

平成8年度安全研究成果（調査票）

—放射性廃棄物安全研究年次計画（平成8年度～平成12年度）—

| 技 術 資 料   |               |        |
|---|---------------|--------|
| 開示区分  | レポート No.      | 受領日    |
| 丁   | N1410 97-0427 | .12 08 |
| この資料は技術管理室保存資料です<br>閲覧には技術資料閲覧票が必要です<br>動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室 |               |        |

1997年11月

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear  
Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku,  
Tokyo 107, Japan

©1997 動力炉・核燃料開発事業団

(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1997年11月

平成 8 年度 安全研究成果（調査票）  
－放射性廃棄物安全研究年次計画（平成 8 年度～平成12年度）－

報告者部課室 リスト参照

編 集 安全部安全研究課

要 旨

平成 9 年10月 9 日の科学技術庁原子力安全局放射性廃棄物規制室からの協力依頼に基づき、放射性廃棄物安全研究年次計画（平成 8 年度～平成12年度）に登録された研究課題（20件）について平成 8 年度安全研究成果の調査票を作成した。

本報告書は、国に提出した調査票を取りまとめたものである。

## 目 次

|  |                 |    |
|--|-----------------|----|
| 2.-(1) 安全に関する基本的考え方と安全評価の考え方等<br>に関する研究        | 本社・環境本部         | 1  |
| 2.-(2) 安全評価シナリオに関する研究                          | 東海・A I S        | 3  |
| 2.-(3) 地質環境の長期安定性に関する研究                        | 東濃・安定性室         | 6  |
| 2.-(4) 人工バリア要素の安全性に関する研究                       | 東海・G I S        | 10 |
| 2.-(5) 人工バリア中核種移行評価に係るデータベースの<br>整備            | 東海・G I S        | 13 |
| 2.-(6) 人工バリアのナチュラルアナログ研究                       | 東海・G I S        | 16 |
| 2.-(8) 人工バリア等の構造安定性に関する研究                      | 東海・G I S        | 19 |
| 2.-(9) 人工バリアの長期物理的安定性に関する研究                    | 東海・G I S        | 22 |
| 2.-(11) 地下水流動モデルの確立に関する研究                      | 東濃・環境室          | 25 |
| 2.-(12) 地下水の地球化学特性に関する研究                       | 東濃・環境室          | 29 |
| 2.-(13) 天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究                | 東海・G I S        | 33 |
| 2.-(14) 天然バリアのナチュラルアナログ研究                      | 東濃・環境室          | 37 |
| 2.-(15) 地質環境の適性評価手法に関する研究                      | 東濃・環境室          | 40 |
| 2.-(16) 地震動が地質環境特性に与える影響に関する研究                 | 東濃・安定性室         | 42 |
| 2.-(18) 人工バリアとその周辺岩盤との相互作用に関する<br>研究           | 東濃・環境室、東海・G I S | 45 |
| 2.-(20) 放射性廃棄物処分における微生物影響調査                    | 東海・A I S        | 50 |
| 2.-(21) 地層処分システムの総合安全評価手法に関する研究                | 東海・A I S        | 54 |
| 2.-(22) 地層処分システムの確率論的評価手法に関する研究                | 東海・A I S        | 57 |
| 2.-(23) 安全評価に用いる解析手法・モデル・データの品<br>質保証に関する研究    | 東海・A I S        | 59 |
| 2.-(27) T R U廃棄物処分に関する核種移行評価モデル及<br>びデータベースの整備 | 東海・A I S        | 63 |

|  |  |                             |   |                          |                       |
|--|--|-----------------------------|---|--------------------------|-----------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 安全に関する基本的考え方と安全評価の考え方等に関する研究   |                             |   |                          | 分類番号<br>「地」2. - (1) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 安全に関する基本的考え方と安全評価の考え方等に関する研究<br>(Study on Safety Principles and Basic Approach of Safety Assessment for High Level Radioactive Wastes) |                             |   |                          |                       |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)   |                             |   |                          |                       |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 梅木 博之、 宮原 要<br>本社 環境技術開発推進本部<br>(Hiroyuki UMEKI, Kaname MIYAHARA/ Radioactive Waste Management Project, Head office)                   |                             |   |                          |                       |
| キーワード<br>Key Word  | サイト選定<br>site selection  | 処分場の設計<br>repository design | 評価期間<br>timeframe                           | 安全指標<br>safety indicator | シナリオ<br>scenario      |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成11年度まで<br>継続見込   |                             | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関                  | 該当せず                     |                       |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず   |                             | 関連する特別会計<br>実証試験                            | 該当せず                     |                       |
| 【成果の達成レベル】<br>イ. 地層処分の安全確保の要件をサイト選定、処分場の設計、安全評価の枠組みの3つに分けて明らかにした。<br>ロ. イ. の安全確保の要件を取扱う上での課題とその対処法について整理できた。<br>ハ. ロ. の課題の対処法について科学的・技術的な検討により対処できるものと、規制側の判断を含めて解決していくべきものに分類でき、所期の成果を得た。 |  |                             |   |                          |                       |
| 【進捗状況(平成8年度)】<br>イ. 安全評価において安全確保の要件を取扱う上での課題を抽出した。<br>ロ. イ. の課題の対処法について整理した。<br>ハ. ロ. の整理を踏まえ、技術的に対処可能な課題と、技術的な検討に加え規制側の判断を要する課題に分類できた。  |  |                             |   |                          |                       |
| 【使用主要施設】<br>該当なし   |  |                             |   |                          |                       |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                             | [所 属] 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>[氏 名] 主幹 梅木 博之 |                          |                       |

## 【研究目的】

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する考え方について調査・研究するとともに、安全評価、基準・指針等に係わる基本的考え方の研究並びにそれらの設定手順、設定方法等に関する検討を行い、安全基準・指針等の策定に資する。

## 【研究内容】

IAEA等の国際機関や各国の安全に関する考え方、規制基準等の動向を調査するとともに、安全研究の成果に基づき、我が国の状況を踏まえて高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する基本的考え方を検討する。また、これらの考え方に基づき、地層処分の安全評価、基準・指針等に係わる基本的考え方及びその設定手順、設定方法等の検討を行う。このため、以下の研究を行う。

- イ. 地層処分の安全性に係わる基本的考え方に関する研究  
将来世代への負担、将来世代への影響、国境外への影響の他、モニタリングや標識、記録等の制度的管理、再取り出し等。
- ロ. 地層処分の安全評価、基準・指針等に係わる基本的考え方に関する研究  
安全評価の対象となる事象、安全評価シナリオ、評価尺度、評価期間、サイト要件等。
- ハ. 安全評価、基準・指針等の設定手順、設定方法等の検討

## 【研究成果】

研究のアプローチとして上記「研究内容」の各項目について個々に検討するのではなく、各項目を検討する上での基本的な考え方となる我が国における地層処分の安全確保の考え方に関する体系的な整理を行うこととした。

我が国における地層処分の安全確保の考え方は、長期にわたって高レベル放射性廃棄物による影響が人間の生活環境に及ばないようにするために、適切な地質環境（探査可能な天然資源が存在せず、かつ火山活動や地殻変動等の天然現象の影響が小さい安定な地域や岩盤）を選定した上で、そこに多重バリアシステム（ガラス固化した廃棄物に人工的な安全対策を施した人工バリアの安全防護機能と地質環境が備える隔離性・包蔵性を組み合わせた多層の防護システム）を構築することに基づいている。

安全性は以下の3つの手段を組み合わせ、それぞれに求められる要件を満たすことによって確保される。

- ①サイト選定
  - 接近シナリオ（高レベル放射性廃棄物と人間との距離の接近により人間に影響が及ぶ可能性を生ずるシナリオ）を避ける。
  - 人工バリアシステムが設計で期待される機能を発揮し得る地質環境条件を与える。
- ②処分場の設計
  - 人工バリアシステム・処分施設における初期の欠陥がないようにする。
  - サイト選定により与えられた地質環境条件の下で人工バリアシステムが機能を発揮し得る処分場の設計条件を与える。
- ③安全評価の枠組み
  - 地層処分システムの性能に関する要件は、システム全体の安全性について示されるものであり、個々のバリアや処分場の置かれる基盤岩の特徴に焦点をあてる場合は補完的なものとするべきである。

地層処分研究開発の第1次技術報告書[1] やそれ以降の研究成果をふまえ、上記要件を取り扱う上での課題とその対処法について以下のように整理した。

- ①サイト選定
  - 接近シナリオとして避けるべき現象・事象は何か。⇒火山/火成活動、断層活動、著しい隆起・侵食といった天然現象と人間侵入。
  - どのように上記現象・事象は避け得るか。⇒天然現象の地域性、活動範囲の移動や地殻変動の規則性に関する過去の地質学的記録に基づく将来の活動の類推。人間が探査する可能性のある天然資源の存在する地域のマッピング。
  - 人工バリアシステムの機能を発揮させるためにどのような地質環境条件が必要か。⇒好ましい地下水化学（還元条件等）、低い地下水流束、岩盤の力学的安定性。
- ②処分場の設計
  - どのように人工バリア・処分施設の初期・欠陥を防止できるか。⇒品質保証/品質管理体系の整備。人工バリアシステムの製作・施工、処分場の建設・閉鎖、モニタリング。
  - 人工バリアの機能を発揮するためにどのように処分場を設計すべきか。⇒オーバーバックが水とふれるのを防ぐ。人工バリア内で地下水の流れを遅くする。ベントナイトの変質を避けるため、処分場の温度を100℃未満とする。オーバーバックは少なくとも1000年間健全性を維持する。ベントナイトがコロイドバリア機能をもつ。
- ③安全評価の枠組み
  - 安全性の評価期間はいつまでとするか。⇒地質環境の長期安定性、高レベル放射性廃棄物の潜在的毒性、将来の人間環境と人間の生活様式の変化に伴う不確実性などより、総合的に検討。
  - 安全性の主な評価指標は何か。⇒線量/リスクとし、時間に伴う不確実性に影響され難い補完的な安全指標について検討。
  - 防護目標をどのレベルに設定するか。⇒国際的な考え方の導入。天然の放射線との比較。
  - 安全評価シナリオをどのように抽出するか/シナリオの網羅性をどのように判断するか。⇒システムの理解、専門家の判断、国際比較に基づく。
  - どのようにシナリオを評価するか。⇒シミュレートする方法と定式化（スタイライズ）する方法。後者は、様々な可能性の中から合理的な安全評価が行えるようにシナリオを設定するものであり、将来の人間活動が及ぼす処分システム性能への影響や、地層処分が及ぼす将来の人間環境における放射線学的影響を評価するシナリオがこれに該当する。
  - どのようにモデルやパラメータ値の妥当性を評価するか。⇒実験結果との比較、ナチュラルアナログとの比較に基づく。妥当性を判断するためのクライテリアの検討が必要。

上記の対処法のうち、評価期間、安全指標、定式化されたシナリオ、モデル・パラメータ値の妥当性評価のためのクライテリアについては、科学的・技術的な検討だけでは結論が得られない特徴を有しており、規制側の判断を含めて解決していくべき課題と考える。

以上の成果により、「研究内容」のイ.として、地層処分の安全確保の要件をサイト選定、処分場の設計、安全評価の枠組みの3つに分けて明らかにし、ロ.として、イ.の安全確保の要件を取り扱う上での課題とその対処法について整理でき、ハ.として、ロ.の課題の対処法について科学的・技術的な検討により対処できるものと、規制側の判断を含めて解決していくべきものに分れてきた。

## 【参考文献】

- [1] 動燃事業団(1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書—平成3年度一, PNC TN 1410 92-081

## 【公開資料】

- (1) Miyahara, K., Umeki, H., Masuda, S. (1997): Development of a Scientific and Technical Basis for Regulating Geological Disposal through Generic Assessment, Proceedings of OECD / NEA Workshop of Regulating the Long-Term Safety of Radioactive Waste Disposal (in preparation).

|  |   |                            |   |                       |
|--|---|----------------------------|---|-----------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 安全評価シナリオに関する研究  |                            |   | 分類番号<br>「地」2. - (2) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 安全評価シナリオに関する研究<br>(Study on Scenario Development for Safety Assessment of HLF Disposal System)  |                            |   |                       |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation: PNC)   |                            |   |                       |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 油井 三和 (Mikazu YUI)、菅野 毅 (Takeshi KANNO)、牧野 仁史 (Hitoshi MAKINO)、<br>谷口 直樹 (Naoki TANIGUCHI)<br>東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)<br>梅木 博之 (Hiroyuki UMEKI)、内藤 守正 (Morimasa NAITO)、宮原 要 (Kaname MIYAHARA)<br>本社 環境技術開発推進本部 (Radioactive Waste Management Project, Head Office) |                            |   |                       |
| キーワード<br>Key Word  | シナリオ<br>scenario  | 事象、プロセス、特性<br>FEP          | シミュレーション<br>simulation                    |                       |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込  | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | 該当せず                                      |                       |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず  | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず                                      |                       |
| 【成果の達成レベル】   |   |                            |   |                       |
| <p>1. 処分システムの安全性に影響を与える可能性のある事象、プロセス、特性及びそれらの因果関係の現段階の知見に基づく抽出・グルーピングを行い、シナリオの構成要素の整備について見通しを得た。</p> <p>2. 抽出・グルーピングされた事象、プロセス、特性の因果関係に基づく組み合わせを計算機上に展開するシステムの開発に着手し、プロトタイプを作成・試運用により地下水移行シナリオ設定のための有効な手法であることの見通しを得た。</p> <p>3. 想定される地下水移行シナリオを網羅的に解析評価するための感度解析手法及び火成活動などの天然事象に関するシナリオを定量的に解析するための手法の検討を行い、処分システムの長期挙動の予測への適用について見通しを得た。</p>   |   |                            |   |                       |
| 【進捗状況 (平成8年度)】   |   |                            |   |                       |
| <p>1. 処分システムの安全性に影響を与える可能性のある事象、プロセス、特性を、既存の知見・データを取り込みつつ抽出・グルーピングするとともに、それらの因果関係及び抽出やグルーピングの根拠等の補足的な情報のまとめを試行した。</p> <p>2. 抽出・グルーピングされた事象、プロセス、特性に係わる情報及びそれらの因果関係に係わる情報を入力することにより、事象、プロセス、特性の組み合わせをグラフィカルに表示しかつ関連情報を適切に管理する計算機システムの開発に着手し、そのプロトタイプシステムを作成した。</p> <p>3. 人工バリア中の核種移行挙動を網羅的に解析評価し、重要な要因の抽出と感度構造の明確化を行うための包括的な感度解析手法の要素開発を行い、試運用を通じて各要素の適用性を明らかにした。また、火成活動を例として天然事象に起因するシナリオを定量的に解析するための手法の開発とその手法に基づく具体的な解析を行うとともに、地震/断層活動等の天然事象に関するシナリオを対象として定量的な解析手法の検討を行った。</p> |   |                            |   |                       |
| 【使用主要施設】   |   |                            |   |                       |
| 地層処分基盤研究施設<br>環境技術開発推進本部   |   |                            |   |                       |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団   |                            | (所属) 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>(氏名) 主幹 梅木 博之 |                       |

## 【研究目的】

我が国の自然環境、社会環境等の諸条件を考慮して安全評価の対象とすべき評価シナリオの検討を行い、地層処分システムの長期的な安全性を評価することに資する。

## 【研究内容】

- 地層処分システムに係わる研究開発の進展に対応して、各段階における安全評価で対象とすべき評価シナリオを設定するため、以下の研究を行う。
- イ. 我が国の自然環境、社会環境、処分システム概念等を考慮するとともに最新の知見・データを取り込みつつ、処分システムの安全性に影響を与える可能性のある事象、プロセス、特性等を抽出・グルーピングし、相互の因果関係を明確にすることにより、シナリオの構成要素を整備する。
  - ロ. 抽出された事象、プロセス、特性を、その因果関係に基づき適切な手法・判断基準を用いて組み合わせることにより、基本ケースの変動を含めた地下水移行シナリオを設定する。
  - ハ. 設定されたシナリオに関して、処分システムの長期挙動を予測するための適切なシミュレーション手法の開発・整備を行う。

## 【研究成果】

- イ. 処分システムの安全性に影響を与える可能性のある事象(Events)、プロセス(Processes)、特性(Features) (以下「FEP」)を、地層処分システムを構成する場(ガラス固化体、オーバーバック、緩衝材、ニアフィールド母岩、ファーフールド母岩、生物圏)と特性・プロセス(場の特性、熱的現象、水理的現象、力学的現象、化学的現象、放射線学的現象、物質移動現象、システムの擾乱となる現象)を軸として、それぞれFEPの集合体としてグループ化し(階層FEPマトリクス:図1)、更に、必要に応じて下位のFEPを設けた。このような整理により、システム挙動の理解、網羅性のチェック、専門分野間のコミュニケーション、研究の進展による変更、が容易になると考える。また、緩衝材及びオーバーバックに係わる主要FEPについて、現在の知見・データに基づいて、①FEPに関する記述、②FEPに対するモデル化に関する記述、③それらの根拠となる文献リスト、④諸外国での取扱い、に関する情報(個別FEP情報)をFEP間の因果関係に関する情報を含めてまとめ、それらに関連する階層FEPマトリクス及び下位のFEPのそれぞれに付与した。
  - ロ. FEPの因果関係を視覚的に表現するインフルエンス・ダイアグラムの作成にあたっては、取り扱うFEPの数が膨大になることから、計算機による支援が不可欠であり、また、各FEPとそれらの因果関係に個別FEP情報を計算機上で関係付けることにより、相互の情報を効率的に引き出すことが可能になる。更に、個別FEP情報の変更履歴を計算機上で管理することにより、シナリオ設定に係わるプロセスを明確化することが可能になる。そこで、FEP及びその個別FEP情報を計算機上に展開するシステム(FEP情報データベースシステム)の開発に着手し、本年度整理した緩衝材とオーバーバックに係わるFEP及びその個別FEP情報を対象としたプロトタイプシステムを作成した。本プロトタイプシステムでは、複数のFEPレベルでインフルエンス・ダイアグラムを作成する機能が実現されている(図2)。本システムの開発を進めることにより、専門家を交えたFEP内容の議論及びその結果のシナリオ設定への反映が容易になると考える。
  - ハ. 人工バリア中の核種移行挙動について、入力と出力の感度構造を網羅的に調査するとともに、重要な因子をもれなく抽出するための感度解析手法として、汎用関数を用いて様々な現象を柔軟に取り込むことのできる解析モデルの開発・整備、統計的解析のためのプレ処理機能の開発及び解析結果の分析機能の開発を行った。特に、解析結果の分析機能として、局所線型回帰によるクラスター分析(類似した解析結果のグルーピング)と各クラスターについての主成分分析(重要因子の抽出)を組み合わせた処理手法を開発した。また、開発した感度解析手法を用いた約1000ケースの予察解析を通じて、プレ処理、主解析及び解析結果の分析の各機能の適用性を確認するとともに、複数の因子が変化する場合の人工バリア中の核種移行挙動について効率的に重要因子を抽出できることを確認した。開発された手法は、上記イ.でのシナリオの絞り込みにも活用可能である。
- また、天然事象に起因するシナリオを定量的に評価するための手法の開発として、火成活動に起因する処分システムを取り巻く環境条件の変化についての検討を行うとともに、その環境条件の変化を取り込んだ例示的な核種移行解析を行った。また、地震/断層活動及び隆起/浸食活動に起因するシナリオを対象として、処分システムを取り巻く環境条件の変化の定量的な取扱いに関する検討を行った。

## 【公開資料】

- (1)梅木博之、内藤守正、宮原要、油井三和、菅野毅、谷口直樹 : 動燃事業団におけるFEPデータベースの現状、PNC TN1420 96-012、1996
- (2)動燃事業団 : 地層処分研究開発の現状(平成8年度)、PNC TN1410 96-071、pp.96-99、1996





|  |  |                            |   |                           |                       |
|--|--|----------------------------|---|---------------------------|-----------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 地質環境の長期安定性に関する研究   |                            |   |                           | 分類番号<br>「地」2. - (3) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 地質環境の長期安定性に関する研究<br>(Study on Long-term Stability for Geological Environment)  |                            |   |                           |                       |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation: PNC)  |                            |   |                           |                       |
| 研究者名及び所属<br>(Name /<br>Affiliation)  | 湯佐泰久 (Yasuhisa YUSA), 中司 昇 (Noboru NAKATSUKA), 石丸恒存 (Tsuneari ISHIMARU),<br>梅田浩司 (Koji UMEDA), 藤原 治 (Osamu FUJIWARA)<br>東濃地科学センター 地質安定性研究室 (Neotectonics Research Section, Tono Geoscience Center) |                            |   |                           |                       |
| キーワード<br>Key Word  | 地震/断層運動<br>seismicity/faulting   | 火山活動<br>volcanic activity  | 隆起/沈降運動<br>uplift/subsidence                      | 海水準変動<br>sea-level change |                       |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込   | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | 火山活動が地層処分システムに及ぼす影<br>響に関する研究<br>ロスアラモス国立研究所 (米国) |                           |                       |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず   | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず  |                           |                       |
| 【成果の達成レベル】   |  |                            |   |                           |                       |
| <p>イ. 自然環境の変化予測に必要なデータの収集<br/>気候・海水準変動、隆起・沈降、侵食、断層運動、火山活動に関するデータを収集・解析を行い、我が国における各事象の発生の地域性や周期性などについて取りまとめるなど、所期の成果を得た。</p> <p>ロ. 長期変動予測モデルの開発<br/>地殻変動のモデル化手法についての調査を行い、我が国における地殻変動について長期変動予測モデルの開発についての見通しを得た。</p> <p>ハ. 処分場環境の長期的変化に関するデータの収集<br/>断層運動および火山活動に関するデータを収集し、それらの天然事象が処分場環境に及ぼす影響の規模と範囲について所期の成果を得た。</p>      |  |                            |   |                           |                       |
| 【進捗状況 (平成8年度)】   |  |                            |   |                           |                       |
| <p>イ. 自然環境の変化予測に必要なデータの収集<br/>(a)火山活動、(b)断層運動、(c)隆起・沈降、(d)侵食に関するデータを収集・解析した。</p> <p>ロ. 長期変動予測モデルの開発<br/>地殻変動のモデル化手法についての調査を行い、我が国の地殻変動の長期変動を予測するためのモデルを構築した。</p> <p>ハ. 処分場環境の長期的変化に関するデータの収集<br/>火山活動による岩盤の破碎および熱の広がりを把握するため、岐阜県北部の火山を対象としたリニアメント解析、変質帯調査、古地磁気測定を実施した。また、野島断層 (淡路島) の活動前後の地下水流動を把握するため、二次元応力-水連成解析を実施した。</p> |  |                            |   |                           |                       |
| 【使用主要施設】   |  |                            |   |                           |                       |
| 東濃地科学センター  |  |                            |   |                           |                       |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                            | [所 属] 環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ<br>[氏 名] 主幹 山崎真一      |                           |                       |

## 【研究目的】

地質環境の長期安定性に影響を及ぼす事象を抽出し、各事象の発生頻度及び影響の規模等を把握することによって、地層処分の長期的な安全性を評価することに資する。

## 【研究内容】

地質環境の長期挙動を予測するうえで影響を与える事象を対象として、系統的に情報を収集するとともに、事象の長期変動予測モデルの開発を行う。さらに、それらの事象が岩盤力学的、水理学的、地球化学的な処分場環境に及ぼす影響の規模や範囲に関するデータを収集する。

- イ. 自然環境の変化予測に必要なデータの収集  
地質環境（地下水、地質構造）の変動等に影響を及ぼす気候・海水準変動、隆起・沈降・侵食、断層運動、火山活動に関するデータを収集する。
- ロ. 長期変動予測モデルの開発  
収集したデータ等を基にして、これらの事象の長期変動を予測するモデルを作成・高度化する。
- ハ. 処分場環境の長期的変化に関するデータの収集  
安全評価の対象としている処分場環境が自然環境の変動に伴いどのように変化するかを予測するため、天然事象が岩盤力学的、水理学的、地球化学的な処分場環境に及ぼす影響の規模や範囲に関するデータを収集する。

## 【研究成果】

深部地質環境の科学的研究により、上記の研究内容に関して、以下の成果が得られた。

- イ. 自然環境の変化予測に必要なデータの収集
  - (a) 東北日本の第四紀火山の時間的・空間的分布を把握するため、分布、規模、年代に関するデータを収集した（図1）。
    - ・ 第四紀以降に活動した火山は、七つの火山地域に限られることが把握できた<sup>(1)</sup>。
    - ・ 背弧側の火山活動には、少なくとも300万年間の休止期間が存在することが明らかになった<sup>(1)</sup>。
    - ・ 成層火山の多くは、150万年以降に形成されたことが明らかになった<sup>(2)</sup>。
  - (b) 断層活動の時間・空間的な変遷を把握するため、事例研究として東北地方の逆断層（千屋断層）を対象に、試錐調査ならびに地下構造探査を実施した。
    - ・ 試錐調査により、千屋断層の約3万年以降の平均変位速度は、1.0～1.4m/千年と見積もられた。
    - ・ 反射法地震探査、精密重力探査、空中物理探査（電磁・磁気・γ線）により、地下1～2km程度までの断層およびその周辺の地下構造が推定できた。
    - ・ 上記結果より、活断層帯での断層活動は、数十万年前以降、限られた範囲内で繰り返し活動していることが示唆された。
  - (c) 海溝周辺で発生する巨大地震に対する津波堆積物を利用した再来間隔の推定法について、相模トラフ周辺において有効性の検討を行った。
    - ・ 地表調査とボーリング調査による津波堆積物の識別法を開発し、完新世の地震に対応する津波堆積物を発見した<sup>(4)</sup>。
    - ・ 津波堆積物は海底地震の発生時期の推定法として各地の沖積低地への応用が期待されることが明らかになった。
  - (d) 侵食速度の地域性を把握するため、過去数10万年間の丘陵や山地における侵食速度について、代表的な地域の野外および文献調査を実施した。
    - ・ 侵食速度は、地域や基盤の岩石の種類に関わらず、時間とともに低下する傾向があることが明らかになった（図2）。
    - ・ 丘陵地は侵食によって10万年で10m程度も平均高度が低下し、谷によって約30～60m下刻される。
    - ・ 隆起速度が大きい山岳地帯は大きな侵食速度が長期間継続し、累積侵食量が大きくなる（日本アルプスの事例では10万年で200m程度）ことが把握できた。
- ロ. 長期変動予測モデルの開発  
プレート運動にともなう地殻の歪、応力および破壊の分布とそれらの時間変化を把握するための数値解析モデルを開発する作業を実施した。解析には接触面の変形を扱うためのマスタースレーブ法を含むupdated Lagrangianにより定式化された有限要素法を用いた。
- ハ. 処分場環境の長期的変化に関するデータの収集
  - ・ 岐阜県北部の水鏡谷給源火道周辺においてリニアメント調査、変質帯調査、古磁気測定を実施し、同火山の最大規模の活動（大町火山灰の噴出）による力学的な影響範囲は、火道から数十m程度であることが把握できた<sup>(3)</sup>。
  - ・ 淡路島の野島断層（1995年兵庫県南部地震の際に活動した断層）を対象に、2次元応力・浸透連成解析手法による地下水流動解析を実施した。兵庫県南部地震直後に野島断層近傍で新たな湧水が発生した要因として、断層破碎帯の透水性の増大や地盤中の過剰間隙水圧の発生・消散などの可能性が示唆された。
  - ・ 氷期に永久凍土が形成される範囲と深度について文献調査を行った。その結果、最終氷期には本州の山岳地帯と北海道に永久凍土が分布することが示唆された。また、永久凍土は層厚が年平均気温によって変化し、最終氷期最盛期の北海道中部（大雪山）の例では、永久凍土の層厚が110m程度に達したことが明らかになった。

## 【公開資料】

別添に示す。

## 公開資料：「地質環境の長期安定性に関する研究」

- (1)林信太郎, 梅田浩司, 伴 雅雄: 東北日本, 第四紀火山の時空分布(1), -背弧側への火山活動域の拡大-. 日本火山学会秋季大会予稿集, 2, p.88 (1996)
- (2)梅田浩司, 林信太郎, 伴 雅雄: 東北日本, 第四紀火山の時空分布(3), -第四紀火山活動と地殻構造およびテクトニクス-. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, p.356 (1997)
- (3)齊藤 宏, 棚瀬充史, 梅田浩司: 噴火活動による地質環境への影響調査(その1) -岐阜県北部, 水鉛谷給源火道周辺のリニアメント解析. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, p.601 (1997)
- (4)藤原 治, 増田富士雄, 酒井哲弥, 布施圭介, 斎藤 晃: 房総半島南部の完新世津波堆積物と南関東の地震隆起との関係. 第四紀研究, 36, pp.73-86 (1997)
- (5)石丸恒存, 酒井隆太郎, 伊東 守, 古屋和夫, 児玉敏雄: 野島断層の活動に伴う周辺地下水環境の変化に関する数値解析的検討. 地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集, H42-P03, p.602 (1997)
- (6)酒井隆太郎, 石丸恒存, 佐藤比呂志, 今泉俊文, 池田安隆, 佐々木進, 佐藤 徹: 千屋断層(秋田県千畑町)を対象とした空中物理探査. 地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集, B21-15, p.54 (1997)
- (7)佐藤比呂志, 今泉俊文, 池田安隆, 三ヶ田均, Orgren, C., 戸田 茂, 堤 浩之, 越谷 信, 野田 賢, 東郷正美, 伊藤谷生, 宮内崇裕, 河村知徳, 鈴木啓文, 石丸恒存, 酒井隆太郎, 米田茂夫, 久保田裕史, 井川 猛: 千屋断層の地下構造・スリップレートに関する総合調査(中間報告). 地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集, B21-14, p.54 (1997)
- (8)藤原 治, 増田富士雄, 酒井哲弥, 岡崎浩子, 斎藤 晃, 鈴木俊秀: 海浜堆積物からみた下総台地の隆起運動像. 堆積学研究, 43, pp.39-46 (1997)

