

高レベル放射性廃棄物地層処分の 性能評価に関する研究計画書

(当面5ヵ年の計画:H17年度版)

Study Plan for Performance Assessment of HLW Geological Disposal (5-year Plan)

宮原 要 吉川 英樹 大井 貴夫 柴田 雅博澤田 淳 笹本 広 飯島 和毅 前川 恵輔川村 淳* 加藤 智子 江橋 健

Kaname MIYAHARA, Hideki YOSHIKAWA, Takao OHI, Masahiro SHIBATA Atsushi SAWADA, Hiroshi SASAMOTO, Kazuki IIJIMA, Keisuke MAEKAWA Makoto KAWAMURA*, Tomoko KATO and Takeshi EBASHI

> 地層処分研究開発部門 システム性能研究グループ 核種移行研究グループ

Performance Assessment Research Group
Radionuclide Migration Research Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(http://www.jaea.go.jp/index.shtml) より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行っ ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課 電話029-282-6387, Fax 029-282-5920

* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5901

© Japan Atomic Energy Agency, 2006

高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価に関する研究計画書(当面5ヵ年の計画:H17年度版)

日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット

宮原 要⁺¹, 吉川 英樹⁺², 大井 貴夫⁺¹, 柴田 雅博⁺², 澤田 淳⁺¹, 笹本 広⁺², 飯島 和毅⁺², 前川 恵輔⁺¹, 川村 淳^{*}, 加藤 智子⁺¹, 江橋 健⁺¹

(2006年3月27日受理)

高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価に関する研究を対象として,これまでの研究成果を 踏まえ,今後5年を目途に実施すべき研究の項目とその内容等を研究計画書としてまとめた。

本計画書では,高レベル放射性廃棄物地層処分に関する国の基盤的研究開発を対象に体系的かつ中長期的にまとめられた研究開発計画である「高レベル放射性廃棄物地層処分に関する研究開発全体マップ」の性能評価分野の研究開発要素の枠組みを参考とし,「日本原子力研究開発機構の中期計画」を踏まえ,「日本原子力研究開発機構に期待する安全研究」を勘案して,これまでの研究によって示された課題等を対象とし,今後5年を目途に実施すべき研究の項目とその内容等を記述した。

個々の研究の計画では、研究の必要性や反映の意義に基づいた目的と"わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第2次取りまとめ(第2次取りまとめ)"までに実施された研究成果、"高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築 (H17 レポート)"までになされた研究成果とをまとめて、「目的とこれまでの成果」として記述するとともに、今後の当面5年程度の計画を「当面5年程度(平成22年度頃まで)の計画」として記述した。

核燃料サイクル工学研究所(駐在):〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

- +1 システム性能研究グループ
- +2 核種移行研究グループ
- * 技術開発協力員

Study Plan for Performance Assessment of HLW Geological Disposal (5-year Plan)

Kaname MIYAHARA⁺¹, Hideki YOSHIKAWA⁺², Takao OHI⁺¹, Masahiro SHIBATA⁺², Atsushi SAWADA⁺¹, Hiroshi SASAMOTO⁺², Kazuki IIJIMA⁺², Keisuke MAEKAWA⁺¹, Makoto KAWAMURA^{*}, Tomoko KATO⁺¹ and Takeshi EBASHI⁺¹

Geological Isolation Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate Japan Atomic Energy Agency Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 27, 2006)

This report is to outline a 5-year plan of research and development (R&D) for performance assessment of geological disposal of high-level radioactive waste in JAEA.

This 5-year plan is based on JAEA's mid-term plan which follows the R&D policy specified in "Framework for Nuclear Energy Policy" issued by Japan Atomic Energy Commission. Moreover, research plans for safety regulation issued by Nuclear Safety Commission of Japan should be taken into account. The contents of this 5-year plan follows a framework of R&D issues for performance assessment field established in "the R&D map", i.e. the mid and long term R&D plan for geological disposal of high-level radioactive waste, developed by JNC (predecessor of JAEA) and other relevant R&D organizations.

In each research plan, objectives based on the necessity and the significance of the research plan are clarified in the section of "Objectives and the past progresses", with summarizing the progresses of H12: Project to establish the scientific and technical basis for HLW disposal in Japan (H12 report), and H17: Development and management of the technical knowledge base for the geological disposal of HLW (H17 report). In addition, next five year plan is described in the section of "5-year plan (up to Fiscal year Heisei-22)".

Keywords: 5-year Plan, Performance Assessment, HLW Disposal, JAEA's Mid-Term Plan, The R&D Map, H12 Report, H17Report

⁺¹ Performance Assessment Research Group

⁺² Radionuclide Migration Research Group

^{*} Cooperative Staff

JAEA-Review 2006-015

目次

1 . はじめに
2 . 計画書の作成方針 3
3.個々の研究の計画5
3 . 1 シナリオ解析技術 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
3 . 2 不確実性評価技術8
3 . 3 総合的な性能評価技術10
3 . 4 人工バリア中の核種移行 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
3 . 4 . 1 地下水化学····································
3 . 4 . 3 ガラス固化体からの核種溶出 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
3 . 4 . 4 緩衝材中の核種移行14
3 . 5 天然バリア中の核種移行
3 . 5 . 1 岩盤中の核種移行
3 . 5 . 2 コロイド・有機物・微生物 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
3 . 6 生物圏での核種移行 / 被ばく 20
3 . 7 放射性元素の熱力学データベースの整備 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
3 . 8 収着・拡散データベースの整備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
4 . おわりに ····································
a : 0 つ フ に 謝辞 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
参考文献 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
付録 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
1320

JAEA-Review 2006-015

Contents

1 . Introduction
2 . Overview of study plan generation $\cdots \cdots 3$
3 . Study plans 5
3 . 1 Scenario development methodology ····· 5
3 . 2 Uncertainty analysis methodology ······ 8
3 . 3 Total performance assessment methodology $\cdots \cdots 10$
3 . 4 Phenomena related to nuclide migration through engineered barrier 12
3 . 4 . 1 Groundwater chemistry ······· 12
3 . 4 . 2 Pore water chemistry
3 . 4 . 3 Nuclides leaching from vitrified waste ······ 13
3 . 4 . 4 Nuclides migration through buffer ······ 14
3 . 5 Phenomena related to nuclide migration through natural barrier $\cdots\cdots 16$
3 . 5 . 1 Nuclides migration through rock
3 . 5 . 2 Colloid, organic material and microbe
3 . 6 Nuclides migration and human exposure in biosphere $\cdots \cdots 20$
3 . 7 Development of thermodynamic database $\cdots\cdots 23$
3 . 8 Development of sorption and diffusion database $\cdots \cdots 24$
4 . Conclusion
Acknowledgement ····· 27
References
Appendix29

1.はじめに

本報告書は,日本原子力研究開発機構(以下,機構)における高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究開発のうち,性能評価分野の当面5ヵ年(平成18年度から平成22年度頃まで)の研究開発計画をまとめたものである。

高レベル放射性廃棄物の地層処分については,平成12年6月に公布された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(以下,最終処分法)に基づき,処分事業の実施主体である原子力発電環境整備機構(以下,NUMO)により,平成40年代後半を目途として処分場の操業を開始するため,概要調査地区の選定,精密調査地区の選定(平成20年代前半)及び最終処分建設地の選定(平成30年代後半)という3つの段階を経て最終処分施設が建設される計画である。平成14年12月には,NUMOによって「最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募が開始されている。

高レベル放射性廃棄物地層処分の研究開発については,核燃料サイクル開発機構(以下,サイクル機構)が平成 11 年 11 月に公表した「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性・地層処分研究開発第 2 次取りまとめ・」 $^{1)}$ (以下,第 2 次取りまとめ)において,わが国における地層処分の技術的信頼性が示された。第 2 次取りまとめ以降,最終処分法に基づき平成 12 年 9 月に閣議決定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」 $^{2)}$ など $^{3),4)$ によって示された方針 1 に沿って,サイクル機構等の研究開発機関によって,着実に研究開発が進められた。

一方,関係研究機関の取り組み状況を整理し,体系的かつ中長期的な視点で研究開発計画を検討する必要性が認識された。このため,高レベル放射性廃棄物地層処分に関する国の基盤的研究開発を対象に,その実施機関であるサイクル機構等の関係機関による共同作業や大学等有識者との意見交換を通じて,体系的かつ中長期的な研究開発計画(重要課題,研究開発の方向性など)として,平成16年度に研究開発全体マップ(以下,「全体マップ」)の整備が対実施された。これを踏まえ,平成17年7月には,国の基盤的研究開発を実施する関係研究機関によって,「地層処分基盤研究開発調整会議」(以下,調整会議)が設置され,研究開発全体計画の策定や成果の体系化を推進するとともに,国の委員会等へ積極的に情報を発信して評価を受けることを通じ,国の基盤的研究開発の計画的かつ効率的な推進を図るための仕組みが構築された。また,サイクル機構は第2次取りまとめ以降の研究開発成果を取りまとめるとともに研究開発の方向性を併せて示すため,「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築」のを平成17年9月に公表した。

平成 17 年 10 月には,機構が発足するとともに,原子力委員会により原子力政策大綱⁷⁾が公表された。原子力政策大綱では,研究開発について,機構を中心とした研究開発機関に,「深地層の研究施設等を活用して,深地層の科学的研究,地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発。安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである」ことを求めるとともに,研究開発成果については,「海外の知見も取り入れつつ,地層処分に係る最新の知識基盤として整備・維持され,NUMOの最終処分事業や国の安全規制において有効に活用されることが重要」であることを示した。

機構発足に伴い公表した中期計画(平成17年度下期から平成21年度まで)(以下,「機構の中期計画」)⁸⁾では,「機構は,我が国における地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を担い,

1

¹ 国及び関係機関は,最終処分の安全規制,安全評価のために必要な研究開発,深地層の科学的研究などの基盤的研究開発,地層処分技術の信頼性向上に関する研究開発を積極的に進めていくとの方針。

JAEA-Review 2006-015

処分実施主体である原子力発電環境整備機構による処分事業と,国による安全規制の両面を支える技術を知識基盤として整備していく。」とし,地層処分に関する研究開発として地層処分研究開発と深地層の科学的研究の二つの領域を設け,他の研究開発機関と連携して研究開発を進め,その成果を地層処分の安全確保の考え方や評価に係る様々な論拠を支える知識ベースとして体系化することとしている。また,地層処分研究開発では,以下の計画に基づく成果を知識ベースの整備に反映することとしている。

- 工学技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化のため,人工バリア等の長期挙動や核種の移行等に関わるモデルの高度化を図り,データを拡充するとともに,評価に必要となるデータの標準的取得方法を確立する。
- 地質環境データ等を考慮した現実的な処分システム概念の構築手法や全体システムモデルを整備するとともに,掘削深度を考慮して,設計,安全評価手法の深部地質環境での適用性確認を 行う。

現在,調整会議では,原子力政策大綱との整合性を図り,また研究開発全体の体系化や関係研究機関間の連携を推進するため,「全体マップ」の見直し作業を行っているところである。

本報告書では、「機構の中期計画」を踏まえ、「全体マップ」における性能評価の分野について、調整会議で進めている「全体マップ」の見直し作業と整合をとりつつ、当面5ヵ年の性能評価分野の計画書を作成することとする。

なお,平成17年6月には,原子力安全委員会により「日本原子力研究開発機構に期待する安全研究計画」⁹⁾(以下,「安全研究計画」)が示されており,事業と規制に共通の知識基盤を整備するという観点から,本計画書では「安全研究計画」との整合性にも留意することとする。

また,本計画書はあくまで現時点のものであり,処分事業,規制策定に関わる進展や深地層の研究施設計画の状況,さらには調整会議での計画の見直しなどに応じて柔軟に改訂することとする。

