試料形状 : 40mm × H40mmの円柱

・試験環境 : 20 , Arガス雰囲気

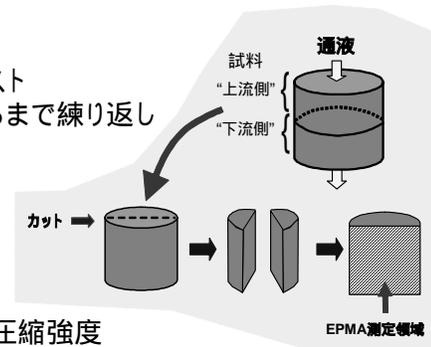
・分析項目 (液相) pH, 主要化学成分

(固相) 供試体全体として: 透水係数, 圧縮強度

供試体の通液上流側・下流側の二等分で

: 空隙率(水銀圧入法), 生成物定量(TG/DTA, DSC),  
結晶相同定(XRD)

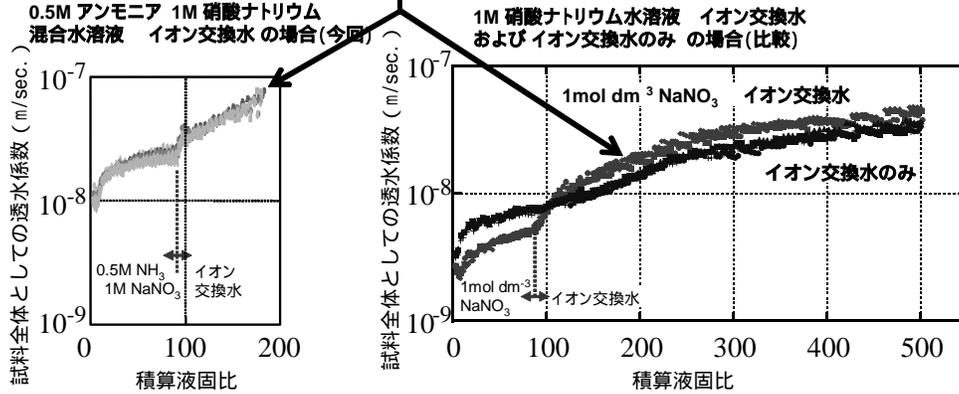
供試体の通液方向断面で: 主要元素分布(EPMA)



4

### 試料全体としての透水係数の変化

試料の初期空隙特性が異なるため値の直接比較はできないが、 $\text{NH}_3$   $\text{NaNO}_3$ 混合系と $\text{NaNO}_3$ 系とで変化の傾向はほぼ同様



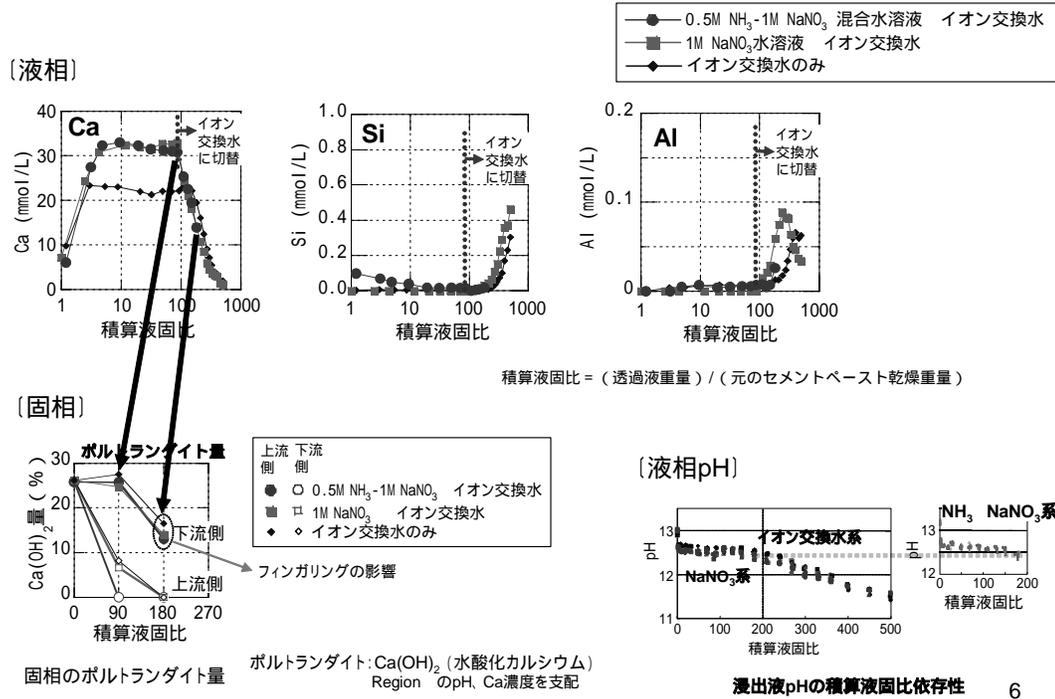
### セメントペースト試料の透水係数の積算液固比依存性

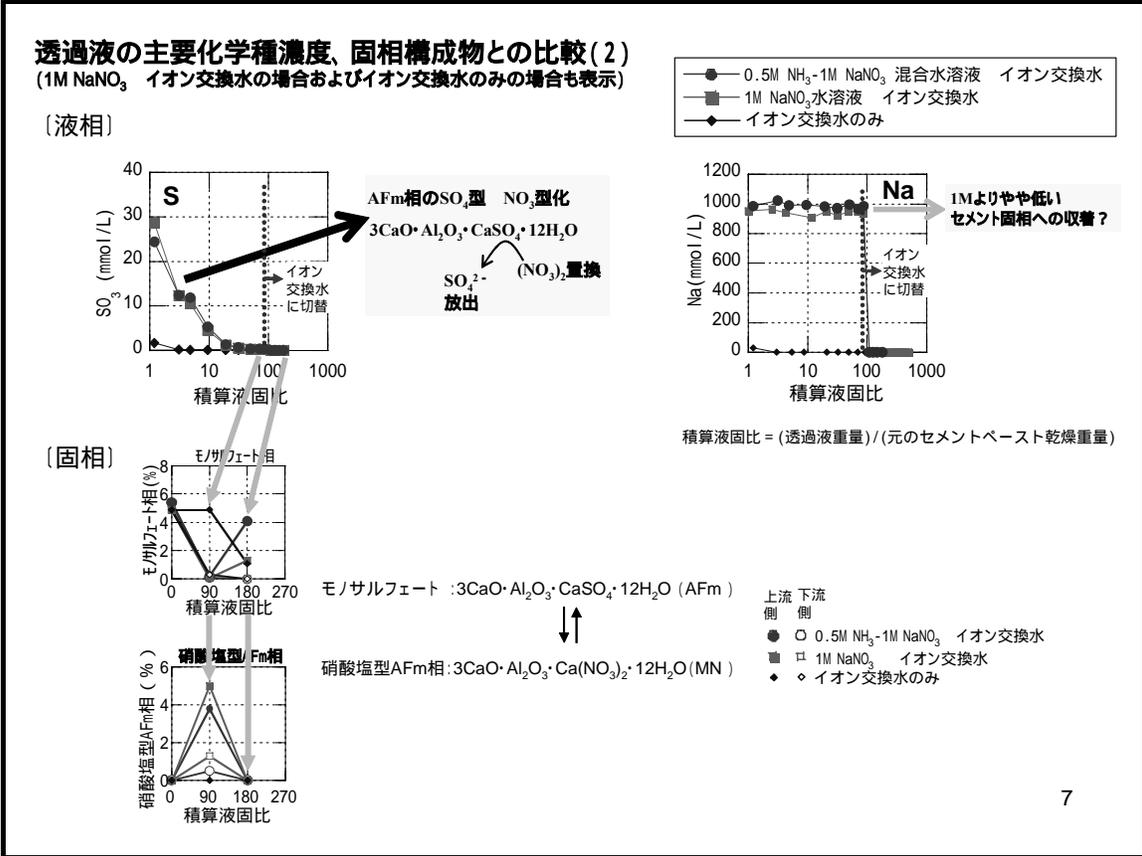
$$\text{積算液固比} = (\text{透過液重量}) / (\text{元のセメントペースト乾燥重量})$$

0.5Mアンモニア-1M硝酸ナトリウム混合水溶液を透過させた場合の試料全体としての透水係数は、  
 通液開始直後は上昇せず、イオン交換水に切り替え直後に急増。  
 1M硝酸ナトリウム水溶液のみを透過させた場合と同様。透水係数へのアンモニアの影響は認められなかった。

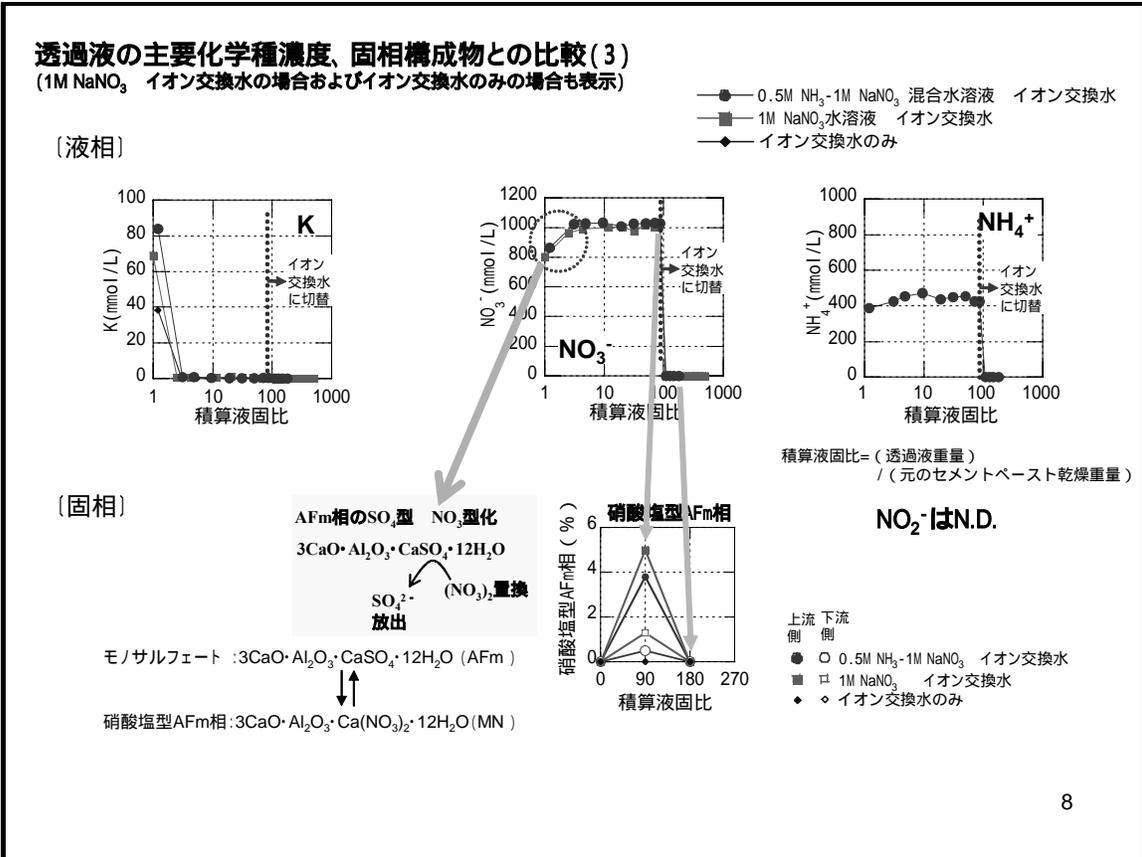
### 透過液のpHおよび主要化学種濃度、固相構成物との比較(1)

