JAEA-Review
2007-050

JAEA-Review

地層処分技術に関する知識基盤の構築

ー平成18年度報告ー

Development and Management of the Knowledge Base for the Geological Disposal Technology

- Annual Report 2006 -

梅田 浩司　大井 貴夫　大澤 英昭　大山 卓也
小田 治恵　亀井 玄人　久慈 雅栄*　黒澤 英樹
小林 保之　佐々木 康雄　佐藤 治夫　真田 祐幸
澤田 淳　仙波 毅　谷口 直樹　竹内 真司
棚井 憲治　田力 正好　鶴田 忠彦　内藤 守正
中山 雅　新里 忠史　久野 義夫　藤島 敦
藤田 朝雄　藤原 健壮　舟木 泰智　本田 明
前川 恵輔　三原 守弘　宮原 要　安江 健一

Koji UMEDA, Takao OHI, Hideaki OSAWA, Takuya OYAMA
Chie ODA, Gento KAMEI, Masayoshi KUJI*, Hideki KUROSAWA
Yasushi KOBAYASHI, Yasuo SASAKI, Haruo SATO, Hiroyuki SANADA
Atsushi SAWADA, Takeshi SEMBA, Naoki TANIGUCHI, Shinji TAKEUCHI
Kenji TANAI, Masayoshi TAJIKARA, Tadahiko TSURUTA, Morimasa NAITO
Masashi NAKAYAMA, Tadafumi NIIZATO, Yoshio KUNO, Atsushi FUJISHIMA
Tomoo FUJITA, Kenso FUJIWARA, Hironori FUNAKI, Akira HONDA
Keisuke MAEKAWA, Morihiro MIHARA, Kaname MIYAHARA and Ken-ichi YASUE

地層処分研究開発部門
知識化グループ

Knowledge Management Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

December 2007

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

地層処分技術に関する知識基盤の構築
－平成 18 年度報告－

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門

梅田 浩司[+3]，大井 貴夫[+2]，大澤 英昭[+1]，大山 卓也[+3]，小田 治恵[+2]，亀井 玄人[+2]，
久慈 雅栄[*]，黒澤 英樹[※1]，小林 保之[+2]，佐々木 康雄[+2]，佐藤 治夫[+4]，真田 祐幸[+4]，
澤田 淳[+2,+5]，仙波 毅[+3]，谷口 直樹[+2,+5]，竹内 真司[+3]，棚井 憲治[+2,+5]，田力 正好[※1]，
鶴田 忠彦[+3]，内藤 守正[+2]，中山 雅[+2]，新里 忠史[+4]，久野 義夫[※2]，藤島 敦[+1]，
藤田 朝雄[+2]，藤原 健壮[+5,+2]，舟木 泰智[+4]，本田 明[+2]，前川 恵輔[+4]，三原 守弘[+2]，
宮原 要[+2]，安江 健一[+3]

（2007 年 12 月 4 日受理）

日本原子力研究開発機構（以下，原子力機構）では，日本における地層処分の技術的信頼性をさらに高めるため，地層処分研究開発と深地層の科学的研究を行っている。

地層処分研究開発においては，茨城県の東海村にある研究施設で得られた人工バリアの長期性能や放射性物質の溶解・移行に関する実験データなどをもとに，深地層の研究施設で得られる情報も活用して，地層処分の工学技術や安全評価のための手法の高度化を進めている。また，TRU 廃棄物の地層処分研究開発についても進めている。

深地層の科学的研究については，地層処分の場となる深地層を総合的に研究するため，花崗岩を対象とした岐阜県の瑞浪超深地層研究所と，堆積岩を対象とした北海道の幌延深地層研究所の 2 つの深地層の研究施設計画を進めており，現在，坑道を掘削しながら調査を行う段階に入っている。また，地質環境の長期安定性に関して，断層活動や火山活動などの天然現象を対象とした事例研究をあわせて行っている。

これらの研究開発と並行し，地層処分の安全確保にかかわる様々な論拠や科学的知見などを知識ベースとして体系的に管理し，伝達・継承していくための知識マネジメントシステムの開発を進めている。

本報告書は，2006 年度（平成 18 年度）の各々の研究開発の現状とトピックスを取りまとめたものである。

東京事務所（駐在）：〒100-8577　東京都千代田区内幸町 2-1-8
+1 研究開発統括ユニット
+2 地層処分基盤研究開発ユニット
+3 東濃地科学研究ユニット
+4 幌延深地層研究ユニット
+5 核燃料サイクル工学研究所　環境技術管理部　処分技術課
※1 技術開発協力員（東濃地科学研究ユニット）
※2 技術開発協力員（地層処分基盤研究開発ユニット）
*　前田建設工業株式会社

（執筆者は五十音順）

Development and Management of the Knowledge Base for the Geological Disposal Technology - Annual Report 2006 -

Koji UMEDA[+3], Takao OHI[+2], Hideaki OSAWA[+1], Takuya OYAMA[+3], Chie ODA[+2], Gento KAMEI[+2], Masayoshi KUJI[*], Hideki KUROSAWA[※1], Yasushi KOBAYASHI[+2], Yasuo SASAKI[+2], Haruo SATO[+4], Hiroyuki SANADA[+4], Atsushi SAWADA[+2,+5], Takeshi SEMBA[+3], Naoki TANIGUCHI[+2,+5], Shinji TAKEUCHI[+3], Kenji TANAI[+2,+5], Masayoshi TAJIKARA[※1], Tadahiko TSURUTA[+3], Morimasa NAITO[+2], Masashi NAKAYAMA[+2], Tadafumi NIIZATO[+4], Yoshio KUNO[※2], Atsushi FUJISHIMA[+1], Tomoo FUJITA[+2], Kenso FUJIWARA[+5,+2], Hironori FUNAKI[+4], Akira HONDA[+2], Keisuke MAEKAWA[+4], Morihiro MIHARA[+2], Kaname MIYAHARA[+2] and Ken-ichi YASUE[+3]

Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(Received December 4, 2007)

To increase technical reliability in geological disposal technology of high-level radioactive waste, JAEA have been conducting R&D activities in the fields in the repository engineering, performance assessment (PA) of the geological disposal system, and geoscientific study.

In the field of R&D on the repository engineering, laboratory experimental studies at Tokai Research Center are carried out by engineering-scale and non-radiogenic experiments. The studies on performance assessment include more realistic model development with extensive computer analyses and acquisition of basic data concerning the chemical properties and migration behavior of radionuclides under geological disposal conditions. The information obtained from the Underground Research Laboratories (URLs) is used to provide a realistic condition of geological environments for these studies. The R&D studies are also carried out for TRU waste.

+1 Research and Development Integration Unit
+2 Geological Isolation Research Unit
+3 Tono Geoscientific Research Unit
+4 Horonobe Underground Research Unit
+5 Waste Isolation Technology Section, Waste Management Department, Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
※1 Collaborating Engineer (Tono Geoscientific Research Unit)
※2 Collaborating Engineer (Geological Isolation Research Unit)
* Maeda Corporation

A particular JAEA R&D activity is to promote the projects of two Underground Research Laboratories (URLs): one at Mizunami city, in crystalline rock and the other at Horonobe town, in sedimentary rock. In the present stage (2nd R&D phase) of the URL projects, the investigation are being carried out during the excavation of shafts and drifts. Data obtained from the investigations will serve to verify and refine the results from the surface-based investigations and characterize the evolution of the geological environment during drift excavation. The research on natural processes, such as fault and volcanic activities, is also conducted to provide better understanding of long-term stability on the geological environment.

JAEA has initiated a project to develop the next generation of novel knowledge management system (KMS) to develop and manage the technical knowledge base for supporting implementers and regulators. This knowledge base includes all technical achievements by the JAEA as well as know-how and experience which have been accumulated in individual technical experts.

This document serves the annual report which summarizes the results and major topics in the JAEA R&D activities carried out in the Japanese fiscal year of 2006 (April 2006 – March 2007).

Keywords: Geological Disposal Technology, High-level Radioactive Waste, TRU Waste, Repository Engineering, Performance Assessment, Geoscientific Study, KMS

目次

Contents

はじめに

平成 17 年 10 月 1 日に新法人「日本原子力研究開発機構(原子力機構)」が発足し，新たな研究開発部門として地層処分研究開発部門が船出しました。研究開発内容は，前身の核燃料サイクル開発機構(サイクル機構)が進めてきた「地層処分技術に関する研究開発」を全面的に引き継いでいます。具体的には，瑞浪超深地層研究所および幌延深地層研究所の二つの深地層の研究施設，並びに東海研究開発センターの地層処分基盤研究施設(ENTRY)，地層処分放射化学研究施設(QUALITY)などの施設を活用し，高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発を鋭意実施しています。併せて，東海研究開発センターにおいては TRU 廃棄物の地層処分に係る研究開発を実施しています。

高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に係る研究開発は，地層処分システムに関わる工学技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化を目指した「地層処分研究開発」と，その基盤となる「深地層の科学的研究」から構成されます。「地層処分研究開発」としては，東海研究開発センターにおける地上の実験施設を活用した，人工バリアの長期的な健全性や放射性物質の溶解・移行などに関するデータの充実とモデルの高度化，あるいは，深地層の研究施設で得られるデータを用いた地層処分システムの設計・安全評価手法の適用性確認などを進めています。「深地層の科学的研究」では，自然科学的なアプローチを取り入れつつ，二つの深地層の研究施設などを活用して，地質環境を調査・評価する技術の体系化や適用性確認などを進めています。

一方，TRU 廃棄物の地層処分に係る研究開発は，高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発で培われた知見を基盤に，TRU 廃棄物の物理的・化学的特性や処分場構成材料の特徴などに合わせ，高アルカリ環境や硝酸塩等がバリア性能や核種移行へ及ぼす影響など，TRU 廃棄物の処分に特有な課題に関する研究を中心に進めています。

サイクル機構時代には毎年度，「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発」と題する研究開発の成果報告書を発刊してきました。原子力機構となった最初の年度の平成 17 年度は，平成 12 年に公表した「第 2 次取りまとめ」以降進めてきた研究開発成果の取りまとめとして，平成 17 年 9 月にサイクル機構として最後の報告書「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構築－平成 17 年度取りまとめ－地層処分技術の知識化と管理」(H17 取りまとめ)を公開したこともあり，特に年度報告書の作成は行いませんでした。また，TRU 廃棄物の処分に関しても，平成 17 年 9 月にサイクル機構として電気事業者との共著で，「TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ」を公開しています。そのため，本報告書は，原子力機構として最初に取りまとめた地層処分技術に関する研究開発の年度報告書となります。

平成 17 年には原子力政策大綱が公表され，今後の地層処分研究開発の役割や進め方などが示されました。その中で，研究開発成果が知識基盤として整備・維持されることの重要性が示されています。独立行政法人としての原子力機構の現中期目標でも，原子力機構の重要な役割の一つは技術の体系化／知識化とされています。一方，この間の議論を受け，地層処分基盤研究開発調整会議が発足し，関係機関の研究開発を体系化することが明確に意図されました。こうした動き

の中で，研究開発の個々の成果はもとより，それらがどのように体系化されようとしているのかといった全体像を多くの方にお伝えすることが重要となって来ています。また，体系化の基礎となる個々の研究開発は着実に進められ，多くの成果が得られて来ています。このことをご紹介しつつ，私どもが行っている地層処分技術に関する研究開発の全体像をつかんでいただくことが重要と考えています。

新たに原子力機構として年度報告書を作成するにあたり，サイクル機構時代の年度報告書とは異なるスタイルでの取りまとめを行いました。従来のものが，サイクル機構で行われた高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発全般を網羅した厚い「技術レポート」であったのに対し，内外にアピールできる情報発信機会と位置付け，TRU 廃棄物の地層処分研究も含め，成果の要点を 18 年度に特に成果を挙げたトピックスを中心に，研究開発のトレンドを読者の方々にできるだけ時間をかけないで把握していただけるよう工夫しました。そのため，私どもが行っている研究プロジェクト毎に「プロジェクト報告」を紹介した上で，それぞれのプロジェクトに関し数件のトピックスを選んで，その内容を要領よくまとめ紹介することといたしました。また，巻末には技術的な専門の方々が，研究内容の詳細にアクセスしていただけるよう「参考文献一覧」を分野毎に網羅いたしました。

本年度報告書は，このようにトピックの紹介とインデックス機能としての活用を特徴としています。この報告書をご覧いただき，私どもが行っている研究開発の全体像をご理解いただいた上で，さらに詳細なレベルの報告書や論文などにご興味を持っていただく機会をご提供できれば本書の目的は達成されます。

しかし，このような試みは初めてのものであり，不十分な点が多々あろうかと存じます。年度報告書は次年度以降も引き続き発刊する予定ですので，皆様にとって少しでも役立つものとなるよう，今後もそのあり方について検討し，より良いものとして行きたいと考えております。

平成 19 年 9 月
地層処分研究開発部門
部門長　河田東海夫

本年度報告書をご覧いただいての，ご意見・ご感想をぜひ下記宛お寄せ下さい。

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門　知識化グループ　（担当）大澤英昭
〒100-8577　東京都千代田区内幸町 2 丁目 1 番 8 号　新生銀行本店ビル 12 階
Fax:　03-5157-1921
E-mail:　chiso-nenpou@jaea.go.jp

1. 地層処分技術に関する研究開発

研究開発の枠組みと計画

日本における高レベル放射性廃棄物（High-level radioactive waste: HLW）の地層処分技術に関する研究開発は，日本原子力研究開発機構（以下，原子力機構）あるいは，その前身である核燃料サイクル開発機構（以下，サイクル機構）や動力炉・核燃料開発事業団が中心となって，1970 年代後半から 30 年以上にわたって進められてきた。原子力機構（当時，サイクル機構）は，1999 年 11 月に，それまでの研究開発成果を取りまとめ（以下，第 2 次取りまとめ），国に報告した。第 2 次取りまとめは，幅広い地質環境を対象として日本において安全な地層処分が技術的信頼性をもって実現できる見通しを提示したものであり，これを技術的な拠り所として，2000 年 5 月に地層処分事業の実施の枠組みを定めた法律が成立した。これによって日本の地層処分計画は事業の段階へと移行し，同年 10 月には「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（平成 12 年，法律第 117 号）（以下，最終処分法）に基づき，事業の実施主体である原子力発電環境整備機構（以下，NUMO）が設立された。あわせて，安全規制に関する審議も開始されている。

最終処分法は，概要調査地区の選定，精密調査地区の選定，最終処分施設建設地の選定という 3 段階の選定プロセスを経て処分場を立地することが規定されている。また，同法に基づき，「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」[1]と「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」（以下，最終処分計画）[2]が策定された。これらによれば，2035 年前後からの操業開始を目指した計画が示されている。また，事業の進展と並行して，原子力安全委員会および原子力安全・保安院では，安全規制に関する指針類等，法制度の整備が進められている[3)4)など]。

第 2 次取りまとめ以降の研究開発については，「原子力の研究，開発及び利用に関する長期計画（平成 12 年度）」において，「核燃料サイクル開発機構等は，これまでの研究開発成果を踏まえ，今後とも深地層の研究施設，地層処分放射化学研究施設等を活用し，地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けて研究開発を着実に推進することが必要である」とされた。これを受けて原子力機構（当時，サイクル機構）は引き続き研究開発を進め，2005 年，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同時に，地層処分の安全確保の考え方の構築，また，システムの安全評価といった作業を実施するうえで必要となる多様かつ大量な情報を知識として構造化し，実施主体や規制関連機関等のステークホルダーの要望に応じて提供するとともに，新たな知識の創造や次世代への継承などを行うという，地層処分技術を知識管理の枠組みで捉えるアプローチを提案して以降の研究開発の方向性を示し，研究開発報告書「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－平成 17 年度取りまとめ－地層処分技術の知識化と管理－」[5]（以下，H17 取りまとめ）として公表した。

このような取り組みについては，2005 年 10 月に公表された原子力政策大綱[6]において，「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」とされている。また，「研究開発機関等は，放射性廃棄物の効果的で効率的な処理・処分を行う技術の研究開発を先進的に進める」こと，「国，研究開発機関及び NUMO は，それぞれの役割分担を踏まえつつ，密接な連携の下で，高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る研究開発を着実に進めていく」こと，「日本原子力研究開発機構を中心とした研究開発機関は，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」ことが期待されている。

これを受け，原子力機構のほか，資源エネルギー庁調査等事業として複数の研究開発機関によって行われていた地層処分技術に関する研究開発をより効果的，効率的に進め，成果の体系化を図るため，平成 17 年に地層処分基盤研究開発調整会議（以下，調整会議）が発足し，資源エネルギー庁と原子力機構をはじめとする国の基盤研究開発の実施機関を中心に，NUMO や規制関連機関等の参加も得て地層処分研究開発の位置づけや当面 5 年間の計画についての議論が開始された[1]。

---

[1] 本調整会議の議論の結果，2006 年 12 月に「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」[7]および「TRU 廃棄物の地層処分研究開発に関する全体基本計画」[8]が策定された。

このような背景に留意しつつ，原子力機構は，「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）」（以下，中期計画）を策定した。その中で，HLW の地層処分研究開発については，「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も連携して研究開発を進めることを示した。研究開発の成果は，NUMO が進める処分事業と，国による安全規制の両面を支える技術的な知識基盤として体系化し，これによって概要調査地区選定，精密調査地区選定，最終処分施設建設地選定における技術的支援や処分事業の段階的な意思決定などに貢献することとしている（図 1）。

地層処分研究開発は，工学技術の信頼性向上のための研究開発（工学技術の開発）と，安全評価手法の高度化のための研究開発（安全評価手法の開発）の 2 つのプロジェクトで構成されている。これらによって，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。また，深地層の科学的研究の成果を利用し，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の安全評価モデルを整備するとともに，設計，安全評価手法の深部地質環境での適用性確認をする。

深地層の科学的研究は，2 つの深地層の研究施設計画（超深地層研究所計画，幌延深地層研究計画）と地質環境の長期安定性に関する研究の 3 つのプロジェクトで行われている。深地層の研究施設計画では，岐阜県瑞浪市において結晶質岩と淡水系地下水，北海道幌延町において堆積岩と塩水系地下水を対象として研究を行っている。中期計画期間中では，地上からの調査研究の成果を取りまとめるとともに，坑道掘削時の調査研究を進める。これらによって得られる地質環境データに基づき，地上からの調査研究で構築した地質環境モデル（地質構造，岩盤力学，水理，地球化学）を確認しつつ，地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性の評価を行い，これらを通じて，最終処分施設建設地の選定の過程で実施される精密調査における地上からの調査で必要となる調査・評価技術を整備する。さらに，坑道掘削に係る工学技術や影響評価手法についても検討を行い，適用性や信頼性を確認するとともに，その後の調査研究計画をより具体的なものとする。地質環境の長期安定性に関する研究については，精密調査地区の選定において重要となる地質環境条件に留意して，天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための調査技術の体系化やモデル開発等を進めることとしている。

上記の二つの領域で進める研究開発は相互の連携を取りつつ行う。深地層の科学的研究によって得られたデータや知見は，地層処分研究開発において，設計・評価手法やモデル，データベースの開発，技術の適用性の確認などに用いられる。また，地層処分研究開発において工学技術や安全評価手法の体系化に関する検討が行われ，その検討内容は深地層の科学的研究の内容にフィードバックされる。地層処分研究開発および深地層の科学的研究で得られた成果は，長期にわたる処分事業や安全規制の策定に資するための知識基盤として体系的に取りまとめ，これを適切に管理・継承していくことを目的として知識マネジメントシステムを開発する。

原子力機構は中期計画を達成するため，「独立行政法人日本原子力研究開発機構の平成 18 年度の業務運営に関する計画（年度計画）（平成 18 年 4 月 1 日～平成 19 年 3 月 31 日）」（以下，年度計画）を策定し，2006 年度の計画を示した。これに基づいて，二つの研究領域である地層処分研究開発，深地層の科学的研究で進められる各プロジェクトに関して具体的な計画 [9)-12)]を明らかにし，研究開発を進めた[2]（各々のプロジェクト報告参照）。

これらの研究開発は，東海研究開発センターの地層処分基盤研究施設（エントリー）および地層処分放射化学研究施設(クオリティ)，東濃地科学センターの超深地層研究所，および幌延深地層研究センターの幌延深地層研究所の研究開発施設を活用して行っている（図 2）。また，地層処分技術に関する研究開発を進める地層処分研究開発部門は，研究開発推進室と 4 つのユニット（研究開発統括ユニット，地層処分基盤研究開発ユニット，東濃地科学ユニット，幌延深地層研究ユニット）から構成されている。研究開発統括ユニットは研究開発の計画策定と研究成果の知識化を，東海研究開発センターの地層処

[2] 調整会議で 2006 年 12 月に策定された「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」[7)]（以下，HLW 全体計画）の内容を反映しつつ，研究開発を展開している。

分基盤研究開発ユニットは地層処分研究開発を，そして東濃地科学センターの東濃地科学研究ユニットと幌延深地層研究センターの幌延深地層研究ユニットは深地層の科学的研究を行っている。

一方，TRU 廃棄物の地層処分研究開発については，中期計画の中で TRU 廃棄物の廃棄体の物理的・化学的特性，核種移行への影響等に関する研究開発ならびに処分場の設計・安全評価に関するデータ取得等を進めることとしている。また，調整会議の場において，HLW の地層処分研究開発と同様に「TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画」[8]（以下，TRU 全体基本計画）を作成し，課題と関係機関の役割を明確にしてより効果的，効率的に研究開発を進めている。地層処分研究開発部門では，TRU 廃棄物の処理処分の担当であるバックエンド推進部門に協力し，地層処分基盤研究開発ユニットにおいてこれら TRU 廃棄物の地層処分研究開発を併せて進めている。

報告書の構成

本報告書では，2006 年度の HLW の地層処分研究開発の概要や成果を 2 章（2.1 地層処分研究開発，2.2 深地層の科学的研究（2.2.1 超深地層研究所計画，2.2.2 幌延深地層研究計画，2.2.3 地質環境の長期安定性に関する研究））に示す。幌延深地層研究計画における地層処分研究開発は 2.1，同計画における地質環境の長期安定性に関する研究は 2.2.3 で説明する。また，HLW に関する地層処分技術を統合するための知識マネジメントシステムの開発の現状を 3 章に紹介した。さらに，TRU 廃棄物の地層処分研究開発の概要と成果を 4 章に述べている。2 章から 4 章の研究開発成果に関して公表した論文や報告書などの参考文献一覧を 5 章に示す。

参考文献

1) 通商産業省（2000）：“特性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 591 号.
2) 通商産業省（2000）：“特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画を定めた件”，平成 12 年 10 月 2 日，通商産業省告示第 592 号.
3) 原子力安全委員会（2002）：“高レベル放射性廃棄物の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について”，平成 14 年 9 月 30 日.
4) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会（2003）：“廃棄物安全小委員会報告書－高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて”，平成 15 年7月8日.
5) 核燃料サイクル開発機構（2005）：“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－平成 17 年度取りまとめ－地層処分技術の知識化と管理－”，JNC TN1400 2005-020.
6) 原子力委員会（2005）：“原子力政策大綱”，平成 17 年 10 月 11 日.
7) 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構（2006）：“高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”，2006 年 12 月.
8) 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構（2006）：“TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画”，2006 年 12 月.
9) 宮原要ほか（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”，JAEA-Review 2006-015.
10) 日本原子力研究開発機構（2007）：“超深地層研究所計画 年度計画書（2006 年度）”，JAEA-Review 2007-037.
11) 日本原子力研究開発機構（2006）：“幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究計画”，2006 年 3 月.
12) Matsui, H., Niizato, T., Yamaguchi, T. (Eds.) (2006): “Horonobe Underground Research Laboratory Project -Investigation Program for the 2006 Fiscal Year-”, JAEA-Research 2007-041.

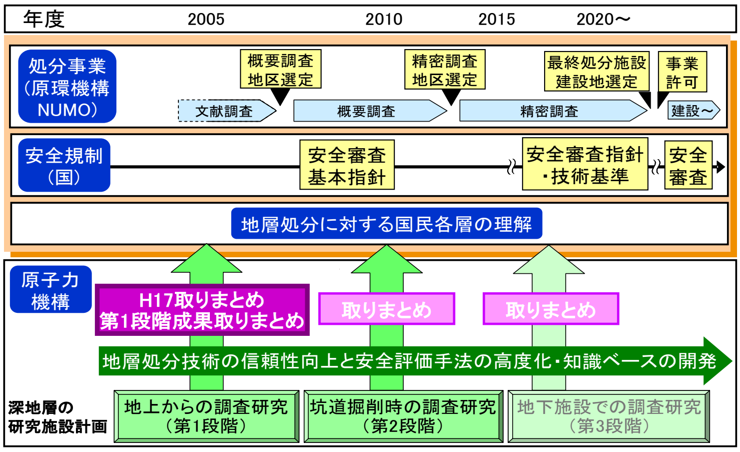


図 1 研究開発成果の段階的な取りまとめと反映

図 2 原子力機構における研究開発施設

2. 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発

2. 1　地層処分研究開発

2. 1. 1　工学技術の開発

研究の概要

原子力機構では中期計画および年度計画[1]にしたがい，処分場の工学技術の研究開発を実施している(「1. 地層処分技術に関する研究開発」参照)。処分場の工学技術の研究開発は，人工バリアや処分施設の設計，建設，操業，閉鎖など処分施設の構築に必要な「処分場の設計・施工技術」と，人工バリアとその周囲近傍の岩盤からなるニアフィールド環境の長期的な変遷評価に関するモデル開発やデータベース整備などの「長期健全性評価技術」に大別される。さらに，国の基盤研究開発では，関連機関が行うこれらの個々の成果を体系的に集約するために，HLW 全体計画[2]の中にもう一つの分類「処分場の総合的な工学技術」が表 1 に示すように新たに追加された。

表 1　国の基盤研究開発における処分場の工学技術の枠組み

分類	細目	
(1)処分場の総合的な工学技術	①URL における適用性検討	
	②工学技術オプション	
(2)処分場の設計・施工技術	①人工バリア	a)オーバーパック
		b)緩衝材
	②支保・グラウト・シーリング	a)シーリング
		b)支保(低アルカリ性セメント)
		c)グラウト
	③建設・操業・閉鎖等の工学技術	a)建設技術
		b)操業技術
		c)閉鎖技術
		d)品質管理
		e)回収技術
(3)長期健全性評価技術	①ガラス固化体	
	②緩衝材	a)緩衝材の長期力学的変形挙動
		b)緩衝材の長期変質挙動
		c)緩衝材流出・侵入挙動
	③セメント・コンクリート	
	④岩盤	
	⑤熱-水-応力-化学連成評価技術	
	⑥ガス移行挙動	
	⑦人工バリアせん断応答挙動	

平成 18 年度の実施概要

原子力機構が平成 18 年度に実施した研究開発は表 1 の黄色で色付けした項目に該当し，以下にその概要を示す。平成 18 年度は特にデータの質と量の強化に焦点をあてている。

(1) 処分場の総合的な工学技術

これまで開発を行ってきた処分場全体の設計技術を体系的に評価するために，幌延深地層研究計画の第 1 段階で得られた情報を基に，その適用性の検討を実施した。

(2) 処分場の設計・施工技術

人工バリアの技術開発のうち，オーバーパックについてはオーバーパック寿命評価手法の体系的な整備に向け，銅などの材料選定に向けた基盤情報整備，さらに溶接・検査技術や溶接部の耐食性評価手法の提示，長寿命化に関わる概略評価等を実施した。一方，緩衝材については塩水環境も含めた緩衝材基本特性データベースの公開・更新，セメント影響に関する基本特性データの拡充などを実施した。

支保・グラウト・シーリングの技術開発では，様々な地質環境に対する閉鎖要件の明確化や止水プラグ／埋め戻し材の基盤情報の整備に加え，低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置試験計画案の策定や配合選定試験などを実施した。

建設・操業・閉鎖等の工学技術のうち，建設技術については，深地層の研究施設での掘削段階における設計・施工技術の適用事例や留意点を抽出した。閉鎖技術について結晶質岩における閉鎖システム性能に関する要件の取りまとめなどを行った。

(3) 長期健全性評価技術

「長期健全性評価技術」の研究開発は主にモデルの高度化や現象理解の向上が中心となっている。緩衝材については，長期力学的変形として岩盤クリープとの連成モデル構築や海水系地下水条件下でのクリープモデルの適用性確認を実施した。また鉄との共存下での緩衝材の変質挙動を把握するため，10 年間鉄と接触していた圧縮ベントナイト試料を取出し分析を開始した。さらに岩盤亀裂への緩衝材の流出/侵入挙動として，X 線 CT を用いた亀裂内の緩衝材密度分布の把握や，実際の岩石等を用いた現実的なデータの取得と挙動評価に向けた検討を実施した。

岩盤については，掘削段階に向けた岩盤の長期力学挙動評価手法の検証やセメント影響に関するスイスとの国際共同研究を進めた。

その他，熱−水−応力−化学連成試験(COUPLE)装置を用いた研究を継続するとともに，具体的な地質環境を考慮したガス移行特性データの整備や力学連成ガス移行モデルの検討，並びに断層ずれのせん断速度の効果を考慮した評価手法の検討を行った。

平成 18 年度の主な成果

(1) 処分場の総合的な工学技術

幌延深地層研究計画の第 1 段階で得られた情報を用いた設計技術の適用性検討結果とともに，必要な技術の改良や代替技術の開発状況を，同計画第 1 段階の分冊報告書として取りまとめた [3)]。

(2) 処分場の設計･施工技術

炭素鋼以外の候補材料の一つである銅オーバーパックの腐食挙動として，純銅の腐食に影響を及ぼす硫化物濃度の影響試験から，硫化物の濃度条件によっては 10 万年を超えるオーバーパック寿命を期待できる可能性が示唆 [4)] され，代替材料を含むオーバーパックの技術基盤が強化された。

一方，緩衝材については，平成 18 年 3 月に公開した緩衝材基本特性データベースの更新に加え，英語版を整備 [5)] し，諸外国へ成果を発信した。

支保工（低アルカリ性コンクリート製）の技術開発では，幌延深地層研究計画で用いる骨材や結合材を使ったフレッシュ性状試験や圧縮強度試験を行い，その結果から，今後，幌延深地層研究計画で行う施工試験に向けた低アルカリ性コンクリートの配合（水結合材比 35%程度）を設定した [6)]。

閉鎖技術については，カナダとの国際共同研究の成果を基に結晶質岩での閉鎖要素（プラグ，埋め戻し材等）に期待すべき要件を取りまとめる [7)] とともに，これまでの坑道規模での検討を基に，閉鎖要素の相互影響を考慮した処分場パネル規模での水理解析を実施して閉鎖性能の検討を行った結果，全体の地下水流動や通過流量等に対して，粘土プラグの設置位置や埋め戻し材の透水係数，動水勾配の方向が大きく影響することがわかった [8)]。さらに，閉鎖後の長期性能の観点から処分場の設計や建設上の留意点の取りまとめを行った [9)]。

平成 18 年度の研究開発ではデータの質と量が特に強化されたことから，次のトピック報告では，上記の「硫化物を含む環境における純銅の腐食挙動の検討」，「緩衝材基本特性データベースの拡充」，「支保工用低アルカリ性吹付けコンクリートの開発」，および「結晶質岩における処分場閉鎖性能に関わる要件」の 4 つの成果についてさらに詳述する。

(3) 長期健全性評価技術

緩衝材の長期力学的変形挙動については，周囲の岩盤や支保工，埋め戻し材の挙動を一括した力学連成モデルを構築し，よりリアリティのある条件での解析評価に向けた検討が可能となった [10)]。今後はモデルの妥当性を確認するとともに，解析条件の適正化，支保工の劣化挙動といった課題に取り組む。また，緩衝材の流出/侵入現象については，X 線 CT による亀裂侵入密度分布データの拡充や，流速とコロイド生成濃度との関係を蓄積することにより，現象の理解向上のための知見が蓄積された。

さらに，実際のトンネル現場の計測データを基に行ったニアフィールド岩盤の長期力学挙動予測評価モデルの検証 [11)] や，COUPLE 装置による熱−水−応力−化学連成モデルの検証を進めモデルの信頼性が向上した。その他，幌延深地層研究計画のコアを用いた透気特性データの取得や人工バリアのせん断試験を行い，現象理解のためのデータが拡充した。

今後の計画

今後は，原子力機構が策定する中期計画と，これと整合が取られている国の HLW 全体計画 [2)] にしたがい，設定された各課題に対し，各課題間や他の分類あるいは 工学技術以外のプロジェクトといった様々なレベルでの相互の連携や情報交換に配慮していくことが重要となる。また，国の全体計画で処分場の工学技術分野に新たに設けられた分類「処分場の総合的な工学技術」（表 1）では，関連機関の研究開発成果も含め個々の成果を一連の技術体系として統合していく計画である。

（執筆者：内藤守正）

参考文献

1) 日本原子力研究開発機構(2006)：“独立行政法人日本原子力研究開発機構の平成18年度の業務運営に関する計画(年度計画)(平成 18 年 4 月 1 日～平成 19 年 3 月 31 日)”.
2) 資源エネルギー庁, 日本原子力研究開発機構(2006)：“高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”, 2006 年 12 月.
3) 藤田朝雄ほか(2007)：“幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書, 分冊「地層処分研究開発」”, 平成 19 年 3 月, JAEA-Research 2007-045.
4) 谷口直樹, 川崎学, 内藤守正(2007)：“低酸素濃度環境における純銅の腐食挙動に及ぼす硫化物の影響と銅オーバーパック寿命の超長期化の可能性”, JAEA-Research 2007-022.
5) 緩衝材基本特性データベース 英語版(2007)：http://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/index_e.jsp.
6) 中山雅, 小林保之, 入矢桂史郎, 小西一寛(2007)：“低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討(2)幌延 URL における原位置試験への適用性検討”, 日本原子力学会秋の大会.
7) 藤田朝雄, 須山泰宏, 戸井田克(2007)：“結晶質岩における閉鎖要素に期待すべき性能要件”, JAEA-Research 2007-021.
8) 杉田裕, 高橋美昭, 浦上学, 北山一美, 藤田朝雄, 油井三和(2007)：“処分システムに求められる閉鎖性能の考え方－処分場パネル規模の水理に関する試解析－”, JAEA Research 2007-023.
9) 山田勉, 平本正行, 小林保之, 油井三和, 佐藤治夫, 松井裕哉(2007)：“処分場建設の際に持ち込まれる材料の長期性能評価の観点からの留意点”, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Review 2007-008.
10) 西村繭果, 棚井憲治, 高治一彦, 重野善政, 下河内隆文(2007)：“ニアフィールドの長期力学連成解析手法の構築”, JAEA―Research2007-004.
11) 平本正行, 小林保之, 青柳茂男, 宮野前俊一, 森田篤(2007)：“ニアフィールド岩盤の長期力学挙動予測評価手法の信頼性向上に関する検討”, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2007-003.

【工学技術の開発 トピック報告(1)】
硫化物を含む環境における純銅の腐食挙動の検討

研究の概要

オーバーパック候補材料(炭素鋼, チタン, 銅)のうち, 銅は, 一般的に低酸素濃度条件で熱力学的に安定であり [1], この特性が生かされるならば極めて長い寿命を期待できる可能性がある。銅はスウェーデン, フィンランド, カナダにおいても処分容器の耐食性を担う材料として検討されており, 10 万年を超える極めて長い寿命が期待されている [2]。しかし, 硫化物の存在により低酸素濃度条件での熱力学的安定性は失われてしまうことが知られている [3]。一般的に日本における地下水中硫化物濃度は0.0003M以下とされているが, 海水系地下水を想定した熱力学平衡に基づく計算では約 100 倍の濃度が算出されている [4]。このような高濃度の硫化物濃度条件は硫酸塩還元菌の作用などによる影響を受けた場合に想定される。そこで硫化物を含む環境でのオーバーパックとしての銅の適用性評価や硫化物濃度による寿命への影響評価などに資することを目的として, 銅の腐食挙動に及ぼす硫化物濃度の影響に関する検討を行っている。これまでに硫化物濃度と腐食速度, 応力腐食割れ感受性の関係などを実験的に調べた。また, 硫化物濃度による銅オーバーパック寿命への影響について検討を行った。以下にその代表的な成果を示す。

研究の成果

(1) 純銅の腐食速度に及ぼす硫化物濃度の影響

前述のとおり硫化物濃度の高い条件は主に海水系地下水で想定されているため [4], 人工海水を試験溶液として用い, 緩衝材中における期間 2 年間までの浸漬試験を行った。試験片の重量減少量測定によって得られた腐食量を図 1 に示す。硫化物濃度の増加とともに, 明らかに腐食量も増加する傾向が確認された。実験データを最小自乗法により 1 次式で近似し, その傾きから算出した腐食速度の値も図中に示した。硫化物濃度が 0.001M 程度であれば腐食速度は 1μm/y 以下と非常に小さく, 第 2 次取りまとめにおいて [5], オーバーパックの設計寿命とした 1000 年間よりも極めて長い寿命を達成できる可能性がある。

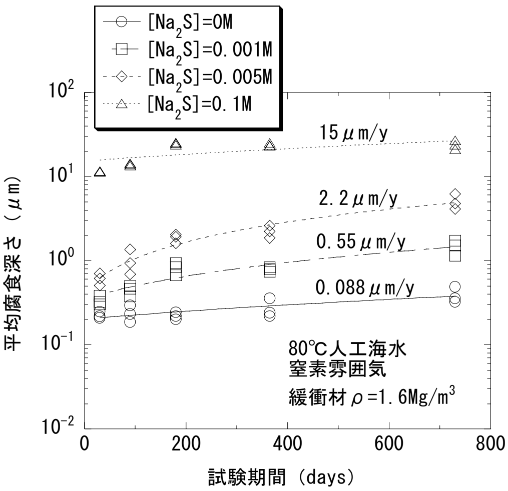


図 1 低酸素濃度環境における純銅の腐食量に及ぼす硫化物濃度の影響

(2) 純銅の応力腐食割れ感受性に及ぼす硫化物濃度の影響

試験溶液として(1)と同様に人工海水を用い, 硫化物濃度をパラメータとして低歪速度(SSRT: Slow Strain Rate Technique)試験を行った。試験結果の一例として, 破断後試験片の SEM 観察結果を図 2 に示す。硫化ナトリウム濃度 0.001M の溶液では明瞭な亀裂の発生は認められなかったが, 硫化ナトリウム濃度 0.005M では亀裂発生の兆候が確認され, 0.01M ではより多数の亀裂が観察された。電子ビーム溶接試料から切り出した試験片についても, 溶接金属部, 熱影響部ともに硫化ナトリウム濃度 0.001M では亀裂の発生は認められなかった。

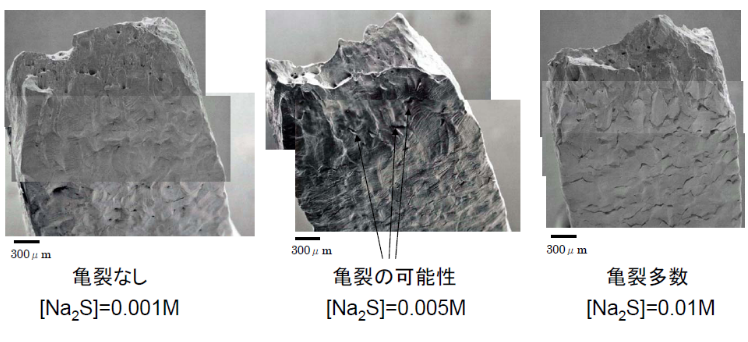


図 2 SSRT 試験後の純銅試験片の SEM 観察結果

(3) 銅オーバーパック寿命の長期化の可能性

上記の実験結果が示すように，硫化物濃度が 0.001M 以下であれば腐食速度は極めて小さく，かつ応力腐食割れも発生しないと考えられるため，極めて長い寿命を期待できる可能性がある。また，オーバーパックが緩衝材で覆われた状態ではオーバーパック表面への硫化物の供給が制限されると考えられることから，腐食速度が緩衝材中における硫化物の拡散により律則されると仮定して長期的な腐食量の推定を行った。図 3 に示すように，第 2 次取りまとめにおける緩衝材仕様[5)]を想定して厚さ 700mm の緩衝材において，オーバーパック表面への硫化物のフラックスを腐食量に換算した。銅オーバーパックには数 10mm 程度の腐食代が設定されると予想されており，ここでは暫定的に平均腐食深さが 10mm に達するまでの時間を銅オーバーパックの寿命と仮定した。緩衝材外側の地下水中硫化物濃度（外側境界条件）は一定とし，オーバーパック表面での硫化物濃度（内側境界条件）はゼロとした。硫化物の拡散係数はデータが得られていないため，陰イオン Cl^-, I^-のデータ[6)]を準用した。図 3 に地下水中硫化物濃度と寿命の関係を示す。この図より，硫化物濃度が 10^{-4}M オーダー以下の環境であれば数万年～数十万年を越える寿命を達成する可能性がある。なお，ここでは腐食進展による貫通のみを想定しているが，硫化物濃度が 0.005M を超える条件では(2)に示したように応力腐食割れ感受性を示す可能性があるため，その進展による破損の可能性を検討する必要がある。

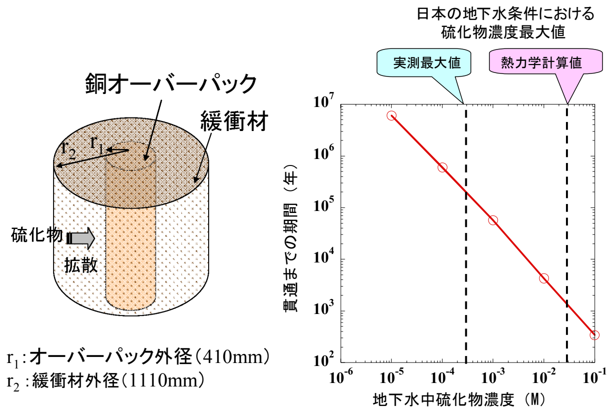


図 3　緩衝材中の硫化物の拡散に基づく銅の腐食量評価モデルの模式図および推定された銅オーバーパック貫通までの期間

スウェーデンなど諸外国においてもわが国とは前提条件などが異なるものの，硫化物の物質収支と物質移行に基づく銅の腐食量の推定を行い，地下水中硫化物濃度を 10^{-5}M オーダーと想定した場合の処分容器の寿命は 100 万年以上と評価しており[2)]，図 3 の結果と概ね一致する。

今後の課題

今後は応力腐食割れ発生条件の詳細な検討など，実験データを拡充するとともに，銅のオーバーパックとしての適用条件，環境条件による寿命への影響を更に明確化する必要がある。また，処分後初期の酸化性期間における局部腐食の生起・進展挙動などの知見も拡充し，より信頼性の高い銅オーバーパックの寿命評価を行う必要がある。

（執筆者：谷口直樹）

参考文献

1) Pourbaix, M. (1966): "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions", Pergamon Press.

