

平成3年度～平成7年度安全研究成果（成果報告票）

—高レベル放射性廃棄物安全研究年次計画（平成3年度～平成7年度）—

技術資料		
開示区分	レポートNo.	受領日
T	N1410 96-067	1996.11.18.

この資料は技術管理室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です
動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室

1996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

動力炉・核燃料開発事業団

(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1996

1996年11月

平成 3 年度～平成 7 年度安全研究成果（成果報告票）
－高レベル放射性廃棄物安全研究年次計画（平成 3 年度～平成 7 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 8 年 9 月 25 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、高レベル放射性廃棄物安全研究年次計画（平成 3 年度～平成 7 年度）に登録された研究課題（17 件）について成果報告票を作成した。

本報告書は、国に提出した成果報告票を取りまとめたものである。

報告者部課室
編集 安全部安全研究課

この報告書は、平成 8 年 9 月 25 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、高レベル放射性廃棄物安全研究年次計画（平成 3 年度～平成 7 年度）に登録された研究課題（17 件）について成果報告票を作成した。本報告書は、国に提出した成果報告票を取りまとめたものである。

報告者部課室 リスト参照

編集 安全部安全研究課

目 次

1. - (1) 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	2
1. - (2) 安全評価シナリオに関する基礎的な研究	8
1. - (3) 地層処分システムの長期安定性に関する研究	12
1. - (4) 安全評価に用いる解析手法・モデル・データの品質保証に関する研究	16
2. - (1) 人工バリア要素の安全評価に関する研究	20
2. - (2) 人工バリアシステムにおける放射性核種の移行に関する研究	28
2. - (3) 人工バリアのナチュラルアナログ研究	34
2. - (4) 地下水の水理地質学的特性に関する研究	40
2. - (5) 地下水の地球化学的特性に関する研究	46
2. - (6) 天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究	52
2. - (7) 天然バリアのナチュラルアナログ研究	60
2. - (8) 地質環境予測に関する研究	66
2. - (10) 地層処分システムの地震動特性に関する研究	72
2. - (12) 人工バリアとその周辺岩盤との相互作用に関する研究	76
3. - (1) 地層処分システムの総合安全評価手法に関する研究	82
3. - (2) 地層処分システムの確率論的評価手法に関する研究	86
4. - (2) T R U 廃棄物処分の安全確保方策の研究	90

安全研究年次計画登録研究課題	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				
実施研究課題 (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 (Discussion of Safety Principles and Criteria for HLW Disposal)				
実施機関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	原 啓二 (Keiji HARA) 、 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 Key Word	安全指標 Safety Indicator	時間枠 Timeframe	制度的管理 Institutional Control	人間侵入 Human Intrusion	確率論／決定論的評価 Probabilistic/Deterministic Assessment
継続状況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了		<input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続		
研究期間	平成3年度～平成12年度まで継続見込み		関連する国際共同研究課題及び実施機関	該当せず	
関連する解釈コード	該当せず		関連する特別会計 実証試験	該当せず	
<p>【成果の達成レベル】 (平成3年度～平成7年度)</p> <p>我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の安全基準策定に資するため、I A E A 、 O E C D / N E A 等の国際的な場で示されている安全原則を調査するとともに、各国の安全基準とその考え方、及び最近の各国の安全評価報告書で具体的に示されている評価の考え方について調査・検討を行った。これより、以下の知見が整理でき、所期の成果を得た。</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 地層処分の安全性に係る基本的考え方に関する研究 将来世代への負担・影響、制度的管理に関する国際的な原則の背景となる部分を整理でき、所期の成果を得た。 ii) 地層処分の安全評価、基準・指針等に係る基本的考え方に関する研究 安全評価の指標、時間枠、及び方法論について、諸外国の考え方を整理でき、所期の成果を得た。 iii) 安全評価、基準・指針等の設定手順、設定方法等の検討 <ul style="list-style-type: none"> i), ii) の成果に基づき、我が国における安全基準策定に当たり、以下の考え方方が整理でき、所期の成果を得た。 (1) 「将来世代に過度の負担をかけない」、「現在の世代と同じレベルの放射線防護が、将来の世代に対しても適用されるべき」といった倫理的観点や、安全指標、時間枠について、充分な議論に基づく配慮を行うことが重要である。また、制度的管理や将来の人間活動に対する考え方を議論しておく必要がある。さらには、確率論的評価・決定論的評価といった安全評価の方法論について検討しておくことが肝要である。特に、技術論の枠をこえるような議論については、規制面でのルール化を図るよう適切な措置が求められる。 (2) 当面、我が国で進める研究開発においては安全評価を行う際の安全性の指標については、線量が最大となる時間までの評価を行うとともに、人間の生活様式・環境の変化に伴う予測の不確実性を考慮し、線量に併せて生物圈への放射性核種の移行率等の別の指標による評価を行っておくことが適切と考えられる。 					
<p>【今後の予定 (平成8年度以降の計画)】</p> <p>これまでの諸外国の安全基準等に関する調査から、地層処分の安全性に関わる基本的考え方方が整理できた。平成8年度以降も「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」として継続し、人間侵入の考え方、制度的管理・モニタリングの考え方、評価期間等についてさらに検討を行う。</p>					
<p>【使用主要施設】</p> <p>なし</p>					
連絡先	〒107 〒03-3586-3311 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 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	【氏 名】主幹 原 啓二	

【研究目的】

高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全性を確保するうえで、基本的な事項である安全に関する考え方について調査・研究し、また安全評価基準の設定に関する研究を実施することによって、地層処分に対する国民の合意形成と研究開発成果の評価に資する。

【研究内容】

「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と技術基準」(IAEA/1989年)を参考に、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意見を取りまとめるとともに、地層処分の安全確保にとって基本となる事項について調査・研究する。また、これらの考え方を参考にして、地層処分に関する安全評価、基準・指針等に係る基本的考え方に関する研究を行い、さらに、その設定手順、設定方法等に関する研究を実施する。このため、以下の研究を行う。

i) 地層処分の安全性に係る基本的考え方に関する研究

将来世代への負担、制度的管理の必要性、将来世代への影響、国境外への影響等

ii) 地層処分の安全評価、基準・指針等に係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、安全評価シナリオに対応した評価尺度に関する事項、安全評価手法、安全評価の評価期間等

iii) 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】

i) 地層処分の安全性に係る基本的考え方に関する研究

放射性廃棄物の管理においては、「将来世代に過度の負担をかけない」、「地層処分の安全性は、処分場閉鎖後の短期間を除いて、制度的管理に依存するものではない」との国際的な原則が示されている。将来の人間侵入による、処分場の人工バリアの破壊や、公衆が許容限度以上に被ばくするような、理にかなわないリスクに対して、能動的な制度的管理に基づく処分場閉鎖後監視システムを考えることは合理的とはされていない。ただし、処分場閉鎖後初期の一定期間にについて、このような制度的管理が効果を有することは認めることができると考えられている。

ii) 地層処分の安全評価、基準・指針等に係る基本的考え方に関する研究

(1) 高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全基準(図-1)については、国際機関等において基本的考え方の検討が進められるとともに、これまで既に法的に規定している国もある。各国の安全基準では、個人に対する最大の線量は、 $0.1 \sim 0.3 \text{ mSv/年}$ の間にある。一方、リスクについては、基準を設定していない国、突発的な事象に対してのみ設定している国、及び考慮するすべての事象に対し設定している国があるが、設定している国においては、個人に対する最大のリスクは、 $10^{-5} \sim 10^{-6}/\text{年}$ の間にある。国によっては、通常の緩慢な放射性核種放出シナリオに対しては線量を適用し、突発的な事象の影響に対してはリスクを適用している例がある。

(2) 今日適用される個人線量及びリスクの上限は、原則的には期限なしに適用されるべきである。しかし、環境条件と将来の人間の生活様式の変化に付随する不確実性により、この原則を長期に渡って満足させることを保証することは難しいと考えられている。

諸外国においては安全基準の中に、評価の時間枠を設定している例があり(表-1)、これらは次の3つに分類できる。すなわち、時間枠を、それ以降の時間は安全評価を要求しない「カットオフ」として設定しているもの(米国、ドイツ)、ある時間の前後で評価方法を区別しているもの(カナダ、ドイツ、フランス)、線量やリスクが最大(ピーク)となる時間まで評価するもの(スイス)である。時間枠の検討の視点としては、潜在的毒性、地質環境の特性、将来の人間活動を考えられているが、これら3つの視点のいずれもが、カットオフを設定するための決め手とはならず、評価の時間枠の設定は規制側の判断事項であると考えられている。よって、当面、我が国で進める研究開発においては安全評価を行う際の安全性の指標については、線量が最大となる時間までの評価を行うとともに、人間の生活様式・環境の変化に伴う予測の不確実性を考慮し、線量に併せて放射性核種放出率等の別の指標による評価を行っておくことが適切と考えられる。

iii) 安全評価、基準・指針等の設定手順、設定方法等の検討

(1) 地層処分システムの安全評価に当たり、シナリオの設定やモデルを用いた解析の方法には、決定論的方法と確率論的方法がある。これら2つの方法の主要な相違は、確率論的方法においては、確率が定量化され、これによってリスクが推定されるという点である。各國の包括的安全評価における方法論を比較すると、確率論的方法のみを単独で採用している報告書はない。決定論的方法と確率論的方法を組み合わせている安全評価報告書のうち、SKB91(スウェーデン)では、地下水流动解析において、パラメータの空間的分布を取り扱うために統計モデルを使用している。EIS(カナダ)については、規制当局(AECB)の指針(R-104)により、被ばく評価に対して確率論的アプローチの採用が義務づけられている。また、TSPA1993(米国)では、規準の要請によりパラメータ値の不確実性(例えば、地層中の透水係数の空間分布)に対する確率密度関数の付与や、いくつかの事象(たとえば、火成活動)に対する発生確率を定義する必要性から確率論的アプローチを採用している。

一方、決定論的方法のみを採用している安全評価報告書(TVO-92:フィンランド、H-3:日本、Kristallin-I:スイス)については、その採用理由として、解析の対象としているプロセスがいかにもモデル化されているかを理解することが容易であることがあげられている。特にスイスでは、発生の可能性が極めて低いシナリオに対しては、リスク規準の適用が定められているが、評価上はすべての考え得るシナリオについて決定論的に扱い、それぞれ線量を算出している。

(2) H-3レポートを含め、各國の包括的安全評価の考え方及び結果を比較すると、カナダでは非常に良質な岩盤が重要な役割を果たしているが、スウェーデン、フィンランドにおいては銅製キャニスターの長期的な閉じ込め性能が評価結果を支配しており、スイス及びH-3レポートでは強力な人工バリアの総合的な性能に依存している。地質学的特徴はそれぞれ異なるものの、適切な地層に人工バリアを構築するという共通した処分概念の下で、ほとんどの国が安全を確保する要素としてニアフィールドにおける核種閉じ込め性能を重視している。また、各國ともICRPの勧告に基づき例示的に取り上げた規制のガイドラインを、十分な裕度をもって充たしている(図-2)。異なる処分概念や評価手法がそれぞれ地層処分の安全性を示しているという事実は、今後求められる処分概念や評価手法の最適化に対して柔軟性が存在していることを併せて示している。

【公開資料】

- (1)動燃事業団: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－、動燃技術資料、PNC TN 1410 92-081(1992)
- (2)大井貴夫、畠中耕一郎、内藤守正、宮原要、梅木博之:簡単な線量評価による地層処分システム性能の概略把握、PNC TN 1410 92-085(1992)
- (3)梅木博之:スイスNagra Kristallin-Iと動燃H-3レポートの比較、放射性廃棄物研究、Vol. 1, pp. 13-20 (1994)
- (4)Neall, F. B. (ed.), Baertschi, P., McKinley, I., Smith, P., Sumerling, T. and Umeki, H.: Kristallin-I Results in Perspective, Nagra NTB 93-23 (1994)
- (5)内藤守正、梅木博之:高レベル放射性廃棄物処分に関する安全評価結果の比較、PNC TN 1510 95-004 (1995)

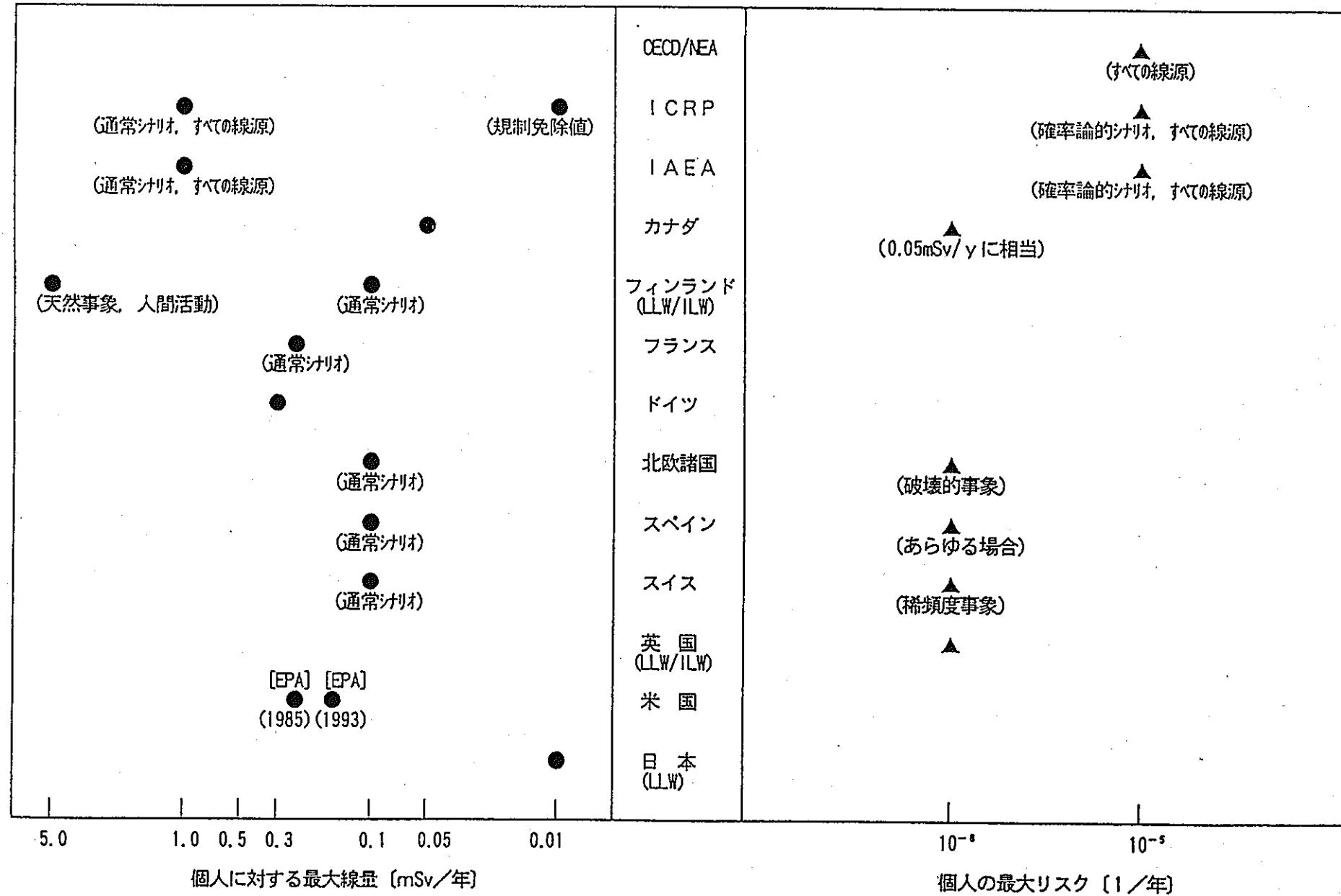


図-1 高レベル放射性廃棄物の地層処分における各国の安全基準値

(注) 日本のみ低レベル放射性廃棄物処分の基準値を参考として示した。

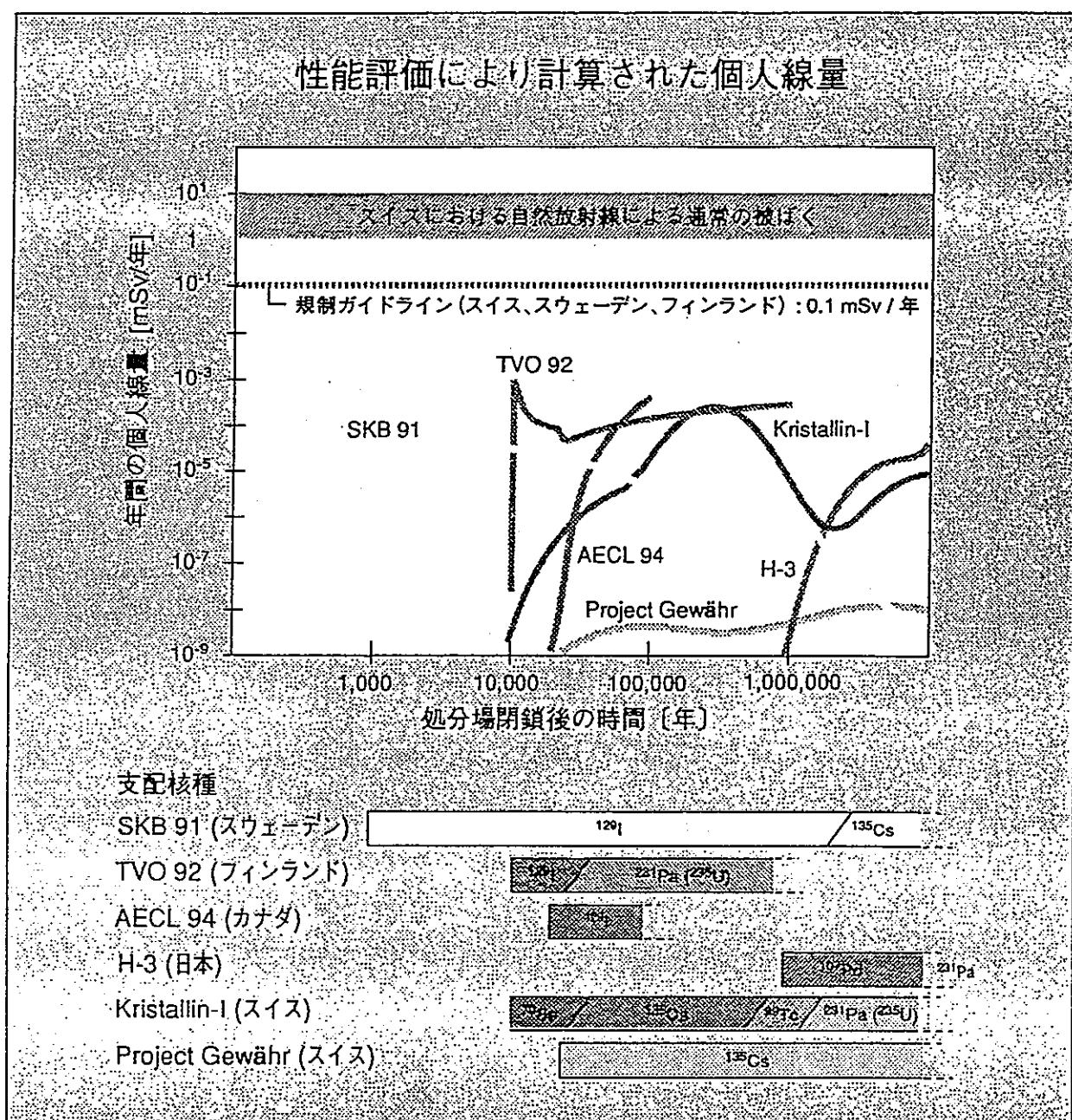


図-2 SKB 91, TVO 92, AECL 94, H-3, Project Gewähr, Kristallin-I のレファレンスケースに対する個人線量計算値と各ケースにおいて線量を最も支配する放射性核種

表-1 諸外国における時間枠の設定

	時間枠の設定
カナダ (Regulation Documents R-104, 1987)	<ul style="list-style-type: none"> 目標達成を示す時間枠 $\Rightarrow 10^4$ 年 時間枠10^4 年を超えても急激な著しい影響の増加がないこと、かつその根拠も論理的に示すこと
フランス (Basic Safety Rule, BFS 111.2.F, 1991)	<ul style="list-style-type: none"> 10⁴ 年以降、線量限度は「参考値」として取り扱う 地質バリアの最低10^4 年にわたる安定性を証明すること 5万年以降においては、大規模な氷河期を考慮すること
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> 個人線量の計算の対象となる時間枠は10^4 年とするが、10^4 年以降10^6 年まで隔離性の潜在能力を放出率により評価すること
米国 (EPA 40CFR Part191, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> 時間枠は1万年間 評価中のあらゆる被ばく経路からの個人線量 $\Rightarrow 0.15\text{mSv}/\text{年未満}$ 汚染の最大許容レベルを超えないよう、飲料用地下水源を保護すること
(NASレポート： Technical Bases for Yucca Mountain Standards, 1995)	<ul style="list-style-type: none"> 時間枠は、地質学的安定性によってのみ制限されるべき（ユッカマウンテンの場合約10^6 年）であり、またリスクが最大となる時期を含めるべきと提案（10^6 年以内で）
スイス (Regulation Documents R-21, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> 処分場は数年以内にいつでも閉鎖できるように設計しなければならず、また閉鎖後、制度的管理を必要とせずに安全性を保証 線量やリスクの評価期間は、少なくともそれらが最大となる時点までを提案（ただし、遠い将来における線量は「指標値」として認識し、現在の生活習慣に基づくReference 生物圏に基づき評価）

安全研究 年次計画登録 研究課題	安全評価シナリオに関する基礎的な研究				
実施研究課題 (Title)	安全評価シナリオに関する基礎的な研究 (Study on Scenario Development for Safety Assessment of HLW Disposal System)				
実施機関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	大井貴夫(Takao OHI), 牧野仁史(Hitoshi MAKINO) 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 Key Word	シナリオ Scenario	シナリオ開発 Scenario Development	シナリオ解析 Scenario Analysis	F E P F E P	シナリオシミュレーション Scenario Simulation
継続状況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了			<input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続	
研究期間	平成3年度～平成12年度まで 継続見込み		関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず	
関連する 解析コード	該当せず		関連する特別会計 実証試験	該当せず	
【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度)					
i) OECD/NEAによって整えられたシナリオ開発の一般的な枠組みに沿ってシナリオの開発を進め、所期の成果を得た。 また、シナリオ開発をサポートするために用いる感度解析手法を開発し、所期の成果を得た。 ii) 安全性に影響を与える可能性のある重要な事象、プロセス、特性を、IAEAのチェックリスト等を参考にして102のFEP(特性(Feature), 事象(Event), プロセス(Process))リストとしてまとめ、所期の成果を得た。また、わが国において特に重要な天然事象を抽出し、それぞれの事象の発生の可能性に関する情報を収集・整理した。また、人間侵入に関する情報として、過去のボーリングデータを収集・整理し、所期の成果を得た。 iii) 発生頻度の低い事象(稀頻度事象)およびそれらに関連する因子を類型化・リスト化した。また、稀頻度事象及びそれに関連するFEPの重要度を量定化するための手法の検討を行い、スクリーニングする基準の設定に関する研究および安全シナリオに採り入れる事象、プロセス、特性等のリスト化に関する見通しを得た。 iv) シナリオを、接近シナリオと地下水シナリオに分類し、さらに地下水シナリオを基本ケースと変動ケース(発生確率が異なる稀頻度事象が発端となり地下水シナリオに影響を及ぼすケースを含む)に細分化することによって、安全評価の予備的評価シナリオの作成に関する見通しを得た。 v) シナリオの構築を容易にするシナリオ開発支援ツールを開発するとともに、各シナリオに対するシミュレーションを具体化する際に必要となるモデルの調査・検討を行い、処分環境の長期的变化を予測するシミュレーション手法の開発に関する見通しを得た。					
【今後の予定(平成8年度以降の計画)】					
新規研究課題：「安全評価シナリオに関する研究」 地層処分システムに係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シナリオを設定するため、以下の研究を行う。 ① 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、プロセス及び特性のリストの更新を行うとともに、適切な類型化及びグルーピングを行い、シナリオの構成要素を因果関係を明確にしながら整備する。 ② シナリオの構成要素を、因果関係に基づき適切な手法及び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シナリオの設定を行う。 ③ 設定されたシナリオについて、処分システムの長期的性能を予測するための適切な評価手法の開発・整備を行う。					
【使用主要施設】					
東海事業所 地層処分基盤研究施設					
連絡先	〒107 県03-3586-3311 東京都港区赤坂1-9-13(三会堂ビル) 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 〔氏 名〕主幹 原 啓二		

【研究目的】

地層処分の長期的な安全評価において、考慮すべき事象、プロセス、特性等を調査・検討し、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合理的な評価シナリオを設定する。

【研究内容】

地層処分システムに係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。

- i) 我が国の地層処分の研究開発の進展に対応して、シナリオを合理的に設定・解析する手法を研究開発する。
- ii) 我が国の自然環境、社会環境、処分システム概念等を考慮して、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、特性等を出来る限り広範囲に抽出し、相互の因果関係を明確にするとともに、これらの事象等の長期的発生確率の予測に資するデータを収集する。
- iii) 上記の抽出項目を類型化及びスクリーニングする基準の設定に関する研究を行うとともに、この基準に基づいて、我が国において想定し得る処分システムの諸条件を勘案して、事象等の類型化及びスクリーニングを行い、安全評価シナリオに採り入れる事象、プロセス、特性等のリストを作成する。
- iv) 最終的なリストを組み合わせて、安全評価の予備的評価シナリオを作成する。さらに、処分シナリオの長期的な安全性に影響を及ぼす可能性のあるシナリオを設定するための判断基準に関する研究を行う。
- v) 安全評価シナリオでの想定事象の長期的な経時変化を定量的に予測するため、処分環境の長期的变化を予測するシミュレーション手法を開発する。

【研究成果】

- i) 放射性核種が人間に影響を及ぼすと考えられる道筋（シナリオ）には様々な現象が含まれる。従来、地層処分システムの安全評価のためのシナリオ開発は、これらの個々の現象を扱う専門家の興味に大きく依存し、考慮すべきシナリオの網羅性等に関する議論は必ずしも明確にされていない場合が多くあった。また、安全評価のためのシナリオとして、考慮すべき範囲を合理的に設定していくためには、方法論の枠組みを明確にして、体系的にシナリオを開発することによってできる限り客観性を保つ必要がある。このようなシナリオ開発における問題点、必要性並びに我が国の処分環境（地質環境が複雑で、サイトが特定されていない）を踏まえ、シナリオを合理的に設定・解析する手法を研究した結果、安全評価のためのシナリオの範囲を合理的に設定していくための方法として米国サンディア国立研究所が基本的枠組みを提唱し、O E C D / N E A により整えられたシナリオ開発の一般的枠組みが、特に我が国のように地質環境を幅広く考慮した安全評価を進める上で、シナリオの抜け落ちを防止し、専門家の判断を適切に反映するという点で有効であるとの結論を得、この手法に基づいてシナリオ開発を進めた。また、F E P リストからシナリオを組み上げる方法としては、インフルエンスダイアグラムのようなトップダウン的な方法が現実的であるとの結論を得た。さらに、シナリオ解析に関する手法研究として、簡略化したモデルを用いて相互に関連しあう複数のF E P またはそれらに関する個々の因子の安全評価指標に対する感度を網羅的に表現し、F E P またはそれらに係わる因子の時間・空間変化の影響を含めた解析評価を行うことができる手法を地下水シナリオを対象とし開発し、その有用性を確認した。（図-1 参照）
- ii) シナリオ設定手法の研究に基づき、地層処分システムの安全性に影響を与える可能性のある現象を、それを規定する要因である地層処分システムや地質環境の特性(Feature)、突発的な事象(Event)、緩慢に進行するプロセス(Process)という観点から抽出し、I A E A のチェックリスト等を参考にして102のF E P リストとしてまとめた。また、リストアップされたF E P に関する情報の収集を通してF E P の相互関係及び因果関係を整理し直した。また、これらF E P の整理の過程で、わが国の地質環境条件の長期的安定性に影響を及ぼす可能性のある天然事象（気候変動、海面変動、断層活動、火山活動、隆起・沈降、隕石の衝突）を抽出するとともに、わが国におけるこれらの事象の発生の可能性及びその影響の程度を検討するための既存情報の収集・整理を行った。また、人間が係わる事象（人間侵入）による影響を考慮するために、過去のボーリングデータの収集・整理も行った。
- iii) わが国の地質環境条件の長期的安定性に影響を及ぼす可能性のある天然事象及び人間が係わる事象の検討から、発生頻度の低い稀頻度事象の検討が重要であることが示された。そこで、このような稀頻度事象の影響を検討するため、稀頻度事象による影響を4つの境界条件（水理、熱、機械、地球化学）の変動として扱い、これらの変動とこれらの変動によって影響を受ける核種移行プロセスとの関連を類型化・リスト化し、インフルエンスダイアグラムを作成するとともにこれらの影響を評価するための手順を整理した（図-2に火成活動を起点とするインフルエンスダイアグラムを示す）。さらに、データや情報が十分でなく本質的に不確実であるこれらの事象の重要度を定量的に評価するための手法として、様々な専門家の主観的または直観的な判断を用いて事象を定量化するA H P 法 (Amalitcal Hierarchy Process) を考え、この手法の有用性を確認した。
- iv) シナリオを、処分場からの放射性核種が地下水を移行媒体として人間に影響を及ぼすシナリオ（地下水移行シナリオ）と人間と地層処分された高レベル廃棄物の物理的距離が接近することによって人間に影響を及ぼすシナリオ（接近シナリオ）とに分類した。さらに、前者の地下水移行シナリオに対しては、地質環境条件が定常かつ他の要因の変動が緩やかで無視し得ることを想定した基本ケースと、地質環境条件が非定常かつ他の要因の変動による影響を考慮した変動ケース（発生確率が稀な稀頻度事象が発端となり地下水シナリオに影響を及ぼすケースを含む）とに分類した。
- v) 安全評価シナリオに取り入れるべき事象、プロセス、特性の情報に基づいてそれらの相互関係を図示するとともに、個々の相互関係の重要度に基づいて注目すべき影響の伝搬経路を同定することができるシナリオ開発支援ツールの開発を行った。さらに、安全評価シナリオにおける想定事象の影響を定量的に予測するシミュレーション手法の開発の一貫として、シミュレーションを具体化する際に必要となる現象モデルの調査・検討を行った。

【公開資料】

- (1)動燃技報No.85（高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発特集），pp14-22，（PNC TN1340 93-001）
- (2)地層処分研究開発の現状（平成5年度），pp61-65，（PNC TN1410 94-094）

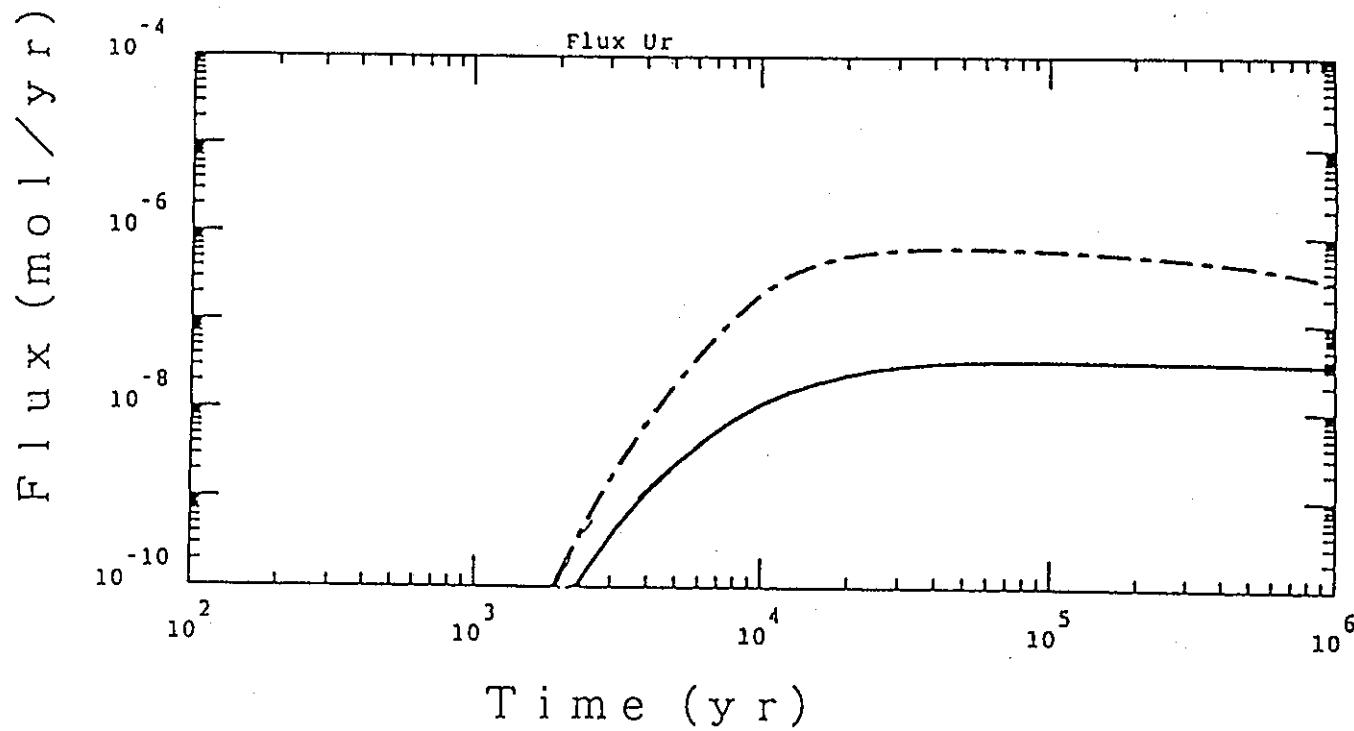


図-1 沈殿速度が変化することによる核種放出率の
変動の例 (U-233の場合)

(- : 沈殿速度が速い場合、… : 沈殿速度が遅い (1/1000) 場合)

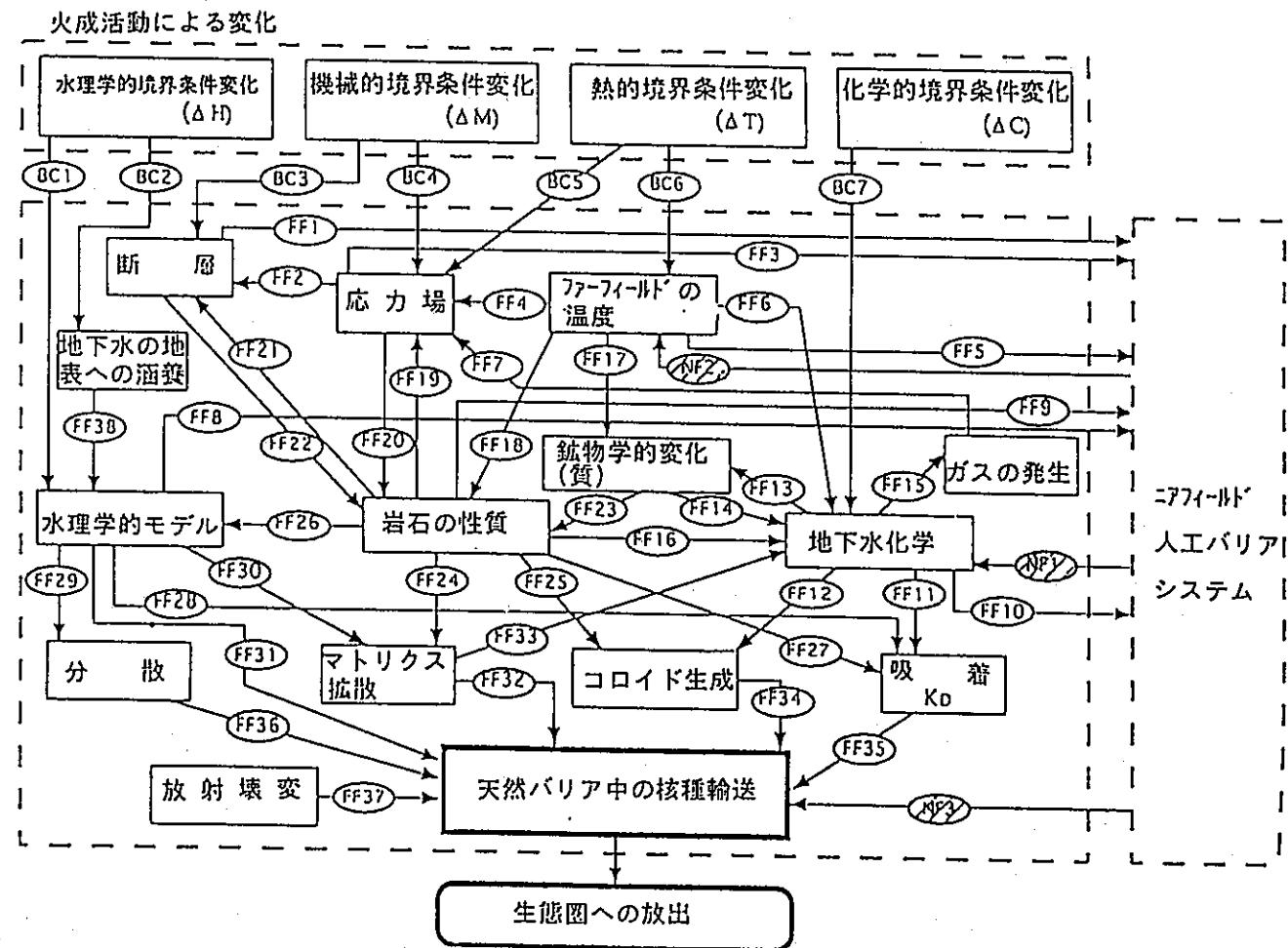


図-2 火成活動を起点とするインフルエンスダイアグラムの例

安 全 研 究 年 次 計 画 登 錄 研 究 課 題	地層処分システムの長期安定性に関する研究		
実 施 研 究 課 題 (Title)	地層処分システムの長期安定性に関する研究 (Study on Long-Term Stability for Geological Disposal System)		
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)		
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	湯佐泰久 (Yasuhisa YUSA)、佐久間秀樹 (Hideki SAKUMA)、石丸恒存 (Tsuneaki ISHIMARU)、梅田浩司 (Koji UMEDA)、藤原治 (Osamu FUJIWARA) 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	地層処分	長期安定性	天然事象
Key Word	Geological Disposal	Long-term Stability	Natural Processes and Events
総 統 状 況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続		
研 究 期 間	平成3年度～平成12年度まで継続見込み	関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず
関 連 す る 解 析 コ ー ド	該当せず	関連する特別会計 実証試験	該当せず
【成果の達成レベル】 (平成3年度～平成7年度)			
i) 自然環境の変化予測に必要なデータの収集 気候・海面変動、断層活動、火山活動、隆起・侵食について、将来変化予測に必要な、日本列島における各現象の分布や地質時代の変動範囲、変動規模に関する既存情報の収集を行い、各現象の過去の時間的・空間的变化について所期の成果を得た。			
ii) 長期変動予測モデルの開発 第四紀における内陸部の侵食速度の定式化による長期的な地形変化モデルの作成を行い、地形変化の予測について所期の成果を得た。			
iii) 処分場環境の変化の予測モデルの開発 火山活動に伴う貫入岩の処分場環境への影響評価に関して、確率論的手法を用いた既存の性能評価コード (RIP モデル : Repository Integration Program) によるケーススタディを行い、同コードの日本列島における火山活動への適用性についての見通しを得た。			
【今後の予定 (平成8年度以降の計画)】			
新規研究課題：「地質環境の長期安定性に関する研究」 イ. 我が国において重要な天然事象（気候変動・海面変動・断層運動・隆起・侵食、火山活動）について、既存データの解析および事例研究によって各事象の発生と規模に関するデータを収集する。 ロ. 収集したデータを基に、各事象の長期変動を予測するモデルを作成・高度化する。 ハ. 天然事象が地質環境に及ぼす岩盤力学的、水理学的、地球化学的な影響の規模や範囲に関するデータの収集を実施する。			
【使用主要施設】			
東濃地科学センター			
連絡先	〒107 県03-3586-3311 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 動力炉・核燃料開発事業団	[所 属] 環境技術開発推進本部 地層科学グループ [氏 名] 主幹 武田 精悦	