(1M  $\text{NaNO}_3$  イオン交換水の場合およびイオン交換水のみの場合も表示)

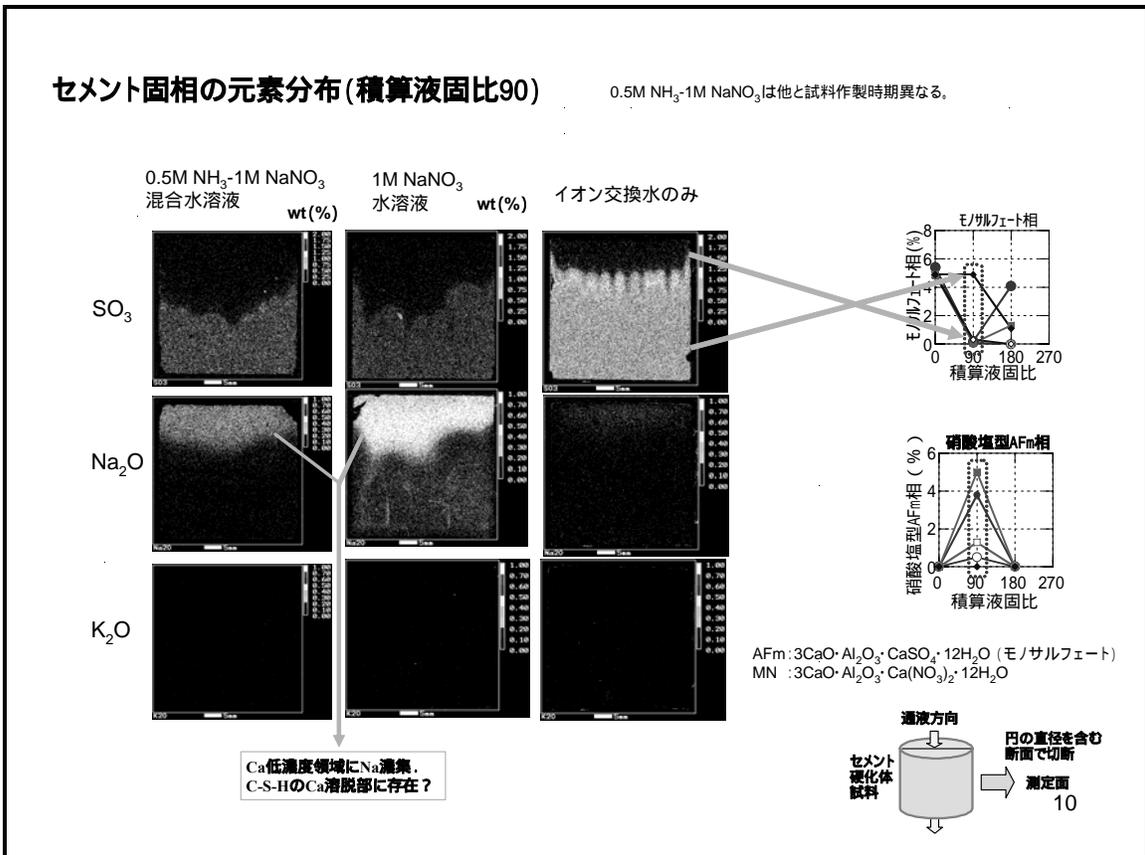
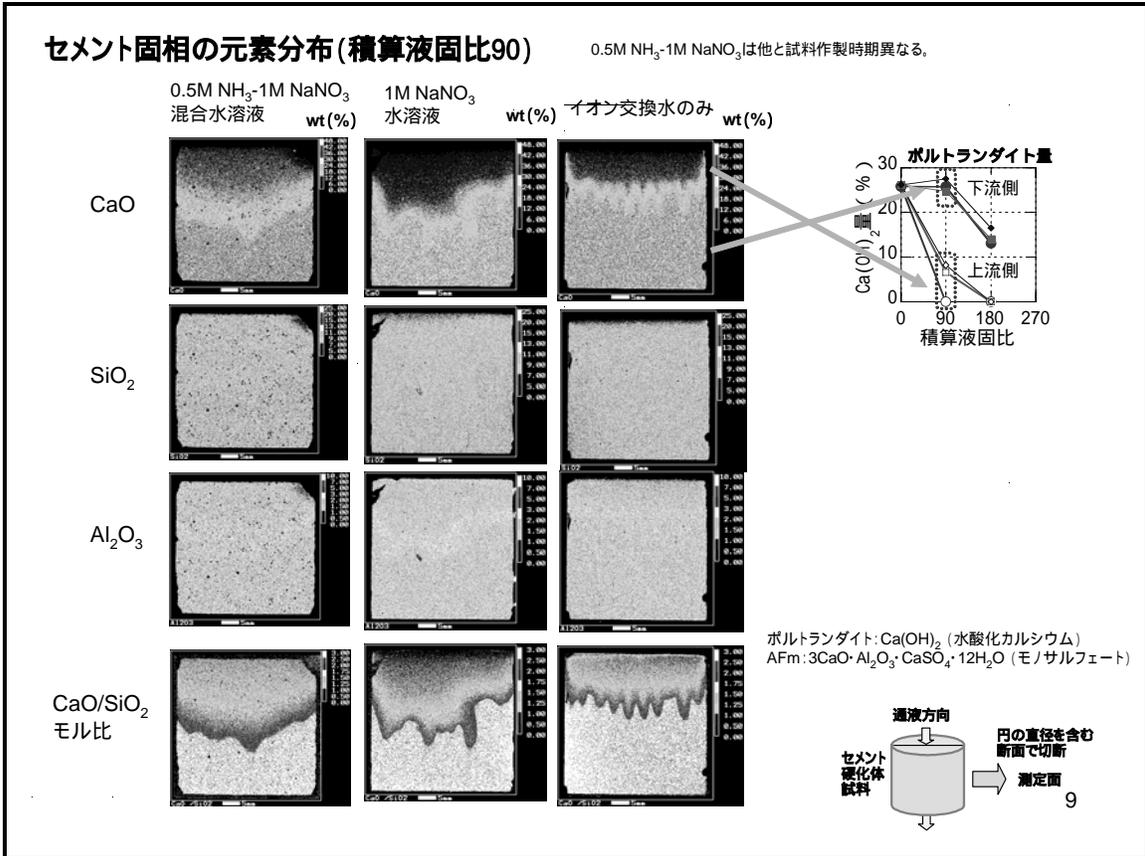


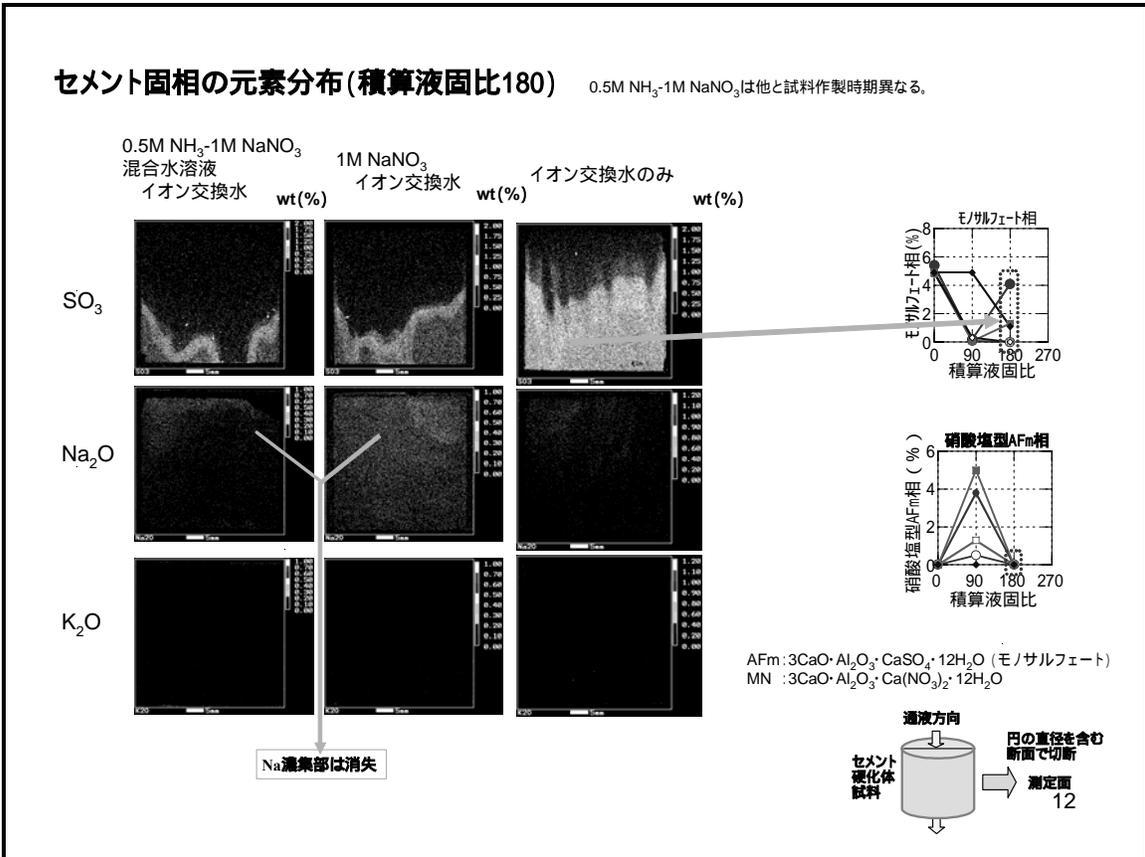
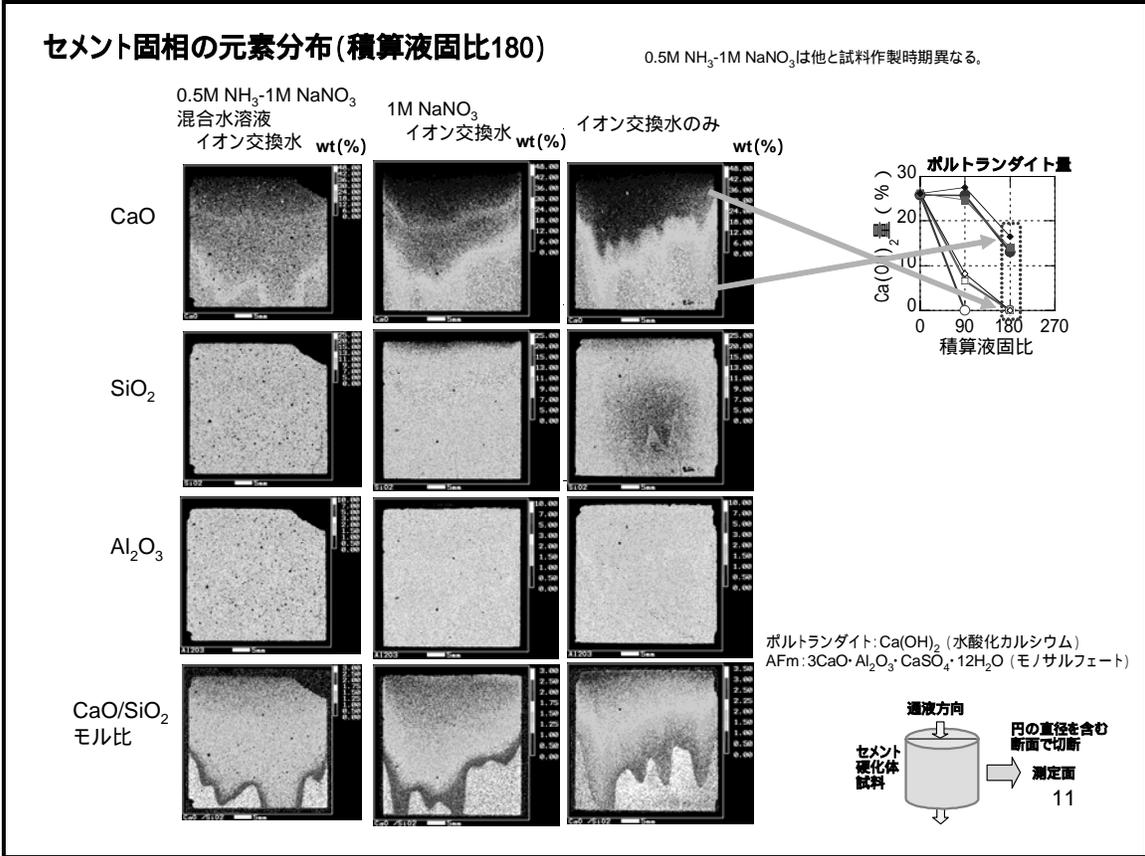