2) King, F., Ahonen, L., Taxen, C., Vuorinen, U. and Werme, L. (2001): "Copper corrosion under expected conditions in a deep geologic repository", SKB Technical Report TR-01-23.

3) Garrels, R. M. and Christ, C. L. (1990): "Solution, Minerals, and Equilibria", Jones and Bartlett Publishers.

4) Yui, M., Sasamoto, H. and Arthur, R. C. (1999): "Groundwater Evolution modeling for the Second progress Performance Assessment (PA) Report", JNC TN8400 99-030.

5) 核燃料サイクル開発機構（1999）：“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 次取りまとめー”, JNC TN1400 99-022.

6) 石寺孝充，佐藤治夫（2005）：“凝灰岩中の CO_3^{2-}, Cl^-, I^-の拡散挙動に及ぼす $NaNO_3$ の影響”, JNC TN8400 2005-018.

【工学技術の開発 トピック報告(2)】
緩衝材基本特性データベースの拡充

研究の概要

緩衝材には，止水性，自己シール性，熱伝導性，応力緩衝性，化学的緩衝性，核種収着特性などが長期にわたり維持されることが期待される。これら基本特性に関わるデータは緩衝材設計に不可欠のものであり，降水系地下水を対象としたデータ取得から始めて，塩水系地下水や，より実際の条件を考慮に入れセメントと反応した地下水条件などに着目したデータの取得を進め，データベースとして整備を行っているところである。

平成 18 年度においては，塩水系地下水条件下における緩衝材の基本特性データの取得を継続するとともに，セメント影響を考慮したデータを一部拡充した。また，緩衝材基本特性データベースを幅広く海外の研究者にも提供するために，平成 18 年度末にデータベースの英語版を構築し Web 公開した。

研究の成果

人工海水，幌延深地層研究計画で採取された地下水およびその幌延地下水と同等のイオン強度に調整した NaCl 溶液を用いて，埋め戻し材仕様なども含めた低ベントナイト混合による透水試験を実施した。その結果，人工海水の場合，有効粘土密度 1.00Mg m^{-3} 以下の密度から固有透過度（多孔質体の構造特性に由来する透過抵抗を表したもの）が急激に増加すること，幌延地下水および 0.2M NaCl 溶液では，有効粘土密度 0.60～1.00Mg m^{-3} の範囲において，固有透過度が蒸留水に比べ約 1 桁から 5 桁程度大きくなるという結果が得られた。

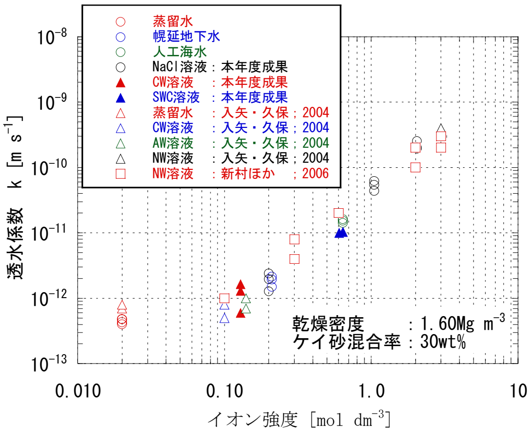


図 1 イオン強度と透水係数の関係

CW 溶液：$Ca(OH)_2$ 溶液，SWC 溶液：人工海水+$Ca(OH)_2$+NaOH 添加溶液，AW 溶液：$Ca(OH)_2$+NaOH+KOH 添加溶液，NW 溶液：$NaNO_3$ 溶液

塩水系地下水条件下におけるセメント影響を考慮した透水試験に関しては，乾燥密度 1.60Mg m^{-3}，ケイ砂混合率 30wt%に調整した圧縮ベントナイトを用いて試験を実施し，入矢・久保(2004)，新村ら(2006)の成果と合わせてイオン強度と透水係数の関係について検討した。なお，試験溶液に関しては，セメント浸出液を模擬するため，pH=12.5 に調整した $Ca(OH)_2$ 溶液および，セメント影響および塩類濃度の影響を評価するため，人工海水に $Ca(OH)_2$ および NaOH を添加し，pH=12.5 に調整した溶液を用いた。さらに，塩類溶液との比較を実施するため，NaCl 濃度をパラメータとした溶液等を用いて試験を実施した。試験の結果，図 1 に示すとおり，イオン強度が高くなるに従い，透水係数も高くなることがわかる。これらのデータを今後拡充しつつ，地下水組成及びセメント材料の影響を評価するための関係式の検討を行い，緩衝材の設計等に必要となる基盤情報を整備する。

緩衝材基本特性データベースについては，透水，膨潤，力学，熱，乾燥収縮，締固めの 6 つの特性に区分し，これまでに取得した降水・塩水系地下水条件下に関する約 1,900 件のデータを集約した。また，データの検索，グラフ表示及びデータのダウンロードが可能であり，平成 19 年 3 月末には英語版を Web 公開した（http://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/）。今後は，セメント影響試験を含め拡充されるデータを適宜取り込みつつ，データベースの拡張を進める。

（執筆者：棚井憲治）

参考文献

1) 入矢桂史郎，久保博(2004)：“高アルカリと硝酸塩の影響を受けたベントナイトおよび岩石の水理特性評価(Ⅲ)”，核燃料サイクル機構，JNC TJ8400 2005-002.
2) 新村亮，田島孝敏，久保博，三原守弘(2006)：“高アルカリと硝酸塩の影響を受けたベントナイトの水理特性評価(その 2)－硝酸塩溶液を用いたベントナイトの通水試験－”，土木学会 第 61 回年次学術講演会，CS05-065，pp.335-336.

【工学技術の開発 トピック報告(3)】
支保工用低アルカリ性吹付けコンクリートの開発

研究の概要

吹付けコンクリートは，NATM（New Austrian Tunneling Method）における主要な支保部材であり，処分場の建設において多用されるセメント系材料の 1 つである。原子力機構では，低アルカリ性セメントとしてフライアッシュ(FA)を高含有したシリカフューム（SF）セメント（HFSC：Highly Fly Ash Contained Silica Fume Cement）の研究開発を進めてきており，平成 18 年度は幌延深地層研究計画にて予定している HFSC 吹付けコンクリートの原位置施工試験へ向け，試験計画案の策定ならびにコンクリートの配合選定試験を実施した。

HFSC 吹付けコンクリートの支保工への適用性については，平成 17 年度に幌延深地層研究計画の設計基準強度を目標とし，模擬空洞での吹付け試験により施工性について検討した結果，ほぼ適用可能との見通しを得た [1)]。ただし，コンクリートの強度特性および施工性は，配合やセメント，FA，SF，骨材等の構成材料の物理的・化学的特性に依存することから，幌延深地層研究計画の建設工事に使用されている材料を用いた配合選定試験を実施した。なお，試験は急結剤添加前のベースコンクリートを対象とし，HFSC に使用するセメントは普通ポルトランドセメント(OPC)および早強ポルトランドセメント（HPC）の 2 種類とした。

研究の成果

コンクリートの配合は，主に強度特性の観点から水結合材比が，施工性の観点から単位水量や細骨材率（s/a：全骨材中に占める細骨材の重量比率）などが決定される。特に，骨材は，コンクリート中の容積の約 7 割と大きな割合を占めることから，強度特性，施工性に与える影響が大きいと考えられる。図 1 に水結合材比と圧縮強度試験の関係を示すが，平成 17 年度の方が，全ての結合材比において圧縮強度が高くなっている。これは，粗骨材が砕石から玉砂利へ変更されたことが要因として挙げられる。すなわち，施工性の確保に必要な単位水量が減少し（約 200kg/m^3 から 175kg/m^3），これに伴い単位結合材量が減少したこと，および粗骨材表面の粗度や形状等の影響によりモルタルとの付着強度の低下などが影響したものと推察される。また，図 1 には目標強度（幌延深地層研究計画の設計基準強度×割増係数）46.8N/mm^2 を破線にて示したが，今回の試験からこれを満足する水結合材比は 35%となることが判明した。

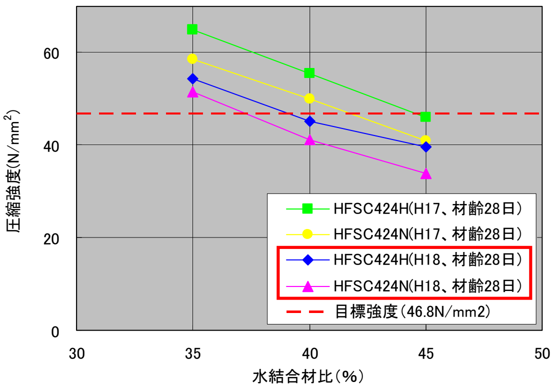


図 1 圧縮強度試験結果

表 1 に選定された配合を示す。HFSC は施工性を確保するため，高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系）の使用を前提としているが，結合材単位量の 1.05%程度用いることにより，スランプの低下が抑制され，ポンプ圧送性に対して悪影響を与えないことを確認した。今後は，原位置試験を通じて，施工性の確認を行う予定である。

（執筆者：小林保之，中山雅）

表 1 配合選定試験結果

セメントの種類	水結合材比 W/B	細骨材率 S/a	単位量 (kg/m^3)							高性能 AE減水剤
			水	結合材:B				細骨材	粗骨材	
	(%)	(%)	W	OPC	HPC	SF	FA	S	G	SP
HFSC424N	35	60	175	200	—	100	200	935	628	1.05
HFSC424H	35	60	175	—	200	100	200	934	627	1.05

参考文献

1) 小西一寛，中山雅，三原守弘，吉田泰，入矢桂史郎，秋好賢治，納多勝（2006）：“幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの施工性に関する研究”，JAEA-Research 2006-040.

【工学技術の開発 トピック報告(4)】
結晶質岩における処分場閉鎖性能に関わる要件

研究の概要

高レベル放射性廃棄物の処分場の閉鎖の際には，掘削した坑道への埋め戻し材の施工やプラグの設置，坑道周辺の掘削影響領域（EDZ）へのグラウト注入といった閉鎖技術の適用が考えられている。本検討では，カナダの地下実験施設で行われた止水プラグの原位置適用性試験（TSX）[1)]が終結したことに伴い，その結果を踏まえ，結晶質岩での埋め戻し材やプラグ等の閉鎖要素に期待すべき性能を確保するための要件を取りまとめた[2)]。

研究の成果

結晶質岩を対象とした処分場で操業後に人工バリア設置箇所以外の坑道等を閉鎖する際に考えなければならない事象(システムの状態)を抽出し，その事象が発生する部位（坑道，埋め戻し材，岩盤と埋め戻し材の境界部，支保，EDZ，断層，調査孔，緩衝材），事象の発生を抑制するための要件およびその具体的な対策方法について整理するとともに，これらに対して TSX の結果から得られた知見を整理した（表 1）。表 1 は，事象が発生する部位毎に閉鎖要素を単体のみではなく他の要素との組みあわせによる性能確保の方法と TSX から具体的に得られた知見を示している。TSX の試験結果から得られた知見より，止水プラグ，粘土グラウト，切欠きに関しては施工性および性能が確認されているが，埋め戻し材，支保工の撤去，強度プラグの施工および性能については，TSX では，十分な知見が得られていないことから，今後，材料や施工性および下記のようにして他の要素と組みあわせて用いた場合の性能の検討が必要であることが分かった。以上から結晶質岩を対象とした閉鎖に関わる現状技術および今後の課題を示すことができた。

表 1 結晶質岩を対象とした処分場で操業後に人工バリア設置箇所以外の坑道等を閉鎖する際に考えなければならない事象(システムの状態)，その対策および TSX で得られた知見

閉鎖に関わる事象（課題）	部位	要件	対策	具体的な内容	TSX で得られた知見
坑道内（アクセス坑道含む）が核種移行の主要な経路となる	坑道 埋め戻し材	坑道（アクセス坑道含む）を核種移行の主要な経路としないこと	坑道内の透水性を要求レベル以下に抑えるように坑道を充填する	埋め戻し材と止水プラグを組み合わせて施工	止水プラグを実際に施工することができ，境界部分も含めたプラグ全体で低透水性（10^{-11}m/s）を確保することが可能
	埋め戻し材と岩盤との境界部	埋め戻し材と岩盤との境界部を核種移行の主要な経路としないこと	境界部の透水性を要求レベル以下に抑えるように坑道を充填する	ショットクレイ，ベントナイトブロックと止水プラグを組み合わせて施工	高密度ブロックおよび岩盤との境界部へのショットクレイにより，設計仕様どおりの高密度の止水プラグの施工することができ，プラグ全体で低透水性（10^{-11}m/s）を確保することが可能
	支保	支保を核種移行の主要な経路としないこと	支保部分の透水性を要求レベル以下に抑えるように支保に接触する部材が隙間を埋める	埋め戻し材，ショットクレイ，ベントナイトブロックと止水プラグを組み合わせて施工	高密度ブロックおよび岩盤との境界部へのショットクレイにより，設計仕様どおりの高密度の止水プラグの施工することができ，プラグ全体で低透水性（10^{-11}m/s）を確保することが可能
			支保工の劣化を考慮して，その連続性を遮断する	応力状態，岩盤の力学特性等を考慮した支保工の部分的な撤去（撤去部分に止水プラグを施工）	支保工の撤去はないが，EDZ の範囲を適切に把握し，応力状態，岩盤の力学特性等から適切な切欠き深さを設計施工が可能（三角錐，矩形）
坑道周辺岩盤が核種移行の主要な経路となる	EDZ	EDZ を核種移行の主要な経路としないこと	EDZ の連続性を遮断する	応力状態，岩盤の力学特性等を考慮した切欠きの施工設計支保工の撤去	EDZ の範囲を適切に把握し，応力状態，岩盤の力学特性等から適切な切欠き深さを設計施工が可能（三角錐，矩形）
				切欠きを施工した上で，止水プラグを施工	高密度ブロックおよび岩盤との境界部へのショットクレイにより，設計仕様どおりの高密度の止水プラグの施工することができ，プラグ全体で低透水性（10^{-11}m/s）を確保することが可能
			EDZ の透水性を改良する	粘土グラウトを施工	切欠き部分を利用した，プラグ周囲の EDZ への粘土グラウトが可能
			竪置きの場合，廃棄体ピットを EDZ より深くする	−	−
	断層	断層を核種移行の主要な経路としないこと	止水プラグで断層部分を隔離する	止水プラグを施工	高密度ブロックおよび岩盤との境界部へのショットクレイにより，設計仕様どおりの高密度の止水プラグの施工することができ，プラグ全体で低透水性（10^{-11}m/s）を確保することが可能
			断層の透水性を改良する	粘土グラウトを施工	切欠き部分を利用した，プラグ周囲の EDZ への粘土グラウトが可能
	調査孔	調査孔を核種移行の主要な経路としないこと	試錐孔を閉塞する	グラウトおよび止水プラグ（試錐孔用）を施工	2m 程度であれば，ボーリング孔に円柱状の高密度のベントナイトブロックを充填することにより閉塞が可能
人工バリアの機能が発揮されない	緩衝材	緩衝材の性能発揮を補助すること	緩衝材の膨出を押さえる	強度プラグを施工	低発熱高流動のコンクリートおよびセメントグラウトの併用により，設計仕様どおりの強度プラグの施工が可能

（執筆者：藤田朝雄）

参考文献

1) 藤田朝雄，杉田裕（1998）：“JNC/AECL 共同研究 -トンネルシーリング性能試験の現況について-”，サイクル機構技報，JNC TN1340 98-001, No.1, pp.79-84.

2) 藤田朝雄，須山泰宏，戸井田克（2007）：“結晶質岩における閉鎖要素に期待すべき性能要件“，JAEA-Research 2007-021.

2.1.2 安全評価手法の開発

研究の概要

安全評価手法に関しては，事業者が対象とする可能性のある多様な地質環境を考慮しつつ，地質環境調査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進展へ柔軟に対応できる評価体系の整備が求められている。このための研究開発は，原子力機構の中期計画並びに国の HLW 全体計画（「1.地層処分技術に関する研究開発」参照）を踏まえ作成した 5 ヵ年の研究計画書 [1)]に基づいて進めており，評価手法（シナリオの構築から線量の推定までの一連の安全評価の作業を体系化するための技術の整備・改良），モデル化技術（現象や地質環境の理解を深めたより現実的な評価のための技術の整備・体系化），データベース開発（適切なデータ取得のための手法等の整備とそれを適用した実際のデータ取得やデータ信頼性評価）から構成される。それぞれの研究項目として，評価手法では，シナリオ解析技術，不確実性評価技術，総合的な性能評価技術について，モデル化技術では，地下水・間隙水水質形成評価技術，核種溶解・緩衝材中移行評価技術，コロイド・有機物・微生物影響評価技術，岩盤中核種移行評価技術，生物圏での核種移行／被ばく評価技術について，データベース開発では，熱力学データベース，収着・拡散データベースについて研究を進めている。

平成 18 年度の実施概要

平成 18 年度は，上記 5 ヵ年の研究計画書に基づく原子力機構の年度計画に沿って，評価手法では，FEP（Features，Events，Processes）分析（シナリオ解析の一部）の支援ツールに関する報告書を作成公開するとともに，重要なシナリオを導出するための概念を構築した。また，人工バリアの有効性や特性を把握するための感度解析を実施した。さらに，多様な地質環境や設計オプションを考慮した評価体系について検討した。モデル化技術では，幌延深地層研究計画によって得られた地下水化学のデータやガラス溶解，核種共沈に関する研究，核種とコロイドの相互作用，ベントナイト中の有機物の移行，地下水組成への微生物の影響評価に関する研究，室内での岩石亀裂中の水理・物質移動の可視化試験に基づく評価手法の研究を進めた。また，深地層の研究施設等で得られる堆積岩と結晶質岩に関する実際の地質環境データに基づき，生物圏評価手法や水理・物質移行評価モデルを実際の地質環境へ適用してその有効性を評価し，残された課題に対する取り組み方針を策定した。データベース開発では，基礎データの拡充，データの信頼性の評価を進め，核種移行評価に必要な拡散データベースを公開した。以下に主要な成果を示すとともに，トピック報告では，特に手法の信頼性向上や実際の地質環境データに対する適用性の観点から重要な成果が得られている研究について詳述する。

平成 18 年度の主な成果

(1) 評価手法

シナリオ解析技術では，FEP の相互関係に関する情報をマトリクス上で効率的かつ追跡性を確保して整理する手法についてまとめるとともに，それらの整理を計算機上で行えるツール（FepMatrix）を整備し，報告書として公表した。また，シナリオ構築から安全評価解析までを整合的に結びつけることを念頭に，多様な地質環境，設計オプションに柔軟に対応可能な総合的な安全評価体系の概念を構築した（図1）（トピック報告「シナリオの高度化に関する検討」参照）。不確実性評価技術では，保守的な地下水流動条件下で人工バリアに係わるパラメータの変動に対する感度解析を行い，システム性能に対する人工バリア機能

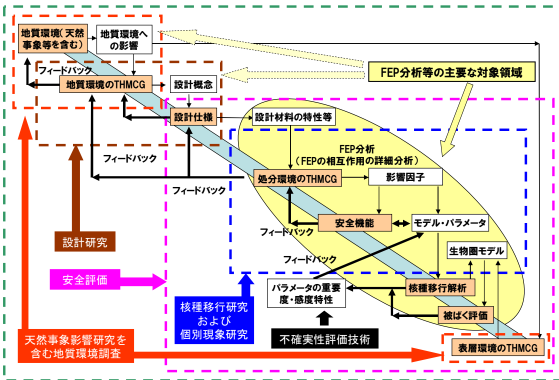


図1 総合的な安全評価体系の概念

処分の安全性への影響を処分場の THMCG[T（温度），H(水理)，M（力学），C（化学），G（形状）]と安全機能（安全評価パラメータ）との関係を中心に体系化した概念。処分場の THMCG 条件に影響を与える事象等として，設計仕様や地質環境の多様性を考え、それらの関連を提示。また、関連する地層処分の研究項目との関係もあわせて提示。

の影響や有効性等について検討し，パラメータの不確実性を考慮した場合のバリア性能の安全裕度を定量的に例示した。総合的な性能評価技術では，設計オプションの変更に伴って生じる新規影響因子の抽出，安全機能として作用すると考えられるものの評価上保守的に考慮しなかった FEP の取り込みを行い，実際の処分環境を踏まえた現実的なシナリオ構築に資する情報を整理した。また，既存の技術情報統合システム（JGIS）を活用して，天然現象の影響を処分システムの安全性への影響に結びつけるため，THMCG（温度，水理，力学，化学，幾何形状）を基軸とした知見・情報の整理を実施した。

⑵ モデル化技術

地下水・間隙水水質形成評価技術では，地下水化学について地表での実測データの原位置条件への補正のため，幌延深地層研究計画で得られたデータを例に，地層中に認められる鉱物情報に基づいた地球化学モデル（方解石，黄鉄鉱，菱鉄鉱との平衡を仮定）により原位置地下水の pH, Eh を推定する手法の適用性を検討し，このような補正手法により原位置条件を概ね推定可能であることを確認した。また，間隙水化学については，圧縮ベントナイト中の pH 測定に関する試験結果を報告書として公表するとともに，間隙水化学モデルの実際の地質環境への適用性検討のため，幌延地下水を用いたベントナイト－水反応試験を開始した。核種溶解・緩衝材中移行評価技術では，ガラスの溶解現象に関する現象理解やその成果に基づきガラスの溶解に関するデータベースの整備を進めた。また，炭酸塩に対するラジウムの共沈現象について処分環境を考慮したデータ取得を実施し，論文として取りまとめた。コロイド・有機物・微生物影響評価技術では，ベントナイトコロイドに対する Am の収着および脱離試験を実施し，10^4～10^5 m^3/kg オーダーの高い分配係数を示すことを明らかにした。また，ベントナイト粒子間の相互作用力を原子間力顕微鏡で測定し，コロイドの分散安定性に関するデータ取得や安定性を評価する DLVO 理論の適用性検討を行い，塩濃度の高い条件でのコロイドの分散の可能性や理論の適用限界を示唆する結果が得られた（トピック報告「ベントナイトコロイドの安定性評価に関する取り組み」参照）。有機物に関しては，乾燥密度・イオン強度をパラメータとした，圧縮ベントナイト中でのフミン酸透過拡散試験を実施し，フィルター効果によりフミン酸の移行が大きく遅延されていることを明らかにした。微生物については，幌延深地層研究計画で得られたデータを基に地下水組成へ与える微生物影響を解析的に評価し，硫酸イオン濃度変動とメタン濃度変動の関係への影響を示唆する結果を得た。岩盤中核種移行評価技術では，実際の地質環境データに基づく安全評価手法の構築・試行を目的とする今後の研究計画を取りまとめて，5 ヵ年の研究計画書で示した計画概要の具体化を図り公開した。以上の成果に基づき，幌延深地層研究計画での第 1 段階取りまとめの一環として，安全評価手法の高度化に関する成果の取りまとめを実施した（トピック報告「地上からの調査情報に基づく水理・物質移行評価手法の適用」参照）。また，岩盤中の地下水流動に寄与する間隙率(水理学的有効間隙率)の設定に関する既存手法を整理し，東濃地域で取得されたデータへ適用してその値を求めるとともにその不確実性について検討した。さらに，亀裂開口幅の設定手法を構築することを目的として，可視化による亀裂開口幅ならびに岩石亀裂中のトレーサー濃度測定手法を整備し，これに基づいて現実的なデータを取得した（トピック報告「亀裂開口幅と亀裂内トレーサー濃度の定量的計測」参照）。生物圏での核種移行／被ばく評価技術では，感度解析を実施し，元素の特性に依存するパラメータの線量への換算係数（処分場からの核種移行率を人間が受ける放射線量に換算する係数）に対する感度特性について検討し，分配係数，農畜産物への移行係数の影響が特に大きいことを確認した。また，表層水理環境での核種の希釈・分散効果を評価するため，既存の評価手法等について調査し，深地層の研究施設等で得られた実際のデータを用いて生物圏への核種流入域の設定を試行した結果を取りまとめて公開した。

⑶ データベース開発

熱力学データベースの開発では，データベースの信頼性向上のため溶媒抽出法による Np(IV)の加水分解定数およびイオン相互作用係数の導出，Np(IV)水和酸化物の溶解度積の再評価を実施した（トピック報告「Np(IV)加水分解定数について」参照）。また，原子力機構安全研究センターと連携して，熱力学データの系統的な理解及び予測のための調査を実施した。収着・拡散データベース開発では，新たに核種の拡散係数データベースを構築し，ホームページ上で公開した。また，収着データベース

(JNC-SDB)に登録されている個別データに対して，性能評価上重要と思われる試験条件等の記述についての信頼度のランク付け(3,740 件)を実施するとともに新規の収着データ 3,205 件を追加した。

今後の計画

国の HLW 全体計画との整合を図りながら，事業の進展に応じて段階的に得られる地質環境情報を想定し，深地層の研究施設から得られる実際の地質環境情報を活用しつつ，柔軟性と品質保証に留意した高レベル放射性廃棄物処分の性能評価体系・手法，処分場システムデータベースなどを整備・開発するとともに成果の公開を進めていく。これらを地層処分技術の知識基盤の構築に反映し，事業の推進や規制の検討に資する。

(執筆者:宮原要)

参考文献

1) 宮原要ほか(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”，日本原子力研究開発機構，JAEA-Review 2006-015.

【安全評価手法の開発 トピック報告(1)】
シナリオの高度化に関する検討

研究の概要

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し，安全評価の枠組みを設定するものであり，その構築手法などの解析技術を整備することは重要である。国の HLW 全体計画（「1.地層処分技術に関する研究開発」参照）における「研究開発全体マップ詳細版」[1)] においては，「シナリオ解析技術について，FEP 情報や事例研究成果から安全評価用のシナリオの構築と評価までを行う一連の作業を体系化するための技術の整備・改良」と「これを通じてシナリオの不確実性への対応を適切に行うことを可能とする」ことをシナリオ解析技術にかかわる当面5年程度の研究計画の達成目標としている。このため，原子力機構は，この計画に基づく研究を行うための研究計画書（平成 17 年度版）[2)]を作成し，それに沿った作業を進めている。H18 年度は，この研究を実施するため，以下のような具体的な研究項目を設定し，順次作業を進めた。

①「シナリオ分析の体系化（FEP の整理と階層構造化）」
②「FEP 情報と感度解析結果等に基づく定性的，定量的なスクリーニング手法の整備」
③「多様な地質環境や設計オプションに対して柔軟に対応可能な，明瞭かつ簡潔なシナリオの構築手法の整備および総合的な性能評価体系の概念の整備」
④「高度化されたシナリオ解析手法の変動シナリオへの適用」
⑤「変動シナリオの例示」

ここでは，上記のうち①②③④の概要を報告する。①では，FEP 分析を効率的に行うための支援ツール「FepMatrix」に関する技術資料を作成公開した。また，分かりやすさ，明瞭さ，簡潔さを考慮したシナリオの表現手法の検討を行った。②ではシナリオの類型化手法の整備，シナリオの重要度分類を行なうスクリーニング手法の検討を行った。③では多種多様な地質環境や設計オプション，さらには天然現象（火山や隆起・侵食など）の影響を考慮可能な総合的な評価体系の概念構築を目的とした検討を行い，④では天然現象等の擾乱が処分環境・システム性能に及ぼす影響をシナリオとして整備し，評価に反映させるため，天然現象の特性と熱－水理－力学－化学（以下，THMC）との関係，THMC の変化と安全評価パラメータの変化との関係を整理・検討した。

研究の成果

①については，FEP の相関関係を効率的に整理し，FEP の分析を合理的に行うことを目的としたコンピューター支援ツール「FepMatrix」に関する報告書を作成，公開した。また，シナリオを分かりやすく，明瞭，簡潔に表現するため，以下の対策を採用した。(a)前提条件を整理・明示することにより，複雑な事象の相関関係を整理・簡単化する。(b)「影響を与える場・状態の変化」と「影響を受ける場・状態の変化」を基本要素として，それらの関係からなる「影響の伝播」を分析する。分析においては，それらの関係を簡潔に記述・表現する部分とそれらの関係を詳細に分析・記述する部分とに分け，読み手の理解やニーズに応じた異なる詳細度でのシナリオ記述を可能とする（図1）。②については，①の分析結果に基づき，(c)それぞれの基本要素の変化（例えば，処分場の THMCG の変化や安全機能の変化）に着目して，影響の伝播に関わる情報を整理・類型化し，(d)その特性を明示しつつ，前提条件毎に明瞭，簡潔にシナリオを提示する，という手順を構築した。また，シナリオの重要度分類を行なうスクリーニング手法の検討については，安全評価パラメータの影響特性や重要度に関する情報をフィードバックすることによりシナリオの重要度判定に反映させる概念について検討した。③については，①で採用した基本要素に影響を与える事象等として，設計仕様や地質環境の多様性，さらには天然現象（火山や隆起・侵食など）の影響を考え，これらを考慮可能な総合的な評価体系の概念を構築した。これらの検討により，シナリオ分類やシナリオから解析ケースまでの導出の考え方が整備されるとともに，情報を階層的に整備し，読み手が理解しやすいように，異なる詳細さでシナリオを表現するための手法が整備された。また，本検討により整備された手法に基づく検討結果を既存の情報と比較検討することで，あらたに実施すべき研究，評価に必要と

なるモデルや取得すべきデータ，それらの重要度や十分性などが明らかになり，シナリオの網羅性，妥当性に関する情報の整理が容易になると考える。④については，③の総合的な評価体系の概念に沿った検討を行い，「天然事象の特性と THMC との関係」を合理的に整理するための観点を抽出し，それに基づき，地球科学的情報を整備した（図 2）。このように THMC 等を介して地球科学にかかわる詳細な情報を網羅的に収集・整理することにより，天然現象の影響の検討において必要となる事象や関連する研究を同定することが可能となると考える。この手法は，地質環境調査や設計においても同様に適用可能と考えられ，この手法に沿った検討の実施により，重要な研究やデータの過不足などに関する情報が体系的に得られるようになると考える。これらの影響の伝播を表す汎用的な概念は，分野間の情報のやり取りに関して，上流プロセスのアウトプットが下流プロセスのインプットになる関係を明示しているため，分野間のコミュニケーションの基盤になると考える。

（執筆者：大井貴夫）

参考文献

1) 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構（2006）：“高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”，pⅡ-5-11.
2) 宮原要ほか（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”，日本原子力研究開発機構，JAEA-Review 2006-015.

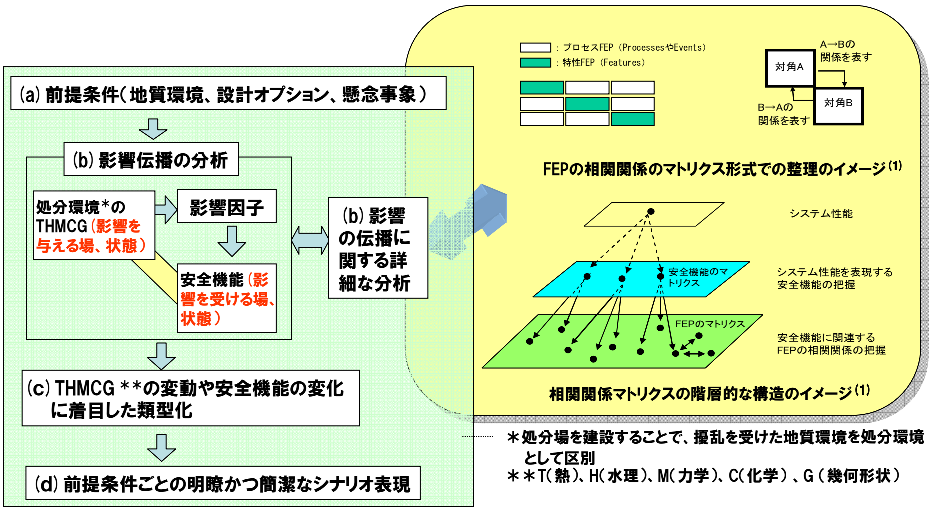


図 1　明瞭，簡潔な表現と詳細な分析とに分けるシナリオ解析手法の高度化の概念

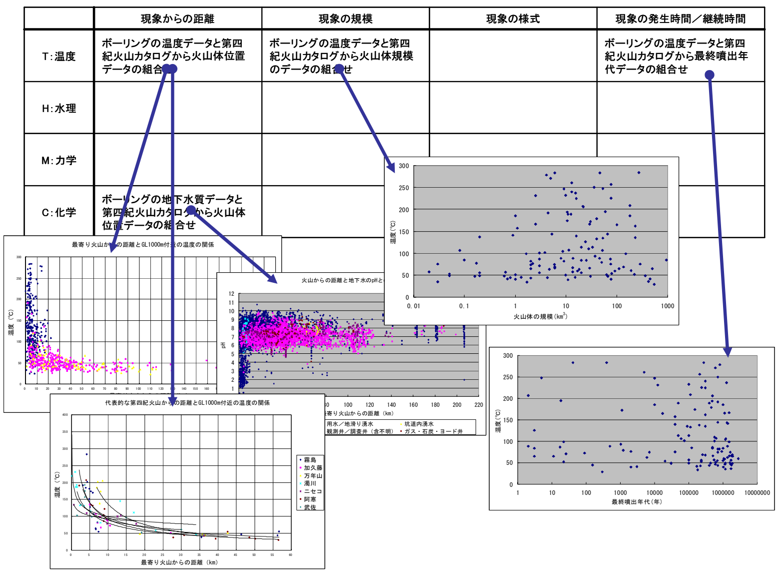


図 2　天然現象の特性と THMC の関係情報整理の例

【安全評価手法の開発 トピック報告(2)】
ベントナイトコロイドの安定性評価に関する取り組み

研究の概要

緩衝材のベントナイトから生成するコロイドが核種移行に及ぼす影響を検討するため，コロイドが生成し安定化する条件の確認を地下水水質や流速条件に留意しながら進めている。コロイドの安定性の理論的検討として，2 つの帯電した界面の相互作用を評価する DLVO 理論が一般に用いられており，緩衝材の主成分であるモンモリロナイトのコロイドの凝集性と地下水水質との関係，また粒子間力とそれを剥離するために必要な地下水流速との関係が評価されている[1),2)]。この DLVO 理論では，電気二重層に起因する静電的反発ポテンシャルとファンデルワールス力による引力ポテンシャルとにより，粒子間の相互作用を予測しているが，微細な領域での相互作用を水溶液中で直接測定する手法の1つとして，近年，原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscopy: AFM)を応用したコロイドプローブ AFM が注目されている。本研究では，ベントナイトに起因するコロイドの特性を把握するため，モンモリロナイト粒子間の相互作用力を測定し，DLVO 理論の適用性や処分環境におけるコロイドの安定性に関する検討を実施している。

研究の成果[3)]

コロイドプローブ AFM を用い，モンモリロナイト粒子を付着させた微小なガラス球表面と基板表面とを接近させて，表面間距離 d [nm]と相互作用エネルギーF/R [mN/m](検出された力 F [mN]をガラス球表面の平均曲率 R [m]で規格化)との関係を測定した(図 1)。測定条件の範囲(1～500mM NaCl 溶液)では正のエネルギーが観測され，斥力が支配的に作用していた。このプロットにフィッティングし，電気二重層の厚さである減衰長さ D_0 [nm]を求めた。これは斥力が電気二重層に起因するのであれば，DLVO 理論から理論的に算出されるデバイ長に等しくなる。図 1 のように，表面間距離によって直線の傾きが異なるため，近距離側(実線)と遠距離側(破線)を分けて評価した。遠距離側で求まる減衰長さは NaCl 濃度が大きくなるにしたがって減少し(プロットの傾きが急になる)，斥力がイオン濃度の増加により減少するデバイ長の理論的な傾向と一致している。一方，近距離側では NaCl 濃度の増加にしたがって，むしろ減衰長さは増加した(プロットの傾きが緩やかになる)。これは DLVO 理論では考慮されていない電気二重層以外の斥力が作用していると考えられ，例えば，多重積層状態の試料による層間を圧縮する過程で生じる立体斥力の影響等が推測される。このように理論的には凝集系と考えられる NaCl 濃度が高い条件でも，分散安定性に寄与する付加的な斥力が観測され，DLVO 理論の適用限界を示す結果が得られた。またこのことは，比較的塩濃度が高い地下水条件であっても，モンモリロナイトコロイドが核種移行に及ぼす影響に留意すべきことを示唆するものである。

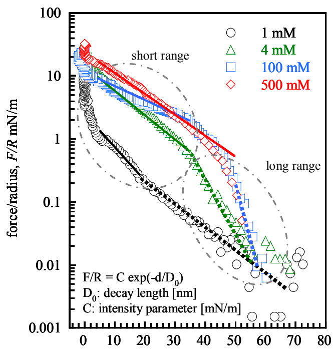


図 1 相互作用エネルギーの測定結果

ただし巨視的な観点からの試験として，モンモリロナイトコロイドの安定性を評価するバッチ試験では Na^+濃度が 10mM 以上あれば凝集するという結果も見られ[2)]，上述のような多重積層状態の試料と分散しているコロイド状態とでは挙動が異なることも考えられる。粒子間の相互作用は試料の状態にも依存する可能性があり，調製方法の検討も含めて詳細な観測を実施し，処分環境条件でのモンモリロナイトコロイドの分散安定性に関する理解を深め，性能評価上の取り扱いに関する信頼性を向上していく予定である。

(執筆者:久野義夫)

参考文献

1) Kurosawa, S., Kato, H., Ueta, S., Yokoyama, K., Fujihara, H. (1999): “Erosion properties and dispersion-flocculation behavior of bentonite particles”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 556, pp.679-686.

2) Kuno, Y., Kamei, G., Ohtani, H. (2002): “Natural colloids in groundwater from a bentonite mine - Correlation between colloid generation and groundwater chemistry-”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 713, pp.841-848.

3) 黒澤進，水上雅史，佐藤久夫，野澤純，辻本恵一，栗原和枝(2006):“コロイドプローブ原子間力顕微鏡による NaCl 水溶液中のモンモリロナイト粒子の相互作用力の測定”，日本原子力学会和文論文誌，5，pp.251-256.

【安全評価手法の開発 トピック報告(3)】
亀裂開口幅と亀裂内トレーサー濃度の定量的計測

研究の概要

放射性廃棄物地層処分の安全評価における核種移行評価に際しては，地下水の移行経路にあたる岩盤の間隙中での地下水流動や核種移行の挙動把握が重要となる。花崗岩などの結晶質岩の場合，岩石基質部は緻密で間隙率や透水係数が低く，地下水は主に断層や亀裂などの間隙中を流れる。このような岩盤を対象とした地下水流動や核種移行の評価に際しては，亀裂を均質な平行平板に近似したモデルが用いられており，平行平板モデルは第 2 次取りまとめでも安全評価のモデルとして採用されている。亀裂開口幅の設定に際しては，トレーサー試験から得られた亀裂の透水量係数との相関を示す経験則が用いられている。その一方で，実際の亀裂の表面形状は複雑で，亀裂開口幅は不均質に分布しており，それらが亀裂の水理物質移行特性に大きな影響を与えるため，トレーサー試験から求められる透水量係数と亀裂開口幅の相関を示す経験則の不確実性が大きいことが知られている[1)]。

この様に不均質に分布する亀裂開口幅が水理物質移行現象に与える影響を評価し，平行平板モデルに用いられる亀裂開口幅をより適切に設定する手法を構築することを目的として，研削した岩体亀裂の観察[2)]による透水に寄与する実際の亀裂の開口幅分布データ取得や，亀裂形状特性を表す複数のパラメータを用いた亀裂の数値モデルによる解析評価[3)]などを実施している。このような研究の一環として，複雑な形状を呈する亀裂中における水理物質移行現象を可視化するとともに，定量的に測定するために，岩体亀裂の透明レプリカ試料を用いた光学的な測定手法を整備し，亀裂開口幅およびトレーサー濃度分布を測定した。本手法では，開口幅分布と亀裂内のトレーサー移行状況をほぼ同一条件で測定できることから，開口幅分布が亀裂の水理物質移行特性に与える影響についてデータを取得することが可能となる。また，複雑な形状を呈する亀裂中の地下水流動や物質移行を表現した数値モデルの検証にも活用することができる。

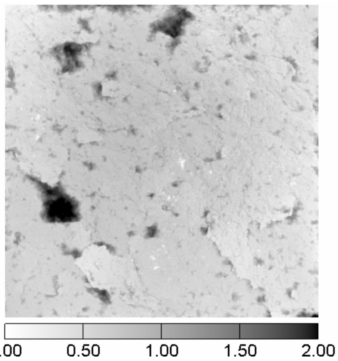


図 1 亀裂開口幅分布(mm)

研究の成果

亀裂開口幅の測定および亀裂内のトレーサー濃度の測定には，吸光光度計と同様に，Lambert-Beerの法則を用いている。計測装置は，照明，CCD カメラ，バンドパスフィルターなどで構成されている。CCD カメラによる透過光強度の計測データはピクセル毎に 4096 階調(12bit)の数値データとして記録される。本手法により求めた透明レプリカ試料の開口幅分布を図1に示す。100mm×100mm の透明レプリカ試料の大きさに対して，約 700×約 700 ピクセルで開口幅データを求めている。図 2 に本手法で計測したトレーサー濃度分布を示す。図 2 は試料の上側からトレーサーを注入して任意の時間が経過した時点のレプリカ試料内のトレーサー濃度分布を示している。図 1 と同様の空間分解能でトレーサー濃度を定量的に得ることができている。このように，本手法を活用することで，亀裂内の開口幅分布と濃度分布を同一条件で定量的に評価することが可能となった。

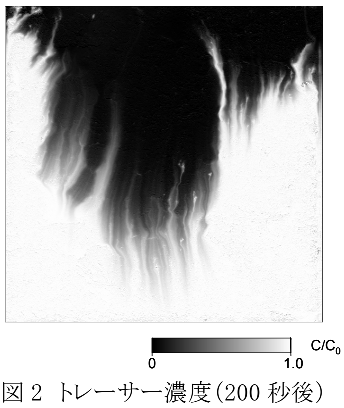


図 2 トレーサー濃度(200 秒後)

(執筆者:澤田淳)

参考文献

1) 核燃料サイクル開発機構(1999):“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，JNC TN1400 99-020, 021, 022, 023.
2) 鐵桂一，澤田淳(2005):“研削した岩体亀裂開口部の観察による開口幅の測定”，JNC TN8430 2005-001.
3) Sawada, A. et al. (2006): “A numerical study on the correlation between fracture transmissivity hydraulic aperture and transport aperture”, AGU 2006 Fall Meeting, H13D-1425.