【研究目的】

地層処分システムの長期安定性に影響を及ぼす事象を抽出し、経時的に増加する不確実性を評価することによって、地層処分の安全性を評価する期間の合理的設定に資する。

【研究内容】

地層処分システムの長期挙動を予測するうえで影響を与える以下の事象を対象として、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、処分システムの安全評価に統合した形で影響評価できるモデルを開発し、不確実性を定量的に評価する手法の研究を実施する。

i) 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変動、地殻変動に関するデータを収集する。

ii) 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開発する。

iii) 処分場環境の変化の予測モデルの開発

安全評価の対象としている処分環境が、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、処分場の環境の変化の予測モデルを開発する。漸進的な事象に対しては決定論的な手法を導入し、確率事象として表せる事象に対しては確率論的な手法によってモデル化を行い、長期変動とそれによる影響を定量的に予測する全体モデルを作成する。

【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。

i) 自然環境の変化予測に必要なデータの収集

- ① 日本の活断層の平均変位速度は0.01～10m／千年の範囲にあり、その大部分が5m／千年以下である。平均変位速度が5m／千年を上回るものは、中央構造線系や糸魚川～静岡構造線系など数例である。
- ② 過去約12万年間の海岸部の隆起速度は多くの地域で0.5m／千年以下である。また、隆起速度は太平洋や日本海に面した半島部で大きく、南関東、四国南部、男鹿半島、能登半島などでは1m／千年以上に達する。
- ③ 第四紀の火山の分布は新第三紀の火山岩分布地域とほとんど一致しており、日本列島における火山活動の場が、新第三紀から第四紀にかけて大きくは変化していないと考えられる。
- ④ 第四紀における気候・海水準の変動パターンに基づけば、今後の地球の気候は、約10万年後に想定される最寒冷期に向けて寒冷化し、海面も低下していくと考えられる。最寒冷期における海面は、現在に比べて百数十m低下すると予想される。また、温暖期のピークからすでに5～6千年を経過していることから、今後数千～1万年以内には寒冷化が始まり、海面は数m～数十m低下すると予想される。
- ⑤ 地球に落下する隕石の起源を火星と木星の間の軌道を回る小惑星（アポロ群小惑星）と仮定すると、将来、アポロ群小惑星の地球への衝突確率は、 $0.64 \sim 14.84 \times 10^{-9}$ ／年であり、平均は 4.46×10^{-9} ／年である。

ii) 長期変動予測モデルの開発

- ① 山地部の侵食速度をダムに堆積した土砂の量から算出した結果、大部分の山地において侵食速度は0.5m／千年以下であることが明らかになった（図-1）。
- ② 平野周辺における侵食速度を段丘の年代と侵食量から算出した結果、段丘の形成直後の侵食速度は非常に速いが、段丘形成から時間とともに侵食速度は遅くなっていく傾向が認められた（図-2）。また、回帰式から求めた平野周辺の過去10万年間の侵食速度に応じた、二次元地形変化モデルを構築した。

iii) 処分場環境の変化の予測モデルの開発

火山活動に伴う貫入岩の処分場環境への影響評価に関して、我が国の火山のデータに基づき、RIPモデルを用いたケーススタディを実施し、火山活動の影響評価に必要な入力データ項目に関する情報を得た。RIPモデルを用いた火山活動の影響評価には、火山の噴火頻度、噴出物の量、貫入岩の貫入確率などのデータが必要である。貫入確率は、貫入岩の分布、長さなどのフィールドデータに基づいてFracMan（割れ目分布の3次元解析コード）を用いて算出できる。

【公開資料】

- (1) Shimizu, K., Ishimaru, K., Furuya, K. and Yusa, Y. : Natural processes and events relevant to long-term stability of geological environment in Japan. In Waste Disposal and Geology, Scientific Perspectives, Proc. Workshop WC-1 of the 29th International Geological Congress, pp. 381-394. (1992)
- (2) 石丸恒存, 清水和彦: 地質環境の長期隔離性能に係わる天然事象について(III) -隕石の衝突-, 日本原子力学会1992年秋の大会予稿集, p. 337. (1992)
- (3) 藤原治, 古屋和夫, 清水和彦, 石丸恒存: 地質環境の長期隔離性能に係わる天然事象(IV) -我が国の山地部における地盤の侵食速度-, 日本原子力学会1993年春の年会要旨集, p. 417. (1993)
- (4) 動力炉・核燃料開発事業団: 地層処分研究開発の現状, 日本における地質環境の長期安定性, PNC TN1410 94-094. (1994)
- (5) 武田精悦: 地層処分における地質環境の安定性, 地質ニュース第499号, pp. 8-12. (1995)
- (6) 石丸恒存, 中山英二, 安藤茂: 野島断層周辺(淡路島北西部)を対象とした空中電磁探査, 地球惑星科学連合会1996年合同大会予稿集, p. 673, J11-17. (1996)
- (7) 藤原治, 増田富士雄, 酒井哲弥, 岡田浩子, 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, 堆積学研究第43号, pp. 39-46. (1996)
- (8) 梅田浩司, 向山栄: 日本列島における第四紀火山地形-火山地形定量化の試み-, 地球惑星科学連合会1996年合同大会予稿集, p. 418, F22-P27S. (1996)

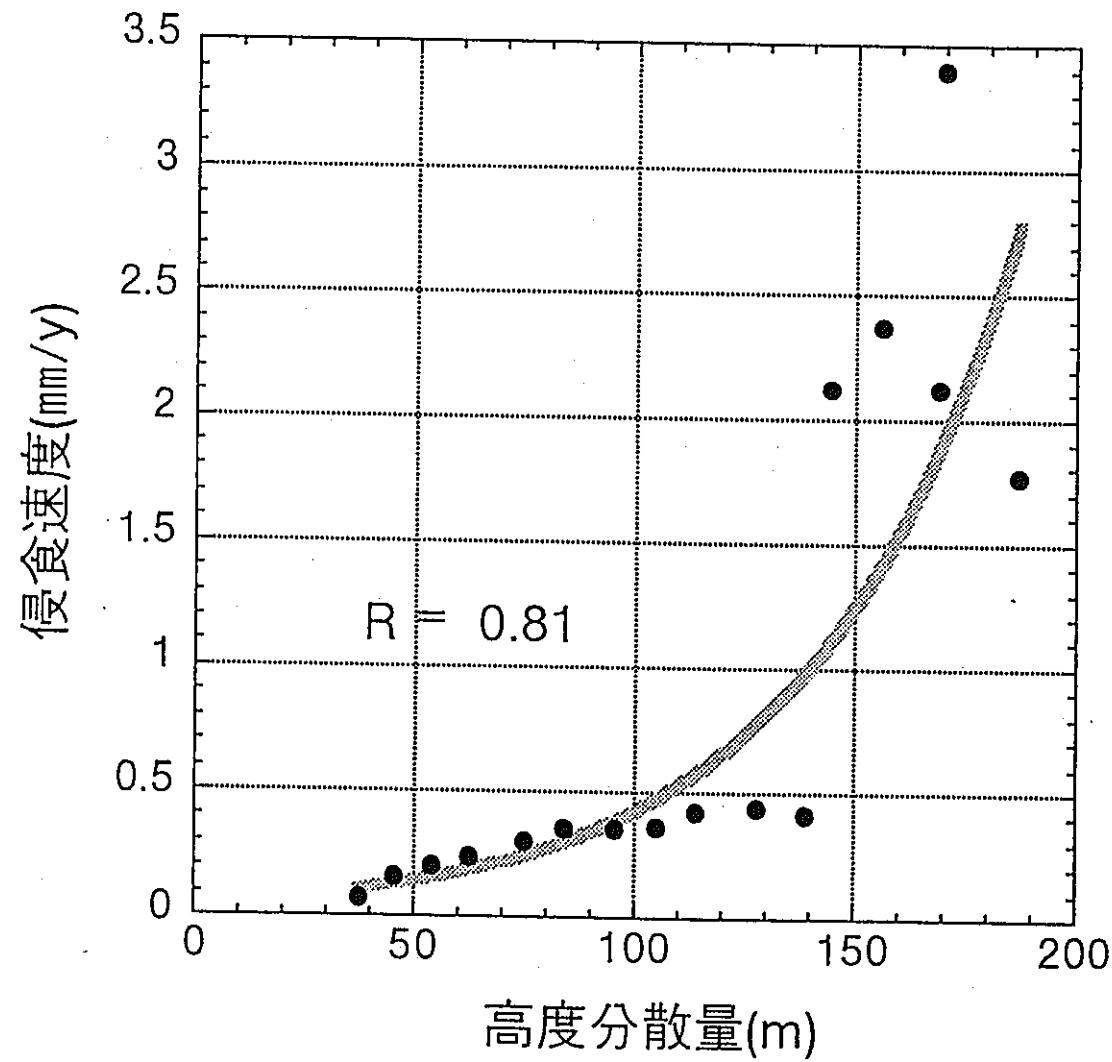


図-1 侵食速度と地形の起伏の大きさとの関係
(侵食速度はダムの堆砂量から算出)

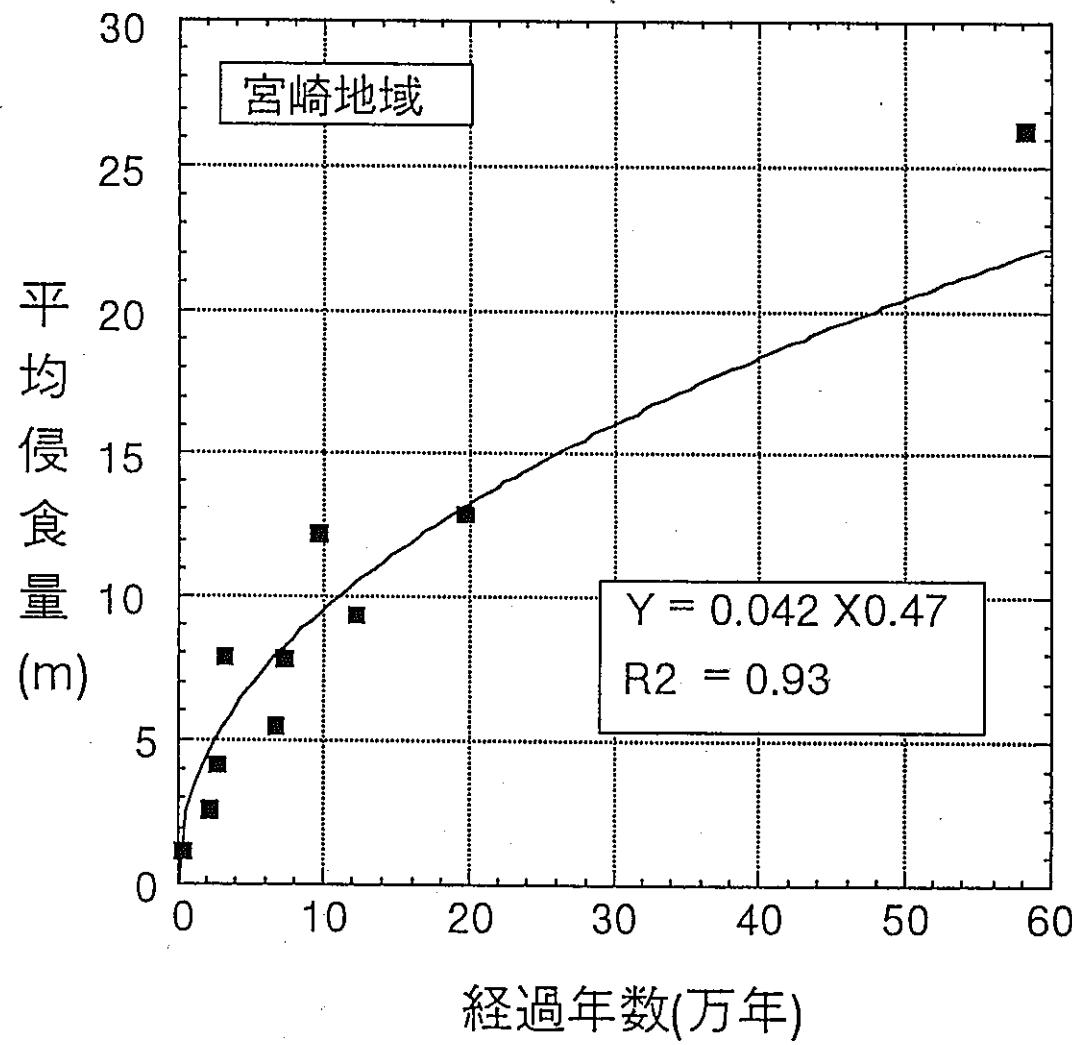


図-2 平野周辺の侵食量
(侵食量は段丘の侵食量から算出)

安全研究 年次計画登録 研究課題	安全評価に用いる解析手法・モデル・データの品質保証に関する研究				
実施研究課題 (Title)	安全評価に用いる解析手法・モデル・データの品質保証に関する研究 (Study on quality assessment of analytical method, model and data for safety assessment)				
実施機関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P.N.C.)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	畠中耕一郎(Koichiro HATANAKA)、油井三和(Mikazu YUI)、牧野仁史(Hitoshi MAKINO)、 渋谷朝紀(Tomoki SHIBUTANI)、大井貴夫(Takao OHI) 東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)				
キーワード Key Word	品質保証 Quality assessment	解析手法 Analytical method	モデル確認 Model validation	データ取得 Data acquisition	
継続状況 Continuation Status	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続				
研究期間 Research Period	平成3年度～平成12年度まで 継続見込み	関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	国際確証研究プロジェクト INTRAVAL (実施機関: SKI-OBCD/NEA 参加機関: 13カ国24機関)		
関連する 解析コード Code	該当せず	関連する特別会計 実証試験	該当せず		
【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度)					
<p>i) INTRAVAL(地層中の水理・核種移行モデルに関する国際確証研究プロジェクト)で実施されたスウェーデンのフィンションサイトでのトレーサー試験の解析を行い、物質移動に関する解析手法とモデルの妥当性を確認した。また、模擬の多孔質岩盤を用いた室内試験の実施及び試験データと解析結果の比較を行い、地下水流动及び物質移動に関するモデルの妥当性を確認し、適用範囲について見通しを得た。</p> <p>ii) 安全評価で用いられる主要なデータの一つである熱力学データについて、その品質の把握と向上のために有効なアプローチ法の検討を主要な元素の熱力学データを対象として実施し、品質保証の手続きを具体化した。また、品質を適切に維持する手法としてデータベースシステムを用いた集中的な履歴管理手法の検討を行い、品質管理システムの構築について知見を得た。</p>					
【今後の予定(平成8年度以降の計画)】					
<p>研究課題名: 「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」</p> <p>① 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。</p> <p>② 安全評価上重要な核種を対象として、地下水中的溶解度、緩衝材への吸着に係わる基本定数や拡散係数などの人工バリア中の核種移行評価上重要なパラメータにつ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。</p>					
【使用主要施設】					
東海事業所 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) 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 〔氏 名〕主幹 原 啓二		

【研究目的】

地層処分システムの安全解析の信頼性を向上させるとともに、信頼度を定量的に評価することを目的として、総合的な解析手法で用いられる個々の解析モデル並びにデータの品質保証プログラムを開発する。

【研究内容】

安全評価に用いられる様々な解析モデルについて、国際的なベンチマーク試験に参加してそれらの妥当性を検証するとともに、解析手法（計算コード）の信憑性を保証するためのプログラムを作成する。さらに、解析に用いられるデータの品質を保証するためのプログラムの作成と、安全評価プロセスの総合的な品質を管理するシステムの構築に関する研究を実施する。

- i) 評価に用いられる様々な解析手法（解析コード）の品質を定量的に把握するのに必要なベンチマークを設定するための研究及び設定したベンチマークを用いて解析手法の品質を評価するプログラムを作成する。
- ii) 評価に用いられる膨大で、多岐にわたるデータの品質を、サンプリング手法、分析方法及びデータの解析手法との関連で管理するため、以下の項目に従って、データの品質を保証するプログラムを開発する。
 - (a)データの系統的分類
 - (b)分類に対応した品質保証の指標想定
 - (c)品質保証プログラムの作成
 - (d)品質管理システムの構築

【研究成果】

- i) ①INTRAVEL（地層中の水理・核種移行モデルに関する国際確証研究プロジェクト）で実施されたスウェーデンのフィンショニサイトの破碎帯を対象としたトレーサー試験の解析を行った。解析では、まずダイポール試験データを用いて移行パラメータ（縦分散率、横分散率、破碎帯の空隙率）を推定し、それらを用いて揚水トレーサー試験の結果を予測した（図-1）。比較の結果、観測結果と予測解析結果との厳密な一致は見られないものの、トレーサーの移行挙動の傾向は再現されており、本解析で採用した原位置試験に基づくモデル検証手続きの有効性が確認された。また、非吸着性トレーサーの移行挙動の変化が有効空隙率の変化で説明がつくこと、及び移行距離の約1/10に比例する縦方向分散率が得られたことから、本解析手法及びモデルの妥当性が確かめられた。
- ②不均質性を有する岩盤中の地下水流动及び物質移動プロセスの妥当性を確認するために、岩盤の不均質性を模擬した多孔質媒体（図-2）を用いたトレーサー試験を実施し、パーティクルトラッキング法を用いて比較解析を実施した。トレーサーの移行状況の観測結果と予測解析結果（図-3）は良く一致しており、ダルシー則やフィック則といった基本的な物理法則が成立する範囲において、透水係数場が既知であれば移流プロセスのみでトレーサー濃度の予測が可能であることが示された。このことから、地下水流动及び物質移動プロセスの妥当性及びその適用範囲を確認した。
- ii) ①品質保証プログラムに関する研究として、溶解度評価のための主要なデータの一つである反応の平衡定数（熱力学データ）を対象に、品質の把握と信頼性向上のために有効なアプローチ法の検討を行うとともに、優先度が高いウランとプルトニウムに関して、そのアプローチ法に則って最新の知見や実験条件のレビュー並びに検証計算を行うことにより、溶解度評価の信頼性向上に資するデータの更新と検討課題の抽出を行った。
- ②品質管理システムに関する研究として、データベースシステムを用いた集中的な履歴管理手法についての検討を行い、解析内容全体の品質管理システムの開発と整合を取りつつデータベースシステムによる熱力学データのバージョンの集中的な管理を実現した。

【公開資料】

- 1) 牧野仁史、根山敦史、油井三和：元素の溶解度に対する地下水組成の影響評価、日本原子力学会、1992春の大会、(1992).
- 2) 畑中耕一郎、向井悟：破碎帶中の不均質性を考慮した物質移動モデルの適用性に関する検討、日本原子力学会、1994春の大会予稿集、P. 84 (1994).
- 3) 畑中耕一郎、内田雅大、金沢康夫：不均質多孔質媒体中の物質移動現象に関する実験的研究、日本原子力学会、1995秋の大会予稿集、P. 655 (1995).
- 4) 畑中耕一郎、亘真吾、金沢康夫、内田雅大、石黒勝彦、石川博久：不均質多孔質媒体中の水理/物質移動に関する研究(I)、動燃技術資料、PNC TN8410 95-377 (1995).
- 5) K. HATANAKA, S. WATARI, M. UCHIDA, H. TAKASE and M. D. IMPEY : Experimental Study on Groundwater Flow and Mass Transport in a Heterogeneous Porous Media , Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol 412, pp. 739-746 (1996).

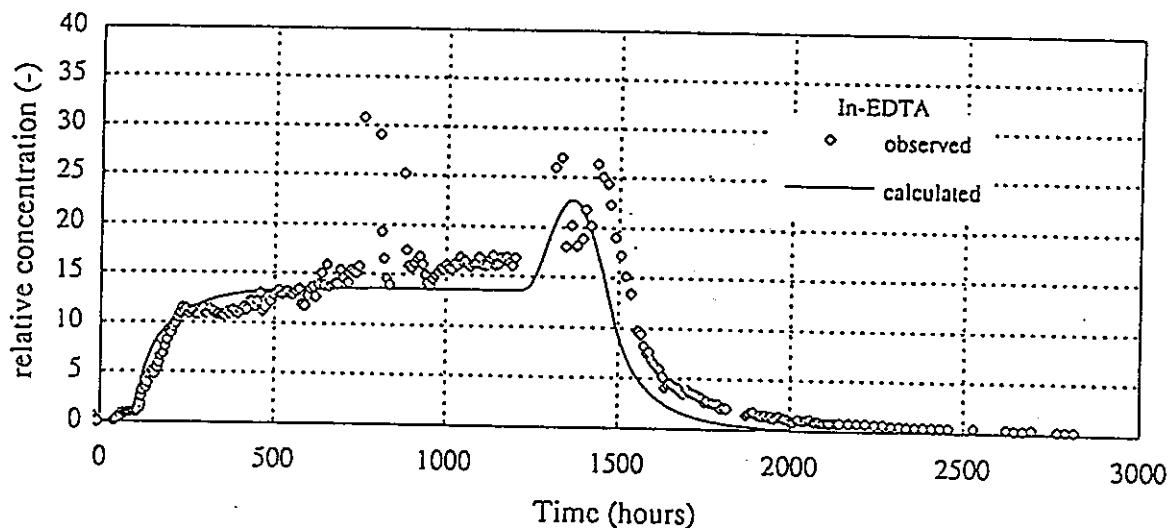


図-1 揚水型トレーサー試験予測解析結果

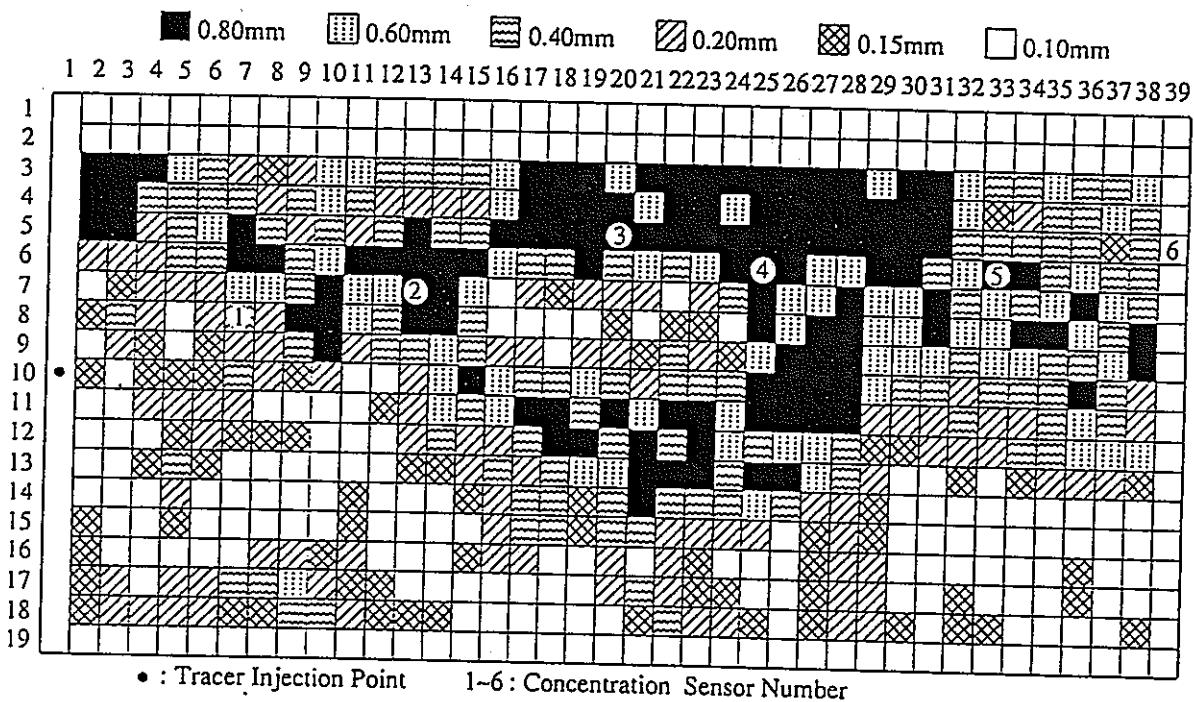


図-2 不均質透水係数場

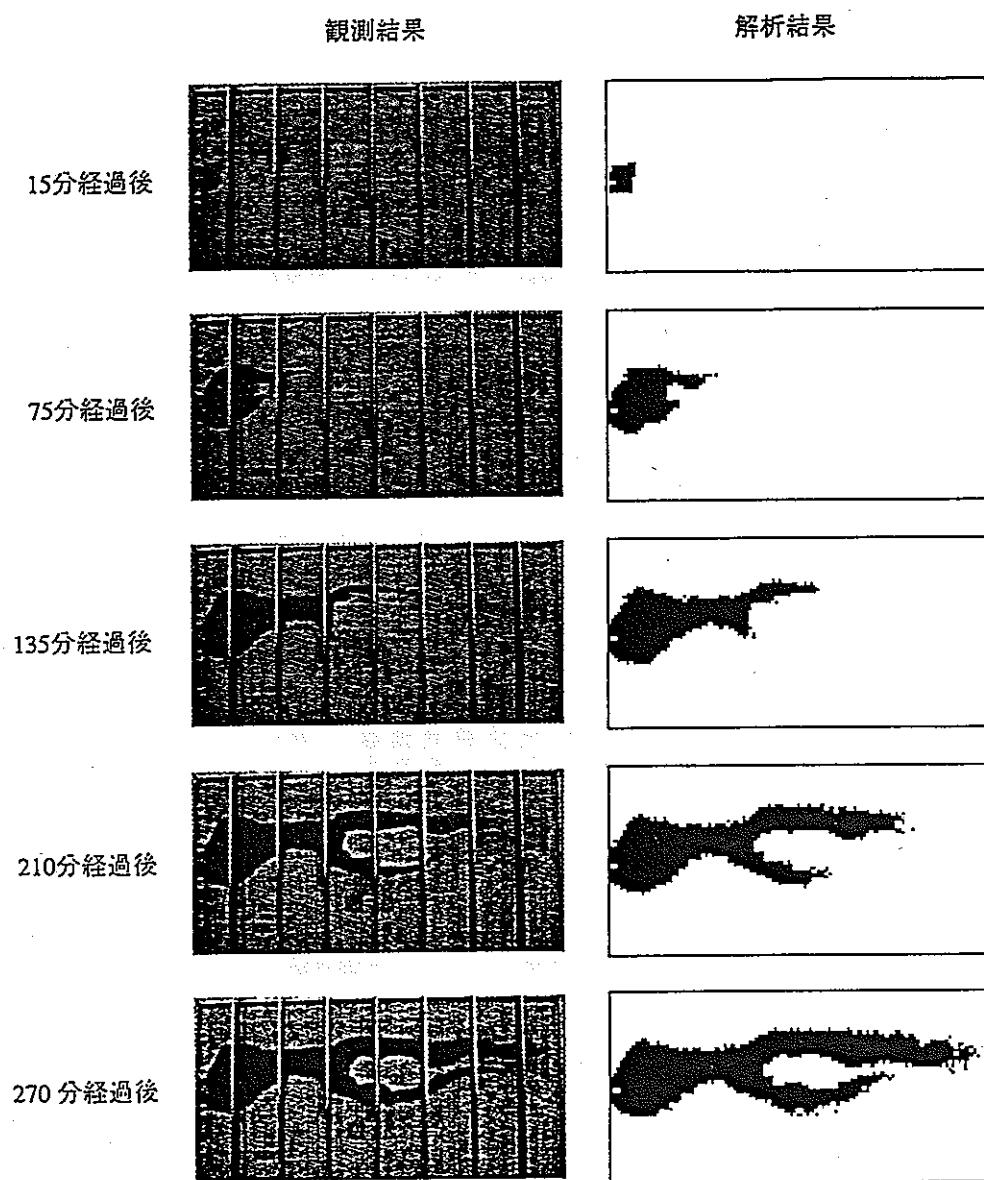


図-3 観測結果と予測解析結果の比較

安全研究 年次計画登録 研究課題	人工バリア要素の安全評価に関する研究				
実施研究課題 (Title)	人工バリア要素の安全評価に関する研究 (Study on the performance of engineered barrier system components)				
実施機関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	石川博久 (Hiroyisa ISHIKAWA), 油井三和 (Mikazu YUI), 芦田敬 (Takashi ASHIDA), 本田明 (Akira HONDA), 小田倉誠美 (Makoto ODAKURA), 柴田雅博 (Masahiro SHIBATA), 澁谷朝紀 (Tomoki SHIBUTANI), 佐々木康雄 (Yasuo SASAKI), 谷口直樹 (Naoki TANIGUCHI), 東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)				
キーワード Key Word	人工バリア Engineered Barrier	廃棄物ガラス Waste Glass	オーバーパック Overpack	ペントナイト Bentonite	
継続状況 Continuation Status	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続				
研究期間 Research Period	平成3年度～平成12年度まで継続見込み		関連する国際共同研究課題及び実施機関 International Research Cooperation and Implementing Organization	該当せず Not applicable	
関連する解析コード Analysis Code	該当せず Not applicable		関連する特別会計実証試験 Special Accounting and Verification Test	該当せず Not applicable	
【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度) <ul style="list-style-type: none"> i) 実ガラス固化体を用いて、様々な条件で浸出実験を実施し、ガラスの溶解および核種の浸出挙動モデル化を行い、ガラスからの核種の浸出機構、浸出量予測モデルの開発に所期の成果を得た。また、α核種添加による加速試験の実施により、放射線の影響評価に関するデータ取得に関しても所期の成果を得た。 ii) オーバーパック候補材料である炭素鋼について、処分環境を考慮した試験条件で電気化学試験と浸漬試験を実施し、実験データおよびその解析結果に基づき腐食寿命の評価を行い、腐食寿命予測について所期の成果を得た。さらに、炭素鋼の孔食、すきま腐食および応力腐食割れの発生条件を実験的に評価するとともにこれらの局部腐食の進展速度、進展期間を評価するためのモデル開発の実施、酸素のペントナイト中の拡散係数等の入力データを評価したより詳細なモデルによる予測など、所期以上の成果が得られた。腐食に伴う化学的環境の変化については鉄-水-ペントナイト反応試験と地球化学コードによる解析を実施し、溶液の化学的条件を支配する腐生成物を予測を行い、所期の成果を得た。 炭素鋼以外の材料については、銅について、処分環境下において腐食に及ぼす環境因子の影響について知見を整理を行い、チタンについては、すきま腐食の発生条件に関する検討を行う等、寿命予測に関する知見を得た。 iii) 継衝材中の粘土鉱物の変質に関しては、ペントナイト主成分であるスマクタイト (モンモリロナイト) のイライト化について変質実験を行い、イライト化の前駆的な結晶化学の変化について知見を得た。長期予測モデルとしては、反応速度論に関する調査を行い、処分場の温度変化を考慮した予測解析実施し、所期の成果を得た。さらに、ペントナイトと地下水の化学的相互作用に関する実験を実施し、ペントナイト間隙水組成を支配する反応に関する知見を得た。 					
【今後の予定(平成8年度以降の計画)】					
研究課題；「人工バリア要素の安全性に関する研究」 <ul style="list-style-type: none"> i) ガラス固化体を用いた様々な条件における浸出試験を実施し、試験結果を浸出モデルを用いて解析することによって浸出モデルの確認、浸出速度定数の取得、及び溶解度制限固相の推定と熱力学計算との比較を行い、浸出機構を解明する。 ii) オーバーパック候補材料の腐食メカニズムを解明し、腐食寿命予測モデル/腐食に伴う化学的変化モデルを開発する。 iii) ペントナイトの変質による緩衝材性能の経時変化を考慮した性能評価モデル及びニアフィールド化学環境を明らかにするためのペントナイト-地下水反応モデルの開発を行う。 					
【使用主要施設】 東海事業所 高レベル放射性物質研究施設、工学試験棟、プルトニウム燃料第一開発室、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) 東京電力高圧電力開発事業団		〔所 属〕環境技術開発推進本部 処分研究グループ 〔氏 名〕主幹 原 啓二		

【研究目的】

地層処分で想定される各種環境条件の下で、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材等の核種閉じ込め機能に関する試験研究を行うと共に、評価手法（計算コード）を開発し、人工バリアからの核種漏洩の評価に資する。

【研究内容】

人工バリアシステムの核種閉じ込め性能を評価するため、以下の試験研究を行うとともに計算コードを開発する。

- i) 処分後のガラス固化体中の放射性核種の処分条件（還元雰囲気、地下水組成、地下水流速等）下における浸出機構、固化体変質に及ぼす放射線の影響等を解明する研究を行い、ガラス固化体の長期浸出量予測モデルの開発に必要なデータを取得する。さらに、実際の高レベル放射性廃液をガラス固化した試料を用いて、ガラス固化体の安全性に関する確証データを取得する。
- ii) 処分環境を模擬した条件下での金属材料の腐食、孔食等の発生要因に着目した腐食試験を行う。これらの試験を通して、得られた腐食情報をもとにオーバーパックの腐食寿命予測を行う。また腐食に伴うニアフィールドの化学的環境変化の予測技術を開発する。
- iii) 緩衝材中の粘土鉱物等の変質機構の研究を行い、緩衝材の長期安全評価モデルを開発する。

【研究成果】

i) ガラスの長期浸出評価

実ガラスを用いた長期静的浸出試験等から、可溶性元素の場合には、Siとの調和溶解およびBとの残存溶解を考慮することで浸出挙動を説明できること（図-1）、難溶性元素は、ガラスとは調和溶解せず、ガラス表面変質層内に形成した固相形態の溶解度に向かう一次反応モデルによって説明できることが明らかとなった。また、圧縮ペントナイトへのガラス埋め込み試験では、核種の浸出拡散挙動を、個別の試験から導かれたガラスからの核種の浸出モデルと圧縮ペントナイト中の核種の拡散モデルを連成させることで、評価可能であることを明らかにした（図-2）。

また、¹¹⁰Cm添加ガラスを用いた α 加速試験では、約20万年相当時までの α 崩壊加速では、表面観察、浸出試験等の結果から廃棄物ガラスは長期の耐放射線性を有することが明らかとなった。

ii) オーバーパックの腐食挙動評価

処分環境下における炭素鋼オーバーパックの腐食寿命評価を行った。酸素および水の還元による腐食のほか、バクテリアによる影響を考慮して炭素鋼オーバーパックの1000年間の腐食深さを32mmと評価した。また、処分環境下において炭素鋼オーバーパックは環境条件によって全面腐食または局部腐食を受けると考えられることから、各腐食形態について腐食寿命を評価するためのモデル開発を行った。全面腐食モデルについては、地下水で飽和したペントナイト中では、酸素の還元反応は溶存酸素のペントナイト中における拡散律速を仮定し、酸素および水の還元による腐食量を評価するモデルを開発した。このモデルにより腐食速度の経時変化と、酸素と水の寄与が明らかとなった（図-3）。局部腐食については、炭素鋼の孔食、すきま腐食の発生臨界電位を電気化学的に測定し、図-4に示すような炭素鋼の腐食マップを作成し、環境条件と腐食形態の関係を整理した。また、局部腐食についてはその進展期間と進展速度を評価するモデル開発を行った。さらに、オーバーパックの腐食による周囲の環境への影響を評価するため、鉄-水-ペントナイト反応試験を実施して溶液の化学特性を支配する腐食生成物を調査した。

iii) 緩衝材の長期安定性評価

ペントナイトの主成分であるスメクタイト（モンモリロナイト）のイライト化メカニズムを調べるための変質加速試験において、イライト化の前駆段階として、粘土結晶の構造内での電荷分布の変化が起きることを、X線回折方法を用いて、実験的に明らかにした。また、イライト化に関して報告されている既存の変質速度式の調査を行い、処分環境で緩衝材が曝される温度変化を考慮したイライト化率の時間変化を計算した。その結果、温度の比較的高い一時期を除きイライト化の進行は遅く、変質は進まないことが示された（図-5）。ペントナイトおよびペントナイト構成鉱物の浸漬試験を、大気条件および低酸素条件下で実施し、ペントナイトと接触する溶液を支配する反応は、スメクタイトの陽イオン交換反応、方解石の溶解反応であり、大気条件では黄鉄鉱の酸化反応も寄与することを明らかにした。これらの知見は、地球化学計算コードを用いたペントナイト-地下水反応モデルの妥当性を裏付ける結果であった（図-6）。

【公開資料】

別添に示す。

「人工バリア要素の安全研究に関する研究」公開文献リスト

ガラス関連

- (1) 斎藤誠美, 山田一夫, 石川博久, 佐々木憲明, 馬場恒孝, 松本征一郎, 村岡進: 高レベル放射性廃液ガラス固化体の α 加速試験, 日本原子力学会1992年春の年会(1992)
- (2) 芦田敬, 小原利幸, 油井三和: ベントナイト共存溶液中における高レベルガラス固化体からの元素の浸出試験, 日本原子力学会1992年秋の大会(1992)
- (3) 油井三和, 牧野仁史, 芦田敬, 梅木博之, 石黒勝彦, 根山敦史: ガラス固化体からの元素の浸出挙動と人工バリア空隙水中の溶解度評価, 動燃技術資料, PNC TN8410 92-161 (1992)
- (4) T. Ashida, Y. Kohara, M. Yui : Migration Behavior of Pu Released from Pu-doped Glass in Compacted Bentnite, Radiochimica Acta, Vol. 66/67, pp359-362 (1994)
- (5) T. Ashida, Y. Kohara, T. Shibutani, M. Yui : Migration Behavior of Cs Release from Fully Radioactive WasteGlass in Compacted Bentonite, Migration '95, Abstract p26 (1995)
- (6) T. Banba, S. Matsumoto, S. Muraoka, K. Yamada, M. Sato, H. Ishikawa, and N. Sasaki: EFFECTS OF ALPHA DECAY ON THE PROPERTIES OF ACTUAL NUCLEAR WASTE GLASS, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 353, pp1397-1404 (1995)