7



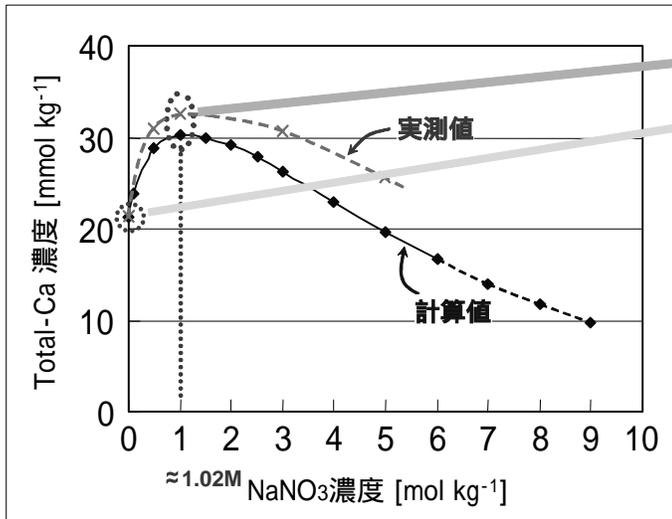
8





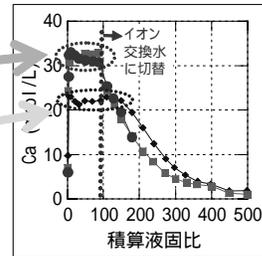
### 液相Ca濃度の上昇要因に関する推察

計算値: Pitzer modelにより活量補正した計算.  
 実測値: 所定濃度のNaNO<sub>3</sub>水溶液に対する飽和Ca(OH)<sub>2</sub>水溶液を調製し、その濃度を測定.



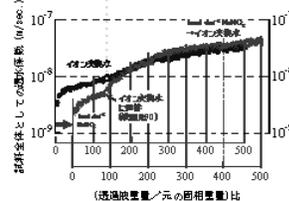
Ca(OH)<sub>2</sub>と平衡する液相Ca濃度のNaNO<sub>3</sub>濃度依存性 (計算値および実測値)

● 0.5M NH<sub>3</sub>-1M NaNO<sub>3</sub> 混合水溶液 イオン交換水  
 ■ 1M NaNO<sub>3</sub>水溶液 イオン交換水  
 ◆ イオン交換水のみ



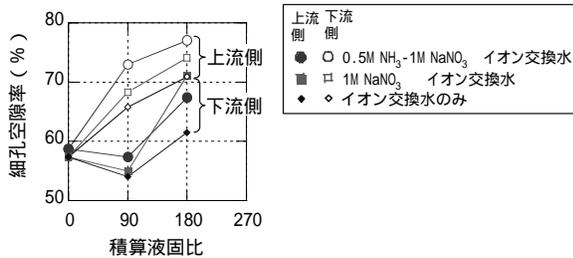
今回実験における透過液中のCa濃度

ここまでCa溶出量が同一 → 以降同様な変化、履歴の相違の影響なし



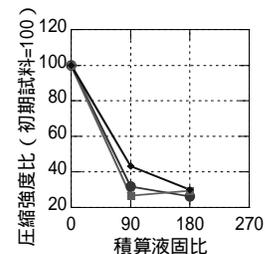
NaNO<sub>3</sub>通液試料の液固比90までのCa溶出量を、イオン交換水のみ試料のCa溶出量と比較し、その増大分をイオン交換水のみの場合のCa溶出量に相当する液固比(約45)ずらして透水係数をプロット。

### 空隙率および圧縮強さ



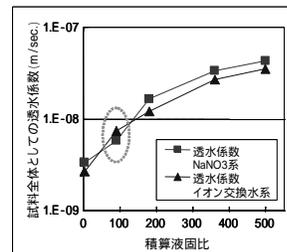
積算液固比と細孔空隙率との関係

一般には、空隙率が高いほど、強度低・透水係数大の傾向。  
 ・(真空乾燥後の)空隙率はアンモニア-硝酸ナトリウム共存系およびNaNO<sub>3</sub>単独系の方がイオン交換水のみ系より高い傾向で、強度の低下傾向とも合致。



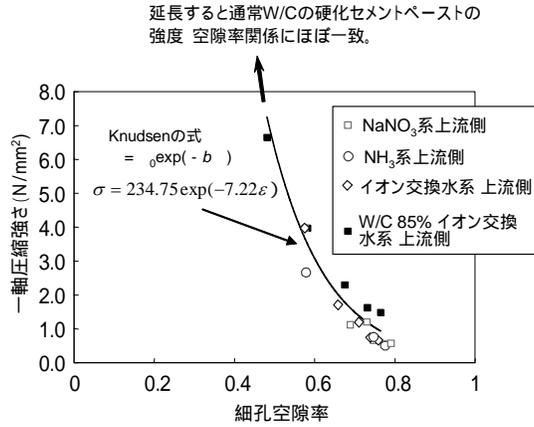
積算液固比と圧縮強度比 (各初期試料=100)との関係

・透水係数は、硝酸ナトリウム通液中はイオン交換水のみの場合より小さかった。



主な積算液固比における試料全体としての透水係数

圧縮強さ 細孔空隙率 関係の整理



セメント系材料の水理・力学特性の変遷に関する研究, JNC TJ8400 2002 028

圧縮強さを支配すると考えられる供試体上流側の細孔空隙率と圧縮強さとの関係

各試験における圧縮強さと空隙率の関係をプロットすると、セメント硬化体に対するKnudsenの式にほぼ回帰される。  
 上記の関係式を低空隙率側に外挿すると、通常の水/セメント比における硬化セメントペーストの圧縮強さ-空隙率曲線にほぼ一致する。

TRU廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究(2)

普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性に及ぼすアンモニアの影響

カラム式通液法によって0.5Mアンモニア-1M硝酸ナトリウム混合水溶液を透過させ、透過液相および固相の変化を求め、1M硝酸ナトリウム水溶液 または イオン交換水のみ を透過させた場合と比較した。

試料全体としての透水係数の変化、透過液のpH・主要化学種、固相の構成物・空隙率・圧縮強さの変化は、硝酸ナトリウムのみを含む場合とほぼ同様であり、アンモニアの影響は認められなかった。

(3) セメント系材料の環境下における $\text{NaNO}_3$ の圧縮成型ベントナイトの水理特性に及ぼす影響

(発表者) 処分研究部 処分材料研究グループ  
三原 守弘

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会

TRU廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究(3)

- セメント系材料の環境下における $\text{NaNO}_3$ の圧縮成型  
ベントナイトの水理特性に及ぼす影響 -

平成16年4月9日

東海事業所 エントリー4階大会議室

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  
三原 守弘

## 背景

- 硝酸塩の溶解によって、処分施設内の地下水は高イオン濃度となる(例えば、硝酸ナトリウムの溶解度は約 $8\text{mol/L}$ (化学便覧))。
- 地下水のイオン濃度が高くなると緩衝材(圧縮成型ベントナイト)の透水係数の増加や膨潤性の低下などが懸念される(菊池ら, 2002: Karnland, 1997)。

## 目的

- 一部のTRU廃棄物には、硝酸ナトリウム ( $\text{NaNO}_3$ ) が多量に含まれており、その地下水への溶解による圧縮成型ベントナイトの透水係数に及ぼす影響について評価を行なう。
- 評価にあたっては、処分施設にセメント系材料を使用することを考慮に入れる。

## 実施内容

- 圧縮成型ベントナイトの透水係数を定圧注水による透水試験により求める。
- 硝酸ナトリウムを含むセメント浸出液を模擬した溶液を使用し透水試験を実施する。
- また、ベントナイトを各々の溶液でイオン交換処理し、透水試験を実施する。

