



平成15年度 地層処分技術に関する研究開発報告会

処分技術の信頼性向上のための基盤整備に向けて

要旨・OHP集



核燃料サイクル開発機構

平成16年2月26日(木) 津田ホール

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

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

Japan

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

2004

平成 15 年度 地層処分技術に関する研究開発報告会

－処分技術の信頼性向上のための基盤整備に向けて－

(平成 16 年 2 月 26 日 (木), 13:00～17:00, 津田ホール)

プログラム

1. 開会挨拶 理事長 殿塚 猷一 [13:00～13:10]

2. サイクル機構報告 [13:10～15:10]

[座 長] 朽山 修 (東北大学)

1) 地層処分技術に関する研究開発の全体概要

バックエンド推進部長 福島 操

2) 個別技術報告

① 東濃地科学センターにおける深地層の科学的研究の現状

－超深地層研究所計画を中心として－

東濃地科学センター 副所長 武田 精悦

② 幌延深地層研究計画の現状

幌延深地層研究センター 副所長 山崎 真一

③ 処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に向けた取組みの現状

東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部長 石川 博久

～ 休憩 ～

[15:10～15:30]

3. パネル討論 [15:30～16:50]

「事業化段階における研究開発の役割と課題」

[座 長] 大江 俊昭 (東海大学)

[パネリスト] 北山 一美 (原子力発電環境整備機構)

土田 昭司 (関西大学)

朽山 修 (東北大学)

中山 真一 (日本原子力研究所)

西垣 誠 (岡山大学)

藤川 陽子 (京都大学)

4. 閉会挨拶 理事 河田 東海夫 [16:50～17:00]

※ポスターセッション ; 開会前(12:00～13:00), 休憩中(15:10～15:30), 閉会後(17:00～18:00)にロビーにて開催

【全体概要報告】

サイクル機構における 地層処分技術に関する研究開発の全体概要

サイクル機構における地層処分技術に関する研究開発の全体概要

核燃料サイクル開発機構
バックエンド推進部
部長 福島 操

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)が公表した「第2次取りまとめ」を技術的な拠り所として、平成12年には、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」の成立、実施主体である原子力発電環境整備機構の発足、「安全規制の基本的考え方について(第1次報告)」の公表など、処分事業や安全規制の大枠が整備され、わが国の地層処分計画は事業化段階へと進展した。処分事業については、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段階的に進められることになっており、既に平成14年12月より、「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募が開始されているところである。一方、安全規制については、事業の進展にあわせて、安全審査基本指針、安全審査指針、処分場の技術基準といった指針・基準等の策定が進められることになっている。

サイクル機構では、わが国の地層処分計画が事業化段階へと進展した状況を踏まえて策定した「全体計画(サイクル機構、2001)」に沿って研究開発を進めている。本稿では、サイクル機構の地層処分技術に関する研究開発全体の計画と現状、成果取りまとめなど今後の展開について報告する。

2. サイクル機構における研究開発計画

1) サイクル機構の役割

最終処分の実施に向けて、今後の研究開発には、上述したような処分事業や安全規制の段階的な進展にあわせて、地層処分技術の信頼性を高め、処分事業や安全規制の技術基盤をより堅固なものとしていくことが求められる。サイクル機構では、引き続き研究開発の中核的な役割を担い、第2次取りまとめまでに蓄積した知見や経験をもとに、深地層の研究施設、地層処分基盤研究施設(エントリー)、地層処分放射化学研究施設(クオリティ)等を活用した基盤的研究開発を推進していく。これらを通じ、処分事業や安全規制の双方の基盤となる技術や情報を先行的に整備するとともに、あわせて、科学的・技術的な面での専門家を含む国民各層の地層処分に対する信頼感・安心感の醸成に寄与していくことが重要である。

2) 研究開発目標・課題と進め方

第2次取りまとめまでの研究開発は、具体的な地質環境を特定することなく、わが国における地層処分概念の成立性を科学的根拠に基づき概括的に示すことを目標として進めてきた。今後、地層処分技術の信頼性をさらに向上させるためには、実際の地質環境に適用して、技術としての信頼性を確認するとともに、長期にわたる評価手法の信頼性を高めていくことが重要であり、今後のサイクル機構の研究開発目標として、以下の2つを設定している。

➤ 目標①:実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認

第2次取りまとめまでに整備してきた様々な要素技術を深地層の研究施設等において実際の地質環境での調査研究に適用することを通じて、その信頼性を確認しつつ、調査の進展に応じた段階的な地層処分技術として体系化していく。

➤ 目標②:地層処分システムの長期挙動の理解

実際の地質環境での調査研究やエントリー、クオリティ等での試験研究を通じて、地層処分システムに関連する現象への理解をさらに深めつつ、より現実に即した評価手法へと改良、高度化を図り、非常に長期にわたる評価の信頼性を高めていく。

これら2つの目標を達成するための研究開発課題を、以下に示す3つの分野に設定・整理して研究開発を進めている。

- **深地層の科学研究**；地質環境の調査・評価技術の実際の地質環境への適用・改良と深部地質環境の不均質性等の理解，地質環境の長期安定性やナチュラアナログ研究による長期評価の信頼性向上，地下施設の工学技術の適用性
- **処分技術の信頼性向上**；人工バリア長期挙動に関する個別・連成現象のより現実的評価基盤の整備，人工バリア等の工学要素技術の深地層の研究施設等における適用・検証
- **安全評価手法の高度化**；安全評価に係るデータベースの整備，個別現象の理解に基づく安全評価モデルの高度化，実際の地質環境等に起因する不確実性に配慮した評価手法の改良

これらの研究開発は，深地層の研究施設，エントリーやクオリティを中核施設として，東濃地科学センター，幌延深地層研究センター，東海事業所の3つの研究センターにおいて分担・連携しながら進めている。深地層の研究施設については，わが国の地質環境の多様性を考慮して，その特徴が大きく異なる瑞浪（結晶質岩・硬岩・淡水系地下水）と幌延（堆積岩・軟岩・塩水系地下水）の2つの計画を進めている。いずれも第1段階「地上からの調査研究」，第2段階「坑道掘削時の調査研究」，第3段階「地下施設での調査研究」と，段階的に調査・予測・検証を繰り返す，全体で20年程度の計画である。これらの深地層の研究施設は，様々な技術・手法の実際の地質環境への適用性確認の場として，今後の研究開発の中核的な役割を担う施設である。一方，東海事業所は，エントリー・クオリティでの室内・工学試験や放射性核種を用いた試験などを中心に，処分技術や安全評価手法に関する基盤的なデータ整備やモデル開発を進めるとともに，深地層の研究施設計画等から得られる地質環境情報を活用して，設計・安全評価手法の適用性を確認しつつ，多分野にわたる技術情報を体系的に整備していく役割を担う。

3. 研究開発の取り組みの現状と当面の計画・課題

1) 深地層の科学研究

深地層の研究施設計画については，地上からの調査研究（第1段階）として様々な調査・評価の技術成果を蓄積するとともに，地下施設の建設工事に着工するなど坑道掘削時の調査研究（第2段階）へ向けた準備を進めつつある。また，具体的な地質環境の長期安定性を調査する技術や，東濃鉱山を活用したナチュラアナログ研究などの成果が得られている。以下に，その概要を示す。

➤ 超深地層研究所計画（瑞浪；結晶質岩）

研究所用地における地上からの調査研究として，平成14年度の物理探査や浅層試錐調査の成果も踏まえ，平成15年3月より深層試錐調査（1,350m）を進めている。これらの調査研究を通じて，花崗岩中の割れ目の分布や地下水の水質・起源などを把握するとともに，地質環境モデルの構築を段階的に進めてきている。第1段階の調査研究は平成16年度に終了予定であり，今後，研究所用地を包含する広い領域を対象として進めている広域地下水流動研究の成果とあわせて，結晶質岩における一連の地上からの調査・評価技術の適用事例として体系化していく。一方，地下施設の建設に関しては，平成14年度の用地の造成工事を経て，平成15年7月より立坑掘削に着手しており，平成22年度の施設完成を予定している。

➤ 幌延深地層研究計画（幌延；堆積岩）

平成14年7月に選定した研究所設置地区及びその周辺において，試錐調査（平成14，15年度に各3孔）や物理探査を実施している。これまでの調査を通じて，地下水の流動特性や地球化学特性の不均質性の把握，地質環境モデルの段階的な詳細化や調査技術の改良等を進めてきており，第1段階が終了する平成17年度頃を目処に，堆積岩における地上からの調査・評価技術として体系化していく。また，地下施設の建設については，平成15年7月に用地の造成工事に着手しており，平成22年度の施設完成を予定している。

2) 処分技術の信頼性向上・安全評価手法の高度化

東海事業所のエントリーとクオリティを中心に，「第2次取りまとめ」以降も幅広い地質環境条件を念頭に処分技術や安全評価に関するデータ取得やモデル高度化などを進めてきている。これまでに，特に，塩水系地下水条件やセメント影響を考慮して，人工バリアの長期挙動や放射性核種の移

行挙動に関するデータベースの拡充やモデル改良を進めてきた。また、上記の深地層の研究施設計画等で得られたデータやモデルなどを活用した検討を実施しつつあり、これまでに地上からの調査研究段階において安全評価／設計と調査との間で連携すべき重要事項の抽出などを行った。今後の深地層の研究施設計画等の進展にあわせ、さらに実際の地質環境条件を対象とした研究に重点化していく計画である。

4. 研究成果の集約・取りまとめに向けて

研究開発の成果は、処分事業と安全規制の双方にとっての基盤的な技術や情報として寄与できるよう、双方のニーズやスケジュールを勘案しつつ、段階的に取りまとめることとしている。サイクル機構では、処分事業と安全規制の主要なマイルストーンに先行する形で深地層の研究施設計画などの研究開発計画を進めており、この深地層の研究施設計画の各段階の節目に着目して、全体の成果を3つの段階に分けて取りまとめる計画である。成果の取りまとめは、各段階における成果を体系化することで現状の技術・知見レベルを確認するとともに、あわせて重点課題を抽出し、以降の研究開発計画の効率的な推進に資することも期待している。

第1段階の取りまとめとして、瑞浪と幌延の深地層の研究施設の地上からの調査研究が終了する時期、及び平成10年代後半を目途とされる概要調査地区の選定とそれに続く概要調査や、安全審査基本指針の策定のための基盤技術を提示すること、これらを念頭において、平成17年度頃を目標に地上からの調査研究と処分技術や安全評価に関する成果を取りまとめる。報告書の構成としては、各分野・課題ごとに第2次取りまとめ以降の個別的研究成果を整理した報告書を作成するとともに、分野間にまたがる情報や技術を含めた地上からの調査段階での調査・評価手法等の主要成果のエッセンスを集約した報告書を、以下のように2つの目標とも関連付けつつまとめる計画である。

- 2つの深地層の研究施設計画等における地上から調査研究段階で得られた成果と、これに基づく設計・安全評価の適用性の検討結果を踏まえて、地上からアプローチする段階における一連の地層処分技術を、適用事例を示しつつ、できるだけ一般化した方法論としてまとめる。
- 幅広い地質環境も考慮しつつ進めている地層処分システムの長期挙動に関わる様々な現象の理解や個々のデータベース、モデルや評価手法の改良・高度化の進展をまとめる。

また、報告書の信頼性や客観性を高める観点から、外部専門家によるレビューを受けながら作成していく計画である。なお、個別成果については論文等でその都度報告するとともに、全体の進捗・成果については年度毎に成果報告書(平成14年度報告;サイクル機構, 2003)として公開していく。

5. おわりに

サイクル機構では、今後とも地層処分技術の信頼性向上のための基盤的な研究開発を、分野間・事業所間で相互に連携を図りながら効率的に進め、第1段階の取りまとめに成果を集約していく。研究開発を進めるにあたっては、信頼性、透明性及び効率性を高める観点から、研究開発成果の公表、深地層の研究施設等の施設の公開、国内外の関係機関や大学との研究協力などを積極的に進める。また、長期にわたる処分事業などの今後の展開を支える観点から、国の研究開発機関として、技術の継承や研究者の育成に努めるとともに、深地層の研究施設等を活用し、国民各層の地層処分に対する理解の増進に寄与していく。このような役割は平成17年度に設立される新法人に引き継がれるものであり、両法人の研究資源を相乗的に活用しながら、研究開発の一層の効率化を図っていく。

参考文献

- 核燃料サイクル開発機構(2001):平成13年度研究開発課題評価(中間評価)報告書 研究課題「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全体計画」,サイクル機構技術資料, JNC TN1440 2001-008.
- 核燃料サイクル開発機構(2003):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 ー平成14年度報告ー, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2003-004.

【全体概要報告】 地層処分技術に関する 研究開発の全体概要

地層処分技術に関する研究開発報告会
—処分技術の信頼性向上のための基盤整備に向けて—

平成16年2月26日 津田ホール

核燃料サイクル開発機構 バックエンド推進部

福島 操

地層処分研究開発の経緯と展開

地層処分研究開発の開始(1976年)

地層処分の技術的可能性(第1次取りまとめ(1992年9月))

地層処分の技術的信頼性(第2次取りまとめ(1999年11月))

事業化段階へ進展(2000年)

地層処分技術の
信頼性向上
(基盤的な研究開発)

成果

処分事業

最終処分法公布

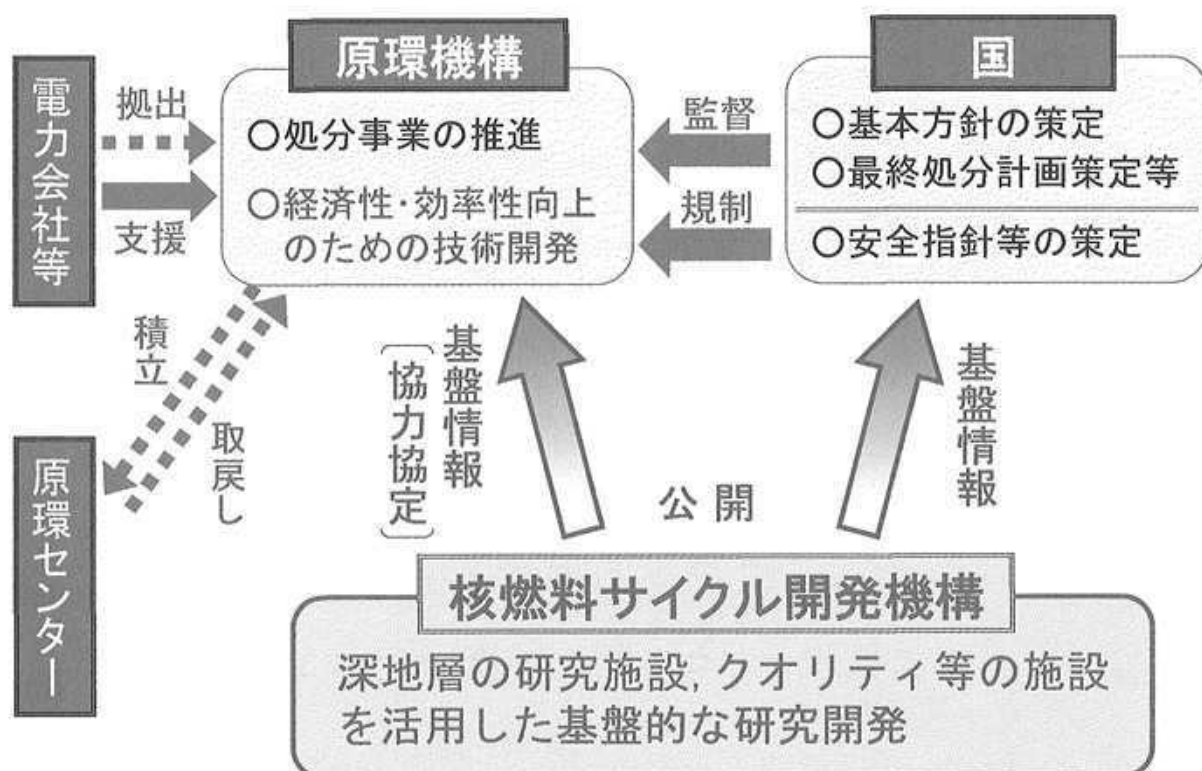
原環機構設立

概要調査地区
等の選定

安全規制

安全規制の
基本的考え方

指針・基準
等の策定

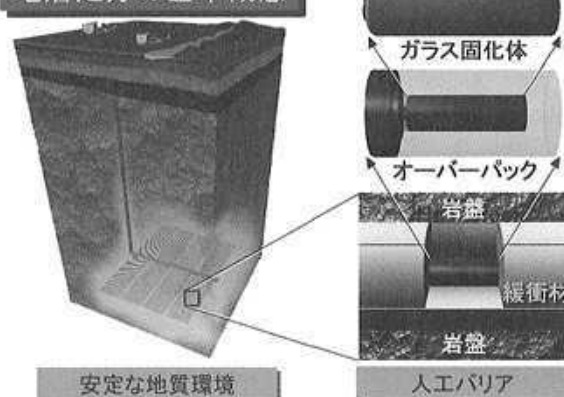


第2次取りまとめ

- わが国の幅広い地質環境を対象として、地層処分概念の成立性を科学的根拠に基づき提示

信頼性の向上

地層処分の基本概念



① 実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認

- これまでに幅広い地質環境を対象として整備してきた調査技術や評価手法等を実際の地質環境へ適用し、その信頼性を確認

② 地層処分システムの長期挙動の理解

- 地層処分システムに関連する現象への理解をさらに深め、より現実に即した評価手法へと改良・高度化

研究開発目標

実際の地質環境への
地層処分技術の
適用性確認

地層処分システム
の長期挙動の理解

地層処分技術に関する研究開発

研究開発 課題

深地層の科学研究（地層科学研究）

地質環境特性の研究
地質環境の長期安定性に関する研究
深地層の工学技術の基礎の開発
ナチュラアナログ研究

地層処分研究開発

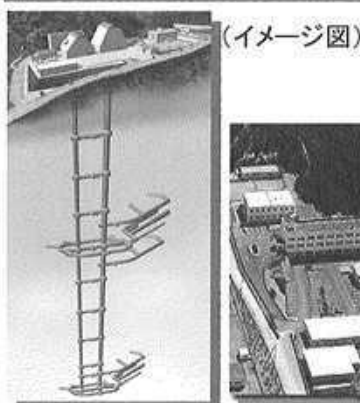
処分技術の信頼性向上

人工バリアの基本特性データベース
人工バリア等の長期複合挙動の研究
人工バリア等の工学技術の検証
設計手法の適用性確認

安全評価手法の高度化

核種移行データベースの整備
安全評価モデルの高度化
安全評価手法の整備・高度化
安全評価手法の適用性確認

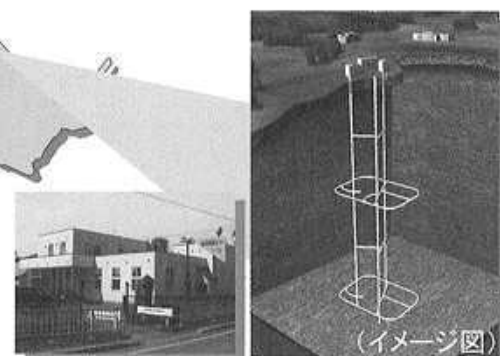
サイクル機構の研究開発施設



(イメージ図)

東濃地科学センター

- 超深地層研究所計画
(結晶質岩)
- 東濃鉱山



(イメージ図)

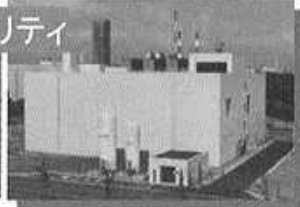
幌延深地層研究センター

- 幌延深地層研究計画(堆積岩)

東海事業所



クオリティ



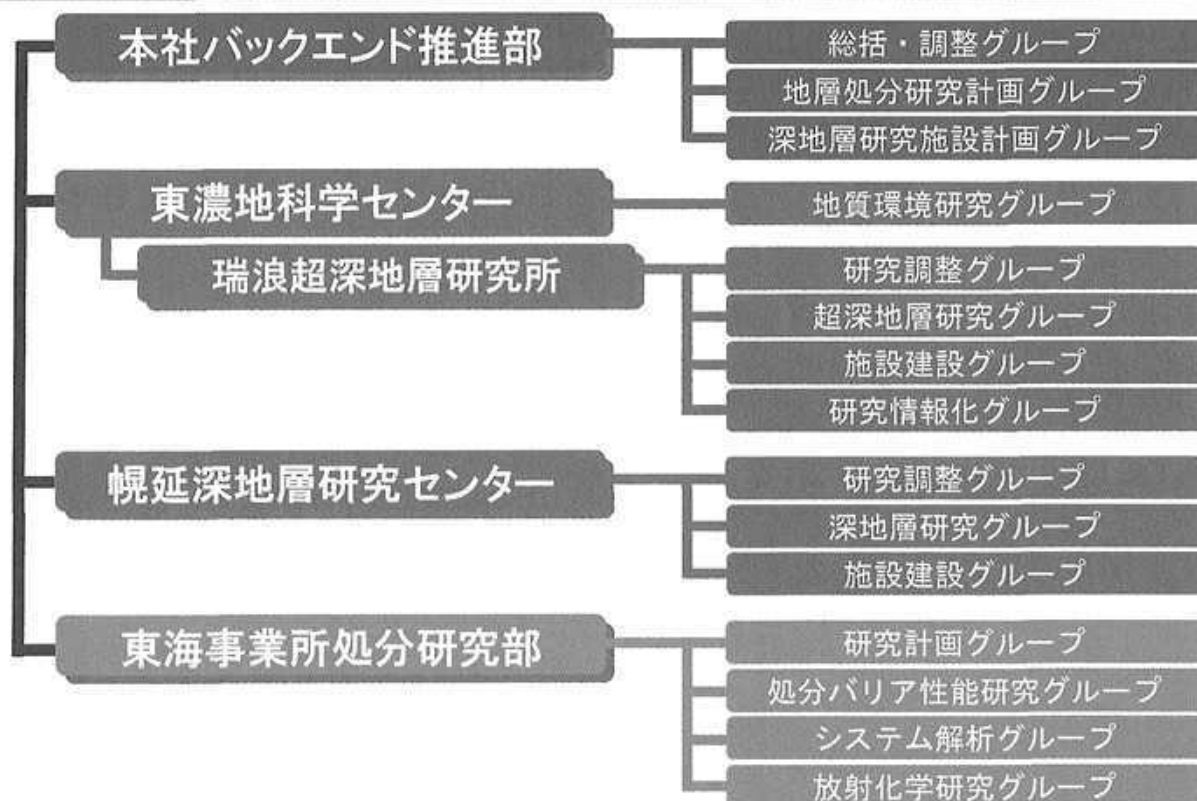
エントリー



サイクル機構の研究体制

JNC

7



深地層の研究施設の役割

JNC

8

地層処分技術を実際の地質環境に適用して確認

- 段階的な調査研究を通じた調査・評価技術の例示, 体系化
- 人工バリアや地下施設に関する工学技術の確認



深地層の研究施設

わが国固有の
地質環境の理解

深地層を体験・
理解する場

2つの深地層の研究施設計画

超深地層研究所計画 (岐阜県瑞浪市)