2.計画書の作成方針

1章で述べた「全体マップ」では、地質環境評価技術、処分技術、性能評価の3つの研究開発分野に制度的管理技術/社会対応技術を加えた構成で研究開発要素を整理している(表1)。本計画書では、「全体マップ」の性能評価分野の研究開発要素の枠組みを参考とし、「機構の中期計画」を踏まえ、「安全研究計画」を勘案して、これまでの研究によって示された課題等を対象とし、今後5年を目途に実施すべき研究の項目とその内容等を記述する。

表1 全体マップにおける研究開発要素の整理の枠組み

研究開発要素ID				
分野	分類	細目		
(A)地質環境評価技術	(1)地質環境の長期安定性	地震·断層活動 火山·火成活動 隆起·浸食 気候·海水準変動		
	(2)地質環境特性 (3)深地層の工学的技術の基	総合的な調査・評価 地質・地質構造 地下水流動特性 地球化学特性 岩盤の応力・熱特性 物質移動特性 地質環動特性 地質環動		
	(3) 休地間の工于1930例の名	S被U用光 。\ △休 (帝田姓铃兰)		
(B)処分技術	(1)工学技術	人工バリア(オーバー パック / 緩衝材) a) 全体(適用性検討) b) オーバーパック c) 緩衝材 支保・グラウド・シーリング 建設・操業・閉鎖等の工学技術		
	(2)長期健全性	ガラス固化体 緩衝材 セメント・コンクリート 岩盤 熱-水-応力-化学連成評価技術 ガス移行挙動		
(C)性能評価	(1)評価手法	シナリオ解析技術 変動・接近シナリオ 不確実性評価技術 総合的な安全評価技術		
	(2)モデル化技術	ガラス固化体からの核種溶出 人工バリア中の核種移行 a) 水理·物質移行 岩盤中の核種移行 b) 収着·拡散現象 c) コロイド·有機物·微生物 生物圏での移行 / 被ばく		
	(3)データベース開発	放射性元素の熱力学データベースの整備 収着·拡散データベースの整備		
(D)制度的管理技術/ネ	注会对応技術			

「全体マップ」を参考とした本計画書の対象研究項目は以下のとおりである。

・評価手法

シナリオ解析技術

不確実性評価技術

総合的な安全評価技術

・モデル開発

人工バリア中の核種移行(地下水化学,間隙水化学,ガラス固化体からの核種溶出,緩衝材中の核種移行)

天然バリア中の核種移行 { 岩盤中の核種移行 (岩盤中の水理・物質移行特性把握, 収着・拡散 現象), コロイド・有機物・微生物 }

・データベース開発

放射性元素の熱力学データベースの整備 収着・拡散データベースの整備

「全体マップ」の見直し作業においては、第2次取りまとめまでの成果及び第2次取りまとめ 以降5年程度の成果の整理を踏まえ、今後の当面5年程度の計画をまとめている。

本計画書では,研究の必要性や意義に基づいた目的と第2次取りまとめまでの成果や第2次取りまとめ以降5年程度の成果とをまとめて「目的とこれまでの成果」として記述することとする。また,今後の当面5年程度の計画を「当面5年程度(平成22年度頃まで)の計画」として記述することとする。

このような多岐にわたる研究の実施においては,資源エネルギー庁委託事業(以下,「エネ庁事業」)との連携を図りつつ効率的に進める必要がある。計画においては,関連する連携研究についても記述する。

3.個々の研究の計画

3.1 シナリオ解析技術

(1) 目的とこれまでの成果

安全評価におけるシナリオは、サイト選定や処分場の設計に基づく地層処分システムの将来挙動を記述するものであり、その構築手法などの解析技術を整備することは、安全評価の枠組みを設定するために重要である。

本研究では,与えられた条件(地質環境条件,設計条件,処分システムなど)に対する柔軟な適用性,また調査研究の進展に伴い利用可能になる地質環境条件の情報や現象理解等の変遷への対応性を向上させるためシナリオ解析技術の拡張・改良を行うとともに,透明性,追跡性,合理性及びわかりやすさに加え,感度解析に基づいて設定する安全評価パラメータの相対的な重要度などの定量的な論拠等により不確実性を有するシナリオの重要度を提示することを可能とするシナリオ解析手法の高度化の検討を行う。また,実際の地質環境や処分システム等を参照し,天然現象等による擾乱の処分環境・システム性能への影響を熱・水理・力学・化学(以下,THMC)を介して解析する手法の適用と THMC の影響の程度と互いの関係の定量化を目指すとともに,THMCと安全性に影響を及ぼすパラメータとの関係を詳細に把握することを目的とする。

シナリオ解析技術の高度化の概念を図1に示す。また,天然現象の影響評価手法の高度化の概念を図2に示す。

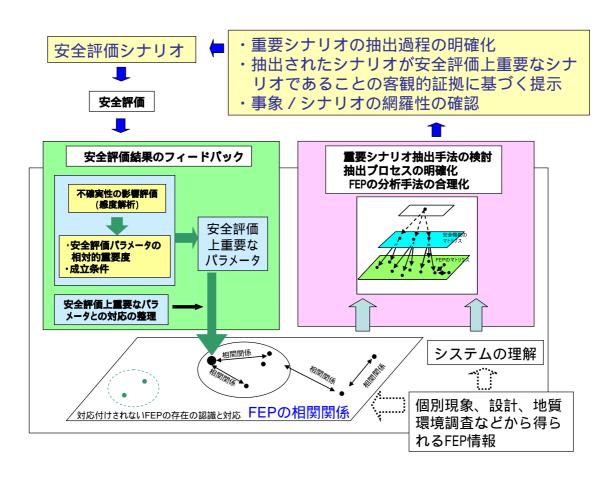


図1 シナリオ解析技術の高度化の概念

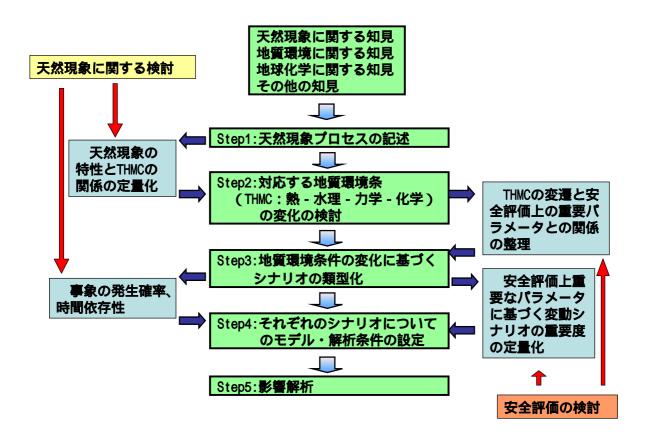


図2 天然現象の影響評価手法の高度化の概念

第2次取りまとめにおいては、幅広い地質環境を対象として、FEP 情報とインフルエンスダイアグラムを基本としたシナリオ構築技術を整備するとともに、安全評価に用いる基本シナリオを例示した。また、変動・接近シナリオとして、天然現象(地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・侵食及び気候・海水準変動)、初期欠陥(不完全な密封によるオーバーパックの早期破損、シーリングミスによる卓越的移行経路の発生)、将来の人間活動(井戸の掘削と採水)について、簡略かつ仮想的なシナリオの設定と評価結果を例示した。さらに、隕石の衝突頻度や臨界などの希頻度事象については、既往の評価事例に基づき、それらの発生可能性は非常に低く、処分システムに影響を及ぼす可能性は極めて小さいと判断した。

また,第2次取りまとめ以降,基本シナリオのシナリオ構築技術について,FEP 情報の処理プロセスの効率化等の向上のための処理・整理手法を構築した。さらに,天然現象を起点とする変動・接近シナリオの構築および評価について,過度な保守性を排し,より現実的な評価を行うために,天然現象の発生や影響に関する知見を「THMC 情報シート」の形式で整理することなどにより効果的に取り込む手法を構築した。

FEP 情報の処理手法の構築

煩雑で時間のかかる FEP の相関関係の処理について,その効率化を図るとともに,透明性,追跡性,合理性及びわかりやすさを向上させるための基本的手法として,FEP の相関関係のマトリクス形式での整理と階層化を導入した FEP 情報の処理手法を構築した。また,この手法の実施を支援するための計算機ツールのプロトタイプを構築した。

天然現象を発端とした変動・接近シナリオの構築・評価手法の構築

天然現象に係わる場の特徴(発生様式・影響様式・地域性など)に関する知見を,シナリオの 構築および影響評価に効果的に取り込むための基本的手法として,包括的な作業手順を整理す るとともに、個別作業について、天然事象を発端とした地質環境条件の変化に関する知見を熱,水理,力学,化学の分類で収集・整理する手法(THMC情報シート),および地質環境条件の変化が処分環境・システム性能に与える影響の伝播をマトリクス形式で整理する手法を構築した。

(2) 当面 5年程度(平成22年度頃まで)の計画

シナリオ構築・評価技術について,与えられた条件に対する柔軟な適用性,また調査研究の進展に伴い利用可能になる地質環境条件や設計条件などの情報や現象理解等の変遷への対応性を向上させるための技術の拡張・改良と体系化を検討する。

基本シナリオを対象とした FEP 情報に基づくシナリオの構築・評価技術の整備・体系化 平成 17 年度までは, FEP 情報の処理に関する基本的な手法を構築したが, FEP 情報に基づくシナリオの構築やスクリーニングに係わる技術を整備し体系化するまでは至っていない。そのため, 平成 18 年度以降基本シナリオを対象に以下の検討を行う。

- ・平成 17 年度までに構築した FEP 処理技術を ,与えられた条件に対して柔軟に適用できるように , また調査研究の進展に伴い利用可能になる地質環境条件や設計条件などの情報や現象理解等の変遷に適切に対応できるように拡張・改良する。そのうえで , FEP 情報から安全評価用のシナリオの構築までを一貫した体系として行うことのできるレベルまで向上させる。それら一連の技術を体系的かつ利用しやすい形で整備する。
- ・特にスクリーニングに関しては、安全評価で必要となるシナリオの相対的な重要度の評価について、FEP 情報に基づく定性的なスクリーニング、および感度解析に基づいて設定する安全評価パラメータの相対的な重要度などの定量的なスクリーニングプロセスおよび技術を整備する。
- ・これら技術については,深地層の研究施設計画などから得られる情報を例とした適用を通じて,有効性の確認およびシナリオのバリエーションの試作例を示す。

天然現象に起因する変動・接近シナリオの構築・評価技術の整備・体系化

平成 17 年度までは ,天然現象に係わる場の特徴に関する知見を ,シナリオの構築および影響評価に効果的に取り込むための THMC 情報シートなどの基本的手法を構築したが ,その適用性の検討は火山活動についてのシナリオの試作までにとどまっており ,他の事象への適用および影響解析までの展開を踏まえたシナリオの構築やスクリーニングに係わる技術を整備し体系化するまでは至っていない。そのため , 平成 18 年度以降以下の検討を行う。

- ・平成 17 年度までに構築した手法を,場の特徴に関する事例研究等による既存の知見に基づき他の事象に適用するとともに影響解析まで展開することを通じて,安全評価用のシナリオの構築から影響解析までを一貫した体系として行うことができるレベルまで向上させ,それら一連の技術を体系的かつ利用しやすい形で整備する。体系化においては,上記の FEP 情報に基づくシナリオの構築・評価技術に関する成果も取り込みつつ行う。
- ・特にスクリーニングに関しては、安全評価で必要となるシナリオの相対的な重要度の評価について、天然現象に係わる場の特徴や発生の可能性などに係わる知見に基づく定性的なスクリーニング、および影響解析結果(含む感度解析)に基づく定量的なスクリーニングのプロセスおよび技術を整備する。
- ・これら技術については,事例研究の調査結果や深地層の研究施設計画などから得られる情報を例とした適用を通じて,有効性を確認するとともに,シナリオの構築・評価例を参照できるように整備する。