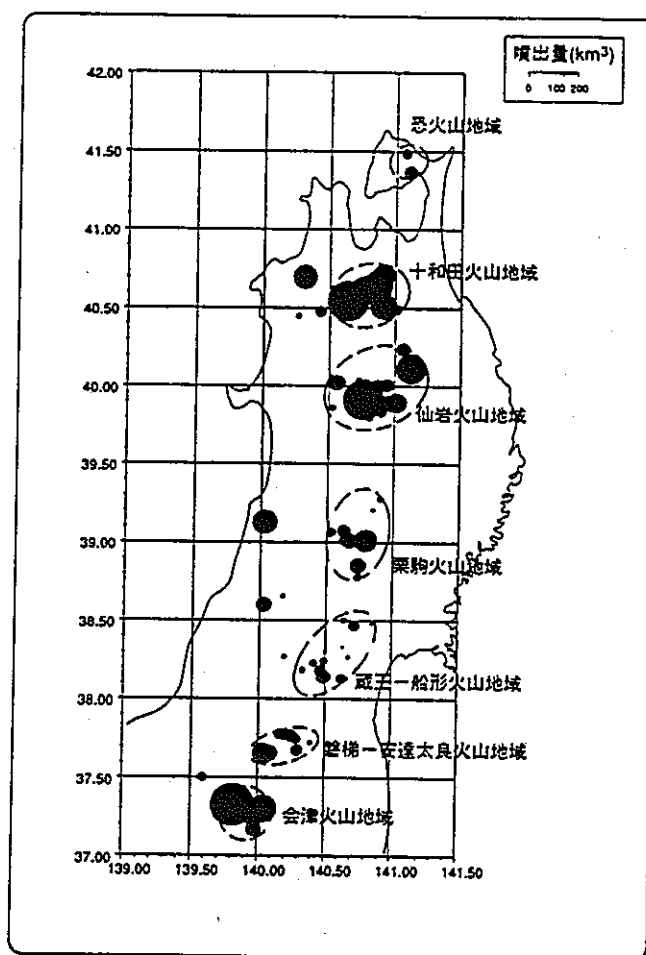


図1 東北日本における第四紀火山の分布と噴出量

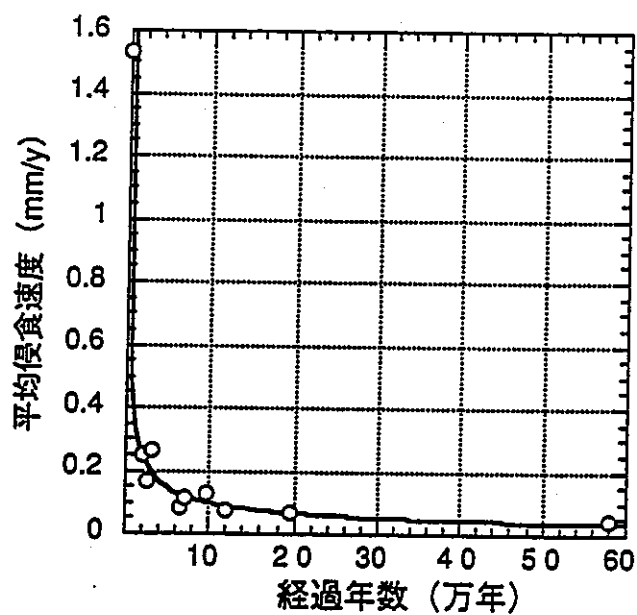


図2 平均侵食速度と経過年数との関係 (宮崎 (砂礫層) の例)

|   |   |                            |   |                       |
|---|---|----------------------------|---|-----------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題  | 人工バリア要素の安全性に関する研究   |                            |   | 分類番号<br>「地」2. - (4) - |
| 実施研究課題<br>(Title)   | 人工バリア要素の安全性に関する研究<br>(Study on The Performance of Engineered Barrier System Components)   |                            |   |                       |
| 実施機関<br>(Organization)  | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)  |                            |   |                       |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)  | 石川博久(Hirohisa ISHIKAWA), 油井三和(Mikazu YUI), 亀井玄人(Gento KAMEI), 芦田敬(Takashi ASHIDA), 本田明(Akira HONDA), 柴田雅博(Masashiro SHIBATA), 澁谷朝紀(Tomoki SHIBUTANI), 三ツ井誠一郎(Seichirou MITSUI), 小田治恵(Chie ODA), 谷口直樹(Naoki TANIGUCHI), 能登屋信(Shin NOTOYA), 濱田啓示(Keishi HAMADA), 小原幸利(Yukitoshi KOHARA), 高橋知子(Tomoko TAKAHASHI)<br>東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works) |                            |   |                       |
| キーワード<br>Key Word   | 廃棄物ガラス<br>wasete glass  | オーバーバック<br>overpack        | ベントナイト<br>bentonite                         |                       |
| 研究期間  | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込  | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | 該当せず  |                       |
| 関連する<br>解析コード   | 該当せず  | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず  |                       |
| <p>【成果の達成レベル】<br/>ガラス固化体に関する研究については、実ガラスの浸出試験を実施し、浸出核種のコロイド形成について所期の成果を得た。また、天然環境での新たな長期浸出試験に着手した。<br/>炭素鋼オーバーバックについては低酸素濃度下において浸漬試験を行い還元条件下における短期の腐食速度について所期の成果を得た。チタンオーバーバックについては再不動態化法によるすきま腐食生起臨界条件の調査を行い、局部腐食生起条件について見通しを得た。<br/>ベントナイトの変質に関しては、鉄との共存を考慮して、鉄のベントナイト主成分鉱物(スメクタイト)への吸着現象に関する知見を得た。<br/>また、放射性核種の緩衝材中移行モデルに関しては、一部の元素は、ベントナイトへの吸着がイオン交換と表面錯体を考慮することでモデル化が可能であることの見通しを得た。</p>  |   |                            |   |                       |
| <p>【進捗状況(平成8年度)】<br/>ガラス固化体に関する試験として、実高レベルガラス固化体の浸出試験を実施し、浸出液中の核種のコロイド粒径分布測定を行い、結果を取りまとめた。また、処分環境に近い天然環境下にて、オーバーバック材料(鉄)およびベントナイトを共存させた条件での模擬ガラス固化体の長期浸出試験を開始した。<br/>オーバーバックの耐久性に関する試験として、炭素鋼オーバーバックについては極低酸素濃度下における浸漬試験を実施している。8年度は短期の試験により腐食速度を評価した。長期の腐食速度については浸漬試験を継続している。チタンについては局部腐食の生起条件を把握することを目的としてすきま腐食生起臨界条件を再不動態化法により評価している。8年度はすきま腐食生起臨界電位の溶液条件に対する依存性等を確認した。<br/>ベントナイトの変質に係わる室内試験として、ベントナイトが鉄と共存する際のベントナイトの変化を調べる為に、ベントナイトへの鉄の吸着試験を実施した。<br/>放射性核種の緩衝材中移行モデルの確立に資するために、8年度はPbのベントナイトへの吸着に対して、イオン交換と表面錯体を考慮したモデル化を行った。<br/>緩衝材と地下水の相互作用のモデル確認の為に、pH指示薬担持樹脂を用いた、圧縮ベントナイト間隙水のpH直接測定試験を開始した。</p> |   |                            |   |                       |
| <p>【使用主要施設】<br/>高レベル放射性物質研究施設<br/>地層処分基盤研究施設</p>  |   |                            |   |                       |
| 連絡先   | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団   |                            | [所 属] 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>[氏 名] 主幹 梅木 博之 |                       |

## 【研究目的】

地層処分で想定される各種環境条件の下で、固化体、オーバーバック、緩衝材等の核種封じ込め機能等に関する試験研究を行うとともに、人工バリアシステム全体の安全評価手法を開発し、処分システムの安全評価に資する。

## 【研究内容】

## イ. 安全評価モデルの確立

処分環境雰囲気、地下水の流れ、共存物質（キャニスタ、オーバーバック、緩衝材）等処分環境を考慮した条件でガラス固化体の浸出実験及びオーバーバックの腐食試験を実施し、長期耐久性評価モデルを確立する。また、ベントナイトの変質に係わる室内実験結果と天然において実際に変質したベントナイトの調査結果の比較を行い、ベントナイトの変質による性能劣化の定量的評価を行う。さらに、緩衝材と地下水の相互作用を評価するとともに、放射性核種の緩衝材への吸・脱着機構に基づき、放射性核種の緩衝材中移行モデルを確立する。これらの成果に基づき、人工バリアシステムを総合的に考慮した安全評価モデルの開発を行う。

## 【研究成果】

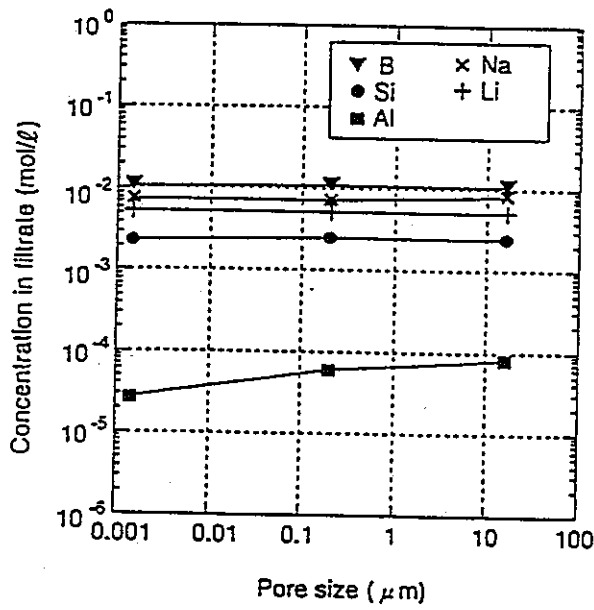
実高レベルガラス固化体の浸出試験後の浸出液に対し、フィルター孔径を変えて、連続的な濾過を行い、浸出液中の核種の粒径分布測定を行った。その結果、Pu, Am, Cm, Euはコロイド（約1nm～1μm）を形成するが、Cs, Sb, Npはコロイドを形成せずに溶質として存在することがわかった（図1）。ベントナイトがコロイドを濾過する効果を有することを考慮すると、本試験結果は、溶解度の評価の為に試験において、固液分離手法の評価が重要であることを示している。

オーバーバックについては候補材料である炭素鋼およびチタンについて処分環境下での腐食挙動を調査した。炭素鋼については還元条件下における腐食速度を評価することを目的として極低酸素濃度下において、浸漬期間1年までの短期試験を実施した。その結果、還元条件下では腐食速度は時間とともに低下し、1年後には $10^{-3}$ mm/年のオーダーになることが確認された（図2）。また、低酸素濃度下では炭素鋼の腐食速度への塩化物イオン、炭酸/炭酸イオン濃度、pHの顕著な影響は認められなかった。チタンオーバーバックについては局部腐食の生起条件を把握することを目的としてすきま腐食再不動電位（ $E_R$ ）の測定を行った。 $E_R$ は塩化物イオン濃度の上昇とともに単化することが確認された。 $E_R$ への硫酸イオン濃度、炭酸/炭酸イオン濃度、pHの顕著な影響は認められなかった。また、Grade2チタン（純チタン）よりもGrade12チタン（合金）の方が $E_R$ は貴であり、すきま腐食に対する耐食性が優れていることが確認された（図3）。

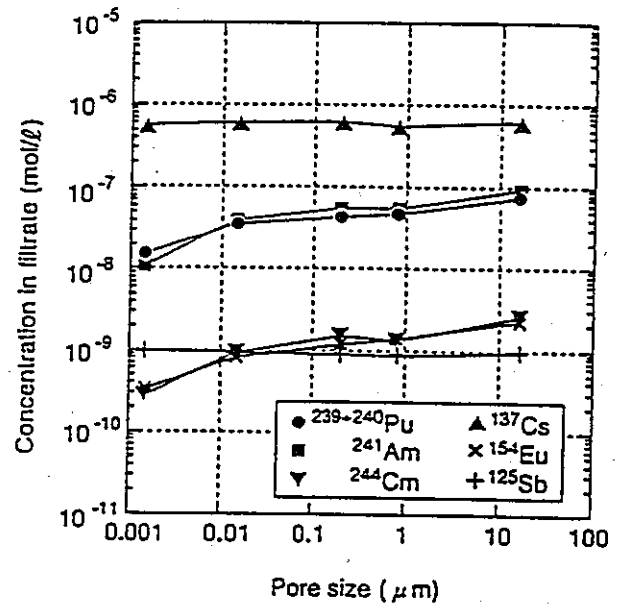
ベントナイトが鉄と共存する際のベントナイトの変化を調べる為に、ベントナイト主成分鉱物であるスメクタイトへの鉄の吸着試験を実施した。共存鉱物を可能な限り除去し、交換性陽イオンをNa型に調整したスメクタイトを用いて、雰囲気制御グローブボックス（酸素濃度1%以下）内の還元条件下で $Fe^{2+}$ イオンの吸着・脱着試験を実施し、さらに、鉄吸着スメクタイトの湿度制御X線回折を行うことで、鉄の吸着はスメクタイト層間のイオン交換反応であることを明らかにした。また、吸着試験の交換等温線から選択係数（ $\log K_{Fe^{2+}/Na} = 1.1$ ）の導出を行うことで、スメクタイトの鉄型化変質の評価および地球化学モデルを用いた緩衝材の間隙水化学の推定に鉄のイオン交換を取り入れることが可能となった。

## 【公開資料】

- (1) KOHARA, Yukitoshi, ASHIDA, Takashi, YUI, Mikazu : A Study on Characterization of Colloids in Leachate from Fully Radioactive Waste Glass. Journal of Nuclear Science and Technology (in Printing)
- (2) 濱田啓志, 谷口直樹, 石川博久: 高レベル放射性廃棄物処分におけるチタン材料のすきま腐食発生臨界条件の評価, 第43回腐食防食討論会講演集A-302 (1996)
- (3) 谷口直樹, 本田明, 石川博久, 藤原和雄: 低溶存酸素濃度下における炭素鋼オーバーバックの腐食速度の実験的検討, 第43回腐食防食討論会講演集A-303 (1996)
- (4) 高橋知子, 小田治恵, 柴田雅博, 亀井玄人: Na型スメクタイトに対する $Fe^{2+}$ の吸着・脱着, 動燃技術資料 (準備中)



(a) ガラス構成元素



(b) 放射性核種

図1 実ガラス浸出液中のガラス構成元素と放射性核種のろ液中濃度とフィルター孔径の関係

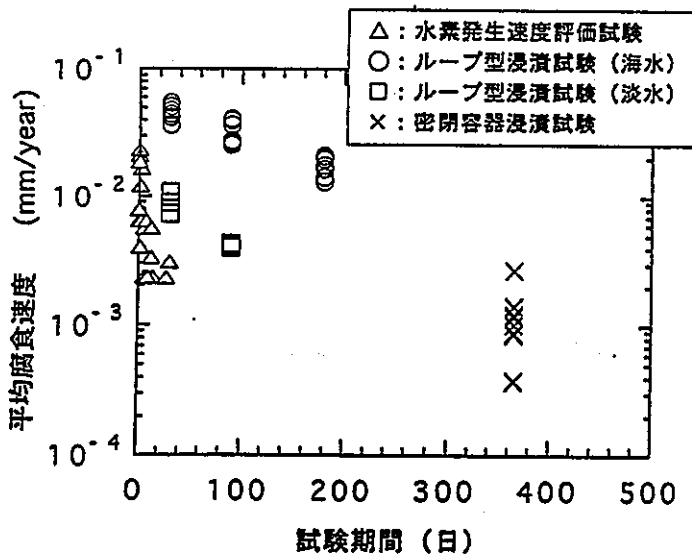


図2 低溶存酸素濃度下での平均腐食速度の経時変化

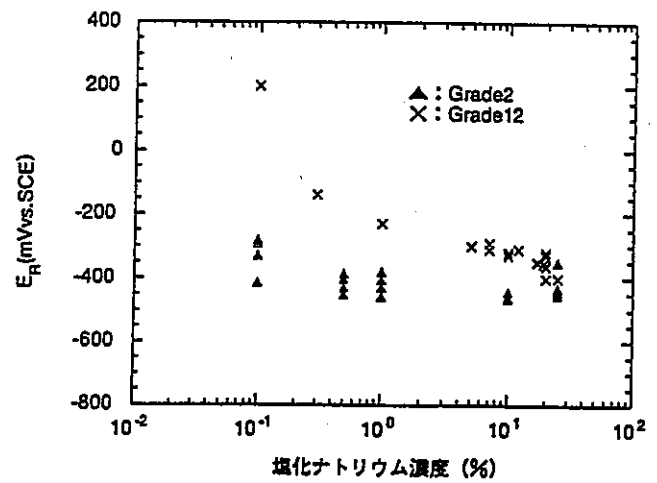


図3 腐食再不動態化電位(ER)に及ぼすNaCl濃度の影響



|  |   |                            |   |                               |
|--|---|----------------------------|---|-------------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 人工バリア中核種移行評価に係わるデータベースの整備   |                            |   | 分類番号<br>「地」2. - (5) -         |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 人工バリア中核種移行評価に係わるデータベースの整備<br>(Database Development for The Radio-Nuclide Transport in The Engineerd Barrier System)   |                            |   |                               |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)  |                            |   |                               |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 石川博久(Hirohisa ISHIKAWA), 油井三和(Mikazu YUI), 柴田雅博(Masahiro SHIBATA)<br>澁谷朝紀(Tomoki SHIBUTANI), 佐藤治夫(Haruo SATO), 牧野仁史(Hitoshi MAKINO)<br>澁谷早苗(Sanae SHIBUTANI)<br>東海事業所 環境技術開発部(Waste Technology Development Division, Tokai Works) |                            |   |                               |
| キーワード<br>Key Word  | 熱力学データベース<br>thermodynamic database   | 溶解度<br>solubility          | 分配係数<br>distribution coefficient            | 拡散係数<br>diffusion coefficient |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込  | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | 該当せず  |                               |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず  | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず  |                               |
| 【成果の達成レベル】   |   |                            |   |                               |
| <p>イ. 熱力学データベースの整備<br/>性能評価上重要な22元素のうち、予定されていた元素に関しては、既存データの評価によるデータの見直しを行うとともに、溶解度試験を行い、データベースの整備を実施し、所期の成果を得た。</p> <p>ロ. 分配係数、拡散係数等のデータベース整備<br/>性能評価上重要な22元素のうち、予定されていた元素に関しては、既存データの調査、データベース化を終了し、所期の成果を得た。また、関連するデータ取得に関しては、Ra, Pd, Pa, Ac の吸着試験および還元条件下でのSeの拡散試験を実施し、所期の成果を得たのみならず、緩衝材施工の観点から考慮されている材料組成や形態の変化や、評価上懸念されている事象を考慮した拡散試験を行い、異なる条件の材料中での拡散挙動に関する知見を得た。</p>  |   |                            |   |                               |
| 【進捗状況(平成8年度)】  |   |                            |   |                               |
| <p>イ. 熱力学データベースの整備<br/>性能評価上重要な22元素のうち、溶解度が重要となる21元素についてデータベースの見直し、整備を実施中である。8年度においては、Po, Ra, 等の9元素に対し、既存データの評価を行い、熱力学データベースの見直しを行った。また、Sn, Zr, Niについては、溶解度試験を実施し、試験結果を基に熱力学データを整備した。アクチノイド(Ⅲ価)に対しては、高イオン強度に適応可能な活量補正モデルを用い、データベースの整備を実施した。</p> <p>ロ. 分配係数、拡散係数等のデータベース整備<br/>性能評価上重要な22元素に対して、分配係数、拡散係数に関する報告値の文献調査を行い、データベース化して整備を行っている。8年度においては、Sm, Pb 等の14元素について、文献調査を終了し、分配係数を実験条件とともにデータベースに入力し、データベースの整備を行った。また、拡散に関するデータも同様に、文献調査を行い、既存データのデータベース化を実施した。また、データベース整備の観点から、信頼性の高いデータが不足している元素を対象に、データ取得を実施している。8年度においては、ベントナイトへのRa, Pd, Pa, Ac の吸着試験を実施し、分配係数を得るとともに、還元環境下でSeの拡散試験を実施し、見掛けの拡散係数を得た。また、ベントナイトへの珪砂混合およびベントナイト圧密時のベントナイト粒径が、拡散挙動に与える影響を調べる試験を実施するとともに、ガス移行に伴って形成される可能性が考えられるベントナイト中の亀裂の拡散に与える影響を評価するため、予め亀裂を入れたベントナイトを用いた拡散試験を実施した。</p> |   |                            |   |                               |
| 【使用主要施設】   |   |                            |   |                               |
| 地層処分基盤研究施設   |   |                            |   |                               |
| 連絡先  | 〒107 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                            | (所 属) 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>(氏 名) 主幹 梅木 博之 |                               |

## 【研究目的】

安全評価上重要な核種を対象にして、地下水中の溶解度、緩衝材への吸着に係る基本定数や拡散係数など人工バリア中の核種移行評価上重要なパラメータにおいて、データ取得を行い、処分システムの安全評価に資する。

## 【研究内容】

イ、酸化還元電位、炭酸ガス濃度等をパラメータにして、重要元素に関する溶解度データを取得するとともに、性能評価に必要な熱力学データベースを整備する。

ロ、雰囲気制御下においてベントナイト中の核種の分配係数、拡散係数等のデータを取得し、核種移行評価のためのデータベースを整備する。

## 【研究成果】

## イ、熱力学データベースの整備

性能評価上重要な22元素のうち、Po, Ra, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am の9元素に対し、主に文献から収集したデータを基に、データの信頼性評価、確認データとの比較評価を行い、平成3年度報告書で用いた熱力学データベースの見直しを行った(図1)。さらに、Snについては、熱力学データ取得のための溶解度試験を実施し、信頼性の高いデータセットを整備した。また、Zr, Ni については、ベントナイト-水系で、データの確認のための溶解度試験を実施し、その結果を基に、Niについては、現実的で信頼性の高いデータセットを整備した。Zrについては、既存データが実測値を説明できなかった為、実測値に基づく保守的なデータセットを整備した。アクチノイド(Ⅲ価)に対しては、その代表としてAmを中心に、高イオン強度に適用可能な活量補正モデルを用い、データベースの整備を実施した。

## ロ、分配係数、拡散係数等のデータベース整備

性能評価上重要な22元素のうち、Zr, Nb, Sb, Sm, Pb, Bi, Po, Ra, Ac, Th, Pa, Np, Am, Cm の14元素について、文献調査を終了し、分配係数および実験条件をデータベースに入力、整備した。また、拡散に関するデータも同様に、一部の元素について文献調査を行い、既存データのデータベース化を実施した。

Ra, Pd について、イオン強度、pHをパラメータとして、ベントナイト(クニゲルV1:スメクタイト含有率50wt%)への吸着試験を実施した。また、Pa, Ac については、還元条件で温度(21, 60℃)をパラメータとして吸着試験を行った。試験の結果、Raの分配係数は、イオン強度の増加とともに減少し、pHとともに増加する傾向を示した。また、Pa, Ac の分配係数の明確な温度依存性は認められなかった。これら、新たに得られたデータに関しても、データベースへの入力を実施した。

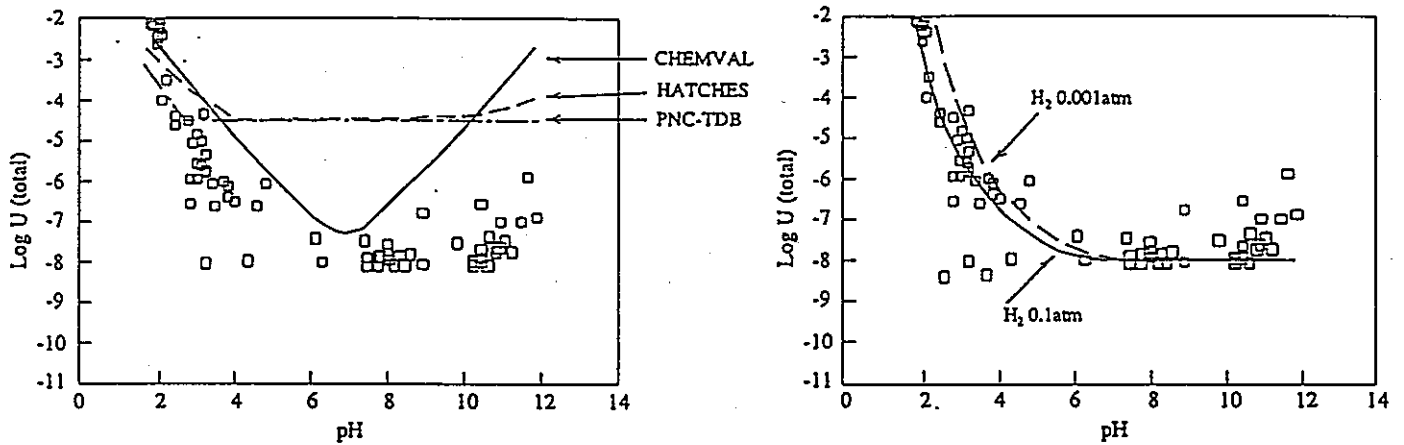
拡散に関しては、ベントナイト(クニゲルV1)に対し、還元環境下(-373mV~-363mV)および室温で、密度(0.8, 1.4, 1.8g/cm<sup>3</sup>)をパラメータにSeの拡散試験を行った。得られた拡散係数は  $6.1 \times 10^{-11} \sim 4.3 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  の範囲であり、密度の増加に伴って緩やかに減少した。還元条件下でのSeの支配化学種は  $\text{HSe}^-$  であると考えられ、同じ電荷をとる  $\text{TcO}_4^-$  とほぼ同程度の拡散係数が得られた(図2)。

ベントナイト中の拡散に与える珪砂混合の影響を評価するため、トリチウム水(HTO)の見掛けの拡散係数を珪砂混合ベントナイト(珪砂混合割合:30及び50wt%)を用いて密度(0.8, 1.4, 1.8g/cm<sup>3</sup>)をパラメータとして測定した。その結果、拡散係数には大きな変化は見られず、珪砂の影響はないことが分かった。ベントナイトを調整する際の粒径の影響を把握するための試験も実施した。粒径を大きく調整した粒状ベントナイトを使用して、密度(0.8, 1.4, 1.8g/cm<sup>3</sup>)をパラメータとしてHTOの見掛けの拡散係数を測定した。その結果、粉末状のベントナイトとほぼ同じ拡散係数が得られ、充填時のベントナイトの形態には影響されないことが分かった。

さらに、ガス移行に伴って形成される可能性が考えられるベントナイト中の亀裂の、拡散に与える影響を評価するため、予め亀裂を入れたベントナイトを作製(密度1.8g/cm<sup>3</sup>)しておき、含水期間(7及び28日)をパラメータとしてHTOの見掛けの拡散係数を測定し、含水修復性を評価した。その結果、亀裂がない場合の拡散係数と全て同じとなり、亀裂の影響は認められなかった。

## 【公開資料】

- (1) 澁谷早苗: 高レベル廃棄物地層処分システムの性能評価の為にNiに関する熱力学データ整備, 動燃技術資料 PNC TN 8410 96-257(1996).
- (2) 澁谷早苗: 高レベル廃棄物地層処分システムの性能評価の為にAmに関する熱力学データ整備, 動燃技術資料 PNC TN 8410 97-022(1997).
- (3) 油井三和 牧野仁史: Uに関する熱力学データベースの課題と整備, 動燃技術資料 PNC TN 8410 96-290(1996).
- (4) 佐藤治夫: 還元環境下でのベントナイト中のSeの拡散挙動, 動燃技術資料, PNC TN 8410 97-073(1997).
- (5) Sato, Haruo: Diffusion Behaviour of Se in Compacted Sodium Bentonite under Reducing Conditions, PNC Technical Report, PNC TN 8410 97-075(1997).
- (6) Sato, Haruo and Yui, Mikazu: Diffusion Behaviour of Se(-II) and Sm(III) in Compacted Sodium Bentonite, MIGRATION '97 (to be presented).
- (7) SATO Haruo: Effect of Dry Density and pH on Diffusion for Sm in Compacted Sodium Bentonite, PNC Technical Report, PNC TN 8410 97-007(1997)
- (8) SATO Haruo and YUI Mikazu: Diffusion of Ni in Compacted Sodium Bentonite, Journal of Nuclear Science and Technology, 34 pp334~336.
- (9) SATO Haruo, YUI Mikazu and YOSHIKAWA Hideki: Ionic Diffusion Coefficients of Cs<sup>+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Sm<sup>3+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, SeO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and TcO<sub>4</sub><sup>-</sup> in Free Water Determined from Conductivity Measurements, Journal of Nuclear Science and Technology, 33, pp950-955.
- (10) 佐藤治夫、油井三和: 圧縮ベントナイト中での核種拡散挙動-Ni<sup>2+</sup>の見掛けの拡散係数の密度および温度依存性-, 日本原子力学会1996年秋の大会, L1
- (11) 動燃事業団: 地層処分研究情報交換会(INTEGRATE'97)報告書, 添付3.2 PNC TN 1100 97-004(1997).
- (12) 動燃事業団: 地層処分研究開発の現状(平成8年度), PNC TN 1410 9671



a) 溶解度測定データ (Rai et. al. 1990) と既存 TDB による計算結果との比較

b) 溶解度測定データ (Rai et. al. 1990) と見直し後の PNC-TDB による計算結果との比較

図1 UO<sub>2</sub>(am) の熱力学データベース (TDB) 見直し結果

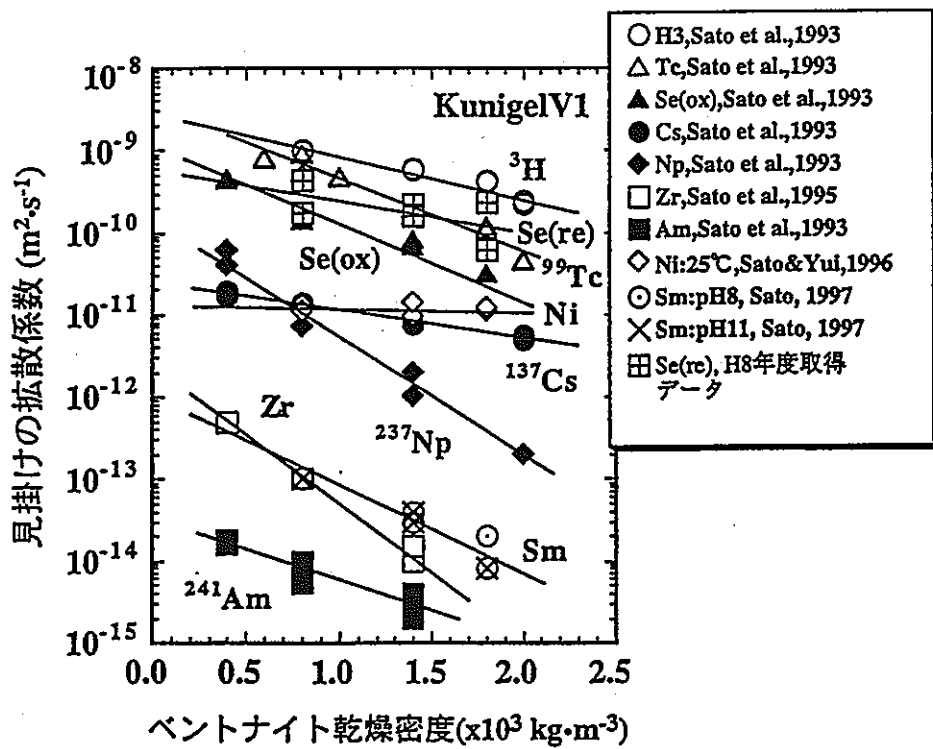


図2 圧縮ベントナイト中の核種の見かけの拡散係数

|  |  |                    |  |          |                       |
|--|--|--------------------|--|----------|-----------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 人工バリアのナチュラルアナログ研究  |                    |  |          | 分類番号<br>「地」2. - (6) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 人工バリアのナチュラルアナログ研究<br>(Natural Analogue Study of Engineered Barrier Materials)  |                    |  |          |                       |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation: PNC)  |                    |  |          |                       |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 亀井 玄人 (Gento KAMEI)<br>本田 明 (Akira HONDA)<br>三ツ井 誠一郎 (Seiichiro MITSUI)<br>久保田 満 (Mitsuru KUBOTA)<br>東海事業所 環境技術開発部 (Waste Management Technology Development Division, Tokai Works) |                    |  |          |                       |
| キーワード  | ナチュラルアナログ  | 人工バリア              | 廃棄物ガラス                                     | オーバーパック  | 緩衝材                   |
| Key Word   | natural analogue   | engineered barrier | waste form glass                           | overpack | buffer material       |
| 研究期間   | 平成3年度～平成12年度まで<br>継続見込   |                    | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関                 | 該当せず     |                       |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず   |                    | 関連する特別会計<br>実証試験                           | 該当せず     |                       |
| <p>【成果の達成レベル】</p> <p>イ. ガラスの溶解変質に関する研究<br/>天然ガラスと地下水からなる単純系と、ベントナイトに物理的性質が類似した泥岩に包まれた天然ガラス、地下水からなる複合系について調査を行うとともに、ガラス組成や地下水組成の影響を把握する比較試験を行い、長期耐久性評価について所期の成果を得た。</p> <p>ロ. 金属の腐食に関する研究<br/>土壌埋設水道管および考古学的銅製品の腐食状況等を調査し、長期にわたる腐食要因等について所期の成果のみならず、腐食速度に関する知見を得た。</p> <p>ハ. ベントナイトの変質に関する研究<br/>天然ベントナイトのイライト化やイオン交換について検討し、イライト化事例については、処分環境の温度条件においてはほとんど発生していないことから、長期健全性の見通しを得た。</p>   |  |                    |  |          |                       |
| <p>【進捗状況(平成8年度)】</p> <p>イ. ガラスの溶解変質に関する研究<br/>(1) ガラス+ベントナイト+水複合系のナチュラルアナログとして、海成粘土および湖成粘土に包まれていた火山ガラスの変質について調査した。<br/>(2) 処分環境に近い天然環境下における、模擬廃棄物ガラスと合成火山ガラスを用いた長期浸出挙動比較試験(野外試験)を開始した。</p> <p>ロ. 金属の腐食に関する研究<br/>(1) 炭素鋼オーバーパックのベントナイト中における長期腐食のナチュラルアナログとして、粘土質土壌中に数十年間埋設されていた水道管(2件)の腐食状況および環境条件の調査を行った。<br/>(2) 純銅オーバーパックと考古学的銅製品(青銅)の腐食挙動の類似性を把握するため、純銅と青銅(考古学的銅製品の組成を模擬)を用いた電気化学試験を行った。</p> <p>ハ. ベントナイトの変質に関する研究<br/>(1) ベントナイトのイライト化変質のナチュラルアナログとして、新潟県西頸城(にしくびき)地域に分布する泥質岩について貫入岩の熱によるイライト化変質の調査を継続した。<br/>(2) ベントナイトのイオン交換反応による変質のナチュラルアナログとして、新潟県中条鉱山および山形県月布鉱山のNa型ベントナイトのCa型化変質について調査を継続した。</p> |  |                    |  |          |                       |
| <p>【使用主要施設】<br/>動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所 地層処分基盤研究施設</p>  |  |                    |  |          |                       |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                    | (所 属) 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>(氏 名) 主幹 梅木博之 |          |                       |