【安全評価手法の開発 トピック報告(4)】
Np(IV)加水分解定数について

研究の概要

現在，地層処分の安全評価において溶解度の評価に用いる信頼性の高い熱力学定数が必要不可欠であり，さらなる精度の向上が望まれる。地層処分安全評価上重要な核種の一つであるIV価ネプツニウム(Np(IV))の加水分解定数については，OECD-NEA[1)]で専門家によるレビューが行われているが，実験的に報告されていない値(β_3)があることや加水分解定数の系統性にばらつきがあるなど問題点も指摘されている。このために本研究では溶媒抽出法を用いてNp(IV)の加水分解定数の導出を試みた。

研究の成果

アメリシウム(^{243}Am>99%)1M HNO_3 水溶液を陰イオン交換樹脂に通し，0.5Mの硝酸で ^{239}Np をミルキング操作で取り出した。取り出した溶液に亜鉛アマルガムを用いて，Np(IV)の含まれる原液を作製した(0.5M HNO_3)。

次に，原液のNp(IV)を0.2M, 0.02MのTTAキシレン溶液で抽出後，その有機相を取り出し，新たな水相を接触させて分配比を求めた。分配比は，両相中の ^{239}Np の γ 線を測定することにより求めた。

図1にイオン強度(I)=1.0のときの pH_c と分配比 log D の相関を示す。log D とTTA濃度の相関から，(1)の反応で Np^{4+} が抽出されることが確認できた。今回の実験では，溶液中で以下の式で示される反応が起こっていると考えられる。

$Np^{4+} + 4HTTA \rightleftarrows Np(TTA)_4 + 4H^+$ (1)

$Np^{4+} + OH^- \rightleftarrows NpOH^{3+}$ (2)

$Np^{4+} + 2OH^- \rightleftarrows Np(OH)_2^{2+}$ (3)

$Np^{4+} + 3OH^- \rightleftarrows Np(OH)_3^+$ (4)

$Np^{4+} + 4OH^- \rightleftarrows Np(OH)_4(aq)$ (5)

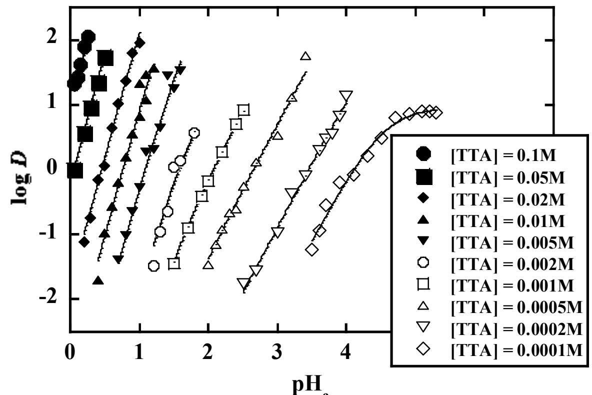


図1 分配比Dの pH_c 依存性

得られた定数(表1)のうち $Np(OH)_4(aq)$ の加水分解定数については，OECD-NEA[1)]の文献値と比較すると誤差を評価しても明らかに小さい値が得られた。(5)式の値についてはこの差は実験手法の違いが原因と考えられる。文献値は溶解度試験から得られたものであり，Np濃度の高い溶解度試験では溶液中のNp(IV)重合体のために加水分解定数の値が大きく見積もられたと考えられる。

表1 4価ネプツニウムの加水分解定数

Ref.	OECD NEA.	This work
log β_1°, reaction (2)	14.55 ± 0.2	13.66 ± 0.23
log β_2°, reaction (3)	28.35 ± 0.3	27.10 ± 0.50
log β_3°, reaction (4)		37.03 ± 0.18
log β_4°, reaction (5)	47.7 ± 1.1	45.85 ± 0.32

以上のように，重合種の影響を排除するためにトレーサー量の ^{239}Np とTTAキシレンを用いて溶媒抽出を行いNp(IV)の加水分解定数を求めた。このことにより，これまでに求められていない熱力学データ(β_3)を新しく取得したことを含め，すべての加水分解定数を同一の手法で求めることができた。溶解度積の評価には(2)-(5)の加水分解定数が必要であるので，これまでより精度の高い溶解度積の評価ができる。また，Np(IV)の溶解度の評価には溶解度積，すべての加水分解定数などの熱力学データ必要であるので，新しいデータが得られることにより，今までより評価の精度が向上したと考えられる。

(執筆者：藤原健壮)

参考文献

1) Guillaumont, R., Fanghaenel, Th., Fuger, J., Grenthe, I., Neck, V., Palmer, D. A. and Rand, M. H. (2003): "Update on the Chemical Thermodynamics of Uranium, Neptunium, Plutonium, Americium and Technetium", North-Holland, Amsterdam.

【安全評価手法の開発 トピック報告(5)】
地上からの調査情報に基づく水理・物質移行評価手法の適用

研究の概要

安全評価手法の開発の一環として，地質環境調査の進展に伴い利用可能になる地質環境条件の情報に柔軟に対応できる評価体系の整備に向けて，幌延深地層研究計画の地上からの調査研究によって得られた実際の地質環境に関するデータ等に基づいて，調査から解析・評価に至る一連の手法の適用を行った[1)]。この試行を通じて得られた成果は，地層処分技術に関する知識基盤として整備され，実施主体が進める処分事業や，国および関係機関が進める安全規制に関する指針の整備において重要な知見となる。

表 1　今回の検討と第 2 次取りまとめとの比較

	第2次取りまとめ	今回の検討
目　的	地層処分の技術的信頼性の提示	実際の地質環境条件に対する安全評価手法の適用性の検討
対　象	おもに文献調査に基づく仮想的な地質環境	幌延深地層研究計画の地上からの調査研究段階で取得された実際の地質環境情報
方　法	決定論的に，モデル，パラメータ等を設定 (リファレンスケースでは，亀裂性岩盤中の物質移行を考慮した亀裂性媒体モデル(1次元平行平板モデル)を採用。モデル変更ケースにおいて，断層に多孔質媒体モデルを採用)	第2次取りまとめの方法を踏襲 (堆積岩である特徴などを踏まえ，物質移行モデルに多孔質媒体モデルを採用)

研究の成果

第 2 次取りまとめまでに開発してきた安全評価に関する技術の適用性を確認するために，幌延深地層研究計画の地上からの調査研究段階で整備した地質環境データ，地質環境モデル，地下水流動解析結果等を用いた物質移行解析を試行した[2)](表 1)。まず，調査・解析・評価のそれぞれの具体的な作業および情報の受渡しを論理的・効果的に進めるために，情報共有および議論を経て作業フローを作成した(図 1)。作業フローに従い，調査結果に関する解釈の議論を通じて，データの取扱いや解析モデル，設定条件を決定した。さらに，調査の初期段階である地上からの調査研究によって得られたデータの質と量を考慮し，データの不確実性の幅について検討を行うとともに，既存の堆積岩地域の文献情報を加味した。また，物質移行解析結果への影響の程度が高い因子や不確実性の幅が大きな因子についての検討から，調査や解析上の留意点の整理を行った。

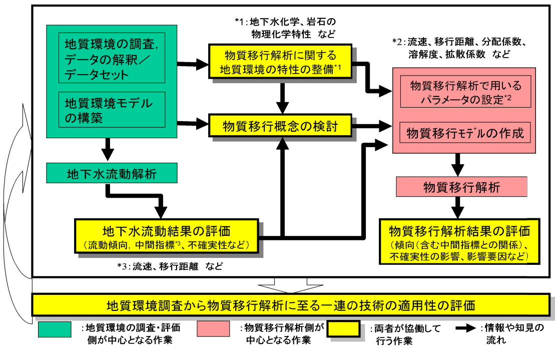


図 1　地質環境の調査・解析から物質移行解析にいたる概略作業フロー

以上の過程を通じて，第 2 次取りまとめまでに要素技術として開発してきた個々の手法を一連の手法とする枠組みを作業フローとして構築し，地質環境データに基づく物質移行概念の検討やモデルの選択，パラメータの設定等の個々の作業内容の具体的な手順や情報の受渡しの際の留意点を整理した。そして，幌延地域の地質環境を事例として，地上からの調査研究で得られた実際の地質環境データ等に基づく一連の方法論を例示することにより，第 2 次取りまとめまでに開発してきた安全評価に関する技術が一連の手法として適用可能であることを示した。また，具体的な作業フローに基づく検討や議論による各作業間の情報共有の重要性や，物質移行概念の検討において堆積岩においても移行経路となり得る岩

Cs-135

<table>
<tr><th>ケース</th><th>ダルシー流速
[m y⁻¹]</th><th>掘削影響領域通過流量 1)
[m³ y⁻¹]</th><th>移行距離
[m]</th><th>水理学有効間隙率
[-]</th><th>間隙率 2)
[-]</th><th>乾燥密度 3)
[kg m⁻³]</th><th>岩盤の分配係数
[m³ kg⁻¹]</th></tr>
<tr><td>1</td><td>稚内層：6×10⁻⁴
声問層：3×10⁻³</td><td>0.005</td><td rowspan="2">稚内層： 250
声問層：6,000</td><td colspan="2" rowspan="3">稚内層：0.38
声問層：0.54</td><td rowspan="3">稚内層：1,430
声問層：1,000</td><td rowspan="4">0.1</td></tr>
<tr><td>2</td><td rowspan="4">稚内層：6×10⁻³
声問層：3×10⁻²</td><td rowspan="4">0.05</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="3">稚内層： 250
声問層： 700</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2" rowspan="2">稚内層：0.038
声問層：0.054</td><td rowspan="2">稚内層：2,220
声問層：2,060</td></tr>
<tr><td>5</td><td>0.5</td></tr>
</table>

1)：ダルシー流速の変化に応じて比例的に変化させる。
2)：水理学的有効間隙率と同じ値とする。
3)：間隙率の変化に応じて，(1－θ)×真密度の関係式から算出する。

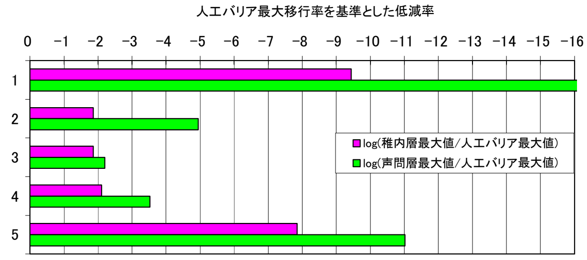


図 2　物質移行解析結果例

盤中の割れ目に関する情報の重要性等を，安全評価に必要な知見として整理した。

解析の結果，対象とした地層（稚内層，声問層）が高い遅延効果を有することが示唆されたが，透水係数分布等によると，割れ目帯が移行経路として機能している可能性が高いため，今後の調査等に基づいて水理・物質移行モデルの概念の再評価を行うことが重要であると考えられる。さらに，坑道の周辺等のコンクリートやグラウトなどの人工材料や，掘削影響領域を考慮した安全評価手法の適用性について検討することが，より現実的な評価体系を構築するうえで重要である。また，地上からの調査段階においては既存情報なども広く活用した検討が必要となるが，一連の評価を進める上で，種々の情報の品質（情報源，データの取得方法や精度）を吟味し，不確実性の幅として整理することが必要である。

今後，幌延深地層研究計画の第 2 段階で得られる情報に基づいて一連の作業を繰り返し実施することにより，利用可能な地質環境情報の量と質に応じた作業フローおよび作業内容の充実を図り，地上からの調査段階における安全評価技術の基盤となる知見の拡充を図っていく。

（執筆者：前川恵輔）

参考文献

1) 牧野仁史ほか（2005）：“地質環境の調査から物質移行解析にいたる一連の調査・解析技術”，JNC TN1400 2005-021.
2) 藤田朝雄ほか（2007）：“幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階 第 1 段階研究成果報告書 分冊「地層処分研究開発」”，JAEA-Research 2007-045.

2．2 深地層の科学的研究

2．2．1 超深地層研究所計画

研究の概要

超深地層研究所計画は，「深地層の研究施設計画」の一つとして，花崗岩，淡水系地下水を対象に，岐阜県瑞浪市において調査研究を進めているプロジェクトである。

本計画では，第1段階「地表からの調査予測研究段階」，第2段階「研究坑道の掘削を伴う研究段階」，第3段階「研究坑道を利用した研究段階」の3つに分けて調査研究が実施される。原子力機構の中期計画に示されている高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の二つの研究領域のうちの「深地層の科学的研究」に関し，国の HLW 全体計画[1)]に規定されている結晶質岩（花崗岩）を対象として，地層処分にとって重要となる種々の地質環境特性に関して個別に調査技術を開発するとともに，それらを総合的な調査評価技術として体系化する研究開発，深部地層に人工物を建設する際に必要となる技術の検討などを行うため（「1．地層処分技術に関する研究開発」参照），超深地層研究所計画の基本計画で①「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」および②「深地層における工学技術の基盤の整備」の2つを全体目標として調査研究を進め[2)]，その成果を地層処分の安全性確保の考え方やシステムの評価などに係る様々な論拠を支える知識基盤として整備していく。

現在は第2段階の調査研究を進めており，第1段階の調査研究で構築した地質環境モデルやこれを用いた掘削による地質環境条件の変化の予測結果を坑道掘削時に得られる情報と比較しながら，地表での調査技術やモデル化手法の妥当性について，また施工技術や作業安全を確保する技術の適切性について確認を行っているところである。

以下に，平成 18 年度の実施概要と成果を述べる。特に今後の湧水抑制対策の観点で重要な成果に関しては，後続のトピック報告に詳細を紹介する。

平成 18 年度の実施概要

平成 18 年度は，平成 16 年度までの調査研究およびその後の解析評価結果に基づき，第1段階の調査研究成果を取りまとめ，公表した[3)]。また第 2 段階の調査研究として，主立坑（内径 6.5m）を深度 200.2m，換気立坑（内径 4.5m）を 193.7m まで掘削を進めながら，本計画の全体目標の①に対して研究坑道，特に立坑での壁面調査，深度 100m の水平坑道や研究所周辺ボーリング孔などを利用した間隙水圧・水質観測，初期応力測定などを実施し，第 1 段階の調査研究で構築した地質環境モデルの妥当性などを実施した。

また全体目標の②に対して，第 1 段階に検討した設計・施工技術が適切かどうかの確認を行った。平成 17 年 10 月に研究坑道掘削に係る排水において，放流先河川でのふっ素・ほう素の濃度が環境基準を超えたことから，岐阜県，瑞浪市および原子力機構の間で「瑞浪超深地層研究所に係る環境保全協定」を締結し，ここで定めた管理基準以下で排水できるように設備改良して坑道からの排水を行っている。これを受け，今後の研究坑道の掘削にあたり，排水の適切な処理を継続して行う観点から坑内湧水の抑制を計画することとした。湧水抑制対策としてプレグラウトおよびポストグラウトの効果を確認する試験施工を行うとともに，今後の掘削に伴う湧水抑制対策に資するため，両立坑坑底からパイロットボーリング調査を実施して深度 500m 程度までのより精度の高い地質環境情報を取得し，地質環境モデルの更新を行うとともに，これを用いて湧水量を予測した。

平成 18 年度の主な成果

(1) 第1段階の調査研究成果の取りまとめ[3)]

第1段階の調査研究は，処分事業で行う概要調査及び精密調査において実施される地上からの調査や，安全規制の検討に資するための技術基盤の強化を目的としている。こうした観点から，取得したデータや結果のみならず，実際の調査研究を通じて得られた経験やノウハウを提供することに留意して報告

書を取りまとめた。調査研究にあたり，研究成果を有効に活用できるようにするため，成果の反映先として地層処分システムの「安全評価」，「地下施設の設計・施工」，「環境影響評価」を念頭において個別目標と課題を明確に定めている。また，本プロジェクトに係る調査可能領域などの制約条件の下で不均質性を有する地質環境を効率的に把握していくため，全調査対象領域を調査密度の観点から分割する空間スケールを設定したうえで，調査研究を 5 つのステップに分け（図 1），繰り返しアプローチを適用した。

全体目標の①に対しては，このような調査研究の進め方を採用することにより，地層処分にとって重要な地質環境特性を効果的に把握することができることを示した。また，調査の進展に応じて，各調査項目についてさらに必要とされる調査の程度や適用する手法の最適化を図ることができるような柔軟な調査計画を作成することが重要であることを明らかにし，調査ステップ毎に，調査から評価までの系統的なデータの流れを「統合化データフロー」として整理することが有効であることを示した（図 2）。統合化データフローの作成とともに，調査研究を通して得られた技術的ノウハウや失敗の経験などをその背景情報として取りまとめている。

全体目標の②に対しては，得られた地質環境情報に基づき，現状の施工技術を適用して，調査研究に必要となる研究坑道の仕様やレイアウトを検討するとともに，空洞安定性評価や支保の設計，耐震設計などを検討した。さらに，実際に適用する施工技術や機器・設備を選定し，具体的な施工計画を策定した。また，突発事象対策として湧水に対するグラウト計画を立案するとともに，作業安全対策として入出坑，通信などに関するシステムと通気網解析を組合せた統合管理システムの概念を構築し実際に運用を行った。

(2) 第 2 段階の調査研究[4)]

1) 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

第 1 段階で構築した地質環境モデルが適切かどうかを検討するために必要な情報を，研究坑道壁面，研究所周辺および研究坑道の既存・新規のボーリング孔などを利用した調査研究によって収集している。深度 100m でのボーリング調査の結果，初期応力の方向が予測結果とよく一致していることを確認するとともに，初期応力の調査を目的としてこれまでに開発を行ってきた機器の実用化の見通しを得た。また，パイロットボーリング調査結果などに基づき，深度 500m 程度までの地質・地質構造や研究坑道掘削に伴う湧水量を予測し，今後の湧水抑制対策に反映させた（トピック報告「パイロットボーリング調査結果の概要 -ボーリング調査結果に基づく地質・地質構造の予測-」および「パイロットボーリング調査結果の概要 -水理調査結果に基づく立坑周辺の水理特性および湧水量の予測-」参照）。併せて，立坑周辺の地下水流動の方向や範囲などの把握を目的とした物理探査手法（流体流動電位法）などの調査・解析手法の技術開発も進め，それぞれの目的に沿って利用できる見通しを得た。

2) 深地層における工学技術の基盤の整備

湧水抑制対策としてポストグラウチングおよびプレグラウチングの効果を検証するために試験施工を実施し，湧水量が期待通りに低減することを確認した（トピック報告「湧水抑制対策としてのポストグラウト試験施工結果概要」参照）。また，パイロットボーリング調査結果と上述した湧水量予測に基づいて湧水抑制対策計画を立案し，プレグラウチングなどを実際の工事に適用して実用性を実証している。さらには，岩盤の変位や応力に関する観測データに基づいて，第 1 段階に行った坑道設計が適切であり，覆工技術が有効に機能していることなどを確認した。

<u>今後の計画</u>

平成 19 年度は，深度 200m の水平坑道の掘削，掘削中の壁面調査などを行うとともに，水平坑道において地質環境特性データを取得するための新規ボーリング調査などを実施する。研究坑道掘削の進捗状況によって，必要に応じて湧水抑制対策としてのプレグラウチングを行いながら立坑の掘削を進め，付随して行う調査やボーリング調査結果を利用して第一段階の地表からの調査によって作成した地質環境モデルの妥当性を検討する。工学技術の基礎の整備については，これまでの施工実績に基づく設計・施工計画が適切かどうかの確認と見直しを行い，その結果を以深の研究坑道掘削にフィードバックして

いくことを繰り返すことにより設計・施工技術の改良を進める予定である。

（執筆者：仙波毅）

参考文献

1) 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構（2006）：“高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”，2006 年 12 月．
2) 核燃料サイクル開発機構（2002）：“超深地層研究所　地層科学研究基本計画”，JNC TN7410 2002-008.
3) 三枝博光ほか（2007）：“超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第 1 段階）研究成果報告書”，JAEA-Research 2007-043.
4) 日本原子力研究開発機構（2007）：“超深地層研究所計画 年度計画書（2006 年度）”，JAEA-Review 2007-037.

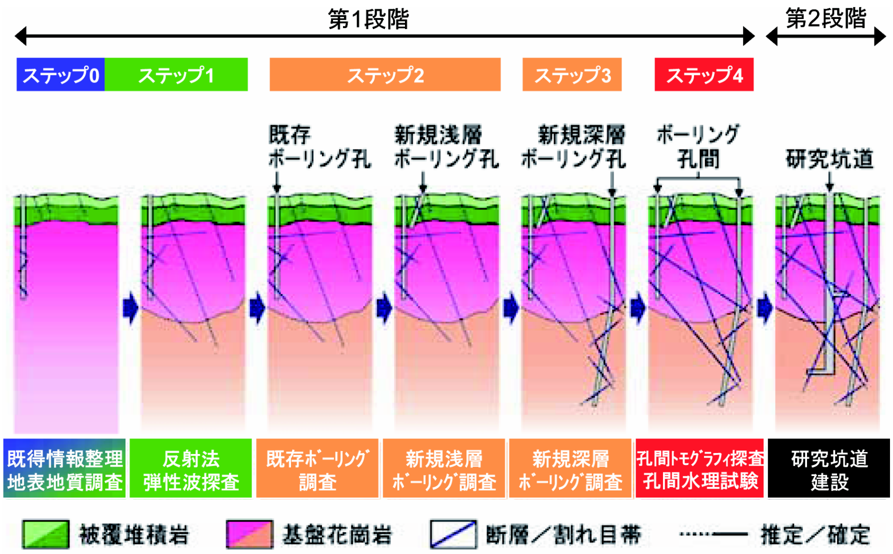


図 1　第 1 段階における調査研究の流れ

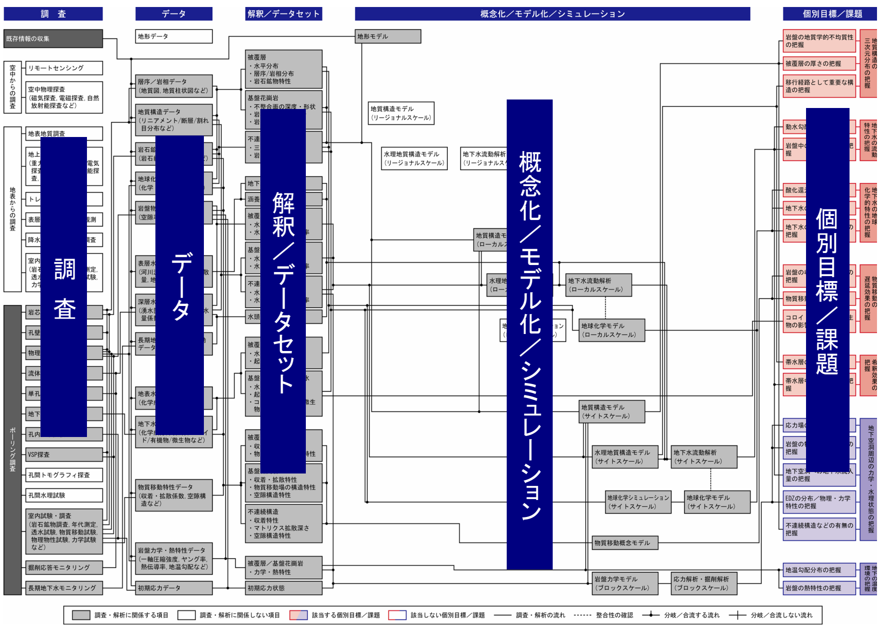


図 2　統合化データフローの例

【超深地層研究所計画 トピック報告(1)】
パイロットボーリング調査結果の概要
- ボーリング調査結果に基づく地質・地質構造の予測 -

研究の概要

瑞浪超深地層研究所の研究坑道掘削にあたって，今後の湧水抑制対策に資するために精度の高い地質環境に関する情報（地質・地質構造，岩盤水理，水質など）を取得することを目的として，両立坑の坑底（主立坑:深度 180m，換気立坑:深度 191m）からパイロットボーリング調査を実施した。具体的には表1に示す 3 つの課題，1)排水処理設備の設計，2)グラウト施工計画，および 3)施設設計の見直し，を設定し，それぞれの課題に資する情報を取得するための個別調査を実施した。掘削長は主立坑側では 348m（深度 528m），換気立坑側では 336m（深度 526m）である（図 1）。同調査では，岩芯記載，物理検層，ボアホールテレビ計測などの地質学的調査とともに，流体検層や温度検層などによる水みちの調査を行い，深度 500m 付近までの地質・地質構造に関する検討を行うとともに，これらの結果に基づき，地質構造モデルの更新を行った。

研究の成果

主立坑側のボーリング孔（06MI02 号孔）では土岐花崗岩のほかに，貫入岩が深度 350m 付近まで断続的に確認された。ボーリングの孔口深度（深度 180m）までの立坑の壁面観察により認められていた粘土変質がほぼ全深度にわたって連続し，特に貫入岩を伴う深度 200～270m および 330～400m 付近の変質が著しい。粘土化の影響により，条線や鏡面などの断層を特定する情報は極めて乏しいが，立坑の壁面観察などの結果を踏まえ，変質が著しい前述の深度付近が特に断層の影響が強い区間であると推定された。主立坑側の調査では，顕著な水みちは確認されなかった。

一方，換気立坑側のボーリング孔（06MI03 号孔）では，弱～非変質の土岐花崗岩が確認され，貫入岩や強い粘土化変質は認められなかった。本ボーリング調査前までの結果に基づき存在が推定されていた上部割れ目帯（30° 以下の低角度傾斜を有する割れ目の分布密度が相対的に高い岩盤領域）および低角度傾斜を有する割れ目の集中帯（上部割れ目帯の中でも低角度を有する割れ目が特に集中する領域）の分布が確認されるとともに，流体検層や温度検層の結果，深度 210m 付近および 400～460m 付近において水みちが検出された。ボアホールテレビ計測の結果，深度 210m 付近の水みちは主に低角の割れ目に，深度 400～460m の水みちは北東走向の高角の割れ目に起因している可能性が高いと考えられる。

上記の結果に基づく深度約 500m 付近までの立坑周辺の地質・地質構造断面図を図 2 に示す。本ボーリング調査以前の地質・地質構造の予測との対比については，低角度を有する割れ目の集中帯の分布が事前に予測した範囲内において確認された。また遮水性機能を有する断層についても，ほぼ予測の範囲内にその存在を確認するとともに，遮水性の機能を果たしえる粘土変質帯を確認した。しかし，主立坑に確認された貫入岩と強い変質については事前に予測し得なかったことから，これまでの調査結果の再整理とともに，変質の形成に関する検討を実施している。

湧水抑制対策への反映の成果としては，特に以下の点に留意してプレグラウチングの計画を策定する必要があることが明らかとなった。

- 換気立坑:深度 210m 付近および深度 400～460m 付近の透水性の割れ目の分布と性状
- 主 立 坑:ボーリング調査では顕著な水みちは確認されなかったが，ボーリングの孔径より大きな立坑の掘削範囲内では透水性の割れ目が出現する可能性がある

また，施設設計の観点では，主立坑およびその周辺はほぼ全深度にわたって高角の断層およびその影響を受けた脆弱な岩盤領域であると予想されることから，岩盤の補強のためのレジン注入等が必要であることが明らかとなった。

（執筆者:鶴田忠彦，竹内真司）

表 1　課題と対応する調査項目

必要な情報		パイロットボーリング調査項目							
		掘削モニタリング	岩芯地質観察	ボアホールTV観察	物理検層	流体検層	水理試験	採水・水質分析	水圧モニタリング
	排水処理設備の設計								
	理論解による湧水量予測								
	透水係数						○		
	初期水圧						○		
	数値解析による湧水量予測								
	割れ目データ		○	○					
	透水係数						○		
	比貯留係数						○		
	涵養量	表層水理データ							
	水質予測							○	
	グラウト施工計画								
	湧水位置	○	○	○	△	○			
	湧水幅		△	△	△	△			
	水みちの連続性	△					△	△	○
	湧水量	△					○		
	湧水圧	△					○		
	施設設計の見直し								
	岩級・岩質・物性		○	○	○				
	脆弱な地質構造		○	○	○				

○:直接的反映　　△:間接的に反映

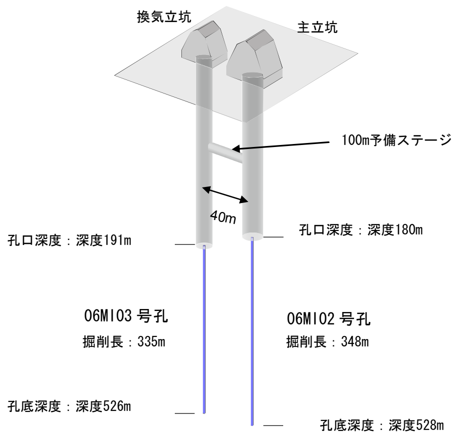


図 1　パイロットボーリング孔のレイアウト

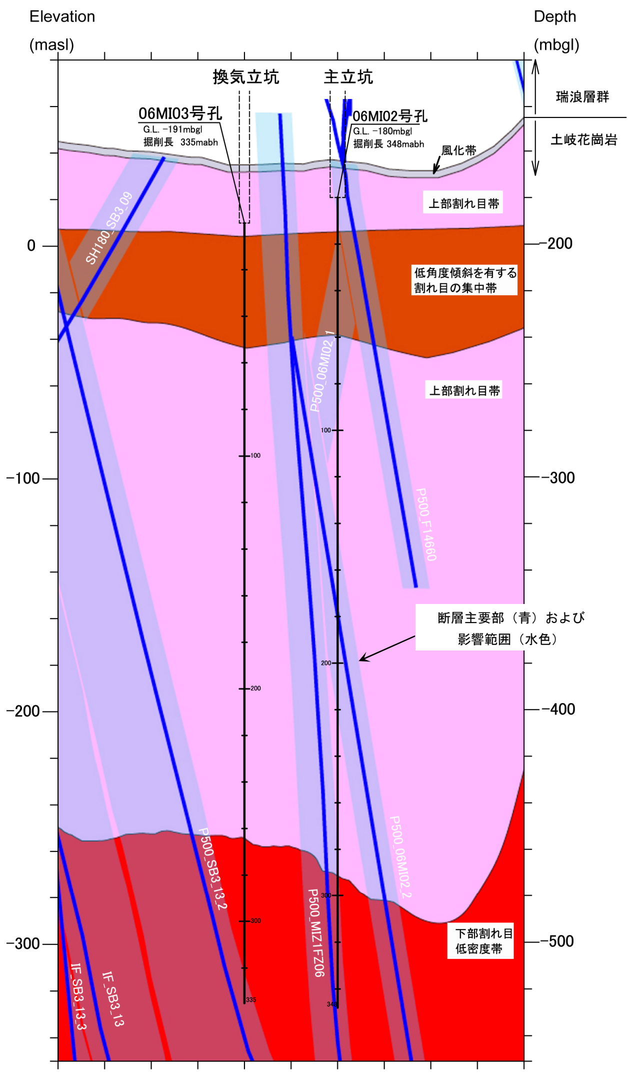


図 2　パイロットボーリングに基づく坑道周辺の地質・地質構造図

【超深地層研究所計画 トピック報告(2)】
パイロットボーリング調査結果の概要
－水理調査結果に基づく立坑周辺の水理特性および湧水量の予測－

研究の概要

研究坑道を掘削する際には湧水抑制対策を施す。湧水抑制対策を検討するにあたっては，あらかじめ対策を施さない場合の湧水量をおさえておく必要がある。そこで，立坑掘削に伴う今後の湧水の抑制対策に資することを目的として，地表からの調査予測研究段階（以下，第 1 段階）の調査結果からパイロットボーリング調査までに取得された情報を用い，立坑への湧水量の予測解析を行った。予測解析では，瑞浪超深地層研究所用地（以下，研究所用地）周辺の地下水流動に影響を与えることが考えられる断層などの水理地質構造や研究坑道を考慮した三次元モデルを用いた。

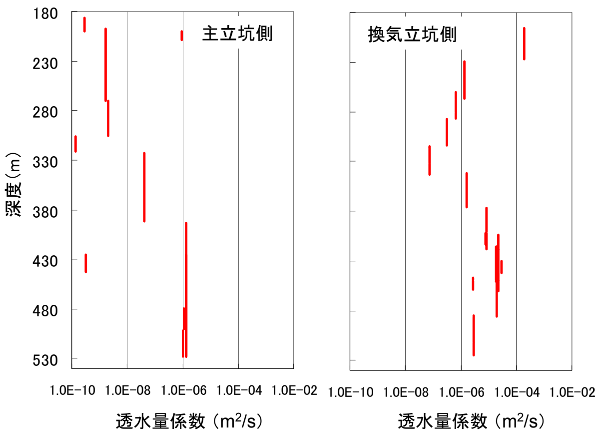


図 1 水理調査結果

研究の成果

パイロットボーリング調査における水理調査結果から，特に流体検層で顕著な流速の増加が確認された深度約 210m と同 400～460m の区間で，それぞれ $10^{-4}m^2/s$ オーダー，$10^{-5}m^2/s$ オーダーの高い値が得られた。深度 210m 付近には上部割れ目帯中に存在する低角度割れ目の集中帯（以下，LAFZ），深度 400m～460m は北東走向の高角の割れ目の存在が推定されている。ここから，換気立坑では第 1 段階の調査結果で推定されていた LAFZ に加え，深度 400m～460m 付近からの湧水量が大量になる可能性が示唆された。また，本調査結果から，主立坑周りに追加された断層（トピック報告「パイロットボーリング調査結果の概要－ボーリング調査結果に基づく地質・地質構造の予測－」（以下，「地質，地質構造の予測」）図 2 中の P500_06MI02_1，P500_06MI02_2，P500_F14660 など）は，低透水性を有していると推定された（図 1）[1]。

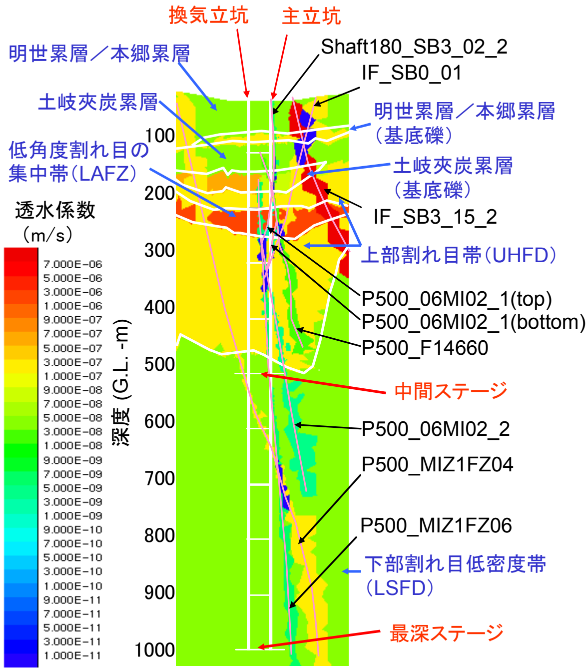


図 2 水理地質構造モデル

解析領域は，境界条件が解析結果に及ぼす影響を避けるため，尾根線や河川などの分水界で囲まれた約 9km 四方とした[2]。また，主立坑，中間ステージ，最深ステージおよび予備ステージなどをモデル化した。

水理地質構造モデルの構築においては，第 1 段階の調査結果に基づいて設定された地層および地質構造をモデル化した。具体的には，9km四方程度の広い領域においては，瀬戸層群，瑞浪層群，花崗岩上部割れ目帯（以下，UHFD），花崗岩下部割れ目低密度帯（以下，LSFD）の地層境界，および主要な断層として月吉断層ならびに同等の規模を有すると考えられるトレース長が 3km 以上のリニアメントをモデル化した。研究所用地近傍においては，瑞浪層群を生俵累層，明世累層，明世累層（基底礫），土岐夾炭累層，土岐夾炭累層（基底礫）に分割し，LAFZ をモデル化した。加えて，第 1 段階の調

査によって抽出された断層(IF_SB0_01, IF_SB3_15_2, P500_MIZ1FZ06, P500_06MI02_2など)と, 深度180mまでの立坑壁面調査で新たに追加された断層(Shaft180_SB3_02_2 など)をモデル化した。水理地質構造モデルに設定した水理パラメータは, 第 1 段階の調査結果 [3]に基づき設定した。

上記の水理地質構造モデルに, パイロットボーリング調査で新たに推定された断層(トピック報告「地質, 地質構造の予測」図 2 中の P500_06MI02_1, P500_06MI02_2, P500_F14660 など)を追加し, パイロットボーリング調査における水理試験結果に基づいて水理パラメータを設定した。さらに, 第1段階の調査と立坑壁面調査によって抽出された断層の一部(トピック報告「地質, 地質構造の予測」図 2 中の P500_MIZ1FZ06, P500_SB3_13_2 など)は, パイロットボーリング調査の結果から, 断層の位置や形状を更新した。以上により構築した水理地質構造モデル(図 2)を用いて深度 1,000m までの研究坑道の掘削を模擬した飽和・不飽和状態における非定常解析を行った。

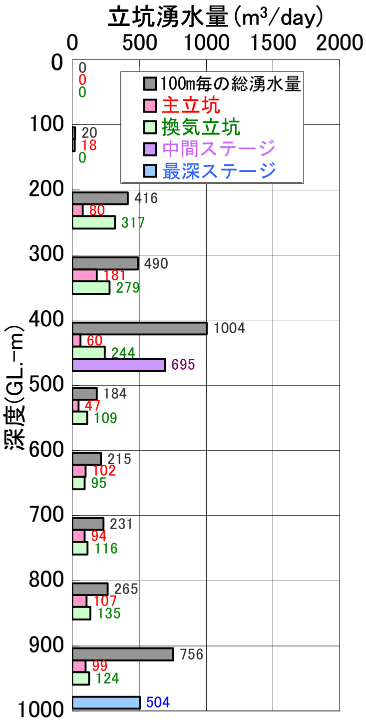


図 3 解析結果(湧水量の深度分布：掘削後定常状態)

解析の結果, グラウチングなどの湧水抑制対策を施さない場合, 深度 1000mの最深ステージの掘削が終了した後の定常状態で, 特に換気立坑では掘削が LAFZ に到達する深度 200m 付近から湧水量が急激に増加し, その後, 大量の湧水が予想された深度 400m～460m 付近まで続いている(図 3)。このことから, このような高透水性の構造を対象とした湧水抑制対策を実施することにより, 立坑への湧水を大幅に抑制できる可能性が示された。また, 深度 1000mの最深ステージの掘削を完了した付近で,総湧水量は最大の約 3,600m^3/day となり, 第 1 段階の水理地質構造モデル [4]を用いた解析結果(約 10,000m^3/day 以上)と比較し, 大幅に少ない湧水量となった。この内訳は主立坑が約 790m^3/day, 換気立坑が約 1,420m^3/day で換気立坑からの湧水量が多くなった。これは, 特に土岐夾炭累層(基底礫)から UHFD にかけて, 第 1 段階調査では明らかになっていなかった, P500_06MI02_1, P500_06MI02_2, P500_F14660 などの周辺の地層と比べて透水性の低い不連続構造を主立坑の近傍にモデル化したことにより, これらが湧水量の増加を抑制したためと考えられる。

パイロットボーリング調査結果に基づいて水理地質構造モデルを更新し, 湧水量予測解析を実施した結果, 立坑への湧水量は, 低透水性の断層およびLAFZ のような高透水性構造の分布に大きく影響され, 総湧水量も大きく変化することが示された。このことから, 確度の高い湧水量の予測には, これらの構造が研究坑道に出現する位置や数の推定精度の向上および水理特性などの把握が重要であることが示された。

以上から, パイロットボーリング調査を実施することによって, 水みちとなる構造の分布が把握でき, グラウチングすべき箇所が把握できること, 新たに解釈されたデータに基づいてモデルを更新し, 解析を実施することで, より現実的な湧水量を把握することでき, 湧水抑制対策に資することが可能となることが示された。

(執筆者：大山卓也)

参考文献

1) 竹内ほか(2007)：“超深地層研究所におけるパイロットボーリング調査結果の概要”, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演要旨(2007).
2) 稲葉薫, 三枝博光(2005)：“深部地下水流動系を抽出するための後背地地形の影響を考慮した広域地下水流動解析”, 地下水学会誌, 第 47 巻第 1 号, pp.81-95.
3) 尾上ほか(2007)：“繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの水理地質構造のモデル化・地下水流動解析(ステップ 4)”, JAEA-Research 2007-34.
4) 尾上ほか(2005)：“繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの水理地質構造のモデル化・地下水流動解析(ステップ 3 前半)”, JNC TN7400 2005-12.