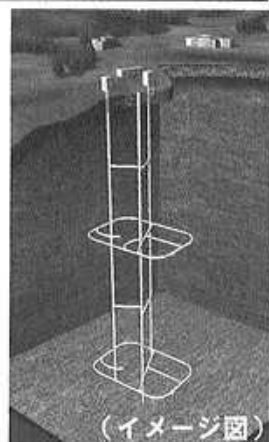
(イメージ図)

結晶質岩
(花崗岩)

淡水系

硬岩

幌延深地層研究計画 (北海道幌延町)



(イメージ図)

堆積岩
(泥岩)

塩水系

軟岩

段階的な
調査研究
の進め方

第1段階; 地上からの調査研究段階

第2段階; 坑道掘削時の調査研究段階

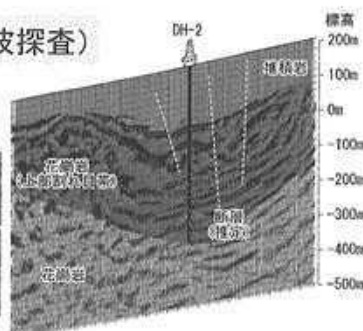
第3段階; 地下施設での調査研究段階

超深地層研究所計画(瑞浪)

●結晶質岩・淡水系地下水・硬岩



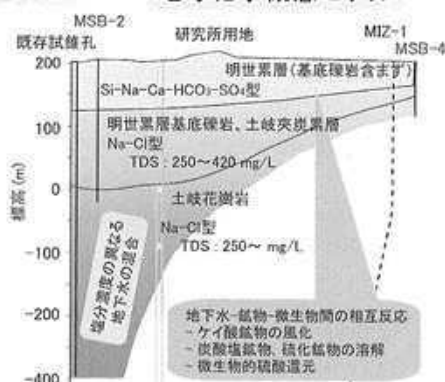
物理探査(反射法弾性波探査)



深層試験孔調査(MIZ-1)



地球化学概念モデル



超深地層研究所計画(瑞浪)

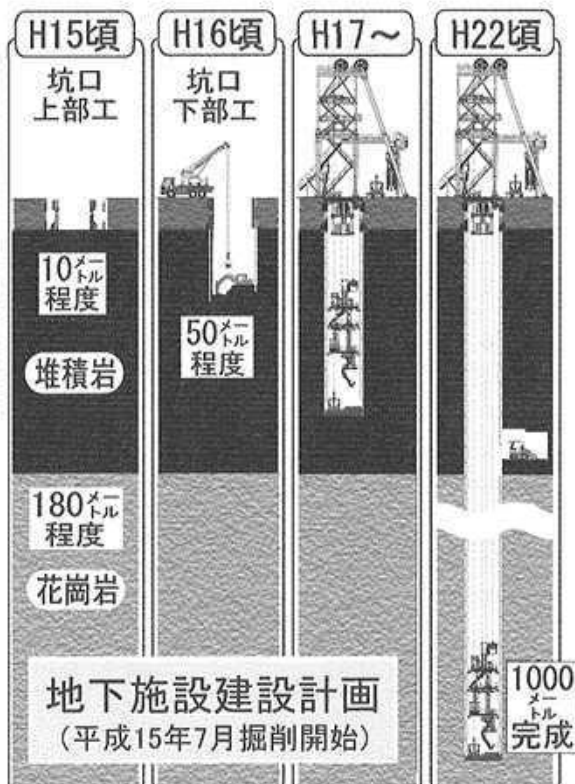
JNC

11

研究所用地



主立坑掘削状況

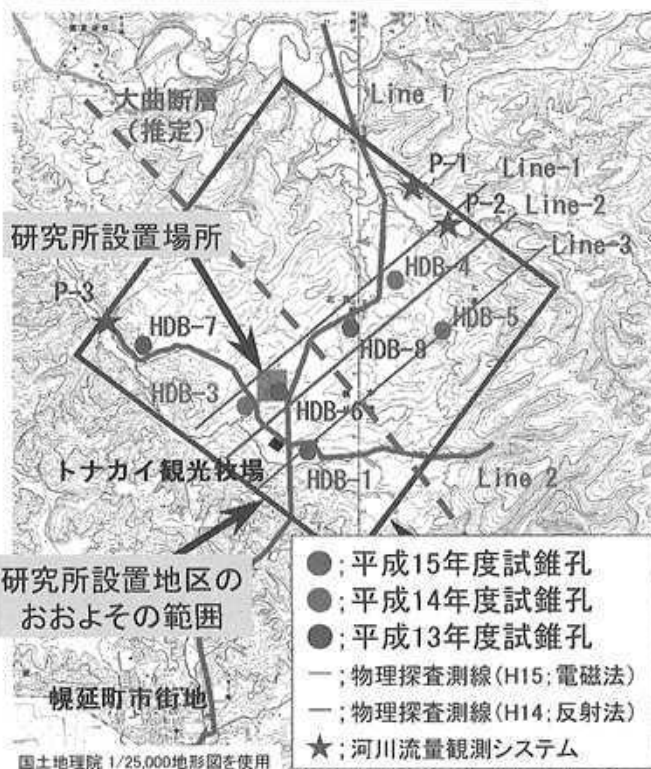


幌延深地層研究計画

JNC

12

●堆積岩・塩水系地下水・軟岩



試錐調査(HDB-6)

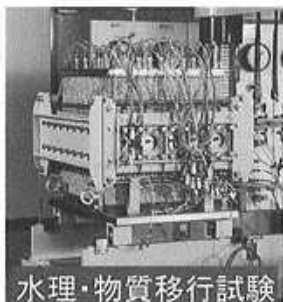


造成工事(平成15年7月着工)



エントリー・クオリティ

- 条件を制御した室内・工学試験
 - 放射性核種のデータ取得
- ⇒メカニズムや時間依存性の理解



水理・物質移行試験



人工バリア連成試験



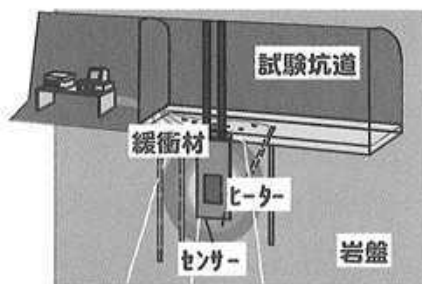
放射性核種の溶解、収着、拡散試験

情報

適用

深地層の研究施設等

- 地質環境情報 [瑞浪, 幌延等]
 - 原位置試験 [幌延, 海外URL]
- ⇒地質環境の不均質場の考慮



総合的な解析・評価
技術の整備と情報集約
⇒設計・安全評価技術
の信頼性向上

事業所/分野間の連携(地上からの調査研究段階)

深地層の研究施設計画(瑞浪, 幌延)等

地上からの調査研究に基づく「地質環境モデル」の構築

瑞浪; 結晶質岩/淡水系地下水/硬岩

幌延; 堆積岩/塩水系地下水/軟岩



地質環境の総合的な評価技術

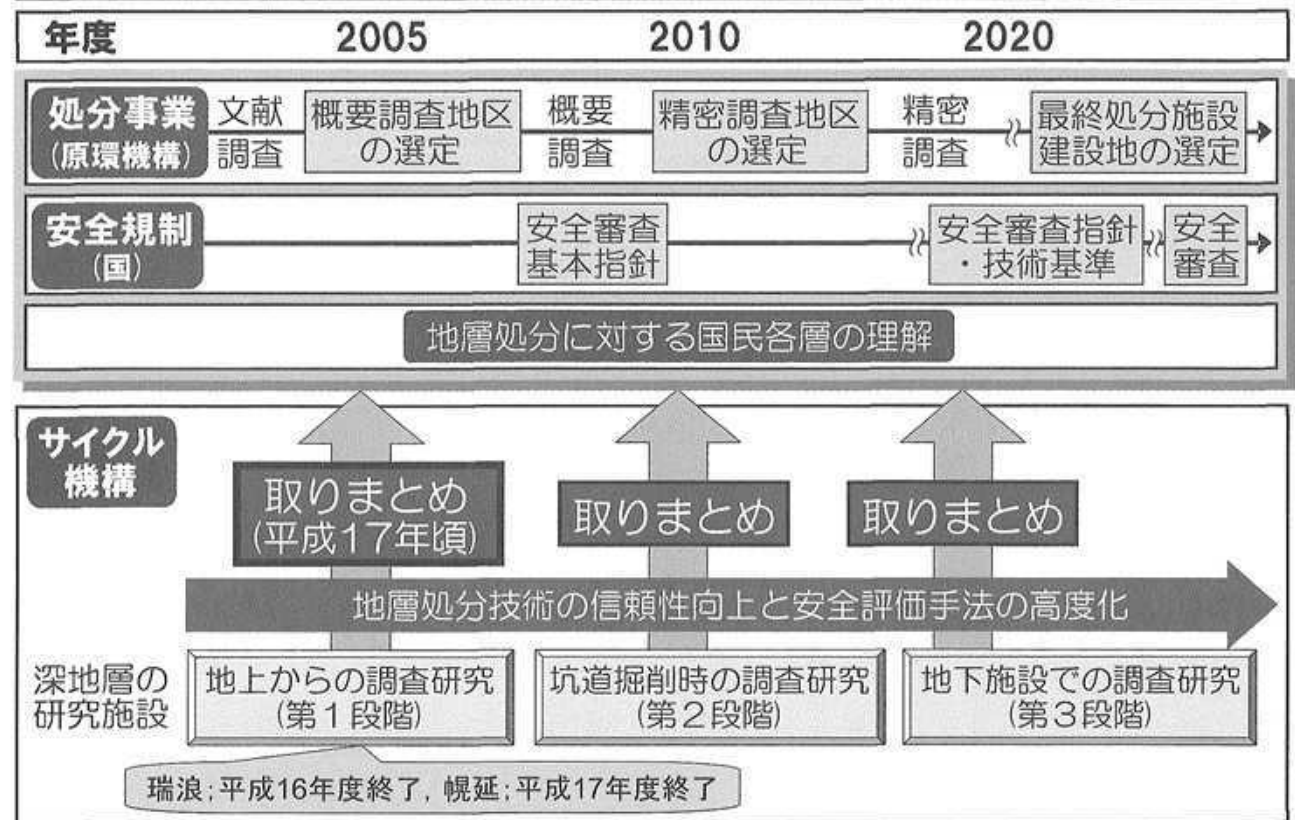
処分技術・
安全評価
(東海事業所)

地上からの調査段階において重要となる設計・安全
評価手法の適用性検討

研究開発の全体工程

項目	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23～
【深地層の 科学研究】	地上からの調査研究(第1段階)										
超深地層 研究所計画 (瑞浪)	坑道掘削時の調査研究(第2段階)										
	地下施設での調査研究(第3段階)										
	用地★ 賃借	★ 着工	★ 造成 工事	★ 掘削開始						★ 完成	
幌延深地層 研究計画	地上からの調査研究(第1段階)										
	坑道掘削時の調査研究(第2段階)										
	地下施設での調査研究(第3段階)										
	用地★ 取得	★ 着工	★ 造成工事	★ 掘削開始						★ 完成	
	地質環境の長期安定性に関する研究等(東濃地科学センター)										
【地層処分 研究開発】	エントリー・クオリティ(東海事業所)										
・処分技術の 信頼性向上 ・安全評価 手法の高度化	室内・工学試験による設計・安全評価に関するデータ取得、モデル・評価手法の高度化等 〔幅広い地質環境を考慮〕→〔実際の地質環境を考慮〕										
	海外URL, 幌延深地層研究計画等										
	人工バリアの工学技術や安全評価モデルなどの 適用性確認										

段階的な成果の取りまとめ



第1段階の取りまとめの成果

分野レポート(総合版)

- ▶ 各分野・課題毎に第2次取りまとめ以降の個別の成果・進展を提示

深地層の科学的研究(仮称)

- ▶ 瑞浪・幌延における地上からの調査・評価手法, 長期安定性評価手法,

処分技術の信頼性向上(仮称)

安全評価手法の高度化(仮称)

- ▶ 人工バリア長期挙動や核種移行に関するデータ, モデルの拡充・改良,

集約レポート(要約版)

- ▶ 分野間にまたがる情報を含めた地上からの調査研究段階における成果のエッセンスを2つの目標と関連付けつつ集約

目標①

地上からアプローチする段階における一連の地層処分技術の適用事例と方法論

目標②

地層処分システムに対する理解の進展と個別データベース・モデルの改良

開かれた研究開発を目指して

成果の公表

成果報告書

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
—平成15年度報告—



研究開発報告会

安全規制

処分事業

国民

ニーズの把握と成果の反映

研究開発

信頼性
透明性
効率性

研究協力 施設の提供

海外との研究協力
(東濃鉱山)



施設の公開

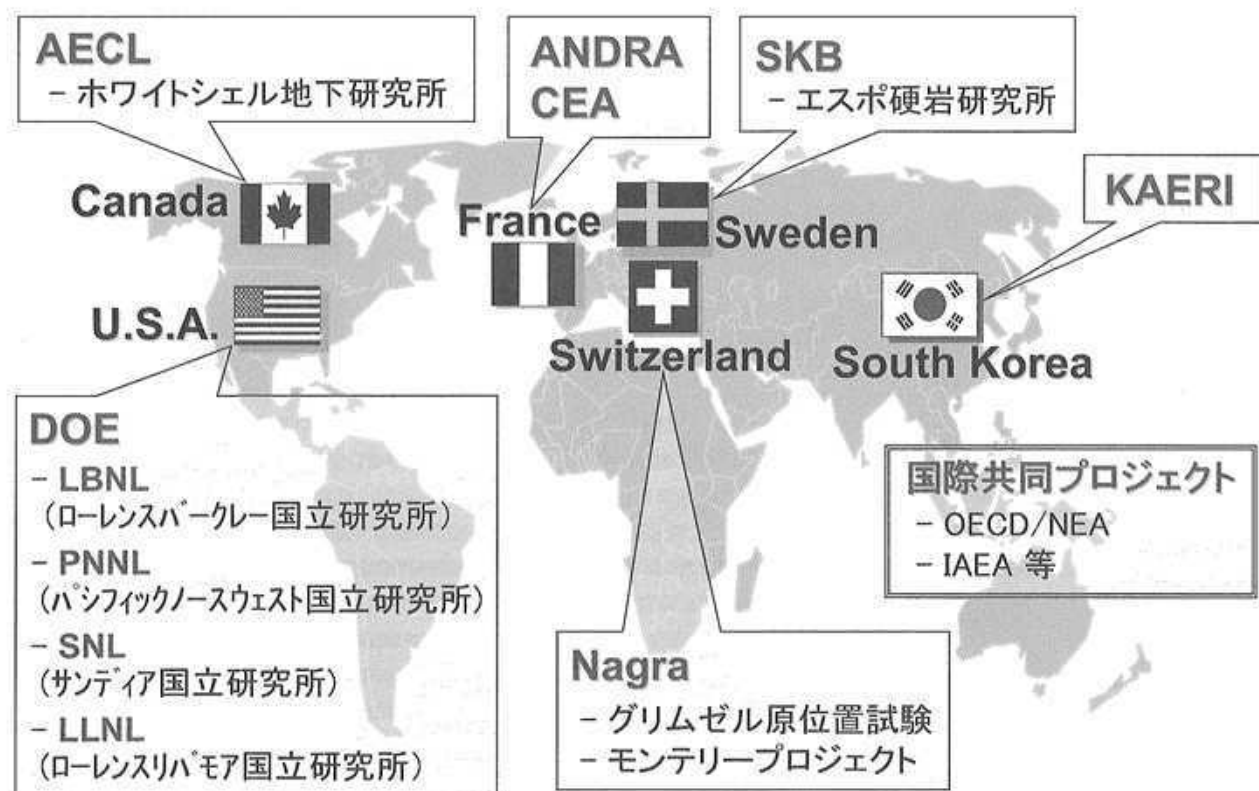
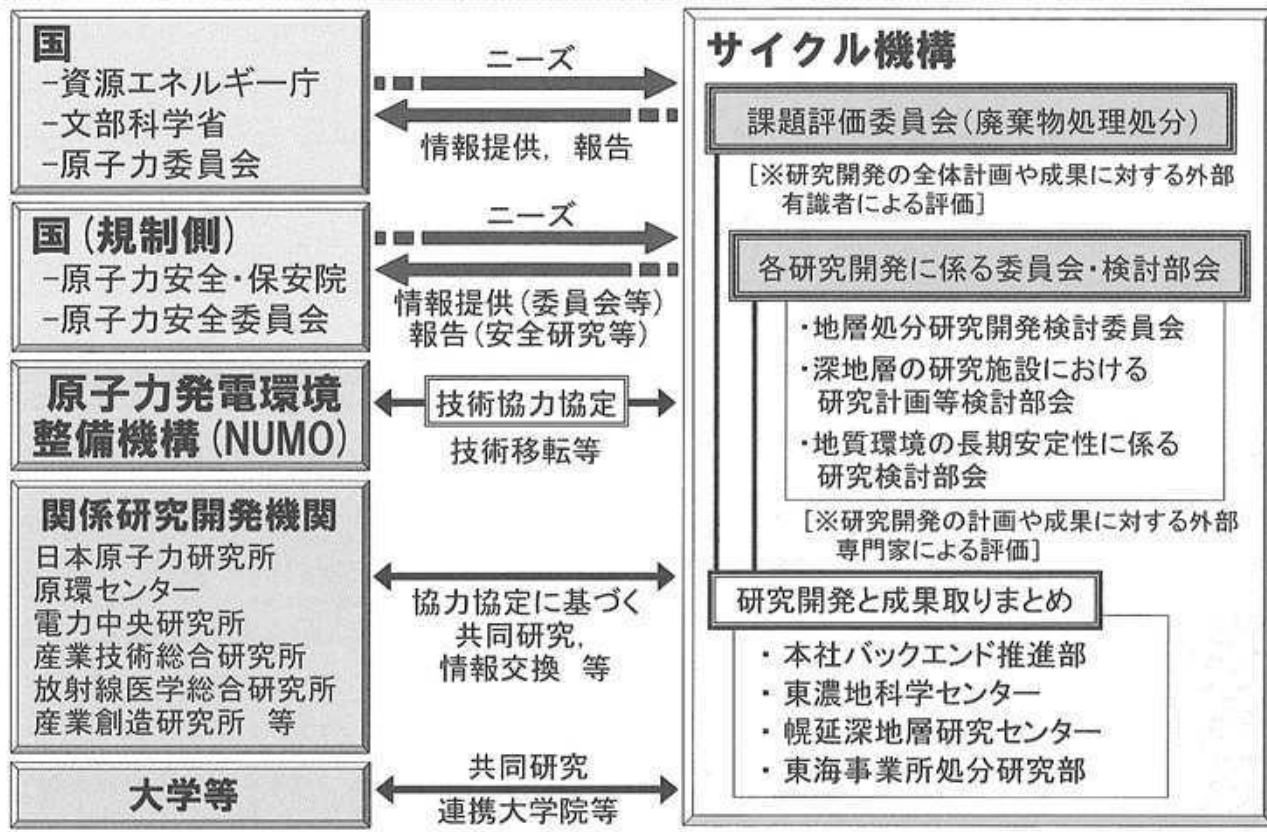
地域との共生

地域住民への説明
(幌延フォーラム)



地下施設見学
(東濃鉱山)





原子力二法人の統合に関する報告書

(平成15年9月19日, 原子力二法人統合準備会議)

- ▶ 新法人は、わが国における地層処分技術に関する研究開発の中核的な役割を担い、瑞浪及び幌延の深地層の研究施設、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向上や安全評価手法の高度化に向けた研究開発を実施することが必要である。
- ▶ 研究開発の実施に当たっては、研究成果を処分事業や安全規制に反映するために、原子力長計等に定められている国や原子力発電環境整備機構(NUMO)等の関係機関との役割分担に基づき、これらの関係機関と連携して研究開発を実施することが重要である。

統合・新法人設立準備に係る推進体制に関する協力協定の締結

(平成15年10月24日)

- ▶ 廃棄物処分研究開発推進部会・合同推進室を設置し、研究体制のあり方や研究資源の有効活用などに関する協議を開始

地層処分技術の信頼性の向上

- 深地層の研究施設等における基盤的研究開発
- 段階的な成果の集約・取りまとめ
- 開かれた研究開発



- 処分事業と安全規制の技術基盤となる知見の集約・提供
- 研究者の育成と技術の継承
- 国民の理解増進

【個別技術報告】

東濃地科学センターにおける深地層の科学的研究の現状
ー超深地層研究所計画を中心としてー

東濃地科学センターにおける深地層の科学的研究の現状 ー超深地層研究所計画を中心としてー

核燃料サイクル開発機構
東濃地科学センター
副所長 武田 精悦

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)東濃地科学センターでは、国の計画・方針にしたがい、地層処分技術に関する研究開発として、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究(以下、地層科学研究)を進めている。このうち、超深地層研究所計画は、原子力長期計画に示された深地層の研究施設計画のひとつとして結晶質岩を対象に岐阜県瑞浪市において進めているものである。本計画は平成8年度より開始し、平成14年には瑞浪超深地層研究所の建設に着工した。平成15年には研究坑道の掘削を開始している。本稿では、超深地層研究所計画を中心に、東濃地科学センターにおける地層科学研究の現状について報告する。

2. 研究の課題

「第2次取りまとめ」(サイクル機構, 1999)以降における地層処分技術に関する研究開発の課題については、「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価」(原子力委員会, 2000)や「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告)」(原子力安全委員会, 2000)において、重要な項目が示された。これら国の報告書で示された課題を踏まえ、東濃地科学センターにおいては、地質環境特性に関する研究、地質環境の長期安定性に関する研究、深地層における工学技術の基礎の開発およびナチュラルアナログ研究という4つの研究課題を設定している。東濃地科学センターでは、これらの研究課題に対して、超深地層研究所計画、広域地下水流動研究、東濃鉾山における調査試験研究、地質環境の長期安定性に関する研究、という4つのプロジェクトとして取り組んでいる。