なお,本成果は「3.3 総合的な性能評価技術」などへ反映することが必要である。また,FEP 情報の整備,感度解析の問題設定や条件設定,天然現象に係わる場の特徴および影響解析の条件 設定等については,地質環境調査,設計研究,個別現象研究と密に連携しつつ,それらの成果を 進捗に応じて取り込んでいくことが重要である。さらに,個別の技術については,必要に応じて 関係機関と調整・連携していくことが重要である。

3.2 不確実性評価技術

(1) 目的とこれまでの成果

地層処分の安全評価においては,天然の地層が有する場の不均質性や長期にわたる評価期間に 起因する不確実性を適切に評価できるようにすることが,安全評価の信頼性を向上させるうえで の重要な課題のひとつである。

本研究では,安全評価の信頼性の向上を図るため,第2次取りまとめ以降の検討により認識された課題(不確実性の要因の分類およびそれに応じた不確実性の定量化技術の整備,不確実性の影響評価技術の高度化および体系化)を踏まえ、不確実性評価技術の高度化に関する検討を行い,処分の安全性に影響を及ぼす多種多様な不確実性に関する評価技術の向上と知見の体系化を図ることを目的とする。

図3に不確実性評価技術の高度化の概念を示す。

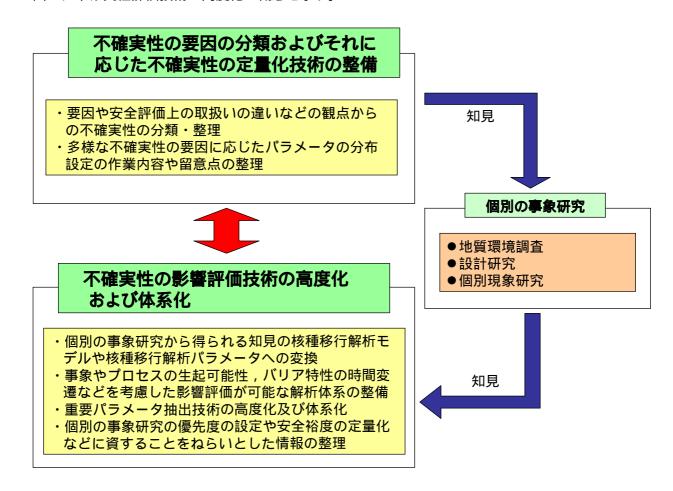


図3 不確実性評価技術の高度化の概念

第2次取りまとめにおいては,決定論的なアプローチを基本とし,幅広い地質環境を対象としたシステムの多様性,データ,モデル,およびシナリオの不確実性による個別の影響評価と,そ

れらの組み合わせによる評価を実施した。

また,第2次取りまとめ以降,安全評価の信頼性の向上を図るため,第2次取りまとめまでに認識された課題に基づき,データ及びモデルについての不確実性評価の基盤となる以下の個別要素技術(パラメータの分布設定技術,パラメータの不確実性の影響評価技術,代替モデル)を開発・整備した。

パラメータの分布設定技術の開発・整備

パラメータの不確実性が結果に与える影響を評価するためには,その変動範囲や現象理解に関する情報に基づきパラメータの不確実性を定量化(分布設定)することが必要である。特に,特定の場所を対象とした調査研究の初期の段階においては,パラメータの不確実性を定量化するための情報が十分に存在しない状況が考えられる。このため,パラメータの不確実性を定量化するための情報が十分に存在しない状況下で分布を設定する手法のひとつである誘出法を対象に 幌延の環境条件における分配係数の分布設定を例題として適用した。この適用を通じて,分布設定の具体的な手順や作業内容を整理するとともに,作業上の留意点として環境条件などの基盤情報が過度に偏らないようにする(例えば,幌延の環境条件における鉱物組成の種類と存在量を関係者間で共有する)ことの重要性が確認された。

パラメータの不確実性の影響評価技術の開発・整備

パラメータの不確実性が結果に与える影響を定量的に示すことは,評価の信頼性を向上させる上で重要な課題である。また,結果に与える影響が大きなパラメータの不確実性を分析し抽出することは,パラメータの不確実性の定量化に関わる研究開発の優先度を検討する上で重要な情報となる。このための技術として,複数のパラメータの不確実性の影響を網羅的かつ効率的に解析することが可能な核種移行解析モデルを構築するとともに,第2次取りまとめで設定したパラメータの不確実性を考慮したモンテカルロシミュレーションを行い,その影響を定量的に例示した。さらに,パラメータの不確実性の影響の相対的な重要度を分析,抽出するための技術として,モンテカルロシミュレーションの結果に対する重回帰分析,クラスタ分析,決定木分析などの統計的手法の適用を検討し,それら手法の特徴等を整理するとともに,目的に応じた使い分けの必要性を提示した。

モデルの不確実性を評価するための代替モデルの開発

モデルの不確実性については,対象とする現象についての理解度によって,概念モデル上の仮定が複数考えられ一意的に決まらないことが一因になると考えられる。この場合,その不確実性を,複数の代替的なモデルとして表現するとともに,複数の代替的なモデルの違いが評価結果に与える影響を把握しておくことが必要である。このため,第2次取りまとめにおいて保守的に簡略化されたプロセスである掘削影響領域での核種移行について,複数の代替的なモデルを構築し,モデル化の違いが評価結果に与える影響を定量的に明らかにすることにより,各モデルの特徴を整理した。

(2) 当面 5年程度(平成22年度頃まで)の計画

不確実性の要因の分類およびそれに応じた不確実性の定量化技術の整備

不確実性の定量化について,第2次取りまとめ以降,パラメータの不確実性のみを単独でとらえて,その定量化(分布設定)の技術を検討した。本計画では,パラメータの不確実性のみならず,モデルやシナリオの不確実性との関係にも着目して以下の検討を行う。

・現象の不規則性や現象に関する知識の欠落などの要因の違いおよびシナリオ,モデル,パラメータといった安全評価上の取り扱いの違いや類似性の観点から,不確実性を分類・整理する。

・特に,パラメータの分布設定については,取得データの誤差等に起因する不確実性,シナリオや現象理解の不十分さに起因する不確実性,安全評価の入力パラメータの設定作業に起因する不確実性などの多様な要因と関係づけて分布を設定することが必要になるため,それぞれの要因に応じた分布設定の作業内容や留意点を整理する。

不確実性の影響評価技術の高度化および体系化

不確実性の影響評価技術について,第2次取りまとめ以降,パラメータの不確実性およびモデルの不確実性のそれぞれについて,いくつかの例を対象にした検討を行った。本計画では,上記の「不確実性の定量化技術の整備」の結果も踏まえ,不確実性の影響評価技術を高度化するとともに,それら技術を体系的に整備することをねらいとして,以下についての検討を行う。

- ・実際の地質環境などから得られる個々の事象,プロセス,特性に関する不確実性に関わる知見を含む研究成果を,核種移行解析モデルに取り込めるモデルあるいはパラメータの形式に変換する。さらに,それら事象やプロセスの生起可能性,バリア特性の時間変遷あるいはその組み合わせなどを考慮した影響評価が可能な解析体系を整備する。
- ・パラメータの重要性に関する理解を深めるために,統計的手法の組み合わせによる分析精度の向上,ある線量をしきい値とした時のその線量を下回るためのパラメータ値の組合せの抽出,などに関する個別技術を整備する。さらに,それら手法を体系的に整理するとともに,手法の適用結果をデータ取得,個別の事象研究の優先度の設定や安全裕度の定量化などに資する情報として整理する。

なお,本成果は,「3.3総合的な性能評価技術」に反映することが必要である。また,地質環境調査,設計研究,個別現象研究と密に連携し,個々の事象・プロセス・特性に関する研究成果を進捗に応じて取り込んでいくことが必要である。

3.3 総合的な性能評価技術

(1) 目的とこれまでの成果

本研究では、地質環境調査、設計研究、個別現象研究、シナリオ解析研究および不確実性評価研究など多様な分野から得られる最新の成果を利用し、多様な地質環境、処分概念、シナリオに適用可能な柔軟性と網羅性を有し、品質保証された結果の提示を可能とする総合的な安全評価体系を例示する。図4に総合的な安全評価体系の高度化に関する検討項目を示す。

総合的な性能評価技術に関しては,第2次取りまとめまでに,わが国の幅広い地質環境を一般化して扱い,処分システムの各サブシステムに対応する評価モデルを接続した総合的な評価体系を構築し評価を実施した。

また,第2次取りまとめ以降は,実際の地質環境及び処分システムの条件への適用に向けて, 地層処分システムの総合的な性能を適切かつ合理的に評価・判断するための全体フレームの概念 の検討(考慮すべき要素/その構造/評価手法/ツール)と実際の地質環境や処分システムへの 適用に向けての課題の抽出を行うため,以下の検討を実施した。

- ・全体フレームの検討として,実際の地質環境の調査研究から物質移行解析にいたる一連の評価の作業フローおよび作業内容の具体化,スケールに応じた評価手法・ツールに関する既存の知見の整理と処分場スケールを対象としたモデルの開発,各種の地球化学情報を統合し化学条件を推定するための方向性と課題等の整理,多重バリアの長期安定性の傍証となるナチュラルアナログ事例の調査・整理,および安全性の理解促進のための説明技術の開発。
- ・種々の調査や研究開発から得られる成果などの多くの技術的な情報とその利用形態等を体系的 に管理することを目的とした技術情報統合システムを開発。

多様な環境に対する柔軟性

多様な地質環境、処分概念、シナリオに適用可能な評価手法、モデルチェーンの設定を可能とする評価手法、評価モデルに関する情報の整備

評価の網羅性

・個別現象、シナリオ開発、不確実性解析技術に関わる知見を反映し た網羅性の高い安全評価手法の例示と安全性確保のための重要研究 対象の提示

評価結果の品質保証

- ・品質保証のための要求事項の設定と適合性評価*のための評価項目、手順の 設定
- ・安全及び評価の信頼性の確立のための要求事項の設定ならびにそれに対す る適合性評価のための評価項目、手順の設定
- ・安全評価結果の平易性、網羅性を考慮した表現手法の検討
- *標準・規格・規定を製品・サービス・プロセスといったものが満たしているか どうかを確認する行為 (Conformity Assessment)

図4 総合的な安全評価体系の高度化に関する検討項目

(2) 当面5年程度(平成22年度頃まで)の計画

第2次取りまとめ以降の検討により,地層処分システムの性能を適切かつ合理的に評価・判断するための全体評価フレームの概念に関する検討とフレームを構築するための課題抽出が行われた。そこで,検討した概念や抽出した課題に基づき,多種多様な条件に適用可能な柔軟性のある評価手法の検討整備,安全評価の網羅性の確保に資する情報の整備,ならびに評価結果の品質を保証するための手順の構築と評価結果の提示手法の検討整備として,以下の検討を実施する。

多様な環境に対する柔軟性

地下研究施設における地質環境調査や設計研究,個別事象研究から得られる成果に基づき,多様な地質環境,処分概念,シナリオに適用可能なモデルチェーンを設定するための評価技術・情報の整備を行う。また,個々の評価モデルに関連する情報・データ,それらに基づいて評価を行うための評価技術・手法の整備統合を実施する。

これらの検討の実施においては,全体評価システムと個別モデルの関係(階層構造)に関する知見が有用である。既存の知見について整理した結果を付録「全体システム/個別モデルの階層構造を整理するための図式化」に示す。

評価の網羅性

不確実性評価技術の検討の結果から得られる「安全性確保に関して影響の大きい重要事象,優先的に実施すべき研究課題等や影響の小さい事象,無視しうる事象等」に関する情報をシナリオ解析技術や個別事象研究等にフィードバックし,安全性に対するシナリオや事象の影響の程度に関する定量的・定性的情報を体系的にとりまとめ、安全評価の網羅性の確保に資する情報を整備する。