## 試験条件の考え方(1)

- セメント系充てん材に全量 $\text{NaNO}_3$ が溶解するとその間隙水での濃度は約 $6\text{mol/L}$ である。
- 一次元の移流・分散物質移行コードを用いた硝酸イオン濃度の概略評価より、約100,000年でベントナイト中は平均的に $2\text{mol/L}$ 程度の濃度になる。
- セメント系充てん材の間隙水の初期は、Na, Kの溶出の影響によりpH13を超える。
- 以上を考慮し以下の溶液を試験に使用する。
  - イオン交換水(DW)
  - 水酸化カルシウム飽和溶液(CW)
  - CWに $\text{NaOH}$ , $\text{KOH}$ を等量混合し、pH約13.2にした溶液(AW)
  - AWに $\text{NaNO}_3$ を $3\text{mol/L}$ となるように添加した溶液(AWN)

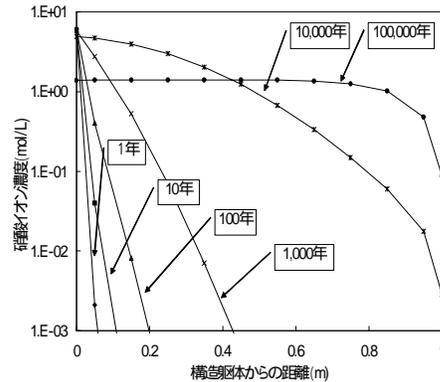


図 ベントナイト中の硝酸イオン濃度の経時変化

## 試験条件の考え方(2)

- CW, AW及びAWNをベントナイトに通水するとベントナイトのイオン型が変化する。
- ベントナイトを各々の溶液でイオン交換処理し、透水試験を実施する。
- イオン交換処理したベントナイトについては、浸出陽イオン量を測定し、そのイオン型を把握する。
- 以上を考慮し、以下のベントナイトについて試験を実施する。
  - ベントナイト(クニゲルV1:未処理)
  - CW処理
  - AW処理
  - AWN処理

# 透水試験の条件

| 試料<br>通液 | クニゲルV1<br>(未処理) | CW処理 | AW処理 | AWN処理 |
|----------|-----------------|------|------|-------|
| DW       |                 |      |      |       |
| CW       |                 | -    | -    | -     |
| AW       |                 | -    | -    | -     |
| AWN      |                 | -    | -    | *     |

- : 透水試験実施。
- : 実施せず。
- \* : DW通水後にAWNに通液を切り替え。

# 試験内容

- 定圧注水による透水試験(右図)
- 試料:クニゲルV1(未処理, CW処理, AW処理, AWN処理)にケイ砂(3号, 5号を1:1)を30wt%混合し, 乾燥密度 $1.6\text{g/cm}^3$ に調整したもの。
- 試料サイズ:厚さ1cm, 直径5cm
- 溶液:DW, CW, AW, AWN
- 通水圧:各々の条件の試料の膨潤圧以下(膨潤圧以上に通水圧をかけると試料に水みちができる可能性が指摘(黒澤, 2003))

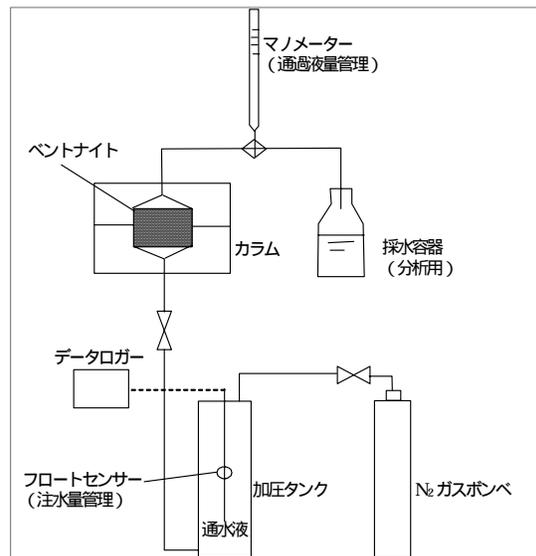


図 透水試験の概念図

# ベントナイトのイオン交換処理と 浸出陽イオン量

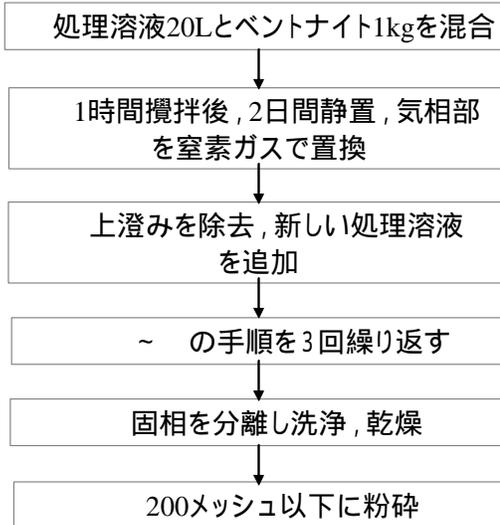


図 イオン交換処理のフロー

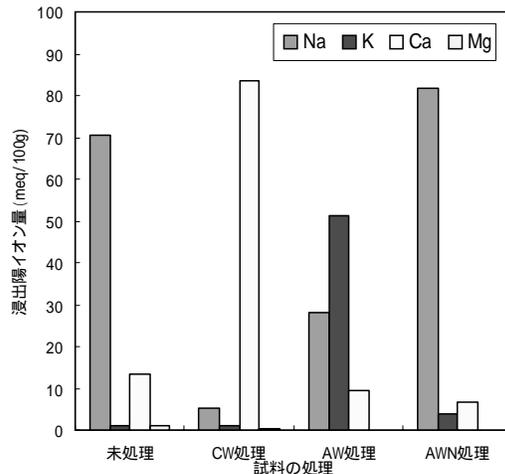


図 ベンジルトリメチルアンモニウムクロライド溶液による浸出イオン量の測定

# 各試験条件における膨潤圧の測定

- ベントナイトの膨潤圧は、通液組成とイオン型に依存する。
- 各試験条件における膨潤圧を測定する。
- 試料の大きさ、試験条件は、透水試験条件と同じ。

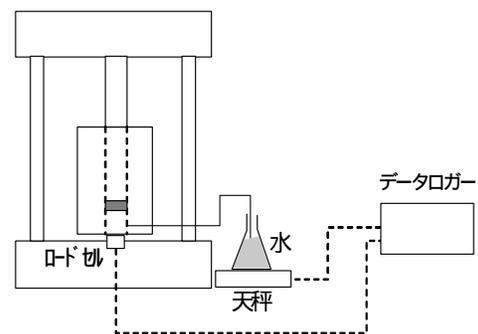


図 膨潤圧測定装置の概念図

## 膨潤圧の測定結果と通水圧の設定

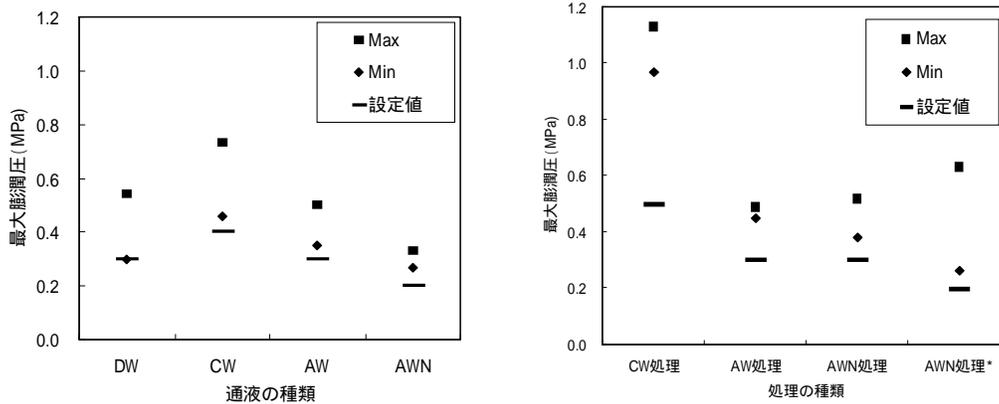


図 ケイ砂混合圧縮成型ベントナイトの最大膨潤圧  
 (左図: 通液の種類を変化させた場合, 右図: イオン交換処理を行なった場合, 通液はDW, \*のみAWNを通水, - は, 透水試験における通水圧の設定値)

## 透水試験期間中の透水係数の測定例

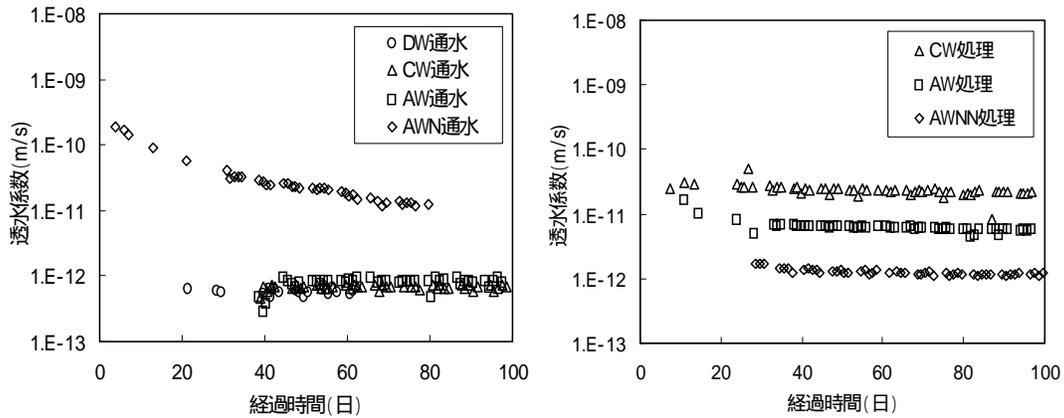


図 ケイ砂混合圧縮成型ベントナイトの透水係数の経時変化の例  
 (左図: 通液の種類を変化させた場合, 右図: イオン交換処理を行なった場合)

## 透水試験結果(通液を変化させた場合)

- 3ヶ月間の通水試験において, CW, AWともDWと同程度の透水係数であった。
- AWNを通水すると透水係数は, 一桁以上大きくなり  $10^{-11}$  m/s オーダとなった。
- AWNを通水した透水係数は, 模擬海水(SW)を通水した結果(菊池ら, 2002)と同程度の値であった。

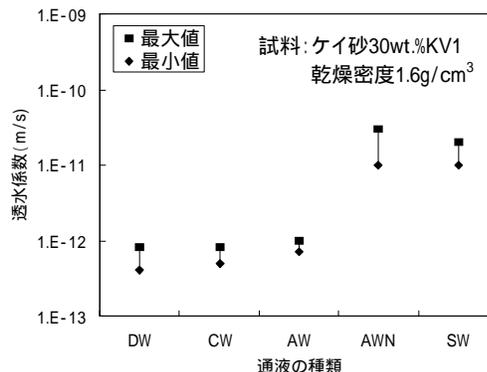


図 ケイ砂混合圧縮成型ベントナイトの透水係数 (試験繰り返し数3の最大値, 最小値)