3. 研究の現状

東濃地科学センターが進めている地層科学研究のうち、超深地層研究所計画、広域地下水流動研究、東濃鉾山における調査試験研究の3プロジェクトは、地下深部の岩盤とそこに含まれる地下水の性質やそこで起こっている現象を理解しながら、その調査・評価のために必要な技術を開発整備していくことを主な目的として、東濃地域を対象に実施している。この地域の地質は、結晶質岩である花崗岩と、それを覆う上位の新第三紀の堆積岩から成る。堆積岩の厚さは最大200m程度であり、また、月吉断層と呼ばれる長さ約7kmの逆断層である地質断層が分布する。

一方、地質環境の長期安定性に関する研究は、わが国における地震や火山活動等の天然現象の特徴とそれによる地質環境への影響を把握することや、そのための調査技術・評価手法を開発することを目的に、全国を視野に入れて実施している。

1) 超深地層研究所計画

(1) 計画の概要

超深地層研究所計画では、深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備および深地層における工学的技術の基盤の整備を目標とする(サイクル機構, 2002)。前者の目標を達成するため、地質環境を調査・予測・検証する一連のアプローチを繰り返し行うことにより、地上や地下から、地質環境を調査・解析・評価する手法の有効性を確認していく。後者の目標に向けては、研究坑道の掘削に伴う地質環境の変化に着目し、深地層での掘削に関わる技術を適用していく。そのため、全体計画を3段階(第1段階:地表からの調査予測研究段階、第2段階:研究坑道の掘削に伴う研究段

階、第3段階:研究坑道を利用した研究段階)に分け、全体を約20年間かけて実施する計画である。研究施設は広く公開し、地下深部についての学術的な研究の場、あるいは深部地質環境や地層処分の研究開発に対する国民の理解を深める場としても寄与する。

本計画では平成8年度より岐阜県瑞浪市明世町のサイクル機構が所有する用地(正馬様用地)において、第1段階として地表からの調査研究を行ってきた。平成14年1月に、瑞浪市と、正馬様用地の約2km東方に位置する同じ明世町内にある広さ約7.8haの市有地(研究所用地)の賃貸借契約を締結し、研究坑道などの設置場所を研究所用地に変更することとした。現在、正馬様用地での研究や広域地下水流動研究の成果を活用し、研究所用地において第1段階の調査研究を継続している。また、第2段階の調査研究として研究坑道の掘削を進めている。

(2) 現状と主な成果

研究所用地では、深さ100~180m程度までは堆積岩、その下位には花崗岩が分布する。第1段階の調査研究として、平成14年度までに地上物理探査や、深度100~200m程度までの4孔の試錐調査(MSB-1~4号孔)を終了し、深層試錐調査(MIZ-1号孔;予定掘削長1,350m)を実施しているところである。また、調査結果をもとに地質環境モデルを作成してきている。第2段階の調査研究では、平成14年7月に研究所用地の造成工事に着手し、平成15年7月には研究坑道の掘削を開始した。

① 研究のアプローチ

地質環境の調査研究を進めるには、対象とする地域の空間スケールが重要である。本計画における地上からの調査研究段階である第1段階はサイトスケールとし、解析対象面積を数平方キロメートル程度と想定している。

本計画の目的は、結晶質岩からなる地域を対象とした合理的な調査手法を確立していくことである。そのためにはどのような調査をどの程度行くと、どの程度地下の地質環境の理解が進むかについての情報が必要である。すなわち、調査の進展と、地質環境の理解の程度を示す手段である地質環境モデルの変遷との関係を知ることが上の目標を達成する上で重要である。その両者の関係を知るため、調査—モデル構築—解析結果の評価—さらに次の調査とモデル改良へ、という一連の繰り返しアプローチを採用している。これにより、各調査の流れの中で、有効性・合理性・効率性などの点において、どの調査手法を選択すべきかの情報を取得することが可能となる。そして、調査結果の品質や地質環境の理解における不確実性の評価などを考慮し、調査手法の体系を構築し、統合化データフローとして取りまとめていく。

② 第1段階の調査研究

研究所用地における繰り返しアプローチに基づく主な調査として、地上物理探査(ステップ1)、浅層試錐調査(同2)、深層試錐調査(同3)、トモグラフィ調査・孔間水理試験(同4)の4つのステップがあり、各ステップにおいては、地質環境モデルとして地質構造、地下水流動、地下水地球化学、岩盤力学の各モデルの構築を進めている。現在、深層試錐調査(MIZ-1号孔)を実施中である。これはステップ2までの調査で推定された断層の存在を確認することを主な目的としている。

これまでに、地質構造としては、「上部割れ目帯」のほかに、「下部割れ目低密度帯」が区分されること、地下水流動解析結果からは、北北西系の断層の性質が地下水の流れに大きな影響を与えること、また、地下水の水質としてNa-HCO₃型とNa-Cl型の両タイプが存在することなどが明らかにされた。また、各ステップにおいて地質環境モデルの作成・更新を行い、用いられた各調査手法の妥当性などについても検討を進めている。

③ 第2段階の調査研究

第2段階における深地層の工学技術に関する研究については、国内外の先行事例やこれまでに得られた深部地質環境に関する情報をもとに研究坑道の設計や施工計画の検討を進めた。設計では、研究坑道のレイアウトの他、耐震設計や通気解析に基づく設備設計と火災時対策についても検

討した。施工においては、立坑掘削をショートステップ工法とし、計測工としては岩盤変位計測や覆工コンクリートの応力測定などを実施するとともに、突発湧水や山はねの対策としてはグラウトなどの止水工法の採用や AE 計測などを予定している。平成 15 年開始した研究坑道の掘削は、現在、深度約 10 m までの工事(坑口上部工)を完了し、坑口下部工着手への準備を行っているところである。

2) 広域地下水流動研究

広域地下水流動研究では、現在、深度 1,000 m の深層試錐調査(2 孔)を実施中であり、平成 16 年度に現地作業を終了する予定である。今後は、広域的な地下水の経年変化などを把握するためのモニタリング観測を継続するとともに、本研究と超深地層研究所計画の研究成果を相互に活用し、広い領域から研究坑道を展開する瑞浪超深地層研究所用地までの各空間スケールを対象とした一連の調査データ・調査手法として取りまとめている。

3) 東濃鉱山における調査試験研究

東濃鉱山における調査試験研究は、堆積岩の下部にあるウラン鉱床に掘削された既存の地下坑道を利用して、昭和 61 年度に開始した。深度約 150 m までの堆積岩が主な研究対象である。ウラン鉱床が存在し、さらにそれを断層が横切るという特徴を活かし、物質の移行・遅延現象に着目したナチュラルアナログ研究や、坑道周辺の地質環境を総合的に調べるための技術の整備を進めてきた。現在、これまでに得られた成果を今後の深地層の研究施設における研究などへ反映すべく取りまとめを進めている。

4) 地質環境の長期安定性に関する研究

地質環境の長期安定性に関する研究では、「第 2 次取りまとめ」以降、実施主体による概要調査地区等の選定や国による安全審査基準・指針等の策定等のための技術基盤としての反映を念頭に置き、①実際の地質環境に適用できる調査技術の開発(調査技術の開発・体系化)、②地殻変動・火成活動等に伴う地質環境の長期的変動を評価するための手法の開発(長期予測・影響評価モデルの開発)のほか、③これらの開発の基盤となるそれぞれの現象のプロセスに関わる最新の学術的知見や工学技術に関する基盤情報の整備(情報基盤の整備)を図っている。

4. おわりに

東濃地科学センターにおいては、今後も国内外の研究機関との連携をはかり、また、大学等の専門家の協力を得つつ、原子力長期計画等で求められている地層科学研究を着実に、かつ効率的に進めていく。研究開発業務の透明性を確保する観点からは、研究計画の策定段階から成果までの情報を積極的に公表し、瑞浪超深地層研究所についても広く公開していく。また、地下深部についての学術的な研究の場、学習の場、国民の理解を深める場としても寄与していく方針である。

参考文献

原子力安全委員会(2000):高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告)。

原子力委員会(2000):我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価。

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―、サイクル機構技術資料, JNC TN1410 99-020~024。

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, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018。

【個別技術報告】

東濃地科学センターにおける 深地層の科学的研究の現状 ～超深地層研究所計画を中心として～

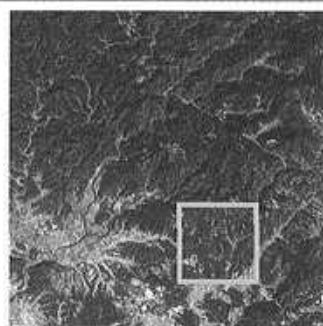
地層処分技術に関する研究開発報告会
—処分技術の信頼性向上のための基盤整備に向けて—

平成16年2月26日 津田ホール

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター
武田 精悦

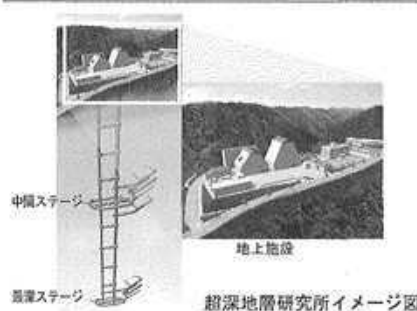
東濃地科学センターにおける地層科学研究

広域地下水流動研究



© RESTEC / JNC Tama Geoscience Center

超深地層研究所計画

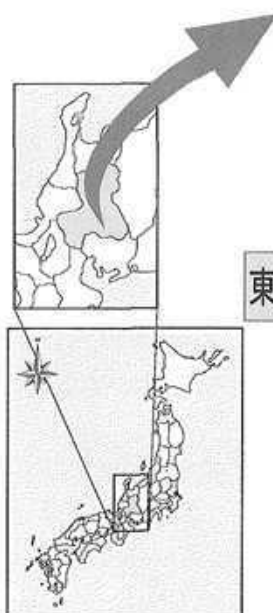


超深地層研究所イメージ図

東濃鉱山における調査試験研究



地質環境の長期安定性に関する研究



調査技術の開発・体系化

古地形・水系等の復元技術，震源断層等の抽出技術，マグマ・高温岩体等の探査技術 etc.

長期予測・影響評価モデルの開発

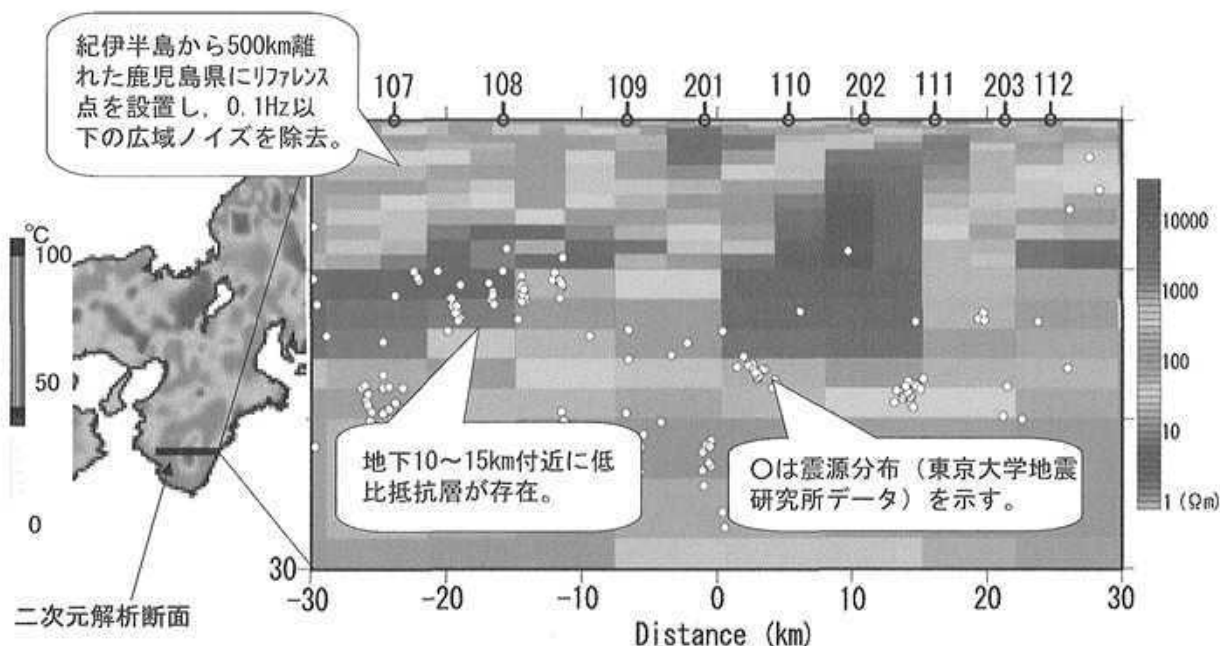
三次元地形変化モデル，火山活動域の長期予測モデル，断層周辺の力学・水理モデル etc.

研究情報基盤の整備

安全評価に係る地質環境データベース，次世代の高精度探査技術 etc.