## 【研究目的】

人工バリアの各構成要素に関して、履歴の明らかな天然類似現象を抽出し、それらの挙動を明らかにすることにより、人工バリアの長期的な核種閉じ込め機能ならびに人工バリア相互作用の評価についての信頼性向上に資する。

## 【研究内容】

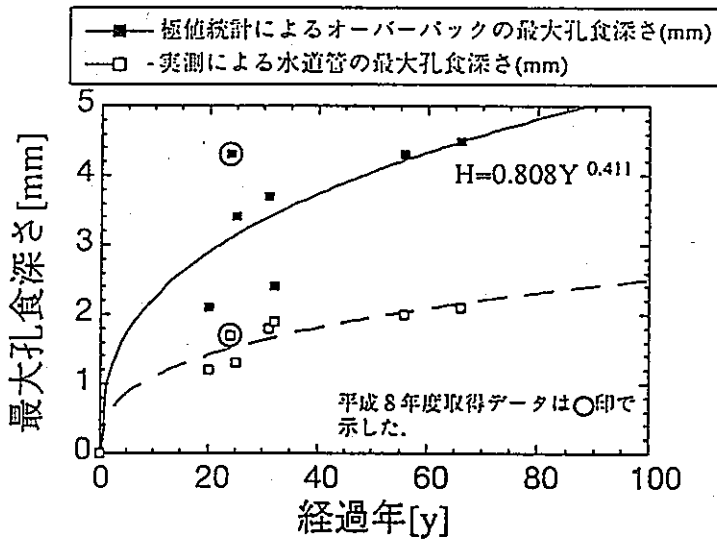
- イ. ガラス+ベントナイト+水複合系のアナログとして調査を実施してきた泥質岩中の火山ガラスの変質について、模擬廃棄物ガラス及び合成火山ガラスを用いた長期浸出試験を実施し、それぞれのベントナイトに包まれた状態での溶解挙動を比較する。
- ロ. 廃棄物のオーバーバック材料（鉄等の金属）の長期にわたる腐食の要因、プロセス、機構等の検討を行うために、同類材料である埋設鋼管、歴史的出土品等について調査・検討を行う。
- ハ. ベントナイト等の緩衝材の熱に対する長期的安定性を評価するため、天然ベントナイトのイライト化等の変質調査・検討を行う。また、金属など他の人工バリア材と共存した場合の変質挙動を評価するため、天然ベントナイトの変質調査・検討を行う。

## 【研究成果】

- イ. ガラスの溶解変質に関する研究
- (1) ガラス+ベントナイト+水複合系のナチュラルアナログとして調査した海成粘土および湖成粘土に約80万年間包まれていた火山ガラスは、光学顕微鏡による変質状況の観察の結果、水和変質が認められた。水和変質は、非晶質SiO<sub>2</sub>に飽和した溶液に浸漬したガラスの変質として、これまでに短期の室内試験でも確認されていたが、今年度の調査結果によって長期的にも起こりうる事が分かった。
- ロ. 金属の腐食に関する研究
- (1) 粘土質土壌に数十年間埋設されていた水道管について、腐食量（孔食深さ）および環境条件を調査した<sup>(1)</sup>。また、水道管の最大孔食深さの極値統計解析により、炭素鋼オーバーバック一体あたりの表面積における最大孔食深さを算出し、その経時変化について検討した（図1）。その結果、中性の低酸素環境下における酸素還元反応律速型の経験的腐食モデル式として、 $H = 0.808 Y^{0.411}$ （ここで、H：炭素鋼オーバーバックの最大孔食深さ（mm）、Y：経過年（y）である。）が得られた。この式により千年後の炭素鋼オーバーバックの最大孔食深さを試算すると、約15mmとなった。
- (2) 純銅オーバーバックと考古学的銅製品（青銅）の腐食挙動の類似性を把握するため、純銅と青銅（シルト質砂層中に長期間埋没していた銅鐸の化学組成<sup>(2)</sup>を模擬して作製した。）をベントナイト接触溶液および遺跡土壌接触溶液に浸漬して、アノード分極挙動を比較した<sup>(3)</sup>。その結果、ベントナイト接触溶液では純銅と青銅はいずれも不動態（100～200mV）→脱不動態（200～400mV）→活性溶解（400mV～）の傾向を示すことが分かった（図2）。また、遺跡土壌接触溶液では純銅は全く不動態の傾向を示さず、一方青銅は不動態（-300～0mV）→脱不動態（0～200mV）→活性溶解（200mV～）の傾向を示すことが分かった（図3）。
- ハ. ベントナイトの変質に関する研究
- (1) ベントナイトのイライト化変質のナチュラルアナログとして調査している新潟県西頸城地域の泥質岩について、比熱のデータを取得した。

## 【公開資料】

- (1) 炭山守男、玉田明宏、三ツ井誠一郎、本田明：ベントナイト中の炭素鋼オーバーバックの腐食挙動に関するナチュラルアナログ研究—粘土質土壌中に長期間埋設された水道管の腐食挙動—、第44回材料と環境討論会、(1997)
- (2) 村上隆、三ツ井誠一郎、仁木昭夫、西村歩、藤田憲司：堺市下田遺跡から出土した銅鐸の材質と埋蔵環境、日本文化財科学会第13回大会、(1996)
- (3) 松田史朗、白石佳代、永井巖、三ツ井誠一郎、亀井玄人：電気化学試験による純銅と青銅の腐食挙動の比較：銅オーバーバックのナチュラルアナログ研究、第44回材料と環境討論会、(1997)
- (4) 亀井玄人：ベントナイトに包まれた廃棄物ガラスのナチュラルアナログ—100万年間の火山ガラスの変質挙動と環境条件—、動燃技術資料、PNC TN 8410 97-035、(1997)



水道管の最大孔食深さデータの極値統計解析を実施し、オーバーバック一俵あたりの最大孔食深さの累積確率分布 (Gumbel分布) を求めた。左図には累積確率0.99における値をオーバーバックの最大孔食深さとしてプロットした。

図1 最大孔食深さの経時変化

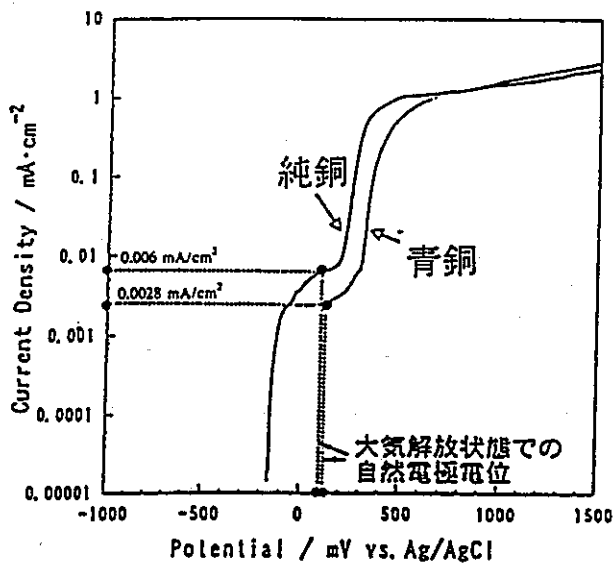


図2 ベントナイト接触溶液中におけるアノード分極曲線

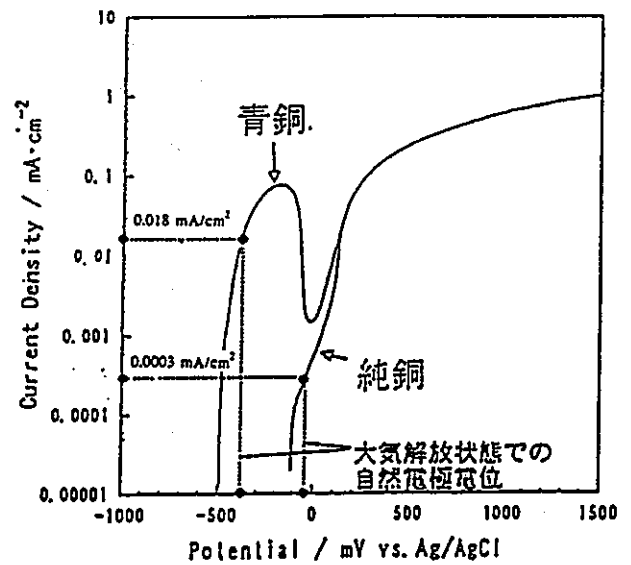


図3 遺跡土壌接触溶液中におけるアノード分極曲線

|  |   |                           |  |  |                       |                       |
|--|---|---------------------------|--|--|-----------------------|-----------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 人工バリア等の構造安定性に関する研究  |                           |  |  |                       | 分類番号<br>「地」2. - (8) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 人工バリア等の構造安定性に関する研究<br>(Study on Mechanical Stability of Engineered Barrier System)                                    |                           |  |  |                       |                       |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)  |                           |  |  |                       |                       |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 谷口 航(Wataru TANIGUCHI)、水川 雅之(Masayuki MIZUKAWA)<br>／東海事業所環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works) |                           |  |  |                       |                       |
| キーワード<br>Key Word  | 人工バリア<br>engineered barrier   | 空洞安定性<br>tunnel stability | 耐震<br>earthquake-proof                     | 熱解析<br>thermal analysis                            | ニアフィールド<br>near-field |                       |
| 研究期間   | 平成8年度～平成12年度まで<br>継続見込  |                           | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関                 | 深部地下空洞および内部構造物の振動挙動に<br>関する共同研究<br>科学技術庁 防災科学技術研究所 |                       |                       |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず  |                           | 関連する特別会計<br>実証試験                           | 該当せず   |                       |                       |
| 【成果の達成レベル】   |   |                           |  |  |                       |                       |
| <p>イ. 地層処分施設建設時の空洞安定性解析の検討対象モデルとして、連続体モデルを挙げ、既存の地下空洞を対象とした事例解析によりモデルの妥当性をある程度確認するとともに、不連続体モデルおよびクリープモデルについても、既存のモデルを対象に考え方や特徴について整理し、地層処分場設計検討における空洞安定性解析に対する指針を得た。</p> <p>ロ. 人工バリアの耐震性評価のために、ベントナイトの非線形性力学特性およびベントナイトの液状化評価を考慮した動的解析コードを開発した。また、人工バリアの縮尺模型を用いた振動実験を行い、その結果から開発した解析コードの妥当性を確認し地層処分場設計検討におけるニアフィールドの耐震安定性解析に対する指針を得た。</p> <p>ハ. 地層処分における廃棄体埋設密度を検討するために行うニアフィールド熱解析について、解析コード、境界条件の検討、感度解析、地下水の対流が温度分布に及ぼす影響を検討し、解析方法、主パラメータを決定し、地層処分場設計検討における熱解析に対する指針を得た。</p> |   |                           |  |  |                       |                       |
| 【進捗状況(平成8年度)】  |   |                           |  |  |                       |                       |
| <p>イ. 連続体モデルによる事例解析を行うとともに、空洞の安定性解析に必要な岩盤物性値について調査・整理した。</p> <p>ロ. 1/5 スケールの人工バリア模型の振動実験を大型耐震実験施設を用いて行った。また、人工バリアの地震応答解析コードを開発し上記実験結果から本コードの妥当性を確認するとともに、本コードを用いてニアフィールドの耐震性評価を行う上での条件の検討、およびベントナイトの非線形特性を考慮した入力物性値の取得を行った。</p> <p>ハ. 地層処分施設における熱解析について、熱伝導解析による結果と熱による地下水の移流の影響を考慮した熱解析での結果を比較し、両者による差はほとんどないことが分かった。また、感度解析により、評価上重要なパラメータの抽出を行った。</p>   |   |                           |  |  |                       |                       |
| 【使用主要施設】   |   |                           |  |  |                       |                       |
| 大型耐震実験施設(科学技術庁 防災科学技術研究所)  |   |                           |  |  |                       |                       |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13(三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                           | [所 属] 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>[氏 名] 主幹 梅木博之 |  |                       |                       |

## 【研究目的】

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性を確保する上で重要な人工バリア構造安定性に関する試験、検討を行い、人工バリア及び処分施設の安全設計手法の確立に資する。

## 【研究内容】

人工バリア等の構造安定性に関する以下の研究により、人工バリア及び処分施設の安全設計手法の開発整備を進める。

- イ. 掘削空洞の安定性を含む人工バリアの構造力学挙動に関する研究を実施する。
- ロ. 人工バリア及び地下空洞の耐震性評価手法の開発を行う。
- ハ. 廃棄体埋設密度等の処分場条件をパラメータとして処分場の熱解析等を行う。

## 【研究成果】

- イ. 空洞の掘削過程を考慮した連続体モデルによる事例解析を行い、本解析手法およびモデルの妥当性を確認し、地層処分施設の建設時における空洞安定性評価に対して適用が可能であるとの見通しを得た。また、処分場の空洞の安定性評価に必要なとされる岩盤の変形・強度特性および初期応力特性の調査を行い、平成3年度の調査（佐藤ほか、1992）ではあまりデータが得られていなかった岩種についてのデータをおおむね取得することができた。
- ロ. 坑道横置き方式1ユニットの1/5 スケールにおいて、オーバーバックに実際の候補材料である炭素鋼を、緩衝材にも実際の候補材料であるベントナイトを用いた振動実験を行った。実験の概要を図.1に示す。実験の結果、本模型人工バリアは、実地震波に含まれている特有な周期には応答せず、ほぼ剛体に近い特性を示し、オーバーバックと緩衝材は一体となって挙動することが分かった。また、ベントナイトの液状化は全く起こらなかった。一方、開発した解析コードは、緩衝材の力学的特性を表す手法として、周波数領域における等価線形解析機能、および時間領域における非線形解析機能（構成式にはRamberg-Osgoodモデル）を用いており、土-水2相系（等価線形解析では有効応力で評価、非線形解析では全応力で評価（各解析ステップ毎に全応力解析結果から間隙水圧の挙動を評価））での評価が可能であり、本コードを用いて上記振動実験の検証解析を行った。図.2に緩衝材中の応答加速度についての実験結果と解析結果の比較を示す。その結果、模型人工バリアの固有周波数付近で応答加速度が実験結果より若干過大に評価されるが、物性値（特に減衰定数）を吟味することにより、ほぼ実験で示された現象を表現できることが分かった。また、加振によるオーバーバック、および緩衝材中の変位はほとんどないことが分かった。
- ハ. 廃棄体の埋設密度を決定するための熱解析について、ある処分地質条件を仮定し、様々なパラメータから考慮すべきものを感度解析により抽出した。その結果、人工バリア内の温度分布から次のことが知見として得られた。1. 同じ埋設密度では処分坑道離間距離が短いほど有利である。2. 緩衝材の厚さは薄いほど有利である。3. ガラス固化体-オーバーバック間、オーバーバック-緩衝材間のギャップは緩衝材の最大上昇温度には影響しない。また、熱伝導解析による結果と熱による地下水の移流の影響を考慮した熱解析での結果を比較し、両者による差はほとんどないことが分かった。

## 【公開資料】

- (1)水川雅之、菅野毅；地層処分場の空洞安定性評価手法の検討，動燃技術資料 PNC TN, (公開準備中)
- (2)御子柴正、小川信行、箕輪親宏；深層地下空洞及び内部構造物の振動挙動に関する研究，科学技術庁平成6年度国立原子力機関試験研究成果報告書, (1995)
- (3)御子柴正、小川信行、箕輪親宏、石川博久；人工バリアモデルの振動実験，土木学会第50回年次学術講演会, (1995)
- (4)谷口航；深層地下空洞および内部構造物の振動挙動に関する研究（2），動燃技術資料 PNC TN, (公開準備中)



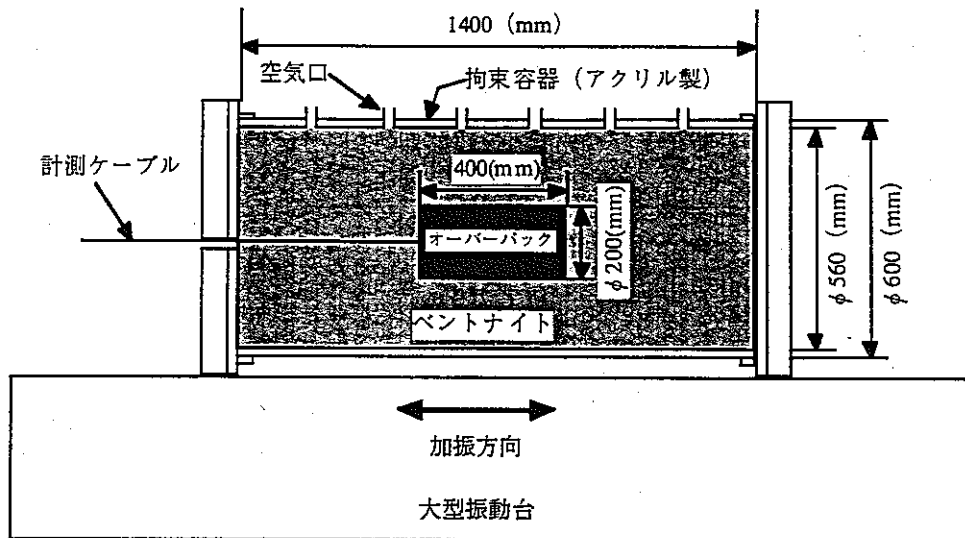


図.1 振動実験概要図

(動力炉・核燃料開発事業団；地層処分研究開発の現状-平成8年度-(1996))

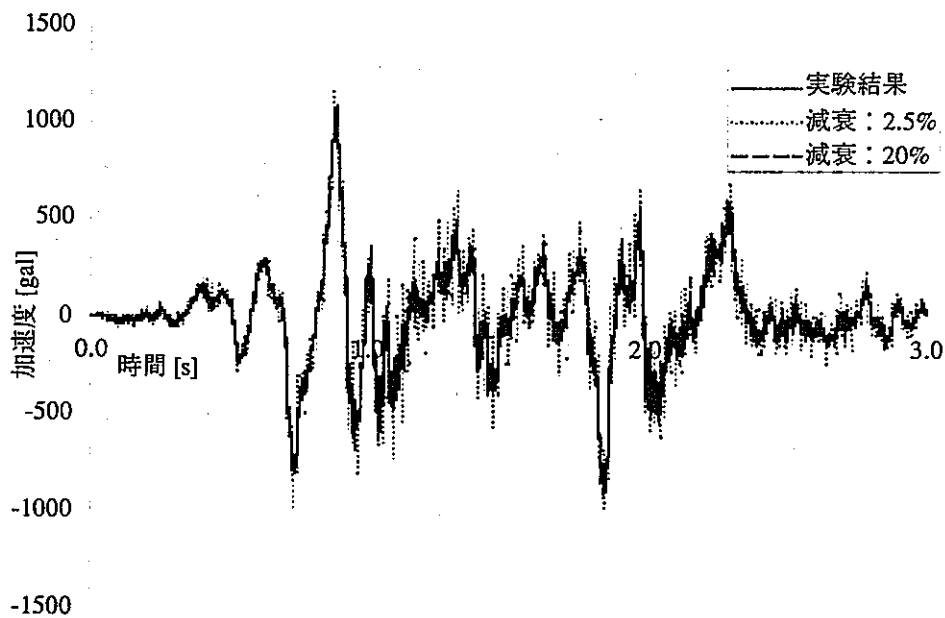


図.2 緩衝材中における応答加速度の実験結果と解析結果の比較  
 (解析においては減衰定数をパラメータにしている)  
 (実験結果と減衰定数：20%での解析結果はほぼ一致している)

|  |   |                            |   |                 |                       |
|--|---|----------------------------|---|-----------------|-----------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 人工バリアの長期物理的安定性に関する研究  |                            |   |                 | 分類番号<br>「地」2. - (9) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 人工バリアの長期物理的安定性に関する研究<br>Study of The Long-term Physical Stability of The Engineered Barrier System                                  |                            |   |                 |                       |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation: PNC)   |                            |   |                 |                       |
| 研究者名及び所属<br>(Name /<br>Affiliation)  | 棚井 憲治(Kenji TANAI)、高治 一彦(Kazuhiko TAKAJI)、菅野 毅(Takeshi KANNO)<br>/東海事業所環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works) |                            |   |                 |                       |
| キーワード<br>Key Word  | ベントナイト<br>bentonite   | ガス移行<br>gas migration      | 三軸試験<br>triaxial test                                 | 侵入<br>extrusion | 浸食<br>erosion         |
| 研究期間   | 平成8年度～平成12年度まで<br>継続見込  | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | ベントナイト中のガス移行モデル開発<br>(NAGRA, SKB, POSIVA, ANDRA, PNC) |                 |                       |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず  | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず  |                 |                       |
| 【成果の達成レベル】   |   |                            |   |                 |                       |
| <p>イ. ベントナイトのガス移行試験により、ベントナイトの膨潤圧程度の圧力でガスが破過し、その経路はベントナイトの自己シール性によって閉塞されることから人工バリアの長期物理的安定性を見通しを得た。</p> <p>ロ. ベントナイトの一次元圧密試験、圧密非排水三軸試験を行い、ベントナイトの力学変形挙動を明らかにし、解析に用いるパラメータを取得し、人工バリアの長期物理的安定性を見通しを得た。</p> <p>ハ. 地下水流動場におけるベントナイト緩衝材の物理的安定性に関する模擬試験を実施し、ベントナイト緩衝材の膨潤による周辺岩盤亀裂への侵入現象(Extrusion)と地下水によるベントナイトの浸食現象(Erosion)からなる緩衝材の流出特性について、定量的な現象把握を行い、人工バリアの長期物理的安定性を見通しを得た。</p> |   |                            |   |                 |                       |
| 【進捗状況(平成8年度)】  |   |                            |   |                 |                       |
| <p>イ. 炭素鋼オーバーバックの腐食により発生する水素ガスの影響を定量的に評価するため、ベントナイトの基本的透気特性データの取得を行った。</p> <p>ロ. 炭素鋼オーバーバックの自重及び腐食膨張等の緩衝材に作用する外力の影響を定量的に評価するため、ベントナイトの基本的せん断特性データの取得を行った。</p> <p>ハ. 侵入現象については、流出速度とそれに及ぼすパラメータ(ベントナイト含有比、乾燥密度)の把握を行った。浸食現象については、この現象が起こる臨界流速値の測定を行った。</p>  |   |                            |   |                 |                       |
| 【使用主要施設】   |   |                            |   |                 |                       |
| (1) 水素ガス移行挙動試験設備<br>(2) クリープ試験設備<br>(3) 岩盤中緩衝材流出試験設備   |   |                            |   |                 |                       |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団   |                            | (所 属) 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>(氏 名) 主幹 梅木 博之           |                 |                       |

## 【研究目的】

地層処分システムの長期的な安全性の基礎となる人工バリアの長期の物理的安定性に関する検討を行い、地層処分の長期的な安全性を評価することに資する。

## 【研究内容】

人工バリアの長期物理的安定性に関する以下の研究により、安全評価シナリオで対象とすべき現象の抽出を図る。

- イ. オーバーバック腐食により発生する水素ガスのベントナイト緩衝材中での移行挙動に関する実験・モデル化を行う。
- ロ. オーバーバックの沈下挙動及びオーバーバックの腐食膨張挙動に対する緩衝材の物理的・機械的緩衝作用に関する実験・モデル化を行う。
- ハ. 緩衝材の膨潤による岩盤亀裂への侵入挙動及び地下水による浸食挙動に関する実験・モデル化を行う。

## 【研究成果】

イ. 炭素鋼オーバーバックの腐食により発生する水素ガスの影響を定量的に評価するため、水素ガス移行挙動試験設備を用い、飽和膨潤状態におけるベントナイトの破過圧力やガス有効浸透率の取得及び破過圧力と膨潤圧との関係等について検討を行い以下のような結果を得た(図-1)。

1) 破過圧力は概ねベントナイトのもつ膨潤圧程度の圧力となることがわかった。

2) ガス有効浸透率は、 $10^{-18} \sim 10^{-21} \text{ m}^2$ の範囲であった。

3) 繰り返し試験により一回目と二回目の破過圧力が同程度の圧力であったことから、ガスの移行によって形成された経路はベントナイトの自己シール性によって修復されるものと推測される。

ロ. 炭素鋼オーバーバックの自重及び腐食膨張等の緩衝材に作用する外力の影響を定量的に評価するため、クリープ試験設備を用い、飽和圧密後のベントナイトのせん断試験を行い、応力-ひずみ曲線や応力経路等についてまとめ、以下のような結果を得た(図-2)。

1) 各圧密応力での軸差応力と軸ひずみの関係は非線形であり軸ひずみが7%前後で供試体が破壊することが分かった。

2) 応力経路から、供試体が正規圧密状態と過圧密状態で過剰間隙水圧の発生点で異なる挙動となることが分かった。

3) 各供試体の破壊時の応力比は、ほぼ直線で近似でき、限界状態線の傾き $M=0.58$ が得られた。

ハ. 膨潤による岩盤亀裂への侵入現象(Extrusion)と地下水による浸食現象(Erosion)に関する模擬試験を行い、次の結果を得た(図-3)。

1) Extrusionにより亀裂内に侵入するベントナイトゲルの流出距離 $y$ は、時間 $t$ の平方根に比例し次式で表現できる。

$$y = A(d, Bc) t^{1/2}$$

ここで、 $A$ は亀裂開口幅 $d$ とベントナイト含有比 $Bc$ に依存する比例定数である。

2) Erosionが起こる最小地下水流速は、 $600 \text{ m/y}$ 程であり、これ以下の地下水流速では、Erosionは起こらないと考えられる。

## 【公開資料】

- (1) 棚井憲治, 菅野毅, Christophe Galle; 圧縮ベントナイトの水素ガス移行特性評価, 動燃技術資料 PNC TN8410 96-289, (1996).
- (2) 棚井憲治; 圧縮ベントナイト中の水素ガス挙動, 動燃技報No.102, (1997).
- (3) 棚井憲治, 菅野毅, Christophe Galle; 圧縮ベントナイトの水素ガス移行特性評価, 日本原子力学会1996年秋の大会, (1996).
- (4) 棚井憲治, 菅野毅, Christophe Galle; 圧縮ベントナイトの水素ガス移行特性評価, MRS1996 Fall Meeting, (1996).
- (5) 並河努, 菅野毅; 緩衝材のせん断特性1, 動燃技術資料 PNC TN8410 97-074, (1997).

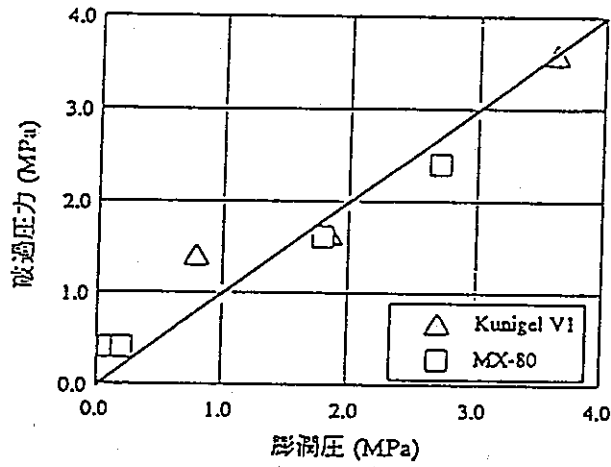


図-1 膨潤圧と破過圧力との関係

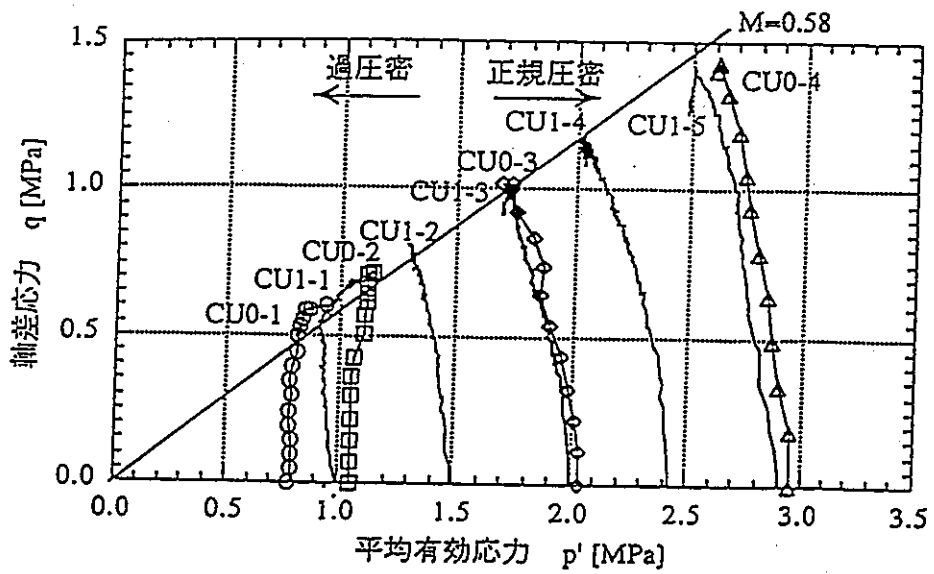


図-2 平均有効応力経路

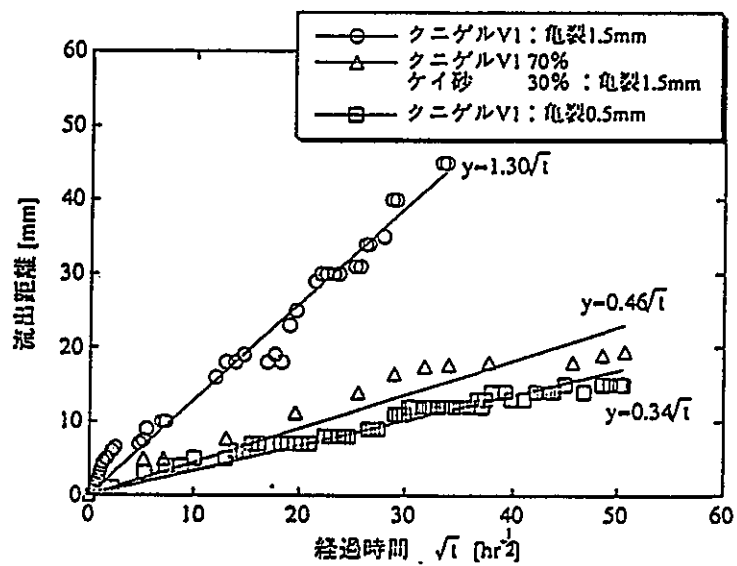


図-3 流出距離の経時変化 (静水試験)

|  |  |                      |  |                |                                    |
|--|--|----------------------|--|----------------|------------------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 地下水流動モデルの確立に関する研究  |                      |  |                | 分類番号<br>「地」2. - (11) -             |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 地下水流動モデルの確立に関する研究<br>(Study on the Establishment of the Hydrogeological Model)   |                      |  |                |                                    |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)   |                      |  |                |                                    |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 尾方伸久 (Nobuhisa OGATA), 小出 馨 (Kaoru KOIDE), 竹内真司 (Shinji TAKEUCHI), 見掛信一郎 (Shinichiro MIKAKE), 三枝博光 (Hiromitsu SAEGUSA), 竹市篤史 (Atsushi TAKEICHI), 稲葉秀雄 (Hideo INABA), 岡崎彦哉 (Hikoya OKAZAKI)<br>東濃地科学センター 地質環境研究室<br>(Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center) |                      |  |                |                                    |
| キーワード<br>Key Word  | 透水系数<br>permeability   | 水理地質<br>hydrogeology | 地下水<br>groundwater                           | 花崗岩<br>granite | 水理地質構造モデル<br>hydrogeological model |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込   |                      | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関                   | 該当せず           |                                    |
| 関連する<br>解析コード  | TAGSAC   |                      | 関連する特別会計<br>実証試験                             | 該当せず           |                                    |
| 【成果の達成レベル】   |  |                      |  |                |                                    |
| <p>①東濃地域における5年間にわたる水収支観測の結果から、地下水涵養量と年間降水量との関係や河川流域全体の地下水涵養の特性などを明らかにし、表層部の水理特性の把握について所期の成果を得た。</p> <p>②東濃地域における試錐孔を利用した間隙水圧観測の継続により、立坑掘削や月吉断層が地下水流動に与える影響について明らかにし、中・深層の水理特性の把握について所期の成果を得た。また、物理検層結果による透水系数の推定について見通しを得た。</p> <p>③東濃鉾山周辺の精密な水理地質構造モデルの構築、および広域地下水流動の解析を行い、地下水流動モデルの開発について所期の成果を得た。</p> |  |                      |  |                |                                    |
| 【進捗状況(平成8年度)】  |  |                      |  |                |                                    |
| <p>①東濃鉾山周辺における5年間にわたる水収支観測データの取りまとめおよび浅層試錐孔における水理調査を実施した。</p> <p>②東濃鉾山周辺地域に掘削した試錐孔を利用した中・深層の水理調査を実施するとともに、物理検層データを用いた透水系数の推定方法について検討を行った。また、水理調査のための機器開発を実施した。</p> <p>③東濃鉾山周辺における試錐孔データを用いた精密な水理地質構造モデルの構築、および30km四方、3km四方、300m四方を対象とした地下水流動解析を実施した。</p>   |  |                      |  |                |                                    |
| 【使用主要施設】   |  |                      |  |                |                                    |
| 東濃地科学センター、東濃鉾山   |  |                      |  |                |                                    |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                      | (所 属) 環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ<br>(氏 名) 主幹 山崎真一 |                |                                    |