オーバーパック関連

- (7) 本田明, 石川博久, 湯佐泰久, 佐々木憲明, 藤原和雄: 人工海水中における炭素鋼の腐食に伴う水素発生に及ぼす溶存酸素の影響, 腐食防食'91講演集 A-307 (1991)
- (8) H. Ishikawa, A. Honda, N. Sasaki: Long Life Prediction of Carbon Steel Overpack for Geological Isolation of High-level Radioactive Waste, Life Prediction of Corrodible Structure (Sponsored by NACE), Proceedings No. 27 (1991)
- (9) 井上邦博, 小畠政道, 本田明, 石川博久: 圧密粘土環境中の炭素鋼の数学的腐食モデルの検討, 腐食防食'92 講演集 A-310 (1992)
- (10) 大場和博, 原信義, 杉本克久, 本田明, 石川博久: ベントナイト接触水中における炭素鋼の不動態化と脱不動態化, 第40回腐食防食討論会講演集 B-202 (1993)
- (11) 谷口直樹, 川崎学, 本田明: NaCl-NaHCO₃-Na₂CO₃水溶液中における炭素鋼の局部腐食発生臨界電位の検討 第40回腐食防食討論会講演集 B-203 (1993)
- (12) 藤原和雄, 石川博久, 本田明: NaCl-NaHCO₃系人工淡水中における炭素鋼の腐食挙動に及ぼす溶存酸素の影響, 腐食防食'93 講演集 D-104 (1993)
- (13) 本田明, 小畠政道: 高レベル放射性廃棄物の地層処分における炭素鋼オーバーパックの寿命予測の考え方について, 腐食防食'93 講演集 D-110 (1993)
- (14) 谷口直樹, 本田明, 川崎学: 圧縮ベントナイト中における炭素鋼オーバーパックの局部腐食進展期間の評価, 第41回腐食防食討論会講演集 B-315 (1993)

- (15)川崎学, 本田明 : ベントナイト中における溶存酸素の実効拡散係数測定 : 日本原子力学会1994年秋の大会(1994)
- (16)A. Hoch, A. Honda, H. Ishikawa, F. Porter, S. Sharland: A Modelling and Experimental Study for Long Term Prediction of Localised Corrosion in Carbon Steel Overpacks for High-level Radioactive Waste, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 353, pp703-710 (1995)
- (17)楠戸伊緒里, 本田明, 油井三和 : 鉄-水-ベントナイト混合系における化学的相互作用に関する研究, 第42回腐食防食討論会講演集 A-216 (1995)

ベントナイト関連

- (18)柴田雅博, 亀井玄人 : ベントナイトの長期安定性評価 - スメクタイトのイライト化変質について-, PNC TN8410 92-165 (1992)
- (19)佐々木康雄, 寺門一馬, 柴田雅博, 油井三和, 石川博久 : ベントナイトと水の化学的相互作用に関する実験的研究, 第36回粘土科学討論会 講演要旨集 pp116-117 (1992)
- (20)油井三和, 柴田雅博, 牧野仁史, 佐々木康雄, 梅木博之, 石黒勝彦, 石川博久, 根山敦, 千葉保 : 高レベル廃棄物処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝性とモデル化, 動燃技術資料 PNC TN8410 92-162 (1992)
- (22)佐々木康雄, 柴田雅博, 油井三和, 石川博久 : ベントナイトによる地下水の水質変化に関する実験的研究, 第37回粘土科学討論会 講演要旨集 pp59-60 (1993)
- (23)石川博久, 柴田雅博, 藤田朝雄 : 放射性廃棄物処分における緩衝材のイライト化シミュレーション, 粘土科学, Vol. 34, pp149-156 (1994)
- (21)M. Shibata, M. Yui, H. Ishikawa, T. Watanabe : The Alteration of charge location in expendable layers at the initial stage of illitization of smectite, Proceedings of the 10th International Clay Conference pp225-130 (1995)
- (24)Y. Sasaki, M. Shibata, M. Yui, H. Ishikawa : Experimental Studies on the Interaction of Groundwater with Bentonite, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 353, pp337-344 (1995)

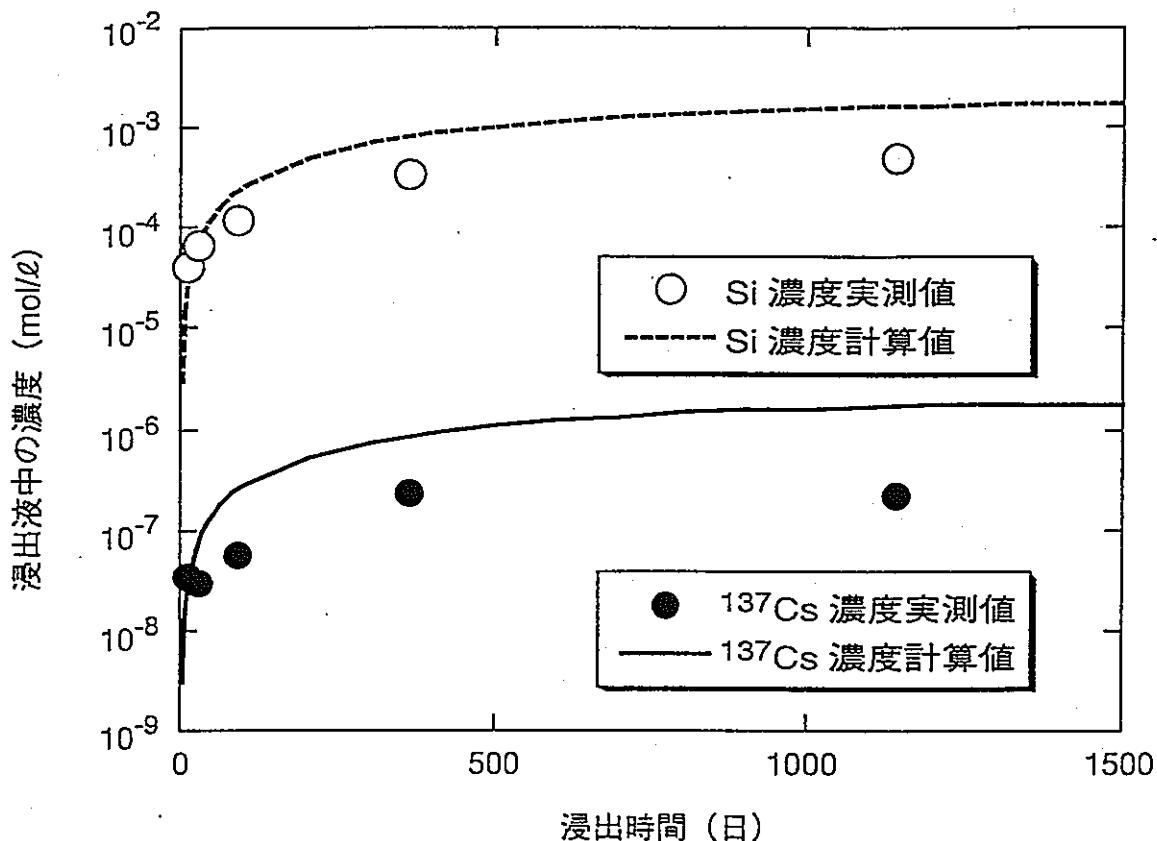


図-1 実ガラス固化体を用いたMCC-1法浸出試験結果と
一次溶解反応モデルによる計算値との比較

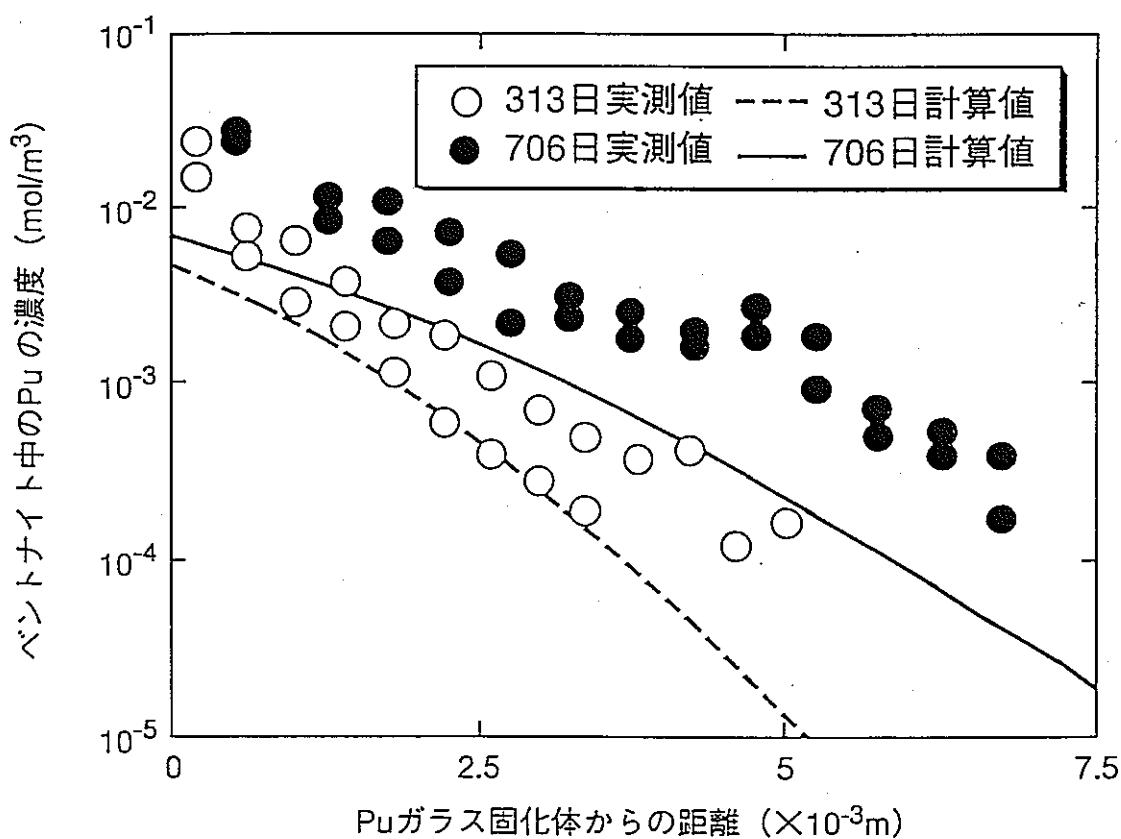


図-2 Puの濃度プロファイルの実測値と計算値の比較
(ベントナイト乾燥密度200 kg/m³)

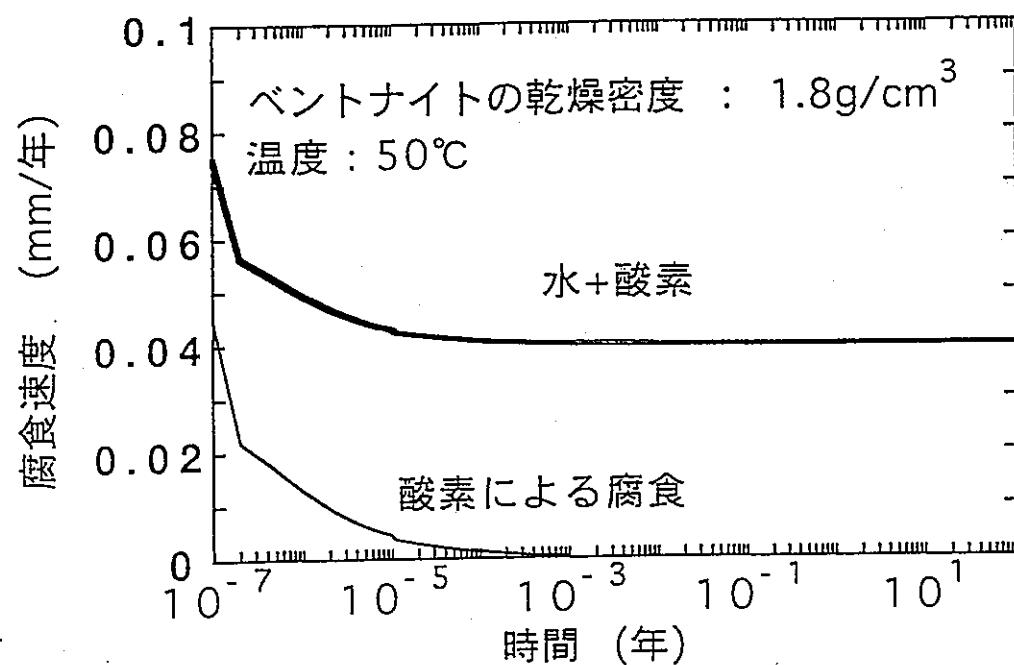
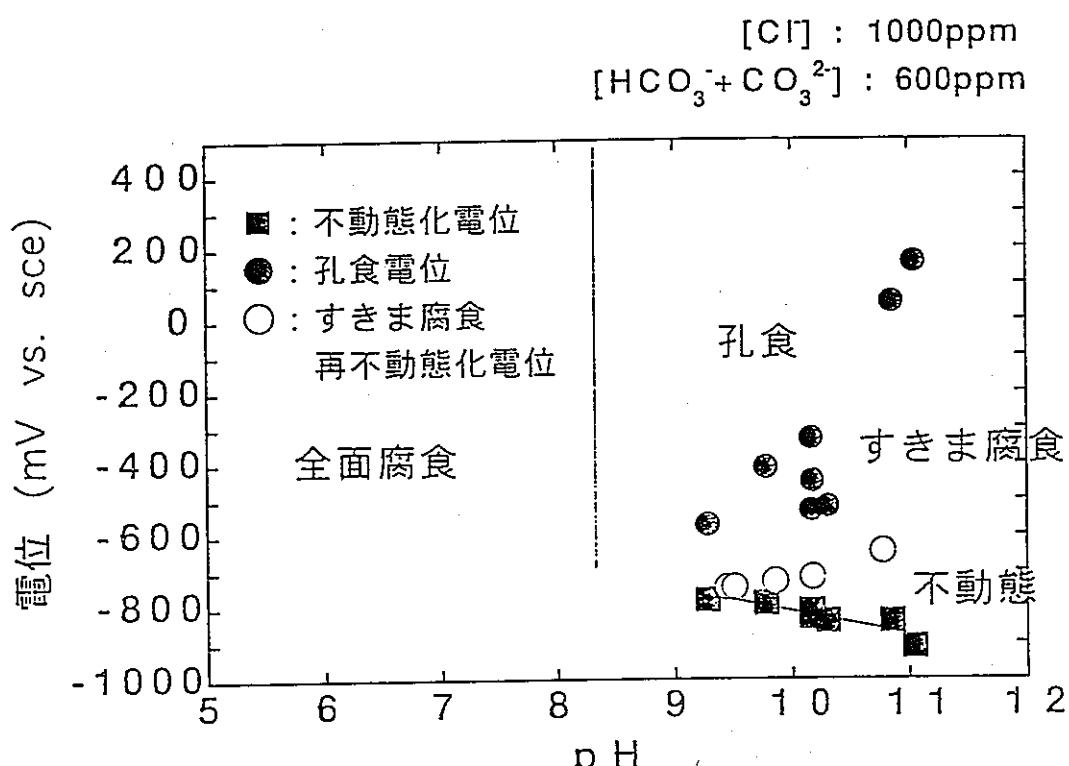


図-3 50°Cにおける全面腐食速度の経時変化の計算結果

図-4 NaCl-Na₂CO₃-NaHCO₃水溶液系における電位-pH実測腐食図の一例

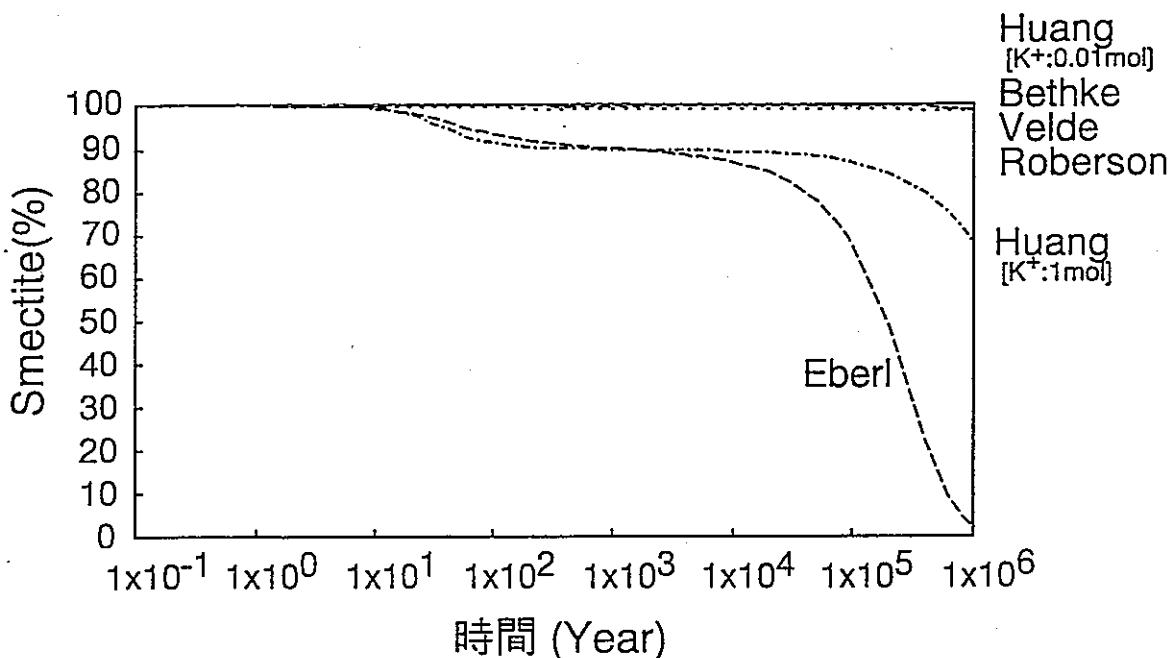


図-5 様々な反応速度モデルを用いて計算されたスメクタイトの
イライト化の時間変化
(処分環境での緩衝材温度変化を考慮、
埋設密度：1本／40m²、緩衝材最高温度約130°C)

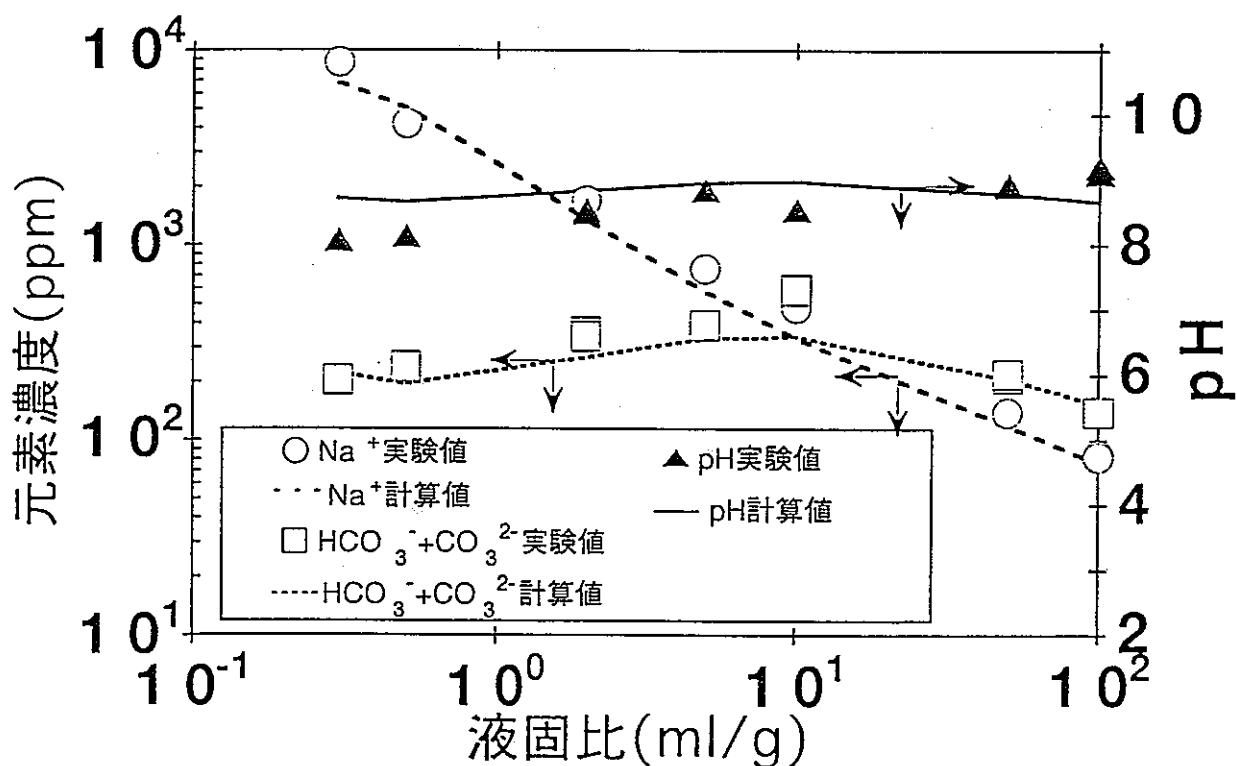


図-6 クニゲルV1-蒸留水反応におけるpH及び元素濃度の実験値と計算値との比較（実験値は180日、
大気条件,25°C）

安全研究 年次計画登録 研究課題	人工バリアシステムにおける放射性核種の移行に関する研究				
実施研究課題 (Title)	人工バリアシステムにおける放射性核種の移行に関する研究 (Radionuclide migration study on the engineered barrier system)				
実施機関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	吉川秀樹(Hideki YOSHIKAWA) 濵谷朝紀(Tomoki SHIBUTANI) 佐藤治夫(Haruo SATO) 濱谷早苗(Sanae SHIBUTANI) 東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)				
キーワード Key Word	人工バリア Engineered Barrier	収着 Sorption	拡散 Diffusion	浸出 Leaching	溶解度 Solubility
継続状況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了			<input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続	
研究期間	平成3年度～平成12年度まで継続見込み		関連する国際共同研究課題及び実施機関	該当せず	
関連する 解析コード	該当せず		関連する特別会計 実証試験	該当せず	
【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度)					
i) 核種の収着に関する研究では、Cs, Se, Pu, Am, Sn, Niのペントナイトに対する分配係数を取得すると共に、これらの核種の収着挙動をイオン交換および表面錯体モデルにより説明し、地層処分システムにおける安全評価に用いるためのペントナイトへ核種の分配係数をモデルにより予測できる見通しを得た。 ii) ① 炭素鋼およびマグネタイト共存下でのガラスの浸出試験を実施し、非鉄共存の場合と比較して可溶性元素の浸出速度に与える鉄の影響について所期の成果を得た。 ② 粗製Na型ペントナイト(クニゲルVI)中の見掛けの拡散係数および実効拡散係数をペントナイト密度、温度、pHをパラメーターに取得すると共に、電気二重層理論に基づいた拡散モデルを構築し、核種の実効拡散係数を予測できる見通しを得た。 また、自由水中のイオンの拡散係数を電気伝導率を測定することにより取得し、所期の成果を得た。 ③ 三価のアクチニド元素の類似元素のNdおよびSmについて熱力学データを取得し、Seについては、既存の熱力学データの信頼性を確認すると共に、Cmについて熱力学データの更新を行い、所期の成果を得た。					
【今後の予定(平成8年度以降の計画)】					
研究課題名：「人工バリア中核種移行評価に係るデータベースの整備」 i) ①核種の収着に関する研究 ペントナイトに対する核種の分配係数データを取得し、個々の収着モデルを開発すると共に、データベース化を図る。 ②核種の浸出に関する研究 平成7年度で終了 ③ペントナイト中での核種の拡散に関する研究 ペントナイト中での核種の拡散係数のデータを取得し、個々のモデル開発を継続すると共に、データベース化を図る。 ii) 核種の溶解挙動に関する研究 酸化還元電位、炭酸ガス濃度等をパラメーターにして、重要元素に関する熱力学データを取得すると共に、ペントナイト間隙水条件で溶解度測定試験を実施し、データの信頼性を評価しつつ、性能評価に必要な熱力学データベースを整備する。					
【使用主要施設】					
東海事業所 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) 東京電力・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 〔氏 名〕主幹 原 啓二		

【研究目的】

地層処分システムにおける、人工バリアの核種移行に関する挙動を明らかにして、人工バリアシステムの長期閉じ込め性の評価に資する。

【研究内容】

人工バリアの核種移行に関する性能を明らかにするため、緩衝材中の核種の移行挙動について、処分環境を想定した試験を実施し、核種の浸出および移行挙動を解明する。

- i) 放射性核種の緩衝材への吸・脱着挙動を検討し、放射性核種の緩衝材中移動モデルを確立する。
- ii) ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材を組み合わせた複合系での浸出、移行に関する研究を行い、人工バリア中の核種移行に関する挙動を明らかにするとともに複合系のモデルを開発する。

【研究成果】

i) ① 核種の吸着に関する研究

人工バリアの核種移行に関する挙動を明らかにするため、放射性核種の緩衝材への吸・脱着挙動を検討し、吸着モデルを確立した。放射性核種あるいは非放射性核種を含んだトレーサーを用いて、Cs, Se, Pu, Am, Sn, Niのベントナイトに対する分配係数を測定するとともに、ベントナイトへの吸着モデルとしてイオン交換モデル及び表面錯体モデルの適用性を検討した。

さらに、本モデルでは圧縮ベントナイト中のCs, Seの移行挙動の解析にも適用した。その結果、Csの吸着挙動はイオン交換モデルにより、Seは表面錯体モデルにより説明できることが分かった(図-1)。また、EXAFS(広域X線吸収微構造分析装置)を用いて、Niと隣接する原子との距離および配位数を測定することによって吸着箇所の同定を行った。安全評価に用いるためのベントナイトへの主要14核種の分配係数について、実測値及びOECD/NRAの吸着データベースを基に取りまとめた。

ii) ① 核種の浸出に関する研究

鉄が共存することによるガラスの溶解速度へ与える影響について、実験的にデータを得ることを目的として、室温及び低酸素濃度下で、炭素鋼及びマグネタイト共存下でのガラスの浸出試験を実施した。炭素鋼及びマグネタイト共存下では、ガラスの主成分であるSi, Na, B等の時間に対する浸出濃度が炭素鋼やマグネタイトが共存しない場合と比較して増加しており(図-2)、溶解速度が加速されることが分かった。この原因を調べるために、炭素鋼およびマグネタイト表面をメスバウラーにより分析した結果、変質物あるいは吸着物は認められなかった。従って、これらの共存物に対する吸着等ではなく、溶液中の相互作用が考えられ、ガラスの骨格を構成するSiが炭素鋼やマグネタイトから溶出した鉄イオンと錯体形成などの相互作用が考えられた。Fe²⁺イオン濃度をパラメーターとした浸出試験を実施した結果、鉄イオンによるガラスの溶解速度への影響は見られなかった。

② ベントナイト中の核種の拡散に関する研究

i) ベントナイト中の核種の拡散について、スマクタイト含有率がほぼ50wt%の粗製Na型ベントナイト(ケニアV1)中の見掛けの拡散係数をHTO, ⁹⁰Tc, ¹³⁷Cs, ²³⁷Np, ²⁴¹Am, Se, Zr, Ni, Smについて、乾燥密度(400~2,000kg/m³)をパラメータに取得した。また、Niは処分場の地温の影響を検討するための例として温度(25, 60, 90 °C)をパラメーターに行った。Smは、Ac, Am, Ceなどの三価の代表的な元素として、pHの変動に依存して化学種の変化が拡散に及ぼす影響についても検討するための例として行った。その結果、Niを除いてベントナイト密度の増加に伴って拡散係数が減少することが分かった(図-3)。

ii) 同種のベントナイト中のHTO, ⁹⁰Tc, ¹³⁷Cs, ²³⁷Np, Uの実効拡散係数を乾燥密度(400~2,000kg/m³)をパラメータに測定した。その結果、実効拡散係数は、陽イオン>中性化学種>陰イオンの順で小さくなっている。拡散化学種の電荷が影響している可能性が示唆された。固定層および拡散二重層に基づいた一般的な電気二重層理論によるモデルを適用し、イオンとスマクタイト表面との静電的相互作用をモデル化した。このモデルに基づいて実効拡散係数を推定し、実測値と比較した結果、実測値と同様な傾向であった(図-4)。また、実効拡散係数に分配係数を考慮してCs及びSeの見掛けの拡散係数を説明した。

iii) 自由水中のイオンの拡散係数をCs⁺, Pb²⁺, Sm³⁺, Ni²⁺, SeO₄²⁻, TcO₄⁻について電気伝導率測定に基づいて求めた。また、地層処分システムにおける概略的安全評価のための拡散係数のデータをまとめると共に、入力データを設定した。

③ 核種の溶解挙動に関する研究

溶解挙動に関する研究では、ガラス固化体中に多量に含まれ、三価のアクチニド元素の類似元素として重要なNd及びSmについて、溶解度測定を行い熱力学データを取得した。また、ベントナイトへの分配係数が低いため、放出率が高くなると予想されるSeについても溶解度測定を行い(図-5)、既存の熱力学データの信頼性を確認した。三価のアクチニド元素の内、データが不足しているCeについては、新規データの調査や確認データとの比較を行い、熱力学データベースの更新を行った。

【公開資料】

別添に示す。

別添

分類番号：(廃棄〔高〕2. - (2) -

「人工バリアシステムにおける放射性核種の移行に関する研究」：公開資料リスト

- (1) 佐藤治夫・瀧谷朝紀：緩衝材及び岩石への核種の吸着・拡散メカニズム、動燃技術資料（公開）PNC TN8410 94-284 (1994).
- (2) 瀧谷朝紀、西川義明、乾真一、内館信幸、油井三和、間野正：Seの岩石及び鉱物に対する吸着挙動に関する研究、動燃技術資料（公開）PNC TN8410 95-395 (1994).
- (3) T. Shibutani, H. Sato, T. Ashida, Y. Kohara, M. Yui: Experimental and Modelling Studies on Sorption of Cesium and Selenium in Compacted Bentonite, Abstract, MIGRATION' 95, p. 38-39.
- (4) T. Shibutani, M. Yui, H. Yoshikawa: Sorption mechanism of Pu, Am and Se on sodium-bentonite, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. vol. 333, pp. 725-730 (1993).
- (5) 小田治恵、雨夜隆之、吉川英樹、油井三和、瀧谷朝紀、池田孝夫：日本原子力学会1994年春の大会「ゲーサイトへのSnの吸着挙動」.
- (6) 瀧谷朝紀、内館信幸、油井三和：ペントナイトに対するNiの吸着挙動に関する研究、日本原子力学会1996年春の大会.
- (7) 瀧谷朝紀、吉川英樹、佐藤治夫、油井三和、梅木博之、石川博久：ペントナイト及び岩石中での核種の分配係数、動燃技術資料（公開）PNC TN8410 92-163(1992).
- (8) 佐藤治夫、芦田敬、瀧谷朝紀、小原幸利、内館信幸、油井三和：クニゲルV1中における核種の拡散・吸着機構の研究、日本原子力学会1991年秋の大会.
- (9) 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、動燃技術資料（公開）PNC TN 1410 92-081(1992).
- (10) H. Sato, T. Ashida, Y. Kohara, M. Yui, N. Sasaki: Effect of Dry Density on Diffusion of Some Radionuclides in Compacted Sodium Bentonite, Journal of Nuclear Science and Technology, 29(9), pp. 873-882(1992).
- (11) 佐藤治夫、芦田敬、小原幸利、油井三和、梅木博之、石川博久：ペントナイト及び岩体中での核種の実効拡散係数」動燃技術資料（公開）PNC TN 8410 92-164 (1992).
- (12) H. Sato, T. Ashida, Y. Kohara, M. Yui: Study on Retardation Mechanism of ^3H , ^{90}Tc , ^{137}Cs , ^{137}Np and ^{241}Am in Compacted Sodium Bentonite, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 294, pp. 403-408(1993).
- (13) 佐藤治夫、油井三和、上田真三、矢島達哉：TcO₄⁻イオンの無限希釈溶液中の拡散係数の電気伝導率測定に基づく評価、日本原子力学会1993年春の年会.
- (14) 佐藤治夫、内館信幸、乾真一、吉川英樹：ペントナイト中のSeの見かけの拡散係数測定及び電気二重層理論によるモデル化、日本原子力学会1994年春の年会.
- (15) H. Sato, M. Yui, H. Yoshikawa: Diffusion Behavior for Se and Zr in Sodium-bentonite, MRS '94, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVIII(1994).
- (16) H. Kato, et al., "Estimation of Effective Diffusivity in Compacted Bentonite", MRS' 94, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XV III(1994).
- (17) 「地層処分研究開発の現状（平成5年度）」動燃技術資料（公開）PNC TN1410 94-094 (1994).
- (18) H. Sato, M. Yui, H. Yoshikawa: Diffusion Behavior for Se and Zr in Sodium-bentonite, Scientific Basis for Nuclear Waste Management X VIII, Vol. 353 (1995).
- (19) H. Kato, M. Muroi, N. Yamada, H. Ishida, H. Sato: Estimation of Effective Diffusion in Compacted Bentonite, Scientific Basis for Nuclear waste Management X VIII Vol. 353(1995).
- (20) 佐藤治夫、瀧谷朝紀：圧縮ペントナイトにおけるCs, Se, Niの移行挙動、地層処分研究情報交換会(1996).
- (21) 瀧谷早苗、牧野仁史、吉川英樹、油井三和：水酸化炭酸サマリウム(SmOHCO₃(cr))の溶解度測定と加水分解平衡定数の算出、日本原子力学会1995年春の年会.
- (22) 瀧谷早苗、牧野仁史、吉川英樹、油井三和：水酸化サマリウム(SmOHCO₃)の溶解度測定と加水分解定数の算出、動燃技術資料（公開）PNC TN8410 95-031 (1995).
- (23) 瀧谷早苗、瀧谷朝紀、吉川英樹、油井三和：水酸化サマリウムの溶解度測定と加水分解定数の算出－ Unified Theory の適用妥当性についてー、第39回放射化学討論会 (1995).
- (24) 瀧谷早苗、瀧谷朝紀、吉川英樹、油井三和：低二酸化炭素雰囲気下における水酸化サマリウムの溶解度測定及び加水分解定数の算出、動燃技術資料（公開）PNC TN8410 95-204(1995).
- (25) 瀧谷早苗、芦田敬、油井三和：地層処分性能評価のためのPNC-TDB の整備とその現状、日本原子力学会1996年春の大会.
- (26) 芦田敬、瀧谷早苗、石川博久、油井三和：高レベル廃棄物地層処分システムの性能評価のためのCmに関する熱力学データ整備、動燃技術資料（公開）PNC TN8410 95-402(1996).