【超深地層研究所計画 トピック報告(3)】
湧水抑制対策としてのポストグラウト試験施工結果概要

研究の概要

岐阜県瑞浪市で進めている超深地層研究所計画(瑞浪超深地層研究所)では，これまでに 2 本の立坑を約 200m の深さまで掘削し，現在深度 200 メートルの水平坑道の掘削を行っている。

研究坑道の掘削においては，周辺環境への負荷の低減とともに，掘削作業等の安全を確保した上で湧水処理および湧水抑制対策に関わるコストを最小限に抑えることが施工上の課題となっている。そこで，湧水抑制対策として立坑の既掘削部を対象にポストグラウチングを検討し，その効果を検証するために試験施工を実施した [1),2)]。

研究の成果

本立坑では，立坑覆工コンクリート背面に設置した裏面排水材により，覆工に水圧をかけない構造としているため，グラウトにあたって裏面排水材を閉塞させないことが必要である。そこで，ポストグラウチングの基本計画は，図 1 に示すように，覆工背面からカバーロックを兼ねた無注入区間(4.0m)を確保し，その先で仮止水領域(1.0m)を形成した後，本格注入領域(5.0m)を形成することとした。これに基づいて，最も湧水が発生している礫岩層のうち比較的均質な堆積状況を示す深度 140m 付近(坑底より 50m 上方)において，図 2 に示すような配置でポストグラウチング試験施工を実施した。グラウチング効果は，注入前後，および注入領域内外での地盤の透水性の変化で評価することとし，パイロットボーリング孔（注入前 2 本）とチェックボーリング孔（注入後 3 本）においてルジオン値，湧水圧，透水係数および湧水量を取得し，その変化を比較した（表1）。

その結果，グラウト注入前に比べて，注入領域内ではルジオン値および透水係数ともに 1/5 程度に低減し，かつ湧水はほとんど認められないのに対し，注入領域外では明らかに透水性の低減程度が低く，かつ湧水量が大幅に増加していることが分かった。また，1 次孔に比べて 2 次孔の方が注入量が少ないことも示された [3)]。これらの結果より，今回のポストグラウト試験施工は，設定した注入領域の透水性を限定的に低減させるという観点から，概ね妥当であることが確認できた。

（執筆者：久慈雅栄）

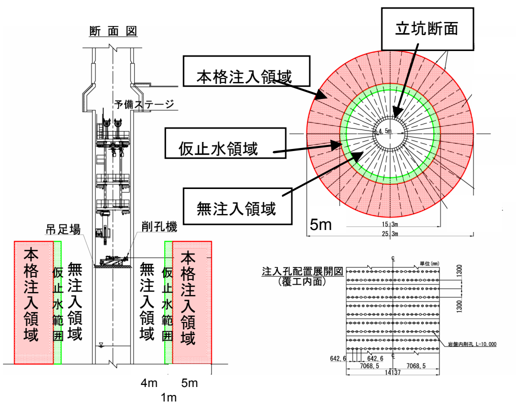


図 1 ポストグラウチング基本計画

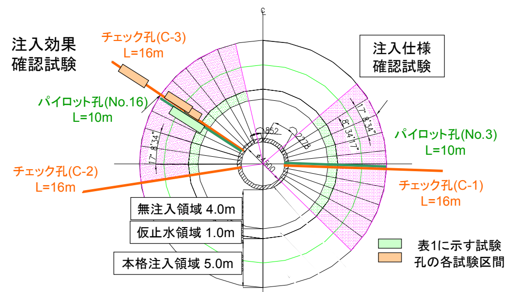


図 2 ポストグラウチング試験施工

表 1 注入前後の透水性の変化

試験孔 No.	試験区間 [m]	ルジオン値 [Lu]	湧水圧 [MPa]	透水係数 [m/sec]	湧水量 [L/min]	注入時期，注入領域との関係
P孔 No.16	4.6～7.7	20.1	0.169	2.78E-06	6.5	注入前
C-3孔	5.6～7.0	4.2	0.219	7.79E-07	0.0	注入後領域内
	6.7～9.5	3.1	0.228	4.25E-07	1.1	注入後領域内
	12.0～14.5	11.4	0.258	1.76E-06	18.0	注入後領域外

参考文献

1) Kuji, M. et al.(2007): "Countermeasures planned for reducing water inflow into deep shaft at Mizunami Underground Research Laboratory", Proceedings of ICONE-15, No.10413.
2) 久慈雅栄ほか(2006)："大深度立坑における湧水抑制対策としてのポストグラウト試験施工"，土木学会，トンネル工学報告集，Vol.16, pp.469-476.
3) 久慈雅栄ほか(2007)："瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題（その 5）－ポストグラウチング試験施工の注入次数による注入量評価－"，土木学会，平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会，(投稿中).

2.2.2 幌延深地層研究計画

研究の概要

幌延深地層研究計画は，「深地層の研究施設計画」の 1 つとして，堆積岩と塩水系地下水を対象に，北海道幌延町において進めているプロジェクトであり，原子力機構の中期計画では，深度に依存する科学的，工学的因子のほか，特定放射性廃棄物の最終処分法に示されている要件を考慮し，地下 300m 程度までの坑道掘削時の調査研究を行なうことを目標としている。本プロジェクトでは，研究開発を「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」の 2 つの領域に区分し，第 1 段階「地上からの調査研究段階」，第 2 段階「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階」，第 3 段階「地下施設で調査研究段階」の 3 段階に分けて実施している [1)]。さらに，「深地層の科学的研究」では，地質環境調査技術開発，地質環境モニタリング技術開発，深地層における工学技術の基礎の開発，地質環境の長期安定性に関する研究の 4 つの課題を，また，「地層処分研究開発」では，処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化の 2 つの課題を設定して進めている。全体で 20 年程度の計画であり，①「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」，②「深地層における工学技術の基盤の整備」，③「実際の地質環境での地層処分技術の適用性確認」の 3 つを全体目標としている。また，国の HLW 全体計画（「1.地層処分技術に関する研究開発」参照）においては，地下施設を活用した調査に関わる技術基盤の確立が今後の段階目標として位置づけられている。なお，「地層処分研究開発」の内容については，2.1 において述べられたとおりであり，また，「深地層の科学的研究」のうち，地質環境の長期安定性の内容については，2.2.3 において説明する。

平成 13 年 3 月から平成 18 年 3 月までの約 5 年に亘り第 1 段階の調査研究を行っている。地下施設の建設開始に伴い，平成 17 年度から第 2 段階の調査研究を開始した。現在，第 2 段階の調査研究を進めており，第 1 段階での調査研究成果や残された課題を踏まえ，坑道掘削時の調査から得られる情報に基づいて地上からの調査研究で構築した地質環境（地質構造，岩盤水理，地球化学，岩盤力学）モデルや地質環境の変化の予測結果の妥当性を評価しながら，地上からの調査・評価技術の信頼性の確認を行っている。また，深地層における工学技術の基礎の開発については，地下施設の設計手法・施工技術の適用性を実際の施工を通じて確認するとともに，地下坑道の設計・施工計画の策定，施工対策，安全確保や維持・管理に関する工学技術の整備・高度化を進めている。以下に，平成

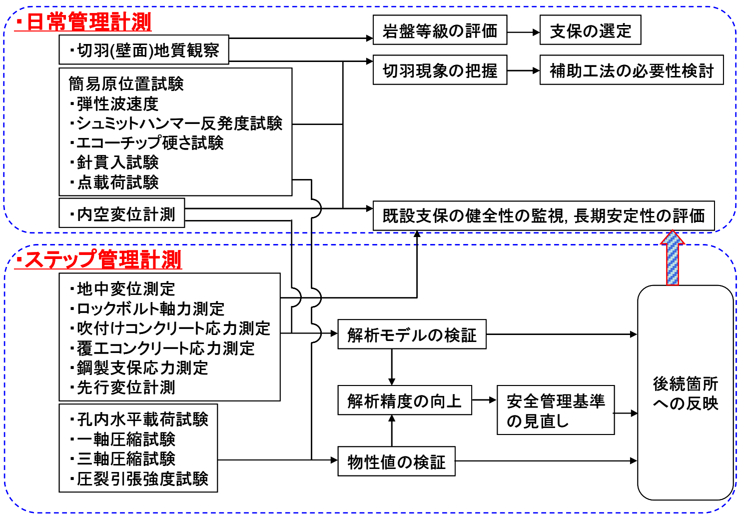


図 1 情報化施工プログラムにおける管理計測の主要な項目と取得データの解析評価の流れ

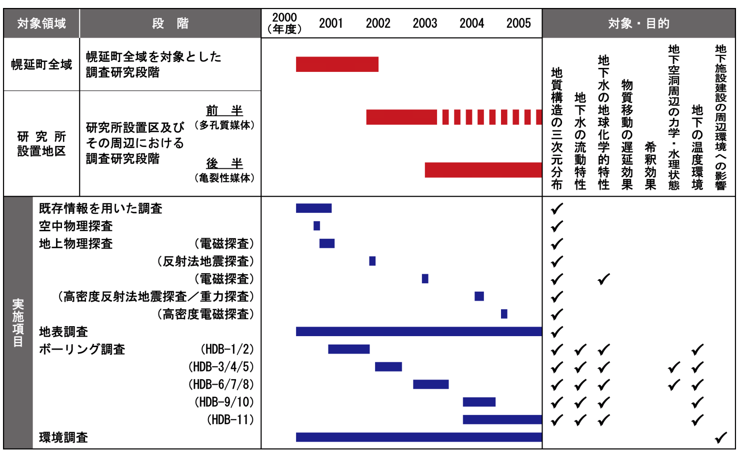


図 2 第 1 段階における調査研究の進め方と実施内容

18 年度の実施概要と主要な成果を述べる。特に，第 1 段階の調査研究において構築した地質環境モデルや立坑掘削に伴う地質環境の変化の予測の観点で重要な地質構造，岩盤水理および岩盤力学に関する成果を後続のトピック報告で詳しく紹介する。

平成 18 年度の実施概要 [1)]

平成 18 年度は，約 5 年に亘る調査研究およびその後の解析評価結果に基づいて第 1 段階の研究成果の取りまとめ [2)]を行うとともに，換気立坑(内径 4.5m)で深度約 51m，東立坑(内径 6.5m)で深度約 41m まで掘削した。また，両立坑の掘削に合わせて地質環境（地質構造，岩盤力学，地球化学，岩盤力学）データを取得し，各モデルの妥当性の確認と更新，ならびにそれらを用いた解析を実施した。特に地質構造については，坑道の壁面観察を実施し，地下浅部の地質構造を把握するとともに，第 1 段階で予測した地質・地質構造の確認や不連続構造の分布特性について検討した。また，深地層における工学技術の基礎の開発の一環として，第 1 段階で提示した地下施設の設計の考え方を踏まえ，設計・施工方法の最適化を図るための情報化施工プログラム [3)]を作成し，立坑の掘削に合わせて運用を開始した（図 1）。

平成 18 年度の主な成果

(1) 第1段階の調査研究の取りまとめ [2)]

本プロジェクトにおける第 1 段階の調査研究の取りまとめは，「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」の 2 分冊の報告書の作成によって行っている。前者では，4 つの課題（地質環境調査技術開発，地質環境モニタリング技術開発，深地層における工学技術の基礎の開発，地質環境の長期安定性に関する研究）の成果について，後者では，2 つの課題（処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に関する研究）の成果について取りまとめた。

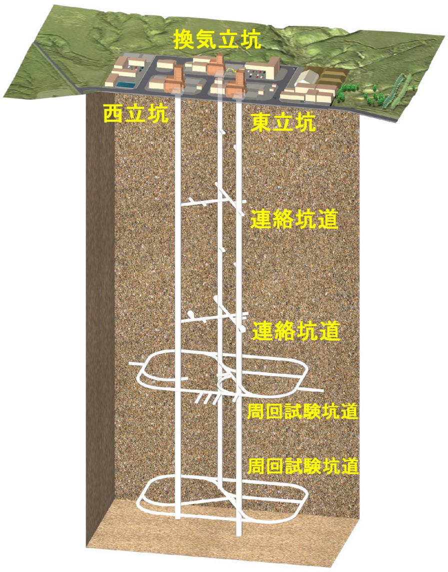


図 3　地下施設レイアウトの検討図

図 2 に第 1 段階における調査研究の進め方と実施内容を示す。調査研究にあたり，「地層処分システムの安全評価」，「地下施設の設計・施工」および「環境影響評価」の観点から調査・評価すべき地質環境特性やプロセスを具体化し，それらを把握することを調査研究の個別課題として設定している。第1段階の調査研究では，既に述べた 3 つの全体目標のうち，①「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」と②「深地層における工学技術の基盤の整備」の 2 つの目標に対して，地上からの段階的な調査や地下施設の設計・施工計画の策定など，様々な調査研究を展開した。これらの調査研究と並行して，特に第1段階の前半では，研究所設置地区（地上からの調査研究を展開している約 3km×3km の領域）および研究所設置場所（地下施設の建設場所）の選定を行うとともに，第 1 段階を通じて，研究所の設置に伴う周辺環境への影響を把握するための環境調査や地質環境モニタリングなどを継続的に進めた。また，地表からの調査により得られた地質環境情報，第 2 段階以降において地下施設内で実施される予定の調査試験の計画 [1)]，現状の施工技術を考慮して，図 3 に示す坑道の仕様・レイアウトを検討するとともに，地下施設の建設・供用時において地下深部で遭遇すると想定される様々な現象を考慮した坑道内の作業安全確保，坑内環境の維持に必要な対策工，施工管理方法について検討し，地下施設の設計・施工計画を策定した。さらに，③「実際の地質環境での地層処分技術の適用性確認」の目標に対しては，堆積岩における人工バリア等の工学技術の検証や設計手法の適用性確認のほか，安全評価に関する試験など，地下施設を利用した「地層処分研究開発」に関する原位置試験が実施される予定である。

(2) 第 2 段階の調査研究

1) 地質環境調査技術開発

第2段階の調査研究の主な内容は，①第1段階における調査研究結果，特に地質環境モデル（主として地下施設を含む数 km 四方程度の範囲）の妥当性や調査・解析手法の有効性を確認すること，②坑道掘削に伴う地質環境の変化を把握すること，③坑道掘削に伴い取得される地質環境情報に基づいて坑道の周辺数十 m～数 m 四方程度の範囲を対象とした地質環境モデルを構築することである。平成 18 年度は，換気および東立坑の掘削に伴う地質環境データの取得を行うとともに，地上からの調査・解析手法の妥当性の確認と地質環境モデルの構築（トピック報告参照）のほか，岩盤水理，地球化学，岩盤力学に関するデータを取得するための調査技術・調査機器開発を進め，坑道近傍の岩盤の透水性を調べるための試験装置の試作や坑道内で地下水の水質を連続的にモニタリング可能な装置の製作，坑道掘削に伴う周辺岩盤の変形を長期的に計測するための光ファイバー式地中変位計の開発 [1]などを行った。

2) 地質環境モニタリング技術開発

第 2 段階では，第 1 段階でボーリング孔に設置した水圧・水質モニタリング機器の動作に関する長期的な安定性の確認や地下施設建設に伴う地質環境の変化に関するデータを取得する予定である [1]。平成 18 年度は，立坑掘削に伴う周辺岩盤の変形を調べるため，立坑周辺に高精度傾斜計および間隙水圧計などの機器を設置してモニタリングを開始するとともに，坑道掘削に伴う地質環境の変化に関する各種データの取得を進め，各ボーリング孔のモニタリング結果から，地下施設周辺の水圧分布は静水圧からやや被圧された状態であること [1]などが確認された。また，立坑掘削に伴う地質環境の変化を精度良く捉える目的で，弾性波と電磁波の変化を連続的に観測する遠隔監視システム（精密制御定常信号システム：アクロス）を用いた研究を継続し，得られた受信波の振幅スペクトルの時間変化を調べることで地質環境の変化を推定できる可能性が示された [1]。

3) 深地層における工学技術の基礎の開発

第 2 段階では，設計・施工方法の最適化を図るための情報化施工プログラムに基づき，坑道掘削を進めながら岩盤の変位や応力を計測するシステムを設置してデータ取得と解析評価を行い，第 1 段階で提示した坑道設計や覆工技術の妥当性を検討するとともに以深の掘削・施工方法の最適化を進める予定である。平成 18 年度は，標記情報化施工プログラム [1]を作成するとともに，両立坑の掘削に合わせて地中変位計（トピック報告参照）やコンクリート応力計などの計測システムを設置しながら運用を開始した。

今後の計画

平成19年度は，換気立坑で深度150m程度，東立坑で深度100m程度まで掘削を進める予定である。また，坑道掘削の際の湧水箇所や湧水量などをより精密に予測するための調査として，換気立坑近傍で先行ボーリング（深度 520m）を実施する。地質環境調査技術開発については，坑道掘削時の調査および先行ボーリング調査を利用して地質環境データを取得し，第 1 段階で構築した地質環境モデルの妥当性の確認と更新を行うとともに，新たに坑道周辺の詳細な地質構造モデルを構築する。地質環境モニタリング技術開発については，長期モニタリング機器および遠隔監視システムによる観測を継続し，特に後者については，観測データの処理・解析を試行する。深地層における工学技術の基礎の開発については，立坑の掘削を進めながら，岩盤の変位や応力を計測するシステムを設置し，得られる情報に基づいて坑道設計の妥当性を検討するとともに，掘削・施工方法の最適化を図っていく予定である。

（執筆者：佐藤治夫）

参考文献

1) 日本原子力研究開発機構（2007）：“幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究成果報告”，平成 19 年 6 月．

2) 太田久仁雄，阿部寛信，山口雄大，國丸貴紀，石井英一，操上広志，戸村豪治，柴野一則，濱克宏，松井裕哉，新里忠史，高橋一晴，丹生屋純夫，大原英史，浅森浩一，森岡宏之，舟木泰智，茂田直孝，福島龍朗（2007）：“幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階（第 1 段階）研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」”，JAEA-Research 2007-044.

3) 森岡宏之，山口雄大，舟木泰智，尾留川剛（2007）：“幌延深地層研究計画における立坑掘削時の計測計画及び情報化施工プログラム”，JAEA-Research 2007-050.

【幌延深地層研究計画 トピック報告(1)】
地下施設周辺の表層部における地質・地質構造の把握と水理地質構造の構築

研究の概要

幌延深地層研究計画では，深度約500mの地下研究施設の建設を進めている。平成17年度から坑道掘削を伴う第2段階の調査研究を開始し，平成19年3月までに換気立坑で深度約51m，東立坑で深度約 41m まで掘削した。このように大規模な地下施設を建設するにあたっては，事前に施工対象となる岩盤の地質構造と水理特性を予測し，湧水対策（止水や排水処理設備等）のための地質環境情報を整理しておく必要がある。特に堆積岩のように透水性が異なると考えられる岩相の集合体では，各岩相の三次元的な広がりと透水性を事前に把握することが重要である。第 1 段階における調査研究では，地上からのボーリング調査や露頭調査などから，地下施設近傍の水理地質構造を予測し，水理試験結果と併せて高透水性を有する岩相を抽出した。平成 18 年度は，その結果を踏まえて立坑掘削に伴う掘削深度と湧水量との関係について予測解析を実施し，坑道掘削前に高透水性を有する岩相を対象に湧水対策を施した。また，立坑掘削に合わせて立坑壁面での地質観察や湧水量の調査を行い，第 1 段階の調査研究で構築した地質・地質構造モデルを更新するとともに，湧水対策として立坑周囲に施工した地中連続壁により坑道への地下水の引き込みが最小限に抑えられることを確認した。

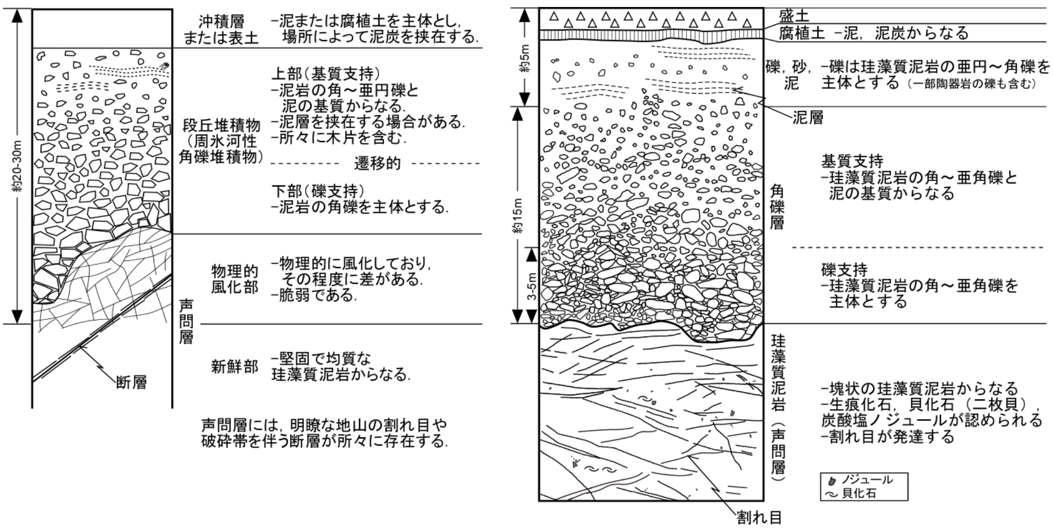
研究の成果

第1段階におけるボーリング調査結果から，深度約50mまでには上位から角礫層（立坑掘削前は段丘堆積物（周氷河性角礫堆積物））[透水係数：10^{-7}～10^{-6}m/s]，声問層（珪藻質泥岩）の物理的風化部[10^{-6}～10^{-5}m/s]，物理的風化を受けていない声問層の新鮮部[上面約 30m で 10^{-8}～10^{-4}m/s，それ以深で 10^{-8}m/s]が分布すると予測した（図 1）。また，声問層の新鮮部では，挟在する凝灰岩層が水みちであること，声問層中に発達する断層（層理面に高角な横ずれ優勢の断層と層理面に平行な縦ずれ優勢の断層が卓越）は顕著な水みちであると推察された。なお，声問層の新鮮部より上位に分布する岩相からの湧水量は，井戸理論より最大 1,000m^3/day 程度になる可能性のあることが明らかとなった。この予測に基づいて地下施設への湧水量を抑えるため，地上から声問層の新鮮部の上面約30mまでの区間を対象に，透水係数が 10^{-8}m/s 以下の地中連続壁を立坑周囲に設けることとした [1)]。一方，立坑壁面での地質観察結果から，立坑深度約 50m までには上位から角礫層および声問層（珪藻質泥岩）が分布すること，換気立坑の深度 30～36m の声問層中には，北西-南東走向で南西傾斜の断層が分布することを確認した（図 2，3）[2)]。この断層は，地上からの調査で認められた層理面に平行な縦ずれ優勢の断層に該当するが，断層付近からの湧水は認められなかった。壁面観察に基づいて更新した水理地質構造から，掘削前のボーリング調査で声問層の物理的風化部と判断した岩相は，立坑掘削時の壁面観察では礫支持角礫層であることが判明した（図 1）。この判断の違いは，ボーリング調査においては孔径より大きな礫は礫として判断することが困難であったことによる。また，両立坑の予定掘削深度における湧水量は 3m^3/day 程度であり，地中連続壁の透水係数を 10^{-8}m/s として解析した湧水量の予測結果とも一致し，止水壁が有効に機能していることを確認した。以上，堆積岩のような透水性が異なる岩相の集合体では，地上からのボーリング調査で透水性の高い岩相（ここでは角礫層）を把握し，この岩相に対して湧水対策を施すことで，坑道への地下水の流入を最小限に抑えられることが明らかとなった。また，透水性の低い（10^{-8}m/s 程度）岩相（ここでは声問層）からの湧水は特に認められず，このような区間については湧水対策を施さなくても坑道への地下水の流入は十分抑えられることが示された。

（執筆者：舟木泰智）

参考文献

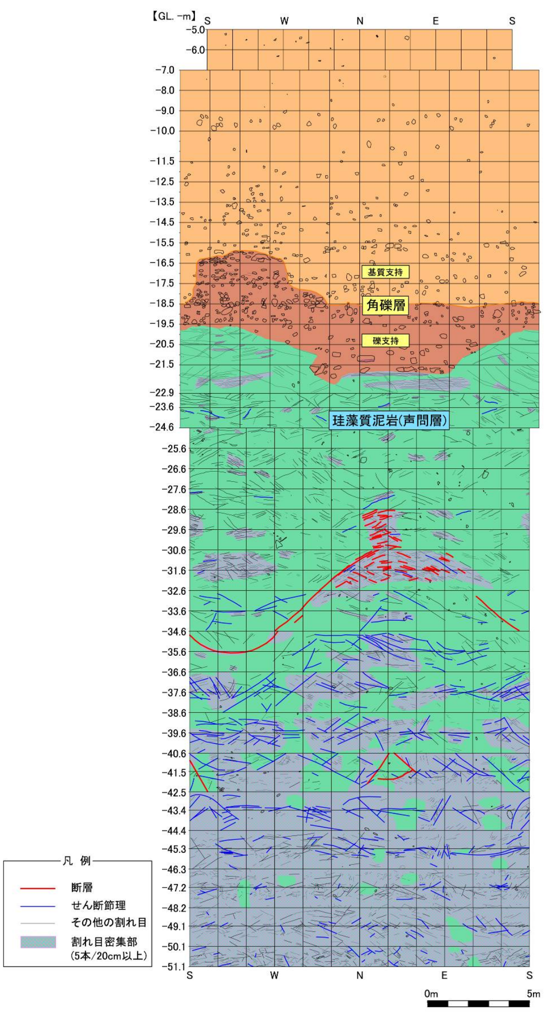
1) 尾留川剛,山上光憲，舟木泰智，名合牧人（2007）：“大深度立坑周囲に構築した止水壁による立坑湧水量の低減”，第 42 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.883-884，2007 年 7 月.
2) 日本原子力研究開発機構（2007）：“幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究成果報告”，2007 年 3 月.



立坑掘削前
(立坑周辺の浅層試錐孔の調査結果に基づく)

立坑掘削後
(換気・東立坑の壁面観察の結果に基づく)

図 1 換気･東立坑近傍における掘削前後での地下浅部の地質構造の概念(左図:予測結果, 右図:観察結果)[2)]



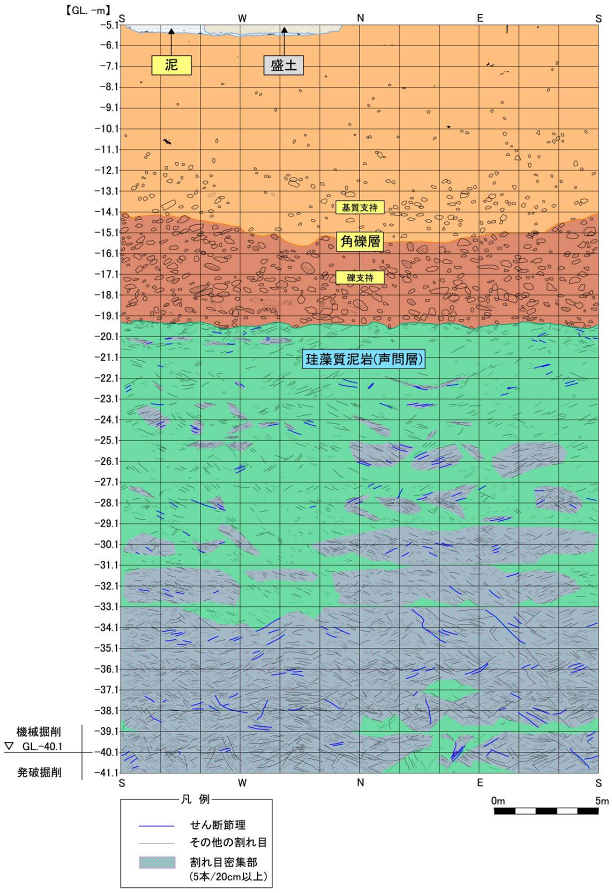


図 2 換気立坑における壁面の地質観察結果
(円柱状の立坑壁面の南方向を両端に展開)[2)]

図 3 東立坑における壁面の地質観察結果
(円柱状の立坑壁面の南方向を両端に展開)[2)]

【幌延深地層研究計画 トピック報告(2)】
幌延地域に分布する新第三紀珪質岩の力学特性－等方圧縮試験－

研究の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の一環として，北海道幌延町において地下研究施設の建設を伴う幌延深地層研究計画を進めている。第 1 段階の調査研究から，研究所用地を含む約 3km 四方の研究所設置地区およびその周辺の岩盤は，地表から約 500m までの範囲で珪藻を起源とした新第三紀の堆積軟岩であり，上位層は珪藻質泥岩の声問層，下位層は珪質泥岩の稚内層で構成されることや水平面主応力方向は東西方向であることなどが明らかとなっている。堆積軟岩は等方圧縮により降伏する可能性がある [1]ため，本研究計画で対象とする幌延珪質岩については，地質環境モデルの構築の観点から適切な構成則を選定する必要があり，等方圧縮試験を実施した。第 1 段階での調査研究で掘削した HDB-6 孔の深度約 186m（珪藻質泥岩：声問層）と HDB-11 孔の深度約 672m（珪質泥岩：稚内層）から採取した岩石コアを用いて，円柱形供試体（直径 30mm × 高さ 60mm）を 2 本ずつ作製し，真空脱気により現地水で飽和させた後，熱収縮チューブで被覆して試験に供した。試験は，現地水を用いて背圧 1MPa とし，声問層に対しては有効封圧を 1，10，20，30，40MPa と 1，5，10，15，20，25，30MPa，稚内層に対しては有効封圧を 1，5，10，20，30，40MPa とし，連続的に等方圧密を行った。

研究の成果

図 1 に有効封圧と圧密終了時の体積ひずみとの関係を示す。声問層では，10MPa より大きい有効封圧で体積ひずみが急激に増大する。一方，稚内層ではそれはほとんど見られない。今回の有効応力の範囲では声問層は等方圧で降伏し，稚内層では降伏しなかった。このことは，声問層についてはエンドキャップ型の構成則を適用する必要があることを示唆している。

等方圧縮試験時の体積ひずみと拘束圧との関係から供試体の透水係数の変化を(1)式(川崎らの方法)[2]に基づいて推定した。ここで，k は透水係数，C_v は圧密係数，m_v は体積圧縮係数，γ_w は水の単位体積重量である。

$$k=C_v \cdot m_v \cdot \gamma_w \qquad (1)$$

図 2 に有効封圧と透水係数の推定値との関係を示す。いずれの供試体も有効封圧の増加とともに透水係数が低下し，特に声問層の透水係数は有効封圧が 10MPa を超えると著しく低下している。また，体積ひずみの変化から，声問層の空隙率は載荷前の 57.5％から載荷後の 42％へ約 15％低下した。図 3 に試験前後の供試体の走査型電子顕微鏡写真を示す。試験後の写真からは，試験前に見られた大きな珪藻遺骸を見つけることが困難であった。また，試験後の供試体を現地水で保管していたところ，声問層は，数日後にはばらばらに崩壊していた。等方圧縮試験後の稚内層や封圧 40MPa の高圧で過去に実施した三軸圧縮試験後の声問層も同様の状態で保管をしていたが，同様な現象は見られなかった。これらのことを総合すると，声問層は空隙破壊 [3]により降伏した可能性が考えられる。等方圧で封圧を増加させると，弾性領域を経て空隙破壊(Pore collapse)が生じる領域に近づく（図 4）。従って，今回見られた等方圧縮による降伏は，封圧の増加による空隙破壊，すなわち，珪藻遺骸やセメンテーション等が破壊する現象と考えられる。また，透水係数の低下はこのような破壊に伴う空隙の閉塞によって生じたものと考えられる。これは，降伏後の岩石であっても必ずしも透水性が上昇するとは限らない可能性を示している。

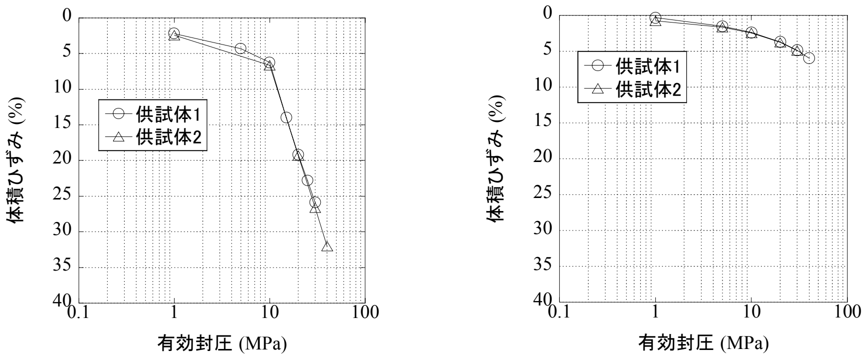
これらの成果は，坑道掘削に伴う周辺岩盤の短期的および長期的な変形メカニズムの把握に加えて，岩盤力学モデルの構築と掘削影響領域を含む空洞周辺岩盤の長期的な岩盤挙動解析に反映される。

（執筆者：真田祐幸）

参考文献

1) 地盤工学会（1987）：“堆積軟岩の工学的性質とその応用”.
2) 川崎了，中川加明一郎，小泉和広（1998）：“堆積岩の圧密現象に着目した透水係数推定の試み”，応用地質，Vol.139，No.3，pp.273-281.
3) Zaman, M., Roegiers, J. C., Abdulaheem, A., Azeemuddian, A. (1994): “Pore Collapse in Weakly Cemented and Porous Rocks”, J. Energy Resources Technology-Trans, ASME, Vol.116, No.2, pp.97-103.

4) 松井裕哉(2005):“幌延に分布する堆積岩への多孔弾性論の適用に関する研究”, サイクル機構技術資料, JNC TN5400 2005-013.



(a) 珪藻質泥岩(声問層)　　(b) 珪質泥岩(稚内層)

図 1 有効封圧と圧密終了時の体積ひずみの関係

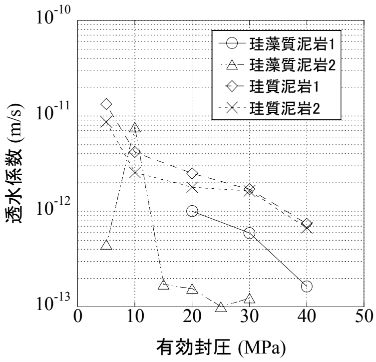
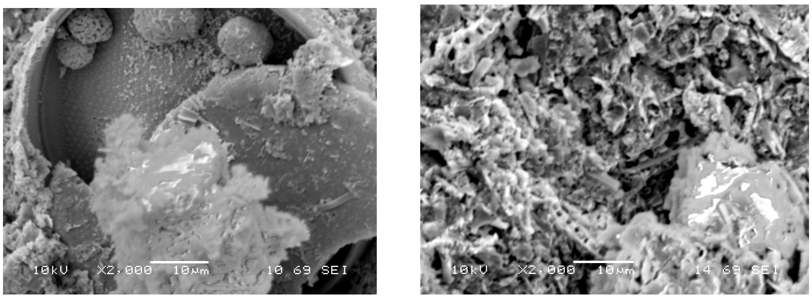


図 2 有効封圧と推定した透水係数の関係



(a)試験前　　(b) 試験後

図 3 試験前後の走査型電子顕微鏡の写真

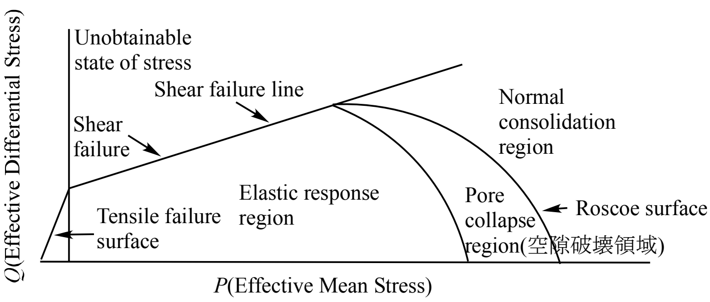


図 4 岩石の破壊条件の模式図(松井(2005)[4]を一部改編)

【幌延深地層研究計画 トピック報告(3)】
水理地質構造モデルの構築と地下水流動解析

研究の概要

幌延深地層研究計画における岩盤の水理に関する調査研究では，研究所設置場所周辺の地下水流動場の把握や立坑掘削に伴う地下水の湧水量の予測を目的として，調査技術や地下水流動解析技術の構築を行っている。第1段階における調査研究では，堆積岩を対象とした岩盤の水理調査に関わる調査技術として，ボーリング孔を用いて実施する透水試験装置の開発および透水試験方法の確立を行った。地下水流動解析では，並行して構築された地質構造モデルを基に水理地質構造モデルを構築するとともに，解析に必要な各種パラメータの設定を検討した。本地域の水理地質構造モデルに関しては，堆積岩であることから多孔質媒体(Porous media)の適用が考えられていたが，調査の進展に伴い割れ目がみずみちとして機能している可能性が示唆され，亀裂性媒体(Fractured media)として扱う必要性も示されつつある。また，これらの解析手法の適用性や解析結果を確認するために，研究所設置地区においては，継続的に地下水の間隙水圧の観測を行い，それらの観測結果との比較を実施している。

本報告では，幌延深地層研究計画の第 1 段階の調査において実施した，岩盤の水理地質構造モデルの構築と多孔質媒体モデルを適用した地下水流動解析結果について示す。

研究の成果

図 1 に第 1 段階の調査で取得された透水係数(k)と深度との関係 [1),2)]を示す。声問層と稚内層においては，その k の分布に差が認められることが示唆された。さらに，声問層では，割れ目の存在に関係なく透水性は深度とともに小さくなる傾向が認められる。一方，稚内層については，割れ目の頻度，形状およびその透水性について十分な解釈がなされていない。

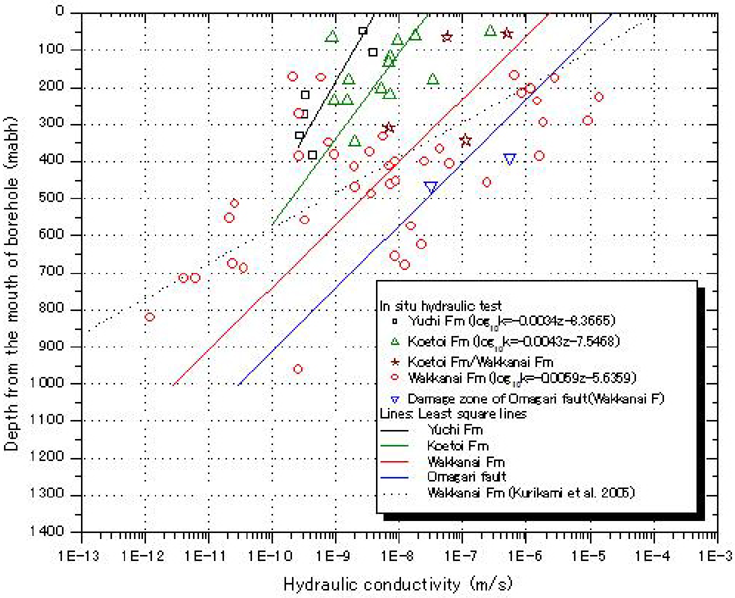


図 1 透水係数の深度依存性 [1), 2)]

このような現状を踏まえ，まず多孔質媒体モデルを用いて，稚内層，声問層および大曲断層に対するkと降雨強度の全水頭に対する感度解析を実施した。感度解析では，図 1 に示した稚内層，声問層，勇知層に対するkの深度依存性を最小二乗近似線で与えるとともに，大曲断層の k の深度依存の勾配は稚内層と同一とし，1 桁高く設定したケースを基本ケース(Case0)として，以下に示す 10 ケースについて全水頭に対する感度を検討した。

Case1：降雨が少ないケース(Case1-1)と降雨が多いケース(Case1-2)

Case2：稚内層を 3 領域に区分したケース(Case2-1)と透水異方性を考慮したケース(Case2-2)

Case3：声問層の透水性を高く設定したケース(Case3-1)と低く設定したケース(Case3-2)

Case4：大曲断層の透水性を高く設定したケース(Case4-1)と透水異方性を考慮したケース(Case4-2)

Case5：1%の異常高圧を考慮したケース(Case5-1)と 10%の異常高圧を考慮したケース(Case5-2)

次に，解析結果と水圧分布の実測値を比較し，実測値を再現できるように k などの入力条件を最適化するとともに，平成 15 年度までの調査結果に基づいて構築した前モデル [1)]との比較を行った。最適化においては，以下に示す①～④の定性的判断基準と，⑤～⑦の前提に基づいて試行錯誤的に実施した。

①実測で認められている流出域や涵養域などの大局的な傾向を表現すること

②全水頭の値が実測値に近似していること

③HDB-5 孔の相対的に高い全水頭を表現すること
④HDB-10 孔の相対的に低い全水頭を表現すること
⑤水理地質区分は基本ケース(Case0)に基づくこと
⑥入力条件のうち，稚内層，声問層，勇知層の k などの調査結果が得られている地層についてはそれらと整合する条件とすること
⑦感度解析で検討したパラメータのみを変動パラメータとする。

感度解析結果から，k の設定については Case2-2 を採用し，降雨強度を変更することで実測の全水頭をより良く表現することを試みた結果，降雨強度 0.3～0.7mm/day 程度が妥当な値であると見積られた。図 2 に降雨強度 0.5mm/day の条件に対する全水頭の解析結果と前モデル [1]との比較を実測値と併せて示す。更新したモデルの方が前モデル [1]と比較して実測の全水頭分布をより良く再現できている。深いところでは実測値に近いものの，浅い箇所では実測値との整合性が低いほか，HDB-1 と 11 孔の深部での高い水圧などを表現できていない。既に述べたように，岩盤中の割れ目分布が水理地質構造を支配していることが解明されつつあり，メタンガスなどの溶存成分の影響も考えられることから，今後，これらの影響を考慮した亀裂媒体モデルについても検討を行っていく。

(執筆者:佐藤治夫)

参考文献

1) 操上広志，竹内竜史，瀬尾昭治(2005):“幌延深地層研究計画における地下水流動解析”，JNC TN5400 2005-003.
2) 操上広志(2007):“幌延深地層研究計画における地下水流動解析 -平成 17 年度までの調査結果を踏まえた再解析”，JAEA-Research 2007-036.