## 【研究目的】

広域から局部にわたる地下水流動特性を把握する目的で、地下水の流動に関する情報を収集するとともに、地下水流動モデルを開発し、水理地質特性の評価に資する。

## 【研究内容】

水理地質構造モデルを構築するために、①表層においては、空中物理調査・地表物理調査、地表調査、水収支観測などを実施し、②中・深層においては、深度1,000m程度の試錐孔を利用した水理調査、地下水の採水・化学分析を実施し、水理特性を把握する。

また、③表層から中・深層までを統合化した地下水流動モデルを開発し、その適用性を評価する。

## 【研究成果】

東濃地域を対象として実施した深部地質環境の科学的研究により、上記の研究内容に関して、以下の成果が得られた。

- ①1990年から1994年までの水収支観測の結果を取りまとめた結果、地下水涵養量は、年間降水量の変化に伴い大きく変動すること、および正馬川流域全体の地下水涵養量に比較して上流部のそれは5倍程度大きいことから、上流部が地下水の涵養域であることが明らかになった(表1)。さらに土壤水分観測の結果から、地表から未固結砂礫層へ浸透する地下水の量が、未固結砂礫層から新第三紀層の堆積岩層へ浸透する量の約千倍であることが明らかになった。一方、浅層試錐孔を用いた表層水理調査の結果、地表に濃飛流紋岩が分布する地域では表層風化部が主な帯水層となり、瑞浪層群明世累層が分布する地域では礫岩、砂岩層が帯水層であることが明らかとなった。
- ②第2立坑の掘削前後を含むおよそ2000日にわたる間隙水圧の観測データを取りまとめた結果、立坑掘削により地下水位が変化した領域は月吉断層の北側で立坑から約200m、南側で約300mであった(図1)。また、立坑掘削前の断層を境とした間隙水圧分布の違いや、立坑掘削に伴う地下水位の時間的変化のパターンから月吉断層が低透水性の断層であることが予想された<sup>(1)(2)</sup>。  
 深度500mの試錐孔において物理検層(フローメータ検層)を実施した結果、フローメータ検層によって得られる流速の変化が水の流入出に関与する割れ目帯に一致することが分かった。一方、花崗岩などの結晶質岩盤における原位置透水試験から得られる透水係数は、試験区間に存在する透水性割れ目によって決定していると考えられる。したがって、フローメータ検層によって得られた流体速度変化のうち、原位置透水試験区間内に対応する区間のフローメータ検層結果で最大流速を示すものと、原位置透水試験結果とを比較した結果(表2)、測定された流速と原位置透水試験結果との間に良好な相関関係が認められたことから、この関係を用いて花崗岩の透水係数が連続的に推定可能であることが分かった(図2)<sup>(3)</sup>。さらに、岩盤の比抵抗値などの物理検層データから算出されたフォーメーションファクターの比が原位置における透水係数と良い相関を示すことを明らかにした。  
 一方、水理特性把握のための機器開発としては、動燃式低水圧制御水理試験装置(JFT500)を改良し、深度1,000m対応の揚水試験装置を開発するとともに同装置の機能を確認した<sup>(4)</sup>。
- ③30km四方の領域を対象とした広域地下水流動解析により、深度1,000m付近を流れる地下水の涵養域から流出域までの範囲を抽出した(図3)。また、東濃鉱山周辺に掘削された約170本の試錐孔データを用いて、精密な水理地質構造モデルを構築するとともに(図4)、地下水流動解析により、月吉断層が低透水性の遮水壁であることを確認した(図5)<sup>(5)</sup>。さらに300m四方の領域を対象とした解析では、モデル上の断層の要素形状の違いによって解析結果が異なることや月吉断層の巨視的な透水性が $10^{-9}$ cm/secオーダーであることなどが明らかになった。  
 一方、フラクタル理論による不均質な堆積岩の透水係数分布の推定手法については、二次元の透水係数の空間分布の推定コードを三次元に拡張した<sup>(6)</sup>。

## 【公開資料】

- (1)尾方伸久, 山根正樹, 小出 馨: 間隙水圧の長期観測による立坑掘削影響の把握について. 日本地下水学会1996年秋期講演会講演要旨, pp. 34-39 (1996)
- (2)Koide, K., Yamane, M., Kobayashi, K.: Heterogeneity of Hydraulic conductivity of a Fault in Sedimentary Sequences at Tono Mine, Central Japan. Proc. NEA/EC Clay Club Workshop, 10-12 June 1996, Bern, Switzerland (1996)
- (3)尾方伸久, 小出 馨, 竹市篤史, 松岡清幸: フローメータ検層による花崗岩中の透水性割れ目の把握とその透水係数の算出. 日本応用地質学会平成9年度研究発表会(1997, 投稿中)
- (4)見掛信一郎, 小出 馨, 尾方伸久, 後藤和幸: 深度1,000mを対象とした単孔式の揚水試験装置の開発とその機能の検討. 日本応用地質学会平成9年度研究発表会(1997, 投稿中)
- (5)稲葉秀雄, 竹内真司, 尾方伸久: 立坑掘削に伴う地下水挙動の観測と解析. 日本地下水学会1997年秋期講演会(1997, 投稿中)
- (6)竹内真司, 稲葉秀雄, 尾方伸久, 小出 馨: フラクタル理論を用いた堆積岩中の透水係数分布の推定とそのモデル化. 日本地下水学会1997年秋期講演会(1997, 投稿中)
- (7)尾方伸久, 小出 馨, 前川恵輔, 稲葉秀雄: 広域地下水流動研究において掘削された試錐孔の位置と掘削長. 動燃技術報告書 PNC TN7420 96-008 (1996)
- (8)三枝博光, 稲葉秀雄, 前川恵輔, 尾方伸久, 小出 馨: 我が国の地下水流動特性に関する研究(動水勾配). 日本応用地質学会中部支部研究発表会予稿集, pp. 29-32 (1996)

表1 各流域における浸透量の変化

| 年 度            |                | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 平均    |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 降 水 量          |                | 1,532 | 1,885 | 1,304 | 1,657 | 1,079 | 1,491 |
| 蒸 発 散 量        |                | 526   | 463   | 495   | 414   | 492   | 478   |
| 降水量に対する蒸発散量の割合 |                | 34%   | 25%   | 38%   | 25%   | 46%   | 32%   |
| 正馬川上流域         | 河川流量           | 666   | 958   | 521   | 877   | 337   | 672   |
|                | 降水量に対する河川流量の割合 | 43%   | 51%   | 40%   | 53%   | 31%   | 44%   |
|                | 浸透量            | 341   | 464   | 288   | 366   | 250   | 342   |
|                | 降水量に対する浸透量の割合  | 22%   | 25%   | 22%   | 22%   | 23%   | 23%   |
| 正馬川流域          | 河川流量           | 970   | 1,348 | 790   | 1,180 | 434   | 944   |
|                | 降水量に対する河川流量の割合 | 63%   | 72%   | 61%   | 71%   | 40%   | 61%   |
|                | 浸透量            | 37    | 74    | 19    | 63    | 153   | 69    |
|                | 降水量に対する浸透量の割合  | 2%    | 4%    | 1%    | 4%    | 14%   | 5%    |
| 鉾山流域           | 河川流量           | —     | 1,303 | —     | —     | 410   | 857   |
|                | 降水量に対する河川流量の割合 | —     | 69%   | —     | —     | 38%   | 54%   |
|                | 浸透量            | —     | 119   | —     | —     | 177   | 157   |
|                | 降水量に対する浸透量の割合  | —     | 6%    | —     | —     | 16%   | 11%   |

単位：[mm]

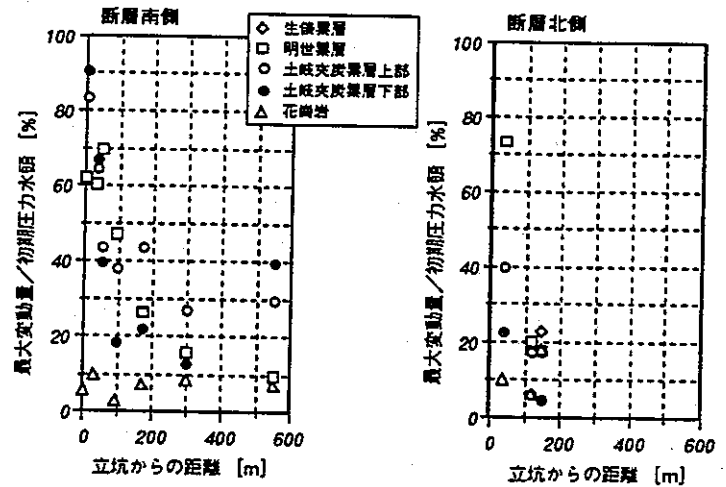


図1 立坑からの距離と水頭変化量

表2 原位置透水試験区間に対応した流速変化

| 原位置透水試験区間(m) | 原位置透水係数 (cm/sec) | フローメータ対応深度(m) | 流速 (m/min) |       |       |
|--------------|------------------|---------------|------------|-------|-------|
| 185.5~188.5  | 1.10E-03         | 186           | 0          |       |       |
|              |                  | 187           | 0.74       |       |       |
|              |                  | 188           | *4.37      |       |       |
|              |                  | 189.0~197.0   | 6.30E-04   | 189   | *3.87 |
|              |                  | 190           |            | 0     |       |
|              |                  | 191           |            | 0.28  |       |
| 192          | 0.39             |               |            |       |       |
| 193          | 0                |               |            |       |       |
| 194          | 0.57             |               |            |       |       |
| 195          | 0                | 196           | 0          |       |       |
|              |                  | 197           | 0          |       |       |
|              |                  | 239.0~242.0   | 1.30E-03   | 239   | 1.19  |
|              |                  | 240           |            | *3.08 |       |
|              |                  | 241           |            | 0     |       |
|              |                  | 242           |            | 0     |       |
| 345.0~353.0  | 4.30E-07         | 345           |            | 2.17  |       |
| 346          |                  | *2.56         |            |       |       |
| 347          |                  | 0.55          |            |       |       |
| 348          |                  | 0             |            |       |       |
| 349          |                  | 1.62          |            |       |       |
| 350          |                  | 0             |            |       |       |
| 351          | 0                | 351           | 0          |       |       |
|              |                  | 352           | 0.21       |       |       |
|              |                  | 353           | 0          |       |       |
|              |                  | 378.5~381.5   | 2.30E-08   | 379   | 0     |
|              |                  | 380           |            | *0.12 |       |
|              |                  | 381           |            | 0     |       |
| 413.0~416.0  | 2.90E-08         | 413           |            | *0.63 |       |
| 414          |                  | 0             |            |       |       |
| 415          |                  | 0             |            |       |       |
| 416          |                  | 0             |            |       |       |

\*原位置透水試験区間内における最大流速

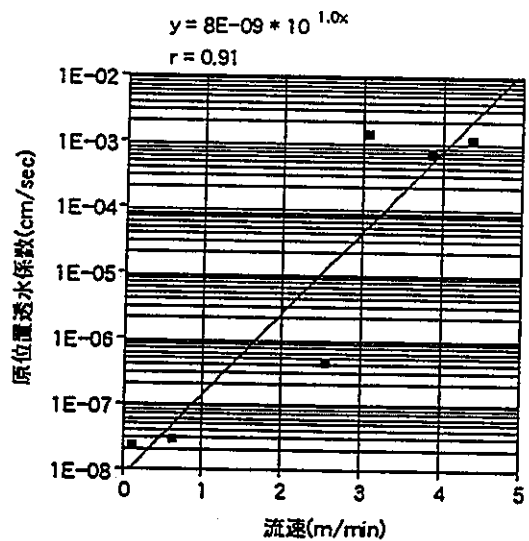


図2 フローメータ検層による流体速度と透水係数の関係



図3 地下水流動解析より求められた広域における地下水の涵養域から流出域（図中の赤い領域）

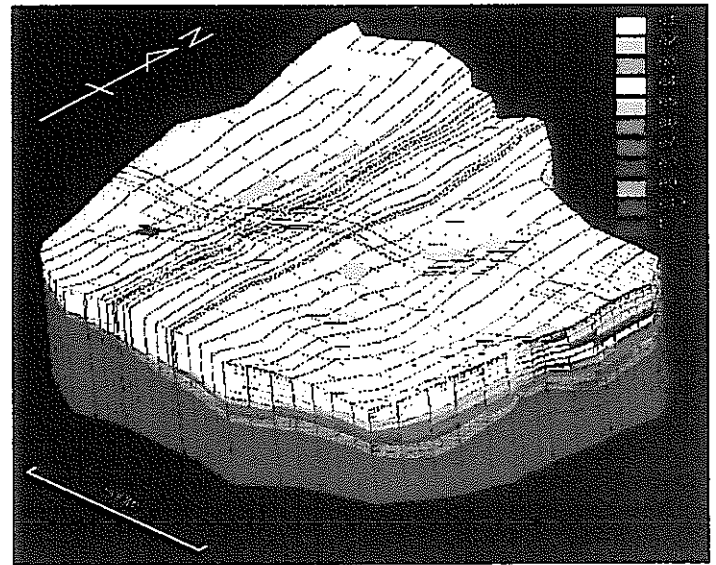


図4 東濃鉦山周辺の水理地質構造モデル

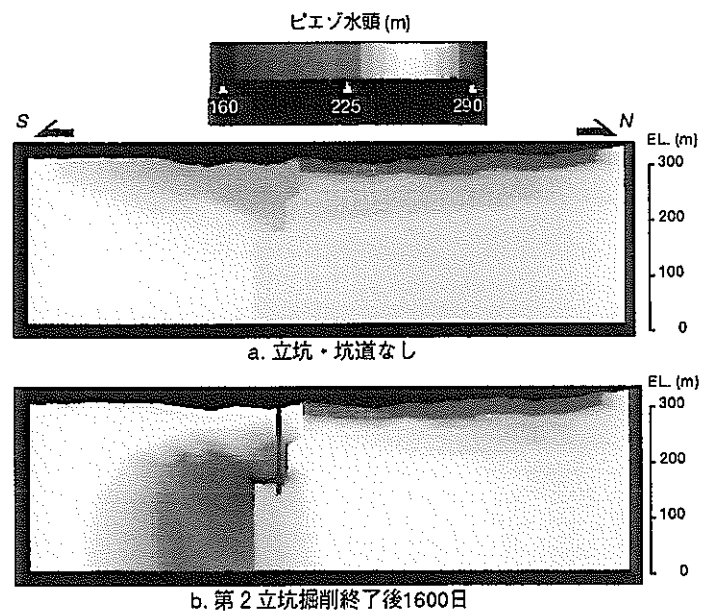


図5 ピエゾ水頭分布  
（第2立坑を通る南北鉛直断面）



|   |  |                  |  |                            |                            |
|---|--|------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| 安 全 研 究<br>年 次 計 画 登 録<br>研 究 課 題   | 地下水の地球化学特性に関する研究   |                  |  |                            | 分 類 番 号<br>「地」 2. - (12) - |
| 実 施 研 究 課 題<br>( T i t l e )  | 地下水の地球化学特性に関する研究<br>(Geochemical Study of Groundwater)   |                  |  |                            |                            |
| 実 施 機 関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)   |                  |  |                            |                            |
| 研究者名及び所属<br>( Name /<br>Affiliation )   | 岩月輝希 (Teruki IWATSUKI), 吉田英一 (Hidekazu YOSHIDA), 濱 克宏 (Katsuhiro HAMA)<br>東濃地科学センター 地質環境研究室<br>(Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center) |                  |  |                            |                            |
| キ ー ワ ー ド   | 地下水  | 結晶質岩             | 水質形成機構                                       | 物理化学パラメータ                  |                            |
| Key Word  | groundwater  | crystalline rock | groundwater evolution                        | physico-chemical parameter |                            |
| 研 究 期 間   | 平成 8 年度 ~ 平成 12 年度まで<br>継続見込   |                  | 関 連 す る 国 際<br>共 同 研 究 課 題<br>及 び 実 施 機 関    | 該 当 せ ず                    |                            |
| 関 連 す る<br>解 析 コ ー ド  | 該 当 せ ず  |                  | 関 連 す る 特 別 会 計<br>実 証 試 験                   | 該 当 せ ず                    |                            |
| 【成果の達成レベル】  |  |                  |  |                            |                            |
| <p>イ. 地下水の地球化学特性データの取得<br/>花崗岩中の深部地下水の物理化学パラメータ (温度、pH、酸化還元電位など) の測定と化学分析を行い、地球化学特性データの取得について所期の成果を得た。</p> <p>ロ. 水-岩石反応解析・試験<br/>鉱物の微視的観察および熱力学的計算を行い、深度 1,000m までの花崗岩の鉱物特性データ (鉱物組成や鉱物の変質状態など) の取得について所期の成果を得た。</p> <p>ハ. 地下水の地球化学モデルの構築<br/>イ.、ロ. を統合し、花崗岩中の地下水の水質形成に寄与する主要な反応の抽出を行い、水質形成機構のモデル化について所期の成果を得た。</p> |  |                  |  |                            |                            |
| 【進捗状況 (平成 8 年度)】  |  |                  |  |                            |                            |
| <p>イ. 地下水の地球化学特性データの取得<br/>東濃鉱山周辺に掘削された 2 本の試錐孔の 8 深度から花崗岩中の地下水を採取し、地下水の物理化学パラメータ、化学組成、同位体組成などのデータ収集を実施した。</p> <p>ロ. 水-岩石反応解析・試験<br/>深度 500 ~ 1,000m の試錐孔 (5 本) から得られた岩石試料を用いて、深部花崗岩の地質構造、鉱物組成、鉱物の変質状態などのデータを収集し、水-鉱物反応に関する熱力学的解析を実施した。</p> <p>ハ. 地下水の地球化学モデルの構築<br/>地下水の水質形成に寄与する主要な水-鉱物反応を抽出した。</p>               |  |                  |  |                            |                            |
| 【使用主要施設】  |  |                  |  |                            |                            |
| 東濃地科学センター、東濃鉱山  |  |                  |  |                            |                            |
| 連絡先   | 〒 107 ☎ 03-3586-3311<br>東京都港区赤坂 1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団   |                  | [所 属] 環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ<br>[氏 名] 主幹 山崎真一 |                            |                            |

## 【研究目的】

人工バリア材料の化学的安定性および天然バリア中での放射性核種の移行現象を支配する重要な因子である地下水の地球化学特性を把握し、地下水の地球化学モデルを作成し、多重バリアシステムの性能評価に資する。

## 【研究内容】

- イ. 地下水の地球化学特性データの取得  
地下水の物理化学パラメータ (Eh, pH等)、化学組成、安定・放射性同位体組成の3次元分布および地下水の起源・年代を明らかにする。
- ロ. 水-岩石反応解析・試験  
地下水の化学組成・鉱物組成データを用いた熱力学計算等の解析および水-岩石反応試験等の室内試験を行う。
- ハ. 地下水の地球化学モデルの構築  
イ.、ロ. を総合して地下水の水質形成機構に関する考察を行い、地下水の地球化学モデルを作成する。

## 【研究成果】

東濃地域において実施した深部地質環境の科学的研究により、上記の研究内容に対して以下の成果が得られた。

- イ. 地下水の地球化学特性データの取得  
東濃地域に分布する土岐花崗岩中の地下水 (表層～深度約800m付近) について、以下の知見を得ることができた。  
・地下水のpHは深度とともに中性から弱アルカリ性 (pH=9～10) に変化する。また、深度160m付近の地下水の物理化学パラメータは、pH=8.3, Eh=0mV付近である。これらの値はpH-Eh図においてFe<sup>2+</sup>とFe(OH)<sub>3</sub>の酸化還元境界に位置することから、地下水の酸化還元電位にはFe<sup>2+</sup>とFe(OH)<sub>3</sub>の酸化還元反応が寄与していることが考えられる<sup>(2)</sup>。  
・地下水の水質は、深度180m付近でNa<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオンに富み、深度200～330m付近ではNa<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオンに、深度500～840m付近でNa<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオンに富む<sup>(1, 2)</sup> ように深度ごとで異なる (表1)。  
・深度180m付近の地下水からトリチウムが検出され、この深度まで表層水が浸透しているといえる。
- ロ. 水-岩石反応解析・試験  
土岐花崗岩の地質構造、鉱物組成について、以下の知見を得ることができた。  
・緑色変質を伴う厚さ数m～数十mの割れ目帯と白色変質を伴う厚さ数mの割れ目帯が随所に存在し (図1)、深度百数十mまで、割れ目の表面および岩芯内部に酸化鉄鉱物の沈澱が確認された<sup>(2)</sup>。また、単一割れ目の表面、割れ目変質帯では、石英、斜長石、黒雲母の鉱物表面に水-鉱物反応により生じる表面構造が観察された<sup>(2)</sup>。  
・地球化学計算コード (PHREEQE) を用いた解析により、花崗岩深部では長石類が地下水に対して飽和状態～過飽和状態にあると計算される<sup>(1, 2)</sup>。  
・鉱物の微視的観察と鉱物の地下水に対する飽和指数の計算から、地下水の水質に寄与する主要な反応として長石類の水-鉱物反応が考えられる。また、深度180m付近のFe<sup>2+</sup>イオンに富む水質は、長石類の水-鉱物反応の他に酸化鉄鉱物の還元反応が寄与していることが考えられる<sup>(1, 2)</sup>。
- ハ. 地下水の地球化学モデルの構築  
土岐花崗岩中の地下水の水質形成に寄与する主要な反応として、長石類と地下水の水-鉱物反応および鉄鉱物の酸化還元反応を抽出することができた。これらの反応が平衡状態に達している地点では、化学平衡論による地下水の水質形成機構のモデル化が可能であると考えられる。

## 【公開資料】

- (1)Iwatsuki, T., Yoshida, H.: Water-rock interaction analysis in relation to geological structure in deep crystalline rock at the Tono area, Japan. Proc. Chemical Coctaminant of Wastes in the Geosphere, 3/4 Sept. 1996, BGS, UK (1996)
- (2)岩月輝希, 吉田英一: 岐阜県東濃地域における深部結晶質岩の地質構造と地下水の地球化学特性. 地球惑星科学関連学会 1997合同大会予稿集, p. 601 (1997)

表1 深部花崗岩における地下水の地球化学特性

| サンプリング地点                      | 表層水   | DH-4   | DH-3   | DH-3   | DH-3   | DH-3   | DH-3   | DH-3   | DH-3  | 単位    |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 深度 (m)                        | 0     | -186   | -208   | -330   | -507.9 | -645.6 | -700   | -790   | -840  | (m)   |
| 変質                            | -     | M.F.Z. | M.F.Z. | M.F.Z. | M.F.Z. | M.F.Z. | M.F.Z. | I.F.Z. | I.Z.  |       |
| pH                            | 6.2   | 6.8    | 9.7    | 8.9    | 9.7    | 9.8    | 9.6    | 9      | 9.3   | (ppm) |
| Si                            | 5.96  | 5.6    | 8.23   | 13.8   | 2.47   | 6.08   | 5.62   | 4.05   | 5.53  | (ppm) |
| Ti                            | <0.01 | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01 | (ppm) |
| Al                            | 0.16  | <0.02  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01 | (ppm) |
| Fe <sup>3+</sup>              | <0.05 | 9.34   | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05 | (ppm) |
| Fe <sup>2+</sup>              | <0.05 | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05  | <0.05 | (ppm) |
| ΣFe                           | 0.2   | 9.34   | <0.02  | 0.06   | 0.03   | 0.03   | 0.02   | <0.02  | <0.02 | (ppm) |
| Mn                            | 0.76  | 0.77   | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.01 | (ppm) |
| Mg <sup>2+</sup>              | 0.18  | 1.88   | 0.14   | 0.12   | 0.03   | 0.03   | 0.03   | 0.19   | 0.05  | (ppm) |
| Ca <sup>2+</sup>              | 1.04  | 17.6   | 16     | 12.2   | 9.6    | 4.22   | 4.09   | 4.68   | 3.72  | (ppm) |
| Sr <sup>2+</sup>              | <0.01 | 0.11   | 0.12   | 0.12   | 0.1    | 0.04   | 0.04   | 0.04   | 0.03  | (ppm) |
| Na <sup>+</sup>               | 12.3  | 13.3   | 8.2    | 11.6   | 19.5   | 39.5   | 36.5   | 36     | 39.5  | (ppm) |
| K <sup>+</sup>                | 10.1  | 6.13   | 3.45   | 0.93   | 1.6    | 1.02   | 1.15   | 1.15   | 0.8   | (ppm) |
| F <sup>-</sup>                | 0.17  | 4.99   | 1.99   | 4.09   | 3.45   | 11.41  | 10.91  | 8.92   | 9.73  | (ppm) |
| Cl <sup>-</sup>               | 1.43  | 2.74   | 2.3    | 3.69   | 4.16   | 3.24   | 3.48   | 3.87   | 3.11  | (ppm) |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | <0.02 | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02 | (ppm) |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | <0.02 | <0.02  | <0.02  | <0.02  | 0.08   | 0.17   | 0.19   | <0.02  | <0.02 | (ppm) |
| Br <sup>-</sup>               | <0.02 | 0.08   | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | 0.04  | (ppm) |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 0.08  | 0.02   | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02  | <0.02 | (ppm) |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 1.37  | 0.09   | 2.27   | 6.66   | 12.7   | 8.32   | 9.1    | 6.84   | 6.21  | (ppm) |
| TC                            | 47.03 | n.m.   | 14     | 11.8   | 20.4   | 13.8   | 15.6   | 19.3   | 14    | (ppm) |
| IC                            | 8.421 | n.m.   | 12     | 9.23   | 7.9    | 10.7   | 13.6   | 16.2   | 13.5  | (ppm) |
| TOC                           | 38.6  | n.m.   | 1.99   | 2.61   | 7.9    | 3.1    | 2.38   | 3.11   | 0.5   | (ppm) |
| NPOC                          | 35.86 | n.m.   | 1.97   | 109    | 10.1   | 2.1    | 2.4    | 3.01   | 4.6   | (ppm) |
| δD                            | -51.7 | -52.5  | -53.7  | -53.6  | n.m.   | n.m.   | n.m.   | n.m.   | -53.2 | (‰)   |
| δ <sup>18</sup> O             | -8.1  | -8     | -8.2   | -8.3   | n.m.   | n.m.   | n.m.   | n.m.   | -8    | (‰)   |
| Tritium                       | n.m.  | 4.6    | n.m.   | n.m.   | n.m.   | n.m.   | n.m.   | n.m.   | n.m.  | (TU)  |

n.m. = 未測定 I.Z. = 未変質部 (intact zone) M.F.Z. = 緑色変質を伴う割れ目帯 (moderately fractured zone)  
 I.F.Z. = 白色変質を伴う割れ目帯 (intensely fractured zone)