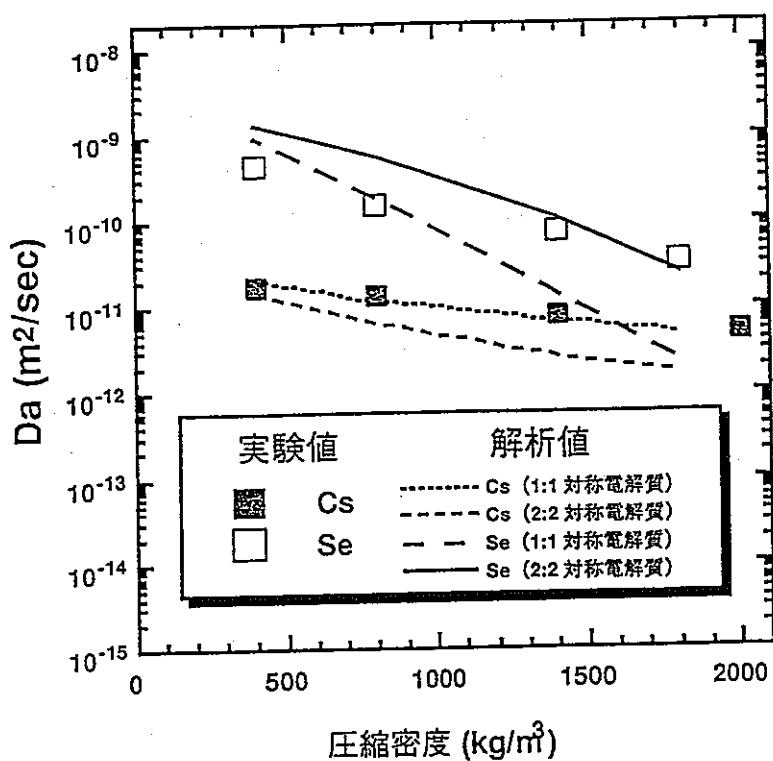


図-1 Se及びCsのモデルによる見掛けの拡散係数の
解析値と実測値との比較

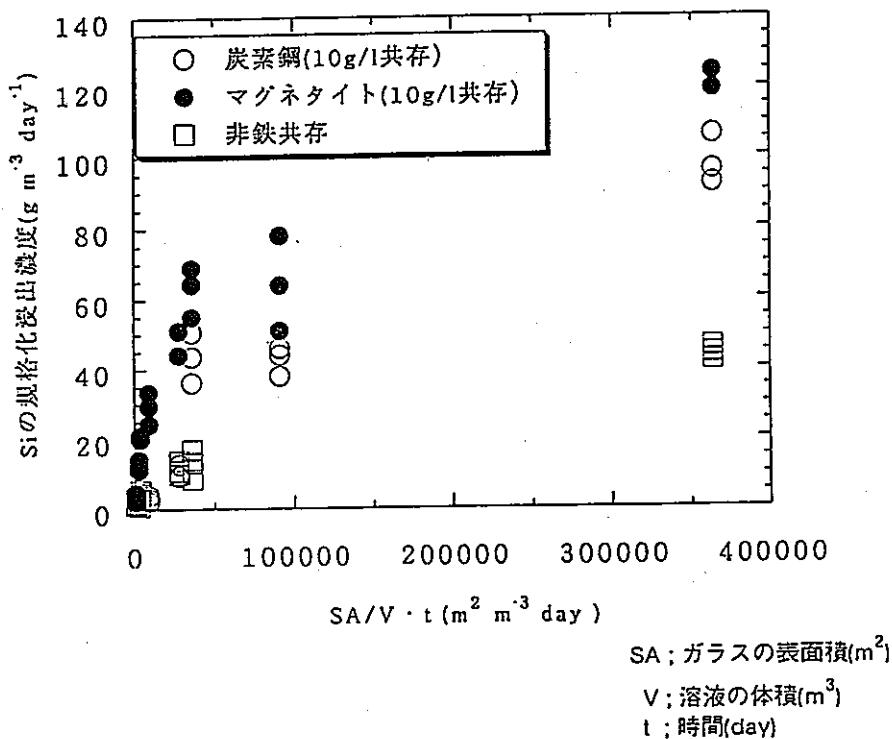


図-2 鉄共存下でのガラスの浸出試験結果

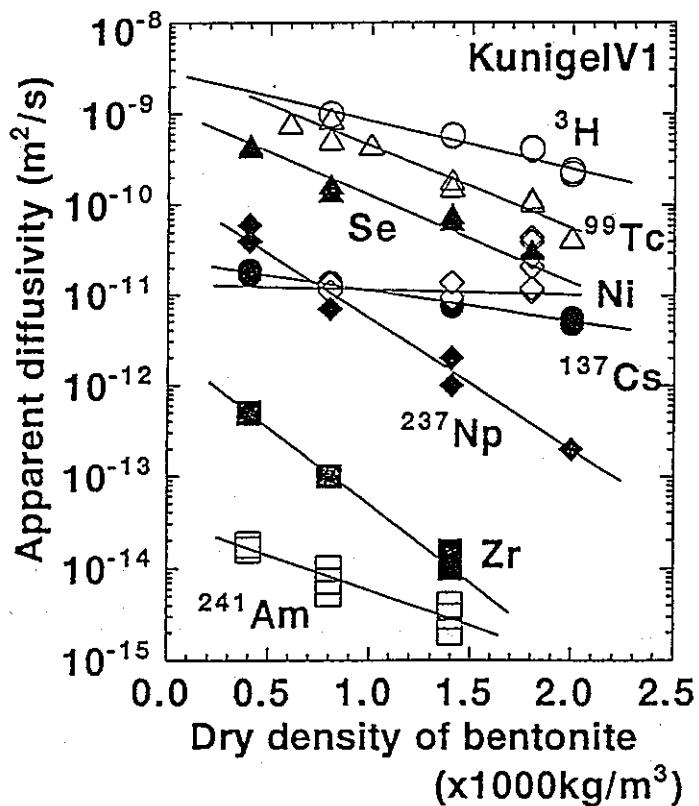


図-3 見掛けの拡散係数の密度依存性

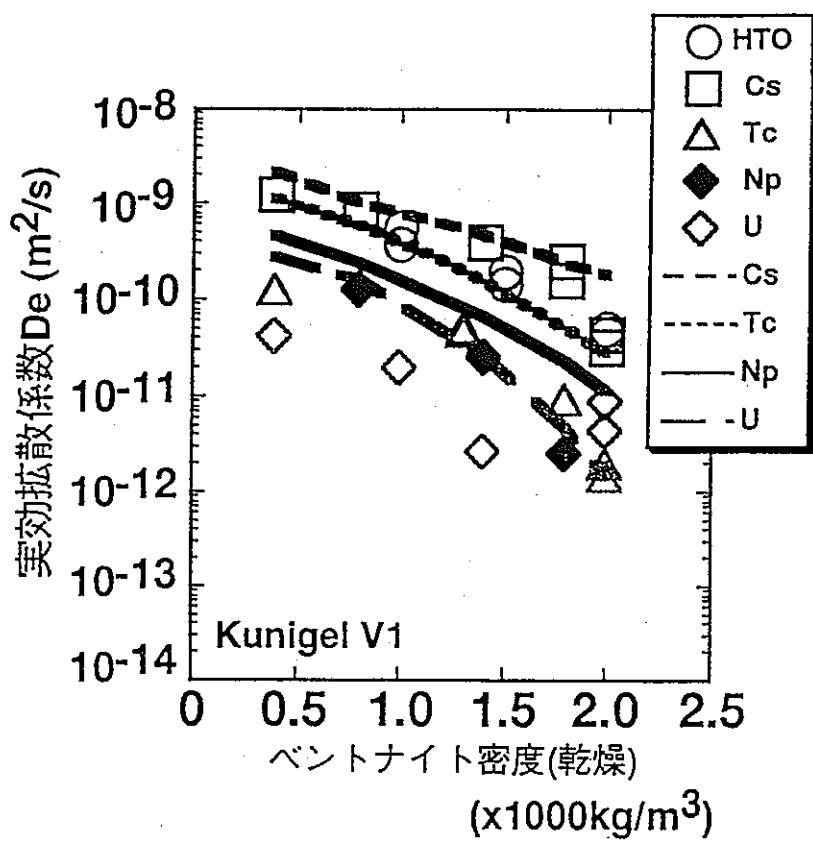


図-4 実効拡散係数の解析値および実測値との比較

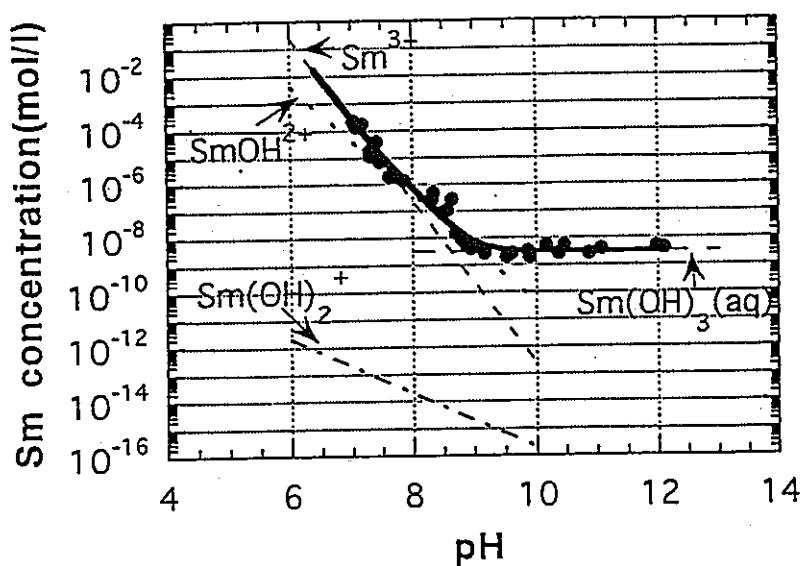


図-5 $\text{Sm}(\text{OH})_3(\text{cr})$ の溶解度測定結果

安 全 研 究 年 次 計 画 登 録 研 究 課 題	人工バリアのナチュラルアナログ研究				
実 施 研 究 課 題 (Title)	人工バリアのナチュラルアナログ研究 (Natural Analogue Studies of Engineered Barrier Materials)				
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	湯佐泰久(Yasuhisa YUSA)、亀井玄人(Gento KAMEI)、笹本広(Hiroshi SASAMOTO)、 三ツ井誠一郎(Seiichiro MITSUI)、久保田満(Mitsuru KUBOTA) 東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works)				
キ ー ワ ー ド Key Word	ナチュラルアナログ Natural Analogue	人工バリア Engineered Barrier	廃棄物ガラス Waste Form Glass	オーバーパック Overpack	ベントナイト Bentonite
継 続 状 況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続				
研 究 期 間	平成3年度～平成12年度まで継続 見込み		関 連 す る 国 際 共 同 研 究 課 題 及 び 実 施 機 関	該当せず	
関 連 す る 解 析 コ ー ド	該当せず		関連する特別会計 実 証 試 験	該当せず	
【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度)					
i) ガラスの溶解に関する研究 ガラスと地下水からなる単純系、並びにガラス、ベントナイト及び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、ガラスの溶解挙動について所期の成果を得た。					
ii) 金属の腐食に関する研究 埋設鋼管及び考古学的銅製品の腐食状況等を調査し、廃棄物パッケージ材料の長期に亘る腐食の要因、プロセス、機構等について所期の成果を得た。					
iii) ベントナイトの変質に関する研究 天然ベントナイトのイライト化やイオン交換について調査した結果、イライト化事例については、処分環境においてはほとんど発生せず、健全性が維持できる見通しを得た。					
【今後の予定(平成8年度以降の計画)】					
研究課題名：「人工バリアのナチュラルアナログ研究」 ロ) ガラスの溶解に関する研究 水/ベントナイト/ガラス複合系のナチュラルアナログ調査を継続するとともに、室内試験により廃棄物ガラスと火山ガラス溶解挙動の比較を行い、室内試験データから導かれるガラスの溶解モデルの確証に資する。 ハ) 金属の腐食に関する研究 埋設鋼管、考古学的出土品の調査を継続し、室内試験データから導かれるオーバーパック材料の腐食挙動モデルの確証に資する。 ニ) ベントナイトの変質に関する研究 イライト化のナチュラルアナログ調査を継続するとともに、金属、コンクリートなど他の人工バリア材料と共存する系での変質のナチュラルアナログ調査を行い、室内試験データから導かれるベントナイトの変質モデルの確証に資する。					
【使用主要施設】					
東海事業所 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) 東京電力・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 〔氏 名〕主幹 原 啓二		

【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評価の信頼性の向上に資する。

【研究内容】

- i) 天然ガラス（玄武岩質火山ガラス）について、変質期間、温度、水質、地質等の異なる環境下における変質状況等の調査検討を行う。また、廃棄物含有ホウケイ酸ガラスについて水に対する浸出実験を行い、両者の表面変質層の形成とその組織変化、元素の浸出率等に関する比較研究を行い、ガラス固化体の長期の浸出率を求める。
- ii) 廃棄物のパッケージ材料（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、考古学的出土品等について調査・検討を行う。
- iv) ベントナイト等の緩衝材の長期的安全性を評価するため、天然ベントナイト等の変質及び統成作用の検討を行い、ベントナイトと水との化学反応及びその影響を明らかにする。

【研究成果】

i) ガラスの溶解に関する研究

- ① 水/ベントナイト/ガラス複合系のナチュラルアナログとして調査した泥質岩中の火山ガラスは、100万年間でもほとんど変質していないことが明らかとなった（図-1）。
- ② いくつかの希土類元素は、Am等のアクチニドの化学的類似元素として有効であると考えられている。この点に着目して、変質期間が約400万年である玄武岩質火山ガラスについて、変質の程度と希土類元素の濃度の関係を調査した（図-2）。その結果火山ガラスに含有される希土類元素は、変質が進行してもガラスから浸出しにくい傾向があることが明らかとなった。このことから、廃棄物ガラスの変質が進行しても、Am等のアクチニドは浸出しにくいものと推定された。
- ③ ベントナイト中のガラスの検出を模擬するため、Siに飽和した溶液中で、模擬廃棄物ガラスおよび合成火山ガラスの浸出挙動比較試験を実施した。試験後のガラス試料表面を二次イオン質量分析法(SIMS)、反跳粒子検出法(BRDA)およびEPMAで分析した結果、いずれのガラスにも水和層が形成され、その厚さは、反応時間の平方根に比例しており、水和層形成のメカニズムの可能性として拡散が示唆された。

ii) 金属の腐食に関する研究

- ① 土壌埋設鋼管の腐食データを6件（腐食期間約20年から80年）蓄積し、これらに基づいて溶存酸素の還元反応律速型の腐食モデルを経験的に求めた（図-3）。
- ② シルト質砂層に約1800年間埋没していた考古学的銅製品（銅鐸、図-4）を調査し、銅鐸の埋蔵環境は酸素の影響を受けにくい条件であったこと、シルト質砂層がベントナイトの主要構成成分であるスメクタイトを含有し、透水係数が 10^{-11} m/s 程度であること、ならびに銅鐸の平均腐食深さが2mmであることを明らかにできた。腐食速度は1mm/1,000年以下であると推定された。

iv) ベントナイトの変質に関する研究

- ① 天然ベントナイトの変質事例として、貫入岩の熱によるベントナイトのイライト化に関する温度-時間条件を調査し、200万年間の温度変化が160から100°Cであった領域では、ベントナイトの主成分であるスメクタイトは、イライト化していかなかったことが明らかになった。このデータから活性化エネルギーを見積もることができ、その値から、従来、室内試験によって考えられていたイライト化モデルの妥当性が支持された。
- ② スメクタイト（ベントナイトの主成分鉱物）のイオン交換(Fe型化やCa型化)に関して条件の定量的把握が可能と考えられる対象の選定ができた。

【公開資料】

別添に示す。

「人工バリアのナチュラルアナログ研究」；公開資料リスト

- (1) 亀井玄人, 湯佐泰久, 二口克人, 桜本勇治：火山ガラスのナチュラルアナログ研究(Ⅲ) -数百万年間, 泥質岩に埋没していた火山ガラスの変質速度と環境条件-, 日本原子力学会1991年秋の大会. (1991)
- (2) 亀井玄人, 湯佐泰久：村上イライト鉱床の地質と変質作用, 日本鉱山地質学会第41回年会. (1991)
- (3) Kamei, G., Yusa, Y. and Sasaki, N. : Natural Analogue Study on the Long-term Durability of Bentonite-Time-temperature Condition and Water Chemistry on Illitization at the Murakami Deposit, Japan. -, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 257, pp. 505-512. (1991)
- (4) 玉田明宏, 平林清照, 亀井玄人, 井上邦博：金属製オーバーパックのナチュラルアナログ研究(土壤埋設鋼の腐食挙動と環境条件の研究), 第38回腐食防食討論会(1991)
- (5) Kamei, G., Yusa, Y., Yamagata, J. and Inoue, K. : Natural Analogue Studies of Engineered Barrier Materials at PNC Tokai, Japan -Their Framework and Recent Activities-, The Third International Symposium on Advanced Nuclear Energy Research -Global Environment and Nuclear Energy-. (1991)
- (6) 湯佐泰久, 新井隆, 亀井玄人, 高野仁：廃棄物ガラスの長期浸出挙動に関するナチュラルアナログ研究 富士および伊豆大島の火山ガラスの風化変質, 日本原子力学会誌, Vol. 33, pp. 890-905. (1992)
- (7) 笹本広, 亀井玄人, 石川博久：火山ガラスのナチュラルアナログ研究(IV) -環境条件を変数とした廃棄物ガラスと火山ガラスの浸出比較試験-, 日本原子力学会1992年秋の大会. (1992)
- (8) 柴田雅博, 亀井玄人：ベントナイトの長期安定性評価, 動燃技術資料, PNC TN8410 92-165. (1992)
- (9) 亀井玄人：人工バリア材の長期耐久性に関するナチュラルアナログ研究, 第4回放射性廃棄物処理処分の高度化に関するセメント・コンクリート研究懇談会. (1992)
- (10) 亀井玄人, 湯佐泰久, 桜本勇治, 二口克人, 高野仁：新潟県村上粘土鉱床における変質帯の生成過程, 資源地質, Vol. 43, pp. 365-373. (1993)
- (11) 玉田明宏, 亀井玄人：土中埋設鋼の長期腐食挙動の評価, 腐食防食'93. (1993)
- (12) 三原守弘, 亀井玄人, 石川博久：土中埋設コンクリートの長期変質における水質依存性, 自然環境とコンクリート性能に関するシンポジウム. (1993)
- (13) 三ツ井誠一郎, 山中裕：廃棄物ガラスと火山ガラスの溶解挙動比較試験(大阪工業技術研究所-動力炉・核燃料開発事業団共同研究成果報告書), 動燃技術資料, PNC TN8410 95-192. (1995)
- (14) 亀井玄人, 佐藤治夫, 柴田雅博：ベントナイト中の長期水分拡散係数の天然事例, 29年間接触し続けたベントナイト層と地下水, 日本原子力学会誌, Vol. 37, pp. 624-627. (1995)
- (15) 三ツ井誠一郎, 久保田満, 村上隆：緩衝材中の銅オーバーパックの腐食に関する考古学的アナログ研究-1,800年間シルト質砂層に埋没していた考古学的銅製品-, 日本原子力学会1995年春の年会. (1995)
- (16) 三ツ井誠一郎, 笹本広, 久保田満, 亀井玄人：廃棄物ガラスと火山ガラスの溶解挙動の比較-ナチュラルアナログ研究のための室内サポート試験-, 放射性廃棄物研究(1996)
- (17) 三ツ井誠一郎, 久保田満：Si飽和条件における廃棄物ガラスと火山ガラスの溶解挙動比較, 地球惑星化学関連学会合同大会. (1996)

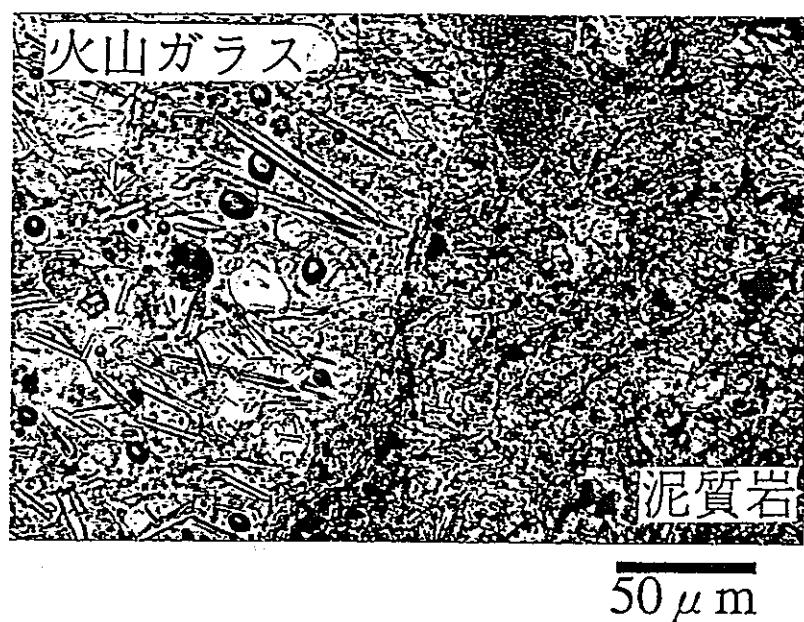


図-1 泥質岩に100万年間埋没していた火山ガラスの光学顕微鏡写真
(光学顕微鏡下では変質が認められない。)

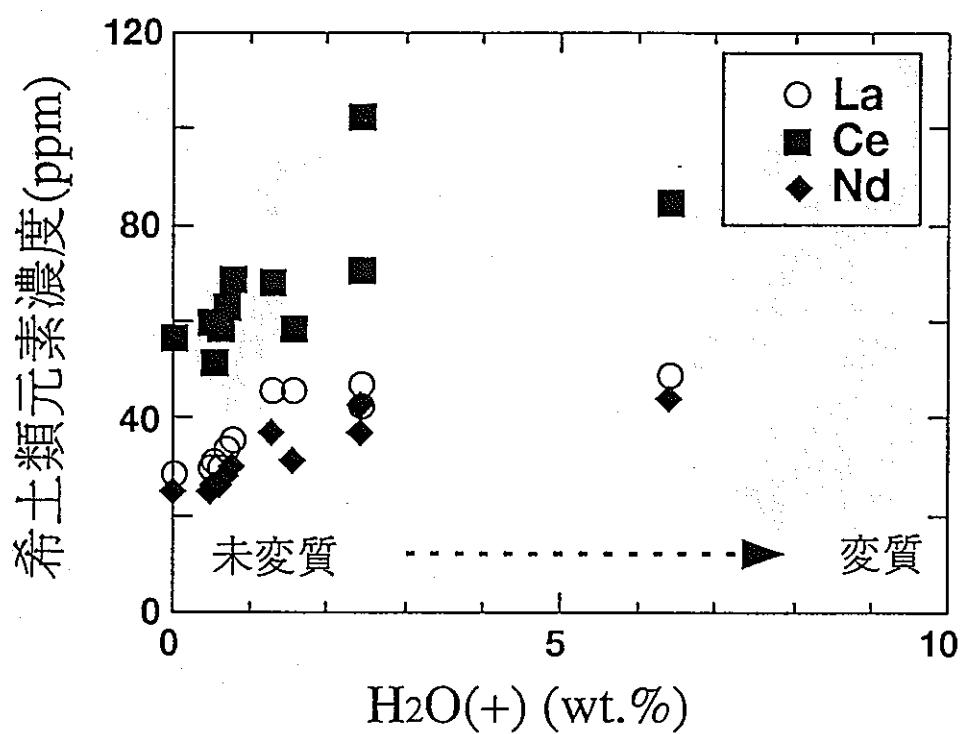


図-2 火山ガラスの変質の程度と希土類元素 濃度の関係

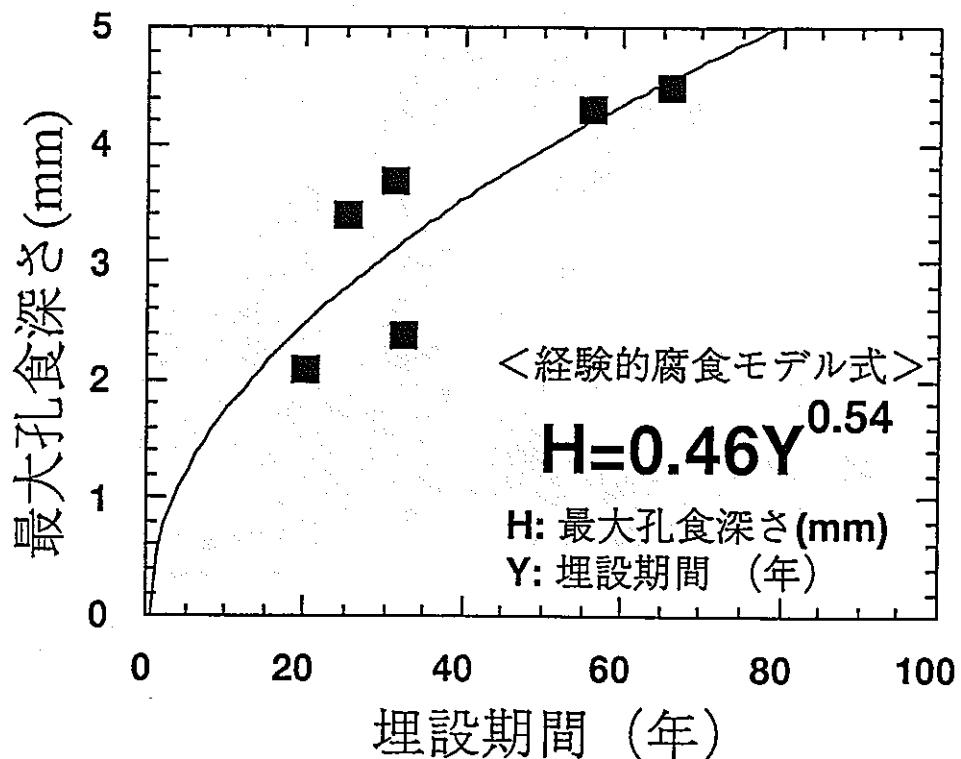
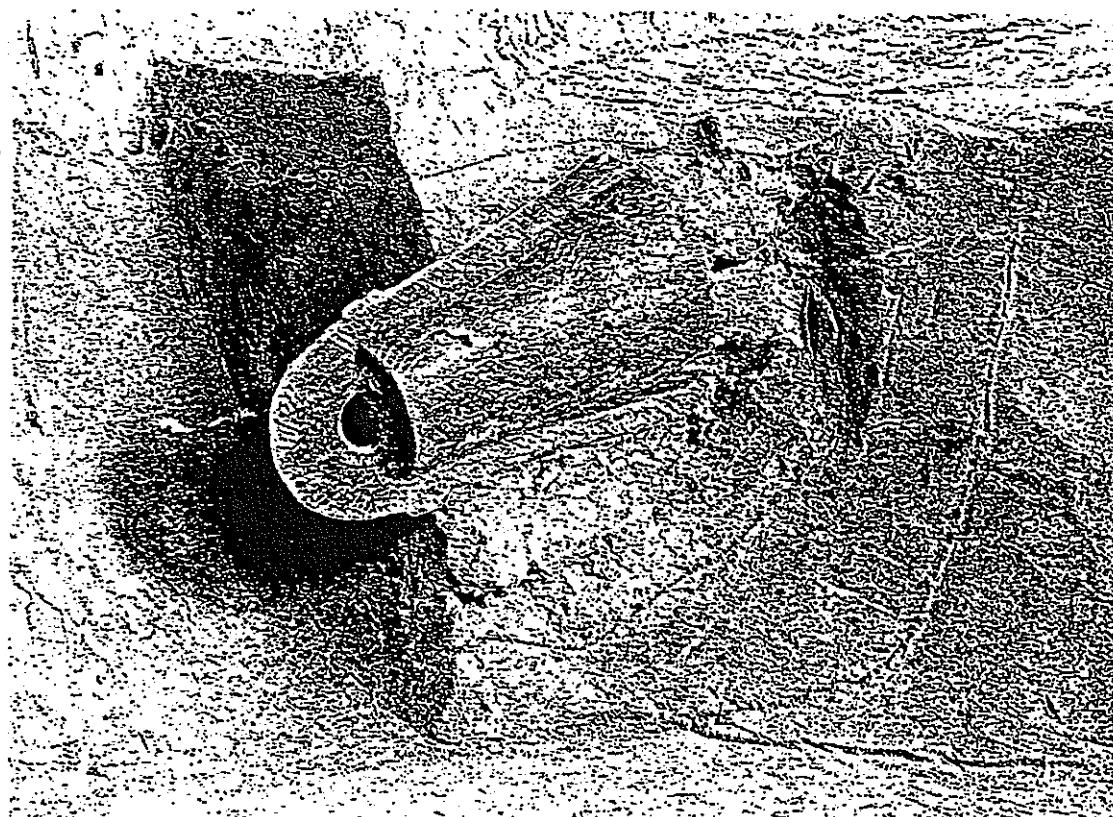


図-3 土壤埋設鋼管の最大孔食深さの経時変化



(財) 大阪府文化財調査研究センター提供

図-4 銅鐸の出土状況

安 全 研 究 年 次 計 画 登 録 研 究 課 題	地下水の水理地質学的特性に関する研究			
実 施 研 究 課 題 (Title)	地下水の水理地質学的特性に関する研究 (Hydrogeological Study of Groundwater)			
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)			
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	柳澤孝一 (Kouichi Yanagizawa)、小出 駿 (Kaoru KOIDE)、尾方伸久 (Nobuhisa OGATA)、前川恵輔 (Keisuke MAEKAWA)、今井 久 (Hisashi IMAI)、若松尚則 (Hisanori WAKAMATSU)、稲葉秀雄 (Hideo INABA)、山根正樹 (Masaki YAMANE)、小林公一 (Kouichi KOBAYASHI) 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 Key Word	地下水流動 Groundwater Flow	水理地質学的特性 Hydrogeological Characteristics	水理地質構造モデル Hydrogeological Model	東濃鉱山 Tono Mine
継 続 状 況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了			<input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続
研 究 期 間	平成3年度～平成12年度まで継続見込み	関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず	
関 連 す る 解 析 コ ー ド	該当せず	関連する特別会計 実証試験	該当せず	
【成果の達成レベル】 (平成3年度～平成7年度)				
i) 被覆層水理調査として、東濃鉱山周辺地域の地形判読、水系判読を実施し、また河川流量、降雨量、蒸発散量の測定結果に基づいて、被覆層から中・深層への地下水涵養量を算定し、被覆層の水收支について所期の成果を得た。 ii) 中・深層水理調査として、東濃鉱山周辺地域に掘削したボーリング孔を利用して中・深層における透水係数および間隙水圧分布を把握し、中・深層における地下水流動特性について所期の成果を得た。 iii) 地球統計学的手法などにより、東濃鉱山周辺地域の地層を多孔質媒体と仮定した水理モデルを構築し、深部地下水の流動特性について所期の成果を得た。 iv) 東濃鉱山周辺地域のボーリング孔から採取した地下水について、酸素・水素、炭素同位体比を測定し、地下水-岩石反応について調査した結果、地下水の起源・年代について所期の成果を得た。 vi) 深度1,000m対応の水理試験装置の製作・適用試験、および孔間水理試験装置、レーダー反射法を用いた岩盤亀裂調査用レーダープローブを作製し、岩盤亀裂を対象とした測定・評価手法の開発について所期の成果を得た。				
【今後の予定 (平成8年度以降の計画)】				
新規研究課題：「地下水流動モデルの確立に関する研究」 イ. 水理地質構造モデルの構築 ・表層における空中物理調査、地表物理調査、および地表調査、水収支観測を実施する。 ・中・深層における、深度1000m程度の試錐孔を利用した水理調査、地下水の採水・化学分析を実施する。 ロ. 地下水流動モデルの開発および適用性の評価				
【使用主要施設】				
東濃地科学センター、東濃鉱山				
連絡先	〒107 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 東京電力株式会社 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 武田 精悦		

【研究目的】

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

【研究内容】

我が国における水理地質学的特性を把握するためには、地形の起伏、降雨の影響等を含めた広範囲な調査が必要となる。そのため対象としている領域を地表面・被覆層と中・深層水理に分け、それぞれのモデル化をはかるとともに、広域から局部の流动特性を評価する研究を実施する。

- i) 被覆層水理調査においては、空中写真による地形判読、地形図による水系判読、河川流量、降雨量等の水理定数測定によって被覆層の水収支を明らかにする。
- ii) 中・深層水理調査では、ボーリング孔を利用し、透水係数などの水理定数を測定し、中・深層における水収支を明らかにする。
- iii) 被覆層、中・深層の多孔質媒体と亀裂性媒体を対象とした水理モデルを開発し、原位置での実験データを用いて深部地下水の流动特性について評価する。
- v) 広域の地下水流动評価に資するために地下水の酸素・水素同位体、ウラン・ラジウム同位体等について研究を行う。
- vi) 水理地質特性に重要な役割を果たす岩盤亀裂について、測定・評価手法を開発する。

【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。

- i) 人工衛星画像や空中写真の判読および露頭調査により、リニアメントや地形の特徴を把握し、その分布特性の違いから東濃鉱山周辺領域の地質構造区分を行った。また、東濃鉱山周辺地域を対象とした表層水理地質調査を実施し、対象地域の未固結砂礫層、堆積岩層、基盤岩の分布、および花崗岩中の割れ目の卓越方向や形態の特徴を明らかにした。さらに、東濃鉱山周辺地域における表層部から深部岩盤への地下水涵養量を把握するため、気象、河川流出量、自由地下水面、土壤水分を長期間連続計測でき、これらのデータを包括的に管理・処理できる表層水理定数観測システム（図-1）を設置し、観測を行った結果、地下水涵養量として0.57mm/日という値を得た。
- ii) 東濃鉱山周辺地域の試錐孔を利用した原位置透水試験の結果から、対象領域に分布する堆積岩の透水係数は $10^{-6} \sim 10^{-8}$ cm/sec. 花崗岩の健全部分は $10^{-1} \sim 10^{-3}$ cm/sec.、花崗岩の割れ目部分では、貯留効果が認められる場合は $10^{-5} \sim 10^{-9}$ cm/sec.、貯留効果が認められない場合は $10^{-3} \sim 10^{-1}$ cm/sec.であることが分かった。また、割れ目部分の透水性は、深度が深くなるほど低くなる傾向が認められた。また、堆積岩中の透水係数を、電気検層により得られる見かけ比抵抗値から推定する手法を開発し、その有効性を確認した（図-2）。
- iii) 東濃鉱山周辺地域を対象として、地球統計解析手法により花崗岩中の割れ目帯の分布を推定し、試錐孔間のレーダー調査によって検出した割れ目帯の分布と比較を行った。その結果、両者が良く一致したことから、地球統計解析手法によって花崗岩中の割れ目帯の三次元分布を推定する手法の有効性が示された。また、東濃鉱山の一領域を対象として、フラクタル理論による堆積岩中の不均一な透水係数の分布を推定し、この分布を用いてウラン濃集部分の推定を行った結果、推定結果と実際のウラン分布とは定性的に一致したことから（図-3）、本手法が有効であることが確認された。さらに、東濃鉱山周辺地域を対象として、不均質性を有する難透水性岩盤を多孔質媒体と仮定した水理地質構造モデルを構築し、地下水流动解析を行った。その結果、地下水は地形の傾斜方向と同様にはば北から南へ流れ、また地下深部の水圧分布はほぼ静水圧分布であることが推定され、被覆層、中・深層水理調査結果と一致した。このことから、本解析手法の妥当性が示された。
- v) 地下水の地球化学的・同位体的調査により、表層の未固結砂礫層中の地下水は現在の天水が涵養したものであり、深部の堆積岩および花崗岩中の地下水は現在よりも気温が低かった時代の天水に由来すると推測された。堆積岩層最下部の地下水の年代は、 ^{14}C （炭素14）濃度の分析調査の結果、約1万数千年であると推定された。一方、地下水中的ウラン・ラジウムについては、濃度や同位体組成などのデータが取得・整理できた。
- vi) 試錐孔を利用した深度1,000mまで適用可能な水理調査機器および地球化学調査機器を開発し、その適用試験結果から、同調査機器の基本性能を確認した（表-1）。また、試錐孔間水理試験装置、およびレーダー反射法を用いた岩盤亀裂の調査用レーダープローブを製作した。

【公開資料】

別添に示す。

「地下水の水理地質学的特性に関する研究」：公開資料リスト

- (1) 柳澤孝一, 今井久, 斎藤章, 大澤英昭, 中島誠：立坑掘削影響試験における地下水水流動影響予測解析, PNC TN7410 91-013. (1991)
- (2) 中野勝志, 斎藤章, 西垣誠：難透水性岩盤を対象とした室内透水試験, 土質工学会論文報告集33巻3号, pp.164-174. (1991)
- (3) 中野勝志, 中島誠, 柳澤孝一：表層部における水収支の調査研究, 動燃技法第78号. (1991)
- (4) 尾方伸久, 大澤英昭, 中野勝志, 柳澤孝一, 西垣誠：堆積岩の地質学的特性および透水係数、見かけ比抵抗相互の関係とその水理地質構造モデル化への適用, 応用地質32巻6号, pp.51-62. (1992)
- (5) 大西有三, 田中誠, 大澤英昭：不均質地盤内の地盤定数の地盤定数の推定に関する基礎的研究, 土木学会論文集, pp.51-58. (1992)
- (6) 太田久仁雄, 濱尾俊弘, 水谷義彦：東濃地域における深部地下水の地球化学的研究(Ⅲ)－地下水の起源・年齢について, 日本原子力学会1992春の大会講演要旨集, pp.113. (1992)
- (7) 柳澤孝一, 今井久, 古屋和夫, 若松尚則, 梅田浩司：我が国を対象とした地下水水流動解析－その1中部日本を対象とした地下水水流動解析, PNC TN7410 92-019. (1992)
- (8) Furuya, K., Yanagizawa, K., Imai, H. and Ogata, N. : The shaft excavation effects experiment on hydrogeology in the Tono research field. 29th International Geological Congress, 2-20-5. vol.3 p.906. (1992)
- (9) 柳澤孝一, 今井久, 尾方伸久, 大澤英昭, 渡辺邦夫：立坑掘削に伴う地下水水流動影響調査研究, 応用地質33巻5号, pp.276-293. (1992)
- (10) Yusa, Y., Ishimaru, K., Ota, K. and Umeda, K. : Geological and geochemical indicators of paleohydrogeology in Tono uranium deposit, Japan. Proc. Paleohydrogeological Methods and their Applications, OECD/NEA, pp.117-146. (1992)
- (11) 柳澤孝一, 尾方伸久, 中野勝志：動燃式低水圧制御水理試験装置, 地質と調査, 第1号, pp.27-29. (1993)
- (12) 柳澤孝一, 尾方伸久, 橋井智毅：低圧微流量ルジオングラフ水理試験装置の開発, 日本地下水学会1993年春季講演会予稿集, pp.100-103. (1993)
- (13) 尾方伸久, 柳澤孝一：地球統計解析手法を用いた三次元透水係数分布の推定, 日本原子力学会1994春の年会予稿集, p.78. (1994)
- (14) 小出馨, 柳澤孝一：植生を指標とした地下水流出域の抽出, 日本写真測量学会平成6年度秋季学術講演会論文集, pp.131-136. (1994)
- (15) 田中達也, 渡辺邦夫, 前川恵輔, 中村直昭：地質構造を基礎としたフラクチャーネットワークモデルの開発(その1)－解析の考え方, 応用地質第35巻3号. (1994)
- (16) 小出馨, 柳澤孝一：リニアメント分布特性による広域地下水水流動調査領域の検討, 第229回地質調査所発表会要旨集. (1994)
- (17) 梅田浩二, 柳澤孝一, 米田茂夫：日本の地盤を対象とした透水係数データベースの作成, 地下水学会誌第37巻第1号, pp.69-77. (1995)
- (18) 稲葉秀雄, 前川恵輔, 小出馨, 柳澤孝一：日本全国を対象とした地下水水流動解析(I)－北海道および東北日本を対象とした解析事例－, 動燃技報第96号, PNC TN7410 95-05. (1995)
- (19) 尾方伸久, 若松尚則, 梅田浩司, 柳澤孝一：河川水の流量および水質による表層部の地下水水流動の推定－岐阜県東濃地域におけるケーススタディー－, 応用地質36巻1号, pp.2-13. (1995)
- (20) Clark, K. J., Takase, H., Impey, M. D., Hamm, J. P., Maeckawa, K., Ogata, N. and Yanagizawa, K. : A natural analogue study of uranium migration in the Tono mine. MRS Fall Meeting Abstract, p.597. (1995)
- (21) 小出馨, 小林公一：植生を指標とした地下水流出域の抽出(その2), 日本写真測量学会平成7年度秋季学術講演会発表論文集, pp.115-120. (1995)
- (22) 小林公一, 小出馨：リニアメント判読による地質構造区分の手法について, 日本写真測量学会平成7年度秋季学術講演会発表論文集, pp.7-12. (1995)
- (23) 前川恵輔, 尾方伸久, 小出馨, 柳澤孝一：深地層中の地下水水流動特性解析評価へのアプローチ, 平成7年度「放射性廃棄物管理専門研究会」報告書, pp.59-77. (1995)
- (24) 前川恵輔, 尾方伸久, 高瀬博康, 柳澤孝一：フラクタル理論による堆積岩中の透水係数分布の推定, 1996年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, pp.670. (1996)
- (25) 山根正樹, 中野勝志, 杉原弘造：立坑掘削に伴う間隙水圧変化の長期観測, 「土と基礎」, 土質工学会(投稿中)
- (26) 竹内竜史, 中野勝志, 尾方伸久, 後藤和幸, 平田洋一, 西垣誠：難透水性岩盤を対象とした現場透水試験に関する検討, 1995年秋季講演会講演要旨, pp.10-13. (1995)
- (27) 中野勝志, 田村雅彦, 後藤和幸, 平田洋一, 西垣誠：1,000m対応水理試験装置の開発, 日本地下水学会1995年秋季講演会講演要旨, pp.14-19. (1995)
- (28) 濱克宏, 濱尾俊弘, 豊嶋賢治, 中野勝志：中嶋幸房, 島崎智, 西垣誠：1,000m対応採水装置の開発, 日本地下水学会1995年秋季講演会講演要旨, pp.20-25. (1995)
- (29) 田村雅彦, 中野勝志：1,000m対応水理試験装置の開発, 日本原子力学会中部支部第27回研究発表会講演要旨集, p.36. (1995)