## 透水試験結果(イオン交換処理をした場合)

- CW処理の透水係数が最も高く, CaCl<sub>2</sub>で処理したベントナイトの結果(前田ら, 1998)から推定した値と同定の値であった。
- 透水係数は, CW処理, AW処理, AWNの順に小さくなり, それぞれのイオン型は, Ca, K, Na であり, このことが透水係数に影響を及ぼしている。
- AWN処理の透水試験について通液をAWNに変更したところ透水係数は,  $10^{-11}$  m/s オーダとなった。

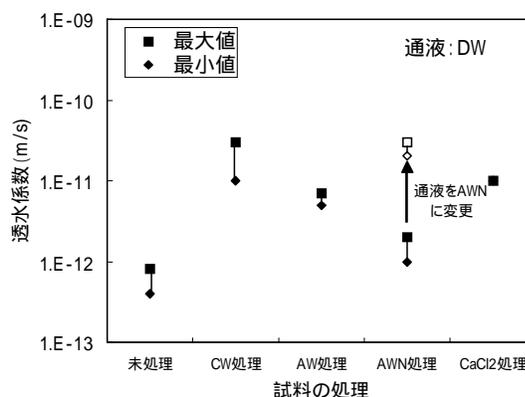


図 ケイ砂混合圧縮成型ベントナイトの透水係数 (試験繰り返し数3の最大値, 最小値)

## 透水試験結果のまとめ

- $\text{NaNO}_3$ 濃度の高い溶液を通水すると、圧縮成型ケイ砂混合ベントナイトの透水係数は、1桁大きくなり海水の影響を受けた場合と同程度の $10^{-11}$  m/sオーダの透水係数となった。
- イオン交換処理の試料については、高濃度の $\text{NaNO}_3$ のNaの影響によりベントナイトのイオン型はNaのままであった。通液が蒸留水の場合、透水係数は $10^{-12}$  m/sオーダの透水係数であったが、通液の $\text{NaNO}_3$ 濃度が高くなると $10^{-11}$  m/sオーダの透水係数となった。

(4) 硝酸ナトリウムの影響を考慮した核種移行パラメーター

(発表者) 処分研究部 処分材料研究グループ  
三原 守弘

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会

TRU廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究(4)

- 硝酸ナトリウムの影響を考慮した核種移行パラメータ -

平成16年4月9日

東海事業所 エントリー4階大会議室

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  
三原 守弘

## 目的

TRU廃棄物の処分環境においては、廃棄体から溶出した硝酸塩が核種移行に影響を及ぼす可能性がある。

硝酸塩やアンモニアの共存下での核種移行パラメータはほとんど知られていない。

本研究ではそのような条件下でセメント系材料及び凝灰岩に対する収着試験等を実施し、硝酸塩やアンモニアの影響について試験評価を行う。

## 対象核種の選定

硝酸塩を含む廃棄体を対象にして、溶解度と分配係数を考慮せずに核種移行解析を行い線量を評価。



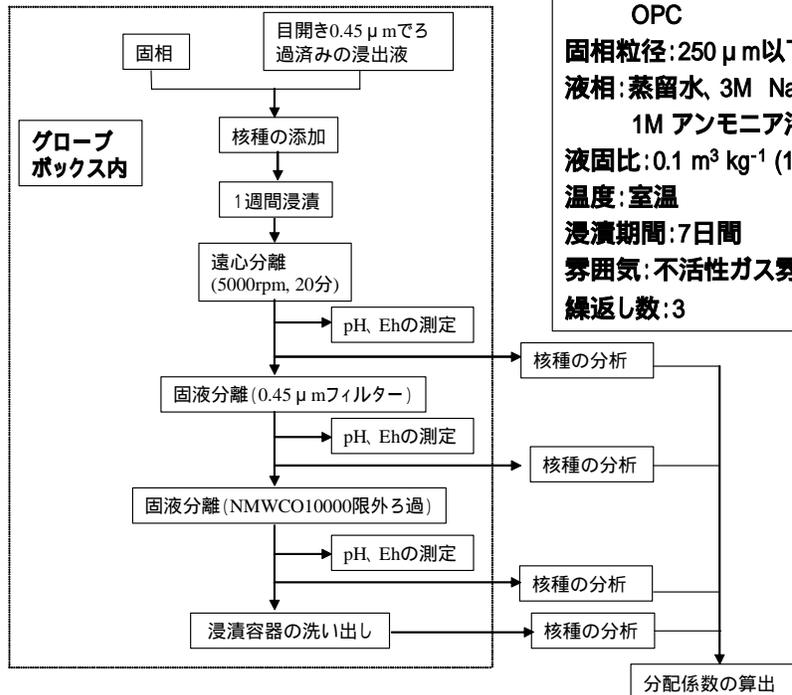
・インベントリ  
・水理パラメータ

TRU処分概念検討書の値を使用

C, Iなどの可溶性核種、およびアクチノイド核種の重要度が高い。遷移金属核種の重要度は高くない。

本研究の対象: C(有機、無機)、I、Cl、Cs  
Th( 価)、Am( 価)

## 試験方法及び手順



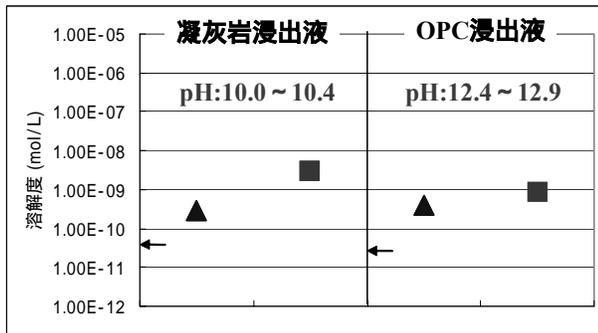
方法: バッチ法  
固相: 新第三紀凝灰岩 (大谷石)  
OPC  
固相粒径: 250 μm以下に調整  
液相: 蒸留水、3M NaNO<sub>3</sub>溶液  
1M アンモニア溶液  
液固比: 0.1 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> (100mL/g)  
温度: 室温  
浸漬期間: 7日間  
雰囲気: 不活性ガス雰囲気  
繰返し数: 3

### 試験条件(核種の条件)

| 核種     | 半減期                  | 化学形                             | 核種の初期濃度(Bq/mL)         | キャリア初期濃度(mol/L)           | 核種濃度分析方法 |
|--------|----------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|----------|
| 有機C-14 | $5.73 \times 10^3$ d | HCHO                            | $2 \sim 3 \times 10^3$ | $1 \sim 2 \times 10^{-6}$ | 液シン      |
| 無機C-14 | $5.73 \times 10^3$ d | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | $1 \sim 2 \times 10^3$ | $2 \times 10^{-4}$        | 液シン      |
| Cl-36  | $3.01 \times 10^3$ y | NaCl                            | $1 \times 10^2$        | $4 \times 10^{-6}$        | 液シン      |
| I-125  | 60.1d                | NaI                             | $3 \times 10^2$        | $3 \times 10^{-7}$        | Ge半導体    |
| Cs-137 | 30.0y                | Cs in 0.1M-HCl                  | $2 \times 10^3$        | $3 \times 10^{-7}$        | Ge半導体    |
| Th-228 | 1.91y                | Th in 2M-HCl                    | $2 \times 10^2$        | -                         | 液シン      |
| Am-241 | 432.2y               | Am in 1M-HNO <sub>3</sub>       | 0.1 ~ 0.9              | -                         | スペクトロメータ |

### 凝灰岩及びセメント系材料(OPC)に対する核種の溶解度 限外3過後の結果

Th



方法:過飽和法

液相: OPC浸出液、凝灰岩浸出液  
(浸漬液: 蒸留水、3M NaNO<sub>3</sub>溶液)