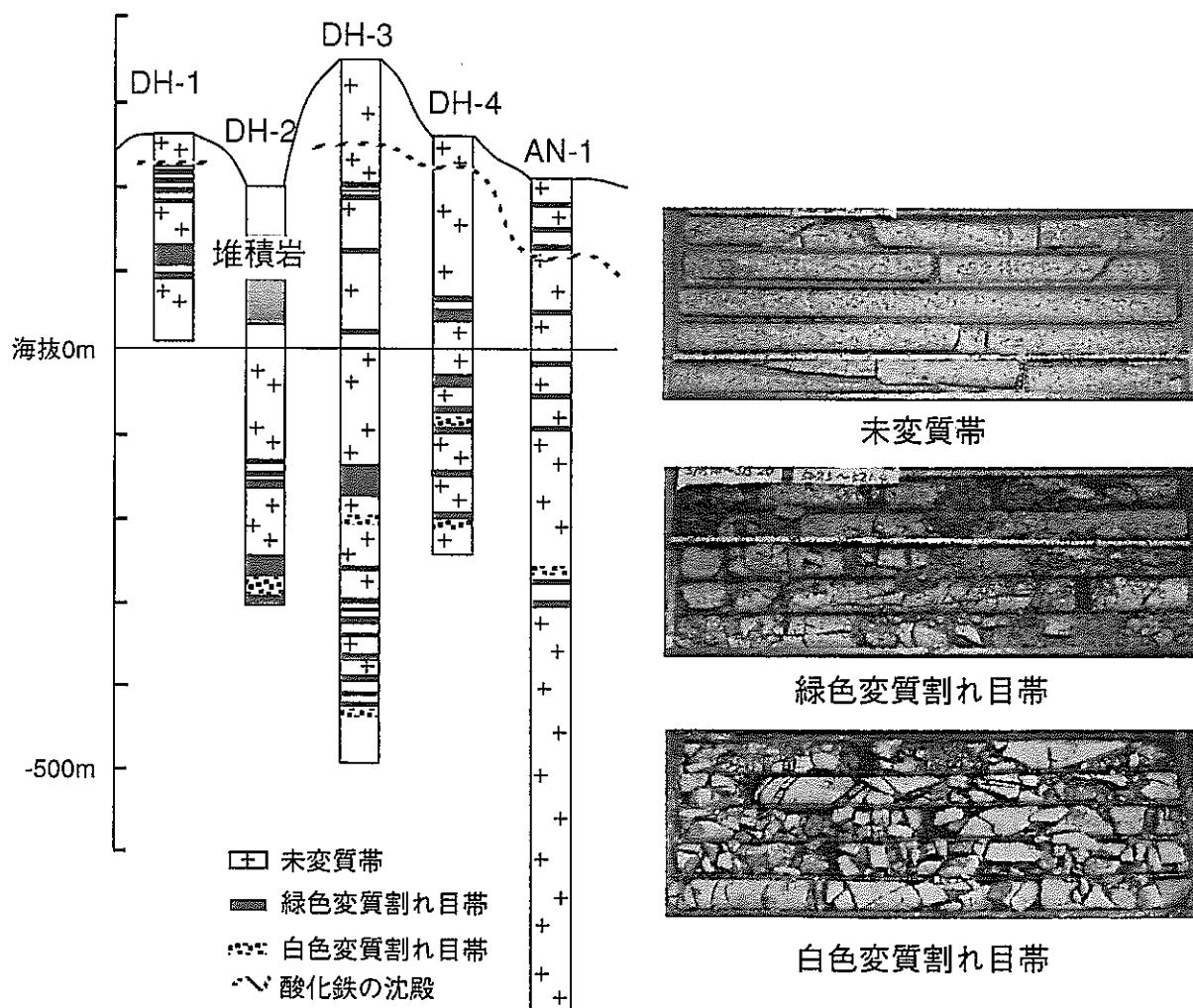


図1 土岐花崗岩の地質構造と岩相

|   |  |                   |  |  |                             |
|---|--|-------------------|--|--|-----------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題  | 天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究  |                   |  |  | 分類番号<br>「地」2 - (13) -       |
| 実施研究課題<br>(Title)   | 天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究<br>(Radionuclide Migration Study on Natural Barriers)  |                   |  |  |                             |
| 実施機関<br>(Organization)  | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation: PNC)  |                   |  |  |                             |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)  | 石川博久(Hirohisa ISHIKAWA), 石黒勝彦(Katsuhiko ISHIGURO), 油井三和(Mikazu YUI), 内田雅大(Masahiro UCHIDA), 畑中耕一郎(Kohichiro HATANAKA), 佐藤治夫(Haruo SATO), 澁谷朝紀(Tomoki SHIBUTANI), 澤田淳(Atsushi SAWADA), 笹本広(Hiroshi SASAMOTO), 館幸男(Yuikio TACHI), 巨真吾(Shingo WATARI), 井尻裕二(Yuji IJIRI), 梅木博之(Hiroyuki UMEKI)*, 大野健治(Kenji AMANO)**, 吉田英一(Hidekazu YOSHIDA)**, 太田久仁雄(Kunio OHTA)**, 東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works), *本社 環境技術開発推進本部 (Radioactive Waste Management Project, Head Office), **東濃地科学センター 地質環境研究室 (Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center) |                   |  |  |                             |
| キーワード<br>Key Word   | 天然バリア<br>natural barrier   | 核種移行<br>migration | 分配係数<br>distribution coefficient         | 拡散係数<br>diffusion coefficient  | 原位置試験<br>in-situ experiment |
| 研究期間  | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込   |                   | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関               | ・The GTS-RRP/MI Project (Nagra)<br>・Aspo Hard Rock Laboratory<br>・水理物質移行研究 (LBL) |                             |
| 関連する<br>解析コード   | 該当なし   |                   | 関連する特別会計<br>実証試験                         | 該当なし   |                             |
| 【成果の達成レベル】<br>モデル・スイスで実施された水理・トレーサ試験を通じて吸着現象を把握し、吸着モデルの妥当性を確認した。<br>・釜石では水理学的に分離した地質構造が明らかとなり、水理モデルへの反映を検討した。<br>・亀裂性媒体も多孔質媒体も場の不均質性を考慮できるようになった。<br>室内・釜石鉱山より採取した岩石中のイオン拡散挙動について、実効拡散係数とイオン電荷および空隙率の関係に関する所期の成果および知見を得た。またイオン交換性のイオンについて岩石の陽イオン交換容量と吸着の関係について知見を得た。<br>・東濃鉱山より採取した凝灰岩の空隙構造因子および核種移行パラメーターに関して所期の成果を得た。<br>・地層処分性能評価上重要と考えられる22元素の花崗閃緑岩および凝灰岩に対する分配係数のうち、11元素の分配係数に関する所期の成果を得た。<br>原位置・結晶質岩中の割れ目におけるマトリックス拡散について現位置試験・調査を行い、核種移行経路(マトリックス拡散の場合)の不均質性の把握、および核種移行パラメーター(拡散深さ、拡散係数)の取得について所期の成果を得た。<br>・結晶質岩中の割れ目において原位置試験を実施し、放射性核種の収着特性や核種移行への影響因子等の知見を得た。   |  |                   |  |  |                             |
| 【進捗状況(平成8年度)】<br>モデル・スイスフィンションサイトやグリムゼルテストサイトで実施された水理・トレーサ試験の解析を実施した。<br>・亀裂性媒体に対しては、ネットワークの不均質性を考慮できる核種移行解析プログラムを開発した。<br>・多孔質媒体に対しては、不均質場中の核種移行経路を抽出するプログラムを開発した。<br>室内・水理パラメータに資するために釜石で地下水データを測定した。<br>・釜石鉱山坑道より採取した岩石中のイオンの拡散試験を実施すると共に、一部のイオンについては継続している。また、各岩石の空隙率、密度、細孔径分布、空隙内比表面積などの核種移行に関するパラメーターを取得した。<br>・東濃鉱山より採取した凝灰岩の空隙構造因子を拡散試験により取得すると共に、核種移行に関するパラメーターを取得した。<br>・Se, Ni, Ra, Pa, Acの花崗岩閃緑岩および凝灰岩への収着挙動に関する研究を行い、収着挙動を把握するとともに、分配係数に関するデータを取りまとめた。また、Cs, Seの拡散実験から得られるみかけの分配係数と、バッチ法による分配係数との整合に関する知見が得られた。<br>原位置・釜石鉱山において、花崗閃緑岩中の透水性割れ目およびその近傍岩盤における核種移行経路の構造と広がり(不均質性)を明らかにするための原位置レジン注入試験、およびウラン系列核種を用いた放射非平衡調査を実施した。<br>・グリムゼルテストサイトにおいて放射性核種の収着サイトおよび核種移行経路の特性を三次元的に明らかにするために花崗閃緑岩中の単一割れ目を対象に収着放射性核種を用いた原位置トレーサ試験および原位置レジン注入試験を実施した。 |  |                   |  |  |                             |
| 【使用主要施設】<br>東海事業所地層処分基盤研究施設, 東濃地科学センター, 釜石事務所, 釜石原位置試験場, Nagra グリムゼル試験サイト   |  |                   |  |  |                             |
| 連絡先   | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                   | [所属] 環境技術開発推進本部 処分研究Gr.<br>[氏名] 主幹 梅木 博之 |  |                             |

## 【研究目的】

天然バリア中での核種移行評価に必要な核種移行データを取得するとともに、天然バリア中の核種移行評価モデルを開発し、地層処分への安全評価に資する。

## 【研究内容】

アクチノイド等の水溶液中における存在状態、溶解、沈殿、吸着等化学的性質に関し、処分環境を模擬した条件下で実験を行う。特に、岩石中の放射性核種の移行を解析するため、分配係数、拡散係数等を測定するとともに、放射性核種が岩石中を移行する際のパラメータ評価とその影響を検討する。

また、釜石、東濃、スウェーデン(HRL)、スイス(グリムゼルトテストサイト)等で実施されている水理、トレーサ試験の解析を行い、解析手法、モデル、パラメータの妥当性について検討する。さらに、天然バリア中の移行経路や吸着サイトなどの地質媒体の不均質性の影響を評価するために、亀裂性媒体、多孔質媒体のそれぞれについて原位置試験や室内試験に基づき、不均質性を表現することが可能な詳細モデルを開発する。

## 【研究成果】

東濃鉍山および釜石鉍山において実施した深部地質環境の科学的研究により、上記の研究内容に対して以下の成果が得られた。また、スウェーデン(HRL)、スイス(GTS)を対象として実施した調査試験の研究成果についても以下のとおりまとめる。

- i) 釜石鉍山における花崗閃緑岩中の透水性割れ目は、割れ目充填物層と変質母岩との境界部に認められる粘土鉱物層が核種移行経路となっている。また、連結空隙のネットワーク(マトリックス拡散の場合)が、母岩に向けて数cmにわたり広がっていることが確認された。この連結空隙の分布は、おもに屈曲度の大きな空隙を有する鉱物の分布に規制されている。また、ウラン系列核種の放射非平衡調査から、マトリックス拡散の深さは10~100mm程度であることが明らかになった(1)。(図1)グリムゼルト岩盤研究所において、原位置の化学的条件を乱さずに放射性トレーサを注入・排出した結果、割れ目充填物に対するTc, Co, Euの収着率は大きく、Seはほとんど収着しないという核種ごとの収着特性が明らかになった(2)(3)。(表1)また、エポキシ系レジンを用いた原位置レジン注入試験から、空隙の形状が放射性核種の遅延を規制する可能性が示された(4)。
- ii) 釜石鉍山坑道より採取した花崗閃緑岩未変質部、変質部、割れ目充填物部について、イオン電荷をパラメータにThrough-diffusion(透過拡散)法により拡散試験を実施した。各岩石について、 $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{HTO}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$ の見掛けの拡散係数および実効拡散係数を取得した。また、これらの各岩石および割れ目破砕帯(タイプC割れ目)より採取した岩石の陽イオン交換容量(CEC)を測定した。さらに、タイプC割れ目より採取した岩石については水中飽和法により空隙率および密度を測定した。その結果、各イオンの実効拡散係数は、割れ目充填物部>変質部>未変質部の順となり各岩石の空隙率に比例した(5)(6)(7)。また、イオン電荷の影響は認められなかった。各岩石のCECの測定では、未変質部および変質部で2meq/100g、割れ目充填物部で17meq/100g、タイプC割れ目より採取した岩石で62meq/100gとなった。この傾向は、イオン交換性の性質を持つCsやSrの分配係数の傾向と一致していた(7)。タイプC割れ目より採取した岩石の空隙率は、平均で $8.6 \pm 0.43\%$ となり、未変質部、変質部、割れ目充填物部と比較して大きい値であった。東濃鉍山より採取した凝灰岩の屈曲度をNaClをトレーサとしてThrough-diffusion法による拡散試験により測定した(8)。また水中飽和法により空隙率および密度、水銀圧入法により空隙率、密度、細孔径分布、空隙内比表面積を測定した。その結果、屈曲度はほぼ花崗閃緑岩と同程度であった。また空隙率は1.33~59.8と広い幅を持っており、岩石の不均一性が認められた(9)。Ni, Raの花崗閃緑岩および凝灰岩への分配係数を取得し、Ni, Raの分配係数が、共に、イオン強度およびpHに依存することが分かった。これらの挙動については、イオン交換および表面錯体モデルを用いることによって評価することが可能であることが分かった。また、Seの凝灰岩への収着実験を行い、分配係数が、pHに依存することが分かった。さらに、還元環境下でのPa, Acの花崗閃緑岩および凝灰岩に対する分配係数を取得し、Pa, Acの分配係数が温度に依存しないことが観察された。これらの分配係数は収着データベース中への登録を行った。また、Cs, Se花崗閃緑岩中の拡散実験および収着実験から、これらの実験方法によって、分配係数値が大きく異なることが示された。
- iii) 釜石原位置トレーサ試験予定エリアにおいて地下水データ(水圧分布、試験孔掘削による地下水応答、流量検層等)を測定し、亀裂性岩盤における水理地質構造を把握した。その結果、水理的に連続性の乏しいコンパートメント構造(分離構造)の存在が明らかとなり(図2)、このような水理地質構造をモデルへ反映していくことの必要性について検討した。また、昨年度に引き続きスイスグリムゼルトテストサイトの破砕帯中におけるトレーサ試験結果のシミュレーションを実施した。その結果、Naは線型の平衡論モデルで、Sr, Rbはフレンドリッヒ型の速度論モデルで評価できる一方、Csは非可逆型の速度論モデルでなければ評価しにくいことが明らかとなった。
- iv) 亀裂性媒体に関しては、核種移行経路である亀裂ネットワーク中の水理・物質移行パラメータの不均質性や分岐・合流等に起因したメカニカルな分散効果を考慮する必要性からネットワーク上で核種移行を解析できるラプラス変換有限要素法を用いた解析プログラムを開発した。プログラムは、計算容量や計算時間の都合上、亀裂ネットワークをパイプネットワークに変換する必要があるため、亀裂ネットワークからパイプネットワークへの変換プログラムも同時に開発した。多孔質媒体に関しては、不均質場における水理解析の解の精度を向上させるためのプログラムの改良、核種移行経路抽出プログラムの出力情報の整理、核種移行経路上の核種移行解析プログラムの解の精度向上を行った。

## 【公開資料】

- (1) Ota, K., Amano, K., Sato, H., Shibutani, T. and Tachi, Y.: In situ matrix diffusion in fractured crystalline rock, Knaishi In Situ Test Site, north-east Japan Abst. Migration' 97 (1997, in press).
- (2) Alexander, W. R., Ota, K., Frieg, B. and Mckinley, I. G.: The assessment of radionuclide retardation in fractured crystalline rocks. Proc. 21st Int. Symp. Sci. Basis Nucl. Waste Manag., MRS(1997, in press).
- (3) Alexander, W. R., Mckinley, I. G., Frick, U. and Ota, K.: The Grimsel field tracer migration experiment—What have we achieved after a decade of intensive work? Proc. GEOTRAP-FITE, OECD/NEA, Paris (1996, in press).
- (4) Alexander, W. R., Frieg, B., Ota, K. and Bossart, P.: The RRP Project: Investigating radionuclide retardation in the host rock. Nagra Bulletin No. 27(June, 1996), Nagra, Wettingen, Switzerland, pp. 43-55(1996).
- (5) 佐藤治夫, 館幸男, 渋谷朝紀, 油井三和: 物質移行経路を考慮した核種の拡散挙動, 日本原子力学会1997年春の年会, L12, 561(1997).
- (6) Sato, Haruo, Shibutani, Tomoki, Tachi, Yuikio, Ota, Kunio, Amano, Kenji, Yui Mikazu: Diffusion Behaviour of Nuclides Considering Pathways in Fractured Crystalline Rocks, MIGRATION' 97(to be presented).
- (7) Sato, Haruo, Shibutani, Tomoki, Tachi, Yukio, Ota, Kunio, Amano, Kenji, Yui Mikazu: Diffusion Behaviour of Nuclides Considering Pathways in Fractured Crystalline Rocks, PNC Technical Report, PNC TN 8410 97-127
- (8) Sato, Haruo: Through-diffusion Experiments on NaCl through Tuff—Measurement of Tortuosity —, PNC Technical Report, PNC TN 8410 96-111(1996).
- (9) Sato, Haruo: Porosity, Density and Pore-size Distribution on Tuff—Measurements by a Water Saturation Method and Mercury Porosimetry —, PNC Technical Report, PNC TN 8410 96-190(1996).
- (10) 動燃事業団: 地層処分研究開発の現状(平成8年度), PNC TN 96-071

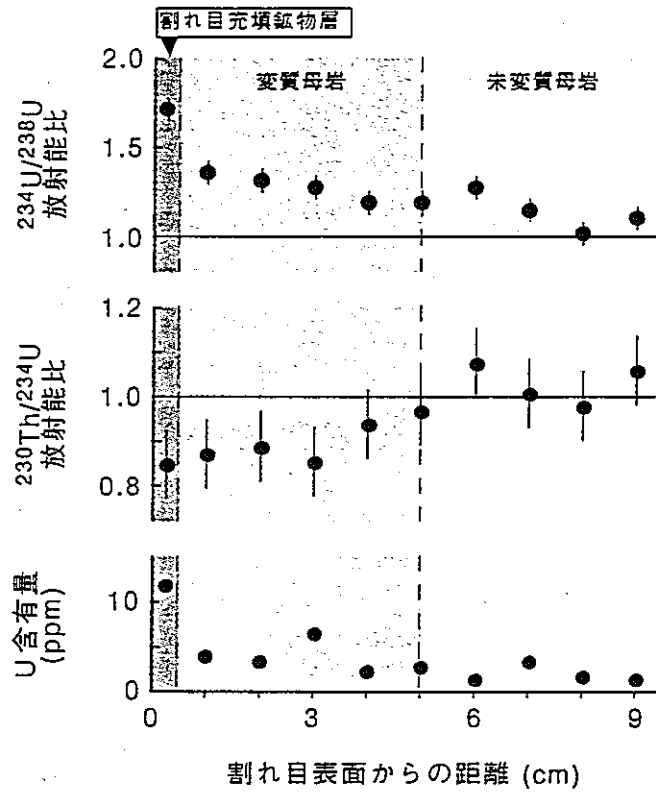


図1 割れ目近傍におけるU-238の分布

表1 グリムテストサイトにおけるトレーサ試験の結果

Table 1. Estimated Activity Inventory.

| Radionuclide      | Injection Activity (MBq) | Approximate Activity Passed Through The Flow-Field (MBq) | Approximate Activity Remaining In The Rock (MBq) |
|-------------------|--------------------------|--|--|
| <sup>60</sup> Co  | 2.030 ± 0.050            | 0.355  | 1.675  |
| <sup>75</sup> Se  | 6.610* ± 0.200           | 6.251  | 0.105**  |
| <sup>99</sup> Tc  | 2.4 x 10 <sup>-5</sup>   | not detected   | < 2.4 x 10 <sup>-5</sup>                         |
| <sup>113</sup> Sn | 1.213* ± 0.100           | 0.068  | 0.322**  |
| <sup>152</sup> Eu | 0.296 ± 0.010            | 0.059  | 0.237  |
| <sup>234</sup> U  | 0.600 ± 0.040            | 0.315  | 0.285  |
| <sup>235</sup> U  | 0.01542 ± 0.00100        | 0.00808  | 0.00734  |
| <sup>237</sup> Np | 0.580 ± 0.050            | 0.147  | 0.433  |

Comments : \* = decay corrected on injection date, \*\* = decay corrected until 9 April 1997

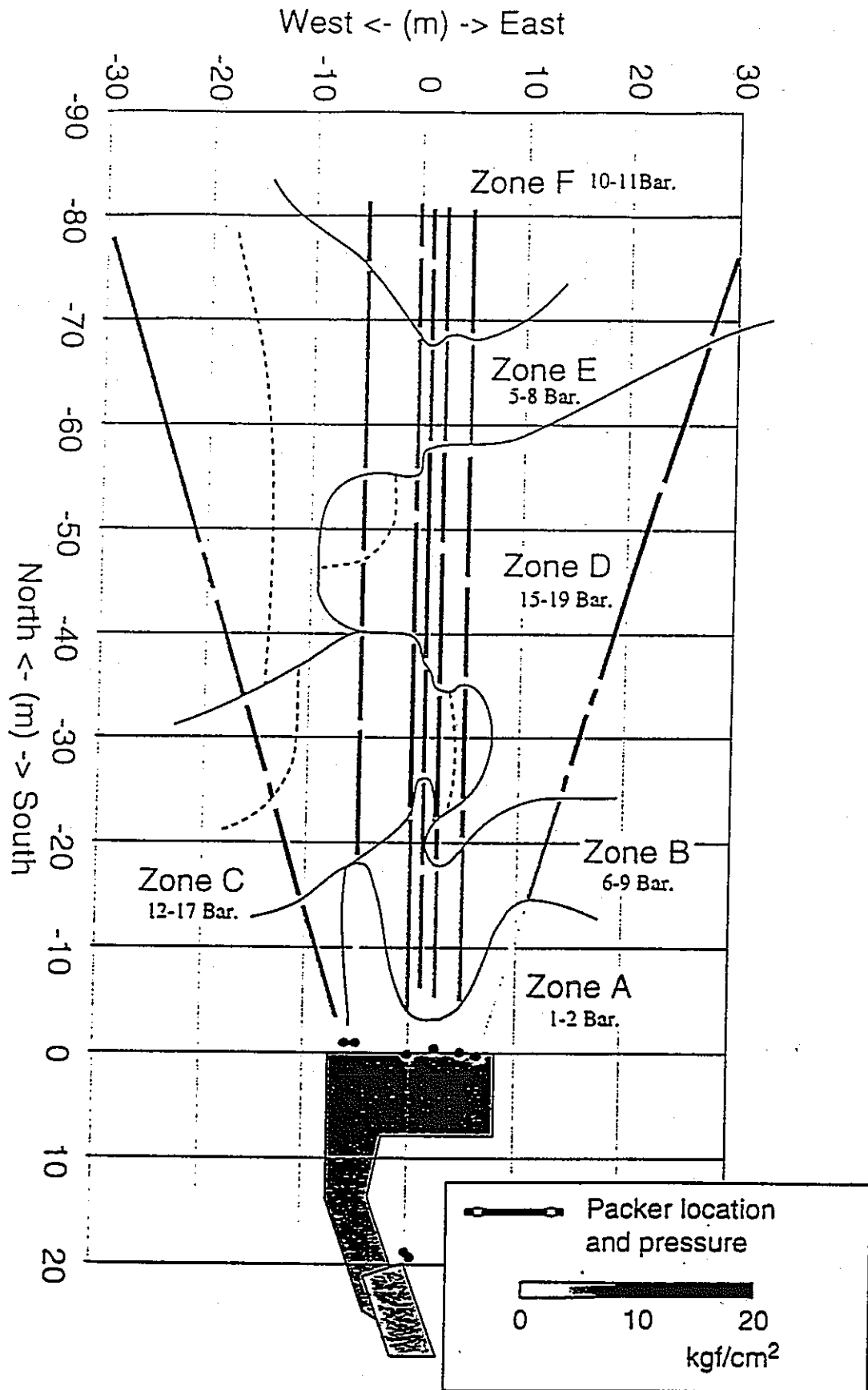


図2 釜石原位置トレーサー試験予定エリアにおいて観測された水理的分離構造



|   |  |                          |  |   |                             |
|---|--|--------------------------|--|---|-----------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題  | 天然バリアのナチュラルアナログ研究  |                          |  |   | 分類番号<br>「地」2. - (14) -      |
| 実施研究課題<br>(Title)   | 天然バリアのナチュラルアナログ研究<br>(Natural Analogue Study of Natural Barrier)   |                          |  |   |                             |
| 実施機関<br>(Organization)  | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)   |                          |  |   |                             |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)  | 新城則子 (Noriko SHINJO), 吉田英一 (Hidekazu YOSHIDA), 太田久仁雄 (Kunio OTA),<br>濱 克宏 (Katsuhiko HAMA), 若月輝希 (Teruki IWATSUKI), 花室孝広 (Takahiro HANAMURO)<br>東濃地科学センター 地質環境研究室<br>(Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center) |                          |  |   |                             |
| キーワード<br>Key Word   | ナチュラルアナログ<br>natural analogue  | 天然バリア<br>natural barrier | ウラン系列核種<br>U-series nuclide                  | 核種移行<br>nuclide migration                           | 希土類元素<br>rare earth element |
| 研究期間  | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込   |                          | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関                   | 東濃ナチュラルアナログ研究<br>日本原子力研究所,<br>Nagra(スイス), CEA(フランス) |                             |
| 関連する<br>解析コード   | 該当せず   |                          | 関連する特別会計<br>実証試験                             | 該当せず  |                             |
| 【成果の達成レベル】  |  |                          |  |   |                             |
| <p>イ. 東濃ウラン鉱床等における研究<br/>東濃ウラン鉱床の岩石および地下水試料を用いた地球化学的調査を実施し、断層における核種移行および地下水中の有機物の核種に対する吸着特性に関する知見を得た。また、地層中における核種移行モデルの構築のための検討を行い、核種移行のモデル化について見通しが得られた。</p> <p>ロ. 東濃ウラン鉱床における希土類元素の分布に関する研究<br/>東濃ウラン鉱床の岩石試料を対象に、希土類元素の定量および濃度分布の解析を行い、変質花崗岩における希土類元素の分布について所期の成果を得た。</p>   |  |                          |  |   |                             |
| 【進捗状況 (平成8年度)】  |  |                          |  |   |                             |
| <p>イ. 東濃ウラン鉱床等における研究<br/>東濃ウラン鉱床を横切る断層周辺の岩石試料を対象とした、ウラン系列核種の移行挙動の調査、および同鉱床内の試錐孔より得られる地下水中のコロイド・有機物に関する調査を実施した。また、地層中における核種移行のモデル化を行うための計算コードの作成について、一部作業を実施した。</p> <p>ロ. 東濃ウラン鉱床における希土類元素の分布に関する研究<br/>東濃ウラン鉱床の岩石試料を対象に、希土類元素の定量および濃度分布の解析を実施し、研究成果の取りまとめを行った (平成8年度に終了)。</p> |  |                          |  |   |                             |
| 【使用主要施設】  |  |                          |  |   |                             |
| 東濃地科学センター、東濃鉱山  |  |                          |  |   |                             |
| 連絡先   | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                          | (所 属) 環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ<br>(氏 名) 主幹 山崎真一 |   |                             |

## 【研究目的】

高レベル放射性廃棄物の地層処分により生じると想定される現象と類似した天然現象を抽出し、地層・地下水・核種の挙動、状態を明らかにすることにより、天然バリアの核種移行遅延機能を評価し、地層処分の安全評価に資する。

## 【研究内容】

## イ. 東濃ウラン鉱床等における研究

東濃ウラン鉱床などから採取した岩石・鉱物試料を用いて、移行経路/鉱物相の観察・調査や放射非平衡調査などの地質学的/地球化学的調査を行うとともに、東濃ウラン鉱床などから採取した岩石/地下水試料を用いた室内試験による定量的データの取得、および核種移行の評価(モデル解析)を行う。また、東濃ウラン鉱床内などに掘削された坑道の周辺におけるウラン系列核種の移行挙動に関する調査・試験を行うとともに、東濃ウラン鉱床内などの掘削された試錐孔から得られる地下水中のコロイド・有機物に関する調査・研究を行う。

## ロ. 東濃ウラン鉱床の岩石試料を用いた希土類元素等の存在量の測定と濃度分布の解析を行う(原研との共同研究)。

## 【研究成果】

東濃ウラン鉱床を対象として実施した深部地質環境の科学的研究により、上記の研究内容に関して以下の成果が得られた。

## イ. 東濃ウラン鉱床等における研究

- ・東濃ウラン鉱床を横切る断層周辺から採取した岩石試料を対象にウラン系列核種の移行挙動の調査を行った結果(図1)、断層内を充填する断層粘土では、過去100万年にわたりウランの濃集・溶脱といった化学反応が起きていないと考えられることから、断層粘土は長期にわたり核種を保持する能力を有していることが明らかになった<sup>(1)</sup>。
- ・東濃ウラン鉱床内の試錐孔より得られる地下水中のコロイド・有機物に関する調査を行った結果、花崗岩の地下水中のフミン酸・フルボ酸は堆積岩の地下水中のフミン酸・フルボ酸と比較して約5~30倍の鉄、マンガン、ニッケル、ウランを吸着していることがわかった(表1)。これは、花崗岩・堆積岩中の地下水の地球化学的特性(pH, Ehなど)の違いによるものと考えられる。
- ・地層中におけるウラン系列核種の移行挙動をモデル化するための計算コードSANTA-NDSについて、一部作業を実施し、地層中のウラン系列核種の移行挙動の概念モデルを提示した<sup>(2)</sup>。

## ロ. 東濃ウラン鉱床における希土類元素の分布に関する研究

東濃ウラン鉱床の岩石試料を対象に、希土類元素の濃度分布について調査を行った結果、希土類元素とウランの間には相関は認められず、これらの元素は互いに異なる分布を持つことがわかった。また、変質度の異なる花崗岩を対象に希土類元素を定量した結果、変質によって軽希土が重希土よりも濃集する傾向にあることが分かった<sup>(3)</sup>。変質している花崗岩中には軽希土を含む炭酸塩鉱物(LREE)(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F, Ca(LREE)<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F<sub>2</sub>が観察されることから(図2)、地下水中に含まれている軽希土がカルシウムとともに炭酸塩鉱物として析出することが考えられる。したがって、アメリカウムやキュリウムなどのアナログ元素として考えられている軽希土の移行は、それらの核種を含む二次鉱物の生成により遅延される可能性が示された。

## 【公開資料】

- (1) 新城則子, 太田久仁雄, 吉田英一: 東濃ウラン鉱床における断層周辺の物質移行研究, 断層におけるウランの移行について. 地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集, p. 599 (1997)
- (2) McKie, D., Maeder, U., Alexander, W.R., McKinley, I.G., Yoshida, H., Ota, K.: Development of a mechanistic model to interpret natural series disequilibrium data. Proc. 7th NAWG meeting, 28-30 Oct. 1996, Stein am Rhein, Switzerland (1996)
- (3) 飯田芳久, 関根敬一, 大貫敏彦, 柳瀬信之, 磯部博志, 大友潤一, 瀬尾俊弘, 吉田英一: 東濃ウラン鉱床における希土類元素の分布と挙動(II). 日本原子力学会1997年春の年会予稿集, p. 553 (1997)
- (4) Ota, K., Hanamuro, T.: Tono Natural Analogue Programme, Technical Note 96-01, (1996)
- (5) 新城則子, 太田久仁雄, 吉田英一: 東濃ウラン鉱床における断層周辺の物質移行研究, ウランの分布と移行経路について. 日本原子力学会中部支部第28回研究発表会講演予稿集, p. 33 (1996)
- (6) 花室孝広, 吉田英一: 東濃地域の花崗岩を利用した物質のマトリックス拡散に関する研究. 地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集, p. 665 (1996)
- (7) 吉田英一: ウラン鉱床を利用したナチュラルアナログ研究. 第2回 NUCFセミナー講演報文集, pp. 11-12 (1996)
- (8) 吉田英一: ナチュラルアナログの再考. 放射性廃棄物研究, 2, pp. 93-103 (1996)
- (9) 吉田英一, 花室孝広: The Tono natural analogue study program. 地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集, p. 674 (1996)

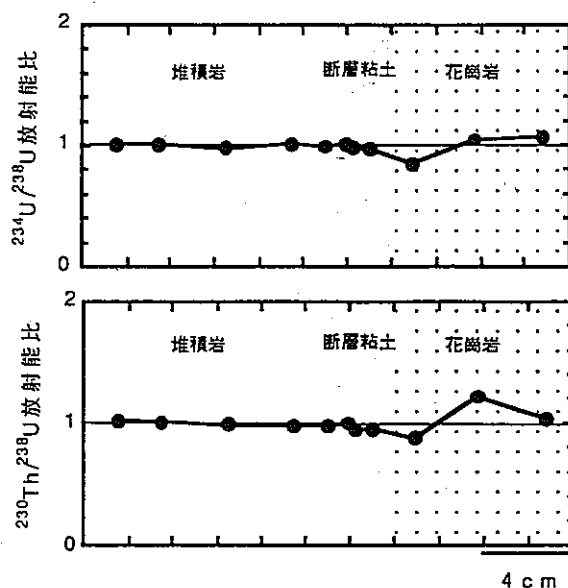


図1 断層周辺から採取した岩石試料の  
ウラン系列核種の放射非平衡調査結果

表1 地下水中の有機物の微量元素含有量  
(東濃鉱山KNA-6号孔)

|                  | 花崗岩    |         | 堆積岩     |         |
|------------------|--------|---------|---------|---------|
| pH               | 8.3    |         | 9.6     |         |
| Eh(mV)           | 0      |         | -300    |         |
| EC( $\mu$ S/cm)  | 177    |         | 185     |         |
| フミン酸( $\mu$ g/l) | 1.11   |         | 4.89    |         |
| フルボ酸( $\mu$ g/l) | 2.95   |         | 14.9    |         |
|                  | フミン酸   | フルボ酸    | フミン酸    | フルボ酸    |
| Fe(wt%)          | 1.15   | 0.14    | 0.038   | 0.007   |
| Mn(wt%)          | 0.0015 | 0.0015  | 0.00029 | 0.0003  |
| Ni(wt%)          | 0.016  | 0.0005  | 0.0008  | 0.0002  |
| U(wt%)           | 0.0042 | <0.0001 | 0.00069 | <0.0001 |