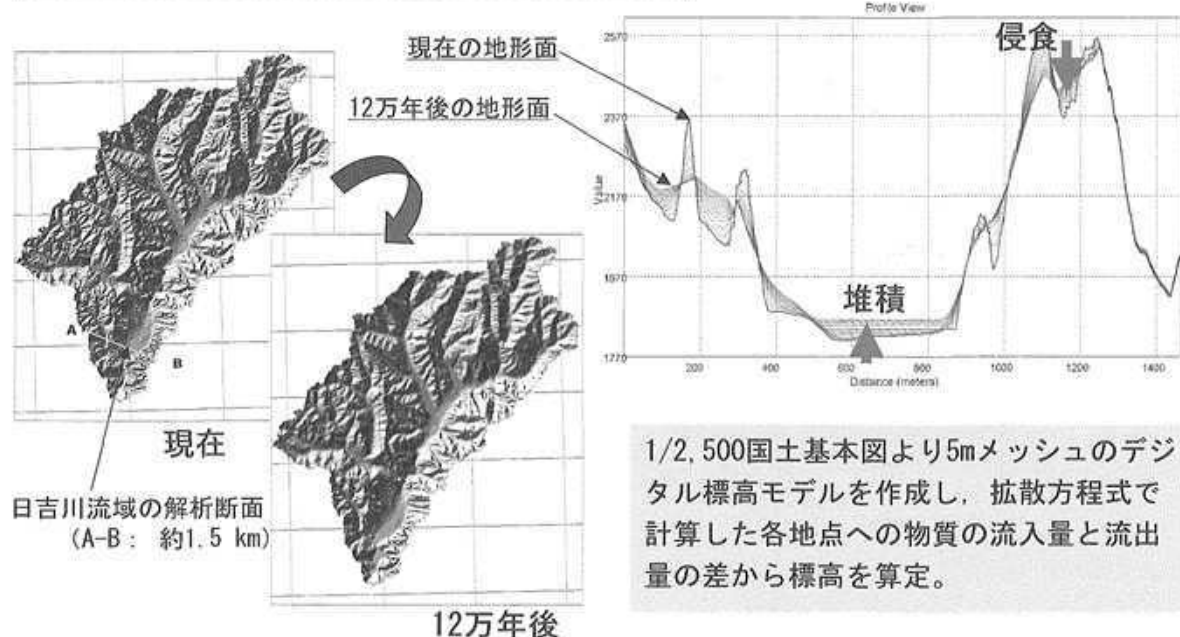
調査技術の開発・体系化

— マグマ・高温岩体等の探査技術の開発例 —



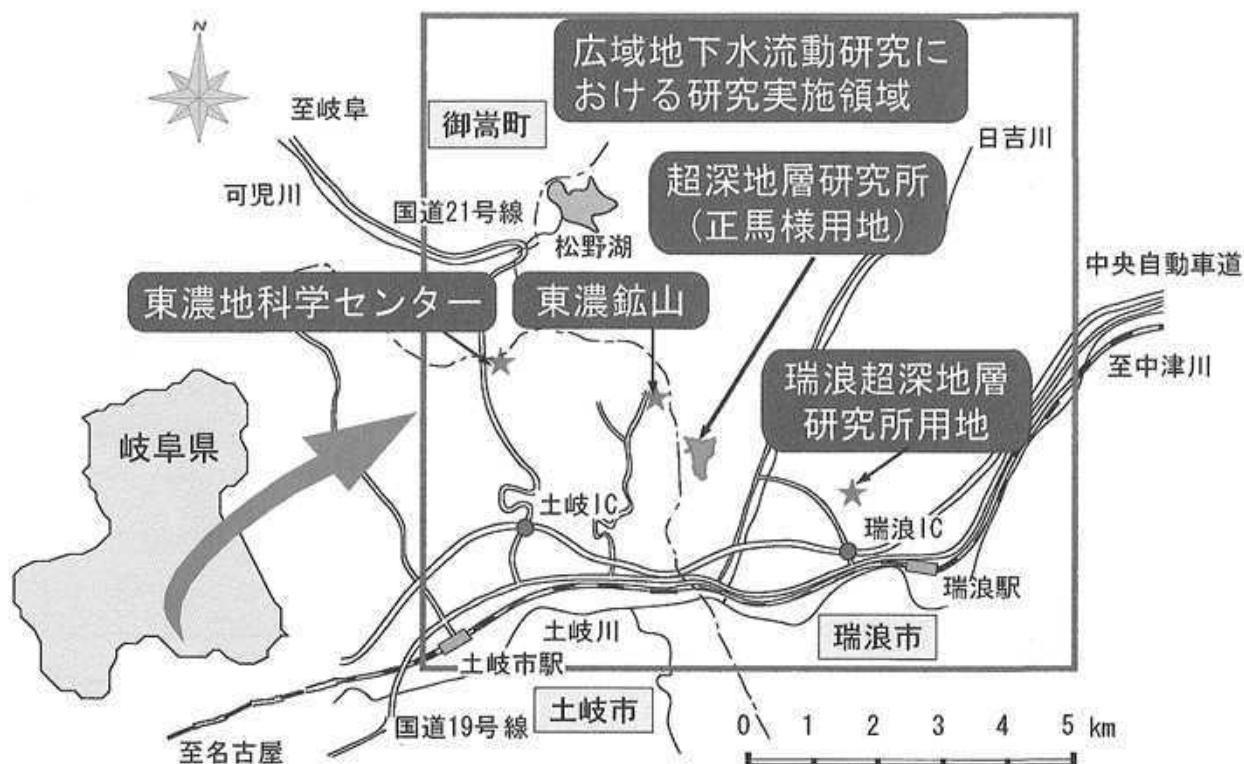
紀伊半島の泉温分布図およびMT法による深部比抵抗構造

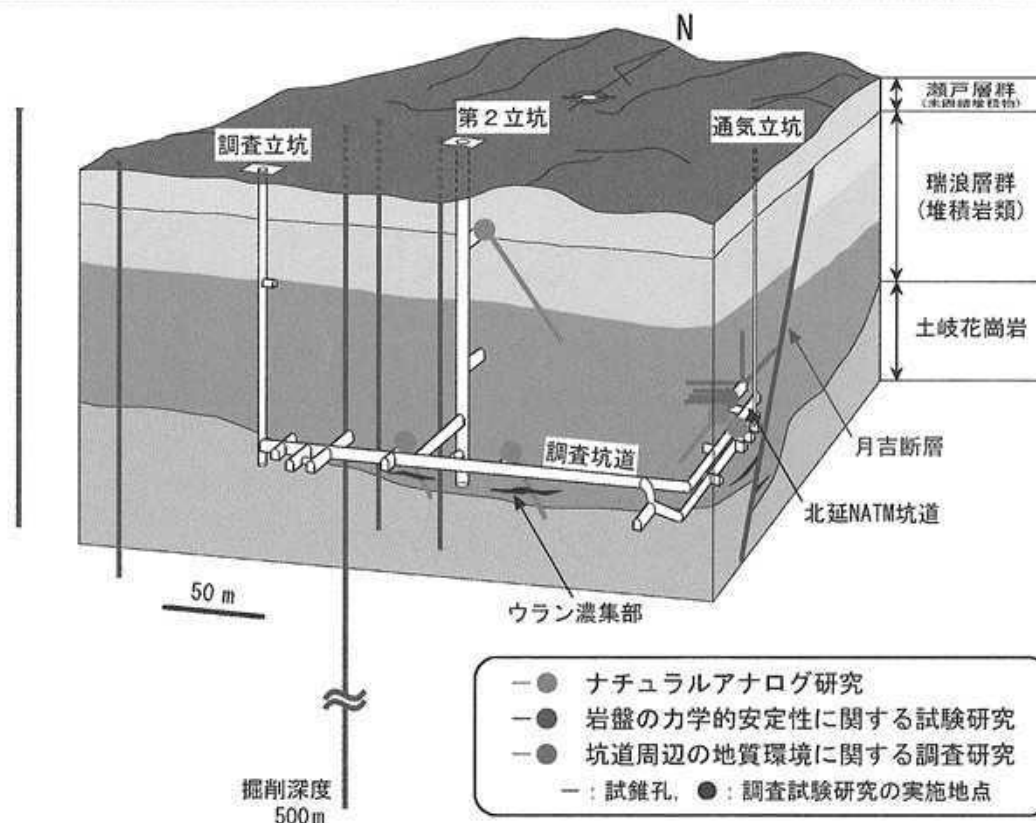
一三次元地形変化モデルの開発例



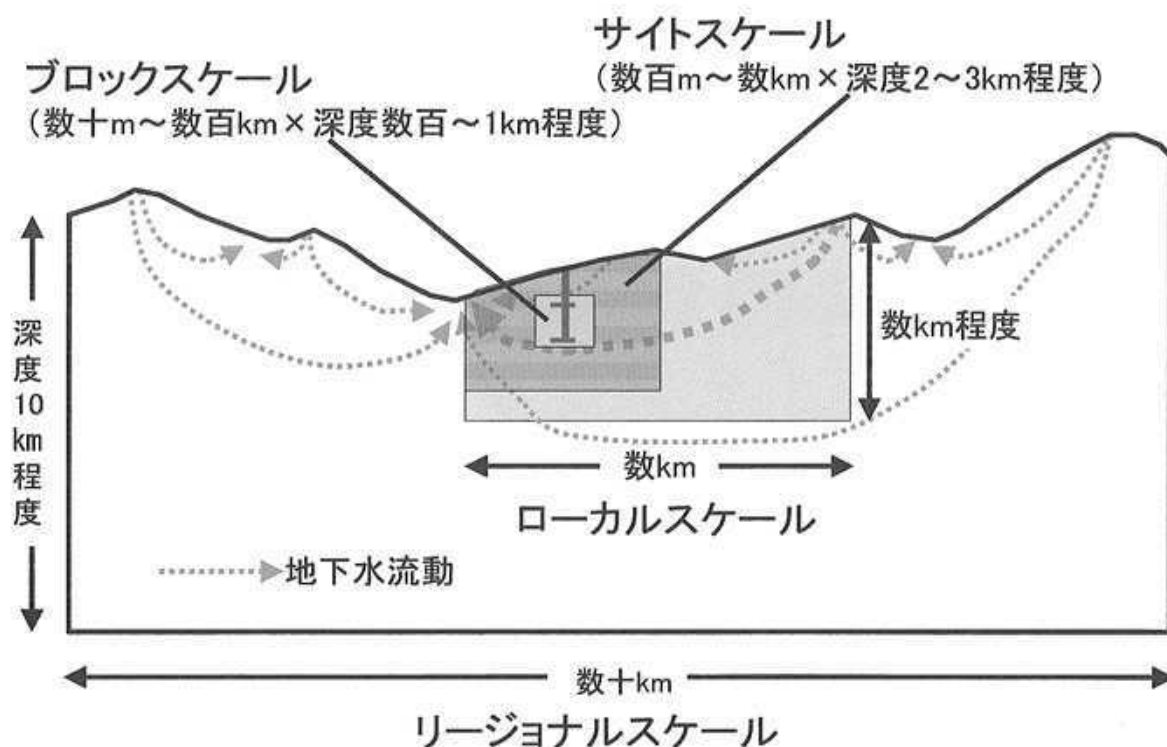
岐阜県瑞浪市北西地域の現在と12万年後の地形

地層科学研究の研究実施領域

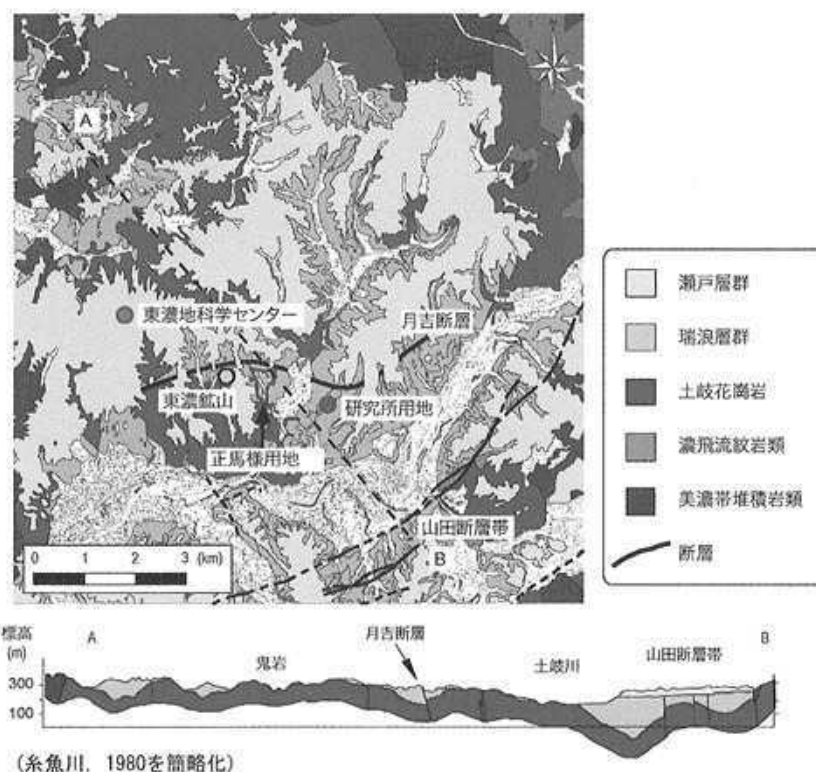


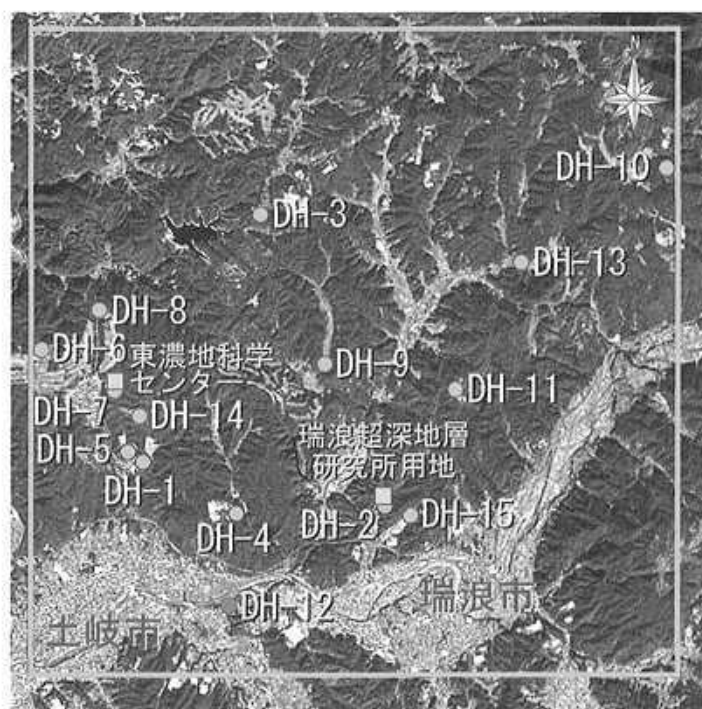


空間スケール概念



	空間スケール	面積	主な研究項目
広域地下水流動研究	広域スケール リージョナル スケール	数百km ²	大規模な地質構造 広域地下水流動 構造発達史
	ローカル スケール	数十km ²	岩体・地層の分布 主要な断層の分布と地質学的性状 地下水の主要な流動経路と水質分布 広域応力場
超深地層研究所計画	施設スケール サイト スケール	数km ²	主要な岩相の分布 断層・割れ目帯の分布と地質学的性状 断層・割れ目帯の水理特性と連続性 地下水の酸化還元境界・地球化学特性 の深度変化 岩盤の応力分布
	ブロック スケール	数百m ² ～数km ²	岩盤の物質移行特性 掘削影響領域の分布





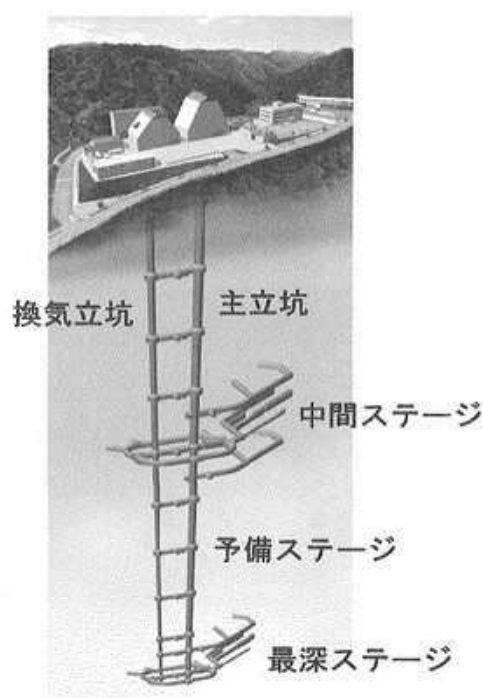
【主な調査項目】

- ・ 試錐調査
(物理検層, BTV, 水理試験, 地下水地球化学調査, 岩石鉱物試験など)
- ・ 物理探査
- ・ 表層水理観測
- ・ 地下水圧観測



超深地層研究所計画の目標

- 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



瑞浪超深地層研究所の研究坑道レイアウト

超深地層研究所計画のスケジュール

年度	2000	2005	2010	2015
● 第1段階（地表からの調査予測研究段階） ① 地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握 ② 研究坑道の詳細設計および施工計画の策定 ③ 研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査・研究計画の策定				
● 第2段階（研究坑道の掘削を伴う研究段階） ① 研究坑道の掘削を伴う調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握 ② 研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認 ③ 研究坑道を利用した調査・研究計画の策定				
● 第3段階（研究坑道を利用した研究段階） ① 研究坑道からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の予測 ② 深地層における工学的技術の有効性確認				

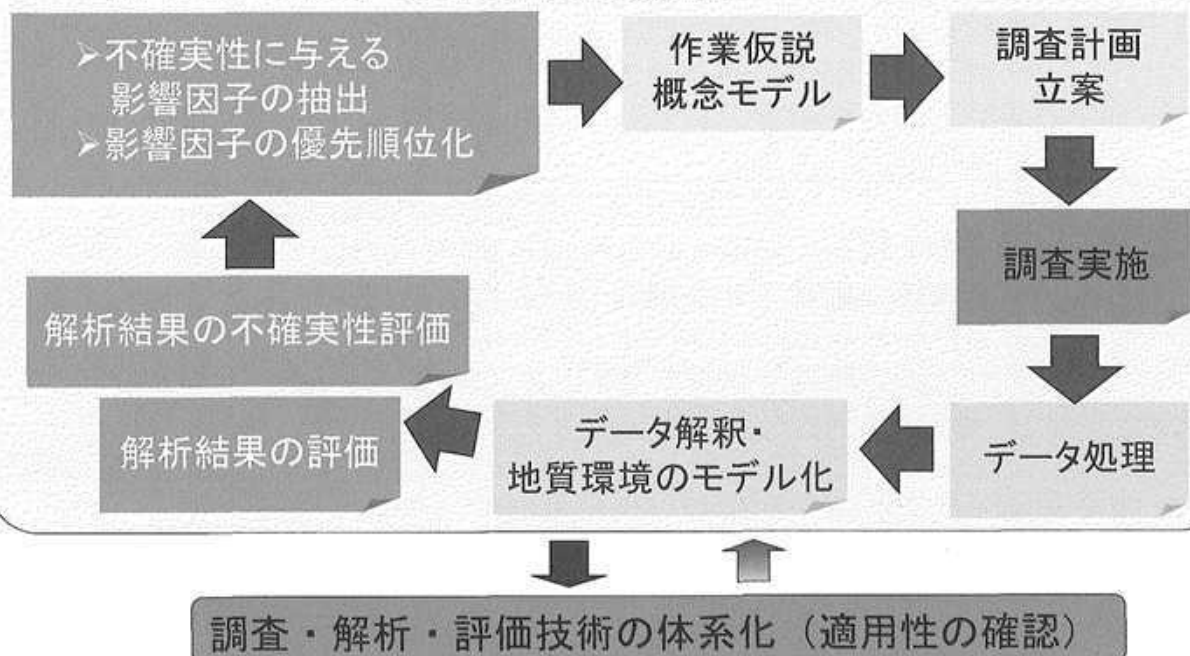
超深地層研究所計画の研究実施場所



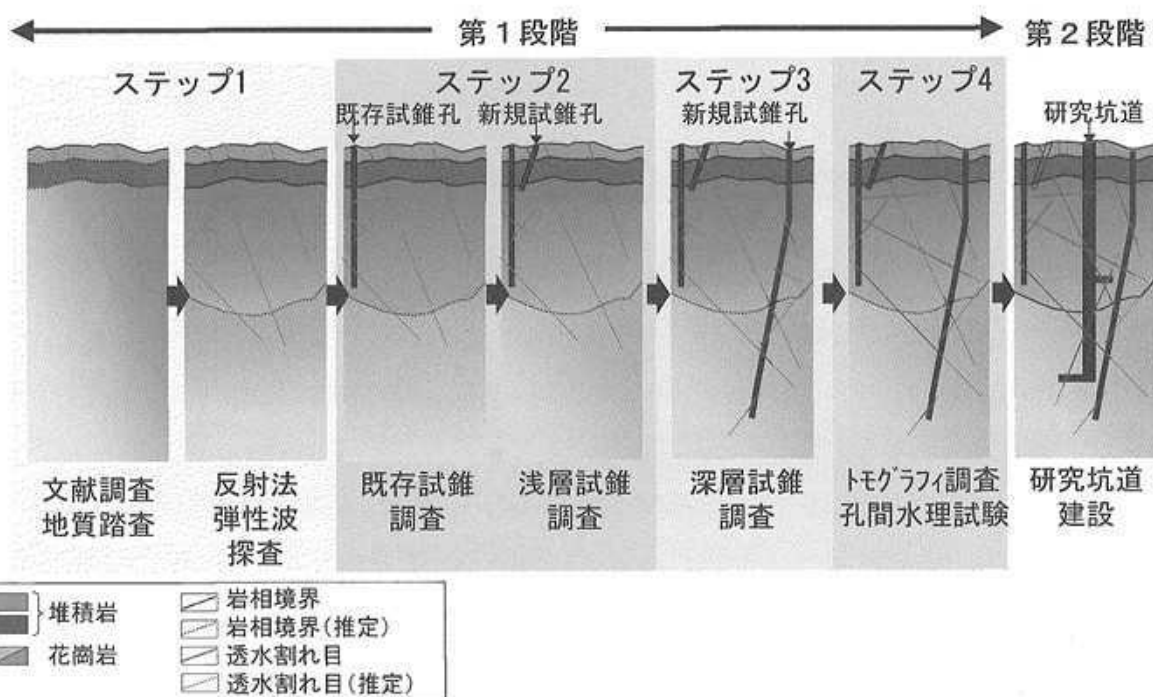
月吉断層周辺の水理研究と要素技術開発の場として活用する

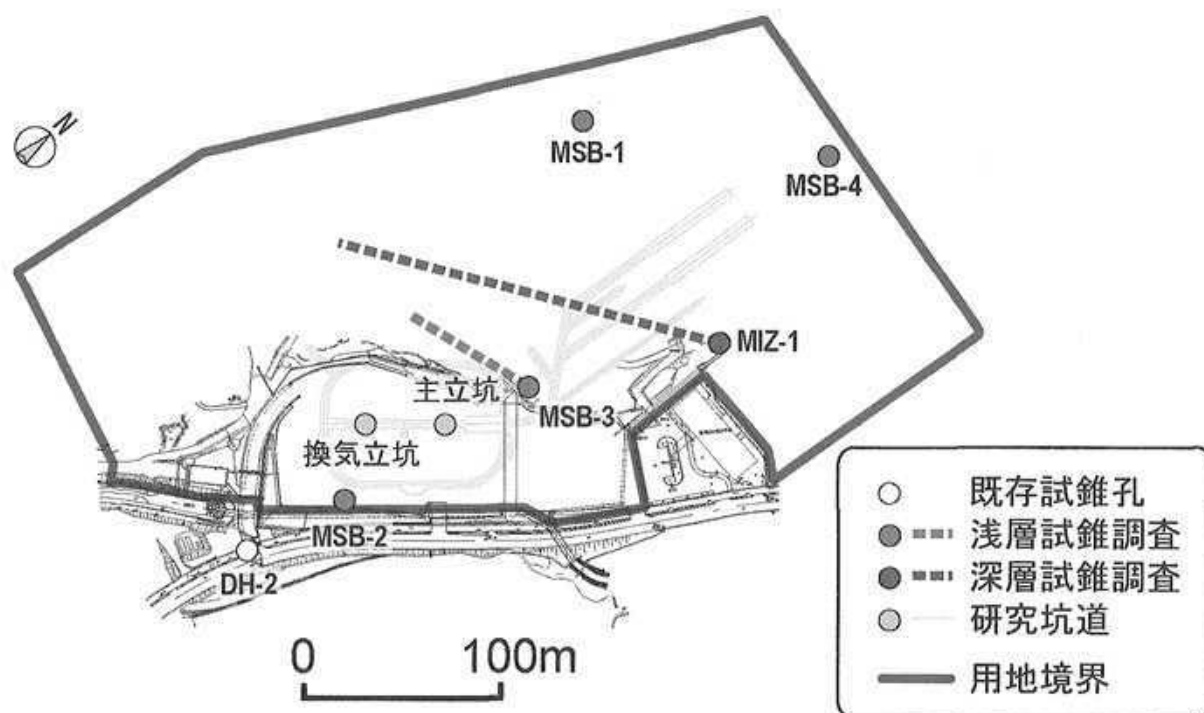
研究坑道の設置場所として、段階ごとに研究を進める

各調査・試験ごとに、段階的に、調査量に対する、理解度、情報の過不足、優先順位、を明確化

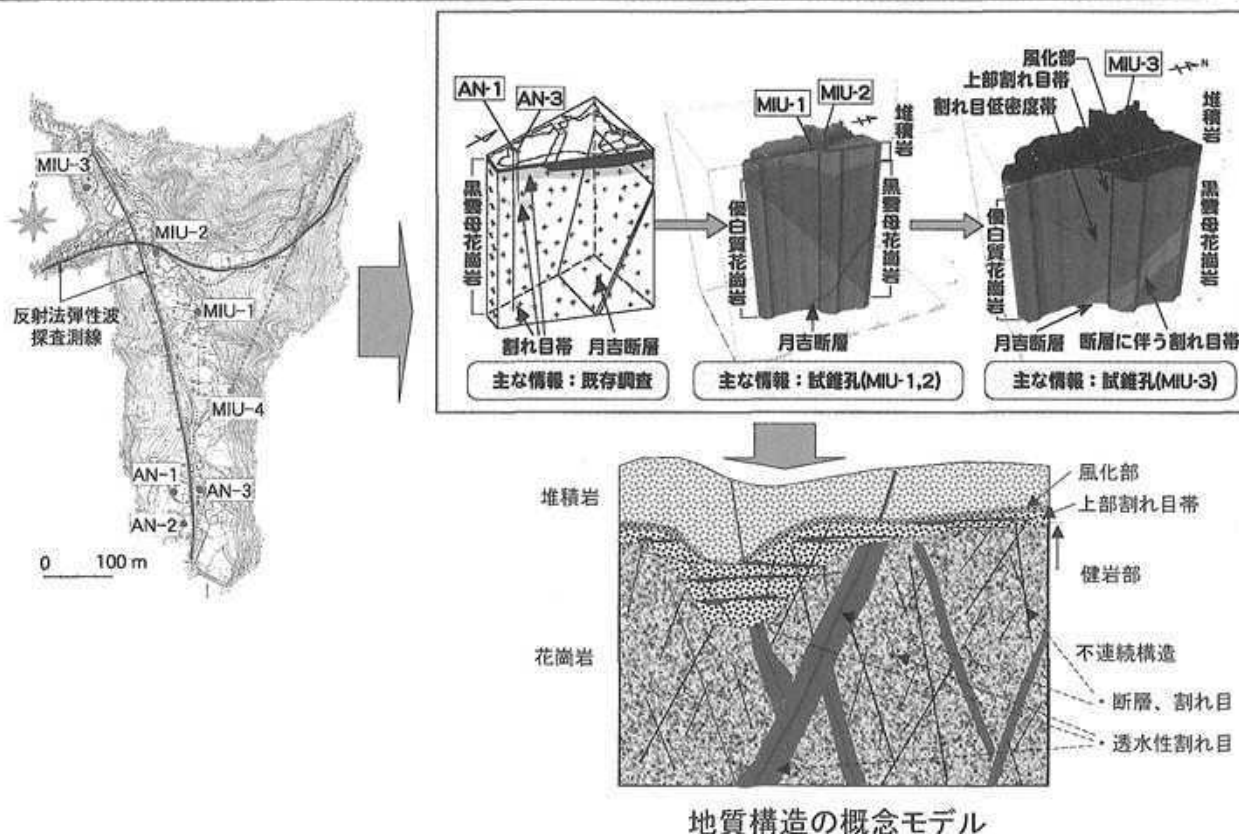


瑞浪超深地層研究所における 地表からの調査研究計画

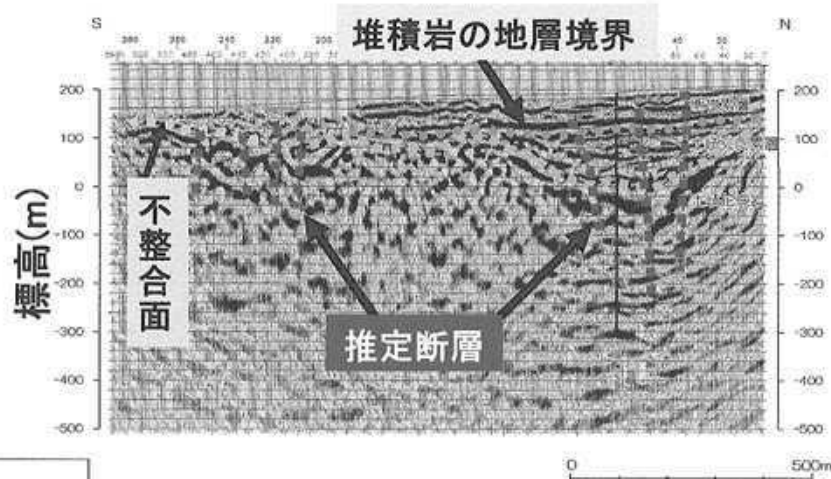




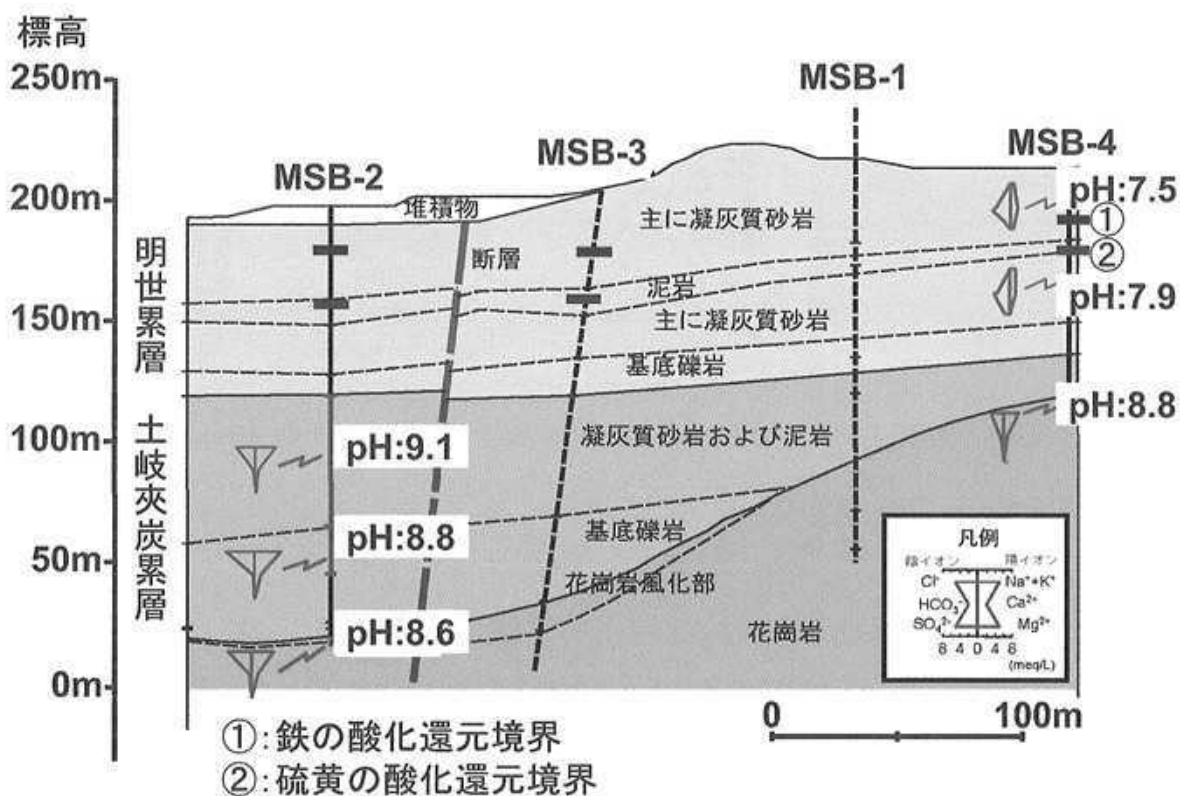
ステップ1: 文献調査 (既存情報の整理)