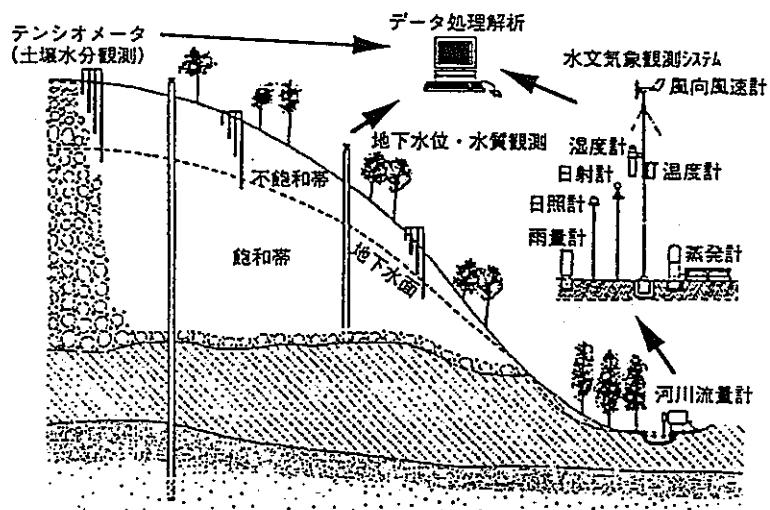


図-1 表層水理定数観測システム

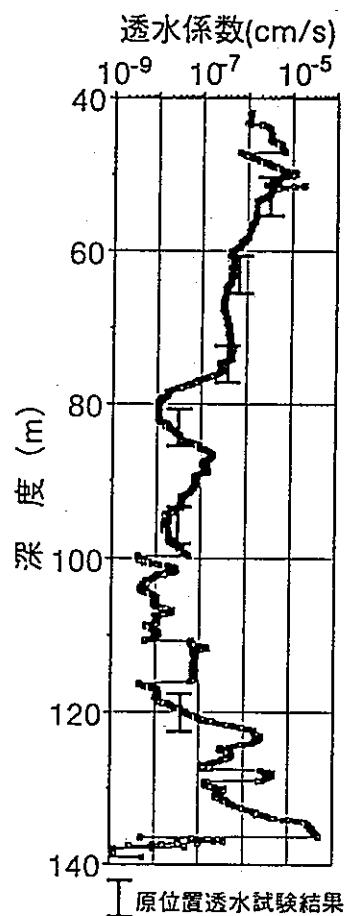


図-2 電気検層による透水係数値の推定

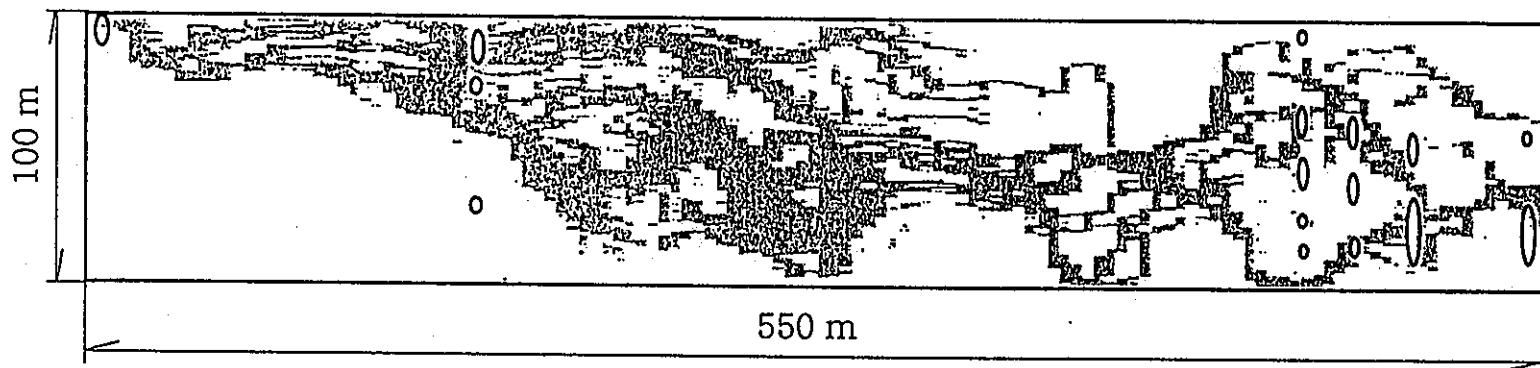


図-3 東濃鉱山内の一断面におけるウラン濃集部分の推定結果と実測値との
比較（灰色部はウラン濃集部分の推定結果、梢円内は試錐孔での実測
値を示す。）

表-1 水理学的・地球化学的調査機器開発の現状

(開発状況の凡例) 実一実用 設一設計中 改一改良中 計一計画中 開一開発中 調一調査中	開 発 状 況	水 理 試 験				地球化学パラメータの測定						採 水		測定可能深度 (m)	使用可能試験孔径 (mm)	被 勘 者			
		間隙水圧	透水係数測定			蒸 発 量 測 定	3 次 元 水 理 特 性	水 温	電 気 伝 導 度	pH	Eh	溶 存 酸 素	コロイド	有 機 物 等 の 濃 度	連 続 採 水	バ ッ チ 採 水			
			測定可能な岩盤の透水係数 (cm/s) 「10の乗数の指數で示す」	定常法	非定常法														
水理学的 調査機器	200m対応低圧ルジオン水理試験装置	実	○	-3~-7	○										200	66~100	地表、坑道内		
	200m対応動燃式低水圧制御水理試験装置	実	○	-4~-9	△	○									200	66~100	地表、坑道内		
	500m対応動燃式低水圧制御水理試験装置	実	○	-4~-9	△	○									500	66~100	地表、坑道内		
	1,000m対応水理試験装置(1号機)	実	○	-4~-10	○	○									1,000	66~100	地表		
	表層水理定数測定システム	実	地下水位、土壤水分、河川流量、気象観測データを収集														地表		
	室内透水試験装置	実		-4~-12	○	○											室内		
	試験孔間水理試験装置	製	○	-4~-7	○	○									数10	66~100	坑道内		
地球化学的 調査機器	蒸発量測定装置	実		難透水性岩盤		○										坑壁	坑道内		
	水理学的緩み領域計測装置	実	○	-5~-9	○	△									2	55~66	坑道内		
	100m対応パッカ式地下水サンプラー	実	○											○	100	76~140	地表、坑道内		
	500m対応パッカ式地下水サンプラー	実	○											○	500	76~140	地表		
	1,000m対応採水装置(1号機)	実	○											○	○	1,000	76~140	地表	
	地球化学検査ユニット(1号機)	実	○					○	○	○	○	○			1,000	76~140	地表		
	水質連続モニタリング装置	実						○	○	○	○	○		△	(60)	76~140	坑道内の湧水孔		

安 全 研 究 年 次 計 画 登 錄 研 究 課 題	地下水の地球化学的特性に関する研究			
実 施 研 究 課 題 (Title)	地下水の地球化学的特性に関する研究 (Geochemical Study of Groundwater)			
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)			
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	瀬尾俊弘 (Toshihiro SEO)、太田久仁雄 (Kunio OTA)、濱克宏 (Katsuhiro HAMA)、 岩月輝希 (Teruki IWATSUKI) 東濃地科学センター 地質環境研究室 (Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center) 水谷義彦 (Yoshihiko MIZUTANI) 富山大学理学部 (Faculty of Science, Toyama University)			
キ ー ワ ー ド	地下水	地球化学特性	水質形成機構	地下水の年代
Key Word	Groundwater	Chemical Characteristics	Groundwater Evolution	Age of Groundwater
継 続 状 況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続			
研 究 期 間	平成3年度～平成12年度まで継続見込み		関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず
関 連 す る 解 析 コ ー ド	該当せず		関連する特別会計 実証試験	該当せず
【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度)				
i) 地下深部における地下水の酸化還元電位、pHおよび温度分布を測定するための調査機器の開発、および同調査機器を用いた調査を行い、深部地下水の地球化学的特性（物理化学パラメータ）について所期の成果を得た。 ii) 地表部から地下深部までの地下水の化学組成／特性分布を把握するための調査を行い、深部地下水の水質、年代の分布等について所期の成果を得た。 iii) 地下水の水質形成機構を把握するために、東濃鉱山周辺の岩石と地下水を用いた水-岩石反応試験を行い、主要な地下水-岩石反応プロセス等について所期の成果を得た。				
【今後の予定(平成8年度以降の計画)】				
研究課題：「地下水の地球化学的特性に関する研究」 イ. 地下水の地球化学特性データの取得 ・ 深部結晶質岩中の地下水について、pHや酸化還元電位などの物理化学パラメータ値、水質、起源、年代の分布を把握する。 ロ. 水-岩石反応解析・試験 ・ 鉱物組成データ、水質データを用いて熱力学的計算を行い、構成鉱物の飽和指数を明らかにする。 ・ 水-岩石反応試験を行い、水質形成に寄与する水-岩石反応を明らかにする。 ハ. 地下水の地球化学モデルの構築 ・ 実際の地下水の水質データ、熱力学的計算の結果、水-岩石反応試験の結果から水質形成に寄与する水-鉱物反応を把握し、水質形成機構のモデル化を行う。				
【使用主要施設】				
東濃地科学センター、東濃鉱山				
連絡先	〒107 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 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 武田 精悦	

【研究目的】

放射性核種の移行挙動にとって重要な因子となる地下水の地球化学特性について、放射性核種の移行モデル作成に資する。

【研究内容】

表層からの地下深部にわたる地下水の地球化学特性を把握するために、地表水系、深部ボーリング、原位置試験場等において特性値の取得と分布及びその成因の推定を行う。

- i) 地下深部における地下水の酸化還元電位、pH及び温度の分布について把握する。
- ii) 地下深部における地下水の化学組成の分布について把握する。
- iii) 地下水-岩石の相互作用研究により、地下水の酸化還元電位及び化学組成の変化について評価し、その正確な分布把握の推定に資する。

【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。

i) 深部地下水の酸化還元電位、pHおよび温度

- ① 東濃鉱山調査坑道内に掘削された試錐孔からの湧水を対象として、物理化学パラメータ（酸化還元電位、電気伝導度、pH、溶存酸素濃度、水温）を約一年間、連続計測した結果、深部堆積岩の地下水は弱アルカリ性で非常に還元的（酸化還元電位 $\approx -300\text{mV}$ ）であることが明らかになった（表-1）。同地点の地下水組成および堆積岩の鉱物組成データに基づき、理論的に酸化還元電位を推定した結果、この湧水の酸化還元電位は-290mVと計算され、実測値(-300mV)が妥当であることが示された。
- ② 東濃地域に掘削された試錐孔において、深度850mまでの地下水の採水調査を実施し、堆積岩および深部花崗岩中の地下水の物理化学パラメータ・データセットを作成した（表-1）。

ii) 深部地下水の化学組成の分布、起源・年代

- ① 東濃地域に掘削された試錐孔／坑道を利用し、地下水の採水・分析調査を実施した結果、東濃地域の堆積岩中の地下水は、深度とともに Na^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- イオンに富む水質（中性）から Na^+ 、 HCO_3^- イオンに富む水質（弱アルカリ性）へと変化することが明らかになった（図-1）。
- ② 水素・酸素安定同位体比（図-2）、トリチウム濃度および ^{14}C （炭素1.4）濃度から、堆積岩下部の地下水は1万数千年前の年平均気温が現在よりも約2～3℃低い時代（ウルム氷河期）の天水に由来すると推測される。

iii) 地下水-岩石相互作用

東濃地域の堆積岩中の地下水および岩石試料を用いてバッチ式水-岩石反応試験を行った結果、地下水中的 Na^+ イオンが増加し、 Ca^{2+} イオンが当量的に減少する傾向が認められ（図-3）、地下水-粘土鉱物間で Na^+ イオンと Ca^{2+} イオンの交換反応が起きていることが明らかになった。この反応は短時間で化学的平衡状態に達すると推定される。また、地下水中の HCO_3^- イオンの炭素同位体比から、 HCO_3^- イオン濃度の増加は方解石の溶解反応に起因すると考えられる。さらに、既存の地球化学計算コード(PHREEQ)により、方解石の地下水に対する飽和指数を計算した結果、方解石の溶解反応は、いずれの深度においても飽和平衡状態に達していることが明らかになった。これらの結果から、東濃地域における堆積岩中の地下水の水質形成に関しては、方解石の溶解反応と地下水-粘土鉱物間のイオン交換反応により水質が形成され、これらの反応は化学的平衡状態に達しているとモデル化することができる。各深度の地下水中的 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- イオンの濃度の変化は、方解石の溶解反応と地下水-粘土鉱物間のイオン交換反応で、ほぼ当量的に説明できることから（表-2）、上記のモデルは妥当であると考えられる。

【公開資料】

別添に示す。

「地下水の地球化学的特性に関する研究」：公開資料リスト

- (1) 太田久仁雄, 濱尾俊弘, 水谷義彦：東濃地域における深部地下水の地球化学的研究（Ⅲ）－地下水の起源・年齢について－, 日本原子力学会1992年春の年会予稿集, p. 113. (1992)
- (2) 濱克宏, 濱尾俊弘, 太田久仁雄：東濃地域における深部地下水の地球化学的研究（IV）－物理化学パラメータの測定手法とその深度分布について－, 日本原子力学会1992年春の年会予稿集, p. 114. (1992)
- (3) 水谷義彦, 濱尾俊弘, 太田久仁雄：岐阜県東濃鉱山深層地下水の¹⁴C年代, 名古屋大学年代測定資料研究センター, 加速器質量分析と炭素同位体の学術的応用シンポジウム論文集, pp. 159-168. (1992)
- (4) 濱尾俊弘, 太田久仁雄, 水谷義彦：岐阜県東濃地域における地下水の¹⁴C年代と起源について, 日本地下水学会1992年秋季講演要旨, pp. 50-53. (1992)
- (5) Seo, T., Edis, R. and Payne, T. : A study of colloids in groundwater at Koongarra uranium deposit. Proc. CEC Natural Analogue working group 5th meeting, pp. 71-76. (1992)
- (6) Seo, T. and Yoshida, H. : Natural analogue studies of the Tono uranium deposit in Japan. Proc. CEC Natural analogue working group 5th meeting, pp. 179-184. (1992)
- (7) 濱克宏, 湯佐泰久, 太田久仁雄：東濃地域における深部地下水の地球化学的研究（V）－パッカーシステムを用いた地下水の採取方法について－, 日本原子力学会1993年春の年会予稿集, p. 113. (1993)
- (8) 岩月輝希, 濱克宏, 濱尾俊弘：東濃地域における地下水の地球化学的研究－地下水の硫黄濃度と酸化還元電位について－, 日本原子力学会中部支部第25回研究発表会講演予稿集, p. 10. (1993)
- (9) Iwatsuki, T., Sato, K., Seo, T. and Hama, K. : Hydrogeochemical investigation of groundwater in the Tono area, Japan. Proc. 18th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, MRS, Vol. 357, pp. 1251-1257. (1994)
- (10) Hama, K., Seo, T. and Yusa, Y. : A sampling procedure of formation water and its application to geochemical investigation of groundwater in the Tono area Japan. Proc. OECD/NEA SEDB CLAY CLUB Workshop 1994, OECD/NEA, pp. 213-226. (1994)
- (11) 豊嶋賢治, 濱克宏, 濱尾俊弘, 中野勝志：1,000m対応採水装置の開発, 日本原子力学会中部支部第27回研究発表会講演予稿集, p. 35. (1995)
- (12) 濱克宏, 濱尾俊弘, 豊嶋賢治：1,000m対応採水装置の開発, 日本原子力学会1996春の年会要旨集, p. 661. (1996)
- (13) 濱克宏, 濱尾俊弘, 豊嶋賢治, 中野勝志, 中嶋幸房, 島崎智, 西垣誠：1,000m対応採水装置の開発, 日本地下水学会1995年秋季講演会講演要旨, pp. 20-25. (1995)
- (14) 岩月輝希, 濱尾俊弘, 濱克宏：東濃地域における地下水の地球化学的研究, 日本地球化学会1995年会講演要旨集, p. 94. (1995)
- (15) 濱尾俊弘, 清水和彦：我が国における地下水の水質に関するデータの収集・解析, PNC TN 7410 92-017. (1992)
- (16) Yoshida, H., Seo, T., Nohara, T., Ota, K., Hama, K., Kodama, K. and Iwatsuki, T. : Data compilation of geoscientific studies of Tono uranium deposits, central Japan. PNC TN 7410 94-015. (1994)

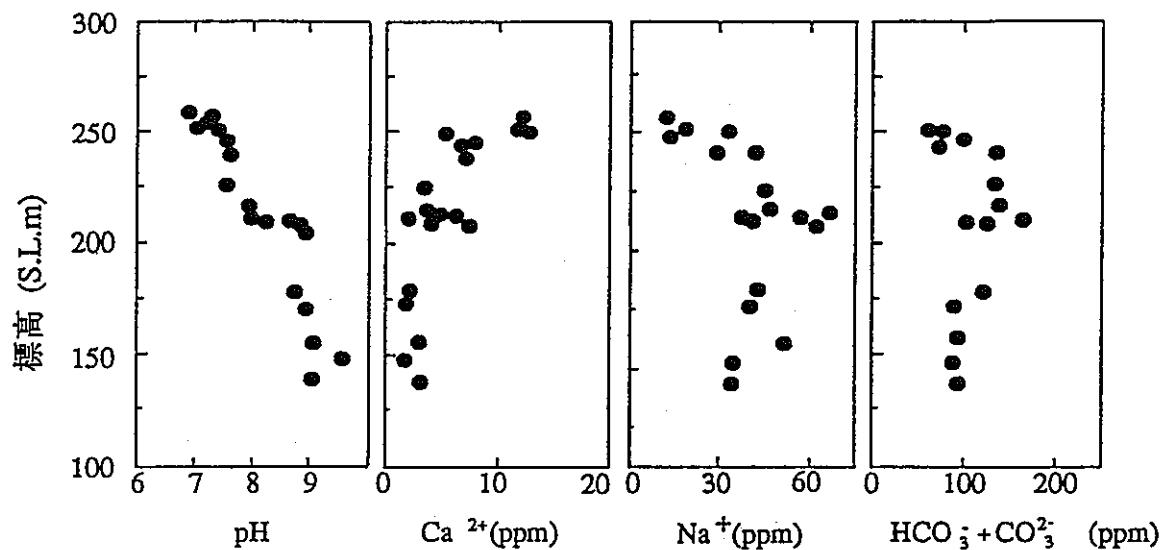
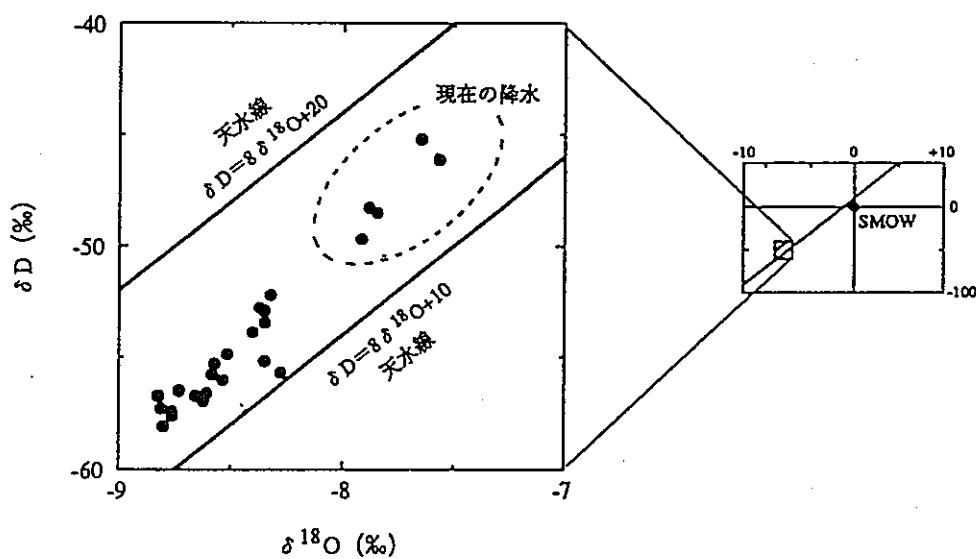


図-1 堆積岩における地下水組成の深度分布

図-2 東濃地域の地下水の同位体組成
(δ 値：海水(SMOW)の水素・酸素同位体比に対する地下水の水素・酸素同位体比の偏差)

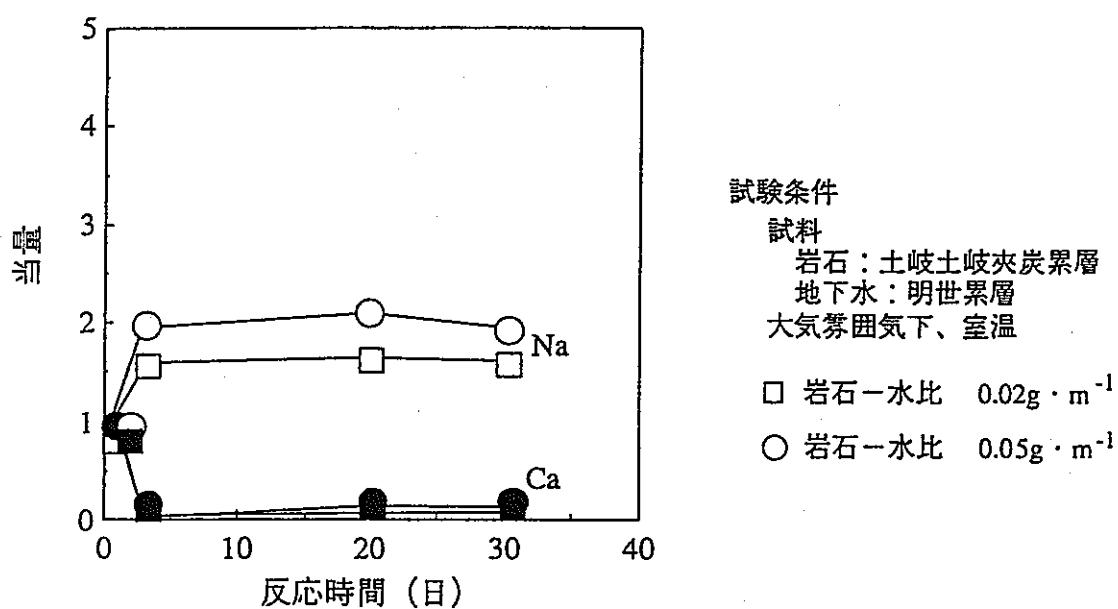


図-3 水一岩石反応試験結果

表-1 深部地下水の物理化学パラメータデータセット（例）

岩相	堆積岩	花崗岩	花崗岩
サンプリング地点	G.L. -153~-155m	G.L. -160~-195m	G.L. -839m
水温	18.5°C	18.0°C	30.0°C
酸化還元電位 (Eh)	-300 mV	12mV	未測定
pH	9.1~9.2	8.2	9.2
溶存酸素濃度	0.0 ppb	0.0 ppb	未測定
電気伝導度	168 μ S/cm	180 μ S/cm	198 μ S/cm

表-2 各深度におけるNa, Ca, HCO₃イオン濃度

深度(m)	Ca(mM)	Na(mM)	HCO ₃ (mM)	$\delta^{13}\text{C}$ (%)	Calcite起源の HCO ₃ の割合	Calcite起源のCa (mM)、HCO ₃ (mM)	Calciteの溶解とイオン交換 反応に由来するNa(mM)
32.8	0.3	0.6	1.1	-20.1	0.25	0.27	0.54
61.0	0.2	1.4	1.7	-17.4	0.38	0.65	1.50
132.0	0.2	3.2	2.1	-13.4	0.58	1.20	2.60

安 全 研 究 年 次 計 画 登 錄 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				
実 施 研 究 課 題 (Title)	天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究 (Radionuclide migration study on natural barriers)				
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	石川博久(Hirohisa ISHIKAWA), 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), 渋谷朝紀(Tomoki SHIBUTANI), 渡田淳(Atsushi SAWADA), 笹本広(Hiroshi SASAMOTO), 館幸男(Yuikio TACHI), 亘真吾(Shingo WATARU), 井尻裕二(Yuji IJIRI), 梅木博之(Hiroyuki UMEKI)*, 大澤英昭(Hideaki OHSAWA)*, 天野健治(Kenji AMANO)**, 吉田英一(Hidekazu YOSHIDA)**, 太田久仁雄(Kunio OHTA)**, 花室孝広(Takahiro HANAMURO)** 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, PNC 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 Key Word	天然バリア Natural barrier	核種移行 Migration	分配係数 Distribution coefficient	拡散係数 Diffusion coefficient	原位置試験 In-situ experiment
継続状況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続				
研究期間	平成3年度～平成12年度まで継続見込み		関連する国際共同研究課題及び実施機関	<ul style="list-style-type: none"> • The GTS-RRP/MI Project (Nagra) • Aspo Hard Rock Laboratory (SKB) • 水理物質移行研究(LBL) 	
関連する 解 析 コ ー ド	該当なし		関連する特別会計 実証試験	該当なし	
<p>【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度)</p> <p>i) 東濃ウラン鉱床中のウランの同位体組成に関する研究を行い、ウラン鉱床中のウランの移行に関する所期の成果を得た。また、原位置試験場での亀裂(割れ目)に関する調査を行い、結晶質岩中の割れ目頻度および割れ目形態に関する所期の成果を得た。さらに、坑道周辺で最も顕著に観察できる岩石に対する核種移行研究を行い、割れ目充填鉱物、花崗閃緑岩変質部、花崗閃緑岩未変質部に対するCs, Seの吸着挙動に関する所期の成果を得た。</p> <p>ii) 岩石中の空隙特性に関する研究を行い、花崗閃緑岩、凝灰岩、玄武岩、泥岩の屈曲度および本岩石、釜石鉱山産岩石の間隙率、密度、細孔径分布、細孔内比表面積に関する所期の成果を得た。</p> <p>花崗閃緑岩、玄武岩、泥岩中の核種の拡散挙動に関する研究を行い、本岩石中のCs, Ni, Sm, Clの実効拡散係数、見掛けの花崗閃緑岩、玄武岩、泥岩中のCs, Ni, Sm, Clの実効拡散係数(De)、見掛けの拡散係数(Da)を取得すると共に、上記研究で得られた間隙率、屈曲度に基づいて実効拡散係数を予測するためのモデル開発を行った。</p> <p>釜石鉱山産岩石(花崗閃緑岩未変質部、変質部、割れ目充填鉱物)中のNa, Cs, ClのDe及びDaを取得した。また、花崗閃緑岩未変質部、変質部についてはHg, SeのDe及びDaを取得し、より現実的な系での核種移行挙動に関する所期の成果を得た。</p> <p>iii) 放射性核種を用いたファーフィールド及び地下実験施設で非吸着性トレーサ(ウラニン)を用いた核種移行挙動に関する研究を国際協力により行い、未知のパラメーターである分散率及び空隙率を推定することができた。さらにこれらのパラメーターを用いて吸着性トレーサ(Na, Sr)の移行挙動に関する所期の成果のみならずこれらの現象に対する平衡論的な吸着モデルの適用性に関する知見を得た。本結果については、強吸着性トレーサ(Cs)の場合については説明がつかなかったため、速度論的影響を考慮してモデル化を行った。</p> <p>iv) 天然バリアの放射性核種移行遅延機能を定量的に評価するために、ランダムウォーク法を用いた選択的移行経路評価に関するコード開発を行い、多孔質不均質媒体中の選択的移行経路の抽出を行うことが可能となった。</p>					
<p>【今後の予定(平成8年度以降の計画)】 研究課題名：「天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究」</p> <p>天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究では、アクリチニ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に、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各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)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。</p>					
<p>【使用主要施設】</p> <p>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</p>					
連絡先	〒107 〒03-3586-3311 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 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 〔氏 名〕 主幹 原 啓二		

【研究目的】

地下深部から地表にいたる放射性核種の移行に関する研究を行い、天然バリアの性能評価に資する。

【研究内容】

- i) アクチニ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。また、岩石中及び堆積物中の鉱物や微量元素の存在状態を調べる。
- ii) 岩石中の放射性核種に対する吸着機構を解明するため、分配係数、拡散係数等を測定するとともに、放射性核種等が岩石中を移行する際の各パラメータ評価とその影響を検討する。
- iii) 國際協力により、放射性核種を用いたファーフィールド及び地下実験施設で実験を行い、核種の移行データ及び地下水データの解析・評価を行う。
- iv) 天然バリアの放射性核種移行遅延機能を定量的に評価するため、数値解析手法による地下水解析コード及び放射性核種移行解析コードを開発する。

【研究成果】

- i) 深部地質環境の科学的研究の場である東濃ウラン鉱床から採取した岩石試料を用い、地質環境を模擬した条件下での調査・試験から、堆積岩中の天然ウラン系列核種は、主に鉱物表面への錯体形成によって吸着していると考えられる。また酸化条件に比べ還元条件でのウランの吸着係数が2～3オーダー大きいことから、ウランの吸着に酸化還元条件が大きく関与していることが実験的に確かめられている。
- ii) 鉱石鉱山における深部地質環境の科学的研究により、結晶質岩中の主たる移行経路として確認された割れ目構造は大きく3つのタイプに分類可能であることが認められている（図-1）。これらの割れ目には、割れ目充填鉱物が介在しており、これらの鉱物は地球化学的に物質の吸着材として有効と考えられる黒雲母や粘土鉱物から成り、物質の吸着や遅延に寄与すると考えられる。また、これらの割れ目周辺における物質の微視的移行経路は、充填鉱物部では多孔質構造を有し、割れ目周辺の母岩ではネットワーク状の微小割れ目があることが判明した。
- iii) 花崗閃緑岩、凝灰岩、玄武岩、泥岩の屈曲度をNaをトレーサーとしてThrough-diffusion法による拡散試験（以降拡散試験と略す）により測定した。その結果、屈曲度は、玄武岩>泥岩>花崗閃緑岩=凝灰岩の順となり、花崗閃緑岩と凝灰岩はほぼ同じであった。また、岩石の間隙率は、凝灰岩>玄武岩>花崗閃緑岩>泥岩の順となった。凝灰岩は、同一岩石コアより採取されたにもかかわらず、間隙率および密度にはバラツキが認められ、凝灰岩サンプルが不均一であることが示唆された。花崗閃緑岩、玄武岩、泥岩中のCs、Ni、Sm、Clについて、拡散試験を実施し、DeおよびDaを取得した。その結果、CsのDeおよびDaは、他の元素と比較して大きい値が得られた。また、全ての元素について、DeおよびDaは、花崗閃緑岩>泥岩>玄武岩の傾向を示した。間隙率および屈曲度を用いて各元素についてのDeを見積もり、実測値と比較した。図-2に実測値と解析値との比較を示す。その結果、解析結果は、Csの玄武岩中のDeが1オーダー低かったものの、他の元素についてもほぼ一致した。花崗閃緑岩の未変質部、変質部、割れ目充填鉱物について、イオンの電荷をパラメーターに拡散試験を実施した。未変質部、変質部、割れ目充填鉱物については、Na、Cs、ClのDeを、未変質部、変質部については、HTO及びSeのDeおよびDaをそれぞれ取得した。また、各岩石について、水中飽和法により間隙率および密度、水銀圧入法により細孔径分布、間隙率、密度、間隙内比表面積を測定した。その結果、Deは、間隙率の大きいものは高い傾向が見られた。図-3にDeと間隙率の関係を示す。Deは割れ目充填鉱物>変質部>未変質部の順となり、間隙率も同様な結果が得られた。
- iv) 動燃とNagra（スイス放射性廃棄物処分共同組合）は、(1)核種移行モデルの開発と確認、(2)室内試験データの原位置試験評価への適用性の確認を目的として、スイスのグリムゼル試験サイトの破碎帶において非吸着性トレーサおよび放射性（吸着性）トレーサーを使用して、ダイポール型のトレーサー試験を実施するとともに、移流・分散、吸着による遅延効果、核種崩壊およびマトリックス拡散を考慮できるモデルを開発し、原位置試験との比較によりモデルの検証を行った。すなわち、原位置で得られた非吸着性トレーサー（ウラニン）の破過曲線（図-4）と統計的手法により推定された透水量係数場における解析結果とのフィッティングから移行パラメーターを求め（表-1）。その後、その移行パラメーターと実験室で求められた分配係数（ $K_d=0.3, 5, 2.3, 3.5 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{kg}$ ）を用いて吸着性トレーサー($^{23} \text{Na}$)の破過曲線を予測した（図-5）。その結果、原位置での分散係数は実験室で求められた分散係数よりも小さく、実験室で求められた分散係数をそのまま核種移行評価や予測計算に使うと結果を過小評価することがわかった。
- v) 天然バリアの性能評価においては、平均化するシステムの挙動の過小評価をしないために、場の不均質性を考慮した地下水、すなわち、核種が優先的に流れる経路を詳細にモデル化する必要がある。そこで、3次元不均質場の選択的な核種移行経路を抽出する手法として、流線法およびランダムウォーク法に基づく選択的な核種移行経路同定プログラムの開発を行った。流線法は流れ関数面の交線である流線から核種移行経路を決定論的に求める手法であり、ランダムウォーク法は流線から核種移行経路を確率論的に求める手法である。その結果、これらの手法により3次元不均質場における天然バリアの性能を評価する上で重要なパラメーターとなる選択的な核種移行経路、トラベルタイム、経路長、経路に沿った流線分布等の情報を得ることが可能となった。

【公開資料】

別添に示す。

別添

「天然バリアにおける放射性核種の移行に関する研究」；公開資料リスト

- (1) 齋洋, 遠谷朝紀, 佐藤治夫, 「岩石等に関するSn, Nb, Zr, Raの分配係数の測定」日本原子力学会1992年春の年会, (1992)
- (2) Yoshida, H., Yui, M. and Shibutani, T. "A Study of Factors Influencing on Uranium Fixation in the Tono Uranium Deposit in Japan" PNC TR/GE 91-01, (1992).
- (3) 「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」PNC TN1410 92-081, (1992).
- (4) 古屋俊輔, 藤田尚宏, 畑中耕一郎, 梅木博之, 「不均質性を考慮した亀裂中の物質移動モデルの開発と適用性の検討」, 本原子力学会1992年秋の大会, (1992)
- (5) 石原義尚, 池田康博, 中原豊, 根山敦史, 牧野仁史, 梅木博之, 油井三和, 地層処分性能評価における解析コードの品質保証II, 日本原子力学会92年秋の大会, (1992)
- (6) 根山敦史, 梅木博之, 油井三和, 牧野仁史, 中原豊, 池田康博, 石原義尚, Tripathi, T., Muller, A.B., 「地層処分性能評価における解析コードの品質保証I」, 日本原子力学会92年秋の大会, (1992)
- (7) 太田久二雄, 児玉京子, 「地層中における物質の移行・挙動に関する研究(その1)」, 日本原子力学会中部支部第24回研究発表会, (1992).
- (8) 佐藤治夫, 油井三和, 「岩石中のイオンの拡散係数の測定」, 日本原子力学会1992年秋の大会, (1992).
- (9) 佐藤治夫, 油井三和, 石川博久, 「岩石の間隙構造に関する研究」PNC TN8410 92-222, (1992).
- (10) 佐藤治夫, 芦田敬, 小原幸利, 油井三和, 梅木博之, 石黒勝彦, 「ペントナイト及び岩石中の核種の実効拡散係数」PNC TN8410 92-164, (1992)
- (11) 遠谷朝紀, 吉川英樹, 油井三和, 雨夜隆之, 鈴木和則, 「NiおよびTcの岩石およびペントナイトへの吸着挙動に関する研究」, 日本原子力学会1993年春の大会, (1993).
- (12) 遠谷朝紀, 吉川英樹, 佐藤治夫, 油井三和, 梅木博之, 石黒勝彦, 「ペントナイトおよび岩石中の核種の分配係数」PNC TN8410 92-163, (1992)
- (13) 太田久仁雄, 児玉京子, 吉田英一, 「堆積岩中の物質移行に関する研究(IV)-岩石の吸着能力とウランの吸着メカニズムについて」日本原子力学会1994年春の大会, (1994).
- (14) 佐藤治夫, 遠谷朝紀, 吉川英樹, 油井三和, 「花崗閃緑岩中のCs, Ni, Smの拡散機構に関する研究」, 日本原子力学会1993年秋の大会, (1993).
- (15) 遠谷朝紀, 吉川英樹, 佐藤治夫, 油井三和, 「性能評価に用いるためのペントナイト及び岩石中の核種の分配係数の設定」, 日本原子力学会1993年秋の大会, (1993).
- (16) 花室孝広, 太田久仁雄, 吉田英一, 「東濃地域の堆積岩を用いたウランの拡散試験」, 1994年秋季原子力学会中部支部研究発表会, (1994).
- (17) Ohta, K. and Yoshida, H., Influence of Microscopic Heterogeneity on Diffusion for Sedimentary Rock. In proc. of Geoval meeting Paris, pp. 237-244, 1994.
- (18) 佐藤治夫, 遠谷朝紀, 「緩衝材及び岩石への核種の吸着・拡散メカニズム」動燃技術資料 PNC TN8410 94-284 (1994).
- (19) 遠谷朝紀, 西川義朗, 乾真一, 内館信幸, 油井三和, 「Seの岩石及び鉱物に対する吸着挙動に関する研究」PNC TN8410 95-395, (1995).
- (20) Umeki, H., Hatanaka, K., Alexander, W.R., McKinley, I.G. and Frick, U., THE NAGRA/PNC TESTSITE RADIONUCLIDE MIGRATION EXPERIMENT : RIGOROUS FIELD TESTING OF TRANSPORT MODELS, XV International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, 1994.
- (21) Yosida, H., Kodama, K. and Ohta, K., Role of Microscopic Flow-paths on Nuclide Migration in Sedimentary Rocks -A Case Study from the Tono Uranium Deposit, Central Japan, Radiochimica Acta, 66/67, 505-511, 1994.
- (22) Yosida, H., Yui, M. and Shibutani, T., Flow-path Structure in Relation to Nuclide Migration in Sedimentary Rocks -An Approach with Field Investigations and Experiments for Uranium Migration at Tono Uranium Deposit, Central Japan, Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. 31 No. 8, 803-812, 1994.
- (23) Yosida, H., Relation between U-series Nuclide Migration and Microstructural properties of Sedimentary Rocks, Applied Geochemistry, Vol. 9, 479-490, 1994.
- (24) 「地層処分研究開発の現状(平成5年度)」動燃技術資料 PNC TN1410 94-094 (1994年11月)
- (25) 「東濃地域の堆積岩中におけるウランの移行・保持に関する研究」動燃技報 No. 53-61 (1995)
- (26) Sato, H., Shibutani, T. and Yui, M. (1995): Experiments and Modelling on Diffusion of Cs, Ni and Sm in Granodiorite, Fifth International Conference on the Chemistry and Migration in the Geosphere "MIGRATION'95"
- (27) Sato, H.: Through-diffusion Experiments on NaCl Through Tuff, PNC Technical report (to be published)
- (28) Sato, H.: Porosity, Density and Pore-Size Distribution on Tuff, PNC Technical report (to be published)
- (29) 佐藤治夫, 遠谷朝紀(1996) : 亀裂岩中ににおける吸着・拡散係数「地層処分研究情報交換会」INTEGRATE'96
- (30) 吉田英一(1996) : マトリックス拡散の微視的移行経路に関するデータ整備「地層処分研究情報交換会」INTEGRATE'96
- (31) 「性能評価法の統計的適用に関する研究」委託研究報告書 PNC ZJ1216 96-003