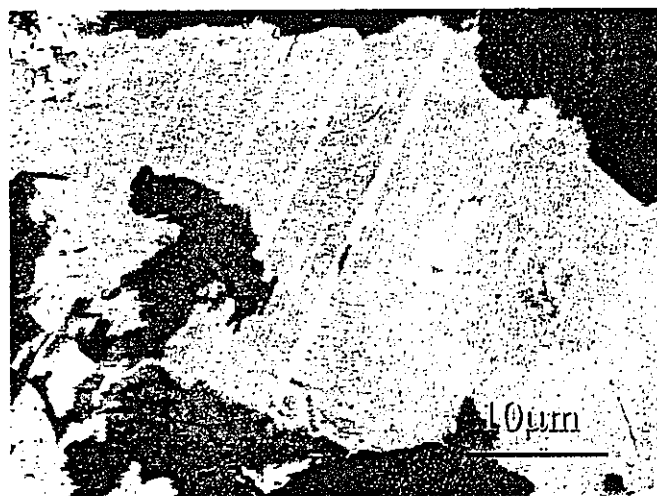


図2 変質花崗岩中に観察される軽希土含有炭酸塩鉱物の顕微鏡写真  
Bastanesite ((LREE)(CO<sub>3</sub>)F) : 明色部  
Parisite (Ca(LREE)<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>F<sub>2</sub>): 暗色部

|  |   |                            |                       |                        |
|--|---|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 地質環境の適性評価手法に関する研究   |                            |                       | 分類番号<br>「地」2. - (15) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 地質環境の適性評価手法に関する研究<br>(Study on the Methodology for the Assessment of Geological Environment)  |                            |                       |                        |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)  |                            |                       |                        |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 長谷川 健 (Ken HASEGAWA), 吉田英一 (Hidekazu YOSHIDA) 東濃地科学センター 地質環境研究室<br>(Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center)<br>仙波 毅 (Takeshi SENBA) 釜石事務所 (Kamaishi Office)<br>志賀貴宏 (Takahiro SHIGA) 東濃地科学センター 超深地層研究所計画室<br>(URL Planning Section, Tono Geoscience Center)<br>中野勝志 (Katsushi NAKANO) 東濃地科学センター 技術開発課<br>(Geotechnics Development Section, Tono Geoscience Center) |                            |                       |                        |
| キーワード  | 地質環境  | データベース                     | 適性                    |                        |
| Key Word   | geological environment  | data base                  | suitability           |                        |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込  | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | 該当せず                  |                        |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず  | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず                  |                        |
| 【成果の達成レベル】   |   |                            |                       |                        |
| <p>イ. 地下深部の地質環境に関するデータの収集<br/>東濃地域および釜石鉾山における調査研究を継続し、地下深部の地質、地質構造、水理、地下水水質および岩盤物性などに関するデータの収集について所期の成果を得た。</p> <p>ロ. 地質環境データベースシステムの拡張・整備<br/>地下深部の地質環境に関する情報を機能的に管理し、効率的な解析・評価を行うためのデータベースの拡張・整備について所期の成果を得た。</p> <p>ハ. 地質環境の適性評価に関する解析手法の適用評価<br/>地質環境データおよび各種調査技術の内容と適応性について検討を開始し、地質環境の適性評価のための現有の調査・解析手法の妥当性の確認について見直しを得た。</p> |   |                            |                       |                        |
| 【進捗状況 (平成8年度)】   |   |                            |                       |                        |
| <p>イ. 地下深部の地質環境に関するデータの収集<br/>東濃鉾山での調査研究、東濃地域を対象とした広域地下水流動研究および釜石鉾山原位置試験研究などを継続し、地質環境に関するデータの収集を継続した。</p> <p>ロ. 地質環境データベースシステムの拡張・整備<br/>東濃鉾山、東濃地域および釜石鉾山における調査研究により、これまでに取得された地下深部の地質環境に関する情報や試験研究の成果を一元的に管理するデータベースの整備を行った。</p> <p>ハ. 地質環境の適性評価に関する解析手法の適用評価<br/>地質環境データおよび各種調査技術の内容について検討を開始した。</p>                               |   |                            |                       |                        |
| 【使用主要施設】   |   |                            |                       |                        |
| 東濃地科学センター、東濃鉾山、釜石鉾山  |   |                            |                       |                        |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団   | (所 属)                      | 環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ |                        |
|  |   | (氏 名)                      | 主幹 山崎真一               |                        |

## 【研究目的】

地質環境の関する実証的データを整備するとともに、地質環境の適性を評価する解析手法の適用評価を行い、地層処分安全評価に資する。

## 【研究内容】

- イ. 地下深部の地質環境に関するデータの収集  
地下深部の地層の状況を把握するために、現地における各種データを地質調査、地下水調査、試錐調査、岩盤物性調査、物理調査、リモートセンシング調査などにより取得する。
- ロ. 地質環境データベースシステムの拡張・整備  
我が国の地質環境に関する各種データを機能的に管理し、効率的な解析・評価を行うための広範なデータベースを拡張・整備する。
- ハ. 地質環境の適性評価に関する解析手法の適用評価  
各種の地質環境に適合した調査技術と解析手法を検討し、地質環境の適性を評価する際の調査・解析手法の妥当性を確認する。

## 【研究成果】

東濃地域および釜石鉱山などにおいて実施した深部地質環境の科学的研究により、上記の研究内容に関して以下の成果が得られた。

- イ. 地下深部の地質環境に関するデータの収集  
東濃鉱山および周辺における各種の調査研究によって、地下深部の地質構造、水理学的特性、地下水の地球化学的特性、および岩盤の力学的特性などについての知見が得られつつある。例えば、東濃地域における地下深部の堆積岩中は強還元状態にあり、さらに地下深部の基盤花崗岩中においては、地下水の性質が割れ目などの地質構造や充填鉱物などの種類と密接に係わっており、上部の堆積岩ほど強還元状態ではないことなどが示された<sup>(1)</sup>。地下水流動に関しては、東濃鉱山周辺の数百メートル範囲においては、月吉断層などの地質構造が流動特性が支配していることが確認された。  
また、釜石原位置試験研究によって、深部結晶質岩中の割れ目や断層などによって特徴づけられる地質構造の特性が明らかになり<sup>(2,3)</sup>、地下水の水質や割れ目中の物質移行現象に関するデータが蓄積された<sup>(4,5)</sup>。
- ロ. 地質環境データベースシステムの拡張・整備  
イ. で収集した地質環境に関するデータについて機能的に管理し、効率的な解析・評価を行うための広範なデータベースの整備と拡張および既存データの登録を開始した。同データベースの整備は、地熱フィールドで取得されるデータを管理するために開発されたデータベースマネジメントシステムであるGEOBASEを用いて行った。
- ハ. 地質環境の適性評価に関する解析手法の適用評価  
地質環境に関して取得した実証的データについて、地層処分研究において必要なデータセットや内容などとの整合性の確認と品質保証に関する検討作業を開始した。また、サイトを特定せずに、地下深部における各種の地質環境特性（地質、地下水化学、水理など）を調査するために必要な調査技術について、現有技術の種類や適用範囲についての確認作業を合わせて開始し、地質環境の調査・解析手法の妥当性を確認するための作業フローを作成した。

## 【公開資料】

- (1)Iwatsuki, T., Yoshida, H.: Water-rock interaction analysis in relation to geological structure in deep crystalline rock at the Tono area, Japan. Proc. Chemical Containment of Wastes in the Geosphere, 3/4 Sept. 1996, BGS, UK (1996)
- (2)天野健治, 吉田英一: 結晶質岩中の物質移行経路としての割れ目構造解析. 日本原子力学会1996年春の年会要旨集, p. 659 (1996)
- (3)Suzuki, K., Yoshida, H., Amano, K., Yogo, S.: CHIME dating of monazite from pelitic hornfels of the Kurihashi granodiorite, Kitakami Mountains. J. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ. 43, pp. 17-26 (1996)
- (4)笹本 広, 瀬尾俊弘, 油井三和, 佐々木康雄: 釜石鉱山における地下水の地球化学的研究(1). 動燃技術報告書, PNC TN 8410 96-203 (1996)
- (5)Ota, K., Amano, K., Sato, H., Shibutani, T., Tachi, Y.: In situ matrix diffusion in fractured crystalline rock, Kamaishi In Situ Test Site, north-east Japan. Abst. Migration'97, Sendai, Japan (1997, in press)

|  |  |                          |  |                           |                        |
|--|--|--------------------------|--|---------------------------|------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 地震動が地質環境特性に与える影響に関する研究   |                          |  |                           | 分類番号<br>「地」2. - (16) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 地震動が地質環境特性に与える影響に関する研究<br>(Study on the Seismic Effect on Geological Environment)  |                          |  |                           |                        |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)   |                          |  |                           |                        |
| 研究者名及び所属<br>(Name /<br>Affiliation)  | 湯佐泰久 (Yasuhisa YUSA), 中司 昇 (Noboru NAKATSUKA), 石丸恒存 (Tsuneari ISHIMARU)<br>東濃地科学センター 地質安定性研究室 (Neotectonics Research Section, Tono Geoscience Center)<br>青木和弘 (Kazuhiro AOKI), 川村 淳 (Makoto KAWAMURA)<br>釜石事務所 (Kamaishi Office) |                          |  |                           |                        |
| キーワード<br>Key Word  | 地震<br>seismicity   | 地震動<br>earthquake motion | 地質環境<br>geological environment               | 地下水流動<br>groundwater flow |                        |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込   |                          | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関                   | 該当せず                      |                        |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず   |                          | 関連する特別会計<br>実証試験                             | 該当せず                      |                        |
| 【成果の達成レベル】<br>イ. 地震動の観測<br>釜石鉾山(花崗岩)において地震観測を継続し、所期の成果を得た。花崗岩以外の岩盤での地震観測は未着手である。<br>ロ. 地震動の地下低減特性の特徴把握およびモデル化<br>地下深部から地表部にかけての地震動特性に関する解析を行い、地下深部における地震の最大加速度の低減特性に関し<br>て所期の成果を得た。<br>ハ. 地下水流動・性質の観測および評価手法の検討<br>釜石鉾山における地下水の水圧の連続観測および水質分析などを行い、地下水に対する地震の影響に関して所期の成果<br>を得た。  |  |                          |  |                           |                        |
| 【進捗状況(平成8年度)】<br>イ. 地震動の観測<br>地震計(東西、南北、鉛直方向の3成分加速度計)を地表部から深度約650m間の標高の異なる4レベルの坑道内に設置<br>し、地震観測を継続した。また、岩盤歪み計(レーザー干渉型、差動トランス併設型の石英管伸縮計方式)を標高550m<br>(地表下約300m)の坑道奥に移設した。<br>ロ. 地震動の地下低減特性の特徴把握およびモデル化<br>収集された観測データについて、地表下約600mの観測点を基準とした場合の地表下約300m、地表下約140m、地表部の各<br>観測点における加速度振幅の増幅率を検討した。また、全体の傾向から外れるものについても検討を行った。<br>ハ. 地下水流動・性質の観測および評価手法の検討<br>標高550mの3本の試錐孔の孔口部分に圧力センサーを設置して地下水の水圧観測を継続し、地震に伴う水圧の変化様式<br>について検討した。また、坑道壁面からの湧水について、湧水量、電気伝導度、pHの連続測定および水質分析を継続した。 |  |                          |  |                           |                        |
| 【使用主要施設】<br>釜石鉾山   |  |                          |  |                           |                        |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                          | (所 属) 環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ<br>(氏 名) 主幹 山崎真一 |                           |                        |

## 【研究目的】

地震動の地下低減特性及び地震動による地下水の流動及び性質の変化のメカニズム等を把握するとともに、地下深部の地震特性を一般化したモデルを開発し、地層処分の長期的な安全性を評価することに資する。

## 【研究内容】

地震動が地質環境特性に与える影響を評価するために、以下の研究を実施する。

- イ. 地震動の観測  
花崗岩盤の地表・地下において、地震動の継続観測を実施する。さらに、花崗岩以外の岩盤について地震動特性を把握するための観測を行う。
- ロ. 地震動の地下低減特性の特徴把握およびモデル化  
震央距離、震央位置（入射角）、マグニチュード、加速度振幅（水平／上下方向）等に対して、地形が地震動に及ぼす影響を把握する。また、作成した速度構造モデルを用いて、地震動の地下低減特性を一般化するために理論解析を実施するとともに、実測値と比較し、モデルの改良を行う。
- ハ. 地下水流動・性質の観測および評価手法の検討  
地下水流動やその性質が地震動により、変化する幅・期間等のデータを継続収集する。また、上記観測により、地震動が地下水流動・性質に及ぼす影響を定量的に把握し、その評価方法につき検討する。

## 【研究成果】

釜石鉱山において実施した深部地質環境の科学的研究により、上記の研究内容に関して以下の知見が得られた。

- イ. 地震動の観測  
釜石鉱山において平成8年1月から12月までの1年間に、58回（No. 250～No. 307）の地震が観測された。観測された58回のうち、マグニチュードが最大の地震は、2月17日に福島県沖で発生した地震と12月22日に北海道西方沖で発生した地震で、 $M=6.6$ であった。また、加速度振幅が最大の地震は、岩手県川井村小国で観測された地震（ $M=4.4$ ）で、K-1点（地表部）で57galである。また、K-1点で10galを超える地震は4回観測された。
- ロ. 地震動の地下低減特性の特徴把握およびモデル化  
地下約140mの地震の最大加速度振幅は、これまでに観測された地震動の地下低減特性と同様の傾向が認められた。また、地下の加速度振幅の増幅、低減特性（ $X, Y, Z$ ）に関して、全体の傾向から外れるもの（図1中、No. 270、No. 151）について検討を行った。その結果、3成分（ $X, Y, Z$ ）の合成波形（合力）あるいは地震動の実効値（エネルギーの総和）で比較した場合には、全体の傾向と整合的であり、地震動の地下低減特性の特徴が把握できた。
- ハ. 地下水流動・性質の観測および評価手法の検討  
地震による地下水流動・水質の変化について、観測を継続した結果、以下の知見が新たに得られた。
  - ・地下300m以深での水圧観測の結果、降雨量の変化に対応して水圧は1.0kgf/cm<sup>2</sup>程度の季節変化を示した。また、これまでに観測された地震に伴う水圧の変動幅は、年間の季節変化に伴う水圧の変動幅よりも小さいことが分かった。
  - ・地震が観測された際に水圧の変化が認められたものについては、Dobrovolskyらによる地震のマグニチュードと震央距離から計算される理論的な地殻歪み量（ $\varepsilon$ ：体積歪みの最大値）が $10^{-8}$ よりも大きく（図2）、とくにKWP-2孔での地震に伴う水圧の変化幅（絶対値）は、Dobrovolskyらによる地殻歪み量に対して正の相関を示す<sup>(1)(2)</sup>（図3）ことが明らかになった。
  - ・地震の発震機構に基づく検討の結果、釜石鉱山が主圧縮応力軸（P軸）方向に位置する地震の場合、水圧が変化しにくい傾向が認められた。
  - ・地震前後の地下水分析を9件実施した結果、地震に起因すると断定できる変化は認められなかった。

## 【公開資料】

- (1) Ishimaru, K., Shimizu, I.: Groundwater pressure changes associated with earthquakes at the Kamaishi Mine, Japan - A study for stability of geological environment in Japan-. Proc. 30th International Geological Congress, 24, pp. 31-41 (1997)
- (2) 石丸恒存：地質環境の長期安定性に関する研究，－地震が地下水の水理に与える影響－，動燃技報第102号（1997，印刷中）

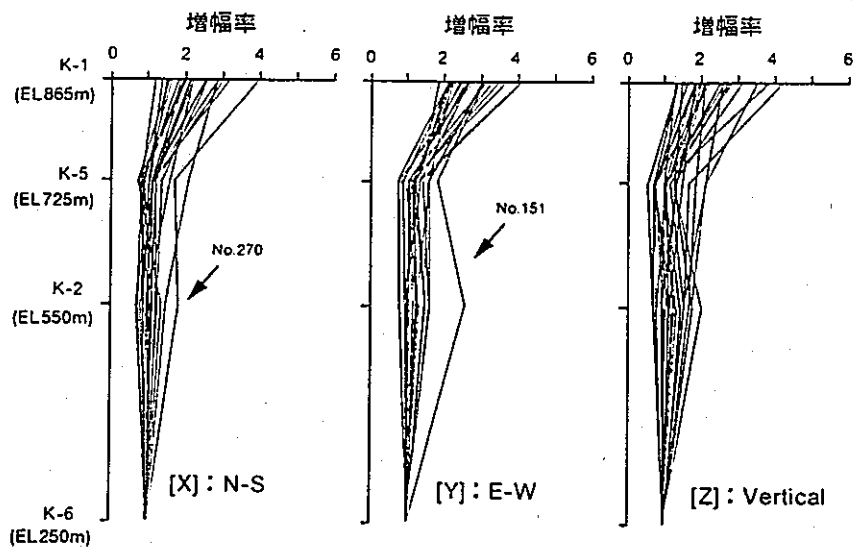


図1 K-6を基準とした場合の最大加速度振幅の増幅率

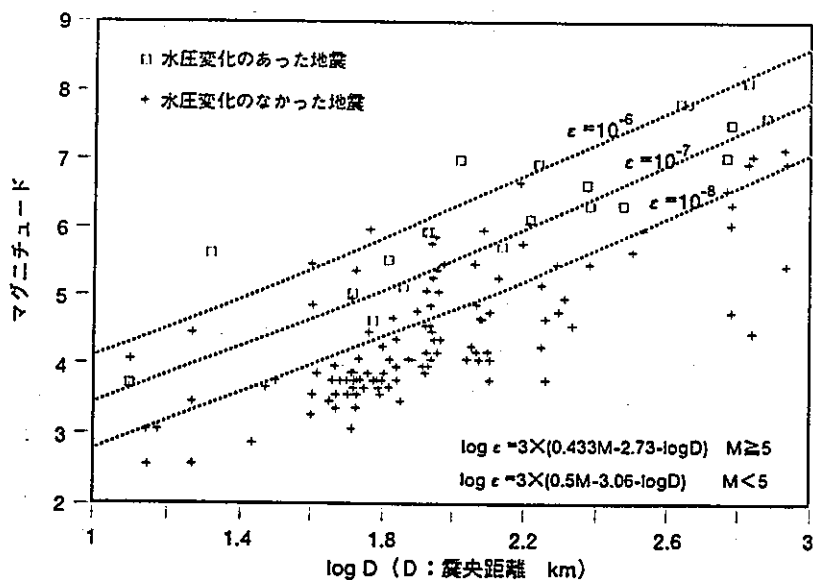


図2 水圧変化の有無と地殻歪み ( $\epsilon$ ) との関係

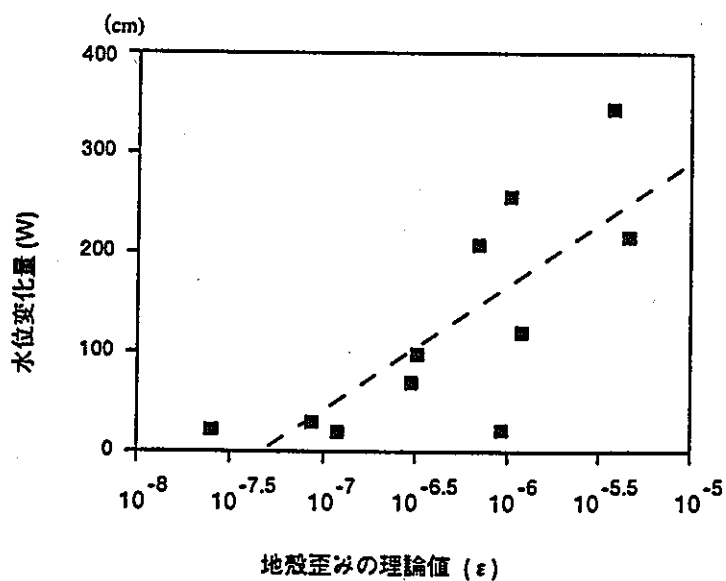


図3 水位変化量と地殻歪み ( $\epsilon$ ) との関係

■ : KWP-2孔のデータ



|   |   |                          |                            |                             |                        |
|---|---|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題  | 人工バリアとその周辺岩盤との相互作用に関する研究  |                          |                            |                             | 分類番号<br>「地」2. - (18) - |
| 実施研究課題<br>(Title)   | 人工バリアとその周辺岩盤との相互作用に関する研究<br>(Study on Interaction of Artificial Barrier and the Surrounding Rock Mass)  |                          |                            |                             |                        |
| 実施機関<br>(Organization)  | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)  |                          |                            |                             |                        |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)  | 佐藤稔紀 (Toshinori SATO), 松井裕哉 (Hiroya MATSUI), 菊地正 (Tadashi KIKUCHI),<br>杉原弘造 (Kozo SUGIHARA)<br>東濃地科学センター 地質環境研究室<br>(Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center)<br>藤田朝雄 (Tomoo FUJITA), 千々松正和 (Masakazu CHIJIMATSU), 杉田裕 (Yutaka SUGITA)<br>東海事業所 環境技術開発部 (Waste Management Technology Division, Tokai Works) |                          |                            |                             |                        |
| キーワード<br>Key Word   | 坑道掘削<br>excavation  | 掘削影響領域<br>disturbed zone | 掘削工法<br>excavation method  | 人工バリア<br>engineered barrier | ベントナイト<br>bentonite    |
| 研究期間  | 平成3年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込  |                          | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | 該当せず                        |                        |
| 関連する<br>解析コード   | 該当せず  |                          | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず                        |                        |
| 【成果の達成レベル】  |   |                          |                            |                             |                        |
| <p>イ. 原位置試験による研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>東濃鉱山(堆積岩)の水平坑道において機械(ブームヘッダー)掘削の事後調査および解析を実施するとともに、これまでに実施した発破掘削の結果と比較し、掘削影響領域に対する工法依存性の影響評価について所期の成果を得た。</li> <li>釜石鉱山(結晶質岩)の水平坑道において通常発破と制御発破による掘削影響試験を実施し、掘削影響領域の特性と広がりに関する情報の収集とこれらの工法依存性の影響評価について、所期の成果を得た。</li> </ul> <p>ロ. 工学規模試験による研究</p> <p>岩盤を含めたニアフィールドの熱-水-応力連成試験準備が完了し、熱-水-応力連成挙動に関するデータ取得についての見通しが得られた。</p> <p>ハ. 上記の試験の統合による人工バリアとその周辺岩盤の連成挙動のモデル化については、未着手である(平成10年度から研究を開始する)。</p> |   |                          |                            |                             |                        |
| 【進捗状況(平成8年度)】   |   |                          |                            |                             |                        |
| <p>イ. 原位置試験による研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>東濃鉱山において立坑掘削影響試験および水平坑道の発破掘削影響試験を実施し、掘削後の岩盤変位の長期観測を継続した。また、水平坑道の機械掘削影響試験を実施し、事後調査および解析研究を行った。</li> <li>釜石鉱山において異なる深度における水平坑道の掘削影響試験を継続した。平成8年度は250mレベル坑道において掘削影響試験を実施した。</li> </ul> <p>ロ. 工学規模試験による研究</p> <p>室内における岩盤と緩衝材の熱-水-応力連成挙動に関するデータ取得の準備として、熱-水-応力連成試験設備 COUPLEにおいて使用する疑似岩体およびベントナイトブロックを製作した。</p> <p>ハ. 上記の試験の統合による人工バリアとその周辺岩盤の連成挙動のモデル化については、未着手である(平成10年度から研究を開始する)。</p>                |   |                          |                            |                             |                        |
| 【使用主要施設】  |   |                          |                            |                             |                        |
| <p>イ. 原位置試験による研究：東濃地科学センター、東濃鉱山、釜石鉱山</p> <p>ロ. 工学規模試験による研究：東海事業所、熱-水-応力連成試験設備 COUPLE</p> <p>ハ. モデル化手法の開発：東濃地科学センター、東海事業所</p>  |   |                          |                            |                             |                        |
| 連絡先   | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団   |                          | (所属)                       | 環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ       |                        |
|   |   |                          | (氏名)                       | 主幹 山崎真一                     |                        |

## 【研究目的】

周辺岩盤の環境の変化を時系列的に把握し、人工バリアとその周辺岩盤との相互作用およびそれらの長期挙動の評価に資する。

## 【研究内容】

- イ. 原位置試験による研究  
結晶質岩と堆積岩を対象として、それぞれ原位置において掘削影響試験を実施し、掘削影響領域の広がりなどについての情報を継続して収集する。また、掘削影響領域に対する掘削工法の違いによる影響を評価するとともに、掘削影響領域の生成メカニズムの解明と坑道周辺岩盤のモデル化を進める。また、岩盤の長期的な力学的挙動を予測する手法を開発するための室内試験およびモデル化の基礎的検討を行う。
- ロ. 工学規模試験による研究  
岩相や試験条件をパラメータとして、岩盤および緩衝材の熱-水-応力連成挙動に関するデータを取得するとともに、緩衝材の膨潤応力の発生メカニズムのモデル化およびコード開発を実施する。
- ハ. 上記の試験を統合し、人工バリアとその周辺岩盤の総合的な挙動をモデル化する手法を開発する。

## 【研究成果】

- イ. 原位置試験による研究  
東濃鉱山および釜石鉱山において実施した深部地質環境の科学的研究により、上記の研究内容に関して以下の成果が得られた。
- 東濃鉱山（堆積岩）の水平坑道（北延NATM坑道）において、機械（ブームヘッダー）掘削の事後調査および解析を実施した。弾性波屈折法調査によると、坑道の側壁、天盤および床盤において、坑道壁面から30cmの範囲で、弾性波速度が健全部よりも25～30%低下した領域が検出された。弾性波および比抵抗トモグラフィー調査では、坑道掘削に伴って、弾性波速度や比抵抗が変化した領域を捉えることは出来なかった。さらに、水理学的ゆるみ領域計測装置を用いた透水試験の結果では、坑道側壁から70cm以内において透水係数は変化しなかった（図1）。これらの結果を総合的に判断すると、機械掘削に伴う掘削影響領域は坑壁から30cm程度であると言える。発破掘削では、弾性波速度は80cmの範囲で最大50%低下しており、透水係数は1mの範囲で2～3オーダー程度増加している。機械掘削では、発破掘削と比較して掘削影響領域の範囲が狭く物性の変化量も小さいことが確認された。事後解析では、弾性波屈折法の結果から掘削影響領域の幅を設定するとともに、弾性波速度と弾性係数の関係に基づきモデル化した。このモデルを用いて有限要素法による解析を実施したところ、岩盤変位の解析値と実測値は良く一致した。
  - 釜石鉱山（結晶質岩）の250mレベル坑道において、通常発破と制御発破により坑道を掘削し、掘削前後に透水試験、掘削中に岩盤変位計測、ひずみ計測、振動計測、AE(Acoustic Emission)計測などを実施した。AE計測の結果では坑道壁面から2m程度範囲でAEが集中して分布していた<sup>(1)</sup>（図2）。亀裂分布との比較によると、連続性のある亀裂の近傍でAEが発生していた。発破(Conventional blasting)工法と制御発破(Smooth blasting)工法では、制御発破工法の方が、AEの発生数が少なく、振幅値が小さく、工法依存性が確認された。岩盤変位やひずみ計測の結果では、発生した変位やひずみの分布は連続的ではなかった。このため、亀裂の開口や閉塞などの局所的な変位やひずみの発生や、亀裂によって囲まれたブロックが掘削によって動いている可能性が示唆された。
- ロ. 工学規模試験による研究  
熱-水-応力連成試験設備 COUPLE で使用する、センサーを埋設したモルタル製の疑似岩体を製作した（図3）。また、材齢28日後の疑似岩体と同配合の供試体を用いて、強度、透水係数、熱特性などの物性値を室内試験にて求めた<sup>(2)</sup>（表1）。さらに、疑似岩体のピットにセンサーを設置したベントナイトブロックを製作した（図4）。このように、連成試験の準備が完了した。
- ハ. 上記の試験の統合による人工バリアとその周辺岩盤の連成挙動のモデル化については、平成10年度から研究を開始する。

## 【公開資料】

別添に示す。

## 公開資料：「人工バリアとその周辺岩盤との相互作用に関する研究」

- (1)土原久哉, 松井裕哉, 三上哲司, 杉原弘造: 深部岩盤における掘削損傷領域の工法依存性に関する予備調査. 第28回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 308-312 (1997)
- (2)千々松正和: 熱-水-応力連成試験設備 (COUPLE) における試験 (その1), 天然岩石を用いた試験結果. 動燃技術報告書, PNC TN8410 97-025 (1997)
- (3)佐藤稔紀, 菊地正, 杉原弘造, 山本卓也, 大久保誠介: 坑道近傍における発破振動計測. 資源・素材学会1996年春季大会講演要旨集, p. 91 (1996)
- (4)佐藤稔紀, 菊地正, 杉原弘造, 山本卓也, 大久保誠介: 掘削影響の相違と掘削工法の関係について-東濃鉱山における振動計測結果を例として-. 日本原子力学会1996年秋の大会予稿集, p. 684 (1996)
- (5)佐藤稔紀, 菊地正, 杉原弘造, 山本卓也, 大久保誠介: ブームヘッダーによる坑道掘削時の振動計測. 資源・素材' 96, 一般発表講演要旨集, p. 3 (1996)
- (6)松井裕哉, 杉原弘造, 木梨秀雄, 三上哲司: 釜石鉱山における新規坑道掘削を対象とした変形挙動予測解析. 第28回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 102-106 (1997)
- (7)堀田政國, 松井裕哉, 杉原弘造, 船戸明雄: 間隙水圧計測可能な亀裂変位計の現場適用試験. 第28回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 293-297 (1997)
- (8)中村直昭, 秋山眞介, 松井裕哉, 佐藤稔紀: 複数の手法を用いた初期応力測定結果の比較. 第28回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 373-377 (1997)
- (9)菊地正, 佐藤稔紀, 杉原弘造, 板本昌治: 坑道掘削に伴う周辺岩盤のひずみ測定. 第28回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 408-412 (1997)
- (10)Sugihara, K., Matsui, H., Ishijima, F., Sato, T.: Study on excavation disturbance in the Kamaishi Mine, Japan. EDZ Workshop, Winnipeg, Canada, pp. 15-24 (1996)
- (11)石島文代, 杉原弘造, 吉田英一: 空洞掘削に伴う周辺岩盤の微視的構造調査. 動燃技報第99号, pp. 105-111 (1997)
- (12)Kiyama, T., Kita, H., Ishijima, Y., Yanagidani, T., Aoki, K., Sato, T.: Permeability in anisotropic granite under hydrostatic compression including post-failure region. Proc. 2nd North American Rock Mechanics Symposium (NARMS' 96), pp. 1643-1650 (1996)