評価結果の品質保証

品質保証および安全評価の信頼性の確立のための要求事項やそれに対する適合性評価(標準・ 規格・規定を製品・サービス・プロセスといったものが満たしているかどうかを確認する行為 (Conformity Assessment))のための項目・手順について検討整備するとともに,安全評価結果の平易性,網羅性を考慮した表現手法についても検討整備する。

なお、総合的な安全評価体系の高度化についてはエネ庁事業で進められる研究と綿密な連携を 取り、必要に応じて共同研究として適切な役割分担のもとに研究を実施する。

3.4 人工バリア中の核種移行

3 . 4 . 1 地下水化学

(1)目的とこれまでの成果

本研究では,安全評価で必要となる地下水水質を設定するためのモデルの信頼性向上を目的と する。

第2次取りまとめまでに、地質環境を特定しない地下水水質を設定するための手法として、化学平衡論に基づく地下水水質形成モデルを構築し、安全評価における地下水水質設定に反映した。第2次取りまとめ以降、化学平衡論に基づく地球化学モデルにより、具体的な地質環境における深部地下水の地表での測定値に対する信頼性評価を行うと共に、地表での測定値と地球化学モデルを用い、深部地下水水質を推定する手法の例示を目的とし、以下の成果を得た。

地表からの調査段階では、ボーリング孔内でのpH, Eh などの原位置測定または採水後の地表での測定になるが、原位置測定のデータは限られ、大部分のデータは採水後に地表で測定されたものになる。その場合、データの信頼性評価や地表で測定されたデータをもとに原位置の地下水水質を推定するための補正手法の検討が重要になる。そこで、実際の地質環境として、茂原や幌延の堆積岩中海水系地下水を例に、地下深部で採水され、地表で測定されたデータ(pH や Eh)の信頼性について、深部地下水水質を支配すると考えられる地球化学的知見や地層中に認められる鉱物に関する情報との整合性をもとに検討した。その結果、地表で測定されたデータは、深部地下水水質を支配していると考えられる地球化学的知見や地層中の鉱物情報と整合していなかった。そこで、採水に伴う水質変化の要因として溶存ガス(炭酸ガス、微量の硫化水素ガス)の遊離を仮定し、地層中に認められる水質を支配すると考えられる鉱物の情報と整合するような補正を行ったうえで水質を推定する方法を例示した。茂原および幌延の事例から、地表で測定されたデータをもとに深部地下水を推定するためには、少なくとも溶存ガスの遊離による影響に対する補正が重要であることが示された。

また,地質環境の調査・解析から物質移行解析に至る一連の方法論の検討の一環として,深地層の研究施設計画からの地質環境情報や深部地下水水質を支配すると考えられる地球化学的知見をもとに,化学平衡論に基づく地球化学モデルにより,物質移行解析の基点として設定された深度 1000m(瑞浪) および深度 450m (幌延) の地下水水質を設定した。

(2) 当面 5 年程度(平成 22 年度頃まで)の計画

平成 17 年度までに,地上からの調査で得られたデータをもとに,立坑掘削前の擾乱されていない地下水水質を推定する手法を提示した。平成 18 年度以降は,提示した手法の与えられた地質環境への適用性について検討すると共に,立坑掘削に伴い環境条件が変化する範囲や程度を推定するモデルを開発することを目的とし,以下の研究開発を進める。

- ・幌延の深地層の研究施設計画を例に,地上からの調査で得られた原位置測定結果とこれまでに 提示した推定手法による結果を比較し,手法の適用性について検討する。
- ・地上からの調査で得られたデータをもとに,データの品質確認,水質の空間分布の把握,統計

学的解析に基づく水質の類型化や水質形成機構の考察,熱力学的解析に基づく水質を支配していると考えられる代表的な鉱物 - 水反応の推定および既存の地球化学的知見や鉱物情報との整合性確認などを行い,水質形成モデルを構築する。構築された水質形成モデルを掘削前の初期条件とし,水理学的影響を考慮した地下水化学モデルを開発し,掘削に伴い環境条件が変化する範囲や程度を推定する。

また,国内外の原位置試験や地下研での事例をもとに,地球化学情報の統合化技術を開発するため,地下水の実測データの品質確認から水質形成モデルの構築に至るまでの一連の技術と知見の体系化を行う。

なお、幌延を例にした水質形成機構の考察や水質形成モデルの適用性検討については、エネ庁 事業で進められている研究と連携して実施する。同様に地球化学情報の統合化技術の開発につい てもエネ庁事業と連携して実施する。

3 . 4 . 2 間隙水化学

(1)目的とこれまでの成果

本研究では,安全評価で必要となる間隙水質を設定するためのモデルの信頼性向上を目的とする。

第2次取りまとめまでに,バッチ試験に基づいた間隙水化学モデルを構築し,安全評価における圧縮ベントナイト中の間隙水水質の設定に反映した。

第2次取りまとめ以降,圧縮ベントナイト中間隙水水質の時空間変化を把握するための測定手法の開発およびデータ取得を行うことを目的とし,以下の成果を得た。

第2次取りまとめで設定した間隙水水質は、均一な単一領域における平衡状態での推定値を用いているものの、処分後の緩衝材中では、地下水の再冠水後、溶質の拡散や化学反応の進展に伴い、間隙水水質に時空間分布が生ずると考えられる。このため、蒸留水、海水系、アルカリ環境での圧縮ベントナイト間隙水(pH,イオン濃度)の時空間変化を測定する手法を開発し、データを取得した。また、天然ベントナイト鉱床における間隙水の空間分布に関するデータも取得した。これらのデータは緩衝材埋設後の初期および長期における間隙水水質の空間分布を推定する上での参考データとして利用可能である。

(2) 当面5年程度(平成22年度頃まで)の計画

与えられた環境条件に応じて圧縮ベントナイト中の間隙水水質の推定ができるモデルの構築, 条件を変えた系での間隙水化学データの取得などを通じ,モデルの適用性検討を行うとともに, 一連の技術と知見の体系化を行うことを目的とし,以下の研究開発を進める。

・与えられた地質環境への適用性確認として、幌延の地下水を用いたベントナイト - 水反応試験を行い、間隙水水質形成モデルによる評価と比較し、モデルの適用性について検討する。また、試験手法、モデル解析といった一連の手法を体系的にまとめ、知見を整理する。

3 . 4 . 3 ガラス固化体からの核種溶出

(1) 目的とこれまでの成果

本研究では,人工バリア材料ごとの個別の現象理解に基づき,与えられた環境条件における人工バリア材料間での相互作用を考慮した,より現実的なガラス固化体からの核種溶出評価手法を提示する。

ガラス固化体からの核種溶出に関しては,第2次取りまとめまでに,溶存ケイ酸濃度が飽和に

達すると考えられる定常の長期溶解速度データを整備し、また、固化体製造時やオーバーパック腐食生成物の応力による割れの影響を表面積を増加(10倍)させることにより考慮したモデルを構築し、結果として、ガラス固化体全量が約7万年で溶解するとの推定結果を得た。

また,第2次取りまとめ以降は,幅広い地質環境や人工バリア材料等との相互作用を考慮した 長期溶解速度のデータや表面積変化に関する知見を拡充し,表面変質層の生成とその効果等を考 慮したガラス長期溶解評価手法を提示するため以下の検討・作業を実施した。

高アルカリ環境下でのガラスの浸出挙動

・高アルカリ環境等でのガラス浸出挙動や表面変質層の特性の把握を目的として,ガラス浸出 試験を実施し,水の拡散をもとにした水和変質を考慮した解析を行った。表面変質層の生成 は pH 条件により異なり ,pH11 以下のスメクタイト生成条件ではガラス浸出 / 変質速度は遅い ことが分かり,ガラス長期溶解評価について水和変質の重要性を提示した。

ガラスのデータベース構築

・ガラス溶解速度に関するデータを整理し活用しやすくするために,主要な文献等から約 800 件のデータを抽出・整理し,検索が可能なデータベースのプロトタイプを構築した。

ガラス固化体の割れの影響評価

・ガラス固化体の割れによる表面積の増加のガラス溶解への影響に関する知見を得るために, 割れによる表面積の増加がガラス溶解速度に比例的には影響しないことを解析により示し, 第2次取りまとめでの設定の妥当性を確認した。

ガラスのナチュラルアナログ研究

・処分環境と整合性のある火山ガラスの変質事例調査として,地下深部のボーリングコア中の 火山ガラス変質を調査した。地温 70 付近で存在していた火山ガラスは変質鉱物として斜プ チロル沸石,モンモリロナイトが観測され,40 付近ではほとんど変質していなかった。

(2) 当面 5年程度(平成22年度頃まで)の計画

実ガラスを用いた浸出試験

・現実的なガラスの長期浸出挙動の把握に関して,これまでは模擬ガラスを用いてアルカリ環境での浸出挙動から知見を得た段階であり,人工バリア材料共存下での挙動,実ガラスとしての挙動についての知見が不足している。そのため今後は,実ガラスからの核種の浸出試験やベントナイト中へのガラス埋め込み試験を継続し,第2次取りまとめでの長期溶解速度設定の妥当性を確認するとともに,埋め込み試験による核種浸出と核種移行の複合モデルの検証を行い人工バリア中でのガラスの長期浸出挙動について人工バリア材との相互作用を考慮した体系的な評価を行う。

また、必要に応じて国内外の研究機関と連携を取り、これまでのガラス研究成果及び現在構築中のガラスデータベースより必要な情報を提供するとともに、ガラスからの核種の浸出挙動に関する定量的・定性的情報を体系的にとりまとめ、安全評価の網羅性の確保に資する情報を整備する。

3 . 4 . 4 緩衝材中の核種移行

(1) 目的とこれまでの成果

ガラス固化体表面や緩衝材間隙水中での放射性元素の濃度限度(溶解度)は,安全評価上重要なパラメータである。したがって,より現実的な溶解度設定のために,処分環境条件における溶解度制限固相や共沈現象に関する理解を進めることを目的とする。また,緩衝材への核種の収着や緩衝材中での核種の拡散も核種移行を支配する重要な現象であり,現象理解を進め,それらの

現象を安全評価に取り込むことに対する信頼性の向上に資するとともに,収着・拡散パラメータの設定やその不確実性の議論に利用可能な現象モデルに関わる知見の体系化や手法の整備を目的とする。

第2次取りまとめにおいては,熱力学的安定性や短期の溶解度試験結果などから保守性も加味して適切な溶解度制限固相の選定を行うとともに,ラジウムについては簡易な共沈モデルを採用した。また,収着・拡散現象については,一部の元素についてイオン交換や表面錯体モデルによる収着試験結果の考察が行われていたが,核種移行評価に直接的に用いられてはいなかった。

第 2 次取りまとめ以降,アクチニドIV価酸化物固相の結晶化に関する知見を充足し,時間の経過とともに溶解度が低減する可能性を示すとともに,ラジウム(および類似元素としてバリウム)を用いて炭酸塩の共沈データの取得を行い,固溶体モデルによる評価手法を開発した。また,アクチニドIV価元素が混合した非晶質酸化物 $(U^{IV},Np^{IV})O_2$ (am)の溶解挙動が理想固溶体モデルにより表現できることを示した。収着・拡散現象については,分配係数,拡散係数の環境条件依存性に関するデータを取得し,そのメカニズムを明らかにすることで,環境条件に依存したパラメータの設定や,環境条件の変動を考慮した収着・拡散パラメータの変動幅の推定を行うことを可能とする手法を開発することを目的として,以下の項目を実施した。