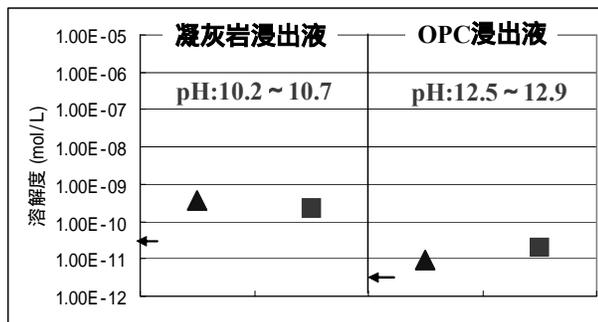
温度: 室温

浸漬期間: 28 ~ 39日間

雰囲気: 不活性ガス雰囲気

繰返し数: 3

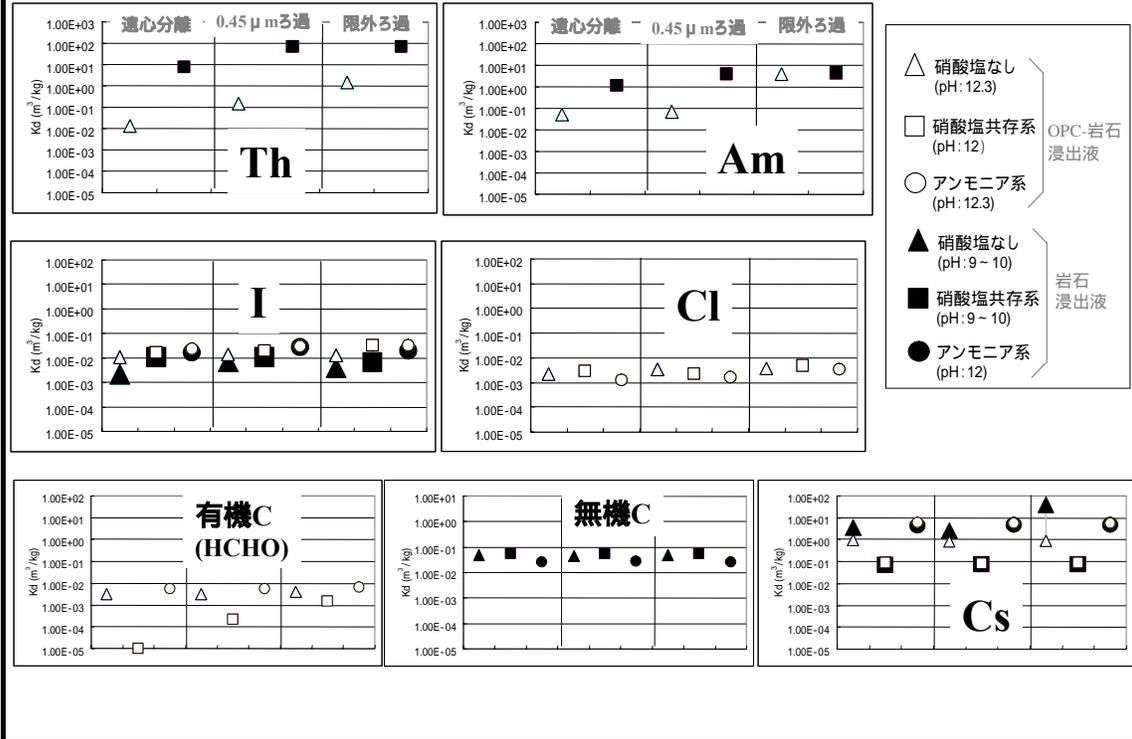
Am



▲ 硝酸塩なし

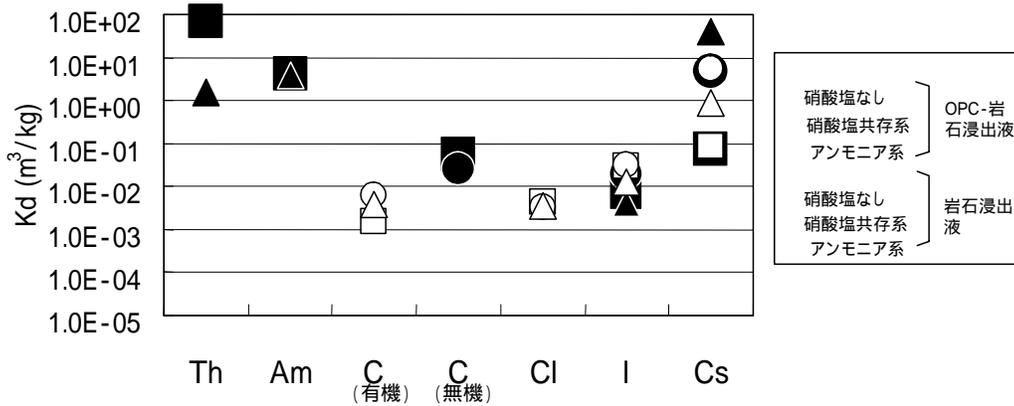
■ 硝酸塩共存系

### 凝灰岩に対する核種の分配係数(1)

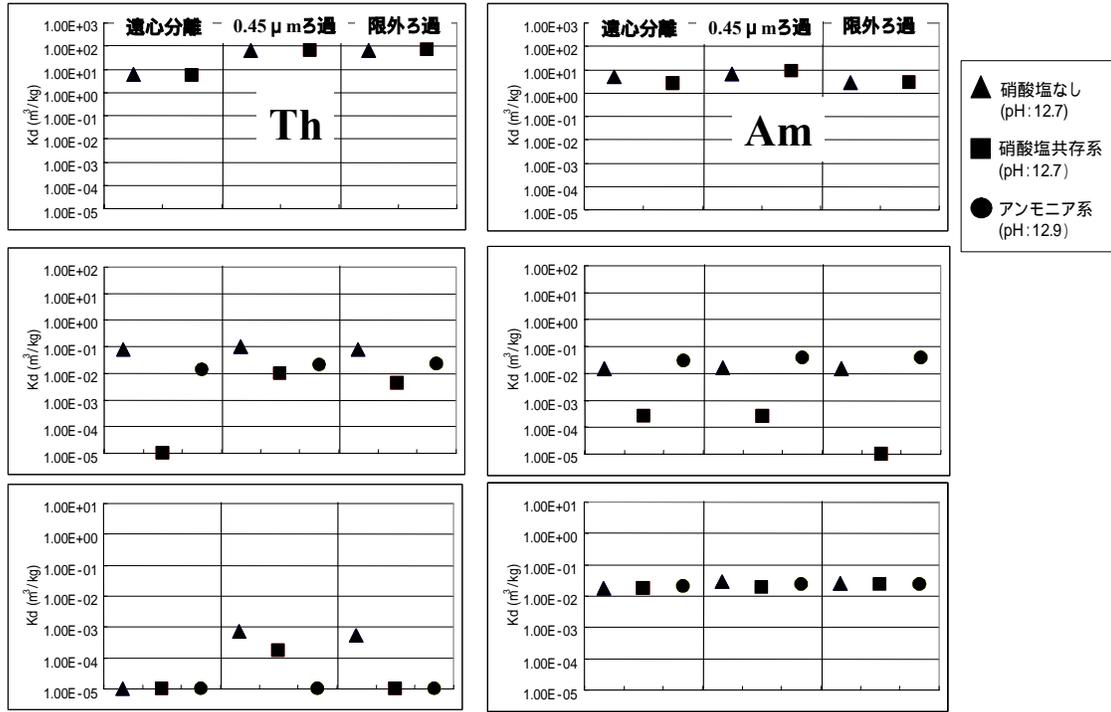


### 凝灰岩に対する核種の分配係数(2)

限外ろ過後のデータの平均値

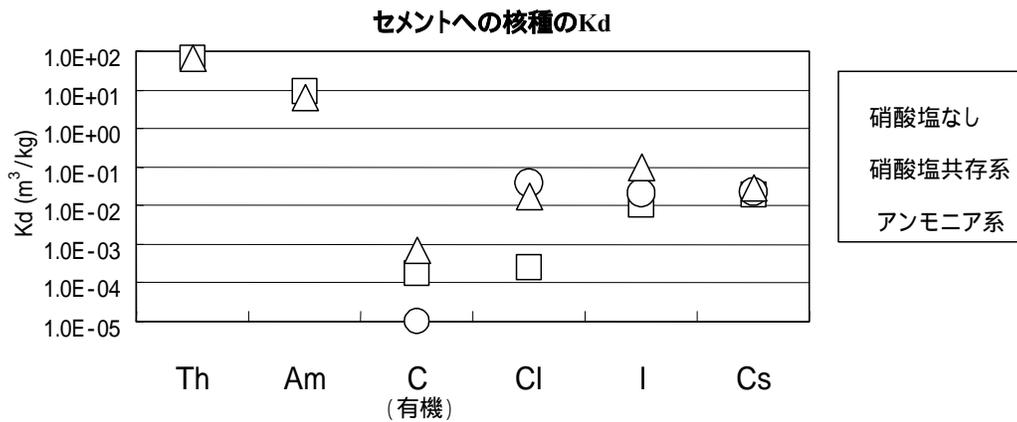


## セメント系材料(OPC)に対する核種の分配係数(1)



## セメント系材料(OPC)に対する核種の分配係数(2)

0.45 μmろ過後のデータの平均値



## まとめ

- ・セメント系材料や凝灰岩へのアクチニド元素及び可溶性元素の収着に及ぼす硝酸塩等の影響を調べた。
- ・有機Cを除いて、アンモニア系のKd、NaNO<sub>3</sub>系のKdなので、硝酸塩起源の化学種の影響はNaNO<sub>3</sub>を考慮すれば保守的といえる。
- ・凝灰岩に対するCs、及びOPCに対する有機C、Cl、Iの収着については、硝酸塩により有意なKdの低下が認められた。
- ・上記以外の条件では硝酸塩による有意なKdの低下は認められなかった。

## 収着試験結果のまとめ

### 硝酸ナトリウムのKd低下への影響

| 元素         | 固相 | 凝灰岩     |         | セメント系材料<br>(OPC) |
|------------|----|---------|---------|------------------|
|            |    | 弱アルカリ条件 | 強アルカリ条件 |                  |
| Th         |    | なし      | -       | なし               |
| Am         |    | なし      | -       | なし               |
| 有機C (HCHO) |    | -       | 小       | あり               |
| 無機C        |    | なし      | -       | -                |
| Cl         |    | -       | なし      | あり               |
| I          |    | なし      | なし      | あり               |
| Cs         |    | あり      | あり      | なし               |

5. RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設の概念設計

(発表者) 処分研究部 処分材料研究グループ  
船橋 英之

平成15年度低レベル放射性廃棄物処分研究成果報告会

## RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設 の概念設計

平成16年4月9日

東海事業所 エントリー4F大会議室

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  
船橋 英之

## 研究の目的

RI・研究所等廃棄物処分施設候補地選定のための技術的支援

平成13年度より日本原子力研究所(原研)と共同研究にて実施

浅地中処分施設(簡易型,ピット型施設)の概念設計・評価は原研が担当

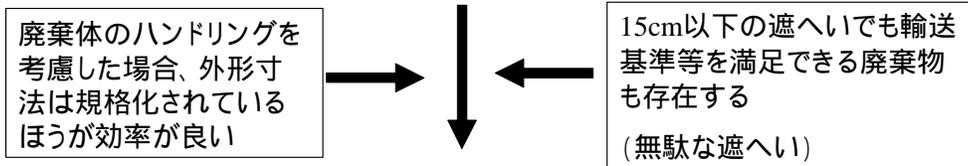
余裕深度処分型施設の概念設計・評価はサイクル機構が担当

## H15年度の研究目標

- 廃棄体特性を最新の知見に基づき見直す
- 遮へい計算に基づき、廃棄体放射能濃度別に、廃棄体容器仕様を最適化
- 埋施設設形態の最適化
- 経済性最適化
  - 処分コスト算定根拠の明確化
  - 他廃棄物との共処分時のコスト検討

## 廃棄体容器遮へい検討時の前提条件

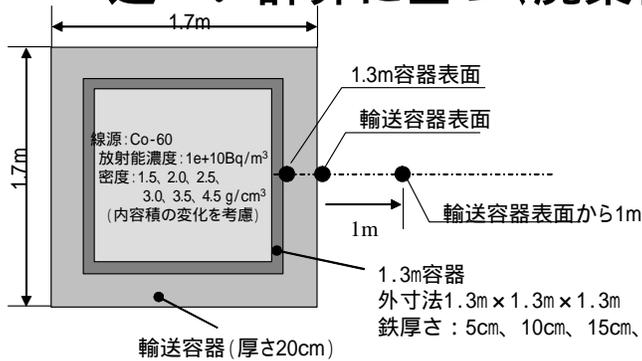
昨年度までは、一部の廃棄体を除き、内容積 $1\text{m}^3$ の角型鋼製容器(外形寸法 $1.3\text{m} \times 1.3\text{m} \times 1.3\text{m}$ 、遮へい厚さ $15\text{cm}$ )に一律に収納するものとした。



- 輸送容器の遮へいは $20\text{cm}$ で固定
- 角型の鋼製容器(外形寸法 $1.3\text{m} \times 1.3\text{m} \times 1.3\text{m}$ )
- 遮へい厚さ $5\text{cm} \sim 15\text{cm}$ で $5\text{cm}$ 間隔( $5, 10, 15\text{cm}$ )の3種類