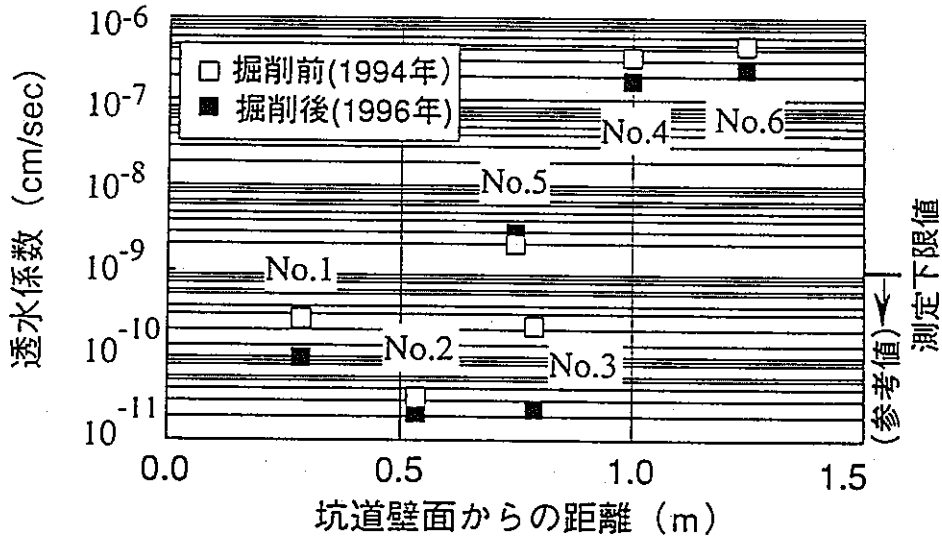


図1 東濃鉱山における機械掘削前後での透水係数の変化

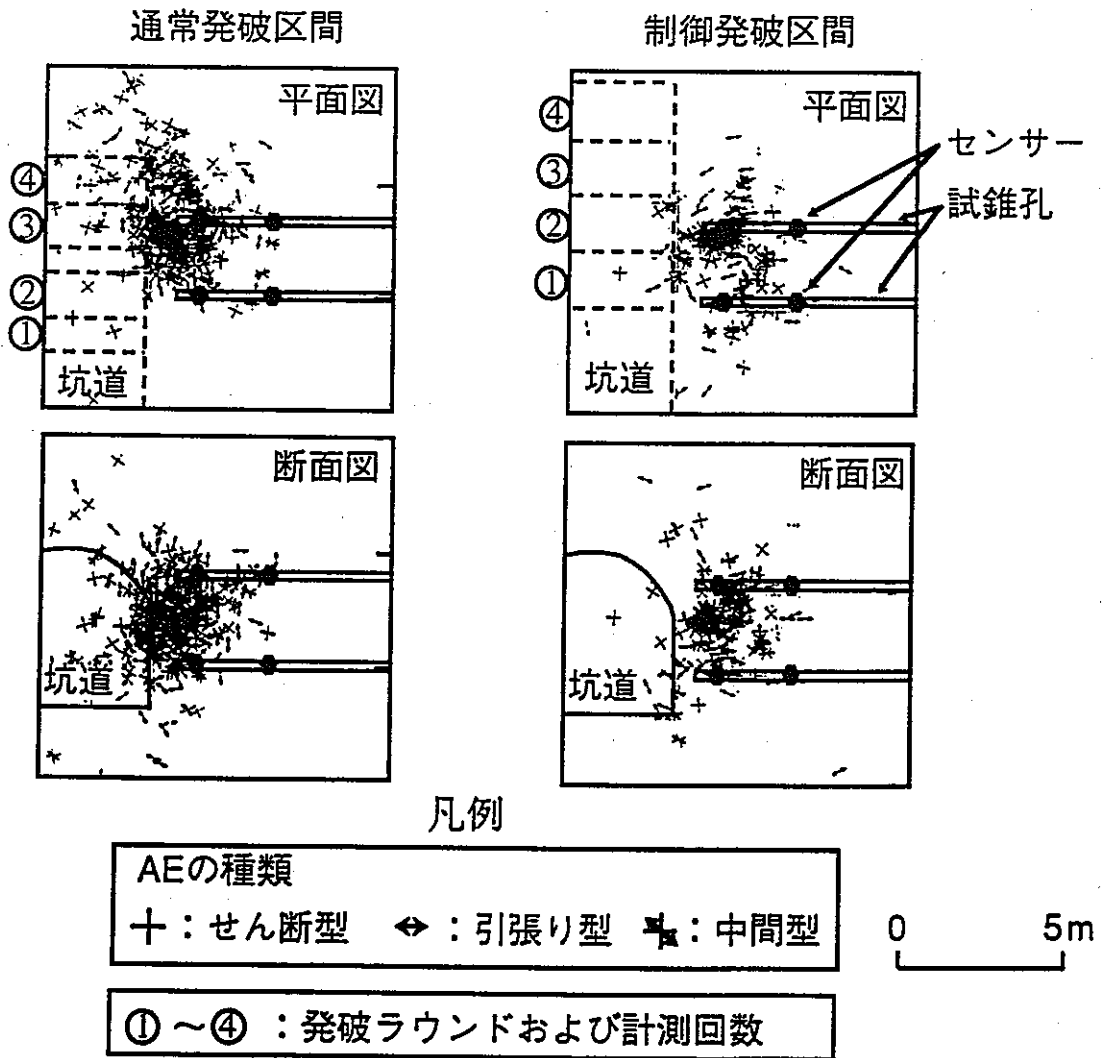
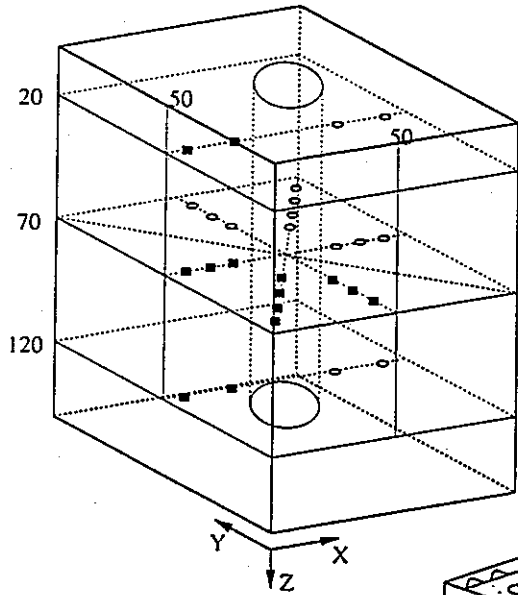
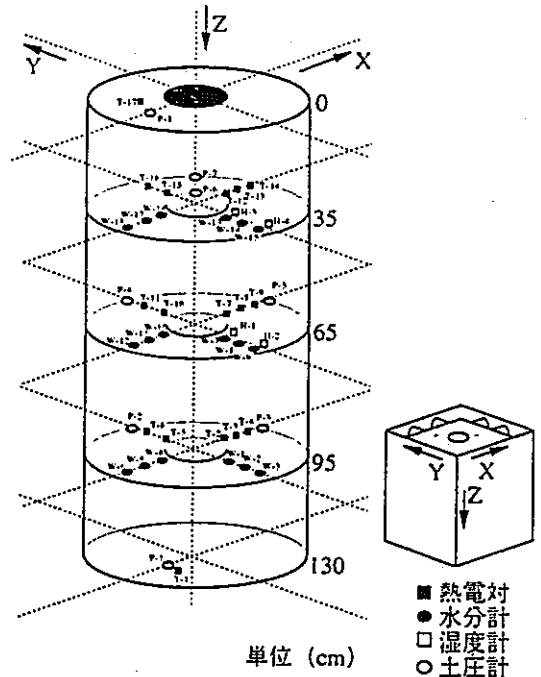


図2 釜石鉱山におけるAE計測結果



○ 間隙水圧計+熱電対 PM-1~14、  
 ■ ひずみ計 TC-1~14、  
 □ 湿度計 SM-1~14

図3 岩石内計測器配置図



単位 (cm)

■ 熱電対  
 ● 水分計  
 □ 湿度計  
 ○ 土圧計

図4 粘土内計測器配置図

表1 疑似岩体の各物性値の試験結果一覧

| 試験項目                                  | 値     |
|---------------------------------------|-------|
| 圧縮強度 (MPa)                            | 4.31  |
| 静弾性係数 ( $\times 10^4$ MPa)            | 0.67  |
| ポアソン比                                 | 0.179 |
| 透水係数 ( $\times 10^5$ cm/s)            | 3.183 |
| 間隙率 (%)                               | 46.1  |
| 内部摩擦角 ( $^\circ$ )                    | 34.6  |
| 粘着力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )       | 11.4  |
| 熱伝導率 (W/mk)                           | 0.915 |
| 比熱 (kcal/kg $^\circ$ C)               | 0.40  |
| 熱膨張率 ( $\times 10^{-6}$ / $^\circ$ C) | 6.531 |

|   |   |                             |   |                 |                            |
|---|---|-----------------------------|---|-----------------|----------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題  | 放射性廃棄物処分における微生物影響に関する研究   |                             |   |                 | 分類番号<br>「地」2. - (20) -     |
| 実施研究課題<br>(Title)   | 放射性廃棄物処分における微生物影響に関する研究<br>(Study on Microbial Effects for Radioactive Wastes Disposal)   |                             |   |                 |                            |
| 実施機関<br>(Organization)  | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation: PNC)   |                             |   |                 |                            |
| 研究者名及び所属<br>(Name /<br>Affiliation)   | 伊藤 勝 (Masaru ITO), 三原 守弘 (Morihiro MIHARA), 吉川 英樹 (Hideki YOSHIKAWA)<br>東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)<br>佐藤 和彦 (Kazuhiko SATO), 長柄 収一 (Shuichi NAGARA), 山名 智 (Satoshi YAMANA)<br>人形峠事業所 環境資源開発部 (Waste Isolation and Ore Processing Division, Ningyo-Toge Works) |                             |   |                 |                            |
| キーワード<br>Key Word   | 微生物<br>bacteria   | 放射性廃棄物<br>radioactive waste | 地下深部<br>deep underground                    | 耐性<br>tolerance | 核種移行<br>nuclides migration |
| 研究期間  | 平成5年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込  |                             | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関                  | 該当せず            |                            |
| 関連する<br>解析コード   | 該当せず  |                             | 関連する特別会計<br>実証試験                            | 該当せず            |                            |
| 【成果の達成レベル】  |   |                             |   |                 |                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>地下深部における微生物の耐性領域についての実験的研究を行い、微生物の地下深部での活動について、所期の成果を得た。</li> <li>地下深部における微生物の核種移行挙動に与える影響を調査し、微生物活動が放射性核種の移行に及ぼす影響について見通しを得た。</li> <li>坑道等の地下空間周辺における微生物による酸化についての実験的研究を行い、微生物活動が鉱物の溶解及び地下水水質の変化に及ぼす影響について、所期の成果を得た。</li> </ul> |   |                             |   |                 |                            |
| 【進捗状況 (平成8年度)】  |   |                             |   |                 |                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>硫酸塩還元菌, メタン生成菌及び脱窒菌の耐性領域図を平成8年度までに作成した。</li> <li>核種移行挙動に与える影響について, 多種類の微生物と硫酸塩還元菌が共存する系でのPuの吸着試験を平成8年度に終了した。</li> <li>鉄酸化細菌が有する地下水水質の酸化能力を平成8年度までに概括的に把握した。</li> </ul>   |   |                             |   |                 |                            |
| 【使用主要施設】  |   |                             |   |                 |                            |
| なし  |   |                             |   |                 |                            |
| 連絡先   | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団   |                             | (所 属) 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>(氏 名) 主幹 梅木 博之 |                 |                            |

## 【研究目的】

- ・高レベル廃棄物処分等における微生物活動がバリア材料の劣化や放射性核種の移行に及ぼす影響について研究し、処分システムの安全評価に資する。

## 【研究内容】

## イ. 多重バリアの性能に対する微生物影響に関する研究

我が国の地下深部における微生物の種類・量の事例、地下水の水質との関係、耐性領域、人工バリアに与える影響、核種移行挙動に与える影響等について調査及び実験的研究を行う。

## 【研究成果】

- ・耐性領域について、図-1に脱窒菌の耐性領域調査結果を示す。図-1より、培養液のpHが9.5以上であれば、菌の活性（菌体濃度）が定量下限値以下となり、活動しなくなることが分かった。
- ・核種移行挙動に与える影響について、図-2に多種類の微生物と硫酸塩還元菌が共存するベントナイト中の菌を殺菌した場合と殺菌しない場合のベントナイトに対するPuの吸着試験結果を示す(2)。図-2より、菌を殺菌しなかった場合の分配係数Kdの方が大きくなることが分かった。
- ・微生物による酸化について鉄酸化細菌の増殖及び溶液中の化学組成の例を図-3及び4に示す。図-3、4より、溶液のpHが2.0程度の場合、鉄酸化細菌が増殖し、水質の酸化が急激に進行することが分かった。一方、pH6.0~11.0では顕著な増殖は見られず、水質への影響がほとんどないことが分かった。

## 【公開資料】

- (1) 吉川 英樹, 黒澤 進, 「地層処分におけるコロイドおよび微生物影響評価」PNC TN8410 96-231, 1996
- (2) A. Kudo, J. Zheng, I. Cayer, Y. Fujikawa, H. Asano, K. Arai, H. Yoshikawa, M. Ito, Behavior of plutonium interacting with bentonite and sulfate reducing anaerobic bacteria., MRS '96, 1996

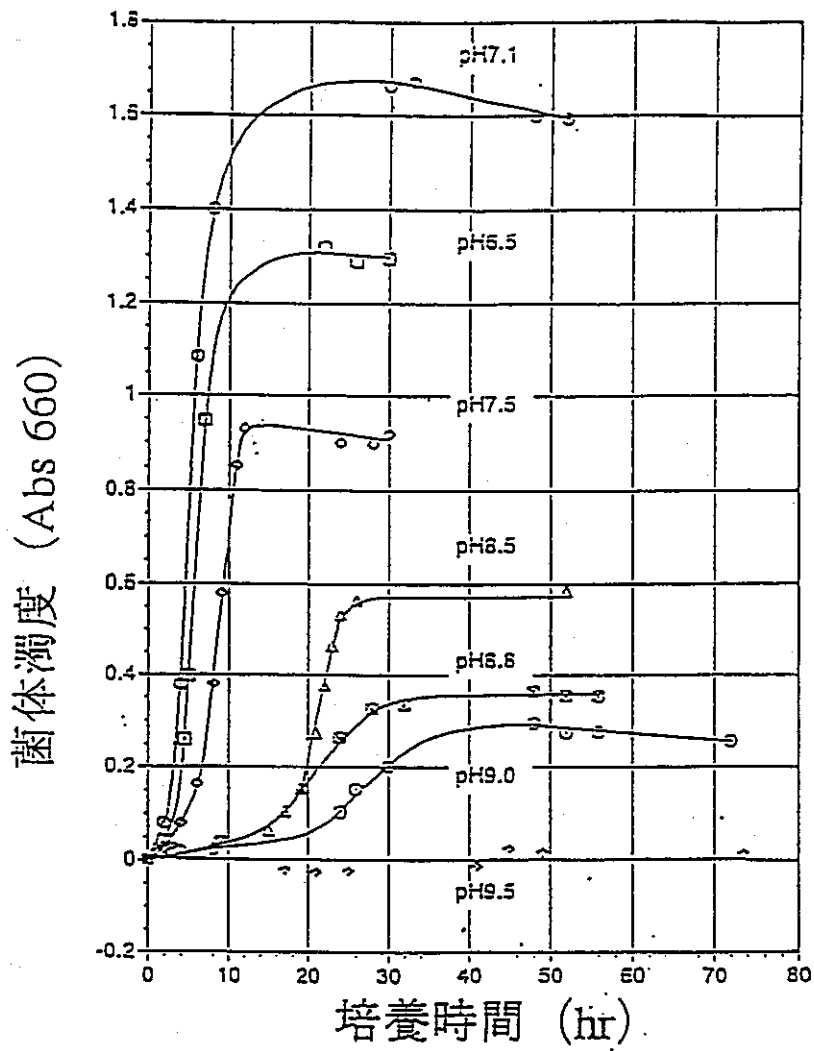


図-1 脱窒菌の耐性領域調査結果

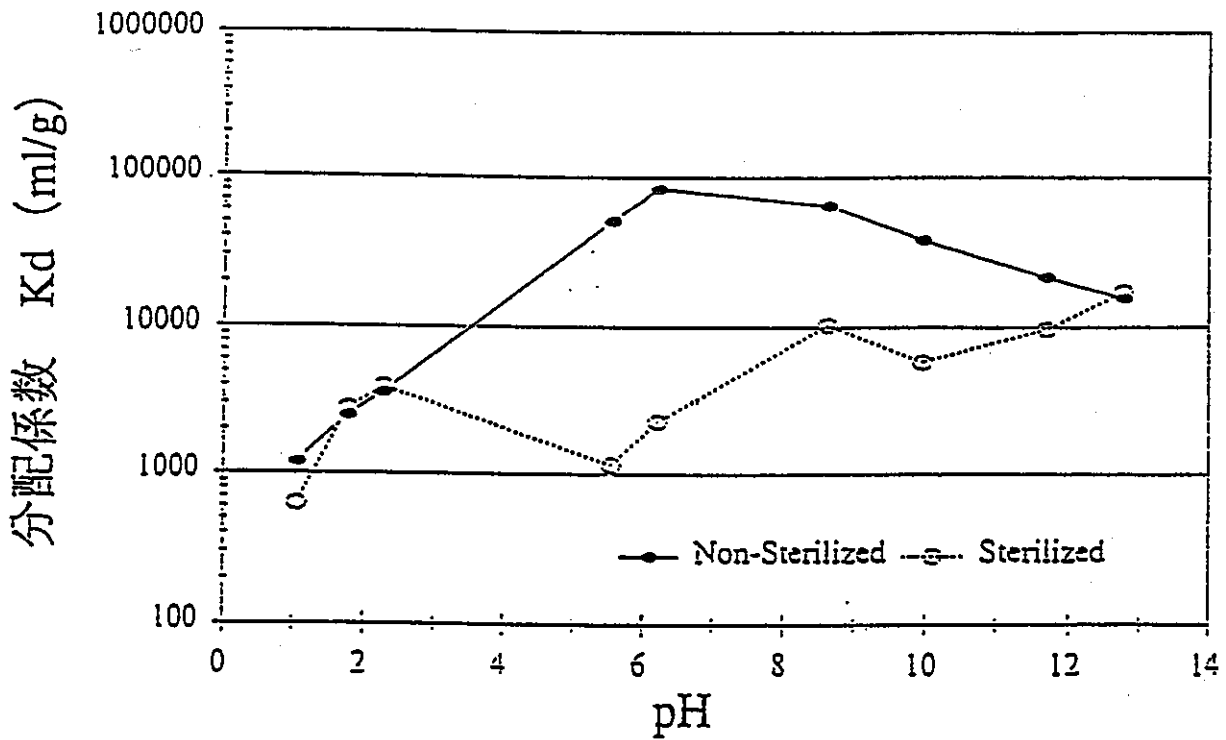


図-2 微生物共存下でのベントナイトに対するPu吸着試験結果(2)



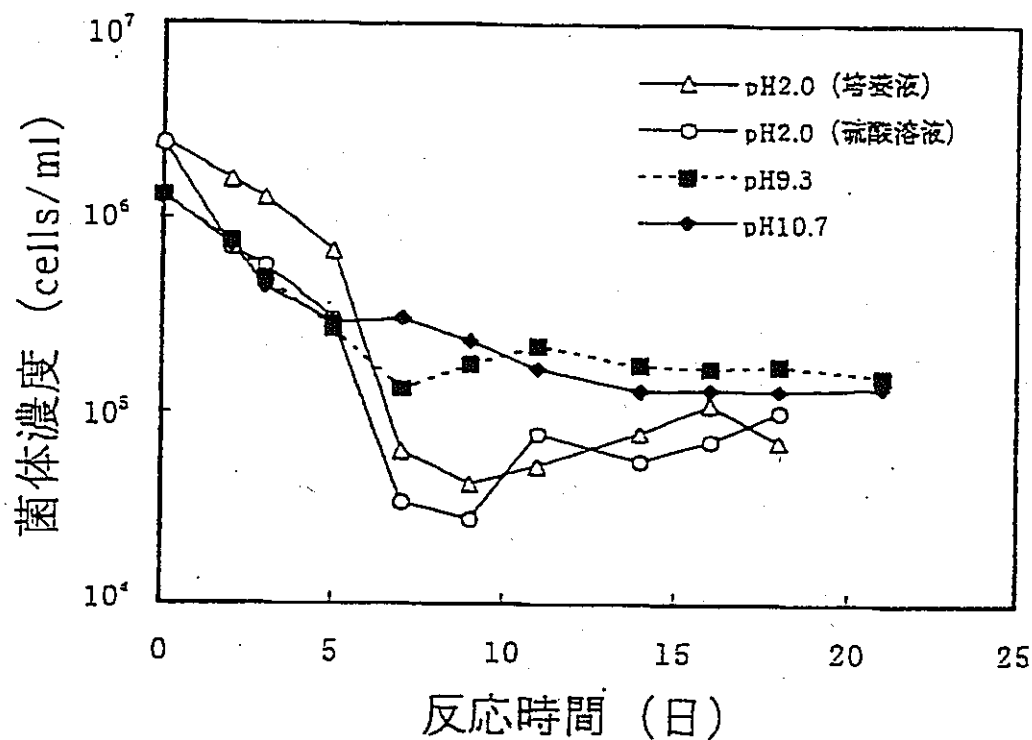


図-3 鉄酸化細菌の菌体濃度の経時変化

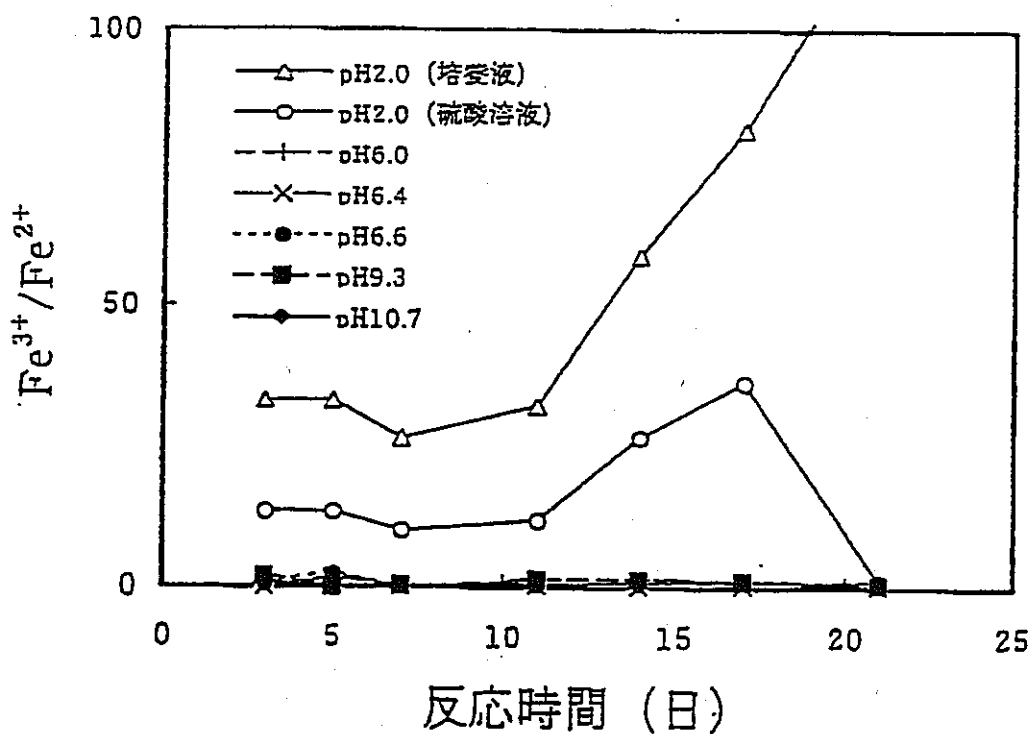


図-4 溶液中の化学組成 (Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>) の経時変化

|  |  |                              |  |                    |                             |
|--|--|------------------------------|--|--------------------|-----------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 地層処分システムの総合安全評価手法に関する研究  |                              |  |                    | 分類番号<br>「地」2. - (21) -      |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 地層処分システムの総合安全評価手法に関する研究<br>(Study on Safety Assessment Methods for The Geological Disposal System)   |                              |  |                    |                             |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)   |                              |  |                    |                             |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 大井貴夫(Takao OHI), 石原義尚(Yoshinao ISHIHARA), 牧野仁史(Hitoshi MAKINO), 吉田隆史(Takashi YOSHIDA), 竹安正則(Takeyasu MASANORI), 若杉圭一郎(Keiichirou MAKASUG) 東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works) 梅木博之 (Hiroyuki UMEKI), 宮原要(Kaname MIYAHARA), 内藤守正(Morimasa NAITO) 本社 環境技術開発推進本部 (Radioactive Waste Management Project, Head Office) |                              |  |                    |                             |
| キーワード<br>Key Word  | モデル開発<br>model development   | 感度解析<br>sensitivity analysis | 品質管理<br>quality management               | データベース<br>database | 管理システム<br>management system |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込   | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関   | 該当せず                                     |                    |                             |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず   | 関連する特別会計<br>実証試験             | 該当せず                                     |                    |                             |
| 【成果の達成レベル】   |  |                              |  |                    |                             |
| <p>イ. 廃棄物から人間環境に至る放射性核種の移行経路に介在し、システムの評価に影響を与える可能性のある現象の影響を定量的に把握するため、特に人工バリアの性能に影響を与えると考えられる因子に着目し、それらの関係ならびに影響特性を調査した。その結果、ガラス固化体中に含まれる放射性核種の量(インベントリ)および分配係数と人工バリアからの放出率が変化しなくなる境界濃度との関係式が導出されるとともにそれらの人工バリアからの核種の放出率に対する影響特性が把握された。このことにより、システムの評価において重要と考えられる現象の影響を定量的に把握することについての見通しを得た。</p> <p>ロ. 放射線場の影響を検討するためのデータベースの作成に着手し、想定される様々なシナリオを考慮した解析項目の抽出、解析に用いるコードの選定・妥当性の検討を行い、放射線場に関するデータベースの整備について見通しを得た。</p> <p>ハ. 亀裂媒体中の核種移行解析コードMATRIXを既存の統合化計算コードシステムに搭載し、安全評価で対象とすべき評価シナリオに従って処分に起因する被ばく線量を総合的に評価することができるシステムの開発についての見通しを得た。</p> |  |                              |  |                    |                             |
| 【進捗状況(平成8年度)】  |  |                              |  |                    |                             |
| <p>イ. 廃棄物から人間環境に至る放射性核種の移行経路に介在し、システムの評価に影響を与える可能性のある現象の影響特性を把握することは、システム性能を評価する上で重要であるとともに、それらの現象をより現実的に再現する評価コードを開発する上で重要な情報を与える。そこで、システム性能に対するパラメータの詳細な影響特性調査に着手した。</p> <p>ハ. 溶解度、分配係数等の地球化学データのデータベース化を進めるとともに、人工バリア中の核種移行に影響を及ぼす放射線場のデータベース化に着手した。</p> <p>ニ. 廃棄物から人間環境に至る放射性核種の移行経路(人工バリア、天然バリア、生態系等)の内、生態系での影響評価コードを除くシステム評価コードの統合化システムへの搭載を終了した。</p>  |  |                              |  |                    |                             |
| 【使用主要施設】   |  |                              |  |                    |                             |
| 地層処分基盤研究施設   |  |                              |  |                    |                             |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                              | (所属) 環境技術開発推進本部 処分研究Gr.<br>(氏名) 主幹 梅木 博之 |                    |                             |

## 【研究目的】

高レベル放射性廃棄物等の地層処分に伴う被ばく線量をシステムとして総合的に評価する手法を研究開発し、地層処分システムの安全性の総合的な評価に資する。

## 【研究内容】

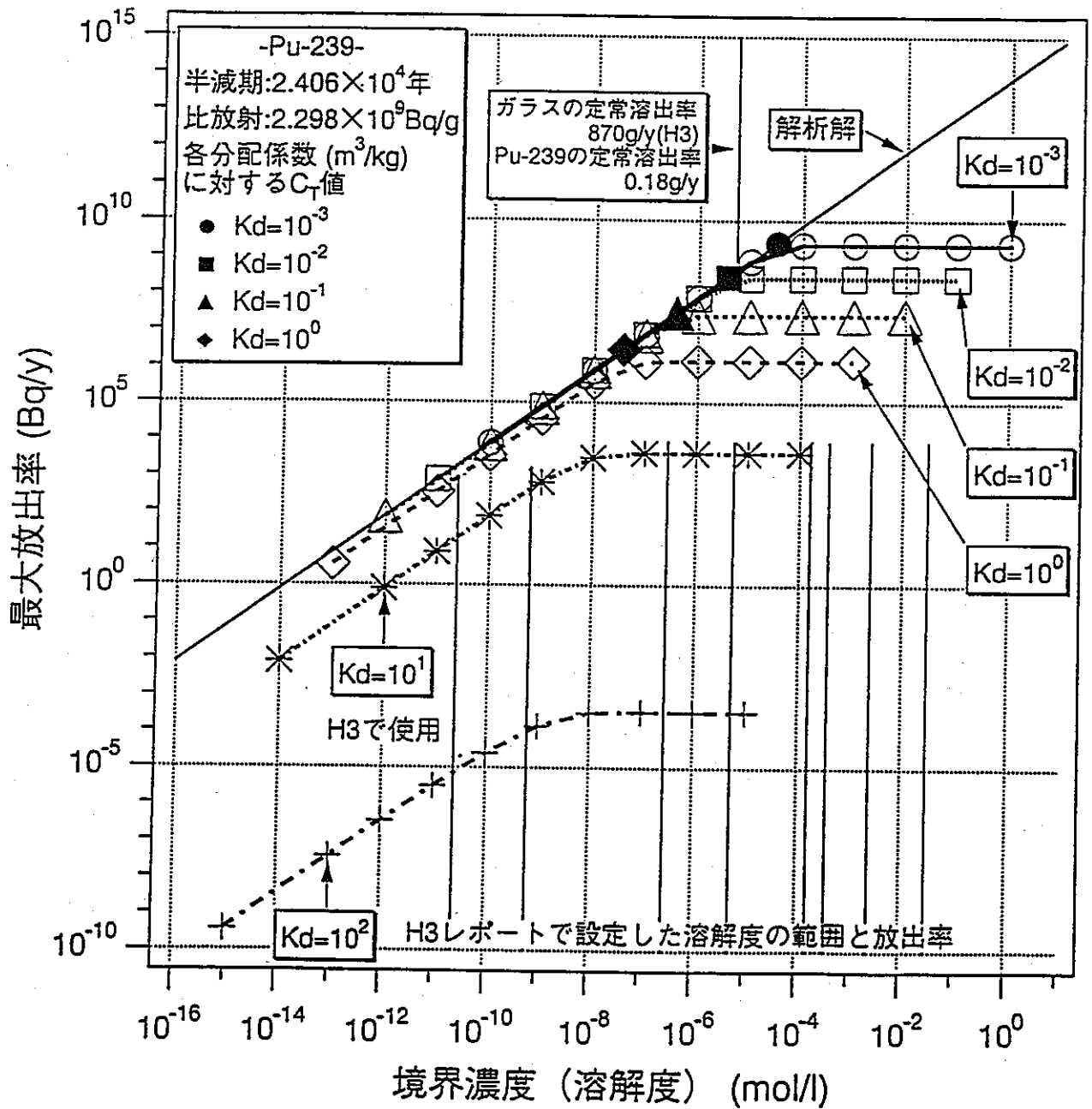
- イ. 廃棄物から人間環境に至る放射性核種の移行経路（人工バリア、天然バリア、生態系等）に介在し、システムの評価に影響を与える可能性のある現象を把握する。この結果に基づき、統合化することを目的として、これらをより現実的に再現する個別評価モデル・コードを開発・整備する。さらに、それらの現象が及ぼす影響の程度を定量的に把握する。
- ロ. 国際協力研究等を含めた最新の安全評価研究の成果に基づいて、安全評価に必要なデータベースの質の向上を図る。
- ハ. 上記の個別評価モデル・コード及びデータベースを統合化し、それらの品質管理を行い、安全評価で対象とすべき評価シナリオに従って処分に起因する被ばく線量を総合的に評価することができるシステム（統合化計算コードシステム）を開発する。このシステムを用いて信頼性の高い評価結果を示す。

## 【研究成果】

- イ. 本年度は、特に人工バリアの性能に影響を与えると考えられる因子に着目し、それらの関係ならびに影響特性を調査した。人工バリアからの核種の最大放出率に影響を与える主要なパラメータとして、ガラス固化体/緩衝材境界での核種の一定境界濃度（溶解度）、分配係数ならびにインベントリが考えられる。本研究では、特に、インベントリが人工バリアからの核種の最大放出率を制限するという現象に着目し、単純な解析解を導出・適用することによって、人工バリアからの核種の最大放出を制限するインベントリと一定境界濃度（溶解度）、分配係数の関係ならびにこれらのパラメータの影響特性を検討した。その結果、人工バリアからの放出率が変化しなくなる一定境界濃度（溶解度）のしきい値（有効最大境界濃度のしきい値； $C_t$ ）を分配係数毎に求めることができた（図-1参照）。また、解析で使用することが予想される溶解度の範囲と $C_t$ 値とを比較することによって、人工バリアからの核種の最大放出率に対する分配係数の影響特性を定性・定量的に把握した。さらに、人工バリアからの核種の最大放出率に対するインベントリの変動の影響特性を定性的に把握した。これら導出された関係式及び影響度に関する情報は、システム解析、データ取得、効率的なシナリオの絞り込みならびに今後の評価コード開発に資するものである。
- ロ. 本年度は廃棄物から人間環境に至る放射性核種の移行経路（人工バリア、天然バリア、生態系等）に介在する現象として、ガラス固化体中の放射性核種によって発生する放射線に着目し、放射線場の影響（処分場操業時の放射線の影響、処分後の人工バリアシステムの放射線損傷の影響、放射線分解による処分後の処分場内の地球化学環境の変動への影響）を検討するためのデータベースの作成に着手した。この研究を通じて、想定される様々なシナリオを考慮した解析項目の抽出、解析に用いるコードの選定・妥当性の検討を行った。
- ハ. 本年度は、亀裂媒体中の核種移行解析コードMATRIXを既存の統合化計算コードシステムに搭載した。このことによって、解析の品質を管理した状態で一連の解析（インベントリ解析、人工バリア中の核種移行解析、岩体中の核種移行解析）を行うことができるようになった。

## 【公開資料】

- (1)大井貴夫、仲島邦彦：緩衝材外側からの核種放出率のパラメータ依存性の検討、日本原子力学会、1996年秋の大会要旨集 p685.
- (2)Takao Ohi, Kunihiro Nakajima :Sensitivity Analysis for the Parameters Concerned with the Nuclides Migration through the Engineered Barrier System, MRS 1996 FALL Meeting Abstracts, p752, 1996.
- (3)牧野仁史、吉田隆史：ガラス固化体の溶解及びそれに伴う緩衝材中の核種移行に関する感度解析（I）、PNC TN8410 96-093.
- (4)勸業事業団：地層処分研究開発の現状（平成8年度）、PNC TN1410 96-012, 1996.
- (5)竹安正則、大井貴夫、鈴木祐二、池田孝夫：地層処分システム性能評価における生物圏のモデル化 -代表的生物圏モデルの適用-、日本原子力学会、1997年春の大会要旨集 p572.