- ・還元条件,炭酸共存系におけるネプツニウムのベントナイトへの収着試験を行い,溶液条件の 変化に伴う分配係数の変化は,溶液条件の変化に伴う溶存化学種の変化と溶存化学種ごとの分 配係数の違いの組み合わせで説明可能であることを示した。
- ・OECD/NEA 収着プロジェクトへの参画で,熱力学的収着モデルの適用性や適用限界などの知見を整理し,適切な情報が得られる場合には,モデルにより1桁以内の精度で分配係数の推定が可能であることを示した。
- ・緩衝材中の陰イオンの実効拡散係数のイオン強度依存性に関するデータ取得を行い,得られた傾向性について陰イオン排除効果により説明を行う等の理論的考察を実施した。さらに,各種条件下における様々なイオンの拡散の活性化エネルギーを導出し,イオンの種類による緩衝材の微細空隙構造中の拡散経路の違い等について考察した。
- ・分子動力学,均質化解析手法を用い,水およびイオンのベントナイト中の拡散シミュレーション手法を開発した。

(2) 当面5年程度(平成22年度頃まで)の計画

今後は,現在までに進められてきた,核種の溶解現象,緩衝材への収着・拡散現象について, 実際の地質環境条件が与えられた際に,不確実性の取り扱いも含め,より現実的な溶解度,収着・ 拡散パラメータの設定が行えるように,知見の体系化を行うこととし,具体的には以下の項目を 実施する。

- ・適切な溶解度制限固相の選定に関わる情報を整備するとともに,溶解度の評価に資することを 目的とした共沈,固溶体に関する試験を進め,共沈や固溶体現象のモデル改良を行う。
- ・収着モデルについては,熱力学的収着モデルの適用性のさらなる検討,現象理解を取り入れた 収着モデルの高度化を行い,与えられる地質環境を対象として分配係数を設定する際のデータ 取得方法,分配係数設定における収着モデルによる補完方法,設定値の不確実性の推定方法等 の開発を行う。また,緩衝材中での核種の収着挙動の理解の一環として,ラジウムの炭酸塩と しての共沈挙動についても研究を進める。
- ・拡散モデルについては、環境条件や溶存化学種等に依存した緩衝材中での移行経路等の拡散挙動の把握およびそのモデル化を行い、与えられる地質環境を考慮した、実効拡散係数設定の際のデータ取得方法、実効拡散係数設定におけるモデルによる補完方法、設定値に対する不確実

性の推定方法等の開発を行う。

- ・収着・拡散に関わる現象理解の向上と、収着・拡散モデルの開発を通じ、バッチ式収着試験で 得られる分配係数と拡散試験から導出される分配係数の整合性に関する検討を進める。
- ・上記の収着,拡散モデルの開発を目的として,溶液条件(pH等)を系統的に変化させた収着・ 拡散試験の実施によるデータ取得を実施する。

なお,本成果は「3.7 熱力学データベースの整備」「3.8 収着・拡散データベースの整備」に反映するとともに,さらに「3.3 総合的な性能評価技術」などへも反映する。また,緩衝材中の共沈現象を考慮した Ra の収着挙動に関する研究については,ポールシェラ研究所(スイス)との共同研究として実施する。さらに,緩衝材の収着・拡散データの取得およびモデル開発についてはエネ庁事業で進められる研究と綿密な連携を取り,必要に応じて共同研究として適切な役割分担のもとに研究を実施する。

3.5 天然バリア中の核種移行

3.5.1 岩盤中の核種移行

- (1) 岩盤中の水理・物質移行特性把握
- 1) 目的とこれまでの成果

本研究では,核種移行評価上重要な岩盤中の水理・物質移行現象を評価可能なモデル化手法を 提示することを目的とする。

第2次取りまとめまでに,結晶質岩,堆積岩とも,室内試験や原位置試験等から得られたデータに基づく三次元亀裂ネットワークモデルや連続体モデル等の詳細評価において保守性及び近似性を確認した一次元平行平板の重ね合わせモデルを用いてバリア性能を評価した。

また,第2次取りまとめ以降,概要調査での取得が想定されるデータに基づく水理・物質移行 現象のモデル化技術の提示と,深地層の研究施設計画等のデータを用いた適用性の提示を目標と して研究開発を進めることにより,以下の成果を得た。

- ・結晶質岩については,岩石中の単一亀裂,亀裂交差部,亀裂ネットワークにおいて,亀裂の開口幅分布等の測定による不均質特性の把握および亀裂の開口幅分布等を考慮した水理・物質移行のモデル化手法を提示した。堆積岩については,亀裂を含む岩石の水理・物質移行特性の測定等により堆積岩中の亀裂が水理・物質移行現象に与える影響を把握した(図5)。これらの成果は,核種移行評価における概念モデルおよびパラメータの設定に活用可能である。
- ・処分場周辺における地下水による物質移行経路特性の詳細な評価を目的としたモデル化手法に関して、調査データの量に応じた領域ごとの地下水流動を評価するためのモデル化が可能な入れ子式モデル化手法等を開発した。開発したモデル化手法(図6)等により、概要調査での取得が想定されるデータとして、瑞浪・幌延での地上からの調査研究段階の実際のデータを用いた地下水流動モデルの構築と物質移行評価に必要な手法の適用性を提示した。これらの成果は、処分場周辺スケールの地下水流動を詳細に把握し、核種移行評価に必要な移行経路や移行時間等を把握するための手法として活用可能である。

2) 当面5年程度(平成22年度頃まで)の計画

これまでは,主にボーリング調査等に基づくデータおよび比較的小さなスケールの岩石試料等を用いて,水理・物質移行特性の把握やモデル化手法の提示を目的とした検討を行った。今後は,精密調査段階での調査及び評価に活用可能な知見・技術の整備として,深地層の研究施設計画の進展に伴って取得可能なより大きなスケールの岩石試料等による室内試験や,立坑や水平坑道に

おける調査データの量と質の増加を踏まえたモデル化手法の向上に関する検討を実施する。あわせて,データ取得およびモデル化における不確実性についての整理を行う。

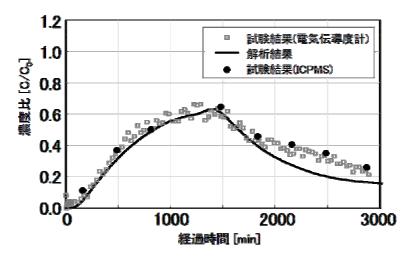


図 5 亀裂を含む堆積岩におけるトレーサー試験 6) (実験結果と解析結果の比較例)

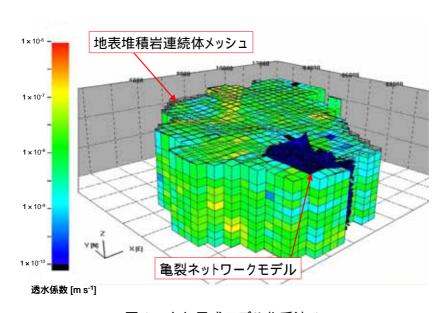


図 6 入れ子式モデル化手法 ⁶⁾ (地上からの調査段階における瑞浪地域を対象とした地下水流動モデル例)

・水理・物質移行に対する亀裂の影響等の個別現象の理解,データ整備については,与えられた 地質環境条件に応じて柔軟に対応可能な水理・物質移行特性データの整備およびモデル化手法 の確立を目標として,瑞浪・幌延での掘削を伴う調査研究段階等で得られる調査データや,幌 延のより大きなスケールの岩石試料等を用いた室内試験の結果に基づき,核種移行評価上重要 な影響を及ぼす要因に関して,これまでの成果を踏まえ,より大きなスケールを含めた現象の 理解を深めるとともに,データの整備・拡充を行う。これらの成果は,核種移行評価における 概念モデルおよびパラメータの設定に際して,スケールの異なる室内試験とサイト調査結果と の間を補間する知見として活用可能である。 ・与えられた地質環境条件に応じて柔軟に対応可能な水理・物質移行評価手法の整備・体系化および実用性の向上を目的として,室内試験等における核種移行評価上重要な影響を及ぼす要因に関する現象および特性の理解度や,サイト調査の段階に合わせ,地下水流動や物質移行に関するモデル化手法・評価手法等を検討・整理する。それらの手法について,瑞浪・幌延での地上および立坑や水平坑道からの調査で得られる地質環境データを用いた処分場周辺スケールでの適用および,実測値や地上からの調査研究段階のデータのみによる評価結果との比較・検討を通じた評価手法の体系化を図る。あわせて,モデル化における不確実性や核種移行評価上重要な影響を及ぼす要因の抽出・確認を行う。これらの成果は,処分場周辺スケールの地下水流動を詳細に把握し,核種移行評価に必要な移行経路や移行時間等を把握する上での,調査の進展に応じた調査データの活用・モデル化手法の知見として活用可能である。

なお,本成果を「3.3 総合的な性能評価技術」へ反映することや,本研究を地質環境特性に関わる総合的な調査・評価,地下水流動特性,物質移動特性などに関する研究と密接に連携して進めていくことが必要である。また,エネ庁事業における性能評価技術高度化などの外部機関との連携により研究開発を効率的・効果的に進める必要がある。

(2) 収着・拡散現象

1) 目的とこれまでの成果

岩盤への核種の収着や岩盤中での核種の拡散は核種移行を支配する重要な現象であり、現象理解を進め、それらの現象を安全評価に取り込むことに対する信頼性の向上に資するとともに、収着・拡散パラメータの設定やその不確実性の議論に利用可能な現象モデルに関わる知見の体系化や手法の整備を目的とする。

第2次取りまとめにおいては,室内試験や文献調査に基づき,マトリクス拡散深さ,分配係数,拡散係数を保守的に設定し,亀裂内及びマトリクス部での移行遅延挙動を評価した。

第2次取りまとめ以降,収着拡散現象については,分配係数,拡散係数の環境条件依存性に関するデータを取得し,そのメカニズムを明らかにすることで,環境条件に依存したパラメータの設定や,環境条件の変動を考慮した収着・拡散パラメータの変動幅の推定を行うことを可能する手法を開発することを目的として,以下の項目を実施した。

- ・OECD/NEA 収着プロジェクトに参画し,熱力学的収着モデルの適用性や適用限界に関する知見を整理し,適切な情報が得られる場合には,モデルにより1桁以内の精度で分配係数の推定が可能であることを示した。
- ・実際の地質環境として幌延地域の堆積岩を対象とした収着試験を実施し, Cs に対してイライトが支配的な収着鉱物であるとするイオン交換モデルの適用性の検討を実施した。
- ・岩石中の陰イオンの実効拡散係数のイオン強度依存性に関するデータ取得とその論理的考察を 実施した。
- ・砂岩に対し,拡散試験から得られる Cs の分配係数と粉砕試料によるバッチ式試験から得られる Kd の比較検討を行い,比表面積補正によりほぼ一致する結果を得た。この結果は,バッチ収着 試験データを母岩基質部へ適用する際の手法の検討に反映される。
- ・花崗岩基質部(マトリクス)への拡散深さを調べるための室内試験により,溶質が20 cm以上 拡散侵入する可能性を示した。
- 2) 当面 5 年程度(平成 22 年度頃まで)の計画 岩石中の収着・拡散現象について,従来は主として現象理解を進めるための個別研究を進めて

きた。今後は、現在までに進められて来た現象理解やモデルを基に、実際の地質環境が与えられた際に、不確実性の取り扱いも含め、より現実的な収着、拡散パラメータの設定が行えるように、知見の体系化を行うこととし、具体的には以下の項目を実施する。