**輸送容器を含めた遮へいにより輸送基準を満足できるように容器遮へい厚さを最適化する**

## 遮へい計算に基づく廃棄体発生数量算出



前提条件に基づき遮へい計算を実施する。



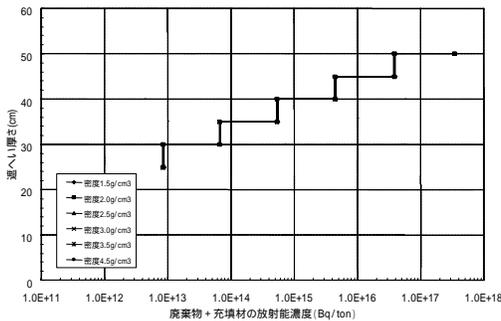
遮へい厚さごとの収納可能放射能濃度を算出する。



廃棄物種類ごとに必要となる遮へい厚さを決定。



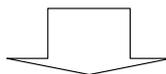
遮へい厚さに応じた容器内容積より、容器発生数量を算出。



## 廃棄体発生量の評価

### 遮へい計算結果に基づく角型容器廃棄体発生量評価結果

| 廃棄体容器必要しゃへい厚さ (cm) | 廃棄体容器内容積 (m <sup>3</sup> ) | 廃棄体容器空重量 (ton) | 廃棄体発生数量 (体) | 内容積1m <sup>3</sup> の場合の廃棄体発生数量 (体) |
|--------------------|----------------------------|----------------|-------------|------------------------------------|
| 5                  | 1.73                       | 3.7            | 823         | 1,422                              |
| 10                 | 1.33                       | 6.8            | 727         | 968                                |
| 15                 | 1.00                       | 9.3            | 785         | 785                                |
| >15                | <1.00                      | >11.5          | 6           | (6)                                |
|                    |                            | 合計             | 2,341       | 3,181                              |

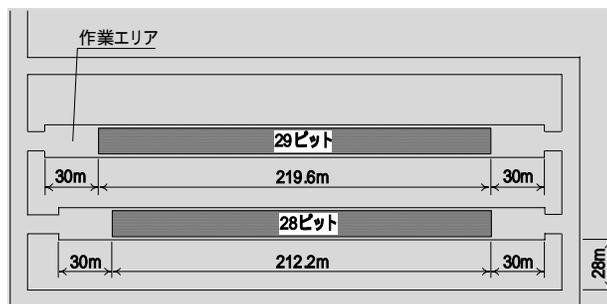


全てを内容積1m<sup>3</sup>の容器に収納(3,181容器)するのに比べて、遮へい計算結果に基づく最適化を実施した場合(2,341容器)、約3割以上廃棄体発生量が減少する。



## 廃棄体処分施設の検討(2)

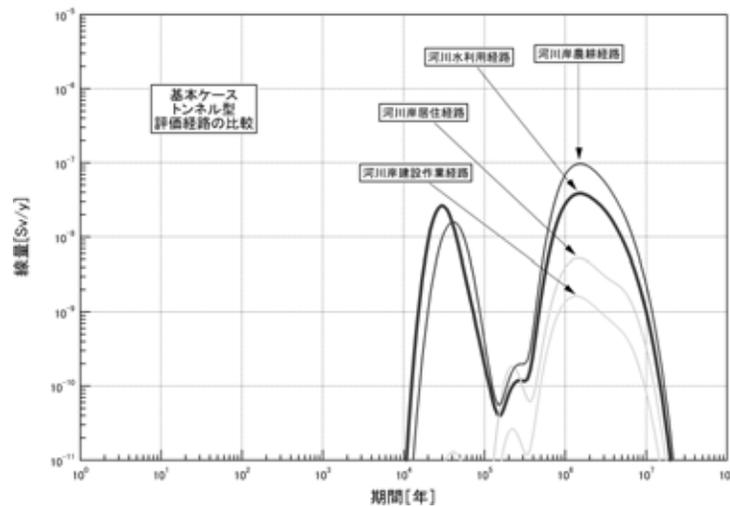
- ・ 海外事例等を参考に1本のトンネル長を300m以下に設定。
- ・ トンネル両端に作業エリアとして30mを設定。
- ・ 1.3m容器廃棄体とラックの発生量は合計で2,729体である。1区画あたり48廃棄体収納するため合計57区画の区画が必要となる。
- ・ トンネル1本だと400m以上になるので、2本のトンネルに分ける。
- ・ トンネル離間距離に関しては、空洞の安定性の観点から、類似の地下空洞施設に関する指針・基準を参考に28mに設定する。



## 評価経路検討(1)

- ・ 「低レベル放射性廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について(第3次中間報告)」における地下水シナリオの評価経路は以下の4経路であった。
  - 「河川水利用経路」
  - 「河川岸建設作業経路」
  - 「河川岸居住経路」
  - 「河川岸農耕経路」
- ・ 平成14年度の検討において、被ばく線量への寄与が比較的高いと考えられる核種については、「河川水利用経路」と同じ傾向を示すことが確認されていることから、「河川水利用経路」のみを代表経路として評価。
- ・ 「河川水利用経路」が代表的な評価経路であることを確認するため、代表的なケースで上記4つの評価経路の評価を行い、評価結果を比較する。

## 評価経路検討(2)



今回の評価では「河川岸農耕経路」の線量が最も高い値を示したものの、「河川水利用経路」と同程度であり、線量への寄与が高いと考えられる核種も同じ傾向を示すことから、「河川水利用経路」を主な評価経路としたことは妥当と考えられる。

## 経済性検討の前提条件(基本ケース)

埋設費用算定のため、以下の項目に関して費用算定を実施した。

- 埋設施設建設費用
  - － 建設費の積算は、「国土交通省 土木工事積算基準 平成15年度版」、「建設物価 平成16年1月号」等に基づき積算。
  - － 積算項目としては、トンネル構築工事、コンクリートピット構築工事、ベントナイト設置工事、充てん材充てん工事、埋め戻し工事、その他工事(残土処分、仮設工事、仮設経費、現場経費、一般管理費等)
- 受入検査施設等の建設費
  - － 廃棄体ハンドリング設備、その他設備(充てん材充てん設備、排水処理設備等)、地上設備として、受入検査建屋、構内輸送車両保管庫、建屋内設備
- 操業費の積算
  - － 積算対象として、施設の維持修費、操業に係る人件費
- 閉鎖費の積算
  - － 処分事業の最終段階においては、構築された施設・設備は解体・撤去される計画である。ここでは、類似施設の経済性評価例を参考に、閉鎖に必要な費用を地下設備と受入施設の建設費の10%とする。

## 経済性検討結果(基本ケース)

| 項目    |      |                    | 単位 | 数量     | 金額(百万円)       |
|-------|------|--------------------|----|--------|---------------|
| 建設費   | 処分施設 | トンネル建設工事           | 式  | 1      | 5,159         |
|       |      | ピット構築工事            | 式  | 1      | 795           |
|       |      | ベントナイト設置工事         | 式  | 1      | 8,790         |
|       |      | 充てん材充てん工事          | 式  | 1      | 195           |
|       |      | 埋め戻し工事             | 式  | 1      | 1,494         |
|       |      | 仮設工事及び仮設経費         | 式  | 1      | 10,262        |
|       |      | 地下設備               | 式  | 1      | 4,800         |
|       |      | 小計                 |    |        | 31,495        |
|       | 受入施設 | 受入建屋               | 式  | 1      | 15,500        |
|       |      | 構内輸送車両保管庫          | 式  | 1      | 100           |
|       |      | 建屋内設備              | 式  | 1      | 13,500        |
| 小計    |      |                    |    | 29,100 |               |
| 建設費合計 |      |                    |    | 60,595 |               |
| 操業費   | 維持修理 | (30年×339百万円/年)     | 式  | 1      | 10,170        |
|       | 人件費  | (1170年・人×6.4百万円/年) | 式  | 1      | 7,488         |
|       | 小計   |                    |    | 17,658 |               |
| 閉鎖費   | 解体撤去 |                    | 式  | 1      | 3,400         |
| 合計    |      |                    |    |        | <b>81,653</b> |

技術開発費、調査費、地域振興、地域共生費許認可費、土地取得費、ユーティリティー費、モニタリング費、その他(核燃料物質等取扱税、廃棄確認費、保険料、固定資産税、消費税等)などの費用は含まない

## 経済性検討の最適化 (オプションケースの検討)

| 検討ケース   | 説明                       |                                       | 対象廃棄物  | 緩衝材厚さ(m) | 処分空洞スパン(m) |
|---------|--------------------------|---------------------------------------|--|----------|------------|
| 基本ケース   |                          | RI・研究所等廃棄物のみを対象とする基本的検討。              | RI・研究所等廃棄物*1<br>(総廃棄物量: 3,490m <sup>3</sup> )            | 2m       | 約18m       |
| オプション-1 | 廃棄物発生量変動ケース              | JNC東海から発生するTRU廃棄物との共処分。               | 基本ケース + JNC再処理系廃棄物*2<br>(総廃棄物量: 12,269m <sup>3</sup> )   |          |            |
| オプション-2 |                          | JNC東海から発生するTRU廃棄物及びウラン廃棄物との共処分。       | オプション-1 + JNCのウラン廃棄物*3<br>(総廃棄物量: 15,503m <sup>3</sup> ) |          |            |
| オプション-3 | 緩衝材の厚さ減少ケース<br>(2m → 1m) | 緩衝材の厚さ減らし、その処分坑道を小さくする。               | RI・研究所等廃棄物*1<br>(総廃棄物量: 3,490m <sup>3</sup> )            | 1m       | 約17m       |
| オプション-4 |                          | 緩衝材を減らし、その分1区画の廃棄体収納数を増やし、収納効率を上げた場合。 |  |          | 約18m       |

\*1: 核燃料サイクル開発機構(東海再処理、Pu施設から発生する廃棄物及びU廃棄物除く)、日本原子力研究所、東京大学、京都大学、日本核燃料開発株、日本ニュークリア・デベロップメント(株)、日立エンジニアリング(株)、(株)東芝を起源とするRI・研究所等廃棄物の余裕深度処分相当の廃棄物

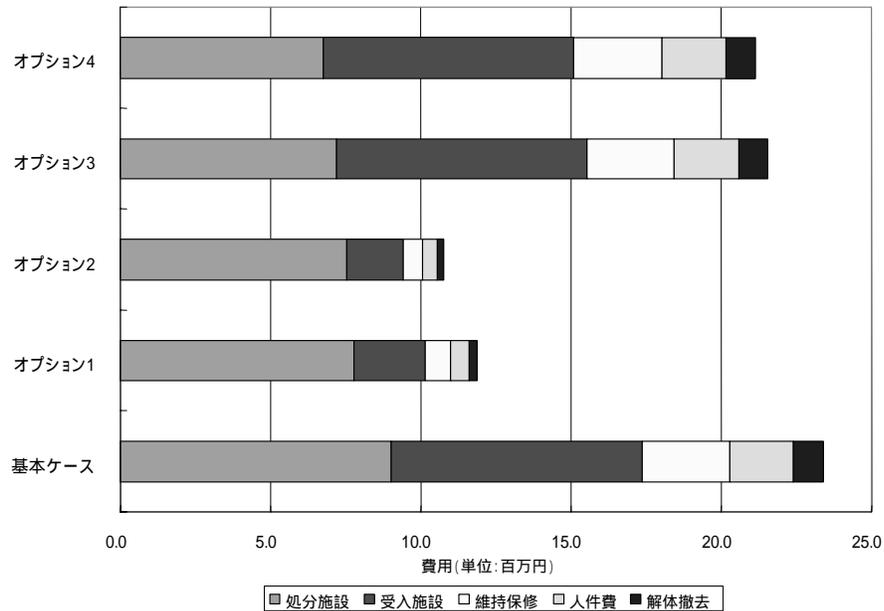
\*2: JNC東海事業所の再処理工場、MOX施設、CPFの余裕深度処分相当の廃棄物