ステップ1: 反射法弾性波探査



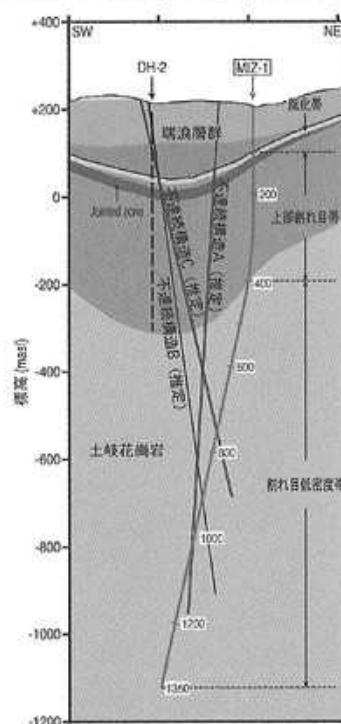
ステップ2: 浅層試錐調査



ステップ3: 深層試錐調査



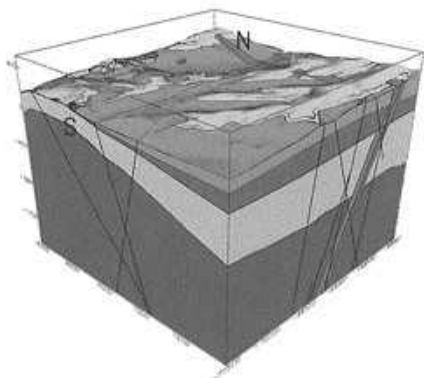
深層試錐調査現場風景
[予定掘削長: 1,350 m]
(2003年3月掘削開始)



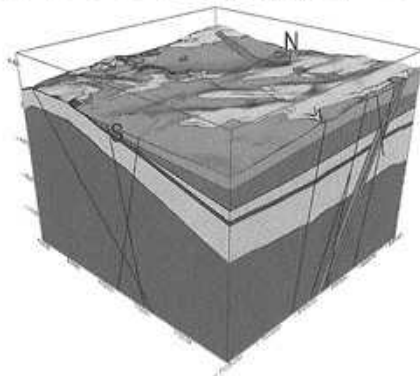
深層試錐調査位置における
不連続構造分布の推定(断面図)

地質構造モデル(ステップ1・ステップ2)

ステップ1の地質構造モデル



ステップ2の地質構造モデル



地下水流動解析による
重要な地質構造要素の
抽出

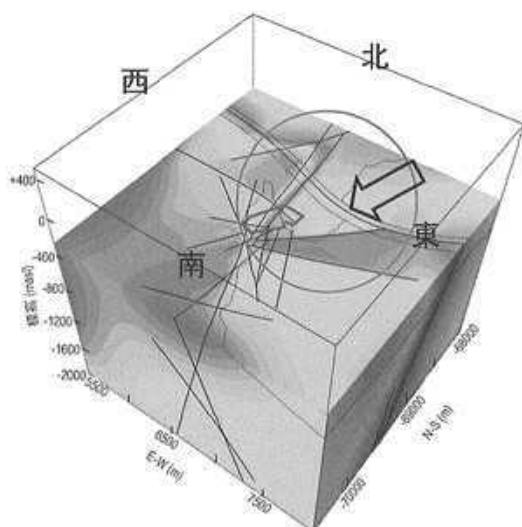
ステップ2の調査
研究の実施

地下水流動解析結果(ステップ1)

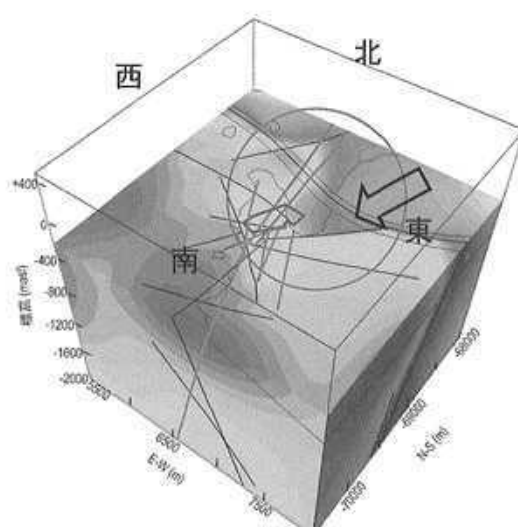
JNC

23

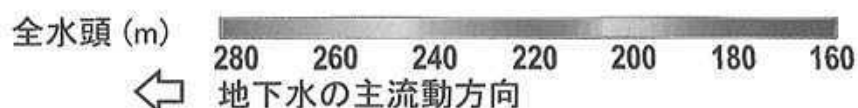
標高-300m(坑口からの深度500m)以深の水頭分布



全ての断層: 透水異方性有



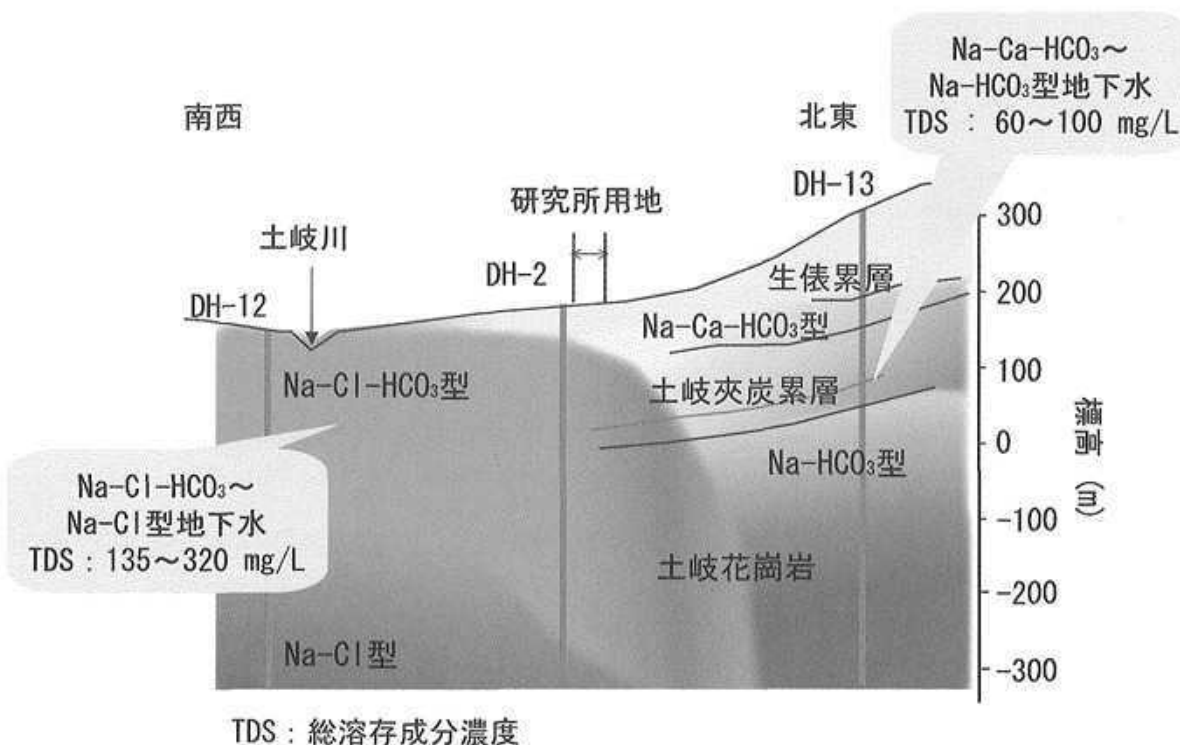
北北西系の断層(一): 高透水性



地下水の地球化学モデル(ステップ1)

JNC

24



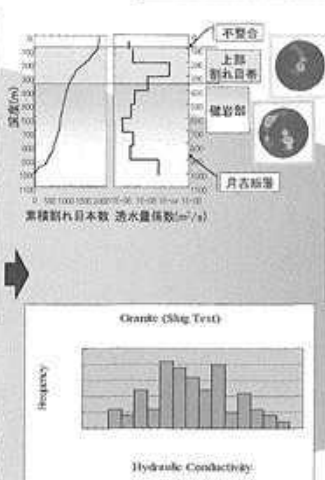
調査

生データ

解釈/
データセット

概念化/モデル化/
シミュレーション

結果/
反映先



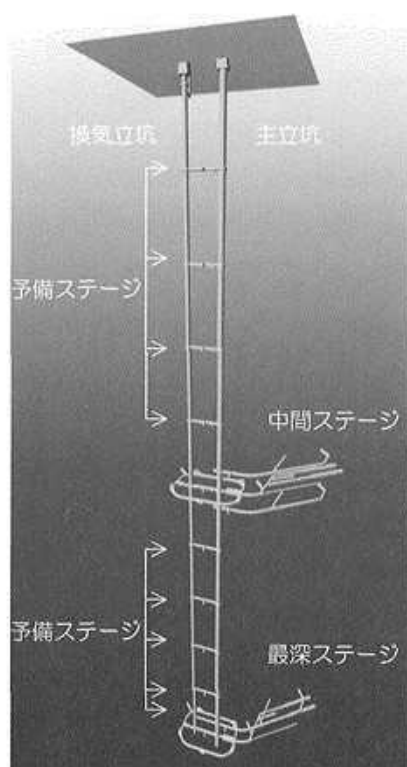
- サイト評価
- 設計・施工計画
- 調査研究計画
- 地質環境の理解

不確実性評価のためのアウトプット

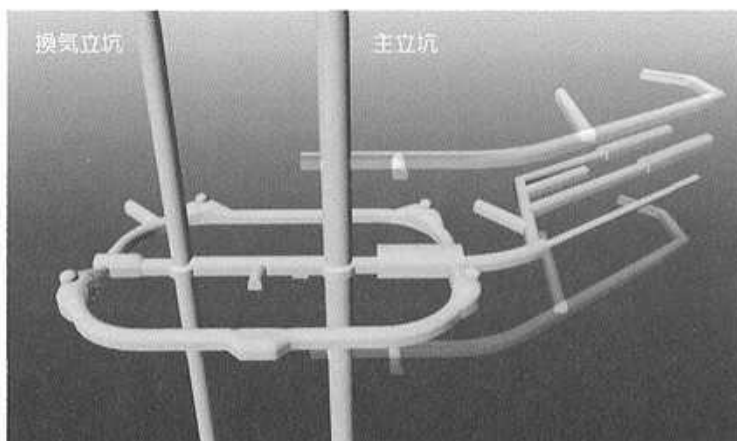
ねらい：結果/反映先を明確にし，そこまでの調査・解析・評価の道筋を効率化・最適化すること

調査研究スケジュール

年度	2001 平成 13	2002 平成 14	2003 平成 15	2004 平成 16	2005 平成 17	2006 平成 18
【第1段階】						
文献調査（既存情報の整理）	■					
反射法弾性波探査	■					
既存試錐調査		■				
浅層試錐調査		■				
深層試錐調査		■	■	■		
トモグラフィ調査 / 孔間水理試験				■		
モニタリング		■	■	■	■	■
【第2段階】						
研究坑道掘削		■	■	■	■	■
		▲造成	▲立坑掘削開始		●本格掘削	



アクセス方式：立坑方式
 アクセス坑道本数：2本
 アクセス坑道設置間隔：40m
 立坑形状：円形
 立坑内径：主立坑6.5m 換気立坑4.5m
 中間ステージ：深度500m
 最深ステージ：深度1,000m

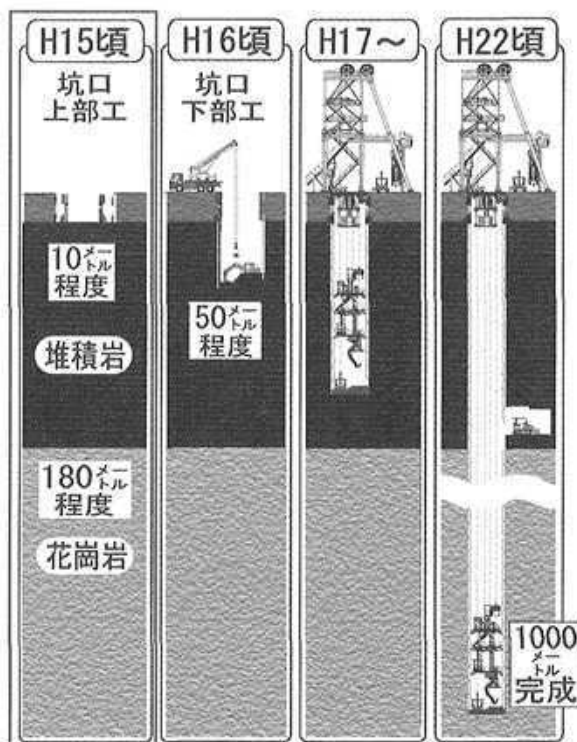


研究坑道の掘削を伴う調査研究段階

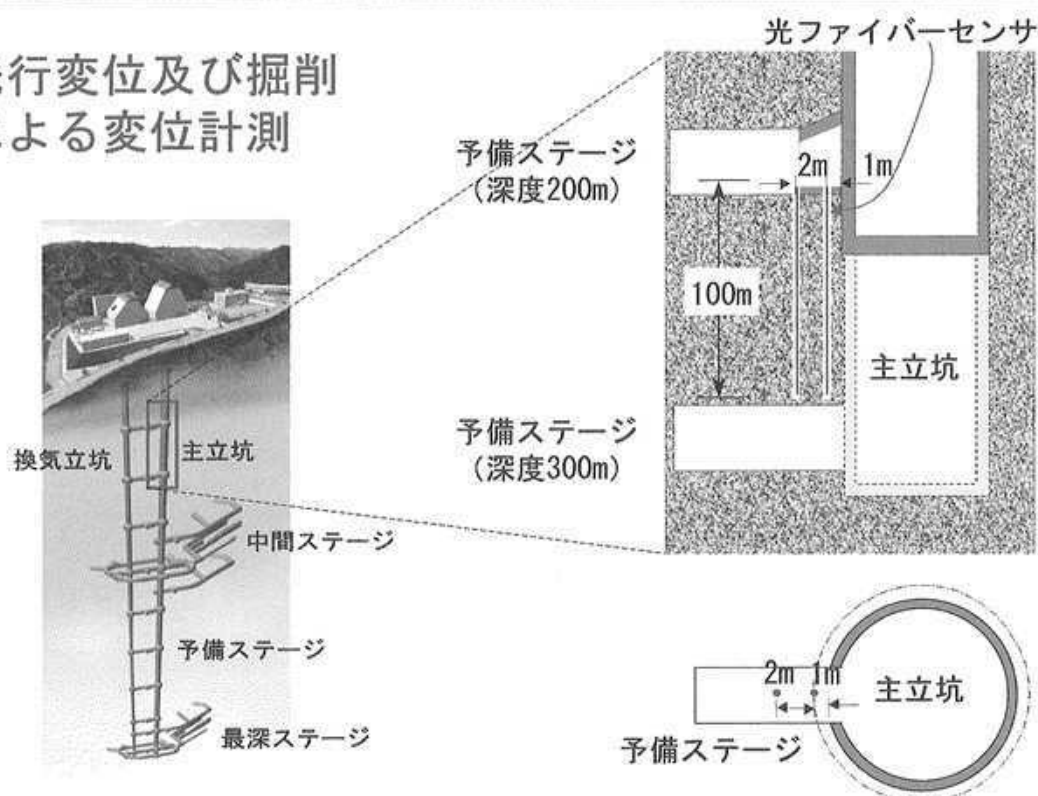
- 第2段階調査研究計画の具体化
- 施工対策技術や工学材料の開発・改良
- 掘削に伴う地質環境への影響修復・軽減技術の検討
- 櫓を使った研究坑道掘削に向けての地上施設等の整備



瑞浪超深地層研究所の研究坑道掘削現場風景(2004.2.12)



先行変位及び掘削 による変位計測



調査研究の品質管理

■ 研究計画・成果の品質管理

各種委員会での報告・評価

学会発表, 査読付き論文としての公開

■ 調査・施工における品質管理

- 品質管理マネジメントシステムの導入

- データベースによる技術情報・施工情報の管理

1. 瑞浪超深地層研究所における
段階的な調査とモデル化
2. 地表からの調査研究段階の
成果取りまとめ
3. 研究坑道の掘削と調査研究の推進

【個別技術報告】

幌延深地層研究計画の現状

幌延深地層研究計画の現状

核燃料サイクル開発機構
幌延深地層研究センター
副所長 山崎 眞一

1. はじめに

幌延深地層研究計画は、核燃料サイクル機構(以下、サイクル機構)が進めている深地層の研究施設計画の一つであり、新第三紀の堆積岩を対象とした研究計画である。

本研究計画では、地層処分技術の信頼性向上に向けて、「幌延を例とした地表から地下深部までの具体的な地質環境の提示」、その裏返しとしての地質環境調査技術や地層処分の工学技術、安全評価手法と言う「地層処分技術の実際の地質環境への適用による信頼性の確認」を技術目標に掲げている。また、一般の人たちを含めて多くの人たちに地下深部に入ってもらい、「深地層を実際に体験できる場として整備」することを社会的な目標に掲げている。

本研究の成果は、東濃地科学センターにおける地層科学研究の成果とともに、東海事業所で実施している地層処分研究開発、あるいは国際共同研究の成果と合わせて、実施主体が行う処分事業、国が行う安全規制等に反映される。

2. 計画の概要

幌延深地層研究計画は、調査研究の開始から終了まで 20 年程度の計画とし、「地上からの調査研究段階(第 1 段階)」、「坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階(第 2 段階)」、「地下施設での調査研究段階(第 3 段階)」の 3 つの段階に分けて実施する。地下施設は深度 500m 程度および地表との中間程度の深度に試験坑道を展開する計画である。幌延深地層研究計画における地層処分技術に関する研究開発として、深地層の科学研究(以下、地層科学研究)と地層処分研究開発を実施している。地層科学研究としては、地質環境調査技術開発、地質環境モニタリング技術開発、地質環境の長期安定性に関する研究、深地層における工学的技術の基礎の開発の 4 課題を、地層処分研究開発としては、処分技術の信頼性向上、安全評価手法の高度化の 2 課題を設定している。

3. 経緯

平成 10 年 12 月にサイクル機構から北海道および幌延町に「深地層研究所(仮称)計画」を申し入れ、主に北海道による検討を経て、平成 12 年 10 月に受け入れが表明され、11 月に北海道、幌延町、サイクル機構の間で「幌延町における深地層の研究に関する協定」を締結し、計画が発足した。これに引き続き、平成 13 年 4 月には幌延深地層研究センターを開設、拠点を構えての調査研究に着手した。平成 14 年 7 月には平成 13 年度の地上からの調査結果等に基づき、今後の調査研究の主対象領域である研究所設置地区を幌延町北部の北進地区に選定した。これに引き続き平成 15 年 3 月には研究所設置地区内において、地上/地下施設を建設するための用地を取得し、平成 15 年度に第 I 期の造成工事を行った。

なお、上述の幌延町における深地層の研究に関する協定では、「研究実施区域に放射性廃棄物を持ち込むことや使用することはない」、「深地層研究所を放射性廃棄物の最終処分を行う実施主体へ譲渡、貸与しない」、「研究終了後は地上の施設を閉鎖し、地下施設を埋め戻す」、「研究実施区域を将来とも放射性廃棄物の最終処分場とせず、幌延町にガラス固化体の中間貯蔵施設を将来とも設置しない」ことを約束している。

造成工事にあたっては、動植物への影響を調査評価し、必要な保全措置(エゾサンショウウオの卵塊の移設、ハイドジョウツナギの移植)を講じ、また、埋蔵文化財の存否の確認のための発掘調査を行った上で着工している。

今後の地下施設の建設スケジュールは、平成 16、17 年度の第 II、III 期の造成工事に引き続き、

平成 17 年度に立坑の坑口の整備を行い、平成 18 年度より本格掘削を開始し、平成 22 年度には完成の予定である。

4. 地質環境の特徴

幌延町は天塩堆積盆の東端部に位置し、幌延町の東縁部には白亜系の蝦夷層群や中生代の地層と中生代末に主に形成されたと推定される神居古潭帯に属する変成岩類、堆積性・構造的メランジェ(蛇紋岩等)が南北方向に分布する。それに対し幌延町の西部は、先新第三紀の地層を基盤岩とし、それらを中期中新世以降に堆積した新第三紀の地層(宗谷夾炭層、増幌層、稚内層、声間層)が不整合で覆う(保柳ほか、1986)。また、ほぼ南北方向の褶曲構造や断層構造が発達し、活断層、とう曲、傾動等の第四紀の新しい活構造も認められる。地下施設は稚内層および声間層中に建設するが、研究所設置地区の南西部には、砂質泥岩～泥質砂岩からなる勇知層が稚内層および声間層の上位に分布する。研究対象とする新第三紀の堆積岩は岩盤力学的には軟岩に分類され、水理学的には多孔質媒体に区分される。その地下水として「塩水系の地下水」と「淡水系の地下水」が存在すること及び、地下水には溶存ガスが存在することを確認しており、幌延深地層研究計画では、このような地質環境の特徴に着目して研究を進めている。