- ・収着モデルについては,熱力学的収着モデルの適用性のさらなる検討を行い,与えられる地質環境を考慮した,分配係数設定の際のデータ取得計画,分配係数設定における収着モデルによる補完方法,設定値に対する不確実性の推定方法等の開発を行う。
- ・拡散モデルについては、環境条件に依存した岩石中での拡散挙動の把握およびそのモデル化を 行い、与えられる地質環境を考慮した、実効拡散係数設定の際のデータ取得方法、実効拡散係 数設定におけるモデルによる補完方法、設定値に対する不確実性の推定方法等の開発を行う。
- ・収着・拡散に関わる現象理解の向上と、収着・拡散モデルを通じ、バッチ式収着試験で得られる分配係数と拡散試験から導出される分配係数の整合性に関する検討を進める。
- ・上記の収着,拡散モデルの開発を目的として,溶液条件(pH等)を系統的に変化させた収着拡 散試験の実施によるデータ取得を実施する。

なお,本成果は「3.8 収着・拡散データベースの整備」に反映するとともに,さらに「3.3 総合的な性能評価技術」などへも反映する。また,岩盤中の収着・拡散データの取得およびモデル開発についてはエネ庁事業で進められる研究と綿密な連携を取り,必要に応じて共同研究として,適切な役割分担の基に研究を実施する。

3.5.2 コロイド・有機物・微生物

(1)目的とこれまでの成果

本研究では,核種移行挙動に及ぼすコロイド,有機物及び微生物の影響評価に必要な,データ及びモデルを提示するとともに,これらを用いて影響が顕在化する可能性のある環境条件の特定,シナリオ上の取り扱いや影響評価手法を検討することを目的とする。

第2次取りまとめまでに,コロイドの影響については,亀裂性媒体を対象として,核種との相互作用を瞬時・線型・可逆と仮定した簡略なモデルを用いて,核種移行に及ぼす影響を評価し,線量の増加は数倍程度との結果を得た。なお,コロイド濃度及び核種のコロイドに対する分配係数は,文献値に基づき設定している。一方,有機物及び微生物の影響については,定性的な検討にとどまっていた。

第2次取りまとめ以降は、幅広い地質環境を考慮したコロイド、有機物及び微生物の特性データの取得・整理、並びに、影響評価に関する基本モデルの構築を目標として研究開発を進め、以下の成果を得た。

- ・亀裂性媒体及び多孔質媒体を対象とし、核種とコロイドの相互作用反応を速度論的に取り扱うことができる 核種移行に及ぼすコロイドの影響評価コード COLFRAC-MRL を開発するとともに、これを用いてコロイド共存下での核種移行挙動を調べた室内カラム実験及びグリムゼル岩盤試験場(スイス)における原位置実験の結果を解析し、このコードの妥当性を確認した。また、本コードを用いてコロイド影響の感度解析を行い、コロイド濃度が高い、あるいは、流速が速い場合、相互作用の反応速度が核種移行挙動に影響を及ぼす可能性があるとの知見を得た。
- ・性能評価上重要な核種について,コロイド及び有機物との相互作用に関するデータを取得した。コロイドについては,ベントナイトコロイドを対象とし,Csの分配係数及び収着速度データを取得するとともに,収着が可逆的との知見を得た。また,有機物については,フミン酸を対象とし,Th(IV)及びNp(IV)とフミン酸との錯形成の安定度定数及び反応速度データを取得するとともに,不可逆的な錯形成が存在する可能性があるとの知見を得た。

・多種の微生物活動を考慮し,微生物がコロイド的挙動をする場合の影響に関して COLFRAC-MRL コードを用いて解析例を提示するとともに,地球化学・核種移行への微生物影響を評価できる計算コード MINT ($\underline{\underline{M}}$ icrobial $\underline{\underline{I}}$ nfluence on $\underline{\underline{N}}$ uclide $\underline{\underline{I}}$ ransport)の開発を行った。また,一部微生物を用いた,花崗岩,堆積岩存在下での微生物培養実験を実施し,バイオフイルム生成を確認した。

(2) 当面5年程度(平成22年度頃まで)の計画

コロイド及び有機物の影響評価については,与えられた環境条件(地質環境条件,設計条件)を対象とした特性評価手法の体系化とデータ取得,核種との相互作用及び移行挙動の現象理解・モデル化・コードの改良と適用性確認,影響が顕在化する可能性のある環境条件の特定とシナリオ上の取り扱いの検討を目標として,以下の研究開発を進める。また,微生物の影響評価については,与えられた地質環境条件と関連のある微生物特性データの整備および微生物の影響評価に関するモデルの改良を目標として,以下の研究開発を進める。

- ・与えられた環境条件(地質環境条件,設計条件)を対象とする場合のコロイド及び有機物の特性評価手法の体系化とデータ取得を行う。具体的には,存在量や化学組成などの特性評価項目の選定,試料採取方法,採取時の擾乱の補正方法,特性評価方法の確立及び体系化とこれらの方法を適用したデータ取得を実施する。
- ・評価上重要な他の核種を対象とした相互作用データの取得を継続するとともに,相互作用のモデル化を進める。具体的にコロイド・核種相互作用については,標準的評価方法の検討を行うとともに,Np(IV), Am(III)及び Tc(IV)とベントナイトコロイドの相互作用の可逆性に関するデータ, Np(IV)とフミン酸の相互作用の可逆性に関するデータを取得する。また,これらに加え岩石等が存在する三相系での相互作用データを取得して,そのモデル化を行う。
- ・影響評価上重要な現象である核種とコロイドの不可逆収着やコロイドのフィルター効果の現象 理解とモデル化を進め、必要に応じ COLFRAC-MRL の改良を進める。この COLFRAC-MRL を用いて、 グリムゼル岩盤試験場における原位置でのコロイド・核種移行挙動評価試験結果の解析を行い、 その適用性を確認する。 COLFRAC-MRL 及び上記取得データを用いて、核種移行に及ぼすコロイ ドの影響が顕在化する可能性のある環境条件を特定し、シナリオ上の取扱を検討していく。
- ・与えられた地質環境への適用を考慮して,コードで用いる各パラメータの整備・データ取得と, その地質環境を対象とした感度解析及びモデルの改良を行う。

なお、これらの研究開発を進めるに当たり、コロイド及び有機物の影響評価に関しては、グリムゼル岩盤試験場で行われている国際共同研究である CFM プロジェクトの参加機関、エネ庁事業で進められる関連研究との連携を進める。また、微生物の影響評価に関しては、エネ庁事業で進められる微生物特性データ取得、影響評価、現象理解と FEP の相関関係の整理等の研究との連携を進めるとともに、核種の収着分配係数 (Kd 値) 変化に及ぼす影響評価に関する電力中央研究所のプロジェクトやTR U廃棄物処分研究との連携を進める。

3.6 生物圏での核種移行/被ばく

(1)目的とこれまでの成果

本研究では、地層処分により人間が受ける影響を算出するために必要な、地表環境での核種移行および人間への被ばく経路をモデル化するための手法を提示することを目的とする。図7に生物圏での核種移行/被ばく評価の高度化の概念を示す。

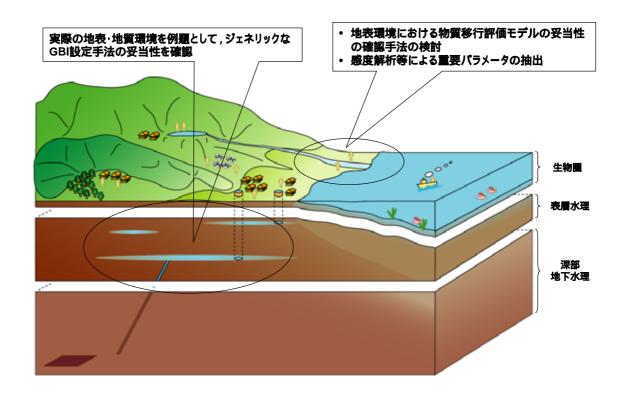


図7 生物圏での核種移行/被ばく評価の高度化の概念

第2次取りまとめでは,将来においても現在と同様の生活様式が継続すると仮定し,わが国の幅広い地表環境を考慮して移行/被ばく影響を概略的に取り扱う評価モデルを構築し,種々の移行経路を想定して評価した。

一方,第2次取りまとめ以降の検討では,実際の地表環境への適用に向けた,核種移行経路・ プロセスや被ばく経路・プロセスについての基本的な考え方や評価技術を整備し,特に,実際の 地表環境への適用に向けての課題を抽出することを目標として,以下の項目について検討した。

地表環境や長期的な環境変化などの特徴への対応に向けての生物圏評価モデルの改良・開発実際の地表環境に適用した評価を行う場合には、地表近傍での地下水や物質の移行について理解することによって、第2次取りまとめでは考慮しなかった地表近傍の帯水層での希釈による分散、収着による遅延の効果を適切にモデルに取り込むことが可能となるとともに、地圏と生物圏とのインターフェース(GBI)の候補を絞り込むことが可能となる。そこで、主に水理解析の情報を用いて、ジェネリックな環境条件を対象とした GBI 設定フローを作成し、仮想的な環境パターンに対する GBI 設定の試行を行うとともに、わが国の幅広い地表環境の特徴を考慮した GBI 設定のための考え方・手法を検討した。この手法を実際の地表・地質環境に適用し、必要に応じて改良することにより、GBI 候補を設定するための技術を整備することが可能となる。

一方,実際の地表環境に適用した評価を行うためモデルの拡充として,第2次取りまとめで用いた沿岸海域モデルの詳細化や第2次取りまとめでは検討しなかった下部土壌への核種の直接流入を考慮したモデルの構築等,多様な評価モデルを構築・整備した。

わが国の地表環境の特徴に関する情報の取得・収集とデータベースの整備

生物圏評価パラメータの数はひとつのモデルにつき 100 を超えており,データベースの更新にあたっては,膨大な情報量を取り扱う必要がある。そのため,効率的にパラメータを設定するた

めの手法を整備しておくことで,作業量を低減させることができる。また,出典が明確であり,かつ評価に適合したパラメータを用いることにより,評価結果の信頼性を向上させることが可能となる。そこで,感度解析および感度分析により評価上の重要度を定量的に把握するとともに,重要度が高いものについては,IAEAの国際共同プロジェクトBIOMASSで検討された手法を参考に,解析に用いているデータの信頼性などを整理した。これにより,効率的に重要パラメータを抽出するための技術を整備することができるとともに,データベースの更新を行う際に優先的に検討を行うべきパラメータを抽出することができた。

一方,第2次取りまとめ生物圏評価データベース(ジェネリックな評価用データベース)について,国内の法令が改正されたことに基づく内部および外部被ばくの線量換算係数の更新を行った。これにより,解析結果の信頼性を向上させることができた。

(2) 当面 5 年程度(平成22 年度頃まで)の計画

研究の進展に伴い利用可能となる地表・地質環境の特性等を適切に反映することが可能で信頼性の高い生物圏評価技術を最新の知見を踏まえながら構築・整備する。特に,下記の項目について重点的に検討を実施する。

GBI設定手法の適用性の確認および技術や知見の体系化

これまでに,ジェネリックな環境条件を対象とした GBI 設定フローを作成し,仮想的な環境パターンに対する GBI 設定の試行を行った。しかしながら,実際の環境条件を対象とした検討を通じた適用性の検討や課題の抽出が充分ではない。そのため,今後の検討では,研究の進展に伴い利用可能となる地下研究施設などから得られる地表・地質環境の特徴を取り込んだ GBI 設定の試行を行い,その試行結果や諸外国での検討例を基に,具体的な GBI を設定するにあたっての課題の抽出と対策の整備を行う。また,与えられた条件に適用できるように,GBI 設定の技術と知見を体系的に整理する。

生物圏評価の信頼性向上に向けたモデルの適用性確認ならびに特性把握

これまでの研究において,多様な GBI を想定した評価モデルを構築・整備した。しかしながら,実際に存在するより複雑で不均一な地表環境に対するモデルの適用性の検討やモデルの応答に関する知見の収集は必ずしも十分ではなかった。そのため,今後は,生物圏評価モデルの適用性や適用における留意点,およびモデルの特性について検討する。