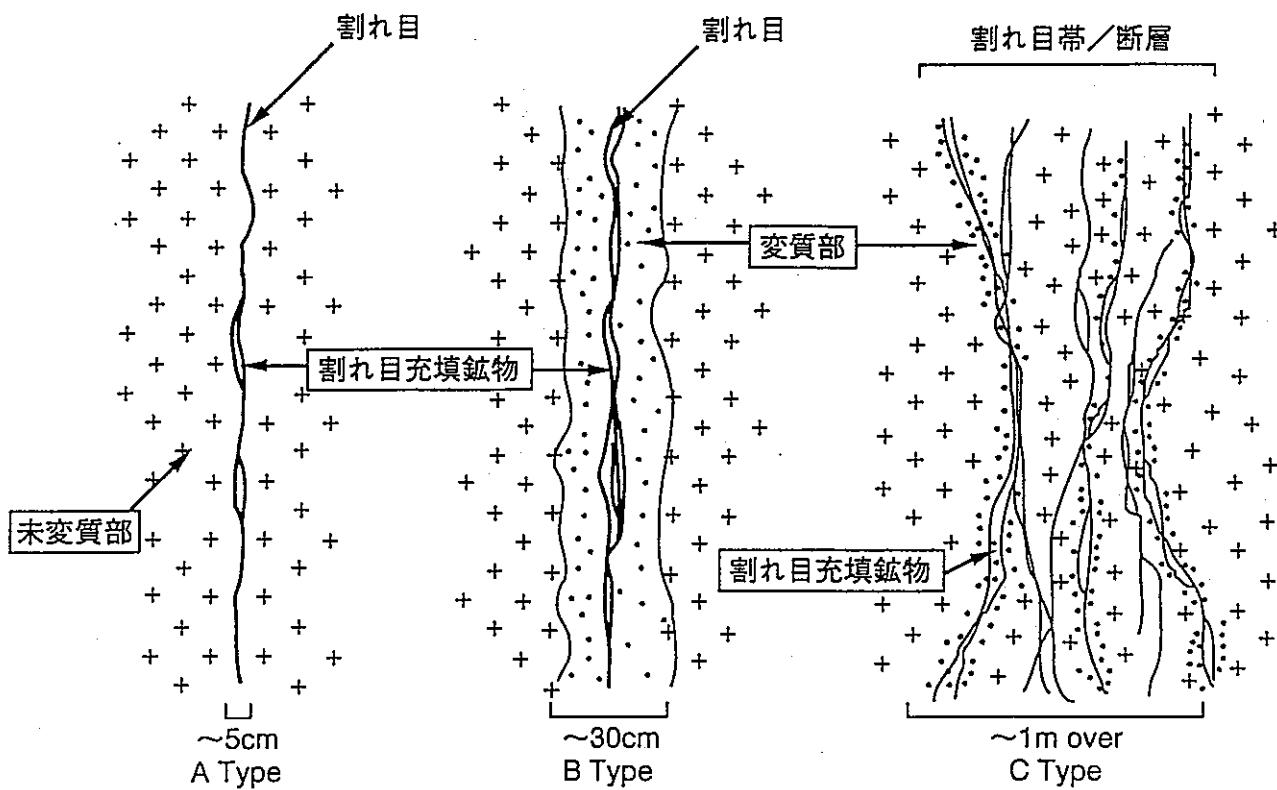
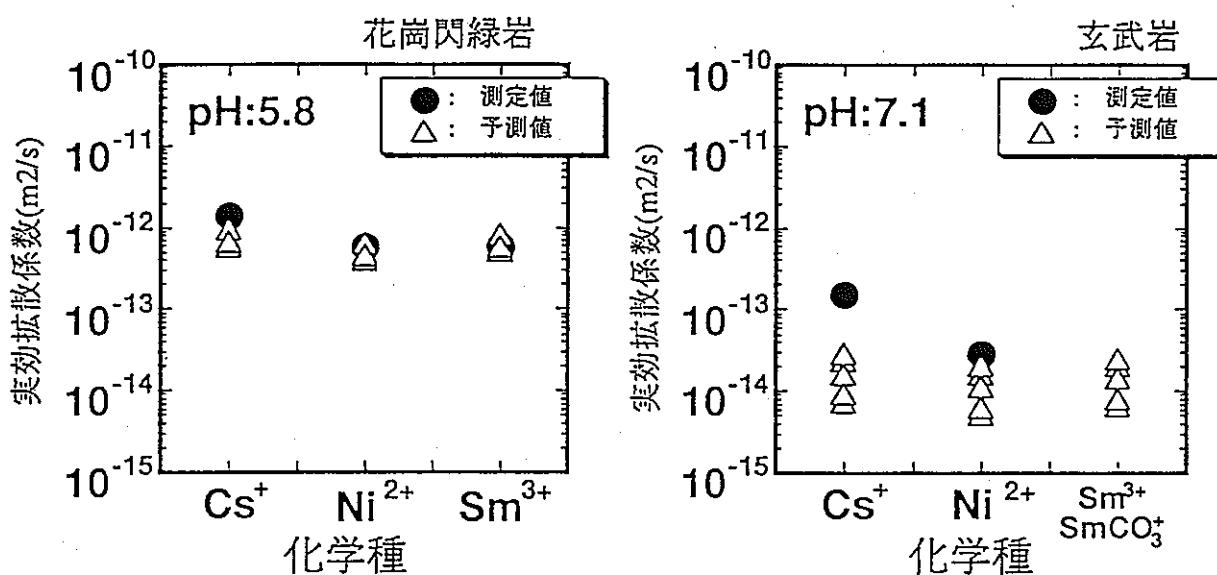


図-1 盔石原位置試験場における割れ目タイプ。

図-2 実測値と解析値の比較
(花崗閃緑岩と玄武岩の例)

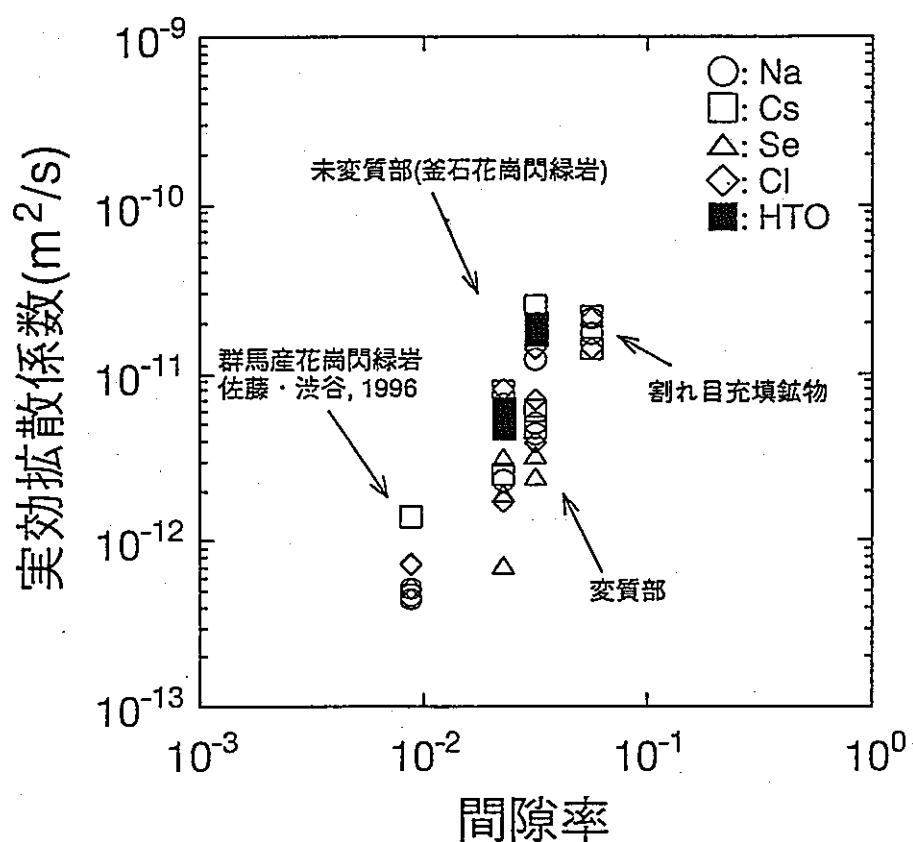


図-3 実効拡散係数と間隙率

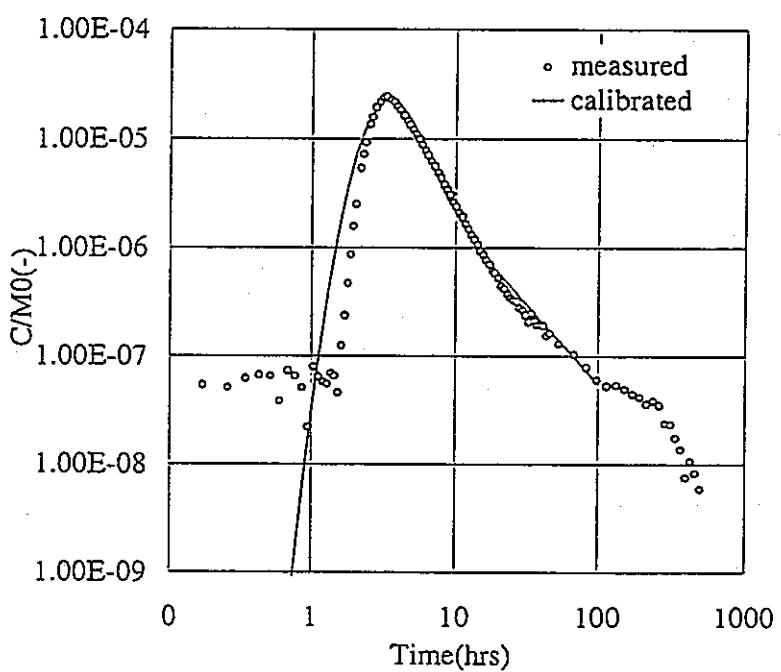


図-4 モデルの較正結果 (ウラニン)

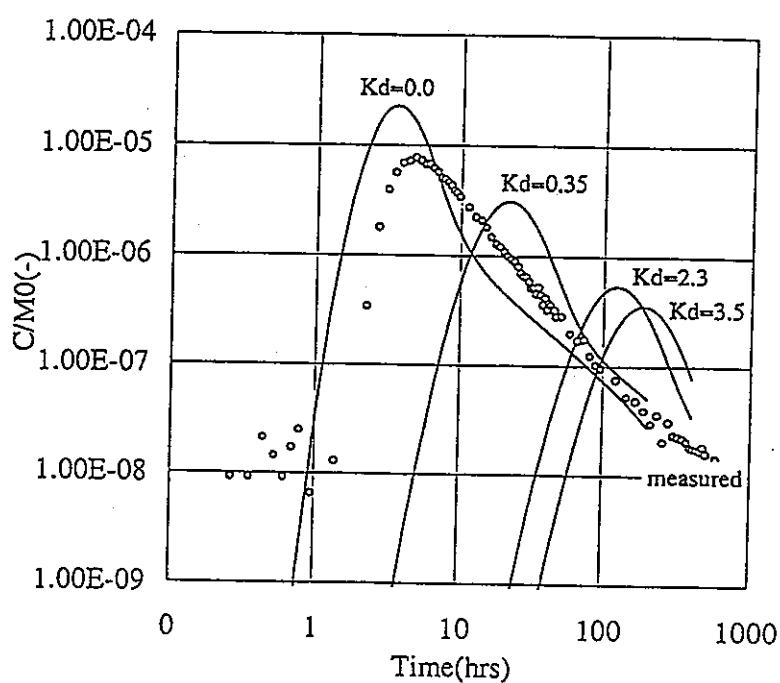
図-5 モデルによる予測結果(^{22}Na)

表-1 モデル較正により推定したパラメーター

パラメーター	推定値
流れ方向分散率(m)	0.25
破碎帯の空隙率(-)	1.3×10^{-1}
周辺岩盤の拡散係数(m^2/s)	5.0×10^{-11}
物質移行開口幅(m)	1.0×10^{-2}

安 全 研 究 年 次 計 画 登 錄 研 究 課 題	天然バリアのナチュラルアナログ研究				
実 施 研 究 課 題 (Title)	天然バリアのナチュラルアナログ研究 (Natural Analogue Study of Natural Barrier)				
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	吉田英一 (Hidekazu YOSHIDA)、瀬尾俊弘 (Toshihiro SEO)、太田久仁雄 (Kunio OTA)、 児玉京子 (kyoko KODAMA)、花室孝広 (Takahiro HANAMURO) 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 Key Word	ナチュラルアナログ Natural Analogue	天然バリア Natural Barrier	ウラン系列核種 U-series Nuclides	核種移行 Nuclide Migration	コロイド Colloids
総 統 状 況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了			<input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続	
研 究 期 間	平成3年度～平成12年度まで継続見込み		関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず	
関 連 す る 解 析 コ ー ド	該当せず		関連する特別会計 実証試験	該当せず	
<p>【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度)</p> <p>①堆積岩中の核種移行経路調査 東濃地域に分布する堆積岩の微視的空隙構造の調査を行い、堆積岩中に認められる核種移行経路の構造について所期の成果を得た。</p> <p>②花崗岩中の核種のマトリックス拡散に関する研究 東濃地域の花崗岩試料を対象に、割れ目周辺におけるウラン系列核種の移行挙動の調査を行い、花崗岩割れ目周辺の放射性核種の移行挙動について所期の成果を得た。</p> <p>③コロイド研究 東濃鉱山の地下水中的コロイド調査を行い、コロイドの核種運搬挙動についての知見を得た。</p> <p>④ウラン含有試料の放射非平衡調査 ウラン系列核種の放射非平衡調査を行い、堆積岩中におけるウラン系列核種の長期挙動について所期の成果を得た。</p> <p>⑤堆積岩試料を用いた収・脱着試験 堆積岩試料の収・脱着試験を行い、岩石および鉱物ごとの収着係数データを取得し、堆積岩中におけるウランの収着特性について所期の成果を得た。</p>					
<p>【今後の予定(平成8年度以降の計画)】</p> <p>研究課題：「天然バリアのナチュラルアナログ研究」</p> <p>イ. 東濃ウラン鉱床等における研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ウラン鉱床およびその周辺の岩石(堆積岩・花崗岩)中の核種移行経路を把握し、移行経路の概念モデルを構築するために移行経路調査を実施する。 ・断層周辺におけるウラン系列核種の長期的な挙動を把握するために放射非平衡調査を実施する。 ・核種移行モデルに必要とされる物理化学パラメータを取得するために室内試験を実施し、定量的データを取得する。 ・核種移行モデルを構築し、地層中の核種移行解析を行う。 <p>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 (原研との共同研究)</p>					
<p>【使用主要施設】</p> <p>東濃地科学センター、東濃鉱山</p>					
連絡先	〒107-03586-3311 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 動力炉・核燃料開発事業団				
	[所 属] 環境技術開発推進本部 地層科学グループ [氏 名] 主幹 武田 精悦				

【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、高レベル放射性廃棄物処分の安全性評価に資する。

【研究内容】

- i) ①ウラン鉱床等を利用して、鉱床を切る断層および周辺における核種移行評価、②花崗岩中における核種のマトリックス拡散に関する研究、③コロイド・有機物の研究、④鉱石試料を対象とした放射平衡の測定、⑤鉱物相の同定と鉱物相中の核種の定量および吸脱着試験を実施する。

【研究成果】

- i) 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。

①堆積岩中の核種移行経路調査

堆積岩試料を対象として、微視的空隙構造の観察、レジン（樹脂）を用いた染色試験、および天然ウランの分布調査を実施した結果、堆積岩中には鉱物粒子中の微小割れ目、黒雲母の劈開、岩石基質中の空隙が三次元的に連結した空隙構造が認められ（図-1）、これらの空隙が物質（ウランなど）の移行経路として機能していることが明らかになった。

②花崗岩中の核種のマトリックス拡散に関する研究

東濃地域の試錐孔から、割れ目付近に赤褐色の変質部を伴う花崗岩試料を採取し、同試料の赤褐色変質部について岩石学的・地球化学的調査を実施した。その結果、赤褐色変質部には鉄成分とウランが濃集しており、ウランは長期間にわたり、地球化学的に安定に保持されていることが確認された。この結果から、マトリックス拡散の場となる花崗岩の割れ目周辺において、鉄酸化鉱物の沈殿（濃集）により形成された赤褐色変質部は、割れ目表面より拡散した放射性核種を長期にわたり保持する能力を有することが明らかになった（図-2）。

③コロイド研究

東濃鉱山坑内に掘削された試錐孔より採水した地下水、および地下水中に存在するコロイド粒子について化学分析を実施した結果、コロイド粒子の粒度の違いによるウラン含有量の顕著な差異は認められなかった。したがって、東濃地域の地下水中では、ウランの選択性移行に対してコロイド粒子は寄与しないと考えられる。

④ウラン含有試料の放射非平衡調査

堆積岩全岩中および分離した鉱物中のウラン系列核種の放射非平衡調査を実施した結果、東濃ウラン鉱床の堆積岩中の主要構成鉱物（石英、長石、黒雲母、黄鉄鉱、粘土鉱物、亜炭）は、同一の岩石から分離したものであっても、異なる²³⁴U/²³⁸U、²³⁴U/²³⁰Th/²³⁸U放射能比を持つことが確認された（図-3）。この結果から、鉱物ごとにウランの移行・濃集に果たす役割が異なり、堆積岩中の鉱物の種類（化学的特性）、量および分布はウランの移行・濃集を支配する重要な因子であることが示された。また、還元的な環境においてもウランは微小スケールで移行していることが明らかになった。

⑤堆積岩試料を用いた収・脱着試験

ウランの濃集した堆積岩、ウラン濃集の認められない堆積岩および分離した主要構成鉱物について、酸化／還元条件での収・脱着試験を実施した結果、ウランの濃集した堆積岩ではウランの収着サイトにはすでにウランが濃集しているために、ウランの収着能力が低下していることが示唆された。また、還元条件における堆積岩および主要構成鉱物に対するウランの収着係数は、酸化条件の場合よりも2～4オーダー大きな値となったことから、地層中のウランの移行・濃集を規制する要因として、酸化還元条件の違いおよび岩石・鉱物ごとの収着能力の違いがあると考えられる。

【公開資料】

別添に示す。

「天然バリアのナチュラルアナログ研究」：公開資料リスト

- (1) 野原壯, 落合洋治：東濃ウラン鉱床における天然ウラン系列核種放射非平衡研究－断層および割れ目に沿った核種の挙動－, 日本原子力学会1992年春の年会予稿集。(1992)
- (2) 吉田英一, Put, M., 武田精悦：堆積岩における核種移行試験－岩石組織と核種移行挙動との関係について－, 日本原子力学会1991年秋の大会予稿集。(1991)
- (3) Yoshida, H., Yui, M., and Ashida, T. : A study on sorption of uranium in the Tono uranium deposit in Japan. Abst. Migration '91. (1991)
- (4) Yoshida, H., Yui, M., and Shibutani, T. : A study of influence factor on uranium fixation in the Tono uranium deposit. Japan. PNC TN7410 91-061. (1991)
- (5) 児玉京子, 吉田英一, 山名智, 太田久仁雄：地層中における物質の移行・挙動に関する研究（その2）－岩石の構造とウラン濃集の相関について－, 日本原子力学会中部支部第24回研究発表会講演予稿集。(1992)
- (6) Nohara, T., Ochiai, Y., Seo, T., and Yoshida, H. : Uranium-series disequilibrium studies in the Tono uranium deposit. Japan. Radiochim. Acta 58/59. (1992)
- (7) 太田久仁雄, 吉田英一, 児玉京子：地層中における物質の移行・挙動に関する研究（その1）－岩石の吸着能力とウラン濃集との相関について－, 日本原子力学会中部支部第24回研究発表会講演予稿集。(1992)
- (8) Seo, T. and Yoshida, H. : Natural analogue studies of the Tono uranium deposit in Japan. Proc. 5th CEC NAWG Meeting. (1992)
- (9) 吉田英一：堆積岩中の物質移行特性に関する研究－東濃ウラン鉱床を例にした物質の移行・挙動解析－, 日本原子力学会1992年秋の大会予稿集。(1992)
- (10) Yoshida, H., Komura, K., Yamamoto, M. and Otsuka, Y. : Influence of micro path-structure on nuclide migration in sedimentary rock. Abst. 29th IGC. (1992)
- (11) Yusa, Y., Ishimaru, T., Ota, K. and Umeda, K. : Geological and geochemical indicators of palaeohydrogeology in Tono uranium deposit. Japan. Paleohydrogeological Methods and their Applications. NEA Workshop. (1992)
- (12) 山名智, 石丸恒存：東濃鉱山第2立坑壁面の観察による瑞浪層群の地質層序学的調査報告, PNC TN7420 92-011. (1992)
- (13) 児玉京子, 太田久仁雄, 野原壯, 吉田英一：堆積岩中の物質移行に関する研究－移行経路の構造とウランの分布との相関について日本原子力学会1993年秋の大会予稿集。(1993)
- (14) 太田久仁雄, 児玉京子, 吉田英一：堆積岩中の物質移行に関する研究(IV)－岩石の吸着能力とウランの吸着メカニズムについて日本原子力学会1994年春の大会予稿集。(1994)
- (15) Yoshida, H., Kodama, K. and Ota, K. : Role of microscopic flow-paths on nuclide migration in sedimentary rocks -A case study from the Tono uranium deposit, central Japan. Radiochimica Acta. 66/67. (1993)
- (16) Yoshida, H., Yui, M. and Shibutani, T. : Flow-path structure in relation to nuclide migration in sedimentary rocks -An approach with field investigations and support experiments of naturaluranium nuclide migration at the Tono uranium deposit, central Japan-. J. Nucl. Sci. Tech. (1993)
- (17) 湯佐泰久, 吉田英一：天然放射性核種の地層中の挙動－東濃ウラン鉱床における事例研究－. 放射線第20巻. (1994)
- (18) Yoshida, H., Seo, T., Nohara, T., Ota, K., Hama, K., Kodama, K. and Iwatsuki, T. : Data compilation of geoscientific studies of Tono uranium deposits, central Japan. PNC TN7410 94-015. (1994)
- (19) Yoshida, H. : Relation between U-series nuclide migration and microstructural properties of sedimentary rocks. Applied Geochemistry. 9. (1994)
- (20) Yoshida, H., Sakuma, H. and Yusa, Y. : The Tono Natural Analogue Study Program. preprint of CEC 6th NAWG meeting (1994)
- (21) Ota, K. and Yoshida, H. : Influence of microscopic heterogeneity on diffusion for sedimentary rocks. GEOVAL'94 Validation Through Model Testing, OECD/NEA. (1994)
- (22) 花室孝広, 太田久仁雄, 吉田英一：東濃地域の堆積岩を用いたウランの拡散試験, 日本原子力学会中部支部第26回研究発表会講演予稿集。(1994)
- (23) 花室孝広, 太田久仁雄, 吉田英一：東濃地域の岩石中におけるウランの移行・保持に関する研究－移行経路の構造と構成鉱物の吸着・遅延特性についての検討－, 動燃技報第93号. (1995)
- (24) 吉田英一, 湯佐泰久：放射性核種の地層中での挙動－東濃ウラン鉱床における天然ウラン系列核種を例にして－, 95年同位元素研究発表会要旨集。(1995)
- (25) 花室孝広, 吉田英一：花崗岩割れ目からの物質のマトリックス拡散に関する研究, 日本原子力学会1995年秋の大会予稿集。(1995)
- (26) Seo, T. and Moulin, V. : Study of colloids in groundwater at the Tono uranium deposit. Japan. Abst. Migration '95, No. PB3-06. (1996)

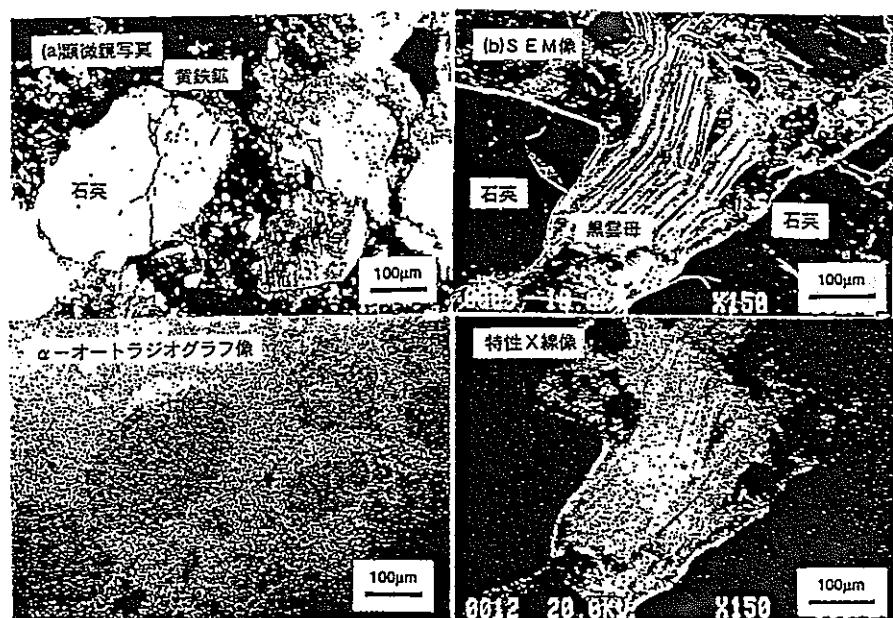


図-1. 堆積岩中の空隙構造とウランの分布

((a) : α -オートラジオグラフ像および(b) : 特性X線像、ともに白い点はウランの分布を示している。)

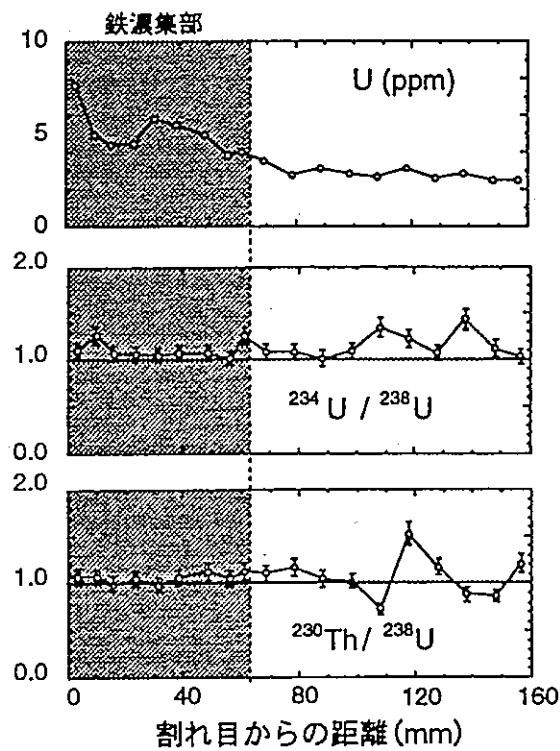


図-2. 花崗岩中の割れ目からのウラン含有量およびウラン放射能比の分布

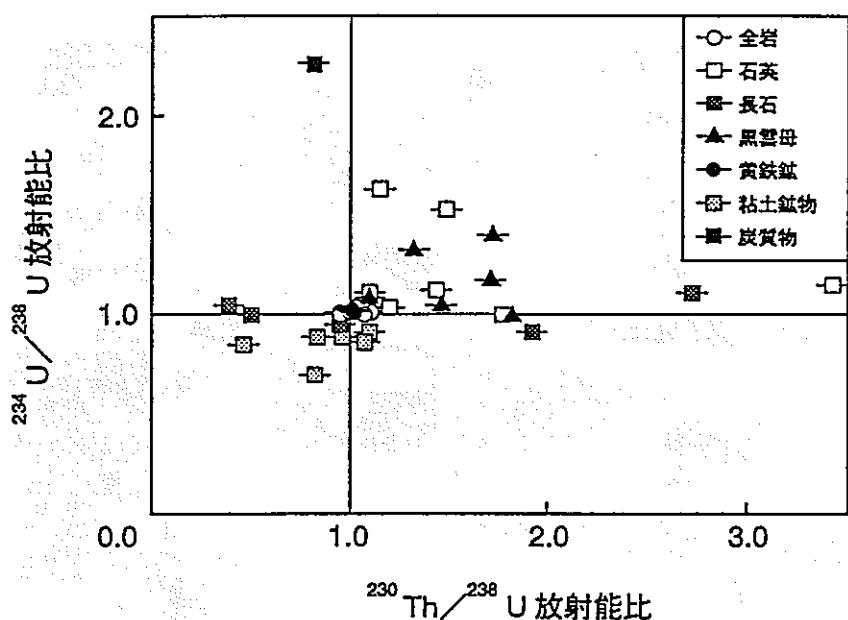


図-3. 堆積岩全岩および主要構成鉱物の放射非平衡調査結果

表-1. 岩石および主要構成鉱物に対するウランの吸着係数

	吸着係数(ml/g)	
	酸化条件	還元条件
凝灰質シルト岩	14	170
凝灰質中粒砂岩	1	300
凝灰質細粒砂岩	2	1,000
炭質物を含む凝灰質泥岩	30	1,800
石英	<1	5
黒雲母	2	8,000
炭質物	200	—

安 全 研 究 年 次 計 画 登 録 研 究 課 題	地質環境予測に関する研究		
実 施 研 究 課 題 (Title)	地質環境予測に関する研究 (Study on Prediction for Geological Environment)		
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)		
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	湯佐泰久 (Yasuhisa YUSA)、坪田浩二 (Koji TSUBOTA)、長谷川健 (Ken HASEGAWA)、 石丸恒存 (Tsuneaki ISHIMARU)、佐藤稔紀 (Toshinori SATO)、岩月輝希 (Teruki IWATSUKI) 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 Key Word	地質環境 Geological Environment	予測 Prediction	データベース Data Base
継続状況 Continuation Status	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続		
研究期間 Research Period	平成3年度～平成12年度まで継続見込み	関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず
関連する 解 析 コ ー ド	該当せず	関連する特別会計 実証試験	該当せず
【成果の達成レベル】 (平成3年度～平成7年度)			
i) 地球物理学的調査技術の開発 物理探査手法を用いた地表から地下深部までの調査技術の適用試験を行い、各種調査技術の高度化について所期の成果を得た。 ii) 地下水と岩石の相互反応メカニズムの推定 東濃地域の岩石試料を用いてバッチ式水一岩石反応試験を行い、堆積岩中の地下水の水質形成メカニズムについて所期の成果を得た。また、同試験結果の熱力学的解析を行い、地下水水質の変化予測についての見通しを得た。 iii) 核種の挙動と地質環境の安定性の解明 東濃ウラン鉱床を対象としたナチュラル・アナログ研究や岩石試料を用いた収着・拡散試験などを行い、地質環境の安定性や地質環境中での放射性核種の挙動について所期の成果を得た。 iv) 岩石の変形・破壊特性および透水特性の把握 花崗岩と砂岩の標準的な岩石試料について室内試験を行い、岩石の熱特性や変形特性および破壊後挙動について所期の成果を得た。また、地質環境が異なるいくつかの岩石の力学特性について所期の成果を得た。 v) 地質環境データベースの開発 地図データ管理システムのシステム環境の整備および日本の地質環境に関するデータの蓄積に関して、所期の成果を得た。			
【今後の予定 (平成8年度以降の計画)】			
新規研究課題：「地質環境の適性評価手法に関する研究」 イ. 様々な調査手法により、地下深部の地質環境に関するデータを収集する。 ロ. 地質環境データベースシステムの拡張・整備を行う。 ハ. 地質環境の適性を評価する際の適切な調査技術・解析手法を確立する。			
【使用主要施設】			
東濃地科学センター			
連絡先	〒107 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 動力炉・核燃料開発事業団	[所 属] 環境技術開発推進本部 地層科学グループ	[氏 名] 主幹 武田 精悦

【研究目的】

地層処分環境の評価に資するために、地質調査、地球化学・地下水調査、ボーリング、物理探査等に基づく地球科学的情報から地下深部の地質環境を解明する。さらに、地質環境の変化に関する実証的データを基に、地質環境の長期予測をするための手法を開発する。

【研究内容】

- i) 地下深部の地層の状況を把握するために、地層調査、地球化学的手法による岩盤性能調査、ボーリング、物理探査等を実施する技術を開発する。
- ii) 地下深部の環境を実験的に再現し、地層・地下水と廃棄物の相互作用のメカニズムを明らかにする。
- iii) 広域的な地球化学的手法による地質調査により、地域特性を精密に評価する技術を開発するとともに、指標となる核種の挙動と地質環境の安定性を実証的に解明する。
- iv) 地層の変形及び地下の熱・物質移動のメカニズムをモデル化することによって、地質環境の変化を長期にわたって予測するための情報数値モデルを開発する。
- v) 地質環境の予測に用いる広範なデータベースを構築・整備する。

【研究成果】

東濃ウラン鉱床や種々の岩石試料などを利用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。

i) 地球物理学的調査技術の開発

地表から地下深部までの地質環境（とくに地質構造や岩盤の水理特性）に関する情報を非破壊で取得するために必要な以下の調査技術について開発・高度化を実施した。

- ・リモートセンシング利用技術
- ・レーダートモグラフィ調査技術
- ・弾性波トモグラフィ調査技術
- ・比抵抗トモグラフィ調査技術
- ・物理検層データ解析手法
- ・ハイドロフォンVSP調査技術

ii) 地下水と岩石の相互反応メカニズムの推定

- ① 花崗岩中の地下水の水質形成機構を把握するために、花崗岩と割れ目充填鉱物を用いたバッチ式水-岩石反応試験を実施した。その結果、花崗岩とイオン交換水、および花崗岩に炭酸塩鉱物やカオリン鉱物、雲母鉱物などを加えた混合物とイオン交換水とを反応させた場合の水質はカルシウム-炭酸水素イオン型になり、また、花崗岩にスメクタイトや沸石類などを加えた混合物とイオン交換水とを反応させた場合、水質はナトリウム-炭酸水素イオン型になることが明らかになった（表-1）。この結果から、実際の花崗岩中に認められる地下水（ナトリウム-炭酸水素イオン型）の水質形成にはスメクタイトと沸石類の水-岩石（鉱物）反応が寄与していることが実験的に確かめられた。
- ② 堆積岩中の地下水の水質形成機構を把握するために、堆積岩を用いたバッチ式水-岩石反応試験および陽イオン交換容量の測定を行った（図-1）。その結果、堆積岩中の地下水の水質形成では、粘土鉱物（スメクタイト）によるイオン交換反応が主要な反応として寄与していることが明らかとなった。また、その反応の結果、地下水はナトリウム-炭酸水素イオン型の水質になると考えられる。

iii) 核種の挙動と地質環境の安定性の解明

東濃ウラン鉱床に分布する堆積岩および堆積岩の主要構成鉱物を用いて、ウラン系列核種の放射非平衡調査や収着／拡散試験を実施した結果、鉱物ごとのウランの移行・濃集に果たす役割、長期間にわたるウランの微小スケールでの移行、およびウランの移行・濃集を規制する収着特性について明らかになり、また定量的データが取得・整理された。

iv) 岩石の変形・破壊特性および透水特性の把握

- ① 力学・水理特性の封圧依存性を把握するために、数種類の岩石・岩相を対象に、様々な封圧条件下での圧縮試験・透水試験を実施した。その結果、日本の花崗岩の標準試料である稻田花崗岩では、有効封圧の増加に伴い、透水係数が（1オーダー程度）低下することが分かった。また、堆積岩においては、有効封圧の増加に伴い、透水係数がわずかに増加することが明らかになった。
- ② 力学特性の温度依存性を把握するために、稻田花崗岩と白浜砂岩および数種類の地質条件が異なる岩石を対象に、室温から200°C程度までの種々の温度条件下で、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧裂引張試験を実施した。その結果、稻田花崗岩では、圧縮強度とヤング率は、温度上昇に伴い減少する傾向が認められた（図-2、3）。一方、白浜砂岩では、圧縮強度は温度上昇に伴い、徐々に低下する傾向が認められたが、ヤング率は温度に依存しないことが明らかになった。
- ③ 岩石の破壊後の挙動と透水性を把握するため、稻田花崗岩を用いた三軸圧縮過程における透水試験を実施した。その結果、破壊強度点以後、透水係数が1～3オーダー上昇したが、供試体に対する載荷方向が異なる場合、この透水係数の変化は異なることが明らかとなった。

v) 地質環境データベースの開発

地質環境データベースシステムに関して、日本全体を対象とした各種分布図などの地図データの管理、およびこれを用いた解析処理を支援するシステム（地図データ管理システム）の整備を優先的に進めた。地図データ管理システムの開発では、これまでの作業によりデータ管理機能、検索機能、表示機能、重合表示機能、属性表示機能、編集機能、統計・演算機能、出力機能を整備した。また、データとして、断層、火山、地殻変動、温泉、地下資源、地質、地形に関する全国分布図などの既存地図情報の入力を行った。

【公開資料】

別添に示す。

「地質環境予測に関する研究」：公開資料リスト

- (1) 長谷川健, 仙波 賀, 杉原弘造：弾性波を用いた岩盤特性調査法の研究－断層のある堆積岩盤への弾性波トモグラフィの適用とモデル解析－, 日本原子力学会中部支部第24回研究発表会講演要旨集, p. 6. (1992)
- (2) 佐藤和彦, 小坂邦夫, 小室光世：花崗岩類の地下水経路における鉱物－水反応の実験的評価－, 第2回環境地質学シンポジウム論文集, pp. 152-162. (1992)
- (3) Yoshida, H., Komuro, K., Yamamoto, M. and Ohtsuka, Y. : Influence of micro path-structure on nuclides migration in sedimentary rock. Abstracts, 29th International Geological Congress, 1-3-52, p. 226. (1992)
- (4) Yusa, Y., Ishimaru, T., Ota, K. and Umeda, K. : Geological and geochemical indicators of palaeohydrogeology in Tono uranium deposit, Japan. Paleohydrogeological Methods and their Applications, NEA Workshop, pp. 117-146. (1992)
- (5) 小出 鑿, 若松尚則, 柳澤孝一：リニアメントによる岩盤中の割れ目特性の推定(I)－リニアメントと対応する割れ目の特性－日本原子力学会1993年秋の大会講演予稿集, p. 664. (1993)
- (6) 小出 鑿, 柳澤孝一：リモートセンシングによる広域の水文特性の把握(I)－SPOT衛星データによる林相区分－, 日本原子力学会中部支部第25回研究発表会講演要旨集, p. 11. (1993)
- (7) Yoshida, H., Kodama, K. and Ota, K. : Role of microscopic flow-paths on nuclide migration in sedimentary rocks -A case study from the Tono uranium deposit, central Japan-. Radiochimica Acta, 66/67, pp. 505-511. (1994)
- (8) Yoshida, H., Seo, T., Nohara, T., Ota, K., Hama, K., Kodama, K. and Iwatsuki, T. : Data compilation of geoscientific studies of Tono uranium deposits, central Japan. PNC TN7410 94-015. (1994)
- (9) 小出 鑿, 柳澤孝一：リニアメント分布特性による広域地下水流动調査領域の検討, 第229回地質調査所研究発表会要旨集. (1994)
- (10) 木山 保, 喜多治之, 佐藤稔紀, 青木和弘, 石島洋二：岩石の力学特性に及ぼす温度の影響, 土木学会第50回年次大会. (1995)
- (11) 木山 保, 石島洋二, 佐藤稔紀, 青木和弘, 喜多治之：クラスII岩石の破壊後をふくむ透水係数変化, 資源・素材学会平成7年度春季大会講演予稿集. (1995)
- (12) 楠田 啓, 西山 孝, 喜多治之, 木山 保, 佐藤稔紀, 青木和弘：三軸圧縮試験によって形成されるクラックの可視化と評価, 資源・素材学会平成7年度春季大会講演予稿集. (1995)
- (13) Kiyama, T., Ishijima, Y., Yanagidani, T., Aoki, K., Sato, T. and Kita, H. : Permeability in anisotropic granite under hydrostatic compression and triaxial compression. 2nd. North American Rock Mechanics Symp. (1996)
- (14) Kiguchi, T., Itoh, H., Kuwahara, Y., Miyazaki, T., Nakao, S. and Ohminato, T. : Detection of permeable fractures in granitic rock by hydrophone VSP - case study for the granitic rock, Gifu Prefecture, Japan. Proc. 3rd SEGJ/SEG International Symp. (1995)
- (15) 吉田英一, 湯佐泰久：放射性核種の地層中での挙動－東濃ウラン鉱床における天然ウラン系列核種を例にして－, 95年同位元素研究発表会要旨集, pp. 206-209. (1995)
- (16) 岩月輝希, 瀬尾俊弘, 濱克 宏：東濃地域における地下水の地球化学的研究, 日本地球化学会1995年会講演要旨集, p. 94. (1995)