なお、これらの特徴は、東濃地科学センターで進めている超深地層研究所計画が、花崗岩を対象とし、硬岩、割れ目系媒体、淡水系地下水であることと対照をなしている。

5. 調査研究の進捗状況

平成 13 年に地上からの調査に着手し、これまでに地質調査、物理探査、表層水理調査、試錐調査を行ってきた。その過程で、例えば、水理試験機にガス存在対応として、ガス/水 2 相状態で揚水可能なポンプ、ガス/水分離槽の改良、定方位コア取得手法等の新たな調査手法の導入等、具体的に調査手法に工夫を加え、また、堆積岩中に掘削した試錐孔は自立性が低いことから、試錐孔を用いた試験に加え、試錐コアからの地下水の抽出等の試錐コアを用いた試験を組み合わせ、ガスが存在する軟岩である泥岩中の地質環境データを取得してきた。

平成 15 年度においては、研究所設置地区およびその周辺を主対象に、3 本の深層試錐調査、物理探査、地質調査、表層水理調査を実施した。これらの調査により、研究の対象としての地質環境の特徴が理解されつつある(サイクル機構、2003)。

地層は極めて単調な珪藻質の泥岩であり、上位の声間層では珪藻遺骸が良く保存されているが、続成変質の進んだ稚内層では一般に形をとどめない。調査地域には大曲断層が分布しているとされているが、これまでの地表踏査や物理探査、試錐調査ではその位置や特徴を特定できていない。これら泥岩はこの時代(新第三紀)の泥岩として一般的な岩盤力学強度を有しているがその異方性は大きい。地下水水質については、浅部は淡水系の地下水、深部は塩水系の地下水が存在するが部分的には比較的深部まで地表水の浸透が確認されている。また、地下水は試錐孔の位置や深度により特徴的な水素/酸素同位体比分布を示す。地下水にはメタンを主体とし、一般的に二酸化炭素を伴うガスが溶存している。これら泥岩は割れ目が発達している区間においても一般に低い透水性を示すが、部分的にはこれより 4 桁以上高い透水性を示す区間があること、また、局部的ではあるが非常に高い水圧を有する被圧地下水が存在することが確認されている。これらの知見については、色々な面から整合的に説明できることがその信頼性を高めるために重要となる。これまでに、例えば、地層の比抵抗分布が岩芯から抽出した間隙水の水質分布と矛盾がないといった検討を進めている。

地質環境モニタリング技術の開発では、これまでに掘削した試錐孔へ順次長期モニタリング機器の設置を行い、地下水の圧力計測を実施中である。各区間の設置当初の圧力は水頭換算で 0～+20m 程度であるが、一部区間で低い水頭値を示す。

地質環境の長期安定性に関する研究では、地震計、地殻変動観測用の GPS 観測機器、電磁探査機器を設置して観測を継続実施中である。地震観測では、地下深部が地表に比較して揺れが小

さいことを示す実証的なデータが蓄積されているが、一方で、宮城県北部地震や十勝沖地震のような遠方の地震では、地表、地下での揺れがほとんど変わらないと言う興味深いデータも取得されている。この他、海成の段丘堆積物の分布から海岸線などの古地形の変遷を明らかにすることを試みている。

深地層における工学的技術の基礎の開発では、選定した研究所設置地区を対象として地下施設の基本レイアウト、基本的な施工計画を検討してきている。平成 17 年度の坑口整備に向けて、平成 15 年度には地下施設の基本設計、平成 16 年度には実施設計を行うこととしている。

処分技術の信頼性向上では、人工バリアの搬送定置や支保工材料、坑道閉鎖、周辺岩盤を含む人工バリアの長期挙動に関して、第 2 段階以降に地下施設で行う試験計画(目的、内容、レイアウト等)の検討を進めている。併せて、計画の具体化のために、低アルカリ性コンクリート材料の施工性等に関する室内試験を実施しているほか、地下施設深部で遭遇する塩水系地下水環境における緩衝材の力学的特性を把握するため、幌延の試錐孔から採取した実際の地下水等を用いた室内試験を実施することとしている。また、第2次取りまとめで示した人工バリア設計手法の実際の地質環境への適用性を検討する観点から、幌延の地質環境データを用いた人工バリアの試設計に関する検討等を行っている。

安全評価手法の高度化では、研究所設置地区及びその周辺地区について、文献情報や試錐調査等から得られるデータを用いて、取得データの安全評価への取り込み方法や取得データが増えることによる解析結果への効果、その不確実性の変化等について確認し、安全評価において扱うべき重要な地質環境データの項目や現象の整理ならびにデータに求められる量や精度等を明らかにするための研究課題の整理を行っている。また、幌延の試錐コアのうちで割れ目を含むコアを用いた水理/トレーサ試験のほか、試錐コアを用いた核種の収着試験を実施している。

6. おわりに

幌延深地層研究計画における深地層での研究を通じて得られた成果としての技術や知見は、処分事業の推進や国が進める安全基準等の具体化に反映するとともに、多くの人々に深地層やそこで行われる研究を実際に見て体験して頂くことにより、深地層の環境や地層処分について理解を深める場としての整備を進めていく。また、研究を進めるにあたっては、広く国内外の機関の参加と協力を得ながら、開かれた研究を推進する。

参考文献

- 保柳康一、宮坂省吾、渡辺 寧、木村 学、松井 愈(1986):衝突帯のタービダイト相形成とテクトニクス-中新世・中央北海道の例-, 地研専報 31, pp.265-284.
- 核燃料サイクル開発機構(2003):平成 15 年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2003-002.

【個別技術報告】

幌延深地層研究計画の現状

地層処分技術に関する研究開発報告会
—処分技術の信頼性向上のための基盤整備に向けて—

平成16年2月26日 津田ホール

核燃料サイクル開発機構 幌延深地層研究センター

山崎 眞一

幌延深地層研究計画の目標

幌延を例とした地表から地下深部までの具体的な地質環境の提示

地層処分技術の実際の地質環境への適用による信頼性の確認
地質環境調査技術
地層処分の工学技術
安全評価手法

深地層を実際に体験できる場として整備



地層処分技術の信頼性向上

幌延深地層研究計画の現状



幌延深地層研究計画の経緯

- 平成15年7月11日
 - ・「造成工事」着工
- 平成15年3月
 - ・幌延町及び幌延町農協との土地売買契約締結
- 平成14年7月
 - ・幌延町北進地区に「研究所設置地区」を選定
- 平成13年4月
 - ・幌延深地層研究センター開設
- 平成13年3月、4月
 - ・北海道、幌延町に「地表から行う調査研究(第1段階)計画」、「平成12年度調査研究計画」及び「平成13年度調査研究計画」を説明、調査研究に着手
- 平成12年11月
 - ・北海道、幌延町、サイクル機構で「幌延町における深地層の研究に関する協定」を締結
- 平成10年12月
 - ・北海道及び幌延町に「深地層研究所(仮称)計画」を申し入れ

地上からの調査 (平成13～17年度)

	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16, 17年度
調査場所	幌延町内	研究所設置地区ほか	研究所設置地区ほか	研究所設置地区ほか
地質調査	地表地質調査			
物理探査	・ヘリコプター調査 (電磁、磁気、γ線) ・MT/AMT	地震探査 (反射法、VSP法)	精密AMT	精密地震探査 (反射法、VSP法)
表層水理調査	・表層水理の特徴の整理 ・冬季河川流量測定 ・積雪面蒸発量測定	・河川流量計設置、観測 ・電気伝導度計設置、観測	・気象観測 ・河川流量観測 ・河川水水質観測 ・降水水質観測	・気象観測 ・河川流量観測 ・河川水水質観測 ・降水水質観測
試錐調査	720m × 2孔 (垂直孔)	520m × 3孔 (垂直孔)	470m, 520m, 620m 各1孔 (垂直孔)	4孔, 掘削長約2,500m

研究所設置場所と調査位置

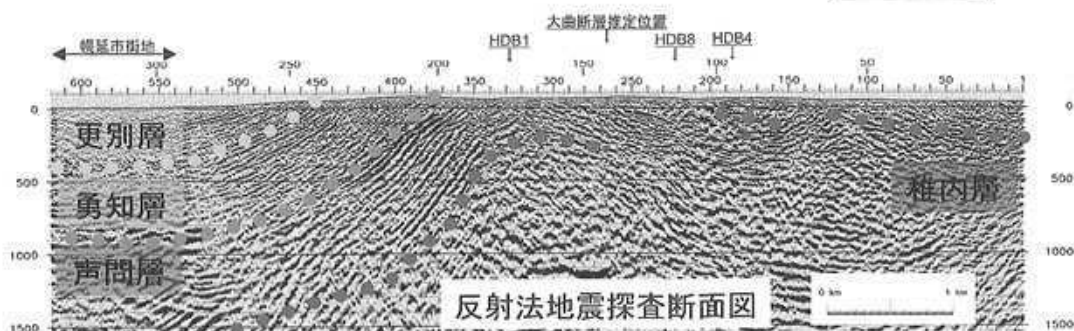
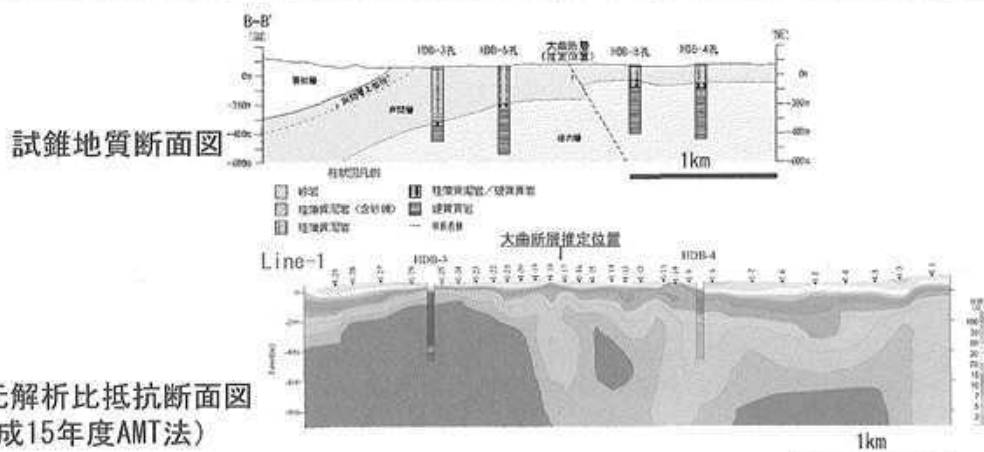


国土地理院 1/25,000地形図 (幌延、本流、豊富) を使用

凡例

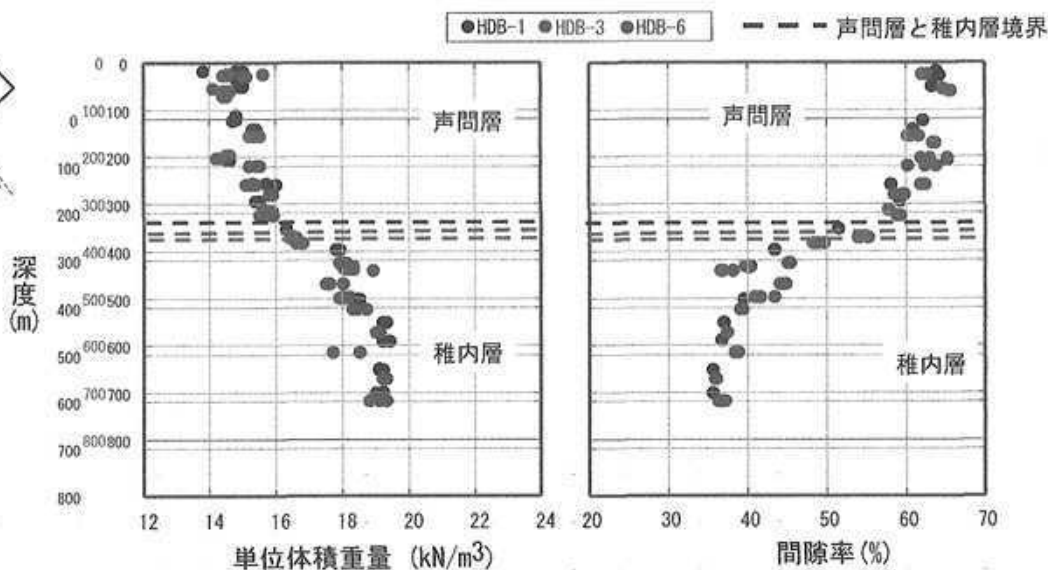
- 平成15年度試錐孔
- ▲ コントロールボーリング
- 平成14年度試錐孔
- 平成13年度試錐孔
- 電磁法 (AMT法) 探査測線 (H15)
- 反射法地震探査測線 (H14)
- ★ 河川流量観測システム設置位置
- 研究所設置場所

地質－電磁法－反射法断面図の比較



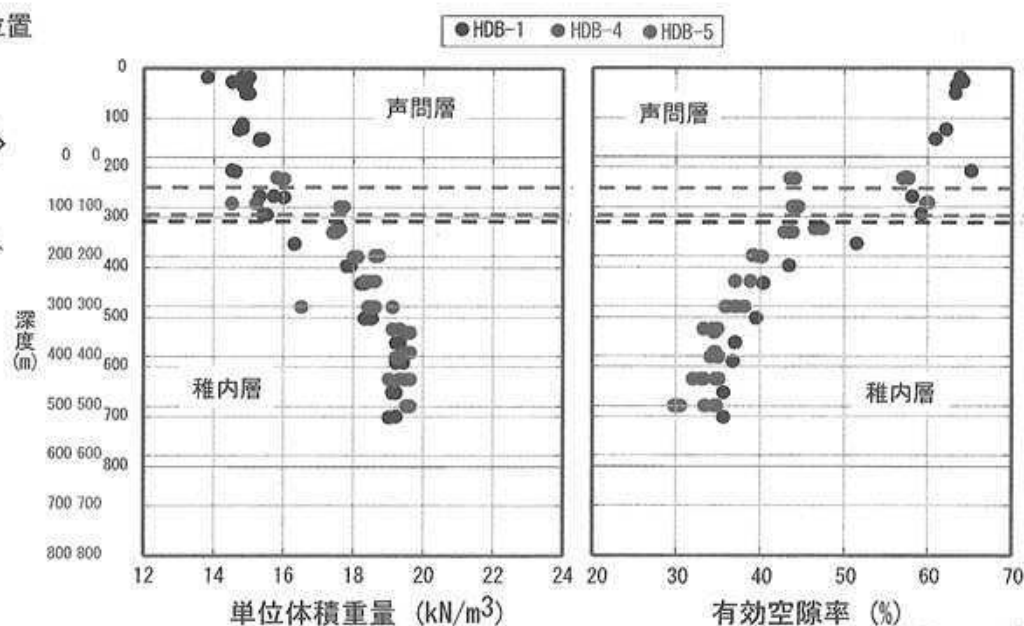
岩盤物性値の深度分布 (HDB-1,3,6孔)

試錐孔の概略位置

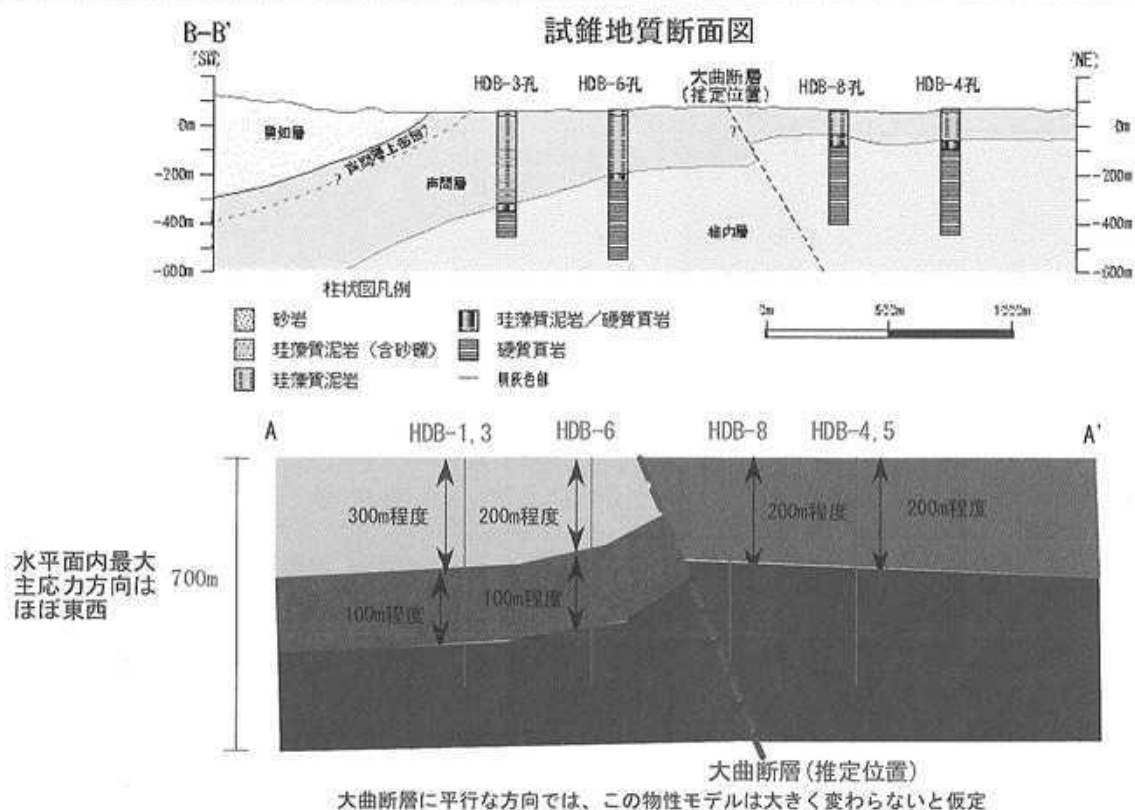


岩盤物性値の深度分布 (HDB-1,4,5孔)