また,モデルの適用性については,研究の進展に伴い利用可能となる地下研究施設などから得られる地表・地質環境における物質移行に係わるデータおよび現象理解に関する情報を収集したうえで,実際に存在するより複雑で不均一な地表環境条件,あるいは模擬した系を対象に既存のモデルの適用を試み,その適用性および適用範囲,あるいは既存のモデルを適用する際の留意点を整理するとともに必要に応じてより多様な環境条件に対する適用性の高いモデルに改良する。

さらに,生物圏評価モデルの特性把握においては,上記の試行を通じて,対象とする地表環境条件が異なる場合のパラメータ変化に対するモデルの応答や重要パラメータの同定等を行い,モデルの特徴や地表・地質環境条件との関係からそれらを体系化し,生物圏評価モデルの改良,データ取得の優先度の設定に資する知見としてとりまとめる。

生物圏評価用データベースの最新の知見に基づく更新

第2次取りまとめの生物圏評価用データベースは1980年代後半から1990年代前半の文献が中心であり、また国際的にもデータ見直しの議論が近年行われている。そこで、今後の検討では、その後の進捗を適切に取り入れ、最新の知見に基づくデータの信頼性向上を目的としたデータベースの更新を行う。これに基づく解析を実施することにより、解析結果の信頼性の向上を図る。

なお,最新の知見としては,(独)放射線医学総合研究所において取得されている河口沿岸域における核種移行パラメータおよび C-14 の農・水産物への移行パラメータを含むものとし,両者の連携によりデータベースの整備を実施する。

なお,関係機関との連携として,実際の地表・地質環境の特徴を表現できるわが国の生物圏評価の基盤技術・情報の整備に向け,関係機関で行う研究開発の相互補完や成果の信頼性向上を目的とした検討を行う。連携の具体的な内容と進め方を設定するために,関係機関同士の定期的な情報/意見交換の場を設定する。

3.7 放射性元素の熱力学データベースの整備

(1) 目的とこれまでの成果

溶解度設定のための溶解度計算や、収着・拡散挙動の考察に必要な溶存化学種の推定を行うために、熱力学データは必須の情報である。したがって、安全評価における重要元素に対して、熱力学データを利用者が利用しやすい熱力学データベースとして整備することが必要である。さらに、熱力学データベース整備に加え、3.4.3 項で進められる核種の溶解現象に関する理解と併せて、核種移行解析で用いる溶解度の設定に関する一連の手法を整備することを目的としている。

第2次取りまとめにおいては,OECD/NEAにより整備された熱力学データベースや,1998年時点において入手可能であったデータや知見に基づき,サイクル機構熱力学データベース(JNC-TDB)を整備し,溶解度設定や溶存化学種推定に利用した。また,溶解度の設定については,間隙水の環境条件を考慮した熱力学的な平衡計算と溶解度の実測データに基づき保守的な溶解度を設定した。

第2次取りまとめ以降,安全評価上の重要元素に対する溶解度試験を実施し個別の熱力学データの取得を実施するとともに、既往の熱力学データベースの利用環境の整備等を進めることとし,以下の項目を実施した。

- ・第2次取りまとめ段階で、信頼性の向上が必要であると判断された、アクチニド IV 価のヒドロキソ炭酸錯体、水和酸化物固相の溶解度積および加水分解定数に関する実験データの拡充と系統性の確認を行った。
- ・第2次取りまとめで課題とされたイオン強度の高い地下水への熱力学データの適用性検討の一環として、高イオン強度に対応できる活量係数モデルであるPitzer モデルによる核種の溶解度計算を行なうためのデータベース整備の実施と、活量係数補正方法の違いによる溶解度計算への影響を確認した。
- ・第2次取りまとめで開発した熱力学データベース(JNC-TDB)および NEA-TDB 等を複数の地球化学計算コード用フォーマットの電子ファイルとして整備した。また、それらの外部公開ホームページによる国内外への公開を開始し、利用促進を行った。

(2) 当面 5年程度(平成22年度頃まで)の計画

安全評価上の重要元素の個別熱力学データについて信頼性向上の観点から熱力学データの取得を継続するとともに、それらの成果を踏まえつつ、OECD/NEAによる熱力学データベースの整備に関する情報等の国際的な動向も踏まえ、事業および規制の共通した基盤情報となる最新の熱力学データベース(JAEA-TDB)の構築を行う。さらに、3.4.3 項に示した溶解度に関する現象理解の研究成果と併せ、安全評価に用いるべき溶解度の設定に対する手順・方法論の体系化を目指す。具体的には以下の作業を実施する。

- ・安全評価上の重要元素に対する熱力学データ取得として、引き続き、未実施のアクチニド元素の加水分解定数の導出とそれに基づく溶解度積の再評価および理論モデルを用いた値の妥当性の検討を実施する。さらに、アクチニド元素と溶存ケイ酸の相互作用に関する試験研究に基づく熱力学データの検討、Se 溶存化学種の酸化還元平衡に関するデータ取得と Fe-Se 系固相の熱力学データ取得を実施する。
- ・上記のデータに加え,国内外のデータ(OECD/NEA 熱力学データ整備プロジェクト phase II および phase III,旧原研の研究成果など)の確認を行い反映すべきデータを抽出し,整理するとともに,安全評価における必要性の観点からデータが欠落している化学種については,化学アナログやモデル推定値など利用の検討を行い,これらを含めてJAEA-TDBを整備する。なお,熱力学データの誤差についてもデータ整備を行う。さらに,利用者の利便性を考慮して,各種地球化学計算コードでの利用が可能な形式として公開,配布を行う。
- ・核種の溶解挙動や溶解度制限固相についての現象理解,熱力学データベースを利用した溶解度 推定値の実測値との整合性などの総合的な評価を行い,安全評価に用いる濃度上限値(溶解度) の設定方法の体系化を行う。

なお,本成果は「3.3 総合的な性能評価技術」などへ反映する。また,精緻な熱力学データ取得に関する試験,熱力学データ評価モデルの構築には,高度な技術と科学的知見が重要であり,大学(京都大学)等との連携を図り,効率的に研究を進めていく。また,アクチニド元素の熱力学データ取得のうち,ケイ酸塩錯体に関する研究は,米国 DOE パシフィックノースウエスト国立研究所との共同研究により実施する。さらに,熱力学データベースの整備にあたっては OECD/NEA 等国際機関の動向を踏まえつつ,多国間での適切な情報交換を基に作業を進めていく。

3.8 収着・拡散データベースの整備

(1) 目的とこれまでの成果

緩衝材および岩盤に対する収着拡散パラメータである分配係数や拡散係数について,様々な条件における実測データを,それらの試験条件とともにデータベースとして整備しておくことは,与えられた地質環境条件に対するこれらのパラメータの設定作業における,基本情報として有効である。したがって,収着,拡散に関する広範な実測データについて,それらの品質に留意しつつ調査を行い,データベース化を行うとともに,データベース充足の観点から必要に応じてデータ取得を行うとともに,3.4.3 項や 3.5.1 項で進められる核種の収着拡散現象に関する理解と併せて,核種移行解析で用いる分配係数,拡散係数の設定について一連の手法を整備することを目的としている。図 8 に作業の全体図を示す。

第2次取りまとめにおいては,降水系地下水を中心とした分配係数や拡散係数の実測データの拡充とデータベースの整備を行った。岩石に対する分配係数については,収着データベースを用い,与えられた環境条件と類似の試験条件における分配係数データを抽出し,その分配係数値の分布を基に設定を行った。緩衝材に対する分配係数については,見かけの拡散係数に基づき設定した。圧縮ベントナイト中の拡散係数については,単純な陽イオン/陰イオン/その他の化学種に分け,実効拡散データから,降水系地下水については各々異なる値を,海水系では同一の値を設定した。母岩中の拡散係数については,拡散データベースを用いて、間隙率と実効拡散係数の関係式を導出し、それに基づき設定を行った。

第2次取りまとめ以降,幅広い地質環境(岩種,地下水)を対象としつつ,特に海水系環境での分配係数のデータ取得を実施し,文献調査を含めたデータの拡充による収着データベースの更新と公開を行った。あわせて,収着データベース中の登録データに対する信頼性付与の考え方と

判断基準の検討および原子力学会標準化委員会による分配係数データ取得方法の標準化に係わる作業に情報・知見を提供した。拡散データベースについては、データベースシステムの開発を行うとともに、主として第2次取りまとめ以降の拡散データの調査を実施した。具体的には以下の項目を実施した。

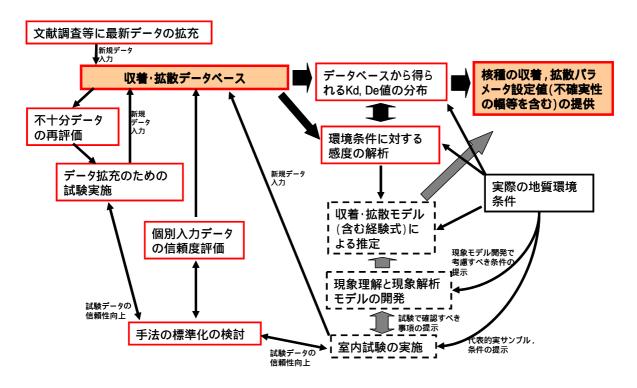


図8 本研究項目で実施する作業の全体図 (破線の項目は「3.4.5 及び3.5.1(2)項にて実施」。これらの個別の作業の 体系化を「収着・拡散データベース開発」の中で実施する。)

- ・第2次取りまとめ段階で実測データが少なくデータの拡充が望まれた,海水系地下水条件におけるベントナイトや堆積岩(砂岩,泥岩)に対する分配係数(Cs),海水系地下水環境やアルカリ環境における堆積岩(凝灰岩,砂岩)に対する分配係数(Sn,Pb,Th)の実測データを取得した。
- ・収着データベース中の登録データに対し,試験条件・試験手法(初期濃度,固液分離方法等) のトレーサビリティおよび適切性の判断の指標を検討し,その指標に基づく信頼度付与の考え 方と判断基準案の策定を行うとともに,それらの適用性確認を実施した。
- ・拡散データベースについては、データベースシステムの開発を行い、第2次取りまとめ時点に おける岩石の拡散データをデータベースシステムに取り込むとともに、第2次取りまとめ以降 の岩石の拡散データおよび緩衝材の拡散データの調査を開始した。
- ・文献調査等による分配係数データの抽出と収着データベースの更新(1999年版(第2次取りまとめ段階) 19,875件 2004年版 21,071件)を実施するとともに,ホームページを通じた収着データベース(データ検索システム含む)の公開と利用の促進を実施した。
- (2) 当面 5 年程度(平成 22 年度頃まで)の計画 安全評価上の重要元素に対する収着データベースおよび拡散データベースの信頼性向上のため

に,データ取得を継続的に実施するとともに,国内外の情報を取り込んだ最新のデータベースとしての整備を継続し適宜公開する。収着データベースについては,個別のデータの信頼度付与の結果を反映する。

また,与えられた環境条件(地質環境条件,設計条件)への適用性の向上のために,データベースを活用した核種移行解析で用いる分配係数と拡散係数の設定を行うための一連の設定手法を整備する。