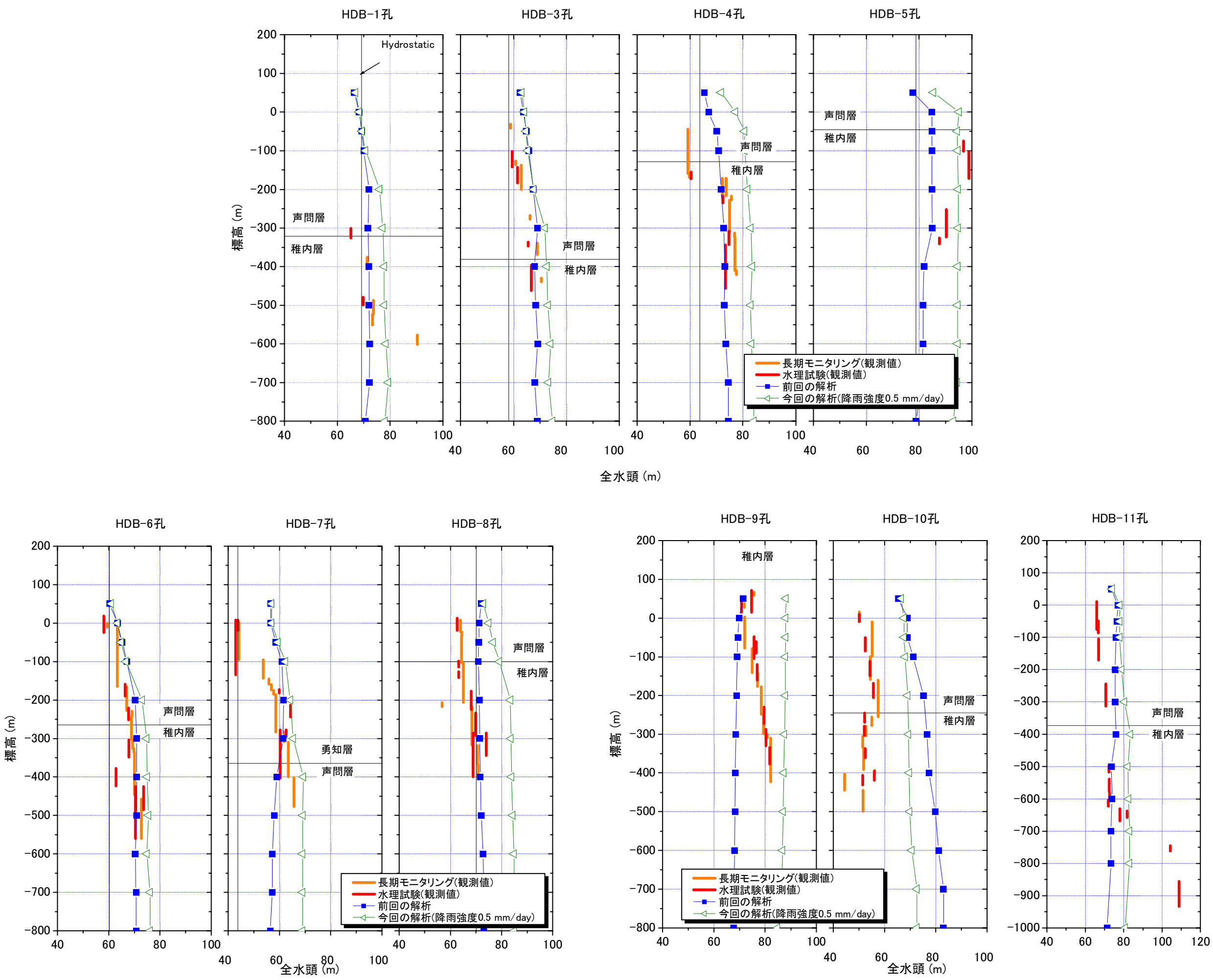


図 2 降雨強度 0.5mm/day の条件での全水頭の解析結果と旧モデルとの比較 [2]

2.2.3 地質環境の長期安定性に関する研究

研究の概要

わが国における地層処分の基本概念は，地質環境の長期的な安定性について特に配慮し，「安定な地質環境」に，多重バリアシステムを構築するというものである [1)]。すなわち，地殻変動や火山活動等といった天然現象によって地層処分システムの性能が著しく損なわれるおそれのないようなサイトを選ぶことが前提であり，その上で，サイトの地質環境条件やその長期的な変化を見込んで，合理的な多重バリアシステムを構築し，長期的な安全性を確認することが必要となる。「安定な地質環境」を確保するためには，地質環境の調査によって得られたデータに基づき，将来の天然現象の発生やその変動に伴う地質環境条件（例えば，地下水理，水質，岩盤物性等）の長期的な変化を予測することが重要となる。そのため，原子力機構の中期計画[3]の「深地層の科学的研究」および国の HLW 全体計画[3]の「地質環境の長期安定性調査技術」に示されている「地震・断層活動に関する研究」，「火山・地熱活動に関する研究」および「隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究」では，天然現象に関する過去の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備（調査技術の開発・体系化）を進めるとともに，将来の天然現象に伴う地質環境条件の変化を予測するためのモデルの開発（長期予測・影響評価モデルの開発）に取り組んでいる [2)]。以下に平成 18 年度の実施概要と主要な成果について述べる。また，特に，内陸部および沿岸部の古環境の復元技術の観点で重要な成果が得られている「東濃地域における過去約 30 万年間の気候変化」および「幌延地域における最終氷期の地表地質環境」については，後続のトピックス報告に詳細を報告する。

平成 18 年度の実施概要

「地震・断層活動に関する研究」については，活断層帯の活動履歴や活動性の低い活断層を検出するための調査技術を整備するとともに，断層活動の力学的影響を把握するためのモデルの開発を進めた。「火山・地熱活動に関する研究」については，地下深部のマグマ・高温流体等を検出するための調査技術を整備するとともに，低温域の熱履歴を把握するため（U-Th）/He 年代測定システムの構築を進めた。また，熱水活動等の影響を把握するためのモデルの開発および原位置データに基づきモデルの適用性について検討を行った。「隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究」については，古地形や古環境を精度良く復元するための調査技術を整備するとともに，三次元地形変化モデルの高度化を進めた。また，現在から将来にわたる地質環境の長期的な変遷を推定するための一連の調査・解析技術を開発することを目的として，幌延地域を事例に，将来の地質・地形，地下水理を予測するための基盤情報となる古海岸線や地質構造の復元を行うとともに，将来数万年以上の長期にわたる期間を対象として深部地質環境の変遷を推定するにあたり，考慮すべき天然現象やプロセスを検討した。

平成 18 年度の主な成果

(1) 地震・断層活動に関する研究

活断層帯の活動履歴や活動性の低い活断層を検出するための調査技術については，跡津川断層帯や阿寺断層帯等を対象とした過去数十万年間の破砕帯の発達過程に関する事例調査によって，主断層（活断層）周辺の断層分布，断層岩の種類，分布範囲および形成順序を把握するとともに，断層沿いの水素ガス測定および粘土や充填鉱物の観察，分析を行い，それらの特徴と断層の活動性について比較・検討を行った。その結果，活断層沿いに斜交～直交して発達する付随的断層のうち，特定の走向を持つ断層から高濃度の水素ガスが放出されるのに対し，

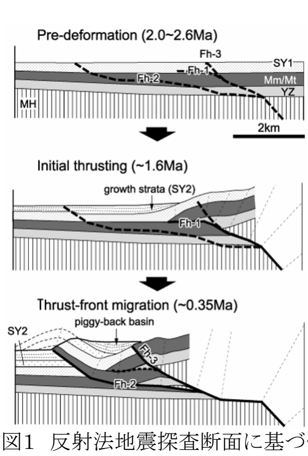


図1 反射法地震探査断面に基づくバランス断面図

3 原子力機構の中期計画および国の HLW 全体計画については，「1. 地層処分技術に関する研究開発」を参照

非活断層では低濃度の放出であることから，第四紀層が無くても，断層の活動性を推定できる可能性が示唆された。断層活動の影響を評価するためのモデル開発については，典型的な逆断層の一つである横手盆地東縁断層帯を対象として，主に地形地質調査や反射法地震探査の結果に基づくバランス断面図の作成による総合的な解析により，断層構造の形成過程のモデル化を行った。その結果，逆断層の発達による周辺岩盤の変形の過程を精度良く再現することができた[3]（図1）。また，典型的な横ずれ断層である中央構造線（徳島県）等を対象として断層モデルを作成し，ディスロケーションプログラムCoulomb3.0[4]を用いた歪，応力変化の数値計算により，横ずれ断層活動に伴う周辺岩盤の上下変動（地形変化）の影響範囲について明らかにした。この他，GPS 連続観測や水準測量のデータに基づき，跡津川断層帯や養老-桑名-四日市断層帯周辺における断層活動に伴う応力蓄積過程に関連した地形の変形の範囲を明らかにした。

(2) 火山・地熱活動に関する研究

地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術については，東北日本の飯豊山地（先新第三紀花崗岩類）の高温異常域を事例に，地震波速度構造，比抵抗構造の解析および温泉ガスのヘリウム同位体比等に基づき，地下深部の熱源の構造や起源等について検討を行った。これらの結果，飯豊山地の地下10km 以深には，第四紀の火成活動に関連すると考えられる熱源（マグマ・高温岩体）が存在し（図2），温泉活動を引き起こしていることが明らかになったほか，地下深部のマグマ等の存在を予め確認するためには，地球物理データおよび地球化学データを組み合わせたアプローチが有効であることが示された[5]。

(U-Th)/He 年代測定システムについては，希ガス質量分析装置およびヘリウム抽出用レーザー加熱装置等を組み合わせたシステムの製作を行うとともに，ジルコンを対象に最適なヘリウムの抽出条件（レーザーの出力，照射時間等）を決定した。また，四重極型誘導結合プラズマ質量分析装置によるジルコンの U，Th の定量法を考案した。熱水活動等の影響モデルについては，解析コード Magma2002[6]を用いて，鬼首地熱地帯を事例に，地下の温度構造について感度解析を行った。解析結果は，物理探査によって得られた深部構造や地熱ボーリングから得られた熱流束等の観測値を概ね再現しており，解析コードの適用性についての見通しを得た。

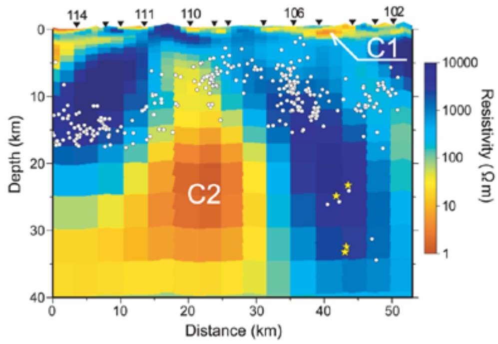


図 2 飯豊山地下の二次元比抵抗構造
C1 は新第三紀の堆積岩，C2 は地下深部のマグマに関連する低比抵抗体と考えられる。

(3) 隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究

古地形・古環境を復元するための調査技術については，東濃地域を事例として，堆積物中に含まれる様々なサイズの砕屑物や化石の種類を調査・分析した。そして，それら調査・分析の結果を総合的に検討することが，過去約数十万年間の地質の対比基準の整備と気候変化の把握，堆積物の対比と細分，河川・丘陵・山地の時空間的分布の把握等に有効であることを確認した。特に気候変化の把握では，過去約 30 万年間の連続的な気温の変化を復元することができ[7]，内陸部における過去数十万年間の気候変化を定量的に推定する手法の確立に見通しを得た（トピックス報告「東濃地域における過去 30 万年間の気候変化」）。また，関東地方の鏑川流域と東北地方の長木川流域を事例とした河成段丘の編年を通じて，河成段丘形成モデルが内陸部の隆起量を推定する上で有効な手法であることを確認した。地形変化モデルの高度化については，実際の河川を対象に地質分布を考慮した過去から現在までの河床縦断形のシミ

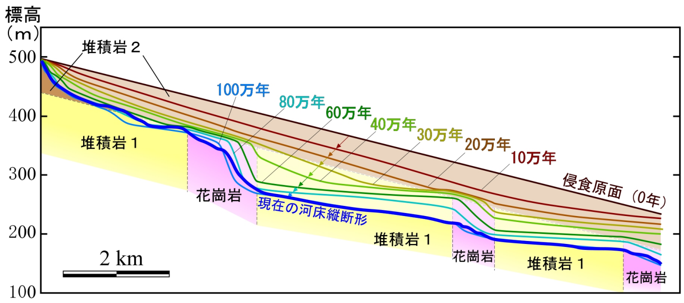


図 3 地質分布を考慮した過去から現在までの河床縦断形のシミュレーション結果

ュレーションを行った(図 3)。その結果，現実に見られる起伏に富んだ河床縦断形を再現できたことから，地質分布を考慮することが推定の精度を高める上で有効であることが示された。

(4) 幌延における地質環境の長期安定性に関する研究

古海岸線の復元については，幌延地域西部における海成段丘の分布と形成時期を指標として，幌延地域西方の海底地形および氷期－間氷期サイクルに伴う海水準の変化を考慮し，過去約 21 万年間の変遷を明らかにした(図 2)。過去の地表地質環境の復元に関しては，現在の温暖な時期との比較として，寒冷な時期である氷期の地層を対象とした花粉分析および地質観察を実施し，古植生の復元とそれに基づく気温や降水量の推定，および永久凍土層の厚さの推定を行った(トピックス報告「幌延地域における最終氷期の地表地質環境」)。地質構造の復元については，幌延深地層研究所とその周辺で実施した地質・地質構造に関する調査研究の成果，既存の海底地質構造図や海域音波探査データ，および反射法地震探査データなどの情報を統合して，過去約 250 万年間の期間にわたる海域を含めた復元地質構造断面図を作成するとともに，幌延地域における過去の変動傾向や変動様式を検討した。また，幌延地域とその周辺で発生した地震について，マルチプレット・クラスタリング解析を用いた震源決定を行い，地震発生域と地質構造との関連性を検討した。これらの成果と平成 17 年度までの研究成果とに基づくと，幌延地域における断層や褶曲などの地質構造は順次東側より形成されており，それに伴う累積隆起量は東部ほど大きいものと考えられる。さらに，現在の地形の特徴に基づくと，最終氷期の凍結破砕作用による物理的風化作用とそれに伴う侵食作用は，声問層の露出地域で著しかったと考えられる。以上を総合し，将来数十万年程度の期間において地下水の流動状態に影響を及ぼすと考えられる天然現象やプロセスを整理すると，図 4 のようにまとめられる[8]。

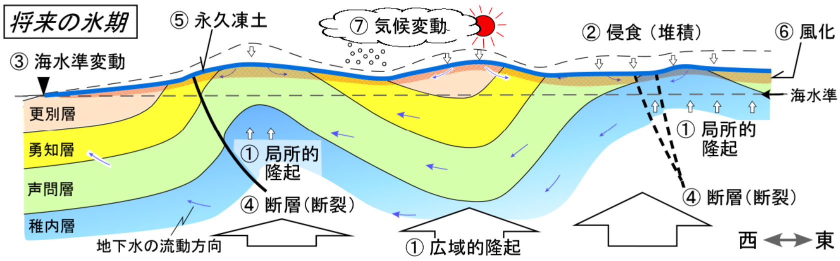


図 4 地下水の流動状態に影響を及ぼすと考えられる天然現象(幌延地域の例)

今後の計画

平成 18 年度に引き続き，断層活動と隆起・侵食／気候・海水準変動の履歴を解明するための調査技術と，その結果に基づき将来の変化を予測するためのモデルの開発を行うとともに，火山・地熱活動に関連する地下深部のマグマ・高温流体等を検出するための調査技術の高度化を進め，得られた成果については，適宜，公表していく予定である。

(執筆者:梅田浩司，新里忠史，安江健一，黒澤英樹)

参考文献

1) 核燃料サイクル開発機構(1999):“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－”，JNC TN1400 99-022.

2) 梅田浩司ほか(2005):“サイクル機構における「地質環境の長期安定性に関する研究」の概要－日本列島のネオテクトニクスと地質環境の長期安定性－”，原子力バックエンド研究，vol.11，pp.97-112.

3) 楮原京子ほか(2007):“横手盆地東縁断層帯・千屋断層の構造発達史－逆断層システムの進化過程からみた変動地形形成－”，地学雑誌，vol.115，pp.691-714.

4) Toda, S. et al. (2005): “Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer”, Jour. Geophys. Res., vol.110, B05S16, doi:10.1029/2004JB003415.

5) Umeda, K. et al. (2006): “Magnetotelluric imaging of crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline mountains in a nonvolcanic region, northeast Japan”, Geochem. Geophys. Geosyst., vol.7, Q08005, doi:10.1029/2006GC001247.

6) 坂川幸洋ほか(2005):“熱移流を考慮した日本列島の熱流束分布と雲仙火山を対象とした熱・水連成シミュレーション”，原子力バックエンド研究，vol.11，pp.157-166.

7) 佐々木俊法ほか(2006):“東濃地方内陸小盆地埋設物の分析による過去 30 万年間の古気候変動”，第四紀研究，vol.45，pp.275-286.

8) 操上広志ほか(2006):“気候・海水準変動が地下水流動に与える影響に関する解析的検討－幌延地域を事例として－”，日本地下水学会「地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム」，地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集，pp.59-66.

【地質環境の長期安定性に関する研究 トピック報告(1)】
東濃地域における過去約 30 万年間の気候変化
－内陸盆地の堆積物中に保存された花粉を用いた古気候復元－

研究の概要

気候変化は，侵食や堆積の速さを支配する要因であり，地形変化と密接に関連するとともに，表層水理特性に変化をもたらして地質環境へと影響を与える可能性がある。このような背景の下，過去の気候変化を復元する技術開発を目的として，東濃地域の瑞浪市大湫（おおくて）盆地（図1）においてボーリング（掘削長約25m）を行った。掘削したボーリングコアから30cmごとに試料を採取し，その試料に含まれる花粉の構成比の変化から，モダンアナログ法を用いて過去約 30 万年間にわたる気候（気温）変化を復元した。モダンアナログ法は，地層中に含まれる花粉の種類とその構成比を現在の植生と気候との対応関係を基に統計的に処理し，過去の気候（気温・降水量等）を定量的に推定する手法である。このように定量的に推定された気候は，気候変化を考慮した地形変化シミュレーションや地下水流動解析に役立つ。

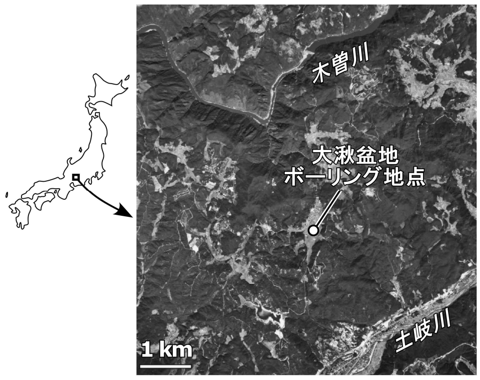


図1　大湫盆地の位置と、周辺の地形
大湫盆地は丘陵の山頂部近くに位置している

研究の成果

分析の結果，図2のような気候（気温）変化が復元された。東濃地域は，約 30 万年前まではブナやハンノキが自生する温暖な気候であったが，その後，温暖化と寒冷化が数万年～10万年間隔で繰り返されたことが分かった。特に，氷期にあたる 15 万年前頃は，ツガやモミ，トウヒなどが自生する亜寒帯の植生が広がっていたと考えられる。復元された大湫盆地の過去約 30 万年間の気温変化は，深海底の堆積物の分析から明らかにされている世界的な気温変化と概ね一致しており，東濃地域の気温変化は世界的な気温変化に連動していたと考えられる。

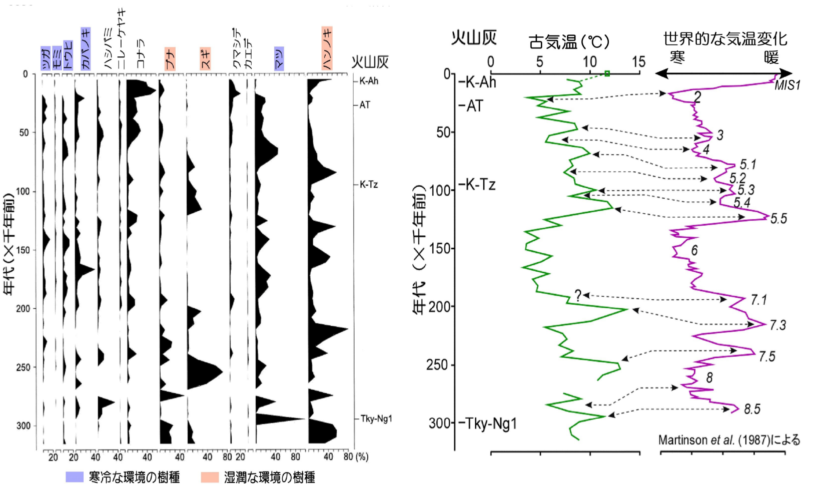


図２　ボーリングコア中の花粉の種類と構成比から推定された古気温変化
（a）主要な花粉の構成比の変化（横軸は主要樹木花粉の合計を 100 としたときの百分率）
（b）左図：モダンアナログ法により復元された大湫盆地の古気温の変化，
右図：深海底コア中の堆積物を用いて復元された，世界的な気温変化

日本の内陸部で 30 万年間もの長期間にわたってほぼ連続的に気温変化が復元できた例はこれまでほとんど報告されていなかった。その主な理由は，日本列島は河川の侵食作用が活発であるため，細粒な堆積物が堆積し続けるような環境の堆積盆が非常に稀なことである。しかし，大湫盆地のように，丘陵地の山頂付近に位置し，盆地に流入する河川がほとんど無いような堆積盆では，長期間にわたって細粒な堆積物がほぼ連続的に堆積しているため，過去数十万年間以上の気候変化を復元することが可能であった。このような内陸の盆地を選定し，上記のような一連の調査を適用することにより，将来の気候変動・地形変化等の予測に必要な過去数十万年間以上の気候変化の復元が可能になることが示された。

（執筆者：田力正好）

参考文献

1) 佐々木俊法ほか(2006)：“東濃地方内陸小盆地埋設物の分析による過去 30 万年間の古気候変動”，第四紀研究，vol.45，pp.275-286.

【地質環境の長期安定性に関する研究 トピック報告(2)】
幌延地域における最終氷期の地表地質環境

研究の概要

幌延深地層研究センターでは，北海道北部の幌延地域を事例として，地質環境の長期的な変遷を推定するための一連の調査・解析技術に係わる研究開発を進めている。具体的には，過去から現在までの地質学的変遷（地史）に伴う地質環境条件の変化量を推定し，その場の将来における地質環境の変遷を予測するというアプローチである。幌延地域周辺には遠浅の海底地形が広がり，最終氷期には，氷河性海面変化により水深の浅い宗谷海峡と間宮海峡が陸化し，サハリンと北海道が大陸と陸続きになったと考えられている（図 1）[1)など]。また，地形の解析から，最終氷期には不連続永久凍土帯であったと考えられている[2)など]。このような地域において地質環境の長期的な変遷を推定する際には，気候変動に伴う海岸線位置や降水量の変化，および永久凍土層の発達などによる影響を考慮することが重要となる。本研究では，上記アプローチの初期の取り組みとして，空中写真判読や地形・地質調査により海成段丘の分布と形成時期を把握するとともに，海底地形を考慮して海岸線位置の変遷を推定した。また，幌延深地層研究所（以下，研究所）の周辺に分布する泥炭層の花粉分析および研究所の地下施設における立坑壁面の地質観察を実施し，地表地質環境の復元を行った。

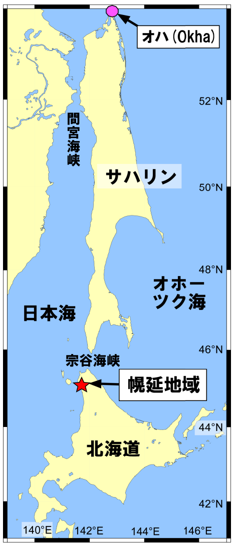


図 1 幌延地域とその周辺海域

研究の成果

海成段丘を指標として海岸線位置を復元した結果，幌延地域西方の緩傾斜な海底地形を反映して，最終氷期極相期の海岸線は，現在のそれに比べて約50km西方であり，内陸的な環境であったことが明らかとなった（図2）。また，泥炭層を対象として花粉分析と放射性炭素法による年代測定を実施した結果，その堆積時期は最終氷期の約1.4～1.2万年前であり，研究所周辺における当時の植生はグイマツの純林であったと推定できた。復元した植生を現在の植生と比較すると，サハリン以北のシベリアに分布する亜寒帯針葉樹林に相当すると考えられる。いま，サハリン北端のオハ（図1）と幌延の気象資料[3)など]とを単純に比較すると，現在に比べて平均気温は1月で約12℃，8月で約6℃，年平均気温で約8℃それぞれ低く，年間降水量は約750～1000mm少なかったことになるが，これらの数値以上に差があったと推定される。また，地下施設の立坑壁面における地質観察の結果，研究所周辺における地下40m程度までの地質柱状図を描くことができた（35ページの図1右）。それら地層の岩相などに基づくと，地表面より深度5m程度まではソリフラクションによる堆積物，それ以深は永久凍土の発達・融解に関わる凍結破砕作用で形成された角礫層の可能性が考えられる。このため，最終氷期の幌延地域では，少なくとも地下20m程度まで永久凍土層が発達していたものと推定される。この厚さを現在の永久凍土帯であるカナダのそれと比較すると，地表の全面が永久凍土層に覆われるのではなく，部分的に永久凍土の発達しない地表環境であったと考えられる。今後，最終氷期における降水量や地表地質環境データを用いた地下水流動解析等を実施し，気候変動に伴う地下水の流動状態の変化に関わる検討を進める予定である。

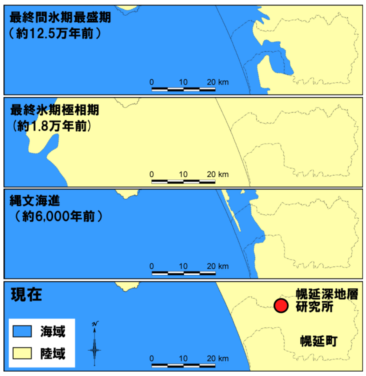


図 2 幌延地域周辺における海陸分布の変遷

（執筆者：新里忠史）

参考文献

1) 小疇尚，野上道男，小野有五，平川一臣編著（2003）：“日本の地形 2 北海道”，東京大学出版会，359p.
2) 三浦英樹，平川一臣（1995）：“北海道北・東部における化石凍結割れ目構造の起源”，地学雑誌，vol.104，pp.189-224.
3) 日本原子力研究開発機構（2007）：“幌延深地層研究計画平成 18 年度調査研究成果報告”.

3. 地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの開発

研究の概要

処分事業の実施主体や安全規制機関など，地層処分計画に関わるステークホルダーは，長期的な安全性を示す論拠（セーフティケース）の構築や計画の様々な段階における意思決定において，多様な技術的情報やデータ，知見を用いる。これらは，地層処分の長期的な安全確保と事業全体に対する信頼を支えるうえで，常に最新の科学技術の知見を取り込みながら知識基盤として体系化し，次世代へ継承しつつ長期間にわたる事業を通じて継続的に提供できるようにしておくことが必要である。これまでも，実際の研究開発の場における組織的な取り組みとして，個々の研究者が持っている知識を共有・活用・統合・継承する努力が行われてきたが，長期にわたって，しかも急激に増加しつづける多様な分野の知識を，様々なステークホルダーが活用しつつ，次世代に継承するためには，組織的な仕組みや取組みを強化しつつ，これらをシステム化していくことが重要である。このため，多様かつ大量な情報やデータ，知見を知識として構造化し，ステークホルダーの要望に応じて提供するとともに，新たな知識の創造や次世代への知識継承などを行うための仕組みや機能を備える知識マネジメントシステムの開発を進めている。

平成 18 年度の実施概要

平成 18 年度は，これまでに構築した知識マネジメントシステム（Knowledge Management System; KMS）の基本概念（図 1）[1]に基づき，それらを具体化していくために必要な個々の機能（ナレッジオフィス，研究開発，コミュニケーションなどに必要なマネジメント機能）や知識ベースの設計，個々の機能の実現に必要な技術・手法の検討などを行った（基本設計）。また，深地層の科学的研究，工学技術の開発，安全評価手法の開発という研究開発の三つの領域から，特定のテーマ（火山の発生可能性，低アルカリ性セメント開発，性能評価において用いる溶解度の設定）をそれぞれ選定してケーススタディを行い，抽出した技術・手法の適用性を確認した [2]。

平成 18 年度の主な成果

(1) マネジメント機能の設計

KMS の基本設計では，セーフティケースの構築を，地層処分の長期的安全性に対する論証とそれに対する反証による展開（以下，論証モデル）と位置づけ，これに対する知識の生産，流通および活用を最適化するためのマネジメント機能（論証支援ツール，知識協働支援ツール，コミュニティ支援ツール）を提示した（図 2）。論証支援ツールには，論証モデルを作成するために必要な論証スキーム（論理構成のパターンを示したもの），論証に関する仮説生成を支援する機能，論証モデルを表示する機能などから構成される。論証支援ツールの主要な要素である論証モデルの構築と表示手法の確認のために行ったケーススタディの例として，溶解度の設定に関する論証モデルを図 3 に示す。このようなケーススタディにより，論証モデルを構築するうえで，知識工学分野で開発されてきた論証スキーム [3]などを適用することが可能であることが明らかとなった。一方で，知識協働支援ツールは地層処分研究開発の専門家の知識協働のための，コミュニティ支援ツールは実施主体や安全規制機関等の外部の専門家や非専門家とのコミュニケーションのためのポータルサイトを提供する。これらの機能に必要となる共通の辞書を構築するために知識工学の分野で開発されてきたオントロジー[4]が，また異なる分野の専門家間の知識の活用の流れを示した知識協働モデルを構築するために CommonKADS[5]などの手法が適用可能であることが明らかとなった。これらのコミュニティ支援ツールによるポータルサイトを介して，ステークホルダーは，論証モデルなどを参照しつつ，安全性の論理構成について議論をし，必要となる知識に関する要望や要求を行うことが可能となる。

(2) 知識ベース

マネジメント機能を通じて更新された知識は，知識ベースに収納され，論証モデルの更新に反映される。知識ベースには，知識の生産を支援するために必要な専門家の経験・ノウハウをエキスパートシステムとして体系化したライブラリが含まれる。様々なエキスパートシステムは，デジタルライブラリ/ストレージサーバーに収納された知識とあわせ，共用ユーティリティを介して利用することが可能となる（図 4）。また

地層処分技術に関する知識は，図５に示すような流れ（地層処分研究開発に関する知識工学モデル）を想定し，その中に含まれる知識と，それらの知識を具体化するためのアプローチを例示した（表1）。

今後の計画

KMS の基本設計に基づき，全体構造の詳細化，個別機能の具体化，最新の知識工学の技術を活用したインテリジェント化を行い，2010 年度を目途にプロトタイプを開発する計画である。

（執筆者：大澤英昭）

参考文献

1) 梅木博之，大澤英昭，内藤守正，中野勝志，牧野仁史（2006）：“地層処分技術に関する知識管理システムの基本的概念”，JAEA-Research 2006-078.

2) Makino, H., Osawa, H., Nakano, K., Naito, M., Umeki, H., Takase, H. and McKinley I. G. (2007): “Concept and Design of the JAEA KMS for Geological Disposal of HLW”, GLOBAL 2007, (in press).

3) Walton, D. (2005): “Argumentation Methods for Artificial Intelligence in Law”, Springer.

4) 溝口理一郎（2005）：“知の科学　オントロジー工学”，人工知能学会編集，オーム社.

5) Schreiber, G., Akkermans, H., Anjewierden, A., Hoog, ded R., Shadbolt, N., Velde, de W. V. and Wielinga, B. (2000): “Knowledge Engineering and Management, The CommonKADS Methodology”, MIT Press.

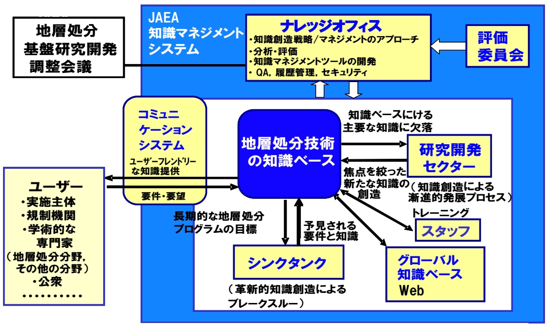


図１　知識マネジメントシステムの基本概念

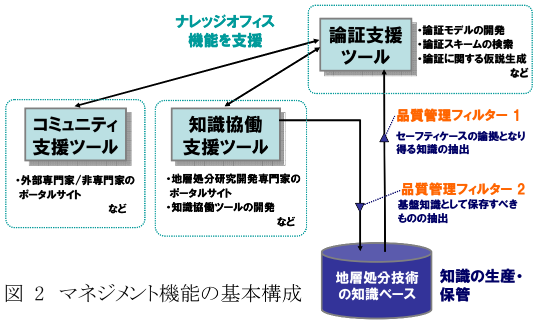


図　2　マネジメント機能の基本構成

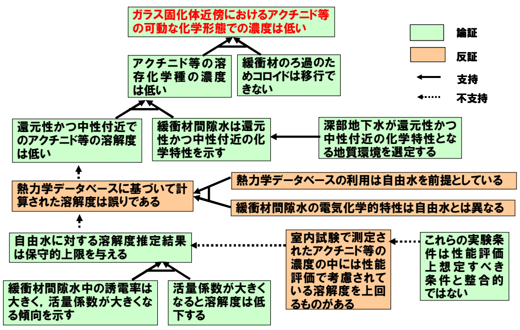


図３　溶解度を例とした論証モデル

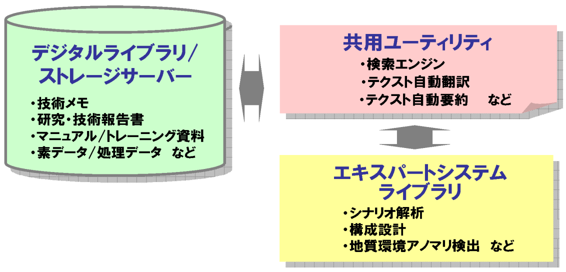


図４　知識ベースの基本構成の例

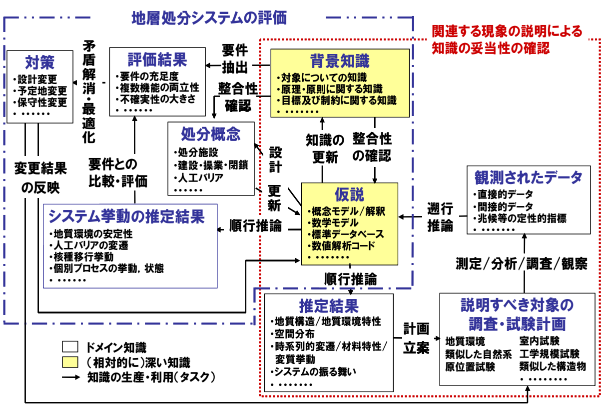


図５　地層処分研究開発に関する知識工学的モデル

表1　知識を具体化するためのアプローチの例

タスク知識	ドメイン知識 起点	ドメイン知識 制約条件	ドメイン知識 終点	インテリジェント化 手法	インテリジェント化 事例	組織論的方法論によるアプローチ 知識	組織論的方法論によるアプローチ マネジメントの方法
測定/分析 調査/観察	調査・試験計画	-	観測データ	-	-	機器の原理，精度，使用法 機器・手法の適用条件 コスト・時間・必要人員数など	マニュアル作成 専門家育成　品質管理
遡行推論	観測データ	背景知識	仮説	アブダクション 事例ベース推論	故障診断 発想支援	過去の事例・発想法	ブレーンストーミング KJ 法
				SBL，EBL	機械学習	経験・勘等の暗黙知	共同作業による知識伝承
				SVM，ニューラルネットワーク	パターン認識		
調査・試験計画立案	推定結果	-	調査試験計画	計画作成	スケジューリング プロジェクト プランニングなど	調査・試験の原理，精度 調査・試験の適用条件 コスト・時間・必要人員数など	マニュアル作成，専門家育成 知識協働の最適化，品質管理
整合性確認	背景知識	-	仮説，処分概念 対策	アブダクション	故障診断 発想支援	過去の事例・発想法	ブレーンストーミング KJ 法
更新	仮説	-	背景知識	比較・照合	信念修正	背景知識に関する専門家の意見 仮説に対する専門家の意見	ピアレビュー
設計	仮説	背景知識	処分概念	設計のAI化	プラン設計など	処分概念カタログ 設計手順，設計思想	知識協働の最適化
順行推論	仮説	-	予測結果	数値解析 のAI化	汎用ソルバー 解析自動化	数値解析コードの使用法 数値解法・精度，メッシュ分割法 適用条件，初期条件・境界条件 の知識，結果の解釈・評価方法	マニュアル作成，専門家育成 知識協働の最適化，品質管理
				定性推論	定性的挙動予測	FEP ベースのシナリオ解析手法	
要件抽出	背景知識	-	評価結果	-	-	複数の要件間の優先順位 不確実性と裕度の比較	要件管理
比較・評価	予測結果	-	評価結果	-	-		
矛盾解消	評価結果	背景知識	対策	アブダクション	発想的問題解決	過去の事例	ブレーンストーミング 試行錯誤
				事例ベース推論	発想的問題解決		
最適化	評価結果	背景知識	対策	進化論的手法	構成設計		
変更結果の反映	対策	-	調査試験計画	計画作成	スケジューリング	調査・試験のタスク知識（上述）	知識協働の最適化
			仮説	-	-	モデル・データの保守性	

当面3年間の開発目標　　より長期的な課題

4. TRU 廃棄物の地層処分研究開発

研究の概要

核燃料サイクル施設からは種々の放射性廃棄物が発生するが，このうち主に再処理施設とMOX 燃料施設の操業と解体に伴い，TRU 廃棄物（長半減期低発熱放射性廃棄物）と呼ばれる廃棄物が発生する。これらは発生場所が多様であることから含有される放射性核種の種類や濃度も多様かつ広範囲であるが，この中には地層処分することが適切であると考えられているものが存在する。

TRU 廃棄物の地層処分に関しては，平成 17 年 9 月の「TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－（以下，第 2 次 TRU レポート）[1]と，同年 10 月の原子力政策大綱を踏まえ，原子力委員会において技術検討がなされ，高レベル放射性廃棄物（以下，HLW）との併置処分は技術的に可能であるとの判断が示された[2]。これを受けてTRU 廃棄物の地層処分に関して，特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律が改正された[3]。

TRU 廃棄物の処分研究については，原子力機構が平成17年に定めた中期計画において，安全規制の基本的考え方の策定に資するため，評価シナリオの設定，固化体・人工バリア・天然バリアの機能評価等を含めた安全評価手法を開発整備すること，また，自らの廃棄物に対し合理的な処分を目指すため，TRU 廃棄物の物理的・化学的特性，核種移行への影響等に関する研究開発ならびに処分場の設計・安全評価に関するデータ取得等を進めることとしている。一方，経済産業省資源エネルギー庁及びその調査等事業を進める研究開発機関と原子力機構が参加して，研究開発の全体計画の策定，連携に関する調整及び成果の体系化を目的に，平成 17 年に「地層処分基盤研究開発調整会議」（以下，調整会議）が発足した。調整会議での議論に基づき，当面 5 年程度を対象として平成 18 年に「TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画」[4]（以下，TRU 全体基本計画）が策定された。図1はこの全体基本計画に記された研究課題と各機関の役割を示したものである。なお，TRU 全体基本計画に沿った研究開発は，地層処分研究開発部門とバックエンド推進部門によって実施されている。

以下にこれらの研究課題のうち，平成 18 年度の実施概要と主要な成果について述べる。特に個別現象の解明とシステム性能評価の観点から重要な成果が得られているものについては後続のトピック報告で詳細に紹介する。

平成 18 年度の実施概要

図 1 に示された研究課題のうち，地層処分研究開発部門では人工バリア材料物性，ニアフィールド構造解析，核種移行データ整備，硝酸塩影響評価，システム性能評価，セメント変質，アルカリ環境下ベントナイト・岩反応について研究開発を進めた。

また，第 2 次 TRU レポートの成果の海外普及を目的として，原子力機構は電気事業連合会と協力して英語版を作成，出版した[5]。これについては原子力機構のホームページ（http://www.jaea.go.jp/04/be/docu/tru_eng/tru-2e_index.htm）で自由に閲覧できる。

平成 18 年度の主な成果

主な研究成果として，ニアフィールド構造解析では緩衝材領域において粘性変形を表現できるように構造力学評価モデルの拡張を実施した（トピック報告「ニアフィールド構造力学評価モデルの開発」参照）。核種移行データ整備についてはアルカリ性条件等での核種の溶解度の取得・評価を実施し，データベースの拡充に反映できる成果を得た。また，硝酸塩影響に関しては硝酸イオンの還元機構の検討を行い，微生物による硝酸イオン変遷物を確認した。また，硝酸濃度，有機物濃度，微生物量等と微生物による硝酸イオン還元速度の関係を明らかにした。システム性能評価に関しては固化体からの核種の浸出や人工バリア材料に対する核種の非線形収着挙動について整理を行い，今後拡張すべき核種移行評価モデルを詳細化していくための課題を明らかにした。セメント変質に関する研究では，セメント水和物と海水との反応による pH 上昇機構の解明を行った（トピック報告「セメント系材料の長期変質評価手法の開発」参照），また図 1 の課題「アルカリ環境下ベントナイト・岩反応」のひとつである緩衝材の研究では，原子間力顕微鏡（AFM）を用いて高アルカリ性条件におけるスメクタイトの溶解速度データの取得を実施

した(トピック報告「緩衝材の長期変質評価手法の開発」参照)。

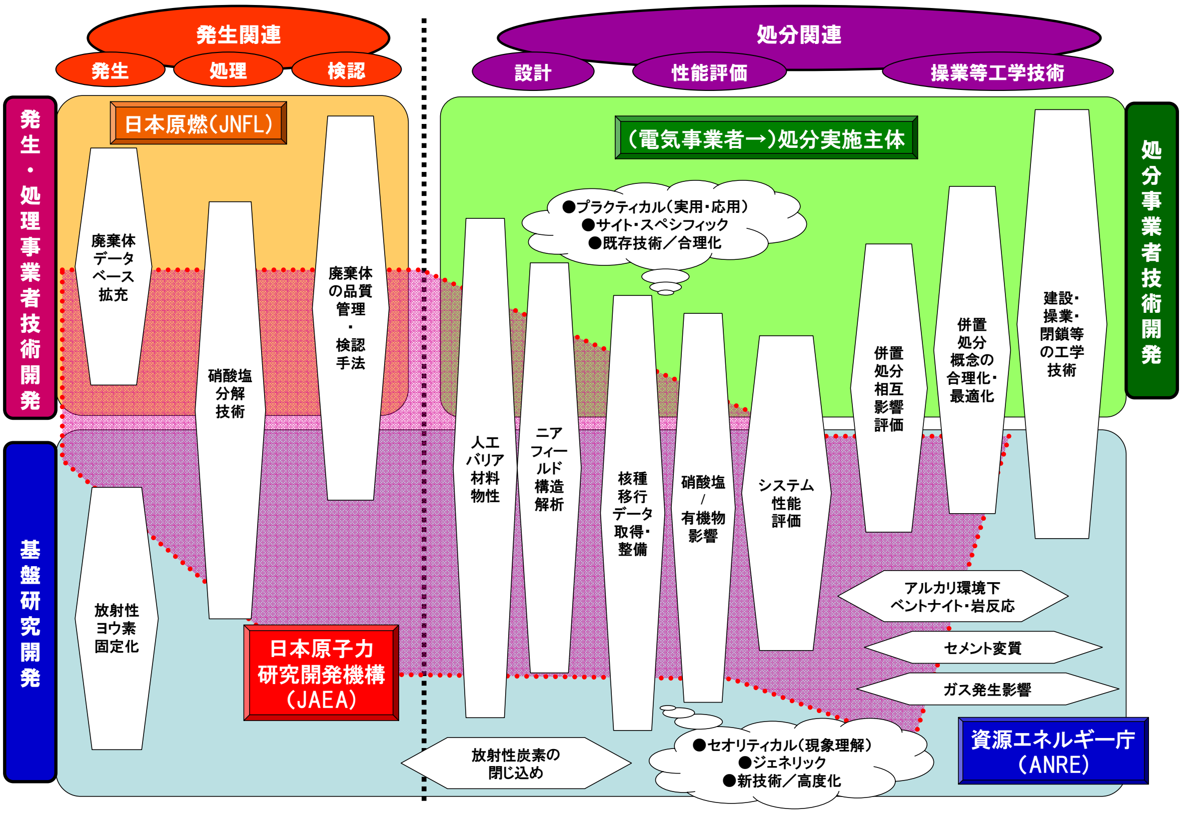


図1 TRU 廃棄物地層処分に関する技術開発課題の位置付け及び役割分担マップ[4)]

今後の計画

上記の TRU 全体基本計画[4)]によれば，TRU 廃棄物地層処分に関する今後の研究開発における当面の重点目標として，(1)併置処分の評価に係る信頼性向上，(2)ジェネリックかつ HLW と整合的な評価基盤の拡充，及び(3)より幅広い地質環境に柔軟に対応するための代替技術開発が挙げられている。原子力機構は，これを踏まえて図1に示す各課題に取り組み，当面5年程度で成果の取りまとめを行う予定である。今後，地層処分については併置処分の観点からの検討が重要であり，HLW の処分を対象に進められている知識マネジメントシステムの構築を TRU 廃棄物に対しても拡張していくなどの検討が重要と考える。このため HLW 処分研究との連携を一層強化し，データベースや解析手法，技術情報の共有等をさらに進めていく計画である。

(執筆者：亀井玄人)

参考文献

1) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構(2005)：”TRU 廃棄物処分技術検討書-第 2 次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ-“，JNC TY1400 2005-013 FEPC TRU-TR2-2005-02.
2) 原子力委員会長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会(2006)：“長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の基本的考え方－高レベル放射性廃棄物との併置処分等の技術的成立性－2006 年 4 月 18 日”.
3) 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律等の一部を改正する法律(平成 19 年 6 月 13 日法律第 84 号)(2007).
4) 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構(2006)：“TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画”.
5) Japan Atomic Energy Agency and The Federation of Electric Power Companies of Japan (2007): “Second Progress Report on Research and Development for TRU Waste Disposal in Japan -Repository Design, Safety Assessment and Means of Implementation in the Generic Phase-”, JAEA-Review 2007-010, FEPC TRU-TR2-2007-01.