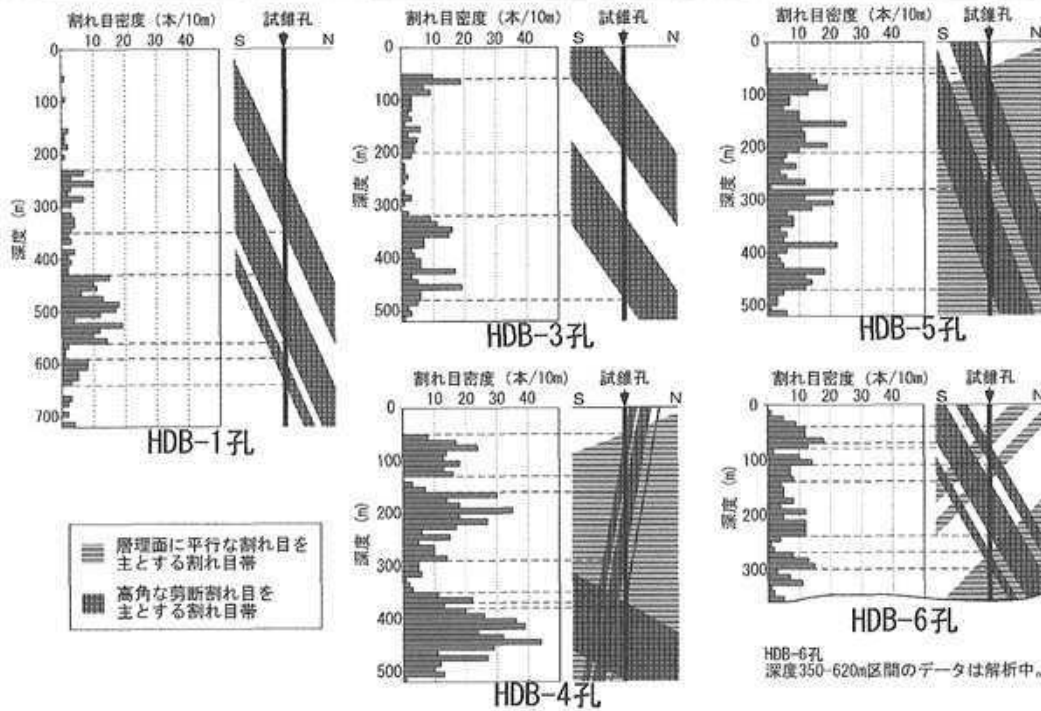
試錐孔の概略位置



岩盤力学的概念モデル



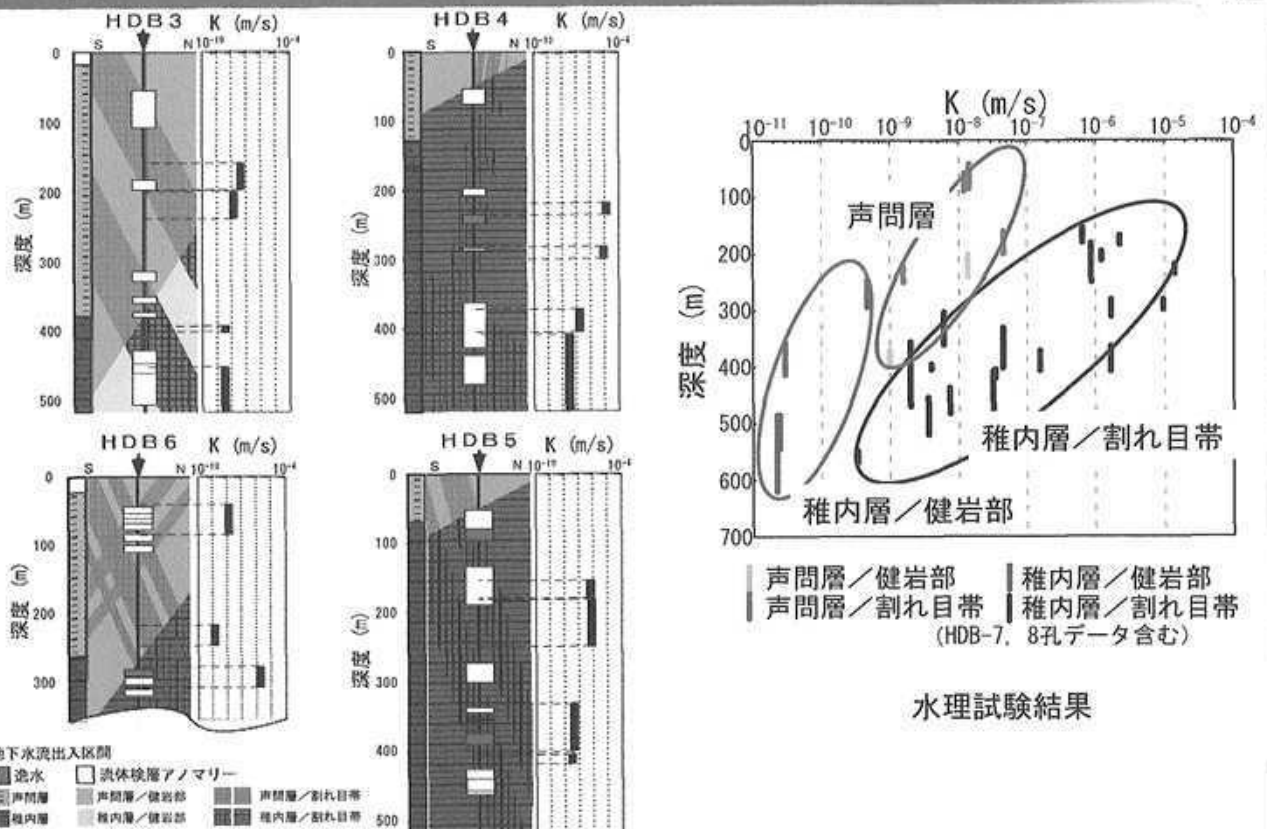
割れ目の分布



割れ目の方向・成因から推定される割れ目の分布

割れ目データはコア観察および孔壁画像検層結果を利用

岩盤の水理地質学的特性



電気伝導度検層結果と地下水水質

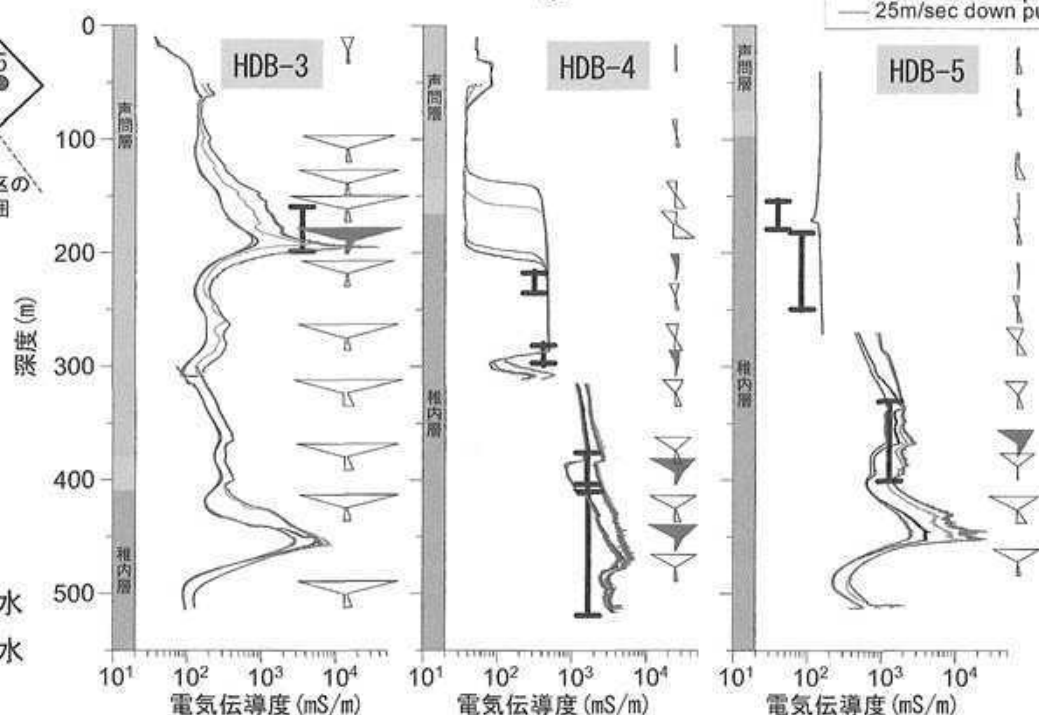
JNC

13

試錐孔の概略位置



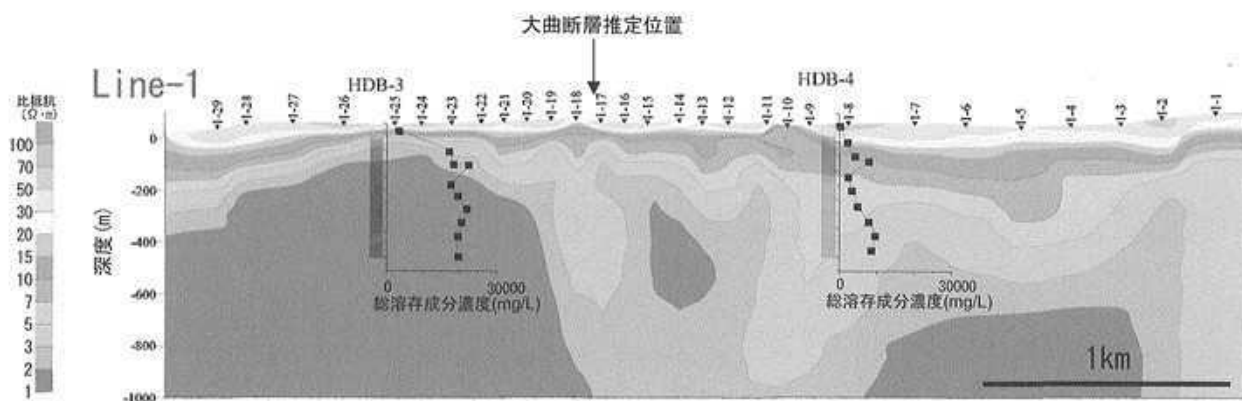
◇ : 間隙水
▲ : 地層水

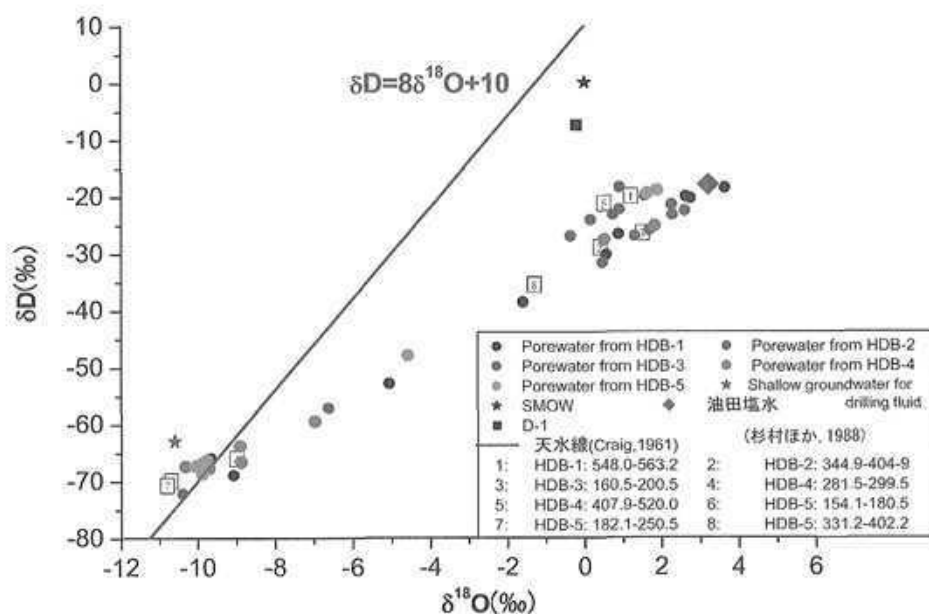


比抵抗分布と間隙水の水質

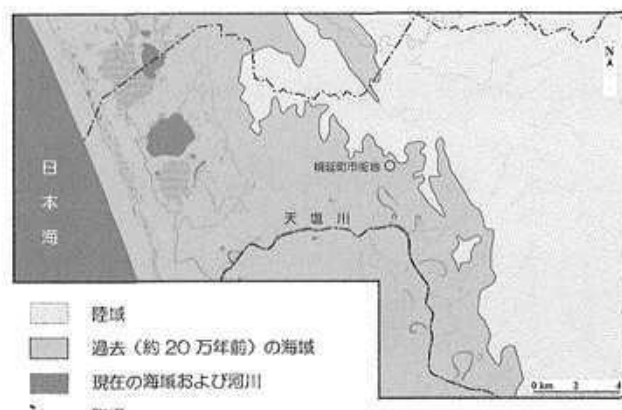
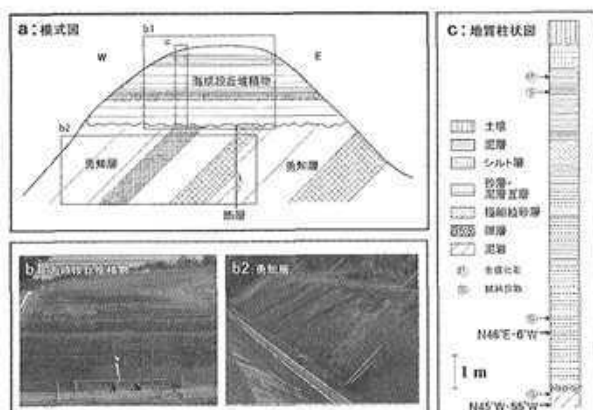
JNC

14





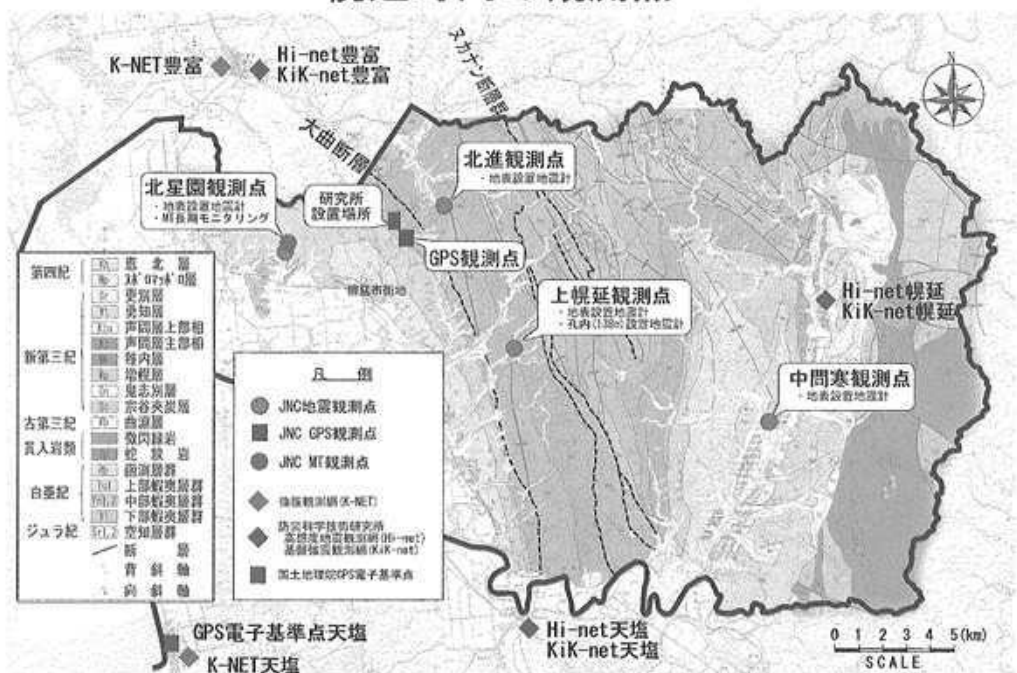
過去の海岸線の復元



西傾斜の礫層を水平な段丘堆積物が不整合に覆う

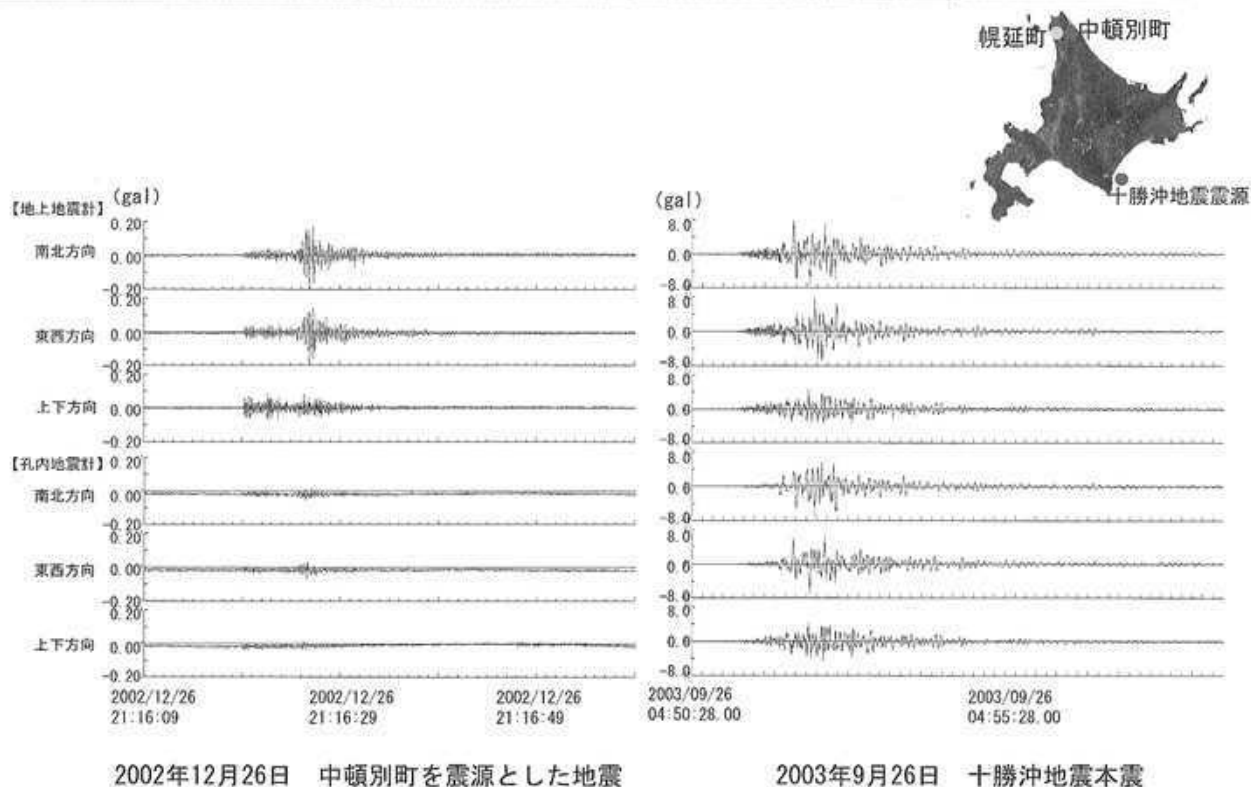
約20万年前の幌延町周辺の海岸線(段丘面, 旧汀線, 堆積物から推定)

幌延町内の観測点



国土院1/50,000地形図(稚内、豊富、上猿払、天塩、雄信内、敏音知)を使用

地震観測記録の例



第2次取りまとめで示された課題

- ・現象理解と長期挙動予測手法の信頼性確認
- ・具体的地質環境への適用性確認

【処分技術開発】

- 施設設計・建設
 - ・施工計画と施工実績の比較による事前設計の妥当性評価など
- 操業・閉鎖
 - ・坑道・試錐孔の閉鎖技術の確認など
- 人工バリア設計・施工
 - ・具体的地質条件での設計・施工など
- 人工バリアの長期挙動評価
 - ・再冠水時の挙動評価
 - ・劣化変質評価など

【安全評価研究】

- 天然バリア安全評価の信頼性向上
- 人工バリア安全評価の信頼性向上
- 安全評価用データの拡充
 - ・分配係数、拡散係数等の取得など

原位置試験

- ①人工バリア試験 (THMC試験)
- ②緩衝材/岩盤クリープ試験
- ③ガス移行挙動試験
- ④オーバーパックの腐食試験
- ⑤セメント影響試験
- ⑥低アルカリ性コンクリート
施工性確認試験
- ⑦定置精度確認試験
- ⑧坑道閉鎖試験
- ⑨天然バリア中のトレーサ試験
- ⑩人工バリア中のトレーサ試験

地下施設設計における基本方針

安全性の確保

- ・岩盤特性に応じた空洞安定性の評価
- ・防災対策（可燃性ガス対策、火災対策等）

研究環境の確保

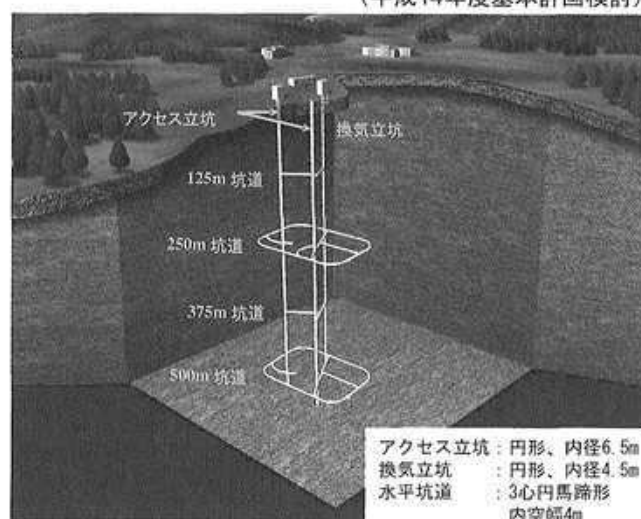
- ・試験研究に必要な空間の確保
- ・試験の効率的な実施

一般の人々が深地層を体験できる場として公開

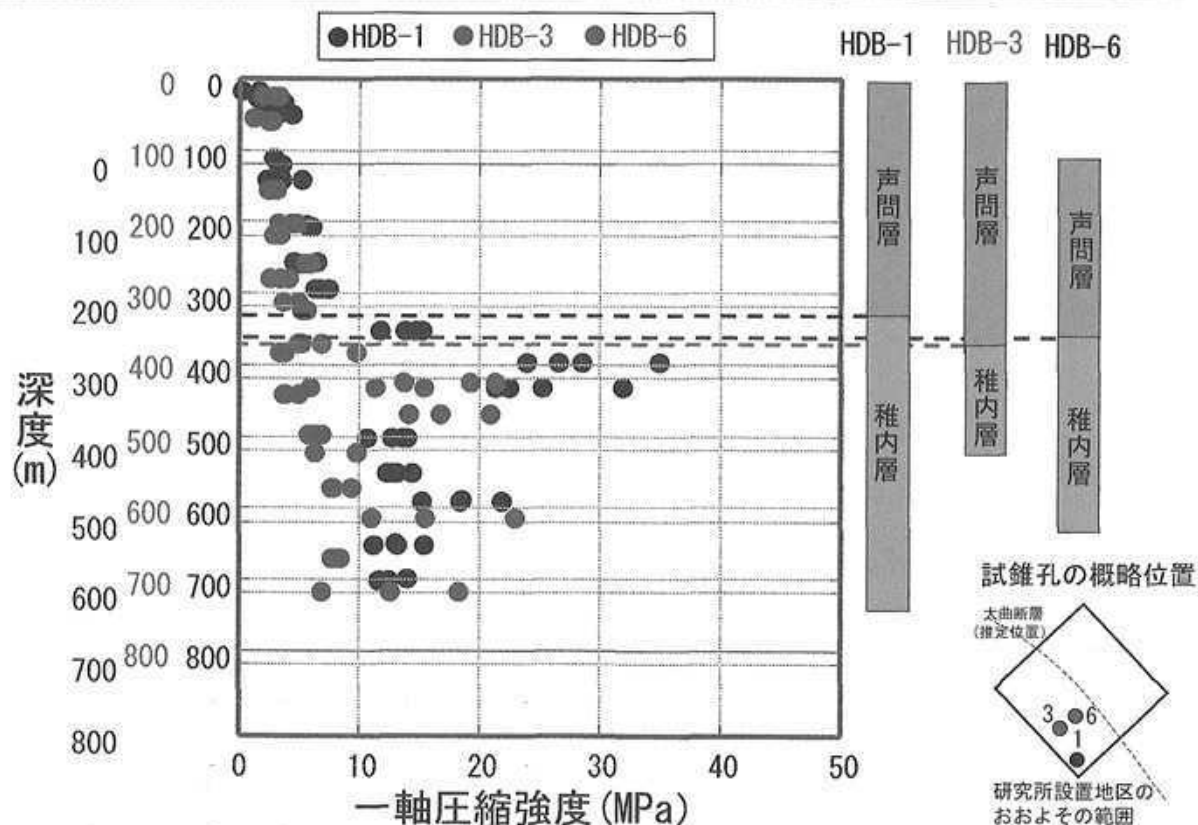
経済的かつ合理的な設計・施工計画の策定

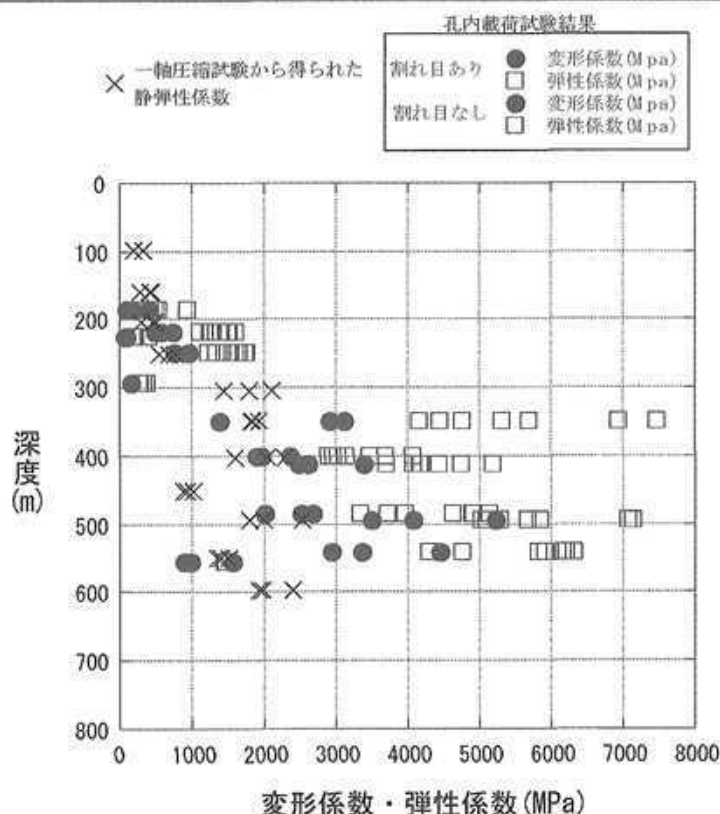
立坑本数	3本 (7ヶ所×2本、換気1本)
立坑深度	500m 目途
周回坑道	
設置深度	深度250m・500m
規模	長辺180m、短辺110m 総延長1,600m程度
曲率半径	半径30m (レール工法を想定)
方向	長辺を最大主応力方向に配置
連絡坑道	深度125m・375m 総延長200m程度
離間距離	立坑間70mの正三角形配置 その他坑道間掘削径の3倍以上
換気立坑	坑口から分岐した扇風機坑道を 設置