\*3: JNC東海事業所のウラン系廃棄物と人形峠の余裕深度処分相当の廃棄物

## 単位体積 (m<sup>3</sup>) あたり処分単価の比較

| ケース名   | 総額(億円) | 廃棄物1m <sup>3</sup> 当たりコスト(万円) |
|--|--------|-------------------------------|
| 基本ケース<br>(廃棄物量約3,490m <sup>3</sup> )         | 817    | 2,340                         |
| オプションケース - 1<br>(廃棄物量約12,269m <sup>3</sup> ) | 1,456  | 1,187                         |
| オプションケース - 2<br>(廃棄物量約15,503m <sup>3</sup> ) | 1,669  | 1,077                         |
| オプションケース - 3<br>(廃棄物量約3,490m <sup>3</sup> )  | 752    | 2,155                         |
| オプションケース - 4<br>(廃棄物量約3,490m <sup>3</sup> )  | 738    | 2,114                         |

## 単位体積 (m<sup>3</sup>) あたり処分単価内訳の比較



## まとめ(今後の課題)

- 廃棄体特性
  - 対象となる廃棄物の明確化(特にJNCのTRU廃棄物との関連)
  - 廃棄体情報の精度向上(設定根拠の明確化、安全評価上問題となる含有物質の調査等)
- 施設形態の最適化
  - 本件等においては力学的構造解析実施しておらず、類似実績を参考に構造設計を実施しており、今後処分候補地の地質学的条件が明確になった時点で詳細な検討が必要になる。
- 処分成立性
  - 処分場の地質的条件、対象廃棄体を考慮した解析方法の検討
  - 人間接近シナリオの取扱い(評価すべきシナリオ、線量目標の設定)
- 経済性最適化
  - 処分場規模がコストに及ぼす影響を考慮し、TRU廃棄物やウラン廃棄物との共処分に関する検討

## 6. 質疑応答

### 6.1 概要紹介

(質問) RI・研究所等廃棄物, TRU 廃棄物の定義は何か?

(回答) 現時点では, 明確な区分はなく, 今後, 規制による濃度上限値が決まれば, それに応じて, 区分が明確になるものと思われる。RI・研究所等廃棄物に関する検討についても RANDEC と協力して進めている。

### 6.2 包括的感度解析手法を用いた TRU 廃棄物処分の成立性に関する検討

(質問) 天然バリア長さとは何か?

(回答) 人工バリア出口から断層・破砕帯までの距離である。

(質問) スキャッタープロット (OHP p.6, 8, 10, 11) の横軸 [出現時刻] の意味は何か?

(回答) 被ばく線量の時間変化の最大の線量となる時刻である。

(質問) 今後サイトが決定されたら, どのような評価がなされるのか?

(回答) サイトが決定されることにより決定されるパラメータ範囲を固定し, 目標線量を下回るための他のパラメータによる成立条件を探す。パラメータとしては, 例えば核種の浸出率やベントナイト厚が考えられる。

(質問) 検証の意味は何か?

(回答) シャドウモデルで用いられている解析コードと, 既存の(検証済み)コードである TIGER とで, それぞれ同じパラメータ設定で解析し, 同じ解析結果が得られたことを確認した。

(質問) 生物圏のシナリオには, 食物を通じて摂取する, 直接被ばくする等のシナリオがあるが, ここでは被ばくモデルとして何を用いているのか?

(回答) TRU 処分概念検討書に用いられた, 河川水利用シナリオの線量換算係数を用いて評価している。線量換算係数は, 線量の計算結果に対して, 感度として一番大きいパラメータの一つと考えている。

(質問) 廃銀吸着材について, 核種浸出率は有効なパラメータか?

(回答) 地質環境(透水性)に大きく依存するが, 浸出率が 1,000 年以上であれば, 効果がある。

(質問) アスファルト固化体は浸出率が大きい, 何に注目して処分すべきか?

(回答) 今回の解析はグループ 1 に注目したものであり, アスファルト固化体の I の量は全体の 2% 程度に過ぎない。それを踏まえて安全性を考慮すべきである。パラメータとしては, 浸出率以外の母岩の透水係数や人工バリアの仕様といった点について, (同様の手法を適用し) 有効なパラメータの範囲を明らかにしていきたいと考える。

### 6.3 TRU 廃棄物処分における硝酸塩の影響に関する研究

#### (1) 金属腐食による硝酸イオンの化学的変遷

(質問) この評価では, どのような状況を想定しているのか? HLW との併置を想定して, 炭素鋼との相互作用なのか?

(回答) TRU 廃棄物処分における廃棄体中の鉄成分(ドラム缶)と硝酸塩の影響によるアンモニアの発生の可能性を評価している。また, HLW との併置を想定しても同様に表現できると考

えている。

(質問) 水素ガスの発生機構は pH で異なるが、ここではどうか？試験で用いたアンブルの中はどうか？

(回答) 本試験では、処分環境と同様の還元性雰囲気での還元性腐食による水素ガス発生である。アンブルの中は、還元性雰囲気である。

(質問) 試験期間は 200 日程度であり、これにより作られたモデルを長期の評価に用いることはできるのか？

(回答) 長期的には、鉄の不動態化により、アンモニアの発生量は低下するものと予想している。現時点の評価は、保守的上限を与えるものと考えており、長期評価は、これらの結果からある一定の速度を仮定することにより可能である。

#### (2) 普通ポルトランドセメント硬化体の水理・力学特性に及ぼすアンモニアの影響

(質問) 結論としては、アンモニアのセメントに対する影響はない、ということか？CaO 溶脱(OHP p.9) は、何に起因するのか？

(回答) EPMA 装置の測定誤差(最大 5%程度)を考慮した上で、Ca の溶出フロントを比較すると、脱イオン水の場合より溶脱は促進されているが、アンモニアを含んでいても硝酸ナトリウム水溶液単独の場合と大きな差はないものと判断される。Ca の溶脱促進は、イオン強度の上昇によるものと考えられる。

#### (3) セメント系材料の環境下における $\text{NaNO}_3$ の圧縮成型ベントナイトの水理特性に及ぼす影響

(質問) なぜ、硝酸塩影響によりベントナイトの透水性が上昇するのか？

(回答) イオン強度が上昇することにより、ベントナイト中の粒子等が凝集する効果によるものと推測している。

#### (4) 硝酸ナトリウムの影響を考慮した核種移行パラメータ

(質問)  $\text{NH}_4^+$ は、pH10 程度で現れる。 $\text{NH}_4^+$ の競合による収着への影響はないのか？

(回答) 収着がイオン交換によるものであれば、影響の可能性はある。今後、アンモニアの影響についても詳細に検討していきたいと考えている。

(質問) 処分の環境条件は、ある程度の範囲をもつ。試験は 1 点のみの評価であり、この結果を一般的な環境でのものとして使用することは可能なのか？

(回答) まず、保守的な条件として試験を行った。この結果を用いた性能評価を行い、その影響の程度を判断し、それに応じて、試験計画や性能評価への反映のイタレーションを考えていく。

### 6.4 RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設の概念設計

(質問) 合理化のためには、どんなパラメータが効くのか？今後、コスト低減のために何をするのか？

(回答) 受け入れ施設については能力に余裕があるため、他の廃棄物と共処分することがよい。ここでは JNC 及び原研から発生する廃棄物単独での施設を考えているが、ALL JAPAN で考

える方向性がよいと考えている

(質問) 廃棄体 1m<sup>3</sup>あたりの処分単価での比較ではなく、処分費用の総額が安い方が良いのではないか？

(回答) ALL JAPAN で考えるなら、単価が安い方が良いだろう。検討の目的により、どちらが良いか判断すべきである。

(質問) 2 法人統合の準備会議や新法人の廃棄物管理計画表での費用試算では、発電所廃棄物の余裕深度処分の単価 (1,500 万円 / m<sup>3</sup>) を用いている。今回の単価の方が安いですが、この単価を (今後の計画に) 使用してよいのか？

(回答) ここでは、基本ケースからの変動要因として物量の増減のみが考慮されているに過ぎない。また、ここには含まれていない多くの費目があり、スライドにも示されていたように単価算出の前提条件が異なると思われるため、直接比較することに対しては疑問がある。

(質問) ベントナイトの値段の根拠は何か。砂との混合割合や、国産のクニゲル V1 を使用するかといったことで大きく変わりうるのではないか？

(回答) 詳細 (文書) を確認してみないと分からない。

(質問) ここで挙げられた課題に対してはどのように取り組んでいく予定か。

(回答) 処分の成立性及び一応のコスト算出の試算が終わったことから、本件はクローズする。今後、情報が増えた時点でまた実施することになる。

## 6.5 その他

(宮本部長) 双方向の情報交換として、硝酸塩についてより多くの時間が割かれることを期待していた。再処理センターでは、硝酸塩影響について興味を持っているものと推測する。処分研究部では TRU 廃棄物に関するレポートの取りまとめを進めており、硝酸塩影響に関する一定の見解を出している。今年度の成果報告についてご理解いただいた点は有意義であったので、今後は、硝酸塩について、成果全体についてどういう判断ができるのか、再処理側としてどんな決断をしていくか、別途、再処理センター側と会合を持つ機会を考えている。

## 7. おわりに

コミュニケーションについては、もっと積極的に行っていく必要がある。処分研究部の中でも、高レベルは地下研究所の方にどんどん引っ張られている。TRUは次期取りまとめのレポートに向けた対応があり、コミュニケーションが不足気味なのが現状である。他のセンターとのコミュニケーションはおそらくもっと不足しているのではないか。この点は、我々よりも若い職員が自らの責任として捉えて取り組んでいただきたい。

本日は技術的に難しい発表もあり色々質問もさせていただいたが、処分の安全確保が重要なのももちろん、処分費用も税金であってコストを下げていくことも重要である。安全確保を含めた検討のキーとなるのは、発生者側でのガラス固化体を含めた廃棄体に関する情報であり、今後、再処理・貯蔵側と、コストを含めてコミュニケーションを密にしていくことが重要である。これは我々がしっかり取り組んでいかなければ誰も助けてくれない問題である。処分研究部の内部も含めて、よりよいコミュニケーションを図り、国民に迷惑をかけないように努力していく必要がある。

皆さん、今日はお忙しい中ご苦労様でございます。どうもありがとうございます。