【TRU 廃棄物の地層処分研究開発 トピック報告(1)】
ニアフィールド構造力学評価モデルの開発－MACBECE コードの概要－

研究の概要

TRU 廃棄物処分の安全評価においては，地質媒体に対して収着性が低いヨウ素 129 や炭素 14 が線量を支配するため，ニアフィールド(N.F.)水理場の長期的な変遷評価が重要である。TRU 廃棄物の処分システムでは多量のセメント系材料(コンクリート，モルタル)の使用が検討されているため，処分施設を閉鎖し地下水が浸潤した後，コンクリートと地下水との反応を発端とした溶解変質により，コンクリートの間隙率や強度の変化，ベントナイト間隙水の Ca 濃度の上昇にともなうベントナイトのイオン交換，ベントナイトの間隙水の pH 上昇にともなうモンモリロナイトの変質などの種々のプロセスが生じる(図 1)[1]。N.F.水理場の評価には，これらのプロセスを考慮して評価を行なうことが重要である。本研究では，力学的なプロセスに着目した構造力学評価モデル(MACBECE: Mechanical Analysis system considering Chemical transition of BEntonite and CEment materials)の開発を実施した。

研究の成果

ベントナイトのイオン交換(Ca 型化)やモンモリロナイトの変質にともなう膨潤性能の低下，コンクリート強度の低下などのバリア材料の変遷を考慮にいれながら構造力学評価モデルの開発を実施した。ベントナイトについて，既存の弾塑性モデルの中で，HLW の処分における評価にも用いられ，適用実績かつ拡張が容易な関口・太田モデル [2]を選定した。ベントナイトの非線形な膨潤挙動の表現および材料特性の変遷を反映できるように既往の有限要素法(FEM)モデルの改良を実施した。さらにコンクリートの強度の時間的な低下を数値解析で取り扱うために初期にコンクリートに生じている応力と変質後のコンクリートの強度との差分の応力を未変質のコンクリートとベントナイトに再配分する手法を開発し，モデルに反映した。これらの開発・改良を行なうことにより FEM コード MACBECE を作成した。バリア材料の10万年程度の変質を考慮した MACBECE による解析結果の一例を図 2 に示す。岩盤クリープが生じにくい硬岩については，バリア材料の変質を考慮しても，廃棄体定置部が長期にわたり変質せず高い弾性係数が維持されるため，処分坑道内部の変位は 1mm にも満たなかった。軟岩(一軸強度 15MPa 相当の堆積岩を想定)については，クリープによって周辺岩盤が最大 16cm 変形することを考慮している。緩衝材が圧縮される厚さは，最大約 10cm であったが，緩衝材厚さには，廃棄体の圧密沈下を考慮して 20cm の余裕しろが考慮されおり，安全評価上設定された緩衝材厚さ(1m)が十分に保たれることが確認された。

このように，MACBECE を用いることにより，TRU 廃棄物処分におけるバリア材料の変遷を考慮した構造力学評価が可能となった。現状の評価では，岩盤のクリープと人工バリアの変形解析とは別々に実施されているが，今後，より両者の挙動を整合的に解析できるようにモデルの改良を実施する予定である。

(執筆者：三原守弘)

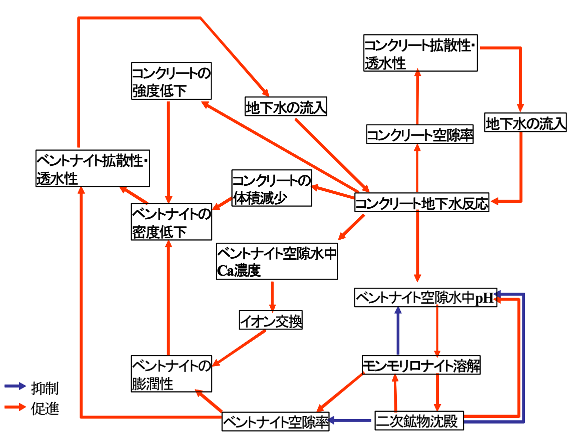


図 1 ニアフィールド水理場の変遷に関するインフルエンスダイアグラム

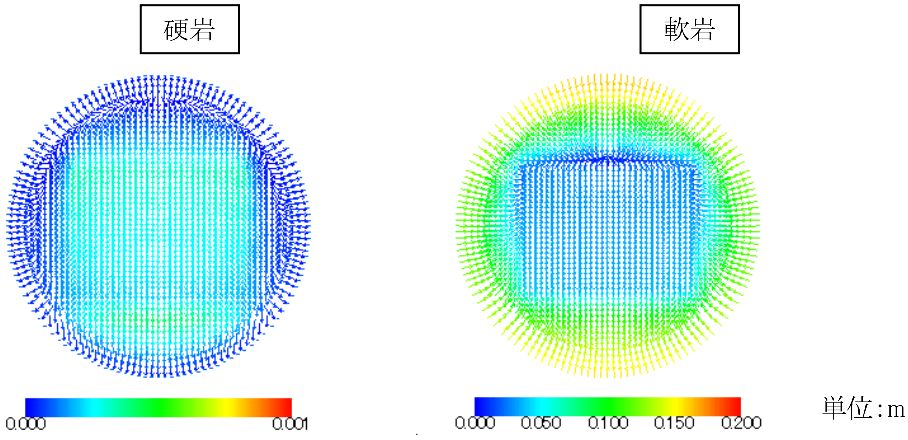


図 2　処分施設の変位コンター図

（支保工・インバートのコンクリート部分は初期の Ca 量の 100％が溶出，ベントナイトについては Ca 型化，廃棄体定置領域のコンクリート部分は緩衝材境界から 1m 部分について Ca 量の 25％溶出を想定）

参考文献

1) Takase, H. (2004): "Discussion on PA model development for bentonite barriers affected by chemical interaction with concrete : Do we have enough evidence to support bentonite stability?", pp.A3-107-A-3112, NUMO-TR-04-05.
2) Sekiguchi, H. and Ohta, H. (1977): "Induced anisotropy and time dependency in clays", Proc.Specialty Session 9,9th ICSMFE, pp.229-239.

【TRU 廃棄物の地層処分研究開発 トピック報告(2)】
セメント系材料の長期変質評価手法の開発
－普通ポルトランドセメントペーストと塩水の反応による pH 上昇機構の解明－

研究の概要

放射性廃棄物の処分施設に使用が想定されているセメント系材料は，地下水との反応により，アルカリ性の間隙水を形成する。この間隙水の化学的条件は，核種の移行挙動や他のバリア材の性能に影響を及ぼすことが考えられる。また，地下水には，その起源を降水とするものと海水とするものが存在し，化学組成も広範囲に及んでいる。特に，海水系地下水は塩化ナトリウムを高濃度で含む。これがセメント系材料と反応すると，フリーデル氏塩が生成する。また，地球化学計算コードを用いた普通ポルトランドセメント硬化体（以下，OPC とする）と海水系高 pH モデル地下水 [1)]（以下，SRHP とする）の平衡計算 [2)] や Glasser ら [3)] の平衡計算によりセメント水和物の一種であるハイドロガーネットと塩化ナトリウム水溶液との反応により，フリーデル氏塩が生成する際に間隙水の pH が上昇する可能性が指摘されている。そこで本セメント水和物と塩水の反応による pH の変化について，実験および解析により検討した。

地球化学計算コード「PHREEQC」，熱力学データベース「JNC-TDB.TRU」[4)] を用いて，OPC と SRHP，イオン交換水との反応による pH 変化を評価した。また，合成したクリンカ鉱物 [5)] を水和させて得た粉末のハイドロガーネットおよび試薬のポルトランダイトを所定の割合で混合し，0.6M塩化ナトリウム水溶液中に 50～360 日浸漬した時の pH を測定するとともに，その結果について上記のコードおよびデータベースを用いて解析した。なお，実験は炭酸化を防止するため，不活性ガスで雰囲気制御されたグローブボックス内で実施した。

研究の成果

可溶性アルカリ成分が溶脱した後の OPC ペースト硬化体と SRHP およびイオン交換水とを平衡させたときの pH(計算値)は，OPC とイオン交換水の反応では，ポルトランダイト平衡である pH=12.4 程度であるのに対し，SRHP ではセメント中の可溶性アルカリ成分が存在しなくても，pH=13.2 と高い値を示した。これは式(1)に示すようにポルトランダイト（$Ca(OH)_2$）とハイドロガーネット（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$）が反応してフリーデル氏塩（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$）を生成する時に Cl^- を消費するとともに OH^- を放出することにより，Na^+ のカウンターアニオンが OH^- になるためであると考えられた。これは図 1 及び図 2 に示すように実験的にも確認され，180 日以降は式(1)を仮定して算定した pH（図 1 中破線）とほぼ同じ値となった。

$$Ca(OH)_2 + 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 2Na^+ + 2Cl^- + 4H_2O \Rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O + 2Na^+ + 2OH^- \quad \text{式(1)}$$

以上の研究により普通ポルトランドセメントペーストと塩水の反応による pH 上昇機構が明らかとなった。

（執筆者：本田明）

参考文献

1) 核燃料サイクル開発機構（1999）：“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，JNC TN1400 99-020,021,022,023.
2) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構（2005）：“TRU 廃棄物処分技術検討書-第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-”，JNC TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR2-2005-02.
3) Glasser, F. P. et al. (1998): “The chemistry of blended cements and backfills intended for use in radioactive waste disposal”, R&D technical report P98, Environment Agency.
4) Arthur, R. C. et al. (2005): “Development of thermodynamic database for hyperalkaline, argillaceous systems”, JNC TN8400 2005-010.
5) セメント協会（2001）：“セメント硬化体研究委員会報告”，pp.291-296.

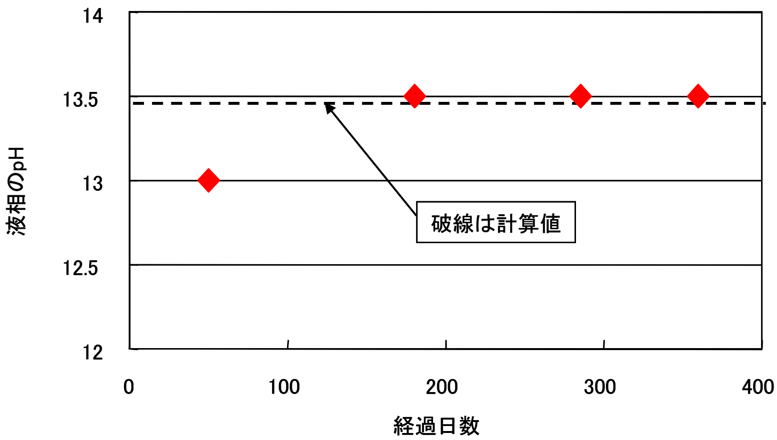


図1 ポルトランダイト及びハイドロガーネットを0.6mol/lのNaCl水溶液1kgにそれぞれ0.5molずつ添加した場合の液相のpH変化

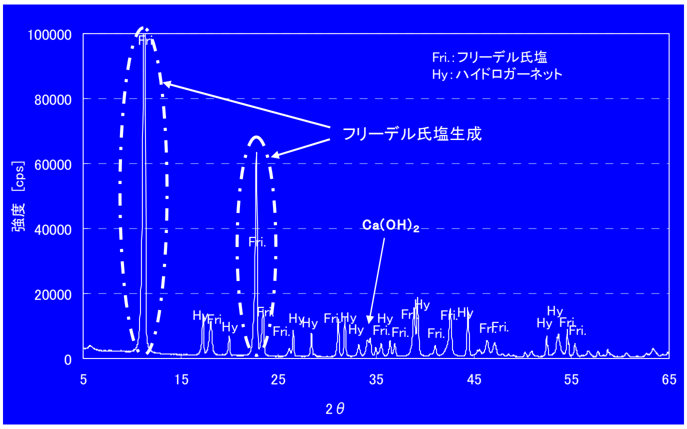


図2 ポルトランダイト及びハイドロガーネットを360日間0.6mol/lのNaCl水溶液に浸漬した後の固相のX線回折測定の結果

【TRU 廃棄物の地層処分研究開発 トピック報告(3)】
緩衝材の長期変質評価手法の開発
－ベントナイトとセメントの相互作用による人工バリア性能の変遷－

研究の概要

TRU 廃棄物の地層処分においては，ベントナイト緩衝材とセメント系材料により人工バリアが構成される。この異なる材料の間では，多様な相互作用が生じ，それらが有機的に影響しあいながら全体として長期的な変質をもたらすと考えられる。この変質現象に伴い，人工バリアの性能が変化する可能性がある。この性能の変化を核種移行解析に反映するために，人工バリアシステムにおける緩衝材の長期変質評価を実施した [1]。長期変質評価においては，鉱物の溶解・生成→鉱物組成変化→材料の密度，間隙率の変化→材料の拡散係数，透水係数の変化などといった化学的事象から物質輸送事象への伝播，さらにそのフィードバックといった化学・物質輸送に跨る複雑な非線形の連成現象を解析する必要がある。さらに，このような長期変質解析に関与する諸パラメータについても知識の欠如や情報の不完全性に由来する不確実性がある。このため，評価に付随する不確実性(e.g.,鉱物変遷挙動，境界条件，変質に伴う物質輸送特性の変化等)を明示的に長期変質解析ケースに反映させ，人工バリアシステムの性能変化を幅として評価した。

具体的には，現在の知見に基づき可能性があると判断した緩衝材の鉱物変遷の様子を複数の定性的なシナリオで表し（例えば，熱力学的には不安定なゲルなどが長期に亘って生成する場合，不安定な固相はより安定な沸石類などの鉱物に変化する場合など），これに基づき複数の解析ケースを設定した。解析ケースには，さらに境界条件，物質輸送関係式などの不確実性を反映した。人工バリアシステムの解析体系には，緩衝材を設置する処分施設のうちセメント系材料を多く使う概念を対象とし，緩衝材厚さを 1mとし，緩衝材／セメント系材料界面の単位面積あたりのセメント系材料体積からその厚さを決定（廃棄体＋構造躯体 5m,支保工 0.6m）して 1 次元化した。解析には物質輸送関係式を組み込んだ化学・物質輸送連成コード（Raiden3）を用いた。

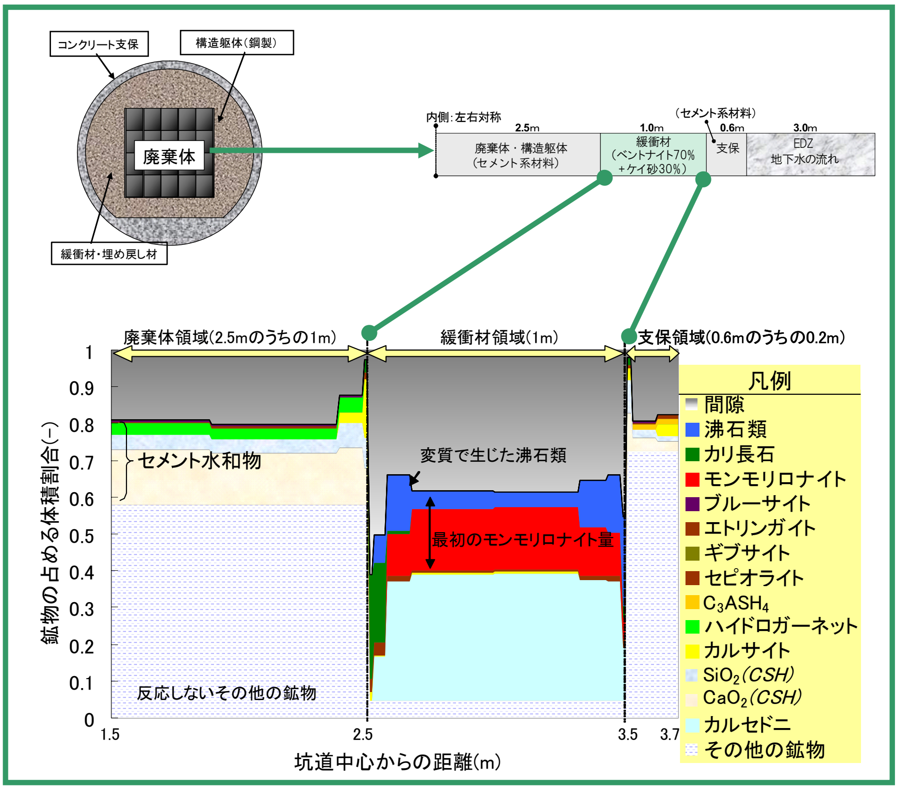
研究の成果

長期変質解析結果の一例を図 1 に示す。これにより以下の結論を得た。(1)現状の知見に基づく長期変質評価として，人工バリアの変質は必ずしも TRU 廃棄物地層処分の性能に負の影響を及ぼすものではなく，核種移行上の想定としては，10 万年間程度は緩衝材の止水性が保持され，人工バリアからの緩やかな核種放出が継続すると考えられる。(2)可能性は低いと考えられるが否定はできない評価として，仮想的なパラメータを適用した解析結果等を基に，数千年後に緩衝材の止水性が失われると仮定する場合があげられる。これらをあわせて核種移行上で検討することによって長期変質評価の様々な不確実性への対処が可能になると考えられる。

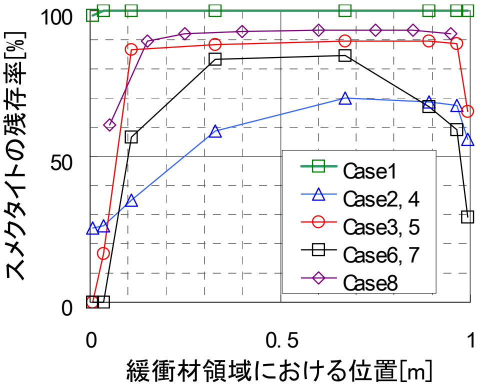
（執筆者：小田治恵）

参考文献

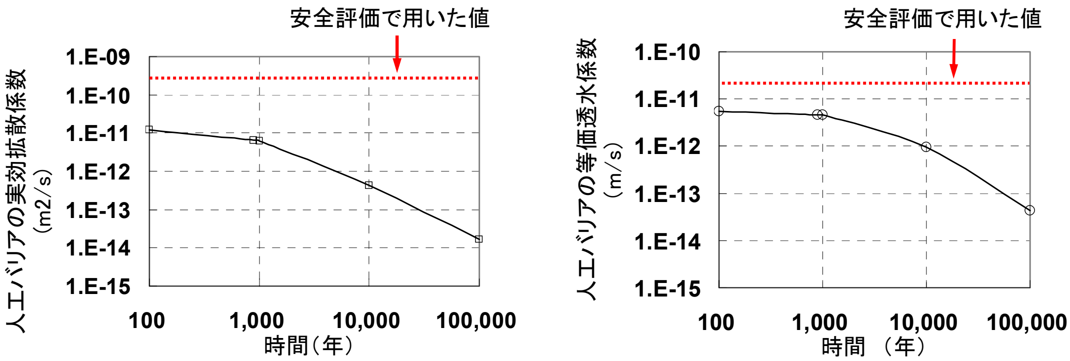
1) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構（2005）："TRU 廃棄物処分技術検討書-第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-", JNC-TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR2-2005-02.



■10 万年後の人工バリアの鉱物組成(解析結果例:ケース 6)



■緩衝材中のスメクタイト残存率, 解析結果例:10 万年後;ケース 1~8 は複数の鉱物変遷シナリオに応じた解析ケース番号)



■人工バリア領域をひとつの均一な要素と見なした場合の実効拡散係数, 透水係数の時間変化(解析結果例: ケース 6)

図1 緩衝材の長期変質挙動の解析結果の一例

付録1．外部投稿論文および報告書一覧

本章では，2006 年度，地層処分技術に関する研究開発全般（1 章）を紹介した参考文献や，2 章から 4 章の研究開発成果に関して公表した論文や報告書などの参考文献の一覧を，本報告書の章立てにそって以下に示す。

これらの参考文献のうち，原子力機構の研究報告書，技術報告書などとして公表した参考文献（JAEA-Research, JAEA-Technology, JAEA-Review, JAEA-Data/Code など）は，日本原子力研究開発機構のホームページからアクセスできる研究開発成果検索・閲覧システム（http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/index.html）から閲覧することができる。また，学会誌等へ発表した論文の概要については，研究開発成果抄録集（http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/abstracts/seika/jp/toppage.html）から閲覧することができる。

【地層処分技術に関する研究開発全般】

石川博久（2007）：“日本原子力研究開発機構における地層処分技術に関する研究開発の概要”，「地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化; 国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開」，pp.21-32.

清水和彦，瀬尾俊弘（2006）：“重要な地質環境条件に関する研究開発の現状”，原子力安全委員会特定放射性廃棄物処分安全調査会環境要件分科会第 1 回資料，環分第 1－2 号，(http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/kanyoubun/kanyoubun001/siryo21.pdf 2007.07.05).

Miyamoto, Y., Umeki, H., Ohsawa, H., Naito, M., Nakano, K., Makino, H., Shimizu, K. and Seo, T. (2006): “Key R&D activities supporting disposal of radioactive waste; Responding to the challenges of the 21st century”, Nuclear Engineering and Technology, Vol.38, No.6, pp.505-534.

梅木博之，大澤英昭，園部一志，宮本陽一（2006）：“日本原子力研究開発機構における廃棄物処分分野の安全研究の概要”，平成 13 年度～平成 17 年度　高レベル放射性廃棄物第 5 回安全研究成果報告会　－放射性廃棄物の地層処分について－　講演録集，pp.5-29.

梅木博之，大澤英昭（2006）：“HLW 地層処分技術に関する研究開発; H17 取りまとめ”，原子力安全委員会特定放射性廃棄物処分安全調査会第 13 回会合資料，特調第 13-7 号，(http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/tokuhou/tokuhou013/siryo7.pdf 2007.07.05).

Umeki, H., Naito, M., Makino, H., Osawa, H., Nakano, K., Miyamoto, Y. and McKinley, I. G. (2007): “Establishing priorities for HLW R&D in the 21st century”, Proceedings of 15th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-15), Nagoya, Japan, April 22-26, 2007, ICONE15-10204.

【高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発】
地層処分研究開発－工学技術の開発－

全体

内藤守正(2007)："工学技術の基盤強化に向けて", 地層処分基盤研究開発報告会「地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化 国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開」, pp.95-102.

油井三和(2007)："処分場の工学技術 これまでの成果の概要と今後の計画", 地層処分基盤研究開発報告会「地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化 国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開」, pp.83-94.

処分場の設計・施工技術

青柳茂男, 藤田朝雄, 新孝一, 大久保誠介, 西村和夫(2006)："多連設坑道の設計の考え方に関する検討", 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会, pp.275-276, CS05-035.

藤田朝雄, 須山泰宏, 戸井田克(2007)："結晶質岩における閉鎖要素に期待すべき性能要件", JAEA-Research 2007-021.

藤田朝雄(2006)："人工バリア等の性能保証にかかわる工学技術研究", 原子力安全委員会原子力安全研究専門部会放射性廃棄物安全研究分科会(第10回), 廃分第10-8号.

藤田朝雄, 川上進, 杉田裕, 高橋美昭, 酒井裕一(2006)："地層処分システムにおける閉鎖要素の相互影響を考慮した坑道交差部における水理解析", 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会, pp.239-240, CS05-017.

藤田朝雄, 油井三和, 鈴木英明, 藤崎淳, 九石正美(2007)："塩濃縮シミュレーションに関する研究(共同研究)", JAEA-Research 2007-017.

川上進, 藤田朝雄, 油井三和(2006)："埋め戻し材,プラグ,坑道及び処分孔等の性能保証項目にかかわる評価ツールの現状", JAEA-Research 2006-015.

小林保之, 山田勉, 中山雅, 松井裕哉, 松田武, 小西一寛, 入矢桂史郎, 納多勝(2007)："低アルカリ性セメントを用いたコンクリートに関する原位置試験計画案", JAEA-Review 2007-007.

小西一寛, 中山雅, 三原守弘, 吉田泰, 入矢桂史郎, 秋好賢治, 納多勝(2006)："幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの施工性に関する研究", JAEA-Research 2006-040.

Martino, J. B., Dixon, D. A., Vignal, B. and Fujita, T. (2006): "The Tunnel sealing experiment The Construction and performance full scale clay and concrete bulkheads at elevated pressure and temperature", TopSeal 2006, Olkiluoto, Finland.

三井裕之, 高橋里栄子, 谷口直樹, 大槻彰良, 朝野英一, 油井三和(2006)："オーバーパック溶接部の耐食性評価に関する研究,3(共同研究)", JAEA-Research 2006-080.

三井裕之, 高橋里栄子, 大槻彰良, 朝野英一, 谷口直樹, 油井三和(2006)："炭素鋼オーバーパック溶接部の応力腐食割れ感受性に関する検討", 腐食防食協会第53回材料と環境討論会, pp.127-130, B-105.

三井裕之, 谷口直樹, 大槻彰良, 川上進, 朝野英一, 油井三和(2006)："オーバーパック溶接部の耐食性評価に関する研究,2(共同研究)", JAEA-Research 2006-031.

杉田裕, 高橋美昭, 藤田朝雄, 川上進, 酒井裕一(2006)："地層処分システムにおける閉鎖要素の相互影響を考慮したパネル規模での水理解析", 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会, pp.241-242, CS05-018.

杉田裕, 高橋美昭, 浦上学, 北山一美, 藤田朝雄, 油井三和(2007)："処分システムに求められる閉鎖性能の考え方 処分場パネル規模の水理に関する試解析", JAEA-Research 2007-023.

棚井憲治, 藤田朝雄(2007)："幌延深地層研究計画,4 工学技術の適用性評価", 日本原子力学会2007年春の年会, 384, I04.

棚井憲治, 菊池広人(2006)："緩衝材基本特性データベースの開発", 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.120, B53.

棚井憲治(2006)："低アルカリ性セメントの開発 吹付けコンクリートの施工性に関する検討", 日本原子力学会バックエンド部会第22回バックエンド夏期セミナー, ポスター.11-1.

鈴木宏幸, 谷口直樹(2006)："低酸素濃度下におけるチタンの腐食速度と水素吸収挙動, 材料と環境, Vol.55, No.11, pp.485-494.

立川博一, 川久保文恵, 清水亮彦, 柴田俊夫, 杉本克久, 瀬尾眞浩, 水流徹, 藤本慎司, 井上博之(2006)："オーバーパックの長期耐食性に関する調査(委託研究)", JAEA-Research 2006-058.

谷口直樹, 甲川憲隆, 前田一人(2006):”幌延地下水環境における炭素鋼の腐食挙動の予察的検討”, JAEA-Research 2006-051.

谷口直樹, 川崎学, 内藤守正(2007):低酸素濃度環境における純銅の腐食挙動に及ぼす硫化物の影響と銅オーバーパック寿命の超長期化の可能性”, JAEA-Research 2007-022.

谷口直樹, 鈴木宏幸, 油井三和, 中西智明, 中山武典, 舛形剛, 建石剛(2006):”低酸素濃度環境におけるチタンオーバーパックの水素脆化挙動”, 腐食防食協会第53回材料と環境討論会, pp.473-476, D-303.

山田勉, 平本正行, 小林保之, 油井三和, 佐藤治夫, 松井裕哉(2007):”処分場建設の際に持ち込まれる材料の長期性能評価の観点からの留意点”, JAEA-Review 2007-008.

Yokoyama, Y., Mitsui, H., Takahashi, R., Otsuki, A., Asano, H., Taniguchi, N. and Yui, M. (2007): ”Corrosion behavior of the weld zone of carbon steel overpack for HLW final disposal”, Corrosion 2007 Research in Progress Symposium, Nashville, U. S. A.

長期健全性評価技術

藤田朝雄(2006):”人工バリア及び岩盤の長期挙動に関する研究”, 原子力安全委員会原子力安全研究専門部会放射性廃棄物安全研究分科会(第10回), 廃分第10-7号.

平本正行, 小林保之, 青柳茂男, 宮野前俊一, 森田篤(2007):”ニアフィールド岩盤の長期力学挙動予測評価手法の信頼性向上に関する検討”, JAEA-Research 2007-003.

西村繭果, 棚井憲治, 高治一彦, 平井卓, 白武寿和(2006):”緩衝材長期力学挙動評価モデルのパラメータ設定に関する検討”, JAEA-Research 2006-036.

西村繭果, 棚井憲治, 高治一彦, 重野喜政, 下河内隆文(2007):”ニアフィールドの長期力学連成解析手法の構築”, JAEA-Research 2007-004.

大窪貴洋, 山口真(2006):”粘土ゲルが充填した多孔質媒体中の水の制限拡散の計測”, 第45回NMR討論会, pp.458-459, P118.

大窪貴洋, 山口真(2006):”電解質溶液で調整した粘土ゾル・ゲル中での水の自己拡散係数に関する研究”, 第50回粘土科学討論会, pp.238-239, P47.

笹本広, 陶山忠宏, 柴田雅博, 上野健一(2007):”鉄型化ベントナイト水熱試験, 2 低酸素雰囲気,150℃における鉄型化ベントナイトの変化の同定”, JAEA-Research 2007-018.

陶山忠宏, 柴田雅博, 笹本広(2006):”鉄型化ベントナイト水熱試験 低酸素雰囲気での高温条件下における鉄型化ベントナイトの変化の同定”, JAEA-Research 2006-064.

鈴木英明, 藤崎淳, 藤田朝雄, 油井三和(2006):”高レベル放射性廃棄物地層処分におけるニアフィールド熱-水-応力-化学連成解析モデルを用いた連成試験(COUPLE)の解析評価”, 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会, pp.267-268, CS05-031.

高治一彦, 重野喜政, 棚井憲治, 西村繭果(2006):”緩衝材及び岩盤の力学連成挙動解析”, 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.112, B45.

棚井憲治, 神徳敬, 菊池広人, 西村繭果, 松本一浩, 青柳茂男, 油井三和(2006):”緩衝材の性能保証項目にかかわる評価ツールの現状”, JAEA-Research 2006-035.

吉川英樹(2006):”人工バリアのナチュラルアナログ研究”, 原子力安全委員会原子力安全研究専門部会放射性廃棄物安全研究分科会(第10回), 廃分第10-9号.

吉川英樹, 林真紀(2006):”考古学的遺物を用いた金属ナチュラルアナログ研究, 2”, 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.104, B37.

Yoshikawa, H., Ueno, K. and Yui, M. (2007): ”Application of archaeological analogues for repository safety case Arguments on waste container lifetime”, Safety Cases for the Deep Disposal of Radioactive Waste Where do we stand ?, Paris, France.

地層処分研究開発－安全評価手法の開発－

全体

宮原要(2006)：“安全評価の基本的考え方に関する調査研究等”，「安全研究年次計画(平成13年度～平成17年度)」の総合評価にかかわる放射性廃棄物安全研究分科会第2回ヒアリング.

宮原要(2007)：“性能評価の技術基盤の体系化に向けて”，地層処分基盤研究開発報告会「地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化 国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開」，pp.127-134.

宮原要，加藤智子(2006)：“地層処分の安全規制に関する動向 原則,基準と適合性に関する主な論点を中心に”，JAEA-Review 2006-030.

地層処分研究開発部門，原子力環境整備促進・資金管理センター事業環境調査研究プロジェクト(2006)：“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)”，JAEA-Research 2006-091.

評価手法

江橋健，大井貴夫，小尾繁(2007)：“包括的感度解析手法に基づくHLWの地層処分における重要な研究課題の同定に資する検討”，日本原子力学会2007年春の年会，pp.410，I30.

稲垣学，加藤智子，吉田英爾，小山田潔，深谷友紀子，鈴木祐二，大井貴夫(2007)：“表層での水理・物質移行を考慮した生物圏における評価に関する検討”，JAEA-Research 2007-029.

加藤智子，大井貴夫(2006)：“地層処分生物圏評価研究の今後の研究開発項目とそれに対して要求される観点の抽出”，日本原子力学会バックエンド部会第22回バックエンド夏期セミナー，ポスター，13-1.

加藤智子，鈴木祐二(2007)：“Extended biosphere dataset for safety assessment of radioactive waste geological disposal”，Proceedings of International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology，pp.336-339.

加藤智子，鈴木祐二，大井貴夫(2006)：“地表環境での時間的変遷による影響を考慮した地層処分生物圏評価”，平成18年度日本原子力学会北関東支部若手研究者発表会.

加藤智子，鈴木祐二，大井貴夫，亀井玄人(2006)：“TRU廃棄物処分に特有な放射性核種を考慮した地層処分生物圏評価”，日本保健物理学会第40回研究発表会，p.87，A-32.

川村淳，大井貴夫，牧野仁史，梅田浩司，新里忠史，安江健一，河内進，石丸恒存，瀬尾俊弘，蛯名貴憲，宮原要，中司昇，茂田直孝(2007)：“高レベル放射性廃棄物地層処分にかかわる天然現象影響評価に関する研究計画書 当面5か年の計画,H18年度版”，JAEA-Review 2006-039.

Kawamura, M., Ohi, T., Makino, H., Umeda, K., Niizato, T., Ishimaru, T. and Seo, T. (2006): “Study on evaluation method for potential impacts of “Natural Phenomena” on a HLW disposal system”, Proceedings of 2006 East Asia Forum on Radwaste Management Conference (2006 EAFORM Conference), pp.350-367.

川村淳，大井貴夫，新里忠史，安江健一，梅田浩司，牧野仁史，石丸恒存(2006)：“高レベル放射性廃棄物処分における隆起・侵食に起因するシナリオの検討”，日本地質学会第113年学術大会，pp.263，P-192.

川村淳，牧野仁史，梅田浩司，大井貴夫，新里忠史，石丸恒存(2006)：“「火山活動」を例とした放射性廃棄物処分にかかわる影響解析パラメータの設定”，日本地球惑星科学連合2006年大会，G150-P019.

川村淳，牧野仁史，大井貴夫，梅田浩司，新里忠史，石丸恒存(2006)：“放射性廃棄物処分にかかわる天然現象影響評価に関する影響解析パラメータの設定手法の検討”，日本地球惑星科学連合2006年大会，G150-012.

牧野仁史，川村淳，若杉圭一郎，大久保博生，高瀬博康(2007)：“高レベル放射性廃棄物地層処分安全評価のシナリオ解析のための計算機支援ツールの開発”，JAEA-Data/Code 2007-005.

個別現象の評価技術

藤井直樹，市川康明(2006)：“圧縮ベントナイト中の表面拡散現象に関する均質化解析”，応用力学論文集，Vol.9，pp.323-332.

藤井直樹，河村雄行(2006)：“MD計算によるスメクタイト中のCs，Srの移行特性の評価”，日本原子力学会2006年秋の大会，pp.116，B49.

原彰男(2006)：“シリカ鉱物の相変化に伴う珪藻質泥岩の物性変化と物質移行特性”，日本地球惑星科学連合2006年大会，G150-009.

原彰男，星一良，加藤新，前川恵輔(2007)：“前進的モデルを用いた不均質性堆積岩評価手法の研究，3(委託研究)”，JAEA-Research 2007-015.

飯島和毅，庄司芳之，戸村努(2006)：“ベントナイトコロイドに対するAmの収着挙動，2 ベントナイトの収着サイト密度の評価”，日本原子力学会2006年秋の大会，pp.98，B31.

Iijima, K., Shoji, N. and Tomura, T. (2007): "Sorption behavior of Am onto bentonite colloid", 11th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration '07), Munich, Germany, PA6-3.

飯島和毅, 吉川英樹, 黒澤精一(2007):"圧縮ベントナイト中のフミン酸の拡散挙動", 日本原子力学会2007年春の年会, pp.422, I42.

石寺孝充, 上野健一, 陶山忠宏(2007):"圧縮ベントナイト中へ移行した鉄腐食生成物の存在形態", 日本原子力学会2007年春の年会, pp.397, I17.

磯貝武司, 笹本広, 柴田雅博, (2006):"圧縮ベントナイト中の間隙水組成の測定 間隙水pHの空間変化に関する追加試験の結果", JAEA-Data/Code 2006-017.

甲斐邦男, 前川恵輔(2006):"続成変質鉱物の分布に基づく珪質泥岩中の地下水流動の推定", 日本地熱学会平成18年度天栄大会, B01.

Karasaki, K., Ito, K. and Maekawa, K. (2006): "Simularion of salt water intrusion", TOUGH Symposium 2006, Berkeley, U. S. A..

熊本創, 下茂道人, 尾原祐三, 佐藤晃, 内田雅大, 前川恵輔(2006):"X線CTによる亀裂を有する堆積岩中の移流及び拡散現象の可視化", 第41回地盤工学研究発表会.

黒澤進, 水上雅史, 佐藤久夫, 野澤純, 辻本恵一, 栗原和枝(2006):"コロイドプローブ原子間力顕微鏡によるNaCl水溶液中のモンモリロナイト粒子の相互作用力の測定", 日本原子力学会和文論文誌, Vol.5, No.3, pp.251-256.

黒澤進, 上田真三, 油井三和(2006):"モンモリロナイト粒子の分散性と核種移行への影響", 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.99, B32.

前川恵輔, 唐崎健二, 伊藤一誠(2006):"地層中の塩淡境界評価に関する一考察", 日本原子力学会バックエンド部会第22回バックエンド夏期セミナー, ポスター.16-1.

Maekawa, K., Karasaki, K. and Takasu, T. (2006): "Laboratory experiment of saltwater intrusion into freshwater aquifer", American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, U. S. A., H33D-1531.

前川恵輔, 澤田淳, 稲垣学, 大井貴夫(2007):"幌延深地層研究計画, 5 安全評価手法の適用性評価", 日本原子力学会2007年春の年会, pp.385, I05.

前川恵輔, 澤田淳, 太田久仁雄, 操上広志, 國丸貴紀, 舟木泰智, 濱克宏, 竹内真司, 天野健治, 三枝博光, 牧野仁史, 中野勝志, 石丸恒存, 瀬尾俊弘, 清水和彦(2007):"地質環境調査・物質移行評価に関する研究の基本的な方針", JAEA-Review 2007-011.

笹本広, 林真紀, 佐竹憲治, 吉川英樹, 油井三和(2006):"ガラスの溶解速度データベース整備の現状", 日本原子力学会バックエンド部会第22回バックエンド夏期セミナー, ポスター.15-1.

Sawada, A., Takebe, A. and Sakamoto, K. (2006): "A Numerical study on the correlation between fracture transmissivity, hydraulic aperture and transport aperture", American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, U. S. A., H13D-1425.

澤田淳, 竹内真司, 三枝博光, 天野健治(2007):"亀裂性岩盤におけるボーリング調査に基づく水理学的有効間隙率の設定について", 第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.273-278.

澤田淳, 米村拓峰, 佐藤晃, 菅原勝彦(2007):"X線CTによるトレーサー移行プロセス分析方法の開発", 平成19年度(2007年)資源・素材学会春季大会講演集(I)資源編, pp.121-122.

佐藤晃, 深堀大介, 菅原勝彦(2006):"X線CT法による岩石内亀裂の可視化と分析", 平成18年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(資源・素材 2006), 1-4, A1-1.