図一1 Pu-239の最大放出率に対する境界濃度 (溶解度) (mol/l) と分配係数( $m^3/Kg$ )の影響

|  |   |                            |              |                        |
|--|---|----------------------------|--------------|------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 地層処分システムの確率論的評価手法に関する研究   |                            |              | 分類番号<br>「地」2. - (22) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 地層処分システムの確率論的評価手法に関する研究<br>(Study on Methodology of Probabilistic Assessment for Geological Disposal System)  |                            |              |                        |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)  |                            |              |                        |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)   | 若杉圭一郎 (Keiichiro WAKASUGI)、澤田淳 (Atsushi SAWADA)、大井貴夫 (Takao OHI)、井尻裕二 (Yuuji IJIRI)<br>東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)<br>内藤守正 (Morimasa NAITO)<br>本社 環境技術開発推進本部 (Radioactive Waste Management Project, Head Office) |                            |              |                        |
| キーワード  | 確率論的評価  | 不確実性                       |              |                        |
| Key Word   | probabilistic assessment  | uncertainty                |              |                        |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込  | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | 日本原子力研究所     |                        |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず  | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず         |                        |
| 【成果の達成レベル】   |   |                            |              |                        |
| <p>イ. 複雑な亀裂ネットワーク構造を一次元パイプネットワーク構造に近似することによって計算時間および計算容量を低減化し、多数のリアライゼーションを経て得られる核種移行解析結果の確率分布がより効果的に得られるようになった。このことによって、処分場から人間に至る核種移行経路の確率論的評価手法の見通しを得た。</p> <p>ロ. 諸外国の不確実性に対する評価事例を参照し、結果を確率論的に評価する場合に対象と成りえるパラメータの抽出を行い、不確かさ解析上重要となるパラメータの抽出に関する見通しを得た。</p> <p>ハ. 上記の成果を反映させ、確率論的手法及び統計的手法を取り入れた地層処分システム評価コードの開発に着手した。</p>                           |   |                            |              |                        |
| 【進捗状況 (平成8年度)】   |   |                            |              |                        |
| <p>イ. 亀裂状の地層における核種移行解析には、亀裂内の移流分散、吸着、マトリクス拡散、核種崩壊等の複数のプロセスを考慮するだけでなく、数万年以上の長期間の解析を必要とするため、解析には膨大な計算容量および計算時間を要する。このため、計算時間や計算容量を減ずるために亀裂ネットワークモデルから一次元パイプネットワーク構造に近似するためのコードを開発するとともに、そのパイプネットワークを用いた核種移行計算コードを開発した。</p> <p>ロ. 核種移行に係わるパラメータについて、不確実性を特徴付ける情報を収集・整理し、確率論的評価への適用性を検討した。</p> <p>ハ. 上記研究内容について、地層処分システムの確率論的評価として総合的に評価するための手法の開発に着手した。</p> |   |                            |              |                        |
| 【使用主要施設】   |   |                            |              |                        |
| 地層処分基盤研究施設   |   |                            |              |                        |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団   | 〔所属〕 環境技術開発推進本部 処分研究Gr.    | 〔氏名〕 主幹 梅木博之 |                        |

## 【研究目的】

地層処分システムの長期的な安全性を、種々の要因による不確かさを含めて評価し、安全評価手法の確立に資する。  
(原研との共同研究)

## 【研究内容】

- イ. 処分場から人間に至る放射性核種の移行経路について、確率論的評価モデルを開発する。
- ロ. 評価に用いるモデルのパラメータ値として『安全評価シナリオに関する研究』並びに『地質環境の長期安定性に関する研究』といった他の研究成果から得られるデータをもとに推定されるパラメータ値の確率分布からサンプリングする手法及び安全評価上重要なパラメータを抽出するための感度解析・不確かさ解析のための手法を開発する。
- ハ. 上記の評価モデル、サンプリング手法、感度解析・不確かさ解析手法を統合し、地層処分システムの確率論的評価手法（計算機コードシステム）を開発する。

## 【研究成果】

- イ. 処分場から人間環境に至る核種移行経路の評価については、地層が本来有する不均質性に起因する不確かさが含まれる。このため亀裂状の地質媒体における核種移行評価モデルの開発の一環として、複雑な亀裂ネットワーク構造を一次元パイプネットワーク構造へ近似し、そのパイプネットワークモデルを直接用いて核種移行解析を行う評価モデルを開発した。
- ロ. 評価結果に対する入力パラメータの重要度を把握することを考えた場合は、不確かさを表現する手法として確率分布を用いることに問題はないと考えられる。しかし、結果を確率的に示すことを考えた場合、その結果の解釈および信頼性の向上の観点からは、評価に用いるパラメータの不確か性の意味を明確にし、信頼性の高い確率分布を与え評価を行う必要がある。このため、確率論的手法を用いた確率論的評価や不確かさ解析においては、確率的に取り扱うパラメータの分類、またパラメータに対する確率密度関数の設定が重要な課題になると考えられ、特に確率的に取り扱うパラメータに対しては不確か性の背景（パラメータが本来的に持つ特性や我々の理解不足等）を明確にしておくことが重要である。これらのことから、確率論的評価に必要となるパラメータの取り扱い（確率論的であるか、決定論的であるか）に関する検討を行った。具体的には、諸外国の確率論的あるいは統計的評価例を参照し、特にパラメータの取り扱いに着目し、SKB・AECLにおいてオーバーパックの破損、亀裂ネットワーク特性等について確率論的な取り扱いがされている事例について調査・検討した。
- ハ. 地層処分システムの確率論的評価を行う上で必要となる、サンプリング手法、感度解析、不確かさ解析手法を統合するための評価コードの開発に着手した。

## 【公開資料】

- (1) 地層処分研究情報交換会 (INTEGRATE' 97) 報告書 PNC TN1000 97-004

|  |  |                           |   |                          |                        |
|--|--|---------------------------|---|--------------------------|------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題   | 安全評価に用いる解析手法・コード・データの品質保証に関する研究  |                           |   |                          | 分類番号<br>「地」2. - (23) - |
| 実施研究課題<br>(Title)  | 安全評価に用いる解析手法・コード・データの品質保証に関する研究<br>(Study on Quality Assurance of Analytical Method, Model and Data for Safety Assessment)   |                           |   |                          |                        |
| 実施機関<br>(Organization)   | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)   |                           |   |                          |                        |
| 研究者名及び所属<br>(Name /<br>Affiliation)  | 大井 貴夫 (Takao OHI), 牧野 仁史 (Hitoshi MAKINO), 吉田 隆史 (Takashi YOSHIDA)<br>石原 義尚 (Yoshinao ISHIHARA)<br>東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)<br>梅木 博之 (Hiroyuki UMEKI)<br>本社 環境技術開発推進本部 (Radioactive Waste Management Project, Head Office) |                           |   |                          |                        |
| キーワード<br>Key Word  | 安全評価<br>safety assessment  | 品質保証<br>quality assurance | 解析コード<br>analytical code                    | 評価データ<br>assessment data |                        |
| 研究期間   | 平成8年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込   |                           | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関                  | 該当せず                     |                        |
| 関連する<br>解析コード  | 該当せず   |                           | 関連する特別会計<br>実証試験                            | 該当せず                     |                        |
| 【成果の達成レベル】   |  |                           |   |                          |                        |
| <p>イ. 解析に使用するデータについて、データの取得から運用に至るまでの遷移過程におけるデータの特性に応じた分類とその分類に基づいた管理項目を検討することにより、データの性質、信頼性に基づく系統的な分類管理を行うための知見を得た。</p> <p>ロ. 安全解析に用いられる解析コードの運用時に発生し得るエラーの要因とこれらのエラーを低減するための対策を検討することにより、解析コードの適用範囲及び知識ベース化を行うための知見を得た。</p> <p>ハ. データベースによる品質管理を中心とした計算機システムの検討により、コードとデータを組み合わせた品質を総合的に管理するシステムの開発についての見通しを得た。</p>  |  |                           |   |                          |                        |
| 【進捗状況(平成8年度)】  |  |                           |   |                          |                        |
| <p>イ. 解析に使用するデータの信頼性を保証するため、データの取得段階から、加工・選択(スクリーニング)段階を経て、運用段階に至るまでの全過程を対象として、データの特性に応じた分類とデータの品質管理のための情報について整理した。また、溶解度データが導出されるまでの手順を階層構造としてまとめた。</p> <p>ロ. 解析コードの信頼性を保証していくため、ニアフィールド性能評価解析コードを対象として、コードの運用時に発生し得るエラーの要因を検討し、これらのエラーを低減するための確認事項と対策を抽出した。また、数値解を精度良く得るためのコードの利用条件について、2つの核種移行解析コードを対象に検討した。</p> <p>ハ. 解析で用いられるコードおよびデータの品質を管理するための手順を検討し、計算機へ展開した場合のシステム概念を作成した。</p> |  |                           |   |                          |                        |
| 【使用主要施設】   |  |                           |   |                          |                        |
| 地層処分基盤研究施設   |  |                           |   |                          |                        |
| 連絡先  | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                           | (所 属) 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>(氏 名) 主幹 梅木 博之 |                          |                        |

## 【研究目的】

地層処分システムの安全評価の信頼性を向上させることを目的として、安全解析に使用する個別の解析手法、コード及びデータの品質保証と品質管理を行うシステムを開発し、総合的な安全評価に資する。

## 【研究内容】

安全評価に用いられる様々な解析コードについて内容分析を行い、解析結果の妥当性、信頼性を保証するための手法を検討するとともに、解析で用いられるデータ及び解析コードの品質を総合的に管理するシステムを開発する。

- イ. 解析に使用するデータについて、その性質、信頼性に基づいた系統的な分類及び管理が行える手法の検討を行う。
- ロ. 安全解析に用いられる解析手法、数学モデルの分析を行い、その適用範囲及び信頼性を知識ベース化するための検討を行う。
- ハ. イ. とロ. とを関連させてコードとデータの組み合わせの信頼性について評価できるシステムの開発を行う。

## 【研究成果】

- イ. 安全解析で使用するデータについて、実験による一次データの取得段階から、データの加工・選択（スクリーニング）段階を経て、解析コードによる運用に至るまでの全過程でデータの品質を管理するため、データの変遷に応じて、生データ、変換データ、パラメータ、入力データセット、出力データセットの5つのカテゴリーに分類し、各カテゴリー毎に品質を管理していくための項目について検討した（図-1）。また、これらのデータを管理・運用していくためのデータベース構築に資するため、米国ユッカマウンテンプロジェクトで開発されたデータベースについて調査し、データベースの特徴とデータ管理のフローを整理した。さらに、核種移行解析で用いられる溶解度データに対して、溶解度が導出されるまでの手順と導出に必要な室内試験データ、原位試験データ、熱力学データベースなどの構成要素を分析し、階層構造として整理した。これらの検討により、データの性質および信頼性に基づいた系統的な分類および管理の方法についての知見を得ることができた。
- ロ. 安全評価に用いられるインベントリ解析コード(ORIGEN)、地球化学解析コード(PHREEQE)、核種移行解析コード(NESHNOTE, MATRICES)を対象として、コードの運用実績に基づいてエラーの発生事例を抽出した。これから、コード運用時に発生したエラーの原因（エラー要因）を分析し、エラー要因を排除するための確認項目と対策について整理した。これにより、コード運用時の品質を管理していくための項目を把握することができた。また、解析コードの適用範囲を調べることを目的としてコードの一般的な検証手法を検討し、検証問題の設定や容認基準の設定に関する考え方・手順を整理するとともに、具体的な検証マニュアルを作成した。これにより、解析コードの適用範囲や信頼性の知識ベース化に向けての作業内容を具体化することができた。  
人工バリア中核種移行と天然バリア中核種移行を連成した解析コード(MIGR96)について数学モデルを分析し、ノイマン安定性解析により数値解の安定条件を導出するとともに、時間・空間分割に伴う数値解（崩壊、拡散、数値粘性）の誤差評価を実施した。この結果から、MIGR96を用いて精度良い数値解を得るための時間・空間分割幅の範囲を求める運用支援プログラムを開発することができた。  
亀裂媒体中の核種移行コード(MATRICES)について数学モデルおよび解法を分析するとともに、入力パラメータを変化させてベンチマーク計算を実施した。この結果から、解析結果の確からしさを数値的に示す指標として、本コードが数値解法の中で採用しているの補正因子(scale値)が使えることが分かった。
- ハ. 解析で用いられるデータおよび解析コードの信頼性を総合的に管理するシステムの開発に向けて、解析コードの管理、データの管理、および解析実施の管理についての手順をフレームワークとしてまとめるとともに、計算機へ展開した場合のシステムイメージを作成した（図-2）。

## 【公開資料】

なし



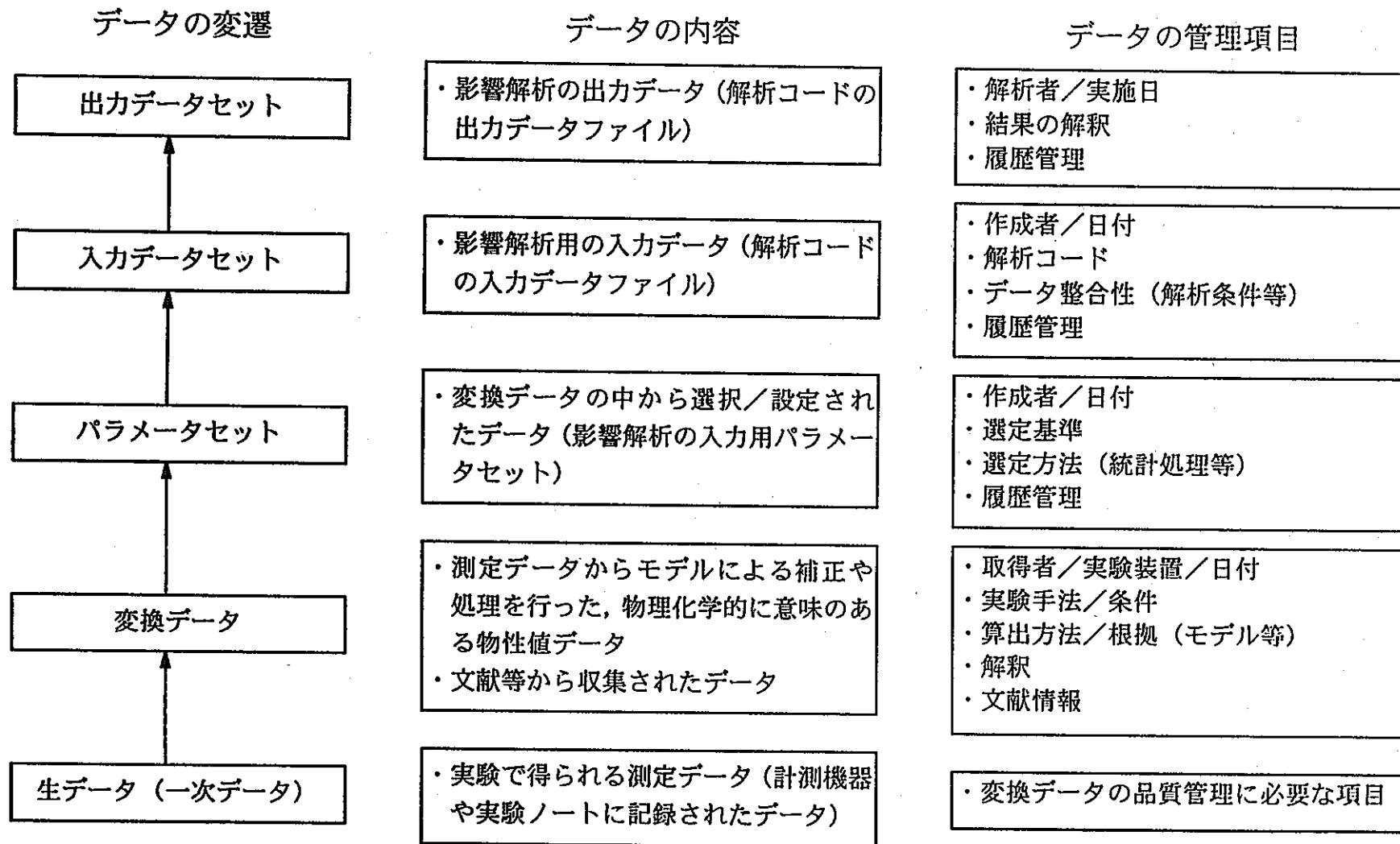


図-1 データの分類と管理項目の抽出

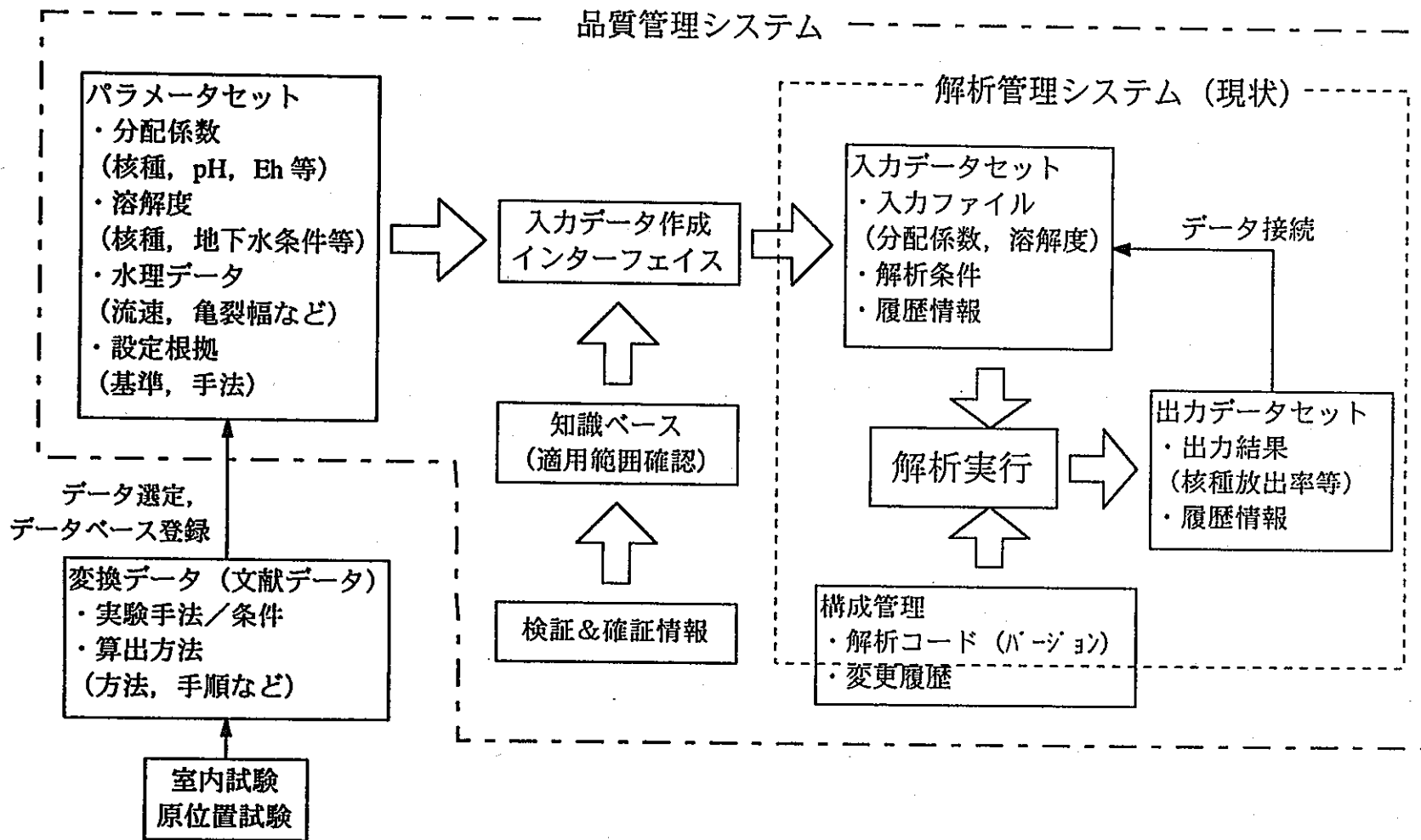


図-2 性能評価解析の品質管理のための計算機システムイメージ (案)

|   |  |                            |   |                    |                        |
|---|--|----------------------------|---|--------------------|------------------------|
| 安全研究<br>年次計画登録<br>研究課題  | TRU廃棄物処分に関する核種移行評価モデル及びデータベースの整備   |                            |   |                    | 分類番号<br>「地」2. - (27) - |
| 実施研究課題<br>(Title)   | TRU廃棄物処分に関する核種移行評価モデル及びデータベースの整備<br>(Development of Modelling and Database for Nuclides Transport Estimation for TRU Waste Disposal) |                            |   |                    |                        |
| 実施機関<br>(Organization)  | 動力炉・核燃料開発事業団<br>(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation: PNC)  |                            |   |                    |                        |
| 研究者名及び所属<br>(Name / Affiliation)                                  | 伊藤 勝 (Masaru ITO), 三原 守弘 (Morihiro MIHARA)<br>東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)                     |                            |   |                    |                        |
| キーワード<br>Key Word   | TRU廃棄物<br>TRU waste  | 吸着<br>sorption             | 溶解度<br>solubility                           | コンクリート<br>concrete |                        |
| 研究期間  | 平成6年度 ~ 平成12年度まで<br>継続見込   | 関連する国際<br>共同研究課題<br>及び実施機関 | 該当せず  |                    |                        |
| 関連する<br>解析コード   | 該当せず   | 関連する特別会計<br>実証試験           | 該当せず  |                    |                        |
| 【成果の達成レベル】  |  |                            |   |                    |                        |
| イ. コンクリート等の人工バリア材料に対する核種の分配係数を取得し、核種移行モデル及びデータベースの整備について所期の成果を得た。 |  |                            |   |                    |                        |
| ロ. 無機系のTRU廃棄物について核種の溶解度を測定し、溶解度のデータベース整備について所期の成果を得た。             |  |                            |   |                    |                        |
| ハ. 処分空洞の大きさ及び処分システムの検討を行い、処分システム性能評価を行うための見通しを得た。                 |  |                            |   |                    |                        |
| 【進捗状況 (平成8年度)】  |  |                            |   |                    |                        |
| イ. 普通ポルトランドセメントペーストに対するヨウ素及びセシウムの分配係数の取得を平成8年度に終了した。              |  |                            |   |                    |                        |
| ロ. 無機系TRU廃棄物について、高pH溶液中でのPu, Uの溶解度測定を平成8年度に終了した。                  |  |                            |   |                    |                        |
| ハ. 処分深度をパラメータとして、空洞安定性の観点から、処分システムの検討を行った。                        |  |                            |   |                    |                        |
| 【使用主要施設】  |  |                            |   |                    |                        |
| 地層処分基盤研究施設  |  |                            |   |                    |                        |
| 連絡先   | 〒107 ☎03-3586-3311<br>東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル)<br>動力炉・核燃料開発事業団  |                            | (所 属) 環境技術開発推進本部 処分研究グループ<br>(氏 名) 主幹 梅木 博之 |                    |                        |

## 【研究目的】

TRU核種の人工バリア材料中での移行遅延機能を定量的に評価する為のモデル及びデータベースを整備し、TRU廃棄物処分の安全評価手法の確立に資する。

## 【研究内容】

- イ. コンクリート等の人工バリア材料を対象として、核種の分配係数等のデータを取得し、核種移行評価モデル及びデータベースを整備する。
- ロ. 有機系、無機系のTRU廃棄物について核種の溶解度への影響を調べ、データベースを整備する。
- ハ. 処分システムを設定し、処分システムの性能評価を行う。

## 【研究成果】

- イ. 普通ポルトランドセメントペーストに対するヨウ素の分配係数について、図-1に測定結果を示す(1)。図-1より、実験初期濃度が小さくなるにつれ、分配係数が大きくなり、その吸着はLangmuir型の吸着を示した。処分場内での地下水中のヨウ素濃度が小さければ、分配係数は10~100ml/g程度期待できると考えられる。
- ロ. 無機系のTRU廃棄物についての高pH溶液中でのPu, Uの溶解度について、図-2に測定結果を示す(2)。図-2よりPu, Uの溶解度は、pH10~13.5の間では、それぞれ $10^{-10}$  mol/l,  $10^{-7}$  mol/l とほぼ一定となることが分かった。したがってTRU廃棄物処分場でコンクリートを使用した場合、地下水のpHは10~13.5程度となるので、Puの溶解度は $10^{-10}$  ~  $10^{-9}$  mol/l, Uの溶解度は $10^{-7}$  ~  $10^{-6}$  mol/l 程度になる。
- ハ. 岩種及び処分深度をパラメータとして、空洞の安定性の観点から、処分空洞の直径を検討した(3)。理論解を用いた計算結果より結晶質岩の岩体であれば、処分深度数百mで、直径約30mの空洞の処分場を建設することが可能であることが分かった。また、これらの結果より、性能評価を行うためのベントナイト系の緩衝材及びセメント系の充填材を用いた処分システムの検討を行った。

## 【公開資料】

- (1) 嶺 達也, 三原 守弘, 伊藤 勝, 加藤 大生, 種々セメントペーストに対するI, Csの吸着試験, 日本原子力学会1997年春の年会要旨集第三分冊, p. 581, 1997
- (2) S. J. Williams, B. F. Greenfield, M. W. Spinder, M. Ito, M. Yui, The effects of the chemical and radiolytic degradation of asphalt on plutonium solubility., MRS' 96 Symposium, 1996 (印刷中)
- (3) 前田 宗宏, 伊藤 勝, TRU廃棄物処分場に関する設計研究, 動燃技報第104号 (作成中)

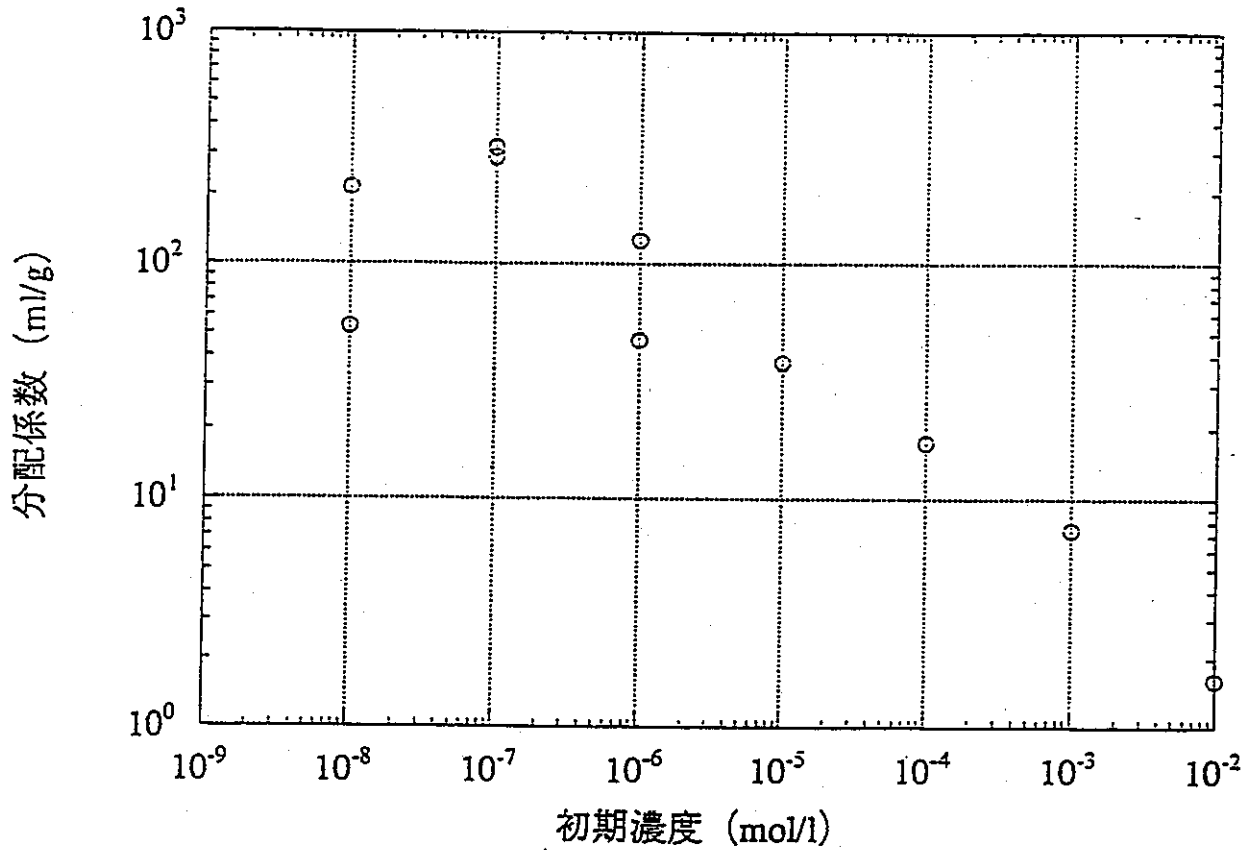


図-1 普通ポルトランドセメントペーストに対するヨウ素の分配係数測定結果 [1]

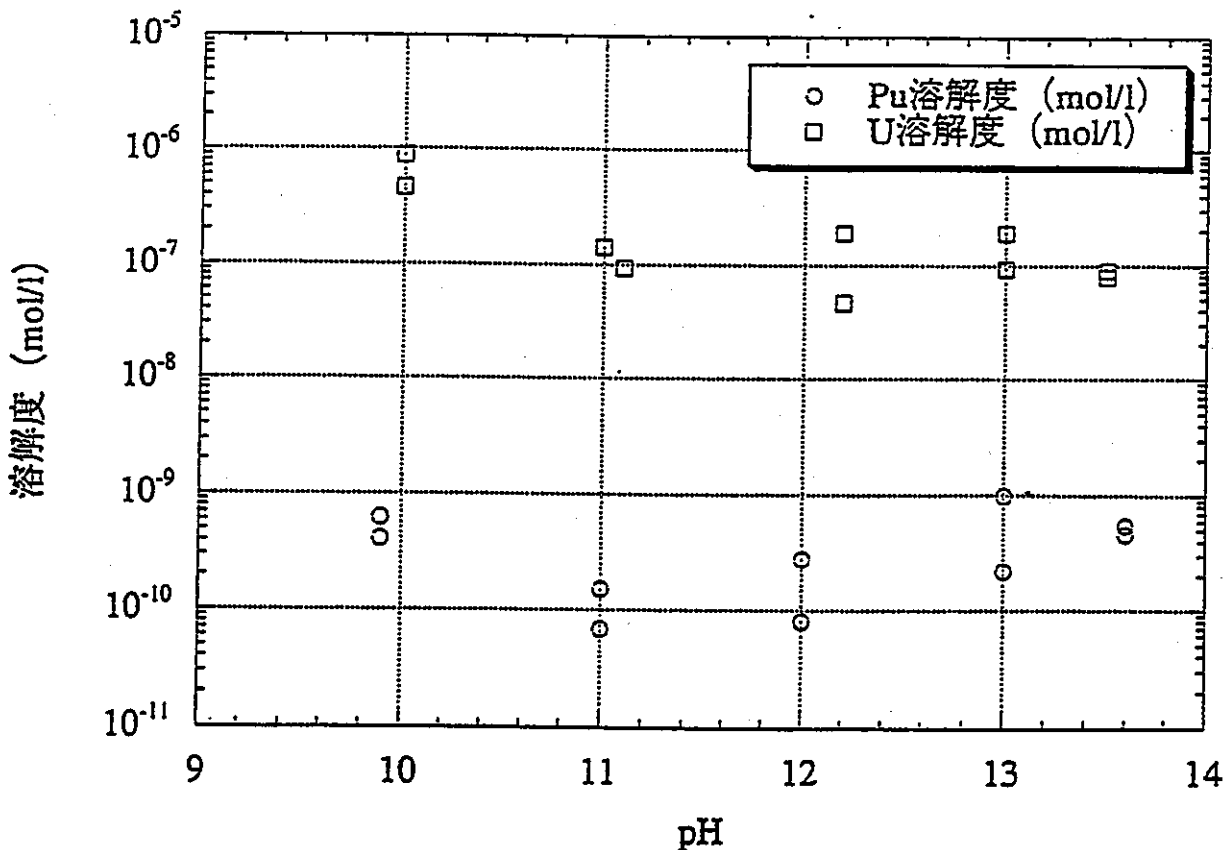


図-2 Pu、Uの溶解度測定結果 [2]  
(Pu、UともにIV価)