さらに,実験手法に関する評価,実験手法の標準化等,適切なデータを取得するための知見の 体系化も実施する。

具体的には以下の項目を実施する。

- ・データベースについては,安全評価の核種移行解析における分配係数,実効拡散係数の設定に利用する観点から,整備対象重要元素の再評価を行うとともに,環境条件の変化に対する感度を検討する上でのデータの充足度等の再検討を行い,データの取得が必要と考えられる実験条件についてのデータ取得を実施する。
- ・上記のデータ取得の成果に加え,3.4.3 項や3.5.1 項の研究で得られるデータ,文献調査に基づく国内外の最新情報の取り込みを行い,データベースの継続的な更新を実施する。
- ・データベースの客観性を向上させるために、収着データベースについては登録データに対する 信頼度付与作業を継続するとともに、拡散データについてもデータの品質評価方法について検 討する。
- ・ホームページでの公開等を含めた、データベースの利用環境整備を継続的に実施する。
- ・データベースから得られる収着・拡散に関する情報,3.4.3 項や3.5.1 項の研究成果として得られる,収着,拡散現象の理解に基づくモデルの利用による収着・拡散パラメータの値やその不確実性に関する情報などを総合的に評価し,与えられた環境条件(地質環境条件,設計条件)およびそこでの情報の量に応じて安全評価に用いる収着・拡散パラメータを設定する手順・方法論を体系化し,深地層の研究施設計画から得られる地質環境情報の利用により,それを例示する。

なお,本成果は「3.3 総合的な性能評価技術」などへ反映する。また,収着・拡散データの取得に関しては,エネ庁事業で進められる研究と綿密な連携を取り,必要に応じて共同研究として,適切な役割分担の基に研究を実施する。

JAEA-Review 2006-015

4. おわりに

高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価に関する研究を対象として,これまでの研究成果を 踏まえ,今後5年を目途に実施すべき研究の項目とその内容等を研究計画書としてまとめた。

本計画は、これまでの研究から得られた課題等に基づいて抽出された重要な研究について記述したものであり、高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価に関する他の研究計画をほぼ包含するものである。この計画に沿った研究の実施は、高レベル放射性廃棄物の地層処分計画の着実な進展に資するものと考える。

謝辞

本報告書を作成するにあたり,地層処分研究開発部門 梅木博之研究主席,同部門 研究開発 統括ユニット 知識化グループ 内藤守正研究副主幹,牧野仁史研究員,同部門 地層処分基盤 研究ユニット 油井三和ユニット長には,計画立案に対する助言をいただきました。深く感謝の意を表します。

JAEA-Review 2006-015

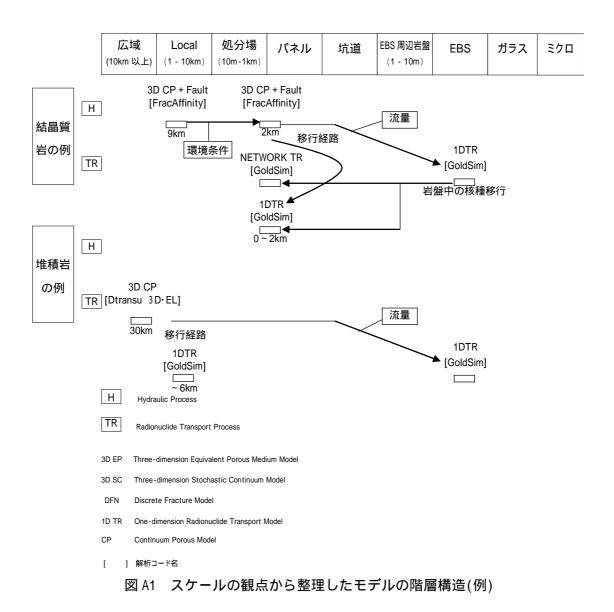
参考文献

- 1)核燃料サイクル開発機構: わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第2次取りまとめ , 総論レポート ", JNC TN1400 99-020, 1999.
- 2)通商産業省: 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件", 平成 12 年 10 月 2日, 通商産業省告示第591号, 2000.
- 3)原子力委員会: "原子力の研究,開発及び利用に関する長期計画(平成 12 年)", 平成 12 年 11 月 24 日, 2000.
- 4)総合資源エネルギー調査会原子力部会: "原子力の技術基盤の確保について(平成 13 年)",平成 13 年 7 月,2001.
- 5)原子力環境整備促進・資金管理センター: "高レベル放射性廃棄物地層処分に関する研究開発全体マップの整備", 平成 17 年 3 月 31 日, 2005.
- 6)核燃料サイクル開発機構: "高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築", 2005年9月, JNC TN1400 2005-014,015,016,020, 2005.
- 7)原子力委員会: "原子力政策大綱", 平成 17年 10月 11日, 2005.
- 8)日本原子力研究開発機構: 独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画(中期計画)(平成 17 年 10 月 1 日~平成 22 年 3 月 31 日)", 2005.
- 9)原子力安全委員会: "日本原子力研究開発機構に期待する安全研究", 平成 17年6月, 2005.

付録

全体システム / 個別モデルの階層構造を整理するための図式化

地層処分の安全評価で考慮すべき多様なスケール(例えば,広域スケール,処分場スケール,パネルスケール,坑道スケール,人工バリアスケール,ガラススケール,ミクロスケール)に対して,整合的に核種移行解析を行うため,それぞれのスケールにおいて求められる詳細度や不確実性に応じた保守的簡略化など,意味と目的を明確にしつつ,モデル概念の構築,数学モデルの構築 利用可能な知識や数学的な手法の限界 データの利用可能性について総合的に検討を行い,階層的評価モデル体系として整備するため,機構と原子力環境整備促進・資金管理センターでは共同研究を進めている。この共同研究による成果 1)を活用し,機構において整備してきたモデルについて,スケールに応じたモデル体系の階層構造として整理した例を図 A1 に示す。



1)日本原子力研究開発機構,原子力環境整備促進・資金管理センター: "高レベル放射性廃棄物の 地層処分に関する性能評価技術高度化研究共同研究報告書",2006(作成中).

This is a blank page.

国際単位系(SI)

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本)	单位
	名称	記号
長き	メートル	m
質 量	キログラム	kg
時 間	秒	S
電 流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光 度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位			
₩II 77. ■K	名称	記号		
面積	平方メートル	m ²		
体積	立法メートル	m ³		
速 さ , 速 度	メートル毎秒	m/s		
加 速 度	メートル毎秒毎秒	m/s ²		
波 数	毎メートル	m-1		
密度 (質量密度)	キログラム毎立法メートル	kg/m ³		
質量体積 (比体積)	立法メートル毎キログラム	m ³ /kg		
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2		
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m		
(物質量の) 濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3		
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2		
屈 折 率	(数 の) 1	1		

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨ タ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	С
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テ ラ	T	10^{-9}	ナーノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	р
10 ⁶	メ ガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3} 10^{2}	牛 口	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	Z
10 ¹	デ カ	da	10^{-24}	ヨクト	у

表 5. SI 接頭語

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

1	SI 組立単位			
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 角	ラジアン®	rad		m · m ⁻¹ =1 (b)
立 体 角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)		m ² • m ⁻² =1 (b)
周 波 数	ヘルツ	Hz		s ⁻¹
カ	ニュートン	N		m·kg·s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m^2	m ⁻¹ • kg • s ⁻²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N • m	m ² · kg · s ⁻²
	ワット	W	J/s	m ² · kg · s ⁻³
電荷,電気量	ク ー ロ ン	С		s • A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
静 電 容 量		F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
	オ ー ム	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
コンダクタンス	(A)	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
	ウェーバ	Wb	V·s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
	テスラ	T	Wb/m^2	kg • s ⁻² • A ⁻¹
インダクタンス		Н	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	$^{\circ}$ C		K
	ルーメン	l m	cd • sr (c)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
	ルクス	1 x	1m/m^2	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
(放射性核種の) 放射能		Bq		s ⁻¹
吸収線量,質量エネル		Gy	J/kg	m ² • s ⁻²
ギー分与,カーマ		- 7	J. 118	
線量当量,周辺線量当	97 995	c.,	T /1	m ² • s ⁻²
量,方向性線量当量,個 人線量当量,組織線量当		Sv	J/kg	m · s
八까里コ里,粗概炒里二				

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表 4 に示されている。
 (b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号"1"は明示されない。
 (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
 (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m℃のようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表 4 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含teSI組立単位の例

表4. 単位の中に	に固有の名称とその独目∅	り記号を含むSI組立単位の例			
組立量 SI 組立単位					
和北里	名称	記号 SI 基本単位による表し方			
粘 度	ゼパスカル秒	Pa·s m ⁻¹ ·kg·s ⁻¹			
力のモーメント	ニュートンメートル				
表 面 張 力	ニュートン毎メートル	N/m kg·s ⁻²			
角 速 度	きラジアン毎秒	rad/s $m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$			
	ほ ラジアン 毎 平 方 秒				
	ゼ ワット毎平方メートル	W/m^2 kg · s ⁻³			
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$			
質量熱容量(比熱容量),質量エントロピー	· ジュール毎キログラム - 毎ケルビン	$J/(kg \cdot K) \mid_{\mathbf{m}^2 \cdot \mathbf{s}^{-2} \cdot K^{-1}}$			
質量エネルギー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg $m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$			
熱 伝 導 辛	フット毎メートル毎ケ ルビン	$W/(m \cdot K)$ $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$			
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3 $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$			
電界の強さ	ボルト毎メートル	$V/m = m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$			
	クーロン毎立方メートル	C/m³ m⁻³⋅s⋅A			
電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	Association Control Nation			
誘 電 辛	スファラド毎メートル				
透磁率	ベンリー毎メートル				
モルエネルギー	ジュール毎モル	$J/mol m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$			
モルエントロピー, モ ル 熱 容 量	ジュール毎モル毎ケル ビン	$J/(mo1 \cdot K) = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$			
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム				
	ダグレイ毎秒	Gy/s $m^2 \cdot s^{-3}$			
	E ワット毎ステラジアン				
放 射 輝 度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 \cdot sr)$ $m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$			

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	0	1° = (π/180) rad
分	,	1' = $(1/60)^{\circ}$ = $(\pi/10800)$ rad
秒	"	1" = $(1/60)$ ' = $(\pi/648000)$ rad
リットル		11=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg
ネーパ ベル	Np	1Np=1
ベル	В	1B=(1/2) ln10(Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位で SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733(49)×10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位		1u=1.6605402(10)×10 ⁻²⁷ kg
天 文 単 位	ua	1ua=1.49597870691(30) × 10 ¹¹ m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と 併用されるその他の単位

	名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海	里		1海里=1852m
1	ット		1 ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
7	ール	a	1 a=1 dam ² =10 ² m ²
^	クタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バ	ール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オン	/ グストローム	Å	1 Å=0. 1nm=10 ⁻¹⁰ m
バ	ン	b	1 b=100fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

表 9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エル	グ erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイ	ン dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポ ア	ズ P	1 P=1 dyn • s/cm ² =0.1Pa • s
ストーク	ス St	1 St = $1 \text{cm}^2/\text{s}=10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$
ガ ウ	ス G	1 G 10 ⁻⁴ T
エルステッ	ド 0e	1 Oe $(1000/4\pi)$ A/m
マクスウェ	ル Mx	1 Mx 10 ⁻⁸ Wb
スチル	ブ sb	1 sb = $1 \text{cd/cm}^2 = 10^4 \text{cd/m}^2$
ホ	ト ph	1 ph=10 ⁴ 1x
ガ	ル Gal	$1 \text{ Gal } = 1 \text{cm/s}^2 = 10^{-2} \text{m/s}^2$

表10 国際単位に属さないその他の単位の例

表10. 国际単位に属さないでの他の単位の例						
	3	名称	\$		記号	SI 単位であらわされる数値
丰	ユ		IJ	Í	Ci	1 Ci=3. 7×10^{10} Bq
ν	ン	F	ゲ	ン	R	$1 R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg$
ラ				K	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
V				A	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
X	線		単	位		1X unit=1.002×10 ⁻⁴ nm
ガ					γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{T}$
ジャンスキー					Jу	1 Jy=10 ⁻²⁶ W • m ⁻² · Hz ⁻¹
フ	x		ル	1		1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メー	ートル	系:	カラ	ット		1 metric carat = 200 mg = 2×10^{-4} kg
卜				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カ	口		IJ	_	cal	
3	ク		D	ン	u	1 u =1um=10 ⁻⁶ m