Sato, A., Fukabori, D., Sugawara, K., Sawada, A. and Takebe, A. (2006): "Visualization of 2D diffusion phenomena in rock by means of X-ray CT", 2nd International Workshop on X-Ray CT for Geomaterials (GeoX 2006), Grenoble, France, pp.315-321.

下茂道人, 熊本創, 前川恵輔(2007):"亀裂を有する軟岩の水理・物質移行特性データの取得・解析(委託研究)", JAEA-Research 2007-016.

高須民男, 前川恵輔(2007):"多孔質媒体中水理・物質移行現象可視化装置(小型MACRO)の開発及び予察試験結果", JAEA-Technology 2006-061.

武部篤治, 坂本和彦, 澤田淳(2006):"亀裂の接触面積率とJRCが透水特性に与える影響検討", 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会, pp.231-232, CS05-013.

栃木善克(2006):"地層処分の安全評価にかかわる微生物影響評価シミュレーション", 平成18年度日本原子力学会北関東支部若手研究者発表会.

栃木善克, 甲川憲隆, 向井悟, 神徳敬, 笹本広, 柴田雅博, 油井三和(2007):"花崗岩質岩石のマトリクスにおけ

る拡散深さに関する研究”, JAEA-Research 2007-024.

栃木善克, 宮坂郁, 福永栄, 菅野毅, 難波謙二(2006):“放射性廃棄物処分場天然バリア性能に対する微生物影響評価コードの開発”, 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.95, B28.

栃木善克, 柴田雅博, 佐藤治夫, 北村暁(2007):“主要岩石及び緩衝材中の核種の拡散係数データベースシステム 2007年公開版/仕様”, JAEA-Data/Code 2007-010.

栃木善克, 吉川英樹, 青木和弘, 油井三和, 本條秀子, 萩沼真之, 川上泰, 鈴木和則(2007):“地層処分における微生物影響評価に関する研究, 1(共同研究)”, JAEA-Research 2007-010.

栃木善克, 吉川英樹, 油井三和(2006):“微生物影響評価コードによる地下水組成の評価”, 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.93, B26.

Xiao, J., Sato, H., Sawada, A. and Takebe, A. (2006): “Visualization and quantitative evaluation of aperture distribution, fluid flow and tracer transport in a variable aperture fracture”, Proceedings of 4th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS 2006) (CD-ROM), pp.8.

Yoshida, Y., Yoshikawa, H., Nakazawa, T. and Sato, T. (2006): “Co-precipitation reaction for Ba and Ra into calcite”, 6th International Symposium on Advanced Science Research Frontiers of Nuclear and Radiochemistry (ASR 2006), Tokai, Japan, pp.34, PA08.

吉川英樹, 笹本広(2006):“地下水水質形成モデルの検証及び高度化に関する研究”, 原子力安全委員会原子力安全研究専門部会放射性廃棄物安全研究分科会(第10回), 廃分第10-5号.

吉川英樹, 吉田泰, 佐藤智文(2006):“炭酸塩固相に対する微量元素の共沈反応についての固溶体モデルによる評価, 2”, 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.96, B29.

<u>**データベース開発**</u>

土井玲祐, 夏暁彬, 柴田雅博, 北村暁, 吉川英樹(2006):“堆積岩に対するCs収着挙動のモデル化”, 2006日本放射化学会年会/第50回放射化学討論会記念大会, B32.

土井玲祐, Xia, X., 柴田雅博, 北村暁, 吉川英樹(2007):“幌延堆積岩へのCs収着挙動に対するイオン交換反応に基づくモデルの適用性検討”, JAEA-Research 2007-007.

土井玲祐, 柴田雅博(2006):“緩衝材間隙水中溶解度計算への適用における放射性元素の熱力学データベースの比較評価”, JAEA-Research 2006-038.

藤原健壮, 小原幸利(2006):“溶媒抽出法によるNp(IV)加水分解定数の測定 2”, 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.349, G28.

Ochs, M., Kunze, S., Yui, M. and Sasamoto, H. (2007): “Use of the sorption database for predicting the sorption of Cs, Np, Th, and Se under projected URL-conditions”, 11th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration ’07), Munich, Germany, PC4-1.

Ochs, M., Saito, Y., Kitamura, A., Shibata, M., Sasamoto, H. and Yui, M. (2007): “Evaluating and categorizing the reliability of distribution coefficient values in the sorption database”, JAEA-Technology 2007-011.

吉田泰, 北村暁(2007):“OECD/NEAで選定された熱力学データの利用環境の整備,3 Ni, Se, Zr及び有機物配位子の熱力学データベースファイルの作成”, JAEA-Data/Code 2007-009.

吉川英樹, 北村暁(2006):“深部地下環境下における核種移行データの取得及びデータベース整備”, 原子力安全委員会原子力安全研究専門部会放射性廃棄物安全研究分科会(第10回), 廃分第10-6号.

地層処分研究開発ーその他ー

亀井玄人(2007):“放射性廃棄物地層処分の研究開発 高レベル放射性廃棄物を例に”, 2006年度第24回地質学セミナー.

佐々木康雄, 虎田真一郎(2007):“第1回地層処分研究開発検討委員会(会議報告)”, JAEA-Conf 2007-004.

佐々木康雄(2007):“地層処分研究に対する外部のご意見と研究の方向性”, JAEA-Review 2007-016.

深地層の科学的研究－超深地層研究所計画－

第１段階（地表からの調査予測研究段階）全般

三枝博光, 瀬野康弘, 中間茂雄, 鶴田忠彦, 岩月輝希, 天野健治, 竹内竜史, 松岡稔幸, 尾上博則, 水野崇, 大山卓也, 濱克宏, 佐藤稔紀, 久慈雅栄, 黒田英高, 仙波毅, 内田雅大, 杉原弘造, 坂巻昌工（2007）："超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第１段階）研究成果報告書", JAEA-Resarch 2007-043.

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

全般

中間茂雄（2006）："賛助会員のページ 独立行政法人日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門", 岩の力学ニュース, 79, pp.12-13.

第１段階（地表からの調査予測研究段階）

江口孝夫, 天野健治（2006）："空間的制約条件下における深層ボーリング調査計画の最適化", 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.175-178.

郷家光男, 多田浩幸, 瀬野康弘, 中間茂雄, 佐藤稔紀（2006）："瑞浪超深地層研究所の研究坑道における掘削損傷領域を考慮した掘削影響解析", トンネル工学論文集, 16, pp.35-45.

羽柴公博, 中間茂雄, 山田淳夫, 佐藤稔紀（2006）："土岐花崗岩の力学的性質の分布特性", 資源・素材 2006(福岡)企画発表・一般発表(A)(B)講演資料 岩盤工学, pp.45-46.

羽柴公博, 佐藤稔紀, 瀬野康弘（2007）："立坑周辺岩盤の時間依存性挙動に及ぼす軸方向初期地圧の影響", 資源・素材学会春季大会講演集 2007 年(I)資源編, pp.109-110.

井岡聖一郎, 古江良治, 岩月輝希（2006）："深層ボーリング孔を用いた岩盤中の地下水の採取方法 地下水の酸化還元状態の把握のために", 日本水文科学会誌,36 巻, 4 号, pp.181-190.

井岡聖一郎, 岩月輝希, 加藤修, 今北毅（2006）："電極表面連続研磨器具付き白金電極を用いる水溶液酸化還元電位の安定測定", 分析化学,55[10], pp.793-797.

井岡聖一郎, 岩月輝希, 加藤修, 今北毅（2006）："水溶液の酸化還元電位測定手法の検討", 2006 年度日本地球化学会年会, pp.7.

井岡聖一郎, 岩月輝希, 水野崇, 加藤修, 今北毅（2006）："白金電極を用いた地下水の酸化還元電位測定手法の問題点 -白金電極表面の存在物質-", 2006 年度日本水文科学会学術大会.

松木浩二, 成川達也, 中間茂雄, 佐藤稔紀（2007）："大規模な断層を含む不均一岩体の広域応力場評価", 資源・素材学会春季大会講演集 2007 年(I)資源編, pp.135-136.

松岡稔幸, 長谷川健（2006）："土岐花崗岩の磁化率の不均一性について", 日本応用地質学会中部支部平成 18 年度研究発表会予稿集, pp.29-34.

三輪成徳, 高木秀雄, 西嶋圭, 横溝佳侑, 円城寺守, 水野崇（2006）："土岐花崗岩中に見られるマイクロクラックの三次元方位分布と古応力場及び生成環境の復元", 日本地質学会構造地質部会 2006 年度例会.

水野崇, Metcalfe, R., 岩月輝希, 彌榮英樹（2006）："地下水から得られた地球化学データの品質評価手法の提案", 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, pp.320-321.

水野崇, Metcalfe, R., 彌榮英樹, 岩月輝希："地球化学調査における地下水の品質評価手法", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会（CD-RO（2006）M）, G150-P015.

中間茂雄（2007）："高レベル放射性廃棄物の地層処分における初期応力研究について", 地殻応力の絶対量計測に関する研究集会.

中間茂雄, 佐藤稔紀, 金子勝比古, 松木浩二, 菅原勝彦, 水田義明（2007）："三次元応力場同定手法の高度化に関する研究の概要", 資源・素材学会春季大会講演集 2007 年(I)資源編, pp.137-138.

尾上博則, 三枝博光, 大山卓也（2007）："ローカルスケールの地下水流動解析-サイトスケールにおけるステップ 4 の地下水流動解析の境界条件の設定-", JAEA-Research 2007-035.

尾上博則, 三枝博光, 大山卓也（2006）："長期間の孔間揚水試験データに基づく水理地質構造のモデルキャリブレーション", 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, pp.264-269.

尾上博則, 三枝博光, 大山卓也, 遠藤令誕（2007）："繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの水理地質構造のモデル化・地下水流動解析（ステップ4）", JAEA-Research 2007-034.

尾上博則, 三枝博光, 渡邊正, 本島貴之, 井尻裕二, 大津宏康（2006）："突発湧水に対するリスク評価・管理手法

の構築 1 立坑掘削時における突発湧水リスクに対する断層の水理学的調査について”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会(CD-ROM), CS05-009.

大山卓也, 尾上博則, 三枝博光, 遠藤令誕(2007):“地下水流動場を効率的にモデル化・解析するシステムの概要と東濃地域における適用事例”, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, pp.19-26.

大山卓也, 三枝博光, 尾上博則(2006):“複雑な水理地質環境における地下水流動場を効率的にモデル化・解析するためのシステム開発”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, p.73.

三枝博光, 下茂道人, 文村賢一, 竹内真司, 尾上博則(2006):“地下研究坑道掘削に伴う地下水流動状態の変化を予測するための地下水流動解析とそれに基づく調査研究計画の策定”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, pp.258-263.

Saegusa, H., White, M. J., Robinson, P., Guimera, J. (2006): “Development of a system for integrated geological modelling and groundwater flow simulation”, Proceedings of 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM) (CD-ROM), pp.330-337.

進士喜英, 西垣誠, 竹内真司(2006):“揚水試験結果の解析手法の変遷と最近の技術”, 土と基礎, 54 巻, 5 号, pp.6-9.

Sohail, A. R., Watanabe, K., and Takeuchi, S. (2006): “Stream flow forecasting by artificial neural network (ANN) model trained by real coded genetic algorithm (GA) A Case study when role of groundwater flow component in surface runoff is small”, 地下水学会誌, 48 巻, 4 号, pp.233-262.

竹内真司(2006):“孔間水理試験による水理地質構造の推定”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会(CD-ROM), G150-P007.

竹内真司(2006):“水理試験データの時間微分を用いた水理地質構造の推定”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会(CD-ROM), CS05-023.

竹内真司, 進士喜英, 廣田雅彦(2006):“現場透水試験結果の解析における時間微分項算定手法の比較”, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.1157-1158.

竹内真司, 竹内竜史, 三枝博光(2006):“大規模揚水試験による水理地質構造の推定”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会講演要旨, pp.264-269.

第 2 段階(研究坑道の掘削を伴う研究段階)

鐙顕正, 天野健治(2006):“多変量解析を利用した断層分布区間の判定”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.263-266.

天野健治(2006):“孔壁画像の画像処理による岩相区分効率の改善”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.525-526.

早野明, 天野健治, 竹内真司(2006):“立坑掘削中の湧水量観測に基づく瑞浪層群中の透水性/遮水性構造の分布の推定及びそれらの地質学的性状について -瑞浪超深地層研究所における立坑掘削を例として-”, 日本応用地質学会中部支部平成 18 年度研究発表会予稿集, pp.25-28.

井岡聖一郎(2007):“深部地下水中における酸化還元反応及び地球化学反応”, 広島大学陸域環境研究会.

井岡聖一郎, 岩月輝希, 天野由記(2006):“表層地下水の流入に対する地下深部における地下水化学の応答”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, pp.300-301.

石垣孝一, 松岡稔幸, 天野健治(2006):“立坑掘削工事に伴う振動を利用した物理探査”, 日本原子力学会第 38 回中部支部発表会要旨集, p.10.

岩月輝希(2006):“深部地下水の地球化学に関する研究の現状と課題”, 資源地質学会 2006 年年会学術講演会講演要旨集, p.12.

岩月輝希, 天野由記, 井岡聖一郎, 三枝博光, 竹内竜史(2007):“大規模地下施設の建設に伴う周辺地下水環境の変化”, 日本原子力学会和文論文誌, 6 巻, 1 号, pp.73-84.

岩月輝希, 天野由記, 彌榮英樹(2006):“地下施設建設に伴う周辺地球化学環境の変化”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会(CD-ROM), G150-013.

菊地輝行, 天野健治(2006):“堆積岩の層序区分・対比における多変量データ解析の導入”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.521-524.

Lee, C., T., Matsuoka, K., Ishigaki, M., Tanoue, N., Narita, M., Kojima, T., Tsuchiya and Matsuoka, T. (2006): “Seismic imaging for 3-D VSP data using image point transform”,Proceedings of 10th International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics (RAEG 2006), pp.143-146.

松岡稔幸, 石垣孝一, 杉本芳博(2007):“瑞浪超深地層研究所における立坑掘削を利用した水理地質構造モデ

ルの検討 3電気探査法を用いた水理地質構造の検討”, 日本原子力学会2007年春の年会要旨集CD-ROM, I09.

松岡稔幸, 仙波毅, 石垣孝一, 杉本芳博, 田上正義, 成田憲文(2006):“流体流動電位法を用いた瑞浪超深地層研究所周辺の地下水流動モニタリング”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.331-334.

水野崇, 岩月輝希(2006):“炭酸塩鉱物を用いた深部地下環境の長期安定性に関する解析例”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会(CD-ROM), B131-P007.

水野崇, 岩月輝希(2006):“同位体比を指標とした陸域地下深部における炭素循環の考察”, 2006 年度日本地球化学会年会, p.8.

本島貴之, 井尻裕二, 尾上博則, 三枝博光, 渡邊正, 大津宏康(2006):“突発湧水に対するリスク評価・管理手法の構築 2 観測水位を指標とした立坑掘削時における突発湧水リスクの管理手法について”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会(CD-ROM), CS05-010.

中俣公徳, 天野健治, 松岡稔幸(2006):“瑞浪超深地層研究所の研究坑道に遭遇する地質分布の地表からの予測と実際”, 日本原子力学会第 38 回中部支部発表会要旨集, p.6.

成川達也, 松木浩二, 竹内竜史, 竹内真司, 荒井靖(2007):“傾斜データを用いた不均一な地下水流動の評価”, 平成 19 年度(2007 年)資源・素材学会春季大会, pp.139-140.

Salden, W., Takeuchi, R., Takeuchi, S. and Saegusa, H. (2006): “A Pumping test at the shaft scale: Groundwater level recovery and pump-down at the Mizunami Underground Research Laboratory, Japan”,American Geophysical Union Fall Meeting,H41B-0383.

仙波毅, 内田雅大, 濱克宏, 鶴田忠彦, 天野健治, 竹内竜史, 三枝博光, 瀬野康弘(2007):“瑞浪超深地層研究所における立坑掘削を利用した水理地質構造モデルの検討 1 瑞浪超深地層研究所における第 2 段階の研究の現状”, 日本原子力学会 2007 年春の年会要旨集(CD-ROM), I07.

竹内竜史, 荒井靖, Salden, W.:(2006)“モニタリングデータによる水理地質構造の推定”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, pp.270-273.

竹内竜史, 藤田有二, 荒井靖, Walter, S.(2006):“モニタリングデータを用いた水理地質構造の推定”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会(CD-ROM), G150-P008.

竹内竜史, 戸谷成寿, 三枝博光, 竹内真司(2007):“瑞浪超深地層研究所計画における立坑掘削を利用した水理地質構造モデルの検討 2水圧応答を利用した立坑周辺の水理地質構造の検討”, 日本原子力学会2007年春の年会要旨集 CD-ROM, I08.

坪井麻里子, 本多照幸, 岩月輝希, 水野崇(2006):“東濃土岐花崗岩の各種岩相におけるウラン,トリウム等微量元素の分布と挙動”, 第 31 回フィッショントラック研究会.

吉田治生, 岩月輝希(2006):“原位置における金属元素の移動挙動確認 地下水採水方法の検討”, 日本原子力学会第 38 回中部支部発表会要旨集, p.8.

吉田治生, 岩月輝希, 上野俊一郎(2006):“還元環境における地下水中の金属有機錯体形成”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会(CD-ROM), p.84.

<u>その他</u>

羽柴公博(2007):“岩石の時間依存性挙動と周圧の影響に関する最近の研究”, Journal of MMIJ, 123 巻, 1 号, pp.10-16.

羽柴公博, 中間茂雄, 佐藤稔紀(2006):“立坑掘削後約 10 年間の周辺岩盤の変形特性”, トンネル工学報告集, 16, pp.241-246.

羽柴公博, 松井裕哉, 瀬野康弘, 佐藤稔紀(2007):“2 種類の堆積岩の多段階クリープ試験による長期クリープ挙動の予測”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.329-334.

井尻裕二, 三枝博光, 澤田淳, 中野勝志, 小野誠(2007):“広域地下水流動評価における概念モデルに起因した不確実性について”, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, pp.67-76.

Naganuma, T., Iwatsuki, T., Shimizu, S., Akiyama, M. and Ishijima, Y.(2006): “Molecular microbiological approaches to understand biogeochemical processes in deep aquifers”,International Symposium on GRAPHIC (Groundwater Resources Assessment under the Pressures of Humanity and Climate Change), Kyoto, pp.67-70.

永田寛, 本多照幸, 岩月輝希, 水野崇(2006):“東濃ウラン鉱床周辺の瑞浪層群に産する堆積岩中のウラン トリウム及びランタノイドの分布と挙動”, 第 31 回フィッショントラック研究会.

尾上博則, 三枝博光, 笹尾英嗣, 木下博久, 小坂寛(2007):“地質環境の長期挙動を考慮した水理地質構造のモデル化・解析”, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, pp.51-56.

三枝博光, 稲葉薫, 守屋俊文, 尾上博則(2006):“地形及び気候変動が地下水流動特性に与える影響について”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会(CD-ROM), G150-006.

杉原弘造(2006):“高レベル放射性廃棄物の地層処分と日本原子力研究開発機構における研究開発　岩盤力学を中心に”, 岩盤工学研究会講演会.

Suyama, Y., Toida, M., Masumoto, K. and Takeuchi, S. (2006): “Investigation of the EDZ using high-resolution GPR with modulating frequency”, Proceedings of 12th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics (Near Surface 2006) (CD-ROM),p.5.

柳澤孝一, 武田精悦, 茂田直孝, 仙波毅, 須山泰宏, 戸井田克, 高瀬博康, 西垣誠(2006):“地質環境特性を対象とした不確実性解析の方法論 -東濃地域を対象とした適用性検討-”, 日本地下水学会誌, 48 巻, 3 号, pp.149-167.

<u>深地層における工学技術の基盤の整備</u>

<u>第 1 段階(地表からの調査予測研究段階)</u>

船津貴弘, 足立光, 清水則一, 佐藤稔紀, 山地宏志(2006):“硬岩地山における高抜け発生に関する数値解析による検討”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会(CD-ROM), CS05-034, pp.273-274.

板倉賢一, Xu, Z., 佐藤稔紀, 山地宏志(2006):“仮想現実システムを利用した地下構造物設計・施工支援システムの開発”,土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会(CD-ROM), CS05-008, pp.221-222.

延藤遵, 福田和寛, 佐藤稔紀, 黒田英高(2006):“ショートステップ立坑の変形挙動に関する計測と解析”, 第 16 回トンネル工学報告集, pp.1-8.

坂井哲郎, 柏瀬陽一, 見掛信一郎, 佐藤稔紀(2007):“地下施設における情報管理システムの構築”, 土木学会第 12 回地下空間シンポジウム論文集, pp.161-168.

櫻井春輔, 清水則一, 芥川真一, 吉田秀典, 佐藤稔紀, 山地宏志(2006):“国内超大深度立坑工事の地山崩壊形態から見た崩壊発生機構に関する考察”, 土木学会論文集 F, 62 巻, 4 号, pp.662-673.

山地宏志, 山田文孝, 佐藤稔紀, 船津貴弘, 清水則一(2006):“ショートステップ工法の地山安定化機構に関する数値解析的考察”,土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会(CD-ROM), CS05-032, pp.269-270.

<u>第 2 段階(研究坑道の掘削を伴う研究段階)</u>

久慈雅栄, 佐藤稔紀, 原雅人, 見掛信一郎, 南出賢司(2006):“大深度立坑における湧水抑制対策としてのポストグラウト試験施工”,第 16 回トンネル工学報告集, pp.469-476.

見掛信一郎, 佐藤稔紀, 延藤遵, 秋田哲志(2006):“硬岩を対象としたグラウト注入方法に関する考察ー瑞浪超深地層研究所におけるグラウト研究(その 1)ー”, 第 61 回土木学会年次学術講演会(CD-ROM), CS05-011, pp.227-228.

見掛信一郎, 佐藤稔紀, 延藤遵, 秋田哲志, 西垣誠(2006):“グラウトの高圧注入試験による目詰まり特性の把握ー瑞浪超深地層研究所におけるグラウト研究(その 2)ー”, 第 61 回土木学会年次学術講演会(CD-ROM), CS05-012, pp.229-230.

山田文孝, 山地宏志, 佐藤稔紀, 船津貴弘, 清水則一(2006):“超大深度立坑連接部掘削時挙動に関する考察”, 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会(CD-ROM), CS05-033, pp.271-272.

深地層の科学的研究－幌延深地層研究計画－

全体

Matsui, H., Niizato, T. and Yamaguchi, T. (2007): "Horonobe Underground Research Laboratory project Investigation Program for the 2006 fiscal year (Translated document)", JAEA-Reearch 2007-041.

日本原子力研究開発機構(2006):"幌延深地層研究計画　平成18年度調査研究計画".

日本原子力研究開発機構(2007):"幌延深地層研究計画　平成18年度調査研究成果報告".

太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱克宏, 松井裕哉, 新里忠史, 高橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅森浩一, 森岡宏之, 舟木泰智, 茂田直孝, 福島龍朗(2007):"幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書　分冊「深地層の科学的研究」", JAEA-Research 2007-044.

地質環境調査技術開発

天石文, 高畑陽, 川又睦, 國丸貴紀, 帆秋利洋(2006):"深部地下水中の微生物解析結果", 日本微生物生態学会第22回大会.

青木謙治, 水戸義忠, 黒川進, 松井裕哉, 丹生屋純夫, 南将行(2007):"AE 計測と DEM 解析に基づく大深度堆積軟岩の破壊過程に関する研究", 第36回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, pp.235-238.

舟木泰智, 石井英一(2006):"幌延地域に分布する堆積岩中の水みちとなり得る地質構造", 日本地球惑星科学連合2006年大会, G150-P010.

舟木泰智, 安江健一, 國丸貴紀, 尾留川剛, 名合牧人(2006):"周氷河作用を被った地域における表層部の水理地質構造－北海道北部, 幌延地域における例－", 日本地質学会第113年年会(高知大会), p.263.

濱克宏, 國丸貴紀, 操上広志, 舟木泰智(2007):"幌延深地層研究計画(3)地上からの地質環境調査結果と今後の課題", 日本原子力学会2007年春の年会, I03, p.383.

濱克宏, 國丸貴紀, 操上広志, 笹本広, 高橋康裕, 萩沼真之, 石井智子, 松尾雄司(2006):"幌延深地層研究計画における地下水水質・水理モデルの信頼性向上に関する研究:2005 年度成果報告(共同研究)", JAEA-Research 2006-070.

Hama, K., Kunimaru, T., Metcalfe, R. and Martin, A.J. (2007): "The Hydrogeochemistry of Argillaceous Rock Formations at the Horonobe URL site, Japan", Physics and Chemistry of the Earth, Vol.32, pp.170-180.

本多眞, 桜井英行, 岩佐健吾, 鈴木誠, 松井裕哉(2006):"地球統計手法による各種比抵抗探査データの統合と水理地質・水質分布モデルの構築", 資源素材学会春季大会, pp.49-52.

本多眞, 鈴木誠, 桜井英行, 岩佐健吾, 松井裕哉(2006):"調査段階の進展に伴う水理地質モデルの信頼度に関する考察－地球統計手法を用いた透水係数分布の推定－", 地盤工学研究発表, pp.51-52.

兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006):"地層内容存メタン測定のためのセンサー開発とその諸特性について", 第41回地盤工学研究発表会.

兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006):"溶存メタンセンサーによる地層内メタン濃度測定　その1　測定値に及ぼすガス種, 水流の影響", 平成18年度土木学会全国大会, 第61回年次学術講演会.

兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006):"溶存メタンセンサーによる地層内メタン濃度測定　その2　幌延における孔内測定試験", 平成18年度土木学会全国大会, 第61回年次学術講演会.

石井英一(2006):"水－岩石反応の地質学的証拠からみた海成堆積物地下浅部における淡水浸透領域の長期的変遷", 日本地球惑星科学連合2006年大会, C128-P011.

石井英一, 福島龍朗(2006):"新第三紀珪質岩における断層の解析事例", 応用地質, Vol.47, pp.280-291.

石井英一, 濱克宏, 國丸貴紀, 佐藤治夫(2007):"海成堆積物の地下浅部における天水の浸透に伴う地下水の pH 変化", 地質学雑誌, Vol.113, pp.41-52.

石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 杉山和稔, 松尾重明(2006):"北海道北部, 幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性", 地質学雑誌, Vol.112, pp.301-314.

岩月輝希, 太田久仁雄, 濱克宏, 國丸貴紀(2007):"幌延深地層研究計画(6)第2段階における調査研究の現状と今後の計画", 日本原子力学会「2007年春の年会」, I06, p.386.

國丸貴紀, 福島龍朗, 武田精悦(2007):"幌延深地層研究計画(2)研究所設置場所を決定するまでのあゆみ", 日本原子力学会「2007年春の年会」, I02, p.382.

熊本創, 下茂道人, 操上広志(2007):"幌延深地層研究計画における地下研究施設掘削に伴う地下水流動予測

解析　～地上からの調査結果に基づく水理地質構造のモデル化と解析～”, 日本地下水学会, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集, pp.43-50.

Kurikami, H., Kunimaru, T., Yabuuchi, S., Seo, T., Shimoshige, M. and Kumamoto, H. (2006): "Hydrogeological Model in Horonobe Underground Research Laboratory Project", GeoProc 2006, pp.584-589.

操上広志, 國丸貴紀, 舟木泰智(2006):“幌延深地層研究計画第 1 段階における水理地質環境モデル構築”, 日本原子力学会　第 22 回バックエンド夏期セミナー, ポスター1-1.

松井裕哉, 青柳茂男, 宮野前俊一(2006):“新第三紀珪質岩の風化特性に関する実験的検討”, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.495-496.

松井裕哉(2007):“幌延深地層研究計画:地上からの調査研究段階における深層ボーリング調査計画とその実績”, JAEA-Technology 2006-054.

丹生屋純夫, 松井裕哉(2006):“塩水環境下に分布する新第三紀珪質岩の強度変形特性”, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.497-498.

丹生屋純夫, 松井裕哉(2006):“HDB-3～8 孔における岩盤力学的調査結果及び研究所設置地区の岩盤力学的概念モデル検討”, JAEA-Research 2006-086.

太田久仁雄, 濱克宏, 棚井憲治, 前川恵輔(2007):“幌延深地層研究計画(1)第1段階における調査研究成果の取りまとめの概要”, 日本原子力学会「2007 年春の年会」, I01, p.381.

小川豊和, 青木智幸, 城まゆみ, 松井裕哉, 堀井秀之(2007):“地山の時間依存性挙動を考慮した坑道掘削時の安定性解析”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.39-44.

坂井哲郎, 畠山信也, 布施正人, 成田讓(2006):“幌延深地層研究計画におけるガス湧出量の予測(第 2 報)”, 資源・素材関係学協会合同秋季大会　資源・素材 2006, 福岡市, 企画発表・一般発表(A)(B)講演資料, p.101.

真田祐幸(2007):“幌延深地層研究計画の現状及び原位置と室内試験に基づいた第三紀珪質岩盤の力学モデル構築”, 第 9 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会(Sapporo Conference 2007)報告書, pp.119-130.

瀬尾昭治, 戸井田克, 小林一三, 田中真弓, 松井裕哉, 國丸貴紀, 操上広志(2006):“難透水性岩石を対象とした閉鎖型フローポンプ式室内透水試験法の適用性”, 日本地下水学会　2006 年秋季講演会, pp.310-315.

徳永朋祥, 木村ゆき, 井尻裕二, 本島貴之, 國丸貴紀, 高本尚彦, 嶋田純, 細野賢一(2006):“幌延地域における塩素安定同位体比を用いた塩水淡水挙動評価”, 日本地下水学会　2006 年秋季講演会.

津久井朗太, 西木司, 東中基倫, 津信宏(2007):“幌延深地層研究計画における高密度反射法地震探査, マルチオフセット VSP 探査, 重力探査”, JAEA-Data/Code 2006-026.

山口真基, 藤井義明, 福田和寛, 松井裕哉(2006):“DSCA 法を用いた幌延珪藻質泥岩の初期応力測定”, 平成 18 年度　資源・素材関係学協会合同秋季大会　資源・素材 2006, 福岡市, pp.55-56.

Yamamoto, H., Kunimaru, T., Kurikami, H., Shimoshige, M and Xu, T. (2006): "Long-term Simulation of Ambient Groundwater Chemistry at Horonobe URL, Japan -Application of Coupled Hydrogeochemical Model-", GeoProc 2006, pp.382-387.

山本肇, 下茂道人, 國丸貴紀, 操上広志(2007):“幌延深地層研究計画における立坑掘削時の地下水からの脱ガスの予察解析”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム.

安原英明, 操上広志, 木下尚樹, 岸田潔(2007):“圧力溶解現象を考慮した珪藻質岩石の透水性評価”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.283-286.

地質環境モニタリング技術開発

國丸貴紀, 細谷真一(2006):“採水深度における間隙水圧と水質の同時モニタリングを可能としたモニタリングシステムとその適用性”, 日本地下水学会　2006 年秋季講演会.

大原英史, 津久井朗太, 國友孝洋, 中島崇裕, 新里忠史, 青木和弘, 熊澤峰夫(2006):“幌延深地層研究計画－遠隔監視システム(アクロス)の概要と進捗について－”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, O106-P009.

藪内聡, 操上広志, 瀬尾昭治, 原稔, 國丸貴紀, 竹内竜史(2006):“幌延深地層研究計画におけるボーリング孔を用いた地下水の水圧の長期モニタリング”, JAEA-Research 2006-056.

吉村公孝, 坂下晋, 大久保秀一, 山根一修, 瀬谷正巳(2006):“地層処分における電磁法解析技術の開発(その6)－北海道幌延町における AMT 法 3 次元調査－”, 物理探査学会第 115 回(平成 18 年度秋季)学術講演会, 物理探査学会第 115 回学術講演会論文集, pp.209-212.

深地層の工学技術の基礎の開発

森岡宏之, 松井裕哉(2006):“幌延深地層研究計画における地下施設建設の概要”, 土木学会岩盤力学委員会ニューズレター, No.11, http://www.rocknet.japan.org/topics/News.html.

尾留川剛, 森岡宏之, 西山誠治(2006):“幌延深地層研究計画における地下研究坑道の耐震性能照査”, 第 41 回地盤工学研究発表会, 第 41 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1739-1740.

尾留川剛, 森岡宏之, 山上光憲, 村川史朗(2006):“幌延深地層研究計画における地下研究坑道の概要と支保設計”, 電力土木技術協会誌, No.324, pp.82-86.

処分技術の信頼性向上

入矢桂史郎, 中山雅, 小西一寛, 三原守弘(2006):“フライアッシュ高含有シリカフュームコンクリートの施工性”, コンクリート工学年次大会 2006, Vol.28, No.1, pp.173-178.

尾留川剛, 小島亘, 白戸伸明, 斉藤敏樹(2006):“石炭灰(フライアッシュ)の高強度吹付けコンクリートへの適用性”, コンクリート工学年次大会 2006, コンクリート工学年次論文集, 28 巻, pp.1637-1642.

佐藤治夫(2006):“スメクタイト表面の水の熱力学特性の膨潤圧への適用”, 日本原子力学会「2006 年秋の大会」予稿集 B43, p.43.

佐藤治夫(2006):“圧縮ベントナイト間隙水の熱力学特性の膨潤圧への適用”, 連携重点研究ワークショップ －緩衝材物性と微生物活動を指標とした処分環境の理解－, 原子力科学研究所, CD-ROM.

Sato, H. (2007): “Thermodynamic Data of Water on Smectite Surface and Those Application to Swelling Pressure of Compacted Bentonite”, International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, La Baule, France, Final Programme and Abstracts.

安全評価手法の高度化

佐藤治夫(2007):“ベントナイト及び岩石中に於ける拡散現象に関する情報交換会－地層処分の安全評価を目指して－”, 日本原子力学会誌(会議報告), Vol.49, No.1, pp.51-52.

Sato, H. (2006): “Activation Energies of Diffusion for I and Cs in Compacted Smectite”, International Information Exchange Meeting on Diffusion Phenomena in Bentonite and Rock -Aiming at the Safety Assessment of the Geological Disposal, July 18, 2006, Horonobe, Hokkaido, Japan.

Sato, H. (2007): “Activation Energies of Diffusion for I and Cs in Interlayer of Smectite”, International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, La Baule, France, Final Programme and Abstracts.

佐藤治夫:“放射性廃棄物処分に於ける易動性核分裂生成物及び放射化生成物に関する国際ワークショップ”, 日本原子力学会誌(会議報告), Vol.49, No.6, pp.48-49.

佐藤治夫(2007):“スメクタイト中のイオンの拡散の活性化エネルギー”, 粘土ワークショップ, 東京工業大.

佐藤治夫(2007):“スメクタイトの層間中の I 及び Cs の拡散の活性化エネルギー”, 第 9 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会(Sapporo Conference 2007)報告書, pp.47-57.

田中真悟, 野田菜摘子, 佐藤正知, 小崎完, 佐藤治夫, 畑中耕一郎(2007):“圧縮 Na 型モンモリロナイトにおける $H_2{}^{18}O$ の拡散と電気浸透”, 日本原子力学会「2007 年春の年会」予稿集 I41, p.421.

田中真悟, 野田菜摘子, 佐藤正知, 小崎完, 佐藤治夫, 畑中耕一郎(2007):“圧縮 Na 型モンモリロナイト中の $H_2{}^{18}O$ の拡散と電気浸透”, 第 9 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会(Sapporo Conference 2007)報告書, pp.75-86.

その他

一安謙治, 上田重貴, 伊藤尚久, 中舘史行, 山越千鶴(2006):“幌延深地層研究計画にかかわる環境調査 平成 17 年度(委託研究)”, JAEA-Research 2006-041.

瀬谷正巳, 畑中耕一郎, 福島龍朗(2006):“幌延深地層研究計画の概要と現状について”, 佐藤工業技術研究所報, No.31, pp.49-56.

瀬谷正巳, 森岡宏之, 福島龍朗(2006):“幌延深地層研究センター地下施設の建設について”, 佐藤工業技術研究所報, No.31, pp.57-62.

深地層の科学的研究－地質環境の長期安定性に関する研究－

地震・断層活動に関する研究

今泉俊文, 楮原京子, 大槻憲四郎, 三輪敦志, 小坂英輝, 野原壯(2006):"秋田県・千屋断層の陸羽地震断層露頭", 活断層研究, 26 号, pp.71-77.

楮原京子, 今泉俊文, 宮内崇裕, 佐藤比呂志, 内田拓馬, 越後智雄, 石山達也, 松多信尚, 岡田真介, 池田安隆, 戸田茂, 越谷信, 野田賢, 加藤一, 野田克也, 三輪敦志, 黒澤英樹, 小坂英輝, 野原壯(2007):"横手盆地東縁断層帯・千屋断層の形成過程と千屋丘陵の活構造", 地学雑誌, 115 巻, 6 号, pp.691-714.

丹羽正和, 水落幸広, 棚瀬充史(2006):"地下数 100m~1km における断層破砕帯の発達過程- 岐阜県東部の阿寺断層における例-", 日本地質学会第 113 年学術大会, O-125.

丹羽正和, 野原壯, 水落幸広, 棚瀬充史, 小林浩久(2006):"岐阜県中津川市川上の阿寺断層露頭における断層破砕帯の構造", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), T146-P006.

丹羽正和, 島田耕史, 野原壯, 三輪敦志, 黒澤英樹(2006):"断層がステップする部分における断層破砕帯の分布と産状; 岐阜県飛騨市の跡津川断層西部の例", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), G150-P003.

野原壯, 中田高, 島田耕史, 丹羽正和, 木下博久, 鷺谷威(2006):"比較的規模の大きな地震はどのような場所で生じてきたか; 被害地震, 地質・地殻構造などからの総合的な解析の試み", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), S115-P001.

野原壯, 安江健一, 中田高(2007):"顕著な地表地震断層を伴わない活断層をどのようにみつけるか?", 北淡活断層シンポジウム 2007, pp.79-82.

Nohara, T., Tanaka, H., Watanabe, K., Furukawa, N. and Takami, A. (2006): "In situ hydraulic tests in the active fault survey tunnel,Kamioka Mine,excavated through the active Mozumi-Sukenobu Fault zone and their hydrogeological significance", Island Arc,15, pp.537-545.

島田耕史, 丹羽正和, 野原壯, 田中秀実(2006):"活断層露頭で得られた水素ガス濃度の未固結断層岩方位に対応する変化", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), S107-002.

火山・地熱活動に関する研究

浅森浩一, 梅田浩司, 根木健之, 小川康雄(2006):"飯豊山地下の比抵抗及び地震波速度構造", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), S118-007.

花室孝広, 二ノ宮淳, 梅田浩司(2007):"紀伊半島南部地域における地殻・マントル構造と温泉ガスの希ガス同位体比",日本地質学会構造地質部会 2006 年度例会.

金沢淳, 浅森浩一, 梅田浩司, 島田耕史(2006):"日本列島における火山・温泉ガスのヘリウム同位体比データベースの作成", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), H121-P002.

H. Mashima, (2006): "Comment on "Stratigraphic architecture of sedimentary basin induced by mantle diapiric upwelling and eustatic event" by Yamada and Nakada [Tectonophysics 415 (2006) 103-121]", Tectonophysics, 428, pp.105-106.

眞島英壽(2006):"北西九州佐賀両子山に分布する高 Nb/La 高マグネシウム安山岩の成因", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), G149-005.

Oikawa, T., Umeda, K., Kanazawa, S. and Matsuzaki, T. (2006): "Unusual cooling of Middle Miocene Ichifusayama Granodiorite in Kyushu, Japan", J. Mineral. Petrol. Sci., 101, pp.23-28.

及川輝樹, 梅田浩司, 松崎達二(2006):"四国西部,柏島地域の花崗岩類の冷却史", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), G147-P005.

及川輝樹, 眞島英寿, 棚瀬充史, 二ノ宮 淳, 梅田浩司 (2006):"岐阜県土岐川沿いに露出する高マグネシウム安山岩岩脈の K-Ar 年代", 地質学雑誌, 112 巻, pp.616-619.

坂川幸洋, 梅田浩司, 浅森浩一(2006):"熱移流を考慮した日本列島の熱流束分布", 日本地熱学会誌, 28 巻, 2 号, pp.211-221.

棚瀬充史, 及川輝樹, 二ノ宮淳, 林信太郎, 梅田浩司(2007):"K-Ar 年代測定に基づく両白山地の鮮新 更新世火山活動の時空分布", 火山, 52 巻, 1 号, pp.39-61.

Umeda, K. (2006): "Deep structure of the Miocene igneous complex in the Kii peninsula, Southwest Japan, inferred from wide-band magnetotelluric soundings", Advances in Geosciences-Vol.1: Solid Earth(SE), pp.207-213.

Umeda, K., Asamori, K., Negi, T. and Ogawa, Y. (2006): "Magnetotelluric imaging of crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline mountains in a nonvolcanic region, northeast Japan ”, Geochem.Geophys.Geosyst., 7, Q08005, doi:10.1029/2006GC001247.

K. Umeda, S. Kanazawa, C. Kakuta, K. Asamori and T. Oikawa (2006): “Variations in the 3He/4He ratios of hot springs on Shikoku Island, Southwest Japan ”, Geochem.Geophys.Geosyst, 7, Q04009, doi:10.1029/2005GC001210.

Umeda, K. (2006): “Multiple lines of evidence for crustal magma storage beneath Mesozoic crystalline mountains in a non-volcanic region; Magnetotelluric imaging and variations in the 3He/4He ratios of hot spring gases in the Iide Mountains, Northeast Japan”, AGU 2006 Fall Meeting, San Francisco, USA, December, pp.11-15.

梅田浩司, 浅森浩一, 根木健之, 小川康雄(2006):“東北日本,飯豊山地下の深部比抵抗構造 非火山地帯におけるマグマの存在”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), G150-P004.

Yamada, K. (2006): “(U-Th)/He thermochronology of the Tanzawa Tonalite complex, Japan”, AGU 2006 Fall Meeting, T11D-0465.

<u>隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究</u>

鎌滝孝信, 藤原治(2007):“浅海生物を指標とした津波堆積物の認定”, 日本古生物学会第 156 回例会.