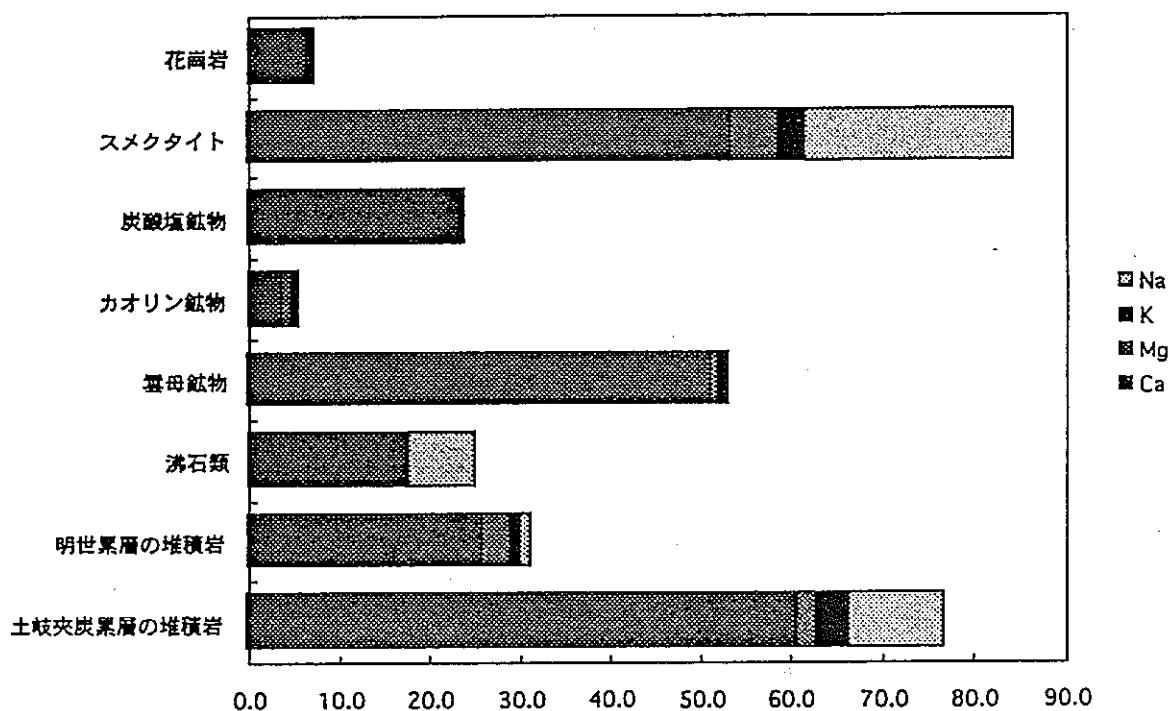


図-1 バッチ式水-岩石反応試験に用いた固相の陽イオン交換容量 (meq/100g)

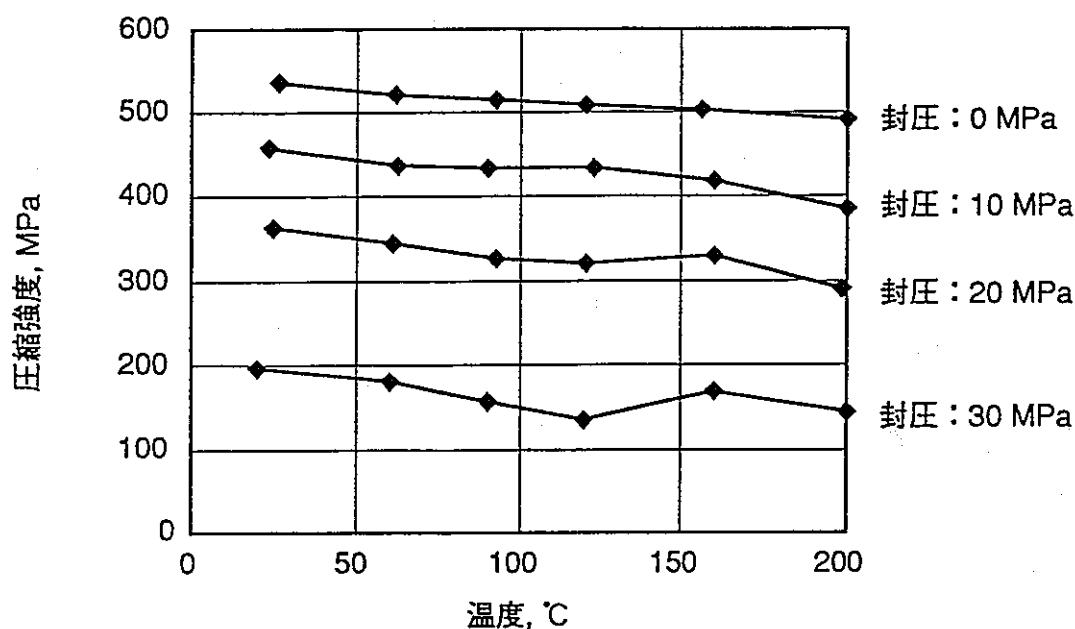


図-2 稲田花崗岩の破壊強度の温度依存性

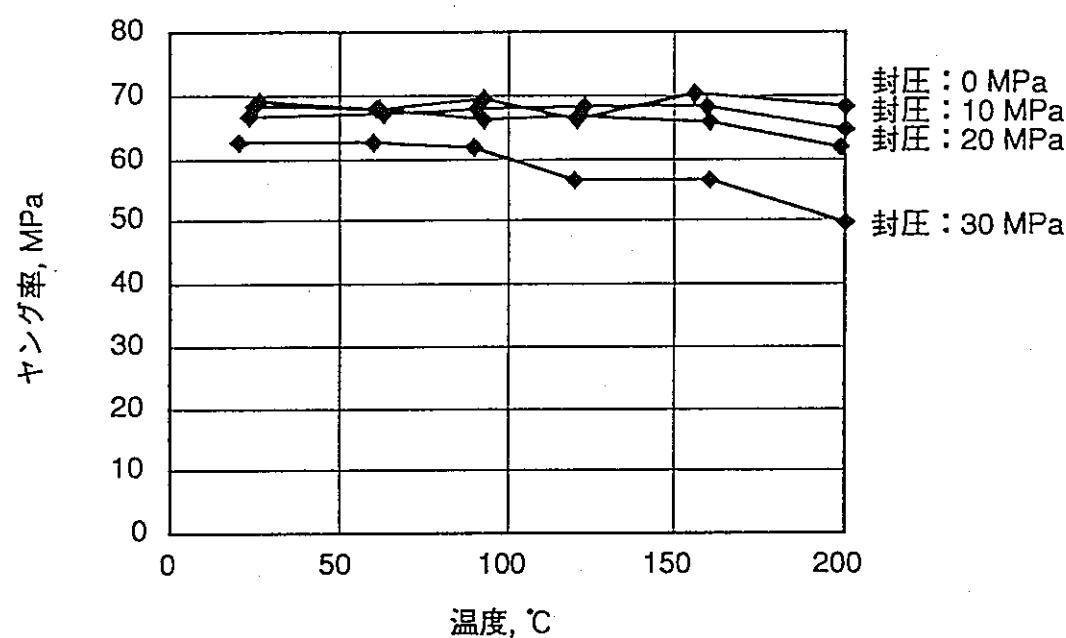


図-3 稲田花崗岩のヤング率の温度依存性

表-1 バッチ式水-岩石反応試験で確認された固相と液相の水質型の関係

固相	液相		形成された液相の水質型		
	イオン交換水	地下水	カルシウム-炭酸水素イオン型	ナトリウム-炭酸水素イオン型	ナトリウム-硫酸イオン型
花崗岩	○		○		
スメクタイト	○				○
炭酸塩鉱物	○		○		
カオリン鉱物	○		○		
雲母鉱物	○		○		
沸石類	○		○		
花崗岩+スメクタイト	○			○	○
花崗岩+炭酸塩鉱物	○		○		
花崗岩+カオリン鉱物	○		○		
花崗岩+雲母鉱物	○		○		
花崗岩+沸石類	○			○	○
花崗岩+スメクタイト+炭酸塩鉱	○			○	
花崗岩+スメクタイト+沸石	○			○	
花崗岩+炭酸塩鉱物 +沸石	○		○		
花崗岩+スメクタイト+炭酸塩鉱物+沸石	○			○	
明世界層の堆積岩	○		○		
明世界層の堆積岩		明世界層		○	
土岐夾炭層の堆積岩	○			○	
土岐夾炭層の堆積岩		明世界層		○	
土岐夾炭層の堆積岩		土岐夾炭層		○	

安 全 研 究 年 次 計 画 登 錄 研 究 課 題	地層処分システムの地震動特性に関する研究			
実 施 研 究 課 題 (Title)	地層処分システムの地震動特性に関する研究 (Study on Seismic Characterization of Geological Disposal System)			
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)			
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	湯佐泰久 (Yasuhisa YUSA)、石丸恒存 (Tsuneari ISHIMARU) 東濃地科学センター 地質環境研究室 (Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center) 青木和弘 (Kazuhiro AOKI)、杉田 裕 (Yutaka SUGITA)、天野健治 (Kenji AMANO) 釜石事務所 (Kamaishi Office)			
キーワード Key Word	地層処分 Geological Disposal	地震動特性 Seismic Characteristics		
継続状況 Continuation Status	<input checked="" type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input type="checkbox"/> 次期年次計画に継続			
研究期間 Research Period	平成3年度～平成12年度まで継続見込み	関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず	
関連する 解析コード Analysis Code	該当せず	関連する特別会計 実証試験	該当せず	
【成果の達成レベル】(平成3年度～平成7年度)				
i) 地震観測およびデータセットの作成 釜石鉱山において地表部から地下深部における地震波の観測、および地下深部の地震動特性を評価するための基礎資料となるデータセットの作成・整備を行い、地下深部の地震動特性について所期の成果を得た。				
ii) 地震動特性の一般化 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実施し、地下深部（深度約700～800m）における加速度振幅特性の一般的傾向について所期の成果を得た。				
iii) 地下水流動に対する地震動の影響の把握 釜石鉱山における地下水の水圧観測および水質調査の結果、地震に伴う地下水の水圧・水質の変化についての知見を得た。また、地震規模と水圧変化との関連性についての知見を得た。				
【今後の予定(平成8年度以降の計画)】				
新規研究課題：「地震動が地質環境特性に与える影響に関する研究」 イ. 地震観測の継続によるデータの蓄積、花崗岩以外の岩盤についての地震動特性の把握 ロ. 地震動の地下低減特性のモデル化およびモデル解析の実施 ハ. 地震が地下水流动に与える変化の定量的データの蓄積、その変化の特徴の評価				
【使用主要施設】				
釜石鉱山				
連絡先	〒107 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 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 武田 精悦

【研究目的】

地下深部における地震特性を評価することによって、地層処分システムの長期安定性及び人工バリアの性能評価に資する。

【研究内容】

- i) 地下深部における地震波を観測するとともに、既存の資料を整理考察することにより地下深部の地震特性を評価するための基礎資料を作成する。
- ii) 地下深部の地震特性を一般化し、地層処分システムの設計地震動の検討と耐震設計の手法を開発する。
- iii) 地下水流動に対する地震の影響を評価するための観測を行い、影響予測のためのメカニズムについて基礎的な研究を実施する。

【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成果が得られた。

i) 地震観測およびデータセットの作成

岩手県釜石鉱山において、地表および地下深部（坑道内）の7地点に地震計を設置し、地表部から地下深部における地震波の観測を行い、地下深部における加速度振幅データを取得・整理した。また、地下深部における地震動特性を評価するための基礎資料となる、地震データセット（日時、場所／震央距離、規模、観測された加速度振幅など）の作成・整備を実施した。これまで（平成2年2月～平成7年12月）に合計249回の地震データを蓄積した。

ii) 地震動特性の一般化

地下深部から地表部にかけての地震動特性を一般化するために、釜石鉱山において取得された上記の地震データを用いた解析を実施した。解析においては直下型および中／遠距離大規模地震の地震データを用いた。その結果、地下深部（深度約700～800m）における加速度振幅（南北、東西、鉛直成分）は地表部に比べ約半分から3分の1程度であり、地下深部ほど地震動は小さくなるとの一般的傾向が確認された。このような実測データは、日本国内のみならず世界的にみても貴重なものであり、地下空洞の耐震設計や処分技術の開発などを進める上で有効である。

iii) 地下水流動に対する地震動の影響の把握

釜石鉱山において、地下水の水圧観測、湧水量測定、物理化学パラメータ（pH、電気伝導度）測定および水質調査を行い、地震との応答関係について調査を実施した。地震に伴う水圧変化の例はこれまでに約20例が確認された。また、地下水流動に対する地震の影響について以下の知見が得られた。

- ・ 加速度振幅の大きさは必ずしも水圧変化の支配要因にはなっていない。
- ・ 震央距離とマグニチュードから求められた岩盤ひずみの理論値と水圧変化には相関関係がある可能性が高い（図-2）。
- ・ 地震に伴う水圧変化は、数日以内に初期水圧レベルまで回復する。
- ・ 地震前後において地下水水質（とくに硫酸、炭酸水素イオン濃度）の変化の傾向が確認されたが、物理化学パラメータには変化がみられない。

これらの結果は地下深部の地質環境、とくに地下水は地震に対して緩衝性と回復性を有する可能性があることを示しており、地質環境の長期安定性という観点から見ても注目すべき現象であると考えられる。

【公開資料】

- (1) 安池慎治、大隅多加志、松村修治、駒田広也：地球潮汐が横坑内湧水量、電気伝導度の変動に与える影響について、日本水文科学会1991年度学術大会。(1991)
- (2) 駒田広也：地下深部地震観測結果とその考察、日本材料学会。(1991)
- (3) 駒田広也、佐々木俊二、新見 健、堀田 光：岩盤地下構造物の耐震性評価のための地下深部地震動特性、第13回西日本岩盤工学シンポジウム。(1992)
- (4) 安池慎治、大隅多加志：水質データの多変量解析による地下水の混合状況の推定法、原子力発電。(1993)
- (5) 動力炉・核燃料開発事業団：地層処分研究開発の現状、日本における地質環境の長期安定性、PNC TN1410 94-094。(1994)
- (6) Shimizu, I., Osawa, H., Seo, T., Yasuike, S. and Sasaki, S. : Earthquake-related ground motion and groundwater pressure change at the Kamaishi Mine. Eng. Geol. (in press)

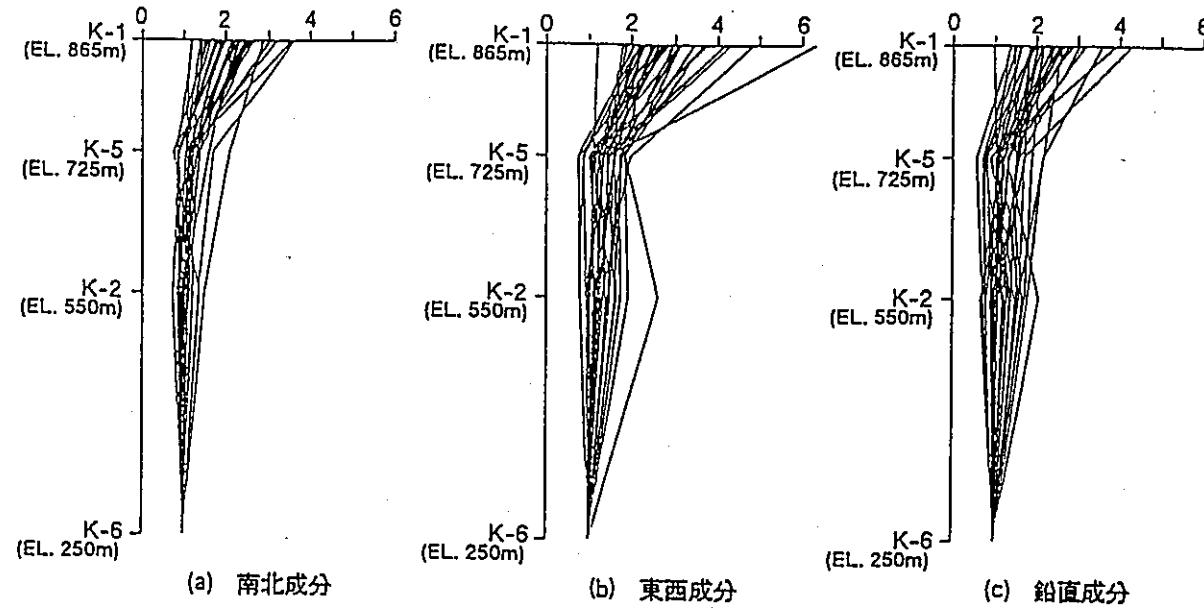


図-1 K-6点を基準とした加速度振幅の増加率
(1991年1月～1994年12月に観測された地震)

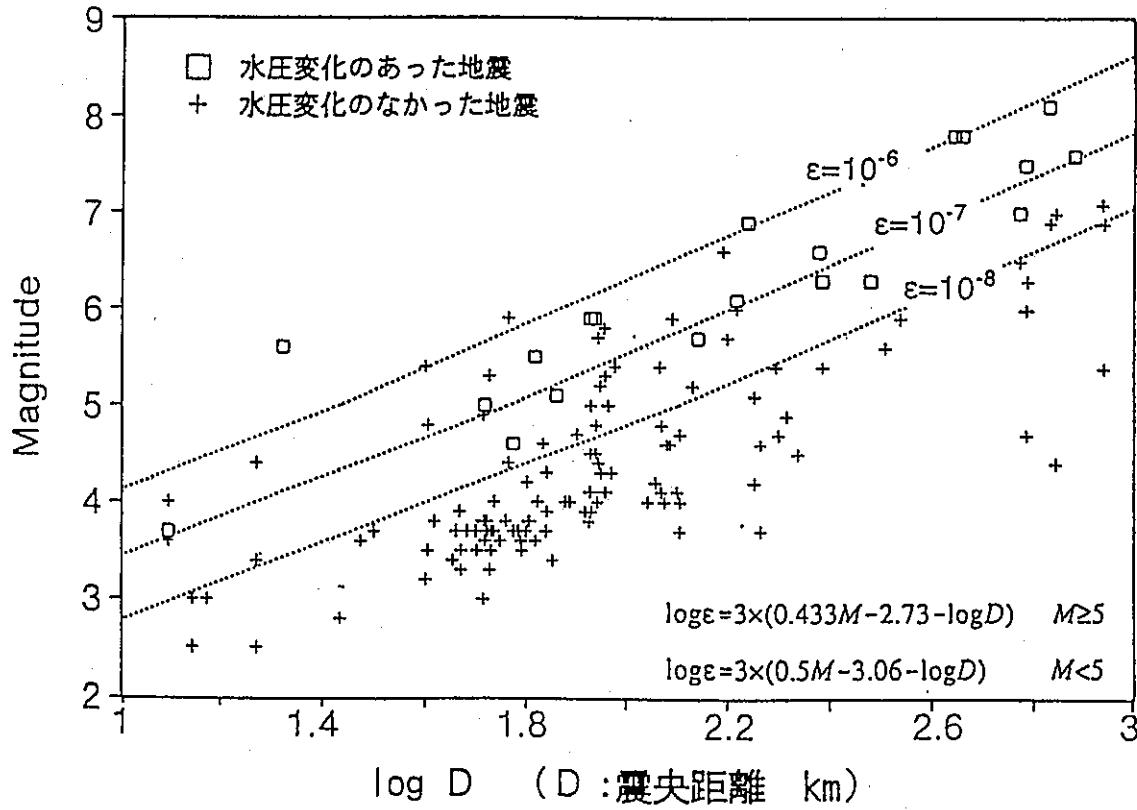


図-2 水圧変化と地殻ひずみの関係

安 全 研 究 年 次 計 画 登 録 研 究 課	人工バリアとその周辺岩盤との相互作用に関する研究				
実 施 研 究 課 題 (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 (Study on Interaction of Artificial Barrier and the Surrounding Rock Mass)				
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	杉原弘造 (Kozo SUGIHARA)、吉岡尚也 (Hisaya YOSHIOKA)、菊地 正 (Tadashi KIKUCHI)、 松井裕哉 (Hiroya MATSUI)、佐藤稔紀 (Toshinori SATO)、石島文代 (Fumiyo ISHIJIMA)、 東濃地科学センター 地質環境研究室 (Geological Environment Research Section, Tono Geoscience Center) 藤田朝雄 (Tomoo FUJITA)、茂呂吉司 (Yoshiji MORO)、杉田裕 (Yutaka SUGITA)、 千々松正和 (Masakazu CHIJIMATSU) 東海事業所 環境技術開発部 (Waste Management Technology Division, Tokai Works)				
キ ー ワ ー ド	坑道掘削	ゆるみ領域	掘削工法	人工バリア	ベントナイト
Key Word	Excavation	Disturbed Zone	Excavation Method	Engineered Barrier	Bentonite
継 続 状 況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続				
研 究 期 間	平成3年度～平成12年度まで継続見込み		関 連 す る 国 際 共 同 研 究 課 題 及 び 実 施 機 門	該当せず	
関 連 す る 解 析 コ ー ド	THAMES		関 連 す る 特 別 会 計 実 証 試 験	該当せず	
【成果の達成レベル】 (平成3年度～平成7年度)					
i) 原位置試験による研究 結晶質岩と堆積岩を対象とした原位置における掘削影響試験を実施し、坑道掘削による岩盤の力学的特性の変化や水理地質の特性の変化に関するデータを取得することができ、ゆるみ領域のメカニズムや坑道周辺岩盤のモデル化について所期の成果を得た。 ii) 工学規模試験による研究 緩衝材と人工岩盤を用いた工学規模試験を行い、緩衝材中の熱-水-応力連成挙動、および連成挙動を予測するための解析コードの開発について所期の成果を得た。 iii) 上記の試験結果から必要な情報の収集・整理を行い、処分環境の変化を時系列的に模擬する計算コードを開発できる見通しを得た。					
【今後の予定 (平成8年度以降の計画)】					
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 イ. 原位置試験による研究 ・結晶質岩と堆積岩での掘削影響試験による掘削影響領域の特性と広がり等についての情報収集 ・掘削影響領域に対する掘削工法の違いによる影響の評価 ・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手法の開発 ・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試験およびモデル化の基礎的検討 ロ. 工学規模試験による研究 ・岩盤および緩衝材の熱-水-応力連成挙動に関するデータ取得 ・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 ハ. 上記の試験結果の統合、および人工バリアと周辺岩盤の総合的なモデル化手法の開発					
【使用主要施設】					
①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 ②工学規模試験による研究：東海事業所緩衝材大型試験設備、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) 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 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 武田精悦		

【研究目的】

処分施設周辺岩盤は、処分場の建設に起因する岩盤のゆるみ領域を生成し、それに伴い水理地質条件が変化し、また人工バリア材等の混入により地下水の化学特性が変化すると予測されている。さらに廃棄物の定置による熱の影響等、人工的な要因による複雑な環境になると想定される。これらの周辺岩盤環境の変化を時系列的に把握し、人工バリアの長期性能とその周辺岩盤との相互作用を評価するための研究に資する。

【研究内容】

i) 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、掘削時の岩盤の力学的特性の変化（ゆるみ領域の評価）、水理地質の特性の変化を把握し、そのメカニズムを究明するとともにモデル化を行う。

ii) 工学規模試験による研究

人工バリアシステムを工学的規模試験体として作成し、処分環境を模擬した熱・水・力学の連成系による試験を実施し、その挙動を把握するとともに、挙動予測コードの開発を行う。

iii) 上記の試験を統合し、処分環境の変化を時系列的に模擬する計算コードを開発する。

【研究成果】

i) 原位置試験による研究

東濃鉱山および釜石鉱山を利用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。

① 結晶質岩における試験

釜石鉱山250mレベル既存坑道の周辺岩盤を対象とし、ゆるみ領域の範囲とその岩盤物性の把握、および既存の調査手法の有効性を確認するため、岩石コア試料を用いた室内試験（物理試験、力学試験、弾性波伝播速度測定）、地球物理学的調査（P-S検層、弾性波屈折法、レーダー反射法、レーダートモグラフィ）、ゆるみ領域透水試験、孔内載荷試験、応力測定を実施した。その結果、坑道壁面から1mの範囲内では、1m以深に比べて弾性波伝播速度が最大で50%程度低下した領域が認められた（図-1）。これは、坑道壁面から約1mの範囲に開口した割れ目やヘーグラックが集中的に発生したためと考えられる。

② 堆積岩における試験

平成元年度より行っている東濃鉱山での立坑掘削影響試験において、掘削の前後に立坑周辺岩盤の変形挙動調査および力学的・水理学的变化の調査を実施し、立坑掘削に伴う岩盤物性の変化やその範囲を評価した。岩盤の変形性や透水性は立坑壁面から約1mの範囲内で変化しており（図-2、3）、また、立坑掘削中のひずみ変化の連続測定の結果、半径方向のひずみは引張側に、接線方向のひずみは圧縮側に変化すること、さらに、このような変化が数値解析で表現できることが明らかになった（図-4）。

ii) 工学規模試験による研究

① 工学規模試験

緩衝材大型試験設備B I G-B E Nにおいて、処分環境を模擬した環境下での試験を実施し、ヒータの加熱に伴うオーバーパック・緩衝材・人工岩盤の温度変化と緩衝材中の水分変化に関するデータ、および加熱に伴う温度と緩衝材中の水分・応力変化に関するデータを取得した。その結果、加熱に伴い緩衝材中の水分が高温部から低温部へ移動すること、および浸潤に伴い緩衝材が膨潤応力を発生することが確認された。

一方、熱-水-応力連成試験設備C O U P L Eにおいて、堆積岩体中にペントナイトおよびヒータを埋設し、ペントナイト中の水の浸潤挙動および応力変化に関するデータを取得した。その結果、ペントナイト中にはその周辺部から水が徐々に浸入し、約8.5cmの厚さを有するペントナイトの場合、約100日後にはペントナイトはほぼ飽和することが明らかになった。

② 挙動予測コードの開発

岩盤中の熱・水分の移動や応力状態等の各挙動を連立させて一度に解を得ることが可能な熱-水-応力連成解析コードT H A M E Sを開発し、緩衝材大型試験設備B I G-B E Nで実施した加熱・注水試験における、ヒータ・オーバーパック・緩衝材・人工岩盤の温度、および応力分布や緩衝材中の水分分布結果との比較を行った。加熱・注水後5ヶ月後の緩衝材中の水分分布に関する解析結果は試験結果と良く一致することが確認され（図-5）、T H A M E Sコードの熱-水-応力連成解析における有効性が示された。

iii) 上記の試験・研究結果を基に、処分環境の変化を時系列的に模擬する計算コードの開発のために必要な基礎的情報の収集・整理を行った。

【公開資料】

別添に示す。

「人工バリアとその周辺岩盤との相互作用に関する研究」：公開資料リスト

- (1) 福田和寛, 野口義文, 穂刈利之 : 花崗岩盤における巨視的透水係数の評価, 土木学会第24回岩盤力学に関するシンポジウム論文集 pp. 26-30. (1992)
- (2) 吉岡尚也, 杉原弘造, 木梨秀雄, 畑浩二, 井上朗 : 立坑掘削に伴う応力再配分の計測とその数値解析, 土木学会第24回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, pp. 356-360. (1992)
- (3) 杉原弘造 : 立坑掘削影響試験, 日本原子力学会第7回廃棄物セミナー資料集, pp. 87-127. (1991)
- (4) Sato, S., Kobayashi, A., Hara, K. and Sasaki, N. : Full scale test on coupled thermo-hydro-mechanical process in engineered barrier system. ASEM I.W.M.C. (1991)
- (5) 藤田朝雄, 佐藤信二, 原啓二, 小林晃 : 大型緩衝材の熱-水-応力連成試験(1)-加熱試験-, 日本原子力学会1991年秋の大会予稿集, p. 565. (1991)
- (6) Sugihara, K., Yoshioka, H., Matsui, H. and Sato, T. : Preliminary results of study on excavation responses in sedimentary rock in Japan. 29th. I.G.C. Abstracts, Vol. 3, p. 861. (1992)
- (7) 動燃事業団中部事業所 : 立坑掘削影響試験ワークショッパー発表論文集-, PNC TN7410 92-052. (1992)
- (8) Fujita, T., Moro, Y., Hara, K., Kobayashi, A. and Ohnishi, Y. : Full-scale test on thermo-hydro-mechanical process in engineered barrier system. DECOVALEX Workshop. (1993)
- (9) 藤田朝雄, 茂呂吉司, 土井基尾, 原啓二, 小林晃 : 大型緩衝材の熱-水-応力連成試験(2)-加熱・注水試験-, 日本原子力学会1993年春の大会予稿集, p. 418. (1993)
- (10) Takeda, S. : Current status and future program of in-situ experiments of Kamaishi. Int. Symp. on In-situ Experiments at Kamaishi. (1993)
- (11) 佐藤稔紀, 杉原弘造, 水田義明 : 水圧破碎法とA E法による深度別初期応力測定-東濃鉱山の軟岩における測定を例にして-, 資源・素材学会1994年春季大会要旨集, pp. 331-332. (1994)
- (12) Kamemura, K. and Sugihara, K. : In-situ tests and numerical analysis of excavation disturbed zone around a drift in Neogene sedimentary rock. Int. Symp. on Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering, pp. 301-307. (1993)
- (13) Fujita, T., Moro, Y., Hara, K. and Amemiya, K. : Full-scale test on coupled thermo-hydro-mechanical process in engineered barrier system. Joint CSCE-ASCE National Conference on Engineering. (1993)
- (14) 竹内真司, 原啓二, 鈴木英明, 中野政詩 : 圧縮ペントナイトの水分拡散係数と水分特性について, 平成5年度農業土木学会大会講演要旨集, pp. 22-23. (1993)
- (15) 竹内真司, 原啓二 : 高レベル放射性廃棄物の地層処分における緩衝材中の水分の気-液二相移動, 動燃技報第89号, PNC TN8410 93-302. (1994)
- (16) 杉原弘造, 山本卓也, 大久保誠介 : 室内試験による岩盤の拘束圧と透水性, 齧和度と弾性波速度の関係評価, 日本原子力学会1994年秋の大会要旨集(第2分冊), p. 112. (1994)
- (17) 杉原弘造, 大石清隆, 堀利博, 石島文代 : 機械による掘削影響試験の事前調査・解析-平成5年度実施分-, PNC TN7410 94-049. (1994)
- (18) 茂呂吉司, 藤田朝雄, 菅野毅, 小林晃 : 緩衝材大型試験設備(BIG-BEN)における熱-水-応力連成試験, 日本原子力学会, 放射性廃棄物研究第1巻1号. (1994)
- (19) 茂呂吉司, 杉田裕, 菅野毅 : 熱-水-応力連成試験設備を用いた掘削前後の載荷試験について, 土木学会第26回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, pp. 81-85. (1994)
- (20) Sato, T., Sugihara, K. and Matsui, H. : Geoscientific studies at the Tono mine and the Kamaishi mine in Japan. Proc. ISRM Int. Cong. Rock Mechanics Vol. 1, pp. 47-51. (1995)
- (21) 杉原弘造, 菊地正, 安達哲也, 佐藤稔紀, 石島文代 : 機械による掘削影響試験の事前調査・解析-平成6年度実施分-, PNC TN 7410 95-049. (1995)
- (22) 松井裕哉, 佐藤稔紀, 杉原弘造 : 弾性波を利用した既存坑道周りの掘削影響評価, 土木学会第27回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 336-340. (1995)
- (23) 松井裕哉 : クラックテンソル理論を用いた掘削損傷のモデル化に関する研究, 日本原子力学会1995年秋の大会予稿集, p. 623. (1995)
- (24) 藤田朝雄, 千々松正和, 菅野毅, 小林晃, 茂呂吉司, 中野政詩 : 緩衝材の膨潤応力のモデル化に関する検討, 土木学会第50回年次学術講演会, pp. 28-29. (1995)
- (25) 千々松正和, 藤田朝雄, 菅野毅, 小林晃, 茂呂吉司 : 膨潤応力を考慮した熱-水-応力連成解析, 土木学会第50回年次学術講演会 pp. 26-27. (1995)
- (26) 藤田朝雄, 千々松正和 : 熱-水-応力連成モデルの開発・確証に関する国際共同研究「DECOVALEX」の経緯と今後の取り組みについて, 動燃技報第96号, PNC TN1340 95-004. (1995)
- (27) 千々松正和, 藤田朝雄, 菅野毅, 小林晃, 中野政詩 : 高レベル放射性廃棄物の地層処分における緩衝材中の水分移動について, 不飽和地盤の透水性にかかる諸問題シンポジウム, pp. 127-132. (1996)
- (28) Fujita, T., Sugita, Y., Chijimatsu, M. and Ishikawa, H. : Coupled thermo-hydro-mechanical experiment at Kamaishi mine. Technical Note 04-95-04. Fracture Characteristics, PNC TN8410 96-061. (1996)

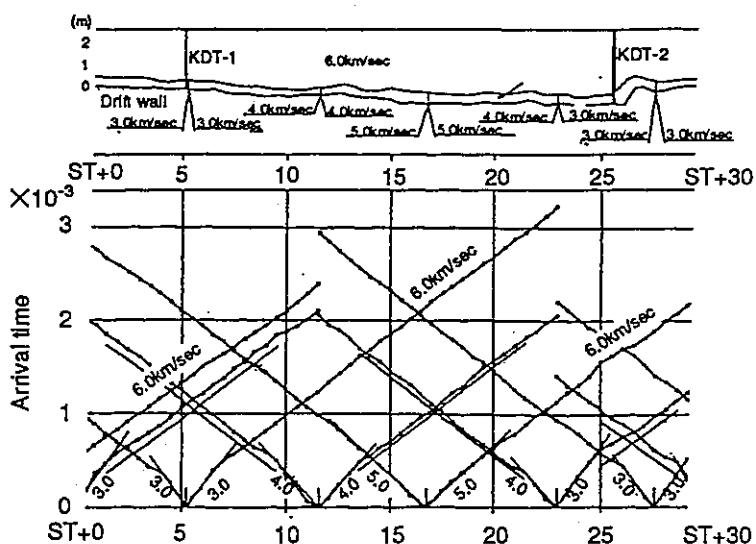


図 - 1 弾性波屈折法調査結果
(250mレベル坑道東側側壁)

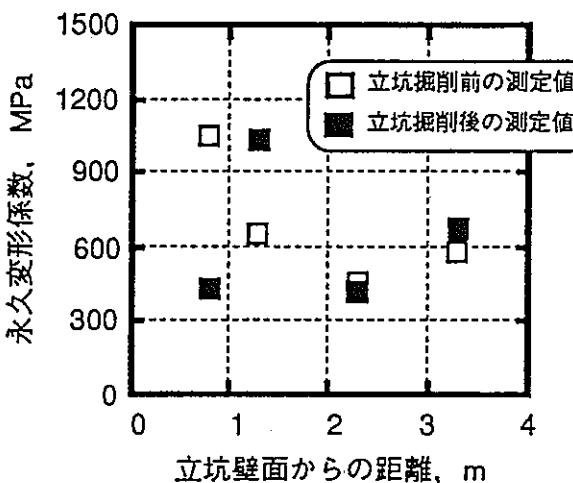


図 - 2 孔内載荷試験結果 (GL - 62.2m)

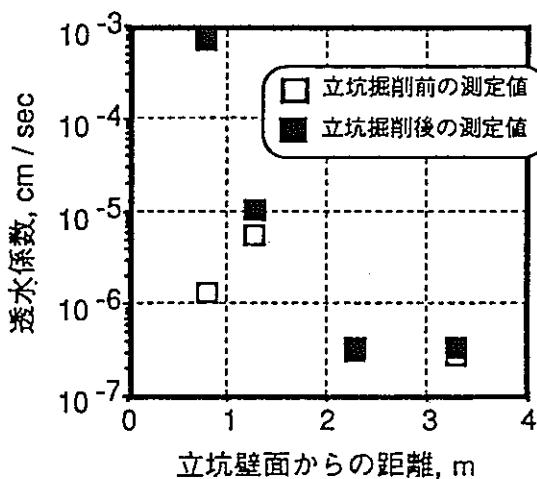


図 - 3 透水試験結果 (GL - 63.5~65.5m)

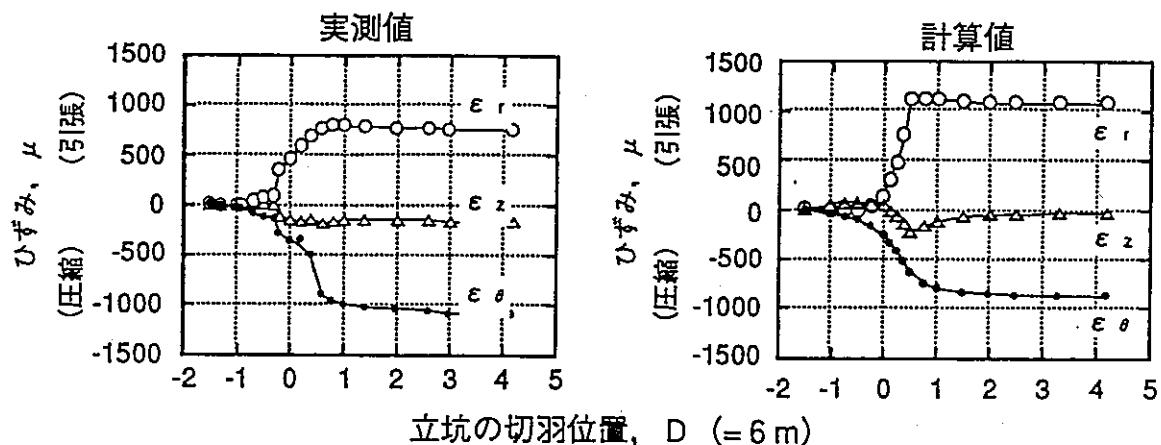


図-4 立坑掘削にともなうひずみ変化（断層下盤側）

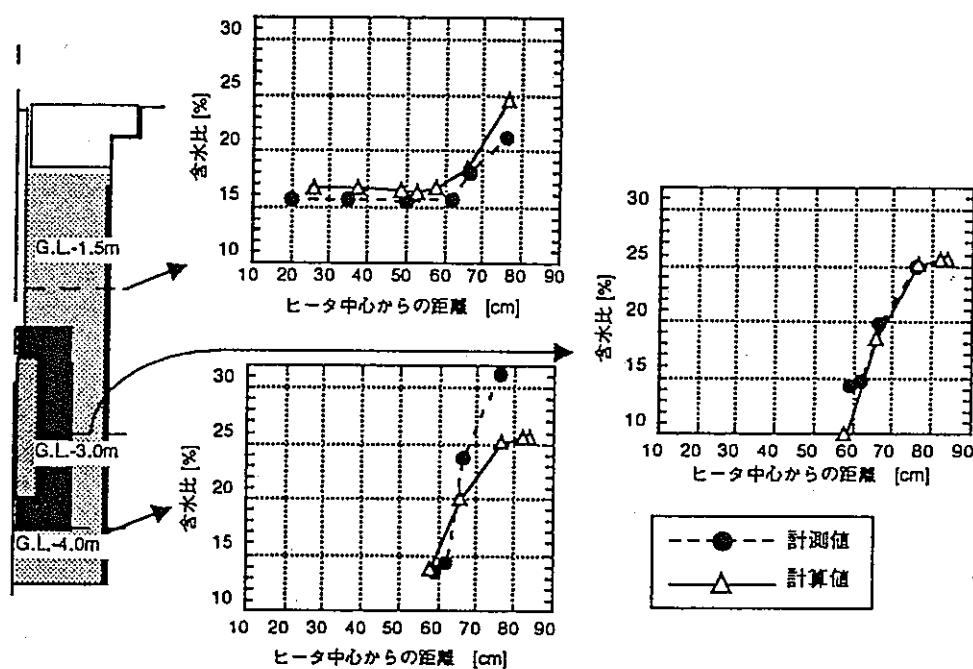


図-5 加熱・注水試験の結果と解析結果の比較（加熱・注水後5ヶ月）

安全研究 年次計画登録 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				
実施研究課題 (Title)	地層処分システムの総合安全評価手法に関する研究 (Study on Safety assessment Methods for the Geological Disposal System)				
実施機関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	大井貴夫(Takao OHI), 牧野仁史(Hitoshi MAKINO), 吉田隆史(Takashi YOSHIDA) 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) 本社 環境技術開発推進本部 (Radioactive Waste Management Project, Head Office)				
キーワード Key Word	モデル開発 Model Development	感度解析 Sensitivity analysis	品質管理 Quality management	データベース Database	管理システム Management system
継続状況	<input checked="" type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input type="checkbox"/> 次期年次計画に継続				
研究期間	平成 3 年度 ~ 平成 12 年度まで 継続見込み	関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず		
関連する 解析コード	該当せず	関連する特別会計 実証試験	該当せず		
【成果の達成レベル】 (平成 3 年度～平成 7 年度)					
i) 放射性核種が媒体中を移行する際に生じると考えられる現象を詳細に考慮した評価コードを開発した。このことによって、現実的な評価が可能になった。また、不確実性を有する生物圈での核種の移行並びに被ばく評価を網羅的に扱える被ばくコードを整備し、評価モデルの開発・整備について所期の成果を得た。さらに、これらのコードを用いた感度解析から、緩衝材中の核種移行挙動に対する関連パラメータの影響特性を示した。 ii) 統合化システムの開発ならびに既存の人工バリア中での核種移行に係わるコードのシステムへの搭載により、人工バリア中の核種移行に係わる一連の解析を、データ、モデル、解析結果の履歴が管理された状態で行えるようにし、統合化システムの開発について所期の成果を得た。 iii) 人工バリア及び天然バリアの評価に必要なモデル・パラメータを収集・評価した。さらに、データベースの整備を進めるとともに、データベースシステムの調査・検討及び試用を実施し、データベースの構築について所期の成果を得た。					
【今後の予定 (平成 8 年度以降の計画)】					
研究課題名：「地層処分システムの総合安全評価手法に関する研究」 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) 国際共同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。					
【使用主要施設】					
東海事業所 地層処分基盤研究施設					
連絡先	〒 107 県 03-3586-3311 東京都港区赤坂 1-9-13 (三会堂ビル) 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 〔氏 名〕 主幹 原 啓二		

【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】

地層処分システム全体としての安全性を評価するため、総合安全評価モデル（計算コードシステム）を開発するとともに、各種の安全性評価試験・研究の成果を総合して最適なモデルパラメータ値を収集・評価し、安全評価に必要なデータベースとして整備する。このため以下の研究を行う。

- i) 廃棄体から人間環境に至る放射性核種の移行経路に介在する可能性のある種々の要素（人工バリア、天然バリア、一般環境・生態系等）について、統合化することを目的として個々の評価モデルを開発・整備する（評価モデルの開発・整備）。
- ii) 上記の個別評価モデルを安全評価で対象とすべき評価シナリオ毎に連結し、処分に起因する被ばく線量を総合的に評価する計算コードとその管理システムを開発する（統合化システムの開発）。
- iii) 主として人工バリア及び天然バリアの評価に必要なモデルパラメータの最適値及びその分布を、国際共同研究等を含めた種々の安全評価研究の成果に基づいて収集・評価し、データベースとし構築・整備する（データベースの構築）。

【研究成果】

i) 評価モデルの開発・整備

ニアフィールド総合性能評価コード「AREST-PNC」、ニアフィールドの核種移行評価コード、ニアフィールドとファーフィールドの連成解析コード、代表的な生物圈モデル及び被ばく評価コードを開発・整備した。

これらのモデル・コードの開発・整備により、ニアフィールドにおいて生じる核種移行と地球化学反応との複合現象、放射性核種特有の崩壊・生成に起因する沈殿・同位体効果の影響、処分場近傍で生じると考えられる人工バリアと周辺岩盤の相互作用および、複数の固化体の干渉作用などを考慮した詳細な評価ができるようになった。さらに、地図に比べて時間、空間的に変動しやすく、評価における不確実性が大きい生物圈の状態を、気候、人間活動、放射性核種の放出モード（放出形態、放出場所）の違いに基づいて分類し、これらの組み合わせから生物圈の状態を代表的に表現するモデル、ならびに基づき被ばく評価を行う評価コードを整備したことによって、放射性核種の移行経路に介在する可能性のある種々の要素に対する一連の評価モデルを整えた。

また、これら開発・整備されたコードを用いた感度解析の実施により、放射性核種の移行に関連する現象の核種移行に対する影響特性を把握した（図-1, 2 参照）。

ii) 統合化システムの開発

放射性核種の移行経路に介在する可能性のある種々の要素に対応した個別の評価コードをシナリオに則して結合（統合化）し、解析の簡約化、品質の向上の観点から、個々の計算に関連するデータやコードの受渡しを半自動化するとともに、データやコード及び計算結果の履歴を管理する機能を有するシステムを開発した。

これまでに既に検証がなされている核種インベントリ解析コード「ORIGIN2」、地球化学コード「PHREEQE」、人工バリア中の核種移行コード「MESHNOTE」、核種移行・地球化学連成解析コード「HYDROGEOCHEM」のシステムへの搭載を完了している。

このシステムの開発により、一連の解析を統合的に管理された環境下で行えるようになった。

iii) データベースの構築

ii) の統合化システムの機能であるコードの結合やデータ、コード及び計算の履歴の管理はデータベースを介して行われるものである。そのため、データベースに搭載する個々のモデル・パラメータの収集・評価を進めるとともに、2.の統合化システムと共用することを念頭に置き、データベースシステムの調査・検討及び試用を実施した。

この結果、一連の核種移行解析に必要となる熱力学データ、放射性核種の半減期、濃度限度値を検証、整備し、また、ii) の統合化システムに組み込むオブジェクト指向型のデータベースを構築・試用した。この研究は、統合化システムの構築に資するのみでなく一連の解析の品質保証に資するものである。

【公開資料】

- (1)動燃技報No.85(高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発特集)(PNC TN1340 93-001)
- (2)高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書(PNC TN1410 92-081)
- (3)地層処分研究の現状(平成5年度)(PNC TN1410 94-094)
- (4)大井貴夫、梅木博之、宮原要：崩壊連鎖に伴う人工バリア中核種移行への影響要因の検討、日本原子力学会放射性廃棄物部会誌「放射性廃棄物研究」vol. 1 No. 2 p243-252(1995), (PNC TN8430 95-001)
- (5)大井貴夫、梅木博之、宮原要：崩壊連鎖に伴う沈殿現象が人工バリア中の核種移行へ及ぼす影響の評価 (PNC TN8410 95-198)
- (6)T.Ohi, H.Umeki, K.Miyahara : Effects of Transport Model Alternatives Incorporating Precipitation on the Performance of Engineered Barriers, (PNC TN8410 95-370)
- (7)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、日本原子力学会1996年春の年会予稿集, p657, (1996), (PNC TN8410 95-346)
- (8)吉田隆史、牧野仁史、大井貴夫：周辺岩体中の核種移行特性及び複数の廃棄体の存在を考慮したニアフィールド中の核種移行挙動に関する検討、日本原子力学会1996年春の年会予稿集, p656, (1996)

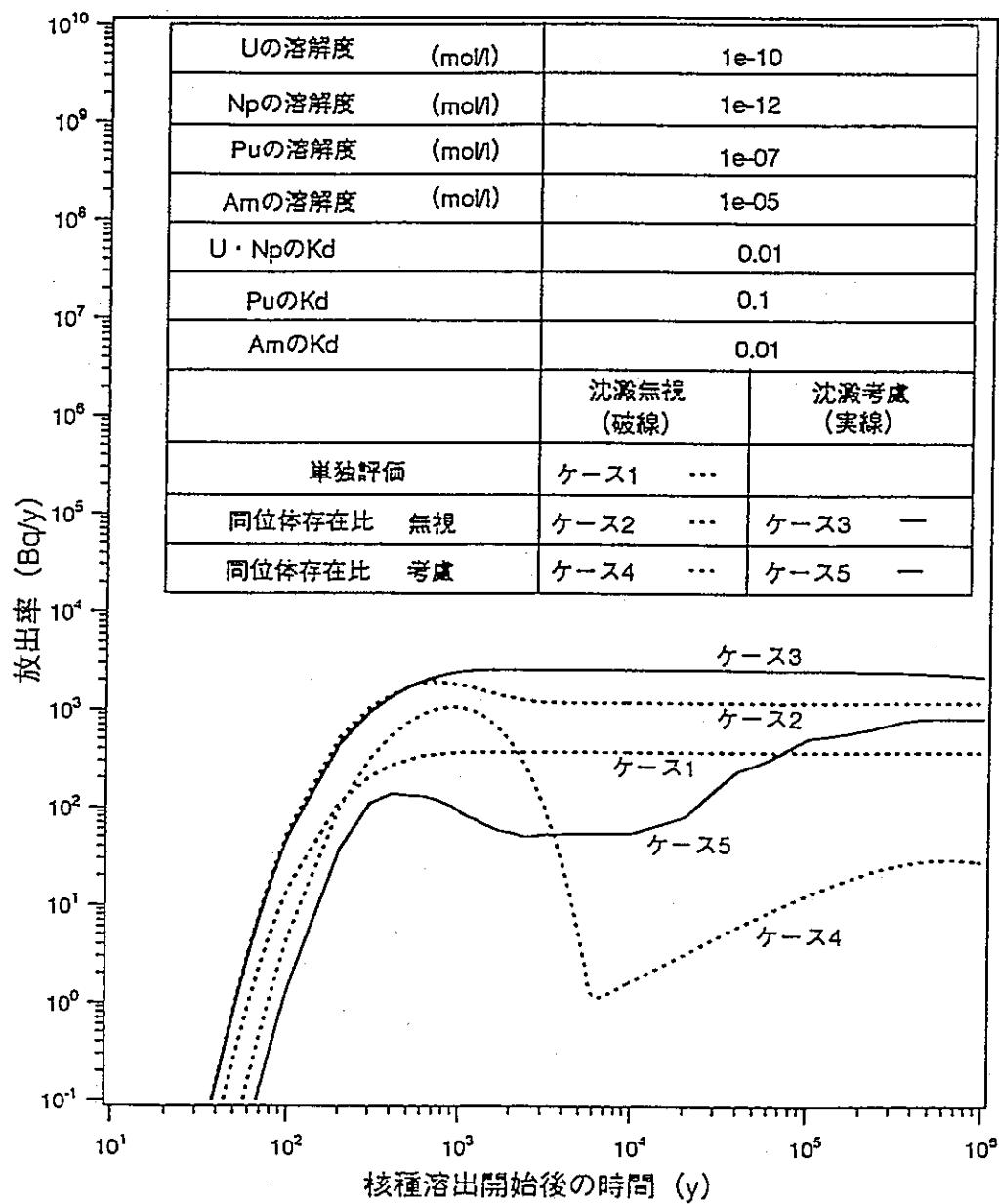
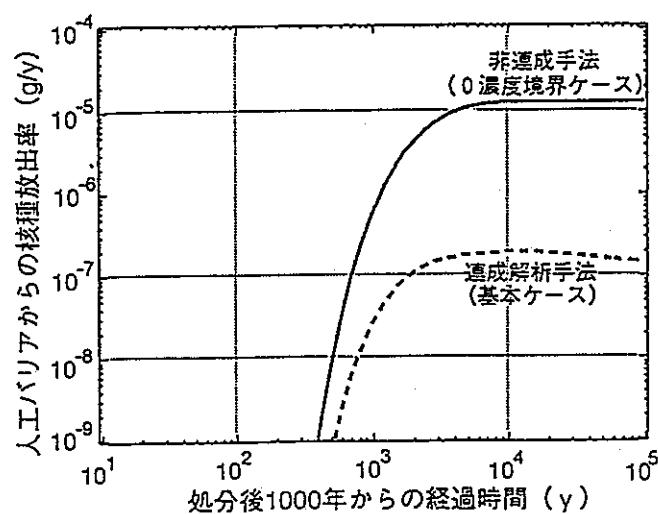
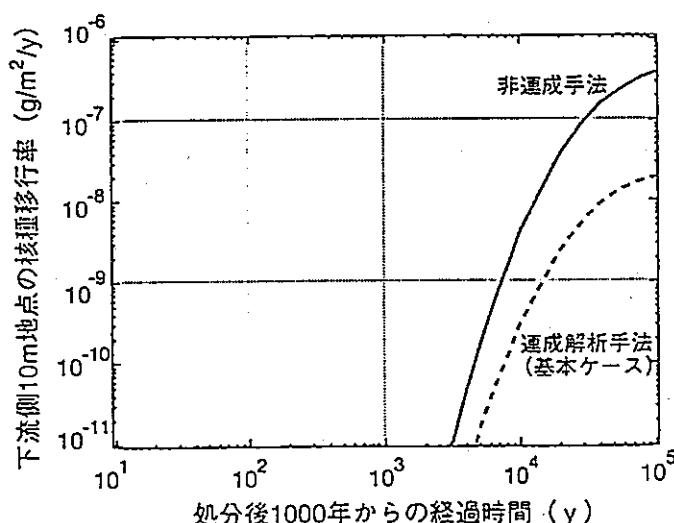


図-1 沈殿現象及び同位体存在比のU-233の放出率への影響



人工バリアからの核種放出率の時間変化（廃棄体数：1）
- 連成解析手法を採用した場合としない場合との比較 -



下流側10m地点の最大核種移行率の時間変化（廃棄体数：1）
- 連成解析手法を採用した場合としない場合との比較 -

図-2 人工バリアとニアフィールド岩体中の核種移行の相互作用の影響

安全研究 年次計画登録 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				
実施研究課題 (Title)	地層処分システムの確率論的評価手法に関する研究 (Study on Methodology of Probabilistic Assessment for Geological Disposal System)				
実施機関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : PNC)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	澤田 淳(Atsushi SAWADA), 牧野仁史(Hitoshi MAKINO), 大井貴夫(Takao OHI), 内田雅大(Masahiro UCHIDA), 石黒勝彦(Katsuhiro ISHIGURO) 東海事業所 環境技術開発部 (Waste Technology Development Division, Tokai Works) 梅木博之(Hiroyuki UMEKI), 内藤守正(Morimasa NAITO) 本社 環境技術開発推進本部 (Radioactive Waste Management Project, Head Office) 石丸恒存(Tsuneari ISHIMARU) 東濃地科学センター 地質安定性研究室 (Neo tectonics Research Section, Tono Geoscience Center)				
キーワード Key Word	亀裂ネットワーク Fracture Network	サンプリング手法 Sampling Method	確率論的評価 Probabilistic Assessment	不確かさ Uncertainty	モデル開発 Model Development
継続状況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続				
研究期間	平成3年度～平成12年度まで 継続見込み	関連する国際 共同研究課題 及び実施機関	該当せず		
関連する 解析コード	該当せず	関連する特別会計 実証試験	該当せず		
【成果の達成レベル】 (平成3年度～平成7年度)					
<p>i) 花崗岩等の亀裂性岩盤中に存在する複雑な亀裂構造に関するデータを統計的に処理し、確率論を用いて表現する亀裂ネットワークモデルを導入改良した。また、得られた亀裂構造から選択的移行経路を抽出し、その特性を既存の一次元の核種移行コードに受け渡すインターフェースを開発した。このことにより、放射性核種の移行経路と考えられる亀裂媒体が有する不確かさを確率論的にモデル化し、その結果を核種移行解析に役立たせることが可能な評価モデルが整備された。これらの整備、開発により、亀裂状媒体中の移行経路の不均質性を考慮した水理・物質移行評価・解析に関する見通しを得た。</p> <p>ii) 観測データから得られた亀裂データを統計的に処理しその母集団の確率分布関数を推定する手法、ならびにその確率分布関数からパラメータ値をサンプリングして亀裂ネットワークモデルを作成する手法を開発し、水理物質移行解析に係わる不確かさの影響を評価する見通しを得た。また、地層処分システムの安全評価の不確かさに関する事象に確率論を適用することの有用性を検討するため、既存の確率論モデルおよびそれらに用いられるパラメータの分布型の調査を行いその実例をまとめた。また、その検討を通じて、確率論的な扱いが難しいと考えられる事象に対しては、専門家の主観を重視する手法が有効であるとの見通しを得た。</p> <p>iii) 地層処分システムの安全評価に確率論を取り入れた評価手法を開発することを目的として、米国やカナダで開発された既存の確率論的評価コードの調査を行った。また、既存のデータ・コードを用いて、地層処分システムの性能に関する確率論的評価を行い、確率論的手法の適用性、データ取得の枠組みなどを明らかにし、確率論的評価手法の開発に関する見通しを得た。</p>					
【今後の予定（平成8年度以降の計画）】					
H8年度以降も継続し、「地層処分システムの確率論的評価手法に関する研究」として、以下の研究を行う。					
<p>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、確率論的評価に適した評価モデルを開発する。</p> <p>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・不確かさの解析のための手法を開発する。</p> <p>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（計算コードシステム）を開発する。</p>					
【使用主要施設】					
東海事業所 地層処分基盤研究施設					
連絡先	〒107 〒03-3586-3311 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 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 [氏 名] 主幹 原 啓二		

【研究目的】

地層処分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。

【研究内容】

地層処分システムの長期的な安全性の評価結果には、評価モデル、モデルパラメータ値による不確かさ及び評価シナリオに伴う不確かさが必然的に含まれる。これらの不確かさを定量的に評価するため、以下の研究を行う。

- i) 処分場から人間に至る放射性核種の移行経路について、確率論的評価に適した評価モデルを開発する（確率論的評価モデルの開発）。
- ii) 評価に用いるモデルパラメータ値の確率分布関数から、パラメータ値を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摘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（パラメータサンプリング手法及び感度解析・不確かさ解析手法の開発）。
- iii) 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、確率論的評価手法（計算コードシステム）を開発する（確率論的評価手法の開発）。

【研究成果】

i) 確率論的評価モデルの開発

花崗岩などの亀裂性媒体中の亀裂構造に関するデータを統計的に処理し、確率論を用いることによってモデル化するネットワークモデルを導入改良した。このモデルは、花崗岩等の亀裂媒体において放射性核種の主たる移行経路となる亀裂を、それぞれ統計的に処理された観測データを用いて多角形平行平板で代表させ、それらによって構成される亀裂のネットワークを確率論を用いてモデル化するもので、岩盤が本来もつ移行経路の不均質性を表現することができるモデルである。また、有限要素法による定常・非定常の岩盤浸透流解析と、粒子追跡法による物質移行解析をこのモデルに組み込むためのソルバーの開発、さらには、核種移行解析と合わせた亀裂媒体中の水理・物質移行解析の計算効率を向上させるため、複雑な亀裂のネットワーク構造の中から選択的移行経路を抽出し、その移行経路の特性を核種移行解析コードへ受け渡すインターフェースを開発した。

ii) パラメータサンプリング手法及び感度解析・不確かさ解析手法の開発

(1) 不確かさ解析手法の開発

岩盤内に分布する亀裂は、坑道やボーリング孔等の限られた調査範囲でのみ取得可能である。本研究では、これらの限られた調査範囲で取得される亀裂の長さ・方向、分布、開口幅、透水量係数等のデータを統計的に処理し、実測値との整合性を考慮することによって、i) で開発した亀裂ネットワークモデルの入力データを確率分布関数で表現する手法を開発した（図-1参照）。また、亀裂ネットワークを構築する際に必要となるサンプリング手法として、確率分布関数で表されにくいデータからサンプリングする手法（bootstrap 法）や、個々のデータの関連性を考慮してサンプリングを行う手法（mult-bootstrap 法）を開発した。

(2) 不確かさ解析手法の検討

地層処分システムの性能の不確かさ解析に確率論を適用する観点から、サンプリングの対象となるパラメータの確率分布関数の実例に関する調査を行った。また、発生した場合の影響が大きいと予想される事象によって生じる様々な事象の発生確率を定量化するための手法の検討を行った。また、不確かさ解析に対して適用可能な確率論以外の代替手法の検討を行った。

その結果、確率論的に扱われているモデルの事例並びにそのモデルで扱われているパラメータの確率分布関数の型の実例が明らかになった。これら的情報は、地層処分システムの性能評価における不確かさ解析に対して確率論を適用する場合の対象（モデル、パラメータ）の同定に反映される。また、事象の発生確率が定量化されにくい主な原因は、それら個々の事象に対する知識、情報が不明確であるためと考えられた。このことから、定量化においては、それらの事象に対する専門家の経験に基づく主観的な判断を重要視し、それを効率的に活用する評価手法（効用関数法、解析分析法[AHP法]、ファジィ理論）が有効であるとの見通しを得た。さらに、シナリオ、モデル、パラメータに含まれる不確実性に対処するために確率論を適用する場合の問題点として、リスク希釈と呼ばれる新たな曖昧いさが生じる可能性があることが判明し、これに対しても、確率論の代わりにファジィ理論を組み込むことが有用であるとの見通しを得た。

iii) 確率論的評価手法の開発

地層処分システムの安全評価に確率論を取り入れた評価手法を開発することを目的として、米国やカナダで開発された既存の確率論的評価コードの調査を行った。また、例題として火成活動を考え、既存のデータ及びコードを用いて火成活動に関連する事象の確率分布関数を推定し、地層処分に対する影響の確率論的評価に対する可能性について検討した。

コードを調査した結果、各コードとも入力値を確率分布関数で与え、それに対して任意の手法に基づくサンプリングを行うことによって入力パラメータを設定する構造であることがわかった。また、これら一連の調査・解析から、確率論的評価においては確率分布関数の定義が重要であることが判明した。

【公開資料】

- (1) 内田雅大・澤田淳、「亀裂ネットワーク水理物質移行モデルの開発」、動燃技報No. 90、PNC TN8410 94-091 (1994)

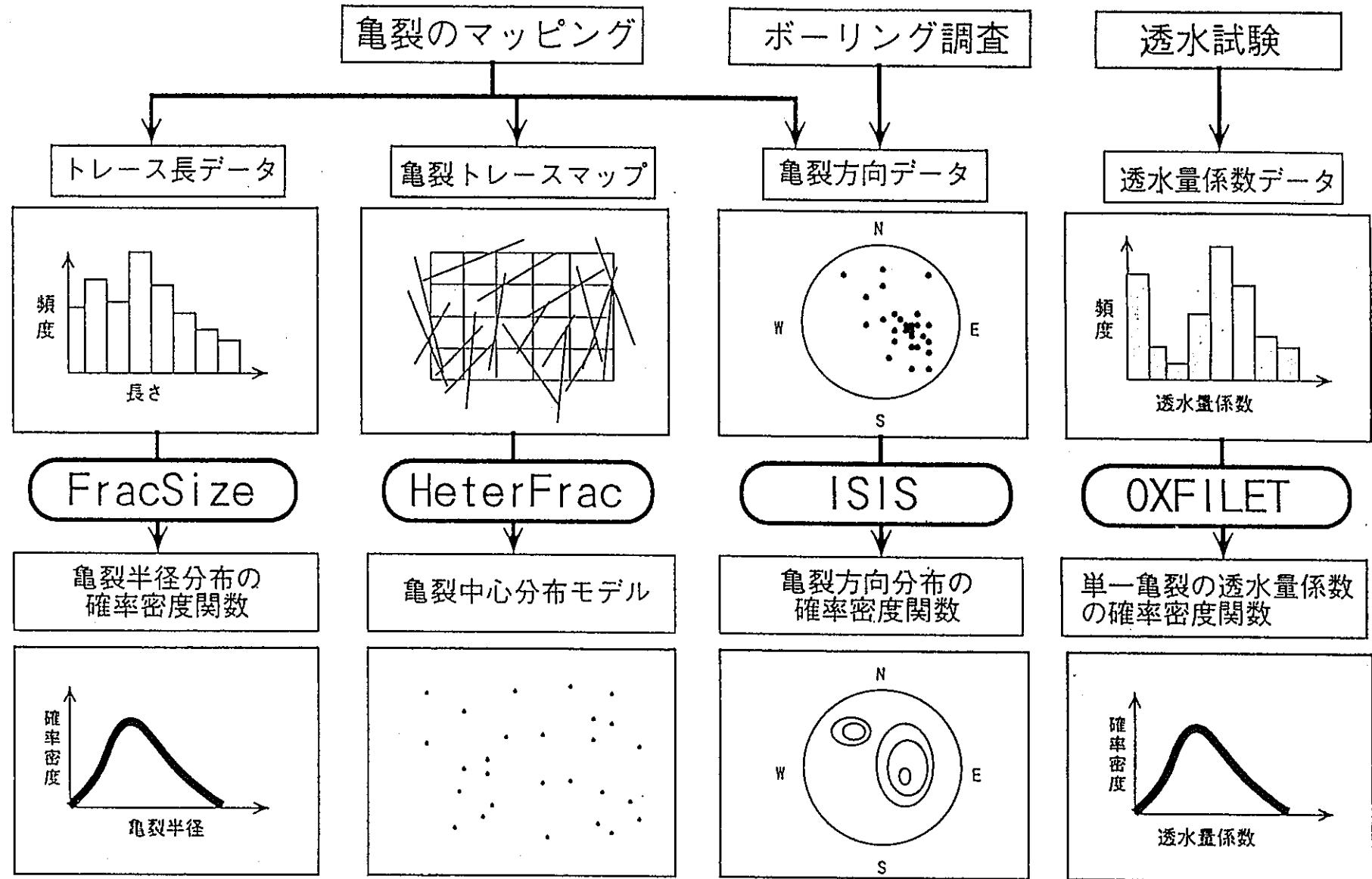


図-1 入力データ作成の流れ

安 全 研 究 年 次 計 画 登 錄 研 究 課 題	T R U 廃棄物処分の安全確保方策の研究				
実 施 研 究 課 題 (Title)	T R U 廃棄物処分の安全確保方策の研究 (Basic concept of safety assessment for TRU waste disposal)				
実 施 機 関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation : P N C)				
研究者名及び所属 (Name / Affiliation)	工藤 健治 (Kenji KUDO) 東海事業所 環境施設部 (Tokai Works Waste Plants Operation Division) 三原 守弘 (Morihiro MIHARA) 、伊藤 勝 (Masaru ITO) 東海事業所 環境技術開発部 (Tokai Works Waste Technology Development Division)				
キ ー ワ ー ド Key Word	T R U 廃棄物 TRU waste	安全確保 Safety assessment	処 分 Disposal	廃棄物の特徴 Waste property	処分概念 Disposal concept
継 続 状 況	<input type="checkbox"/> 本年次計画で終了 <input checked="" type="checkbox"/> 次期年次計画に継続				
研 究 期 間	平成3年度～平成12年度まで 継続見込み		関 連 す る 国 際 共 同 研 究 課 題 及 び 實 施 機 關	該当せず	
関 連 す る 解 析 コ ー ド	該当せず		関 連 す る 特 別 会 計 実 証 試 験	該当せず	
【成果の達成レベル】 (平成3年度～平成7年度)					
i) マイクロ波溶融固化体の物性測定試験等 (焼却灰・スラグの成分及び核種分析) を実施し、所期の成果が得られた。 ii) 人工バリア候補材料の長期的な化学的挙動や核種移行特性に係わるデータ取得及び廃棄物の種類に応じた処分システムの検討を実施し、所期の成果が得られた。 iii) T R U 廃棄物処分の性能評価に用いる地球化学反応と物質移行とを連成させたモデルを整備し、所期の成果が得られた。					
【今後の予定 (平成8年度以降の計画)】					
「T R U 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」として以下の研究内容を実施予定。 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の整備を行う。 ロ. 有機系、無機系 T R U 廃棄物について核種の溶解度への影響を調べ、データベースの整備を行う。 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。					
【使用主要施設】					
東海事業所 Pu廃棄物処理開発施設(PWTF)、Pu燃料第一開発室、地層処分基盤研究施設					
連絡先	〒107 〒03-3586-3311 東京都港区赤坂1-9-13 (三会堂ビル) 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 〔氏 名〕主幹 原 啓二		

【研究目的】

TRU廃棄物処分の方策、規制、安全評価手法等の基本的な考え方について、調査・研究し、TRU廃棄物処分に関する基本理念と具体的方策を明らかにする。

【研究内容】

我が国におけるTRU廃棄物処分の安全確保方策を確立するために、以下の項目の研究を実施する。

- i) TRU廃棄物の発生量や特性を予測するために、TRU廃棄物の種類、物理・化学的特性を調査・研究する。
- ii) TRU廃棄物の特性を考慮した処分の安全確保の基本的な考え方について他の廃棄物と対比して検討し、種類に応じた安全確保方策を研究する。
- iii) TRU廃棄物処分の安全性の評価手法の確立を目的として、評価に必要とされるシナリオ、評価基準、評価期間等の研究を実施する。

【研究成果】

i) TRU廃棄物の物性測定試験

動燃東海事業所のプルトニウム廃棄物処理施設の焼却灰をマイクロ波溶融した固化体について、焼却灰・スラグの成分、核種分析及び固化体浸出試験を実施した。

固化体の浸出試験では、温度を40°C、70°Cとして、浸漬液を蒸留水とし浸漬期間28日における重量減少率で規格化した浸出率を求めた。40°Cでは 10^{-6} g/cm²日であり、70°Cでは 10^{-5} g/cm² 日であった。

ii) 人工バリア候補材料に対する核種の移行特性試験

TRU廃棄物の特性を考慮して処分の安全確保方策を検討するため、処分システムの人工バリア候補材料であるベントナイトやセメント材料について核種の拡散・収着試験、変質試験、バリア材料の間隙水での核種の溶解度の評価を実施した。ベントナイトに対しては、拡散・収着試験を実施し、核種移行パラメータの形状因子及びPuの分配係数を取得した。形状因子は乾燥密度1.2～1.8g/cm³の範囲では、 10^{-2} オーダーであった(図-1)。分配係数はpH4～10の範囲で 10^3 mol/g以上であった。

ベントナイトは、I-129などの陰イオンとして存在する核種をほとんど収着しないことから、陰イオンの元素を収着する材料の調査・開発を行ったが、長期間安定に存在し地下深部環境で収着能力の高い人工バリア候補材料の開発を行うことができなかった。また、セメントペーストの配合を変化させ、長期的な化学挙動を調べるために変質試験を実施した。その結果、セメントペーストのCa/Siモル比を調整することによって、浸漬液のpHを10.5～12.5の範囲に設定することができた。Ca/Siモル比が小さいと、変質とともになう浸漬液のpH変動が小さいことが分かった(図-2)。圧縮ベントナイト中のPu含有固化体の浸出試験を行い、圧縮ベントナイトの間隙水でのPuの溶解度は 10^{-9} mol/lオーダーであると推定した。

iii) 人工バリアシステムに対する予備的な性能評価試算及び性能評価モデルの整備

TRU廃棄物処分のシナリオ、評価基準、評価期間を検討するために、人工バリアシステムに対する予備的な性能評価試算及び性能評価モデルの整備を行った。動燃東海事業所再処理工場から発生する低レベル濃縮廃液の固化体(アスファルト固化体)は、高レベル放射性廃棄物と比較して非発熱性であるが、発生量が多いという特徴を有する点を考慮して処分システムを仮設定した。固化体にはI-129及び有機物の含有を仮定して、人工バリア中の核種移行計算を実施した。人工バリア材からの核種の放出率を希釈水量で除し、かつ線量当量に換算した。その結果、I-129のように地下水に対して可溶性の核種は、インベントリに依存して線量当量を支配する核種になると、一方、難溶性核種のTRU核種はインベントリに依存せず、線量当量は溶解度によって支配されることが分かった。また、有機物の影響を受け溶解度が上昇することを考えた場合でもTRU核種は線量当量を支配する核種にならないことが分かった。

性能評価モデルの整備に関しては、より詳細に人工バリアシステムの性能評価を行うため、人工バリア材の化学的特性を時間・空間的に求める地球化学と物質移行とを連成させたTRACE (TRAnsport and Chemical Evolution modelling code)コードの整備を行った。

【公開資料】

- (1) 三原守弘、伊藤勝、加藤博康、上田真三、「ナトリウム型ベントナイトのカルシウム型化に伴う形状因子の変化」、日本原子力学会1995秋の大会
- (2) T. Shibutani, H. Yoshikawa, M. Yui, "Sorption Mechanism of Pu, Am and Se on Sodium Bentonite", MRS Symp. Proc. Vol. 333(1993)
- (3) 小原幸利、油井三和、「圧縮ベントナイト／ガラス複合系に与えるCs、Puの溶解挙動」、動燃事業団主催地層処分情報交換会、1996年2月。
- (4) 三原守弘、吉川英樹、油井三和、「TRU廃棄物の特性を考慮した人工バリア材中の核種移行解析」、日本原子力学会1994秋の大会

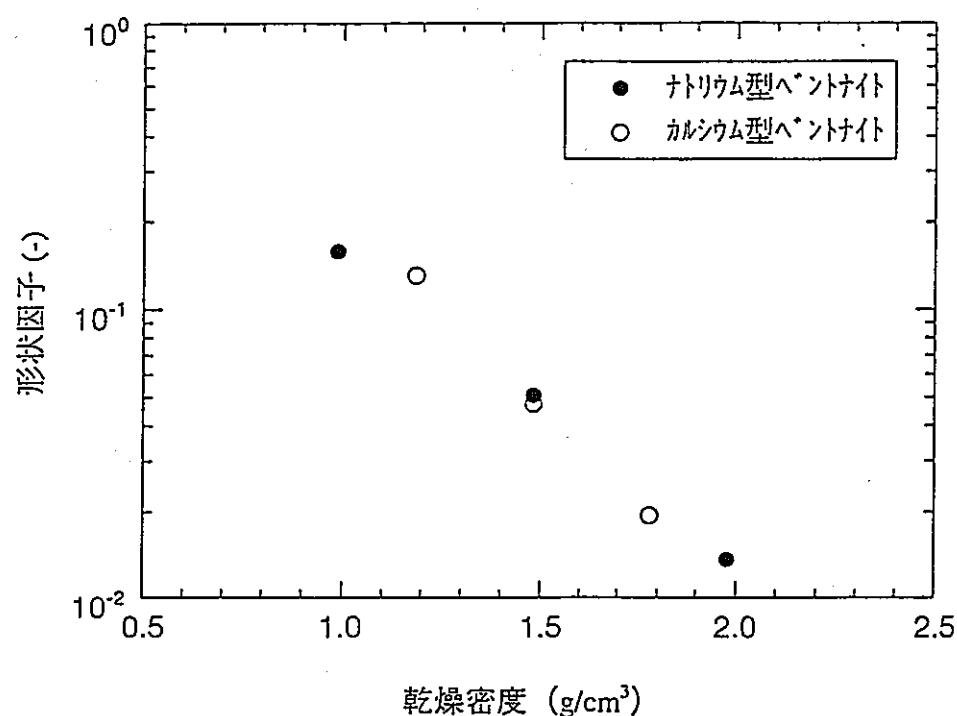


図-1 圧縮ベントナイトの形状因子

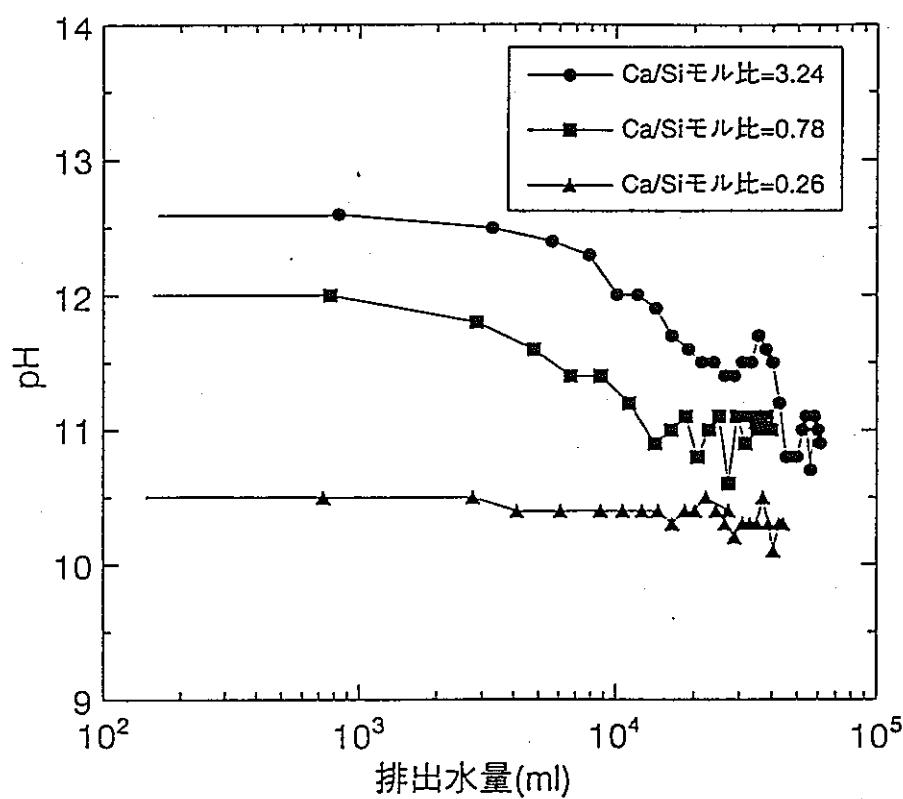


図-2 セメントベーストの変質試験結果