守田益宗, 関口千穂, 佐々木俊法, 宮城豊彦, 須貝俊彦, 柳田誠, 古澤明, 藤原治, 守屋俊文(2006):“東海地方の中間温帯における中期更新世以降の植生変遷ー内陸小盆地堆積物の花粉分析からー”, 季刊地理学, 58 巻, 3 号, pp.123-139.

<u>幌延における地質環境の長期安定性に関する研究</u>

Amo, M., Suzuki, N., Shinoda, T., Ratnayake, N. P. and Takahashi, K. (2006): “Diagenesis and Distribution of Sterenes in Late Miocene to Pliocene Marine Siliceous Rocks from Horonobe (Hokkaido, Japan)”, Organic Geochemistry, 38, pp.1132-1145.

Amo, M., Suzuki, N., Shinoda, T., Ratnayake, N. P. and Takahashi, K. (2006): “Pristene, Phytene, and Sterenes in Immature Horonobe Diatomaceous Sediments as Potential Indicators of Paleo-temperature and Depositional Environment”, Abstracts of 17th International Sedimentological Congress (ISC 2006, FUKUOKA, Japan), p.338.

操上広志, 安江健一, 新里忠史, 今井久, 塩崎功, 山下亮(2007):“気候・海水準変動が地下水流動に与える影響に関する解析的検討－幌延地域を例として－”, 日本地下水学会 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集, pp.59-66.

森谷裕一, 新里忠史, 北村至, 堀田光, 大原英史(2006):“マルチプレット・クラスタリング解析による北海道北部幌延地域の微小地震解析”, 物理探査学会第 115 回学術講演論文集, pp.46-49.

新里忠史, 重野聖之, 髙清水康弘(2006):“北海道における地震に関するアイヌの口碑伝説と歴史記録”, 歴史地震, No.21, pp.121-136.

新里忠史, 重野聖之, 髙清水康弘(2006):“北海道周辺地域における歴史地震について－アイヌの口碑伝説と歴史記録に基づく検討－”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P006.

太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱 克宏, 松井裕哉, 新里忠史, 高橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅森浩一, 森岡宏之, 舟木泰智, 茂田直孝, 福島龍朗(2007): “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」”, JAEA-Research 2007-044.

瀬尾昭治, 新里忠史, 操上広志, 安江健一, 藪内 聡, 原稔, 國丸貴紀, 中山 雅, 舟木泰智, 山口雄大(2006): “浮流土砂流量に基づく侵食量の予測手法の検討－北海道北部幌延町における調査事例－”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P001.

高橋一晴, 新里忠史, 安江健一, 天羽美紀, 鈴木徳行(2006):“北海道北部幌延町新第三紀珪質岩の地球化学的特徴からみた侵食量および隆起時期(2)”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P002.

高橋一晴, 新里忠史, 安江健一, 天羽美紀, 鈴木徳行(2006):“北海道北部幌延地域に分布する珪質岩の地球化学的特徴による侵食量の推定”, 第 24 回有機地球化学シンポジウム(2006 年松本シンポジウム).

安江健一, 秋葉文雄, 大平寛人, 石井英一(2006):“北海道北部, サロベツ背斜付近に分布する声問層上部の鮮新統上部化石帯とフィッション・トラック年代”, 地質学雑誌, 112, pp.284-293.

安江健一, 新里忠史, 千葉昭彦(2006):“地中レーダ探査による極浅部の地質構造調査－北海道北部, 大曲-豊富断層の例－”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, O106-P007.

安江健一, 新里忠史, 千葉昭彦(2006):“地中レーダ探査による沖積・段丘面下の地質構造調査”, 日本地質学会第 113 年学術大会(高知大会)講演要旨集, p.237.

ナチュラルアナログ研究

Sasao, E. (2006): “Mineral assemblage and geochemistry of sandstones of the miocene Mizunami group, central Japan; A Key to reconstructing the miocene volcanic activities”, 17th International Sedimentological Congress (ISC 2006), P-224.

笹尾英嗣, 岩月輝希, 天野由記(2006):“東濃ウラン鉱床でのナチュラルアナログ研究からみた古水理地質研究の役割”, 資源地質学会 2006 年年会学術講演会講演要旨集, p.14.

笹尾英嗣, 岩月輝希, 天野由記(2006):“東濃ウラン鉱床でのナチュラルアナログ研究からみた古水理地質研究の役割”, 資源地質, 56 巻, 2 号, pp.125-132.

笹尾英嗣, 小室光世(2006):“堆積学的に見た東濃ウラン鉱床の鉱床生成機構”, 資源地質学会 2006 年年会学術講演会講演要旨集, p.33.

笹尾英嗣, 檀原徹, 岩野英樹(2006):“瀬戸内区東部に分布する中新統瑞浪・岩村・可児層群のフィッション・トラック年代”, 第 31 回フィッション・トラック研究会.

笹尾英嗣, 水野崇(2006):“東濃ウラン鉱床及びその周辺の地球化学”, 第 31 回フィッション・トラック研究会.

分析技術開発

笹尾英嗣, 鈴木元孝, 西澤章光(2006):“JAEA-AMS-TONO の現状”, 第 19 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会.

山田国見(2006):“東濃地科学センターにおける(U-Th)/He 年代測定システムの現状”, 第 31 回フィッショントラック研究会.

山田国見, 花室孝広(2006):“東濃地科学センターにおける VG5400 及び固体ガス抽出ラインの現状”, 2006 年度日本質量分析学会同位体比部会.

陸域地下構造フロンティア研究

Azuma, S., Ishii, H., Asai, Y., Kitagawa, Y., Wakita, H., Yamauchi, T. and Asamori, K. (2007): “Variation in groundwater levels, pore pressures and crustal strain related to earthquakes in the upper granite and sedimentary formations in the area of western Tono, Japan”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.173-179.

Doke, R. and Takeuchi, A. (2007): “Geomorphology and geology along the eastern part of the Ushikubi fault of the Atotsugawa fault system, central Japan”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.11-16.

Hirahara, K., Ohzono, M., Sagiya, T., Hoso, Y., Wada, Y. and Ando, M. (2007): “Dense GPS array observations across the Atotsugawa fault system in central Japan”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.25-44.

Ishii, H., Yamauchi, T., Asai, Y., Matsumoto S., and Mukai, A. (2007): “Interesting phenomena detected by the continuous observation of strain and in-situ stress mesurements in the vicinity of the active Mozumi-Sukenobe fault”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.157-162.

Ito, K., Ueno, T., Wada, H. and Matsumura, K. (2007): “Crustal structure from seismic surveys and seismicity in the northern Chubu district with special reference to the Atotsugawa fault area”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.65-78.

Ito, K., Wada, H., Ohmi, S., Hirano, N. and Ueno, T. (2007): “Seismic activity from routine and temporary observations of earthquakes in the northwest Chubu district, central Honshu, Japan”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.45-63.

Ito, T., Tsumura, N., Takeuchi, A., Ishimaru, T., Takami, A., Ikawa, H., Komada, N., Yamamoto, S., Kikuchi, S., T. Miyauchi, Kawanaka, T. and Ikawa, T. (2007): “Imaging of the Mozumi-Sukenobe fault, Hida district, central Japan, by the seismic reflection method”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.17-24.

Kano, Y., Yanagidani, T., Kitagawa, Y. and Yamashita, F. (2007): “Monitoring of pore pressure changes using closed borehole wells; Interpretations based on poroelasticity”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.163-171.

Kumazawa, M., Kunitomo, T., Nakajima, T., Tsuruga, K., Hasada, Y., Nagao, H., Matsumoto, H., Kasahara, J., Fujii, N. and Shigeta, N. (2007): “Development of ACROSS (Accurately Controlled, Routinely Operated, Signal System) to realize constant monitoring the invisible Earth’s interiors by means of stationary coherent elastic and electromagnetic waves”, JAEA-Research 2007-033.

熊澤峰夫, 小川克郎, 藤井直之, 山岡耕春, 國友孝洋, 中島崇裕, 鶴我佳代子, 羽佐田葉子, 笠原順三, 茂田直孝, 渡辺俊樹, 長谷川健(2006):“物理探査におけるアクロス-11 年の総括と展望-”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), U051-039.

國友孝洋, 熊澤峰夫(2006):“弾性波アクロスによる地球内部の常時モニタリング 対象スケール100m~100km”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), O106-P010.

Mamada, Y., Nishigami, K., Ito, H. and Kuwahara, Y. (2007): “Shallow structure of Mozumi-Sukenobe fault zone imaged by simulation of fault zone waves generated by near-fault explosion experiments”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.93-102.

中島崇裕, 國友孝洋, 長尾大道, 熊澤峰夫(2006):“電磁波伝播テンソル伝達関数による地殻電気伝導度モニタリングの試み”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集(CD-ROM), O106-P011.

中島崇裕, 長尾大道, 佐柳敬造, 野田洋一, 長尾年恭, 熊澤峰夫, 羽佐田葉子(2007):“電磁アクロス長距離送受信実証実験”, 東海大学海洋研究所研究報告, 28 号, pp.21-28.

Nishigami, K. (2007): “Properties of seismic scattering along the Atotsugawa fault system, central Japan; Preliminary analysis of the fault zone heterogeneous structure”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.79-83.

Nishigami, K., Fujisawa, I., Tadokoro, K., Mizuno, T. and Mamada, Y. (2007): “Temporary seismic observation at the Atotsugawa fault, central Japan; Study on fault-zone trapped waves and attenuation of S waves”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.85-92.

Nishigami, K., Ito, H., Kuwahara, Y., Mizuno, T. and Mamada, Y. (2007): “Observation of fault-zone trapped waves in the subsurface survey tunnel excavated through the Mozumi-Sukenobe fault, central Japan”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.149-156.

Satake, H., Kita, Y., Hayashi, H. and Murata, M. (2007): “Geochemical investigation around the Mozumi-Sukenobe fault survey tunnel”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.123-148.

Takeuchi, A., Takebe, A., Ongirad, H. and Doke, R. (2007): “Seismogeology of the Atotsugawa strike-slip fault system in the Hida mountains, central Japan; With the special reference to the investigation gallery across the branch Mozumi-Sukenobe fault”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.1-10.

Tanaka, H., Ito, T., Nohara, T. and Ando, M. (2007): “Descriptions of meso- and microscopic structures of fault zone rocks obtained from tunnel penetrated across the Mozumi-Sukenobe fault, central Japan”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.103-121.

Yanagidani, T. and Yamashita, F. (2007): “In situ detection of resistivity changes produced by pressurized water-injection at the active fault zone using the AC dipole-dipole method with the GPS synchronized phase-sensitive-detection technique”, Geodynamics of Atotsugawa Fault System, pp.181-186.

その他

花室孝広, 野原壯, 梅田浩司, 守屋俊文, 中司昇(2006):“地質環境の長期安定性に関する研究の現状について”, 日本原子力学会バックエンド部会第 22 回バックエンド夏期セミナー, P2-1.

Kawamura, M., Ohi, T., Makino, H., Umeda, K., Niizato, T., Ishimaru, T. and Seo, T. (2006): “Study on evaluation method for potential impacts of “natural phenomena” on a HLW disposal system”, Proceedings of 2006 East Asia Forum on Radwaste Management Conference (2006 EAFORM Conference), pp.350-367.

川村淳, 大井貴夫, 新里忠史, 安江健一, 梅田浩司, 牧野仁史, 石丸恒存(2006):“高レベル放射性廃棄物処分における隆起・侵食に起因するシナリオの検討”, 日本地質学会第 113 年学術大会(高知大会)講演要旨集, p.263.

川村淳, 牧野仁史, 大井貴夫, 梅田浩司, 新里忠史, 石丸恒存(2006):“放射性廃棄物処分に係わる天然現象影響評価に関する影響解析パラメータの設定手法の検討”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-012.

川村淳, 牧野仁史, 梅田浩司, 大井貴夫, 新里忠史, 石丸恒存(2006):“「火山活動」を例とした放射性廃棄物処分に係わる影響解析パラメータの設定”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P019.

【地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの開発】

知識マネジメントシステムの基本概念

Bennett, D. G. Hooper, A. J., Voinis, S., Umeki, H., Van Luik, A. and Alonso, J. (2006): “The Role of the engineered barrier system in safety cases for geological radioactive waste repositories: a Nuclear Energy Agency (NEA) initiative in co-operation with the European Commission (EC) process issues and modeling”, Proceedings of 2006 International High-Level Radioactive Waste Management Conference, Las Vegas, U. S. A., pp.669-676.

河田東海夫(2006):“地層処分の知識基盤構築”, 第 1 回原子力機構報告会「原子力・未来への挑戦－サイエンスからテクノロジー－」報告要旨・スライド集, pp.40-51.

河田東海夫(2007):“放射性廃棄物地層処分の知識基盤構築”,「原子力知識マネジメント; その現状と展望」講演資料集, pp.47-61.

Kawata, T., Umeki, H. and McKinley, I. G. (2006): ”Knowledge management; The Emperor’s new clothes?”, Proceedings of International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM), Las Vegas, Nevada, pp.1236-1243.

Kawata, T., Umeki, H., Osawa, H., Nakano, K., Makino, H., Naito, M. and McKinley I. G.(2007): “Knowledge Management: sine qua non for HLW disposal in the 21st century”, International Journal of Nuclear Knowledge Management (to be published).

中野勝志, 梅木博之, 大澤英昭, 内藤守正, 牧野仁史(2006):“地層処分技術に関する知識管理システムの開発”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, B63, 130.

大澤英昭, 梅木博之(2006):“21 世紀の地層処分研究開発; 技術的知識基盤の構築”, シンポジウム「先端技術と原子力」講演要旨集, 日本原子力学会中部支部「先端技術と原子力」研究専門委員会, 3-1～3-7.

大澤英昭, 梅木博之, 内藤守正, 中野勝志, 牧野 仁史(2006):“高レベル放射性廃棄物地層処分に関する知識基盤構築に向けた取り組み; 地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの基本概念”, 研究・技術計画学会第 21 回年次学術大会講演予稿集 I , 1F16, pp.376-379.

佐久間秀樹(2006):“地層処分にかかわる人材育成の国際的な取組み; 地下廃棄物貯蔵・処分国際研修センター(ITC)の設立に参加して”, 日本原子力学会誌, Vol.48, No.3, pp.172-175.

梅木博之(2006):“21 世紀の地層処分研究開発; 技術的知識基盤の構築”, 日本原子力学会誌, Vol.48, No.3, pp.166-171.

梅木博之, 大澤英昭, 内藤守正, 中野勝志, 牧野仁史(2006):“地層処分技術に関する知識管理システムの基本的概念”, JAEA-Research 2006-078.

Umeki, H. (2007): “A Challenge for computing in the 21st century; Radwaste knowledge management”, Proceedings of Joint International Topical Meeting on Mathematics & Computations and Supercomputing in Nuclear Applications (M&C+SNA 2007) (CD-ROM), Monterey, California, April 15-19, 1007, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL, 11.

Umeki, H., Osawa, H., Naito, M., Nakano, K., Makino, H. and McKinley, I. G. (2007): “Knowledge Management: The Cornerstone of a 21st Century Safety Case”, International Symposium on Safety Cases for the Deep Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?, January 23-25, 2007, Paris La Défense, France (to be published).

知識マネジメントシステムの基本設計

梅木博之, 大澤英昭, 内藤守正, 中野勝志, 牧野仁史, 宮本陽一, 高瀬博康, マッキンレーイアン, 大久保博生(2007):“地層処分技術に関する知識管理システムの開発(II);(1)知識管理システムの基本設計”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, I32.

大澤英昭, 中野勝志, 梅田浩司, 浅森浩一, 瀬尾俊弘, 梅木博之, 高瀬博康, マッキンレーイアン(2007):“地層処分技術に関する知識管理システムの開発(II);(2)地質環境分野における知識管理のケーススタディ”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, I33.

内藤守正, 小林保之, 油井三和, 梅木博之, 高瀬博康, マッキンレーイアン(2007):“地層処分技術に関する知識管理システムの開発(II);(3)工学技術分野における知識管理のケーススタディ”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, I34.

牧野仁史, 油井三和, 梅木博之, 高瀬博康, マッキンレーイアン(2007):“地層処分技術に関する知識管理システムの開発(II);(4)性能評価分野における知識管理のケーススタディ”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, I35.

Makino, H., Osawa, H., Nakano, K., Naito, M., Umeki, H., Takase, H., and McKinley, I. G. (2007): “Concept and Design of the JAEA KMS for Geological Disposal of HLW”, Global 2007, (to be published).

【TRU廃棄物の地層処分研究開発】

安藤賢一, 三原守弘, 納多勝, 山本幹彦(2006):″Gas generation and migration analysis for TRU Waste Disposal in Japan, Proceedings of 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM) (CD-ROM)″, pp.655-662.

本田明, 加藤卓, 建石剛, 今北毅, 増田薫, 加藤修, 西村務(2006):″アルカリ性条件における炭素鋼の腐食に伴う硝酸イオンの化学的変遷挙動″, 材料と環境, Vol55, No.10, pp.458-465.

亀井玄人(2007):″TRU廃棄物地層処分の研究開発戦略″, 地層処分基盤研究開発報告会「地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化 国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開」, pp.153-163.

三原守弘, 小林一三(2007):″圧縮成型ベントナイトの透水係数に及ぼすNaNO3濃度の影響″, JAEA-Research 2007-020.

中西博, 本田明, 小田治恵, 佐々木良一, 藤田英樹, 根岸久美, 高瀬敏郎, 赤木洋介(2006):″セメント水和物と塩水の反応によるpH上昇現象について″, 日本原子力学会2006年秋の大会, pp.36, A36.

中澤俊之, 室井正行, 本田明(2007):″セメントペーストに対するイソサッカリン酸の収着″, 日本原子力学会2007年春の年会, pp.417, I37.

新村亮, 田島孝敏, 久保博, 三原守弘(2006):″高アルカリと硝酸塩の影響を受けたベントナイトの水理特性評価,2; 硝酸塩溶液を用いたベントナイトの通水試験″, 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会, pp.335-336, CS05-065.

Oda, C., Sasaki, R., Arthur, R. C., Savage, D. and Honda, A.(2006):″Alteration scenario for bentonite under hyperalkaline conditions with regard to mineral paragenetic uncertainty″, Bridging Clays 2006, Ile d' Oléron, France, pp.204.

Ohi, T., Takase, H., Inagaki, M., Oyamada, K., Sone, T., Mihara, M., Ebashi, K. and Nakajima, K.(2006):″Application of a comprehensive sensitivity analysis method on the safety assessment of TRU waste disposal in Japan″, Materials Research Society 2006 Fall Meeting, Boston, U. S. A.

田島孝敏, 新村亮, 三原守弘(2006):″高アルカリと硝酸塩の影響を受けたベントナイトの水理特性″, 日本原子力学会バックエンド部会第22回バックエンド夏期セミナー.

田島孝敏, 緒方浩基, 久保博, 三原守弘(2006):″高アルカリと硝酸塩の影響を受けたベントナイトの水理特性評価,1; セメント浸出液がベントナイトの透水特性に及ぼす影響″, 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会, pp.333-334, CS05-064.

田島孝敏, 鳥井原誠, 三原守弘, 高橋真一(2006):″高アルカリと硝酸塩の影響を受けたベントナイトの水理特性評価,3; アルカリ変質したベントナイトの圧密試験″, 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会, pp.337-338, CS05-066.

付録2:地層処分研究開発・評価委員会と3つの検討委員会の開催実績

地層処分技術に関する研究開発については，研究開発の領域に応じて，外部の専門家および有識者による以下の4つの委員会を設置し，適宜，技術的な審議検討や助言をいただきながら進めている。

●地層処分研究開発・評価委員会 （http://www.jaea.go.jp/04/tisou/iinkai/hyouka_iinkai.html）
【設置目的】
研究開発課題の評価を実施するとともに，研究開発に関する事項について討議する。
【所掌業務】
・研究開発課題の評価について，理事長の諮問に応じて審議し，理事長に答申する。
・前項に掲げる事項について，理事長に意見具申することができる。
・研究開発の計画，進捗等について部門長の求めに応じて討議し，部門長に意見を述べる。
【委員名簿】

大西 有三	京都大学大学院 教授	委員
川上 博人	原子力安全基盤機構 特任参事，放射性廃棄物評価室長	委員
北山 一美	原子力発電環境整備機構 技術部長	委員
小島 圭二	地圏空間研究所 代表（東京大学名誉教授）	委員長
高橋 正樹	日本大学 教授	委員
杤山 修	東北大学 教授	委員
中村 浩美	中村浩美事務所 ジャーナリスト／キャスター	委員
西垣 誠	岡山大学大学院 教授	委員
藤川 陽子	京都大学 助教授	委員
八木 絵香	大阪大学 特任講師	委員

【事務局】
地層処分研究開発部門 研究開発統括ユニット 研究計画グループ
【開催実績】
第2回　日時:平成18年10月4日 13:30～16:20
場所:虎ノ門パストラル 本館8階 けやき
議事:
・地層処分技術に関する研究開発の全体進捗状況について
・知識マネジメントシステムの開発状況について
・瑞浪，幌延の第1段階取りまとめ骨子案について

第3回　日時:平成19年3月20日 13:30～16:45
場所:虎ノ門パストラル 新館6階 ロゼ
議事:
・地層処分技術に関する研究開発の全体進捗状況について
・研究開発の個別進捗状況について
　地層処分基盤研究開発
　幌延深地層研究計画
　超深地層研究所計画（瑞浪）
・地質環境の長期安定性研究
・知識マネジメントシステムの開発について

●深地層の研究施設計画検討委員会 (http://www.jaea.go.jp/04/tisou/iinkai/url_iinkai.html)
【設置目的】
岐阜県瑞浪市と北海道幌延町において進めている 2 つの深地層の研究施設計画における研究開発について審議検討をしていただき，客観的な助言を得て計画に反映し，優れた成果を効率的に得て，これを処分事業や安全規制等に時宜よく反映する。
【所掌業務】
以下の事項について，技術的検討および助言を行う。
・瑞浪の超深地層研究所計画および幌延深地層研究計画に係わる研究開発に関する事項
・その他，地層処分技術に関する研究開発に関連する事項
【委員名簿(平成 18 年度)】

亀村 勝美	大成建設株式会社 技師長	委員
河西 基	財団法人電力中央研究所 研究参事，バックエンド研究センター長	委員
嶋田 純	熊本大学大学院 教授	委員
田中 和広	山口大学大学院 教授	委員
千木良 雅弘	京都大学 教授	委員
土 宏之	原子力発電環境整備機構 部長	委員
徳永 朋祥	東京大学大学院 助教授	委員
登坂 博行	東京大学大学院 助教授	委員
西垣 誠	岡山大学大学院 教授	委員長
平川 一臣	北海道大学大学院 教授	委員
丸井 敦尚	産業技術総合研究所 主任研究員	委員
渡辺 邦夫	埼玉大学 地圏科学研究センター長，教授	委員

【事務局】
地層処分研究開発部門 研究開発統括ユニット 研究計画グループ
【開催実績】
第 1 回　日時:平成 18 年 7 月 31 日 13:00～17:00
場所:日本原子力研究開発機構 東京事務所 12F 第 1 会議室
議事:
・地層処分技術に関する研究開発の現状について
・幌延深地層研究計画の成果と今後の計画について
・超深地層研究所計画(瑞浪)の進捗について
・深地層の研究施設計画における第 1 段階取りまとめ報告書について
第 2 回　日時:平成 19 年 2 月 26 日 13:00～17:00
場所:虎ノ門パストラルホテル 新館 5F ローレル
議事:
・国の地層処分基盤研究開発について
・平成 18 年度の成果と平成 19 年度の計画について
・第 1 段階研究成果報告書へのレビューに対する機構の対応について

●地層処分研究開発委員会 (http://www.jaea.go.jp/04/tisou/iinkai/kento_iinkai.html)
【設置目的】
東海研究開発センターにおいて進めている地層処分研究開発について審議検討いただき，客観的な助言を得て計画に反映し，優れた成果を効果的に得て，これを処分事業や安全規制等に時宜よく反映する。
【所掌業務】
以下の事項について，技術的検討および助言を行う。
・東海研究開発センターにおける工学技術および安全評価手法の開発に係わる研究開発に関する事項
・その他，地層処分技術に関する研究開発に関連する事項
【委員名簿(平成 18 年度)】

朝野 英一	原子力環境整備促進･資金管理センター プロジェクトマネージャー	委員
出光 一哉	九州大学大学院 教授	委員
大江 俊昭	東海大学 工学部 教授	委員
小林 晃	京都大学大学院 助教授	委員
佐藤 正知	北海道大学大学院 教授	委員
鹿園 直建	慶應義塾大学 教授	委員
竹内 光男	原子力発電環境整備機構 部長	委員
田中 幸久	電力中央研究所 上席研究員	委員
登坂 博行	東京大学大学院 助教授	委員
杤山 修	東北大学 教授	委員長
長崎 晋也	東京大学大学院 教授	委員
増田 純男	原子力安全研究協会 研究参与	委員
森山 裕丈	京都大学大学院 教授	委員
渡辺 邦夫	埼玉大学 地圏科学研究センター長，教授	委員

【事務局】
地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット システム性能グループ
【開催実績】
第 1 回　日時:平成 18 年 7 月 24 日 14:00～17:00
平成 18 年 7 月 25 日 9:00～12:00
場所:日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所内
地層処分基盤研究施設(エントリー) 4 階大会議室
議事:
・HLW／TRU 処分研究開発を取り巻く動向
・知識マネジメントシステムの開発
・HLW 処分における平成 17 年度までの成果と『次期 5 ヵ年』の研究開発計画
全体概要
工学技術について
性能評価について
・長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU 廃棄物)の地層処分研究開発
現状と今後の取り組み，および研究計画について
第 2 回　日時:平成 19 年 3 月 9 日 10:00～16:00
場所:テクノ交流館 リコッティ 3 階 会議室 1，2
議事:
・地層処分基盤研究における 5 ヵ年計画と平成 18 年度の成果
基盤研究開発に関する全体概要
工学技術開発について
性能評価研究について
幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階研究成果報告書
－分冊 地層処分研究開発のレビューについて－
長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU 廃棄物)の地層処分研究開発について

●地質環境の長期安定性研究検討委員会 (http://www.jaea.go.jp/04/tisou/iinkai/anteisei_iinkai.html)
【設置目的】
深地層の科学的研究の一環として進めている地質環境の長期的安定性に関する研究開発について審議検討いただき,客観的な助言を得て計画に反映し,優れた成果を効率的に得て,これを処分事業や安全規制等に時宜よく反映する。
【所掌業務】
以下の事項について,技術的検討および助言を行う。
・地質環境の長期安定性に関する研究に係わる研究開発に関する事項
・その他,地層処分技術に関する研究開発に関連する事項
【委員名簿(平成18年度)】

飯尾 能久	京都大学 助教授	委員
今泉 俊文	東北大学大学院 教授	委員
鎌田 浩毅	京都大学大学院 教授	委員
楠瀬 勤一郎	産業技術総合研究所 地質バリア研究グループ長	委員
須貝 俊彦	東京大学大学院 教授	委員
高橋 正樹	日本大学 教授	委員長
田中 和広	山口大学 教授	委員
長尾 敬介	東京大学 教授	委員
平川 一臣	北海道大学大学院 教授	委員
吉田 英一	名古屋大学 助教授	委員
渡邊 公一郎	九州大学 教授	委員

【事務局】
地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット 自然事象研究グループ
【開催実績】
第1回 日時:平成18年8月1日 13:30～16:00
場所: 虎ノ門パストラル 新館3F「すみれ」
議事:
・地質環境の長期安定性研究検討委員会の設置について
・「地質環境の長期安定性に関する研究」について
・「地震・断層活動に関する研究」の成果および今後の計画
・「隆起・侵食/気候・海水準変動に関する研究」の成果および今後の計画
・「火山・熱水活動に関する研究」の成果および今後の計画
・幌延における地質環境の長期安定性に関する研究の成果および今後の計画
第2回 日時:平成19年3月8日 13:30～16:00
場所:霞山会館(霞山ビル9F)「霞山の間」
議事:
・平成18年度「地質環境の長期安定性に関する研究」について
地震・断層活動に関する研究
火山・地熱活動に関する研究
隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究
ナチュラルアナログ研究
・平成18年度「幌延における長期安定性研究」について
・「天然現象影響評価に関する研究」について

This is a blank page.

付録3：国内の大学・関係機関との協力状況（平成 18 年度の共同研究等の実施状況）

研究機関	組織	共同研究等テーマ名	実施期間（予定）	備考
【大学との共同研究】				
金沢大学	大学院自然科学研究科	低アルカリ性セメント硬化体の間隙構造とイオンの移動に関する研究	平成 18 年度～	
東北大学	大学院環境科学研究科	傾斜計を用いたモニタリング技術の開発	平成 17～19 年度	
武蔵工業大学	原子力研究所	天然環境中における微量元素の挙動に関わる研究	平成 18～20 年度	
名古屋大学	大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター	瑞浪超深地層研究所における地下深部岩盤の歪変化のメカニズムに関する研究	平成 18～21 年度	
熊本大学	大学院自然科学研究科	亀裂性岩盤中の微細な構造や不均質性が地下水移流・分散に与える影響評価（X 線 CT による亀裂性岩盤内の移流・分散現象の分析）	平成 16～18 年度	先行基礎工学研究
筑波大学	大学院生命環境科学研究科	加速器微量分析システムを用いた地球化学研究（深部地下水組成推定のための花崗岩起源流体化学組成に関する研究）	平成 16～18 年度	先行基礎工学研究
山口大学	工学部社会建設工学科	地層中のメタン量の原位置測定法に関する研究（溶存メタンセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究）	平成 16～18 年度	先行基礎工学研究
京都大学	大学院工学研究科	堆積軟岩における掘削影響評価のための原位置 AE 測定手法に関する基礎的研究（ボーリングコアを用いた堆積軟岩の AE 特性の分析および原位置測定手法に関する研究）	平成 16～18 年度	先行基礎工学研究
京都大学	大学院工学研究科	地下水中におけるアクチニド元素の溶解度に関する基礎研究（アクチニド元素の溶解度に関する熱力学データの整備と検証）	平成 17～19 年度	先行基礎工学研究
東京大学	大学院新領域創成科学研究科	地質環境モデルの構築と解析手法の評価（塩素安定同位体を用いた推理地質構造モデル評価技術の開発）	平成 17～19 年度	先行基礎工学研究
筑波大学	生命環境科学研究科	岩石，鉱物，地下水に関する微視的領域における地球科学的研究（堆積岩の微視的性状把握と水－岩石反応実験による地球化学特性の解明）	平成 18～20 年度	先行基礎工学研究
京都大学	大学院理学研究科	断層帯を考慮した地下水の流動解析（断層帯及び亀裂を考慮した堆積岩地盤の水理学的構造の決定と地下水移動解析）	平成 18～20 年度	先行基礎工学研究
熊本大学	工学部環境システム工学科	マルチスケールでの地質構造・物性の空間モデリング技術の開発（東濃地域を対象とした亀裂分布のマルチスケールモデリング技術の開発）	平成 18～20 年度	先行基礎工学研究
京都大学	大学院理学研究科	低温領域における熱履歴解析に関する基礎研究（(U-Th)/He 年代測定システムの構築と地質試料への適用に関する研究）	平成 18～20 年度	先行基礎工学研究
【大学・学協会への委託研究】				
北海道大学	大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻	ベントナイト緩衝材の諸性能に及ぼすスメクタイト層間イオン種の影響に関する基礎的研究	平成 18 年度	
北海道大学	大学院工学研究科環境循環システム専攻	スメクタイトのアルカリ変質挙動の速度論的研究（Ⅱ）	平成 17 年度～	
北海道大学	大学院工学研究科エネルギー環境システム専攻	圧縮ベントナイト中の溶存ガス及び溶存物質の移行経路の評価に関する研究	平成 18 年度	
東京大学	大学院工学系研究科地球システム工学専攻	ニアフィールド岩盤の長期安定性評価手法（Ⅲ）	平成 16 年度～	
東京大学	大学院工学系研究科地球システム工学専攻	結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための現象論的研究	平成 16 年度～	
名古屋大学	環境学研究科都市環境学専攻	結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための理論的研究	平成 16 年度～	
資源・素材学会		3次元応力場同定手法の高度化に関する研究（その3）	平成 16～18 年度	
		深部地質環境の調査・解析技術の体系化に関する研究（平成 18 年度）	平成 15 年度～	
【関係機関との共同研究】				
（財）原子力環境整備促進・資金管理センター	事業環境調査研究プロジェクト	地質環境調査技術の適用性検討に関する研究	平成 16～18 年度	
	事業環境調査研究プロジェクト	高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する性能評価及びモニタリング技術高度化研究	平成 18 年度	
	処分技術調査研究プロジェクト	オーバーパック溶接部の耐食性に関する研究	平成 15 年度～	
（財）電力中央研究所	バックエンド研究センター	高レベル放射性廃棄物処分施設への低アルカリ性セメントの適用性に関する研究	平成 18～20 年度	
	バックエンド研究センター	岩石・コロイド・水相間における核種分配挙動解明に関する研究	平成 18～20 年度	
	バックエンド研究センター	幌延深地層研究計画における地質・地下水環境特性評価に関する研究	平成 18～20 年度	
	バックエンド研究センター	瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価に関する共同研究	平成 18～21 年度	
産業技術総合研究所	地圏資源環境研究部門	岩芯を用いた岩盤応力評価手法の高度化に関する研究	平成 16～18 年度	
（財）産業創造研究所*	原子力化学工学センター	塩濃縮シミュレーションに関する研究	平成 17～18 年度	
	原子力化学工学センター	地層処分における微生物影響評価に関する共同研究	平成 18 年度	
	原子力化学工学センター	地層処分における酸化還元フロントに及ぼす放射線の影響に関する研究	平成 18 年度	
	原子力化学工学センター	幌延深地層研究計画における地下水水質・水理モデルの信頼性向上に関する研究	平成 17～18 年度	

* 平成 19 年 4 月に解散

付録4：国外の関係機関との協力状況（平成18年度の共同研究等の実施状況）

機関名・プロジェクト名	協定等の概要・経緯	研究実施項目	平成18年度の主な実施内容・進捗
Nagra (スイス放射性廃棄物処分協同組合)	Nagra/JAEA放射性廃棄物管理分野の研究開発に関する協力 [1988年より実施]	・グリムゼル原位置試験場での原位置試験(CFM, LCS, LTD) ・深地層の研究施設計画の立案支援(瑞浪，幌延) ・地層処分放射化学研究施設(QUALITY)-ポールシェラー研究所(PSI)共同研究	グリムゼル原位置試験研究では，結晶質岩中の亀裂を対象に「コロイド形成・移行試験(CFM)」，「放射性核種のマトリクス拡散試験(LTD)」および「長期セメント試験(LCS)」の3つのプロジェクトにおいて原位置試験やモデル解析を継続した。深地層の研究施設計画の立案支援においては，第1段階の調査研究成果の取りまとめおよび第2段階，第3段階の調査研究計画に関する議論を行った。QUALITY-PSI共同研究として，ベントナイト及び粘土堆積物によるRa(II)の固定化に関する共同プロジェクトを継続した。
ANDRA (フランス放射性廃棄物管理機関)	ANDRA/JAEA放射性廃棄物処分分野における協力[1999年より実施]		双方の地下研究施設における研究開発の現状，岩盤力学，地球化学について情報交換を行った。
CEA (フランス原子力庁)	CEA/JAEA原子力研究開発分野における協力(2国間協力)[1991年より実施;2005年に新たな取決めを締結]	・廃棄物パッケージの長期挙動に関する共同研究 ・コロイド移行，金属容器材料腐食，粘土中ガス移行等に関する情報交換	ガラスの浸出挙動，核種移行の熱力学・収着データベース，セメント環境中での金属腐食等について情報交換を行った。
SKB (スウェーデン核燃料廃棄物管理会社)	スウェーデン地下研究施設(HRL)に関する国際共同研究[1991年より実施;1999年より電力中央研究所と共同参画]	・原位置における核種移行試験(TRUE Block Scale) ・水理・物質移動モデリングタスクフォース ・実規模処分技術の実証試験(Prototype Repository Project:PRP) ・緩衝材性能に関するプロジェクト(Alternative Buffer Material Project:ABM)	原位置での水理・物質移行試験および水理・物質移行モデリングタスクフォース，並びに実規模処分技術の実証試験に参加し，解析モデルの検証および室内試験において取得されたデータの確認に反映した。また，緩衝材性能に関する新たなプロジェクトを開始した。
US/DOE (米国エネルギー省)	DOE/JAEA放射性廃棄物管理分野の研究開発に関する協力(2国間協力)[1986年より実施]		
LBNL (ローレンスバークレー国立研究所)	上記協力協定に基づく「岩盤中の水理・物質移動に関する共同研究」	・サイト特性調査手法及びモデル化手法の開発 ・亀裂性岩盤における物質移動のモデル化のための理解・方法論の開発および有効な不均質データを提供するための調査手法の改良	サイト特性調査およびモデル化手法の開発として，地下水流動および物質移動における地温勾配や塩分濃度等の影響についての調査を行い，モデルの信頼性の向上に反映した。また，亀裂性媒体中のトレーサーの移動や破過曲線をモデル化するための手法の開発，ならびに野外での調査スケールから性能評価に適切なスケールへ拡張するための手法の開発を継続した。
PNNL (パシフィックノースウェスト国立研究所)	上記協力協定に基づく「熱力学，吸着の基本データ取得に関する共同研究」	・アクチニド元素の熱力学データの整備 ・核種の吸着モデル及び評価用データベース取得整備 ・核種の浸出モデル及び熱力学データの検証，他	水溶液中のアクチニド元素とSiの相互作用に関する研究を共同で行い，アクチニド元素の溶解度データの取得及びモデル化による溶解度データの解釈を行った。
KAERI (韓国原子力研究所)	KAERI/JAEA地層処分研究開発分野における協力取り決め[2003年3月締結]	・地質環境の調査手法の開発 ・工学バリアの長期性能に関する研究 ・放射性核種の挙動及び移行に関する研究 ・性能評価／安全評価手法の開発	性能評価および地質環境の評価手法の開発について情報交換を行った。さらに，地質環境調査(水理学的調査，地下水の地球化学的調査)および地質環境のモデル化技術に関する技術議論を実施した。
UCB (カリフォルニア大学バークレー校)	UCB/JAEA共同研究「高レベル放射性廃棄物処分場の広域安全評価モデルの統合化に関する研究」	・人工バリア規模での既存の核種移行モデルに基づく，遷移確率を決定するための理論および手法の開発 ・処分場規模での三次元空間におけるMarkov-Chain(MC)概念に基づくモデルの開発 ・開発した三次元MCモデルが現実的な処分場の性能評価に有効に適用できることの提示	MC概念に基づくモデルをファーフィールド領域に拡張するとともに，亀裂へのベントナイトの侵入ならびに侵入したベントナイト中の核種移行解析を実施した。
DECOVALEX (9カ国，10機関)	熱-水-応力連成モデルの開発確証に関する国際共同研究プロジェクト [1995年より実施;現在フェーズTHMCを実施]	・熱-水-応力-化学連成モデルの開発検証	「ニアフィールドの熱ー水ー応力連成挙動の性能評価への影響」，「結晶質岩における掘削影響領域の評価」，「泥岩における掘削影響領域の評価」，「熱ー水ー応力連成および熱ー水ー化学連成現象がニアフィールドの水理場に与える影響の評価」をそれぞれ目的とした，4つのタスクに参加し解析・検討を行った。
Mt.Terriプロジェクト(スイス連邦地形測量庁主催，6カ国12機関)	Mt.Terri地下研究所(オパリナス粘土層を対象)における原位置試験研究に関する国際共同研究プロジェクト[1996年より参加]	・オパリナス粘土層中の間隙水の地球化学的評価試験	難透水性堆積岩における空隙水の水質の把握および水質形成プロセスのモデル化に関する共同研究を継続した。
NEA/TDB (12カ国16機関)	熱化学データベースプロジェクト(Phase3) [1998年より参加;Phase1には参加していない]	・Th, Fe, Sn, Moデータのレビュー ・固溶体モデル開発のガイドライン作成	Th, Fe, Sn, Moのデータベース開発および固溶体モデル開発のガイドライン作成のための活動を継続した。

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長　さ	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	
	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

表５．SI 接頭語

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	c
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}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	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	y

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

組立量	SI 組立単位			
	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[(a)]	rad		$m \cdot m^{-1}=1$[(b)]
立体角	ステラジアン[(a)]	sr[(c)]		$m^2 \cdot m^{-2}=1$[(b)]
周波数	ヘルツ	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N・m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		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	ファラド	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	V・s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	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)]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd・sr[(c)]	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd=cd$
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd=m^{-2} \cdot cd$
（放射性核種の）放射能	ベクレル	Bq		s^{-1}
吸収線量，質量エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量，組織線量当	シーベルト	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

(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むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa・s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N・m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s^2	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg \cdot s^{-3}$
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・K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
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	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・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	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
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/(mol・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	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}=m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
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	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
リットル	l、L	$1l=1\ dm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	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	$1eV=1.60217733(49)\times10^{-19}J$
統一原子質量単位	u	$1u=1.6605402(10)\times10^{-27}kg$
天文単位	ua	$1ua=1.49597870691(30)\times10^{11}m$

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
ノット		1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	$1 a=1\ dam^2=10^2m^2$
ヘクタール	ha	$1 ha=1\ hm^2=10^4m^2$
バール	bar	$1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10^5Pa$
オングストローム	Å	$1 Å=0.1nm=10^{-10}m$
バーン	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	$1\ P=1\ dyn \cdot s/cm^2=0.1Pa \cdot s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2/s=10^{-4}m^2/s$
ガウス	G	1 G ˆ10^{-4}T
エルステッド	Oe	1 Oe ˆ(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ˆ10^{-8}Wb
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd/cm^2=10^4cd/m^2$
ホト	ph	$1\ ph=10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm/s^2=10^{-2}m/s^2$

表10．国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R\ =\ 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
X線単位		$1X\ unit=1.002\times10^{-4}nm$
ガンマ	γ	$1γ=1\ nT=10^{-9}T$
ジャンスキー	Jy	$1\ Jy=10^{-26}W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ		$1\ fermi=1\ fm=10^{-15}m$
メートル系カラット		$1\ metric\ carat\ =\ 200\ mg\ =\ 2\times10^{-4}kg$
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	
ミクロン	μ	$1\ μ\ =1μm=10^{-6}m$

（第７版，1998年改訂）