(平成14年度基本計画検討)



一軸圧縮強度の深度分布 (HDB-1,3,6孔)





岩盤特性に応じた空洞安定性の評価

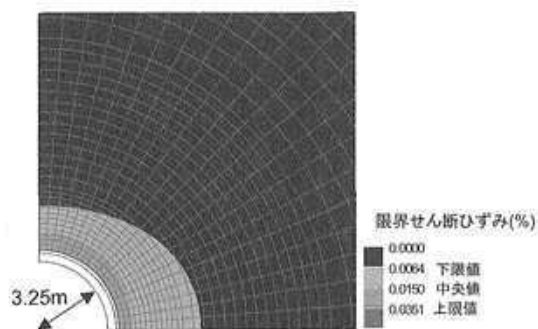
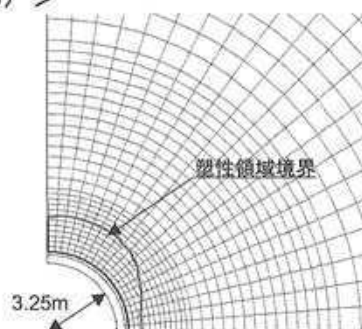
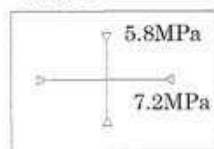
塑性領域図・最大せん断ひずみ分布図 (2次元弾塑性FEM解析)

<アクセス立坑 (深度340m部)>

塑性領域図

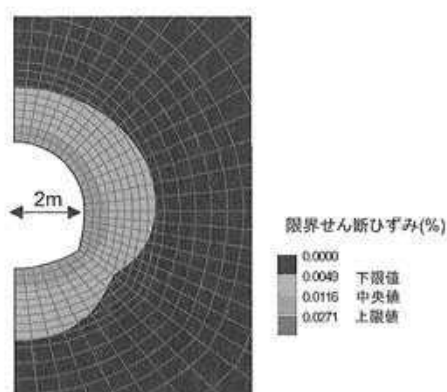
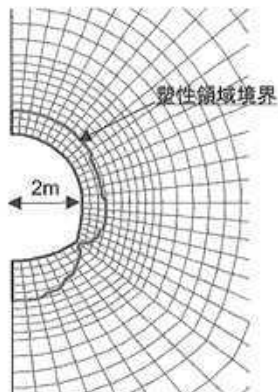
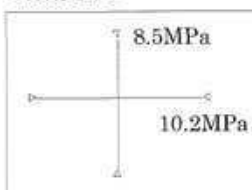
最大せん断ひずみ分布図

<初期地圧>



<水平坑道 (深度500m部)>

<初期地圧>



(可燃性ガス対策の一例)

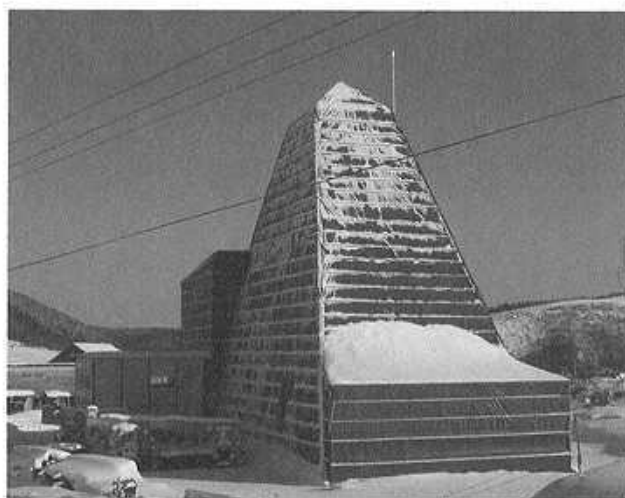
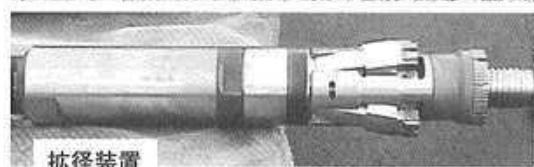
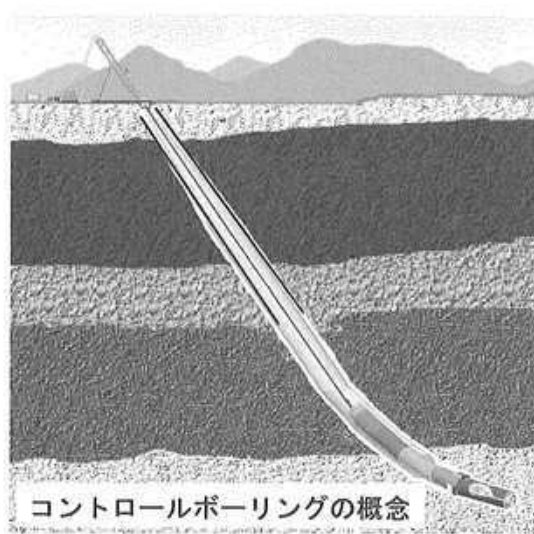
検討項目

- ・可燃性ガス対策
- ・換気風量
- ・通気システム
- ・坑内環境対策
- ・火災時対策等

項 目	目 的	対 策 等
ガス湧出量	ガス湧出量の予測	数値解析による予測結果 ガス主成分 メタンガス ガス湧出量 2～3m ³ /分
坑道配置	爆風による換気設備の破損防止	換気立坑坑口から分岐した扇風機坑道の設置(石炭鉱山等の事例を参考)
換気方法	ガス排出効果の高い換気方法の採用	吸出換気方式の採用 定常時：ガス排出効果 非定常時：ガス発生抑制効果
換気風量	ガスの希釈および滞留の防止	ガス管理濃度0.25%、風速0.5m/sを確保できるファンの採用
設備防爆化	ガス爆発防止	立坑：切羽から立坑櫓スカフォード下部まで 水平坑道：切羽から坑内30mまで
監視体制	坑内ガス濃度、風速の測定	定置式、携帯式、集中監視
管理体制	作業管理基準の設定	警戒体制、作業中止、電源遮断等管理基準値の設定 安衛規則退去基準 ガス濃度1.5%
前方ガス探査	前方切羽のガス有無確認	先行ボーリング(ガス抜き含む)

国内外の研究機関との共同研究

電力中央研究所との共同研究



コントロールボーリングの実施場所
(幌延町北進地区)

- 地質環境モデルの構築およびその統合化
 - 原位置におけるEh/pHデータの取得
 - 大曲断層のキャラクタリゼーション
 - ガスに関するデータの蓄積
 - サンプリング方法や原位置での測定方法
- 地質環境の変遷を取り入れた地質環境のモデル化
- 品質管理・品質保証体系の構築
 - 研究計画・成果の品質管理
 - 調査・施工における品質管理

1. 地表からの調査研究段階(第1段階)の成果の取りまとめ(平成17年頃を予定)
2. 坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究(第2段階)の開始

【個別技術報告】

処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化 に向けた取組みの現状

処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に向けた取組みの現状

核燃料サイクル開発機構
東海事業所 処分研究部
部長 石川 博久

1. はじめに

処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に向けた研究開発は、エントリーおよびクオリティ等における研究開発と幌延深地層研究センターや東濃地科学センターで段階的に進められる研究開発および海外の地下研究施設等を活用した国際共同研究を有機的に連携し、東海事業所を中心に実施している。

処分技術の信頼性向上の目的は、人工バリアや周辺岩盤における長期的な現象について、メカニズムの理解に基づくモデルやデータベースを構築し、実際の地質環境に適用可能な設計手法等の適用性を確認することであり、安全評価手法の高度化の目的は、実際の地質環境に適用可能でかつ信頼性の高い安全評価に向けた基盤技術を開発することである。これらの目的のために、エントリーおよびクオリティ等における室内試験および原位置試験データを活用し、シナリオ、モデル、データベースの開発を進めてきた。これらの成果については、学会や国際会議等を通じて公開し、専門家や関係者等の意見を取り入れつつ進めている。

2. 研究開発課題

1) 処分技術の信頼性向上に関する研究開発課題

処分技術の信頼性向上に関する研究開発課題として、以下の①～④を進めている。①人工バリアの基本特性データベースの整備は、オーバーパックおよび緩衝材等の人工バリア材料について幅広い地質環境を考慮し、降水系地下水のデータに加えて、塩水系地下水や高アルカリ性環境等のデータの充実を図っている。②人工バリア等の長期複合挙動に関する研究については、これまでの経験則に基づくモデル開発からメカニズムに基づくモデル開発や数値実験手法の開発を進め、信頼性を高めるとともに、ナチュラアナログ研究により評価の妥当性の確認を行っている。③人工バリア等の工学技術の検証については、実際の地質環境への適用性を視野に入れた工学技術や設計手法の検討を行うとともに、閉鎖技術の検証試験や人工材料の開発を進めている。閉鎖技術については、カナダAECLとの国際共同研究でトンネルシーリング試験を実施中で、平成16年度中に完了の予定である。④設計手法の適用性確認については、「第2次取りまとめ」の設計手法に基づき、幌延深地層研究計画への適用を考慮し、原位置での人工バリア試験等を検討している。

2) 安全評価手法の高度化に関する研究開発課題

安全評価手法の高度化に関する研究開発課題は、以下の⑤～⑧の項目を進めている。⑤核種移行のデータベース整備は、クオリティを中心に基礎的データである溶解、収着、拡散等のデータについて、主に還元環境で塩水系地下水等の条件でデータ拡充を図っている。また、公開性、透明性の観点から、これまでにまとめたデータをデータベースとして整備し利便性を図っている。⑥安全評価モデルの高度化では、地層処分システムに関連する現象への理解をさらに深め、より現実に対応した評価手法へと改良、高度化を図っていくことを目標にモデルの開発を進めている。⑦安全評価手法の整備・高度化では、シナリオ等の安全評価基盤の整備、不確実性評価技術、技術情報統合システムの整備を実施している。⑧安全評価手法の適用性確認では、深地層の研究施設計画において段階的に得られる情報等を参考に、実際の地質環境条件に対する安全評価手法の適用性を検討することを通じて、安全評価に関する研究開発課題を抽出するとともに、不確実性低減の観点からの地質環境調査の課題を抽出する。今後、実際に調査から評価までの連携作業を具体化するとともに、その際の留意事項を整理していく予定である。

3. 研究開発成果

1) 処分技術の信頼性向上に関する研究開発成果

① 人工バリアの基本特性データベースの整備

炭素鋼オーバーパックの腐食挙動で、特にセメントの使用を想定した高アルカリ性環境での腐食の局在化を試験した。平均腐食深さと孔食係数の関係は、腐食の進展とともに孔食係数は小さくなり、緩衝材中では全面腐食での孔食係数の値とほぼ同等で、普通セメント使用の環境でも著しい腐食の局在化は生じないと考えられる(Taniguchi et al., 2003)。

② 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

緩衝材の長期健全性評価の一環で、周辺岩盤の亀裂への緩衝材の侵入および地下水による浸食現象の解明を進めている。緩衝材の亀裂への侵入現象については、海水系地下水は降水系地下水より亀裂への侵入がかなり小さく、緩衝材の膨潤挙動と整合する。亀裂への侵入距離は概ね時間の平方根に比例(松本・棚井, 2003)しているが、X線CTを用いた非破壊による亀裂中の緩衝材の密度分布測定では、非線形の密度分布が示され、この挙動をモデル化に反映させていく予定である。

処分場閉鎖後千年程度の比較的短期のニアフィールドの変遷を定量的に把握し、現実的な評価を行うために、熱-水-応力-化学(THMC)連成挙動に関する研究を行っている。THMC連成モデル/解析コードのプロトタイプの開発を進めており、試解析の結果と「第2次取りまとめ」の解析結果との整合性を確認した(Ito et al., 2003 など)。今後、開発したモデルをエントリーでの室内試験(COUPLE)や幌延等での原位置試験で確認していく予定である。

金属のナチュラアナログ研究について、従来の数十年程度の埋設鋼管材料より長期試料として考古学出土品を対象に研究を進めている。環境条件が明確な試料を中心に、数百年から千年程度の鉄製品の腐食挙動を調べた結果、「第2次取りまとめ」で予測した腐食量より小さいことが認められた(Yoshikawa et al., 2003)。

③ 人工バリア等の工学技術の検証

人工材料の開発では支保工材料として低アルカリ性セメントの開発を行っている。低アルカリ性セメントは、緩衝材の変質やオーバーパックの腐食に対して顕著な影響を与えない材料として開発を進めており、必要な要件を満たす候補材料が室内試験で開発され、現在基本特性データの取得を進めている。今後は幌延の深地層研究施設に適用して施工性を確認していく予定である(核燃料サイクル開発機構, 2003)。

④ 設計手法の適用性確認

室内試験と深地層の研究施設計画の相互の役割を踏まえて、室内試験の特徴である初期条件、境界条件を明確にした上で、メカニズム解明等に向けた試験を進めている。これらの情報に基づき、幌延における人工バリア等の原位置試験計画を策定した。

2) 安全評価手法の高度化に関する研究成果

① 核種移行データベースの整備

核種移行データベースの整備では、これまでにサイクル機構で開発してきた熱力学および収着データについてデータベースとして取りまとめ、平成15年8月からホームページ上(<http://migrationdb.jnc.go.jp/>)で公開し、国内外に広く周知活用を図っている。

ス멕タイトへのNpの収着挙動について、酸化環境に比べ還元環境では分配係数(Kd)が大きく、炭酸濃度との関係では炭酸濃度が高い程分配係数が小さくなる傾向が認められた。また、ベントナイトコロイドへの収着では、コロイドに対する分配係数が従来のバッチ試験によるベントナイトへの収着より大きいことが認められ、コロイドの影響を考慮する必要があることが示唆された。

② 安全評価モデルの高度化

室内試験によりコロイドが収着挙動に及ぼす影響が顕著に認められることから、亀裂性岩盤中でのコロイド共存下での核種移行モデルの開発を行い、亀裂を含む岩石中の核種-コロイド移行試験を行った結果、核種-コロイドの収脱着の反応速度を考慮する必要があることが示唆された。

ドのろ過で、コロイドに収着した核種が亀裂内に留まることが示唆された。

堆積軟岩における水理・物質移行モデルの開発として、幌延深地層研究センターの試験孔から採取した亀裂を有する軟岩について試験した。地下水の流れに関しては、堆積岩の基質部より亀裂部が卓越した水みちとなる可能性が高く、物質移行においては、「第2次取りまとめ」において結晶質岩で得られた物質移行開口幅と透水量係数の相関性が、亀裂を有する堆積岩でも適用可能であることが認められた。

③ 安全評価手法の整備・高度化

不確実性評価の流れとしては、データ取得や現象理解に基づき種々の不確実性を整理・定量化した上で、影響解析により不確実性が結果に与える影響を定量的に把握するとともに、影響評価結果の分析により影響度の大きな不確実性要因を把握していく。これまでに、データ不確実性の影響解析や感度分析の検討を継続するとともに、モデルの不確実性として「第2次取りまとめ」では保守的、簡略的に扱っていた掘削影響領域(EDZ)中の核種移行をより詳細に表現した代替モデルを構築し評価した結果、核種移行率が低減することを確認した。このように不確実性要因の影響を定量的に把握・分析していくことにより、システム性能の安全裕度を把握するとともに、不確実性の低減あるいは現実的な評価のための研究課題を効果的に抽出することが可能になる。

地層処分技術に関する研究開発は、「深地層の科学的研究」、「処分技術の信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」の3分野からなり、また研究場所も幌延、東海、東濃と分かれている。これら3分野の研究開発は独立ではなく、3分野間あるいは各分野内で相互に種々の技術情報のやりとりが必要となる。そのために、技術情報を利用しやすい形で統合的に管理可能とし、調査・研究要素間での整合性を確保し、各調査研究要素の担当者間で技術情報の共有の場を提供するために、技術情報統合システムの開発を進めている(柴田ほか、2003)。平成15年度に基本システムの製作を完了し、平成16年度からサイクル機構内で試運用を開始する予定である。

4. おわりに

東海事業所では、今後とも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開発分野について、2つの深地層の研究施設の成果も踏まえ、エントリー、クオリティ等の施設を活用した基盤的な研究開発に関して、相互の連携を図りながら効率的に進め成果を集約していく。研究開発を進めるにあたっては、国の研究開発機関として信頼性と透明性を高める観点から、国内外関係機関との研究協力を積極的に進めるとともに、様々な議論の場を通じて専門家や国民各層からの幅広い意見を取り入れつつ、研究開発を展開していく。

参考文献

- 核燃料サイクル開発機構(2003):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-平成14年度報告-, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2003-004.
- Taniguchi, N., Kawasaki, M., Kawakami, S. and Suzuki, H. (2003): Propagation Behavior of Localized Corrosion of Carbon Steel in Alkaline Groundwater Environment, Proc. of 13th Asian-Pacific Corrosion Control Conference (APCCC).
- 松本一浩, 棚井憲治(2003):ベントナイト緩衝材の流出特性の評価(Ⅱ), サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2003-006.
- Ito, A., Yui, M., Sugita, Y. and Kawakami, S. (2003): A Research Program for Numerical Experiments on the Coupled Thermo-Hydro-Mechanical and Chemical Processes in the Near-Field of a High-Level Radioactive Waste Repository, Proceedings of GeoProc2003, Part 1, pp.346-351.
- Yoshikawa, H., Ueno, K., Yui, M., Honda, T. and Yamaguchi, S. (2003): Analysis of the Excavated Archaeological Iron Using X-ray-CT. Proc. The 9th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM'03, England, 21-25 Sep., ASME, 4776.
- 柴田勝志, 牧野仁史, 若杉圭一郎, 内田雅大(2003):技術情報統合システム(JGIS)開発への取り組み, サイクル機構技報 No.21, JNC TN1340 2003-004, pp.79-88.

【個別技術報告】 処分技術の信頼性向上と 安全評価手法の高度化に向けた 取組みの現状

地層処分技術に関する研究開発報告会
—処分技術の信頼性向上のための基盤整備に向けて—

平成16年2月26日 津田ホール

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

石川 博久

東海事業所における研究開発課題

研究開発目標

実際の地質環境への
地層処分技術の
適用性確認

地層処分システムの
長期挙動の理解

研究開発課題

処分技術の信頼性向上

①人工バリアの基本特性
データベースの整備

・オーバーバックの腐食挙動に及ぼすセメントの影響評価

②人工バリア等の
長期複合挙動に関する研究

・緩衝材流出／侵入挙動に関する研究
・熱-水-応力-化学(THMC)連成挙動に関する研究

③人工バリア等の
工学技術の検証

・金属のナチュラアナログ研究
・低アルカリ性セメントの開発

④設計手法の適用性確認

・処分技術の信頼性向上に係わる
幌延深地層研究計画との連携

安全評価手法の高度化

①核種移行
データベースの整備

・JNC熱力学・収着データベースの開発
・放射性核種の移行挙動に関する
モデル及びデータベースの信頼性確認

②安全評価モデルの高度化

・コロイド等の影響評価モデルの開発
・亀裂を有する軟岩中の流れと
移行現象に関する研究

③安全評価手法の
整備・高度化

・不確実性評価技術
・技術情報統合システム(JGIS)開発

④安全評価手法の
適用性確認

処分技術の信頼性向上の目的/ねらい

●信頼性向上の目的

人工バリアや周辺岩盤における長期的な現象について
メカニズムの理解に基づくモデルやデータベースの構築
および実際の地質環境に対する設計手法等の適用性確認

信頼性向上の視点	ねらい
長期挙動・現象理解、 予測モデルの構築	経験則からメカニズムに基づくモデル開発、 数値実験手法の開発
実際の地質環境条件や 設計・施工条件との整合性	深地層の研究施設等と整合した工学技術や 設計手法の整備
ナチュラルアナログによる妥当性確認	処分環境に類似しかつ環境条件が把握された より長期のナチュラルアナログデータの拡充
透明性、追跡性、分かり易さ	人工バリア等の基本特性データベースの整備、 実験や解析結果の可視化

安全評価手法の高度化の目的/ねらい

●高度化の目的

実際の地質環境に適用可能かつ信頼性の高い安全評価に
向けた基盤技術の開発

高度化の視点	ねらい
現象理解、定量的モデルの構築	科学的信頼性の向上、 保守性の確認
実際の地質環境条件や 設計条件等との整合性	深地層の研究施設等の情報と整合した 評価手法の整備
不確実性の取扱い	不確実性の取扱手法の整備
透明性、追跡性、分かりやすさ	効果的かつ効率的な分野間の連携、 整合性や追跡性の向上、 情報の普及(インターネットの活用)

オーバーパットの腐食挙動 に及ぼすセメントの影響評価

JNC

5

●目的:

地下水の高pH化による炭素鋼オーバーパットの腐食への影響の把握
→特に、普通セメントの使用を想定し、酸化性雰囲気での
アルカリ性環境における局部腐食進展挙動を検討

●実施内容:

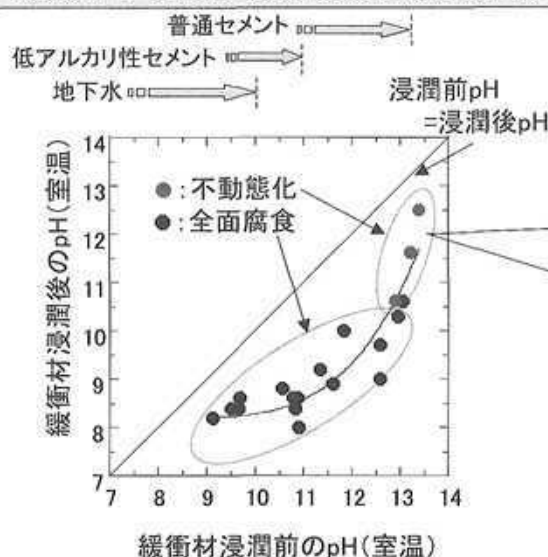
セメントと接触した地下水のpH条件を想定して炭素鋼の不動態化挙動、
局部腐食挙動を調査
→今回はアルカリ性環境(pH約11~13)において浸漬試験を実施し、
局部腐食における孔食係数(最大腐食深さと平均腐食深さの比)を求め、
全面腐食での値、天然の土壌中での値等との比較検討を行った。

オーバーパットの腐食挙動 に及ぼすセメントの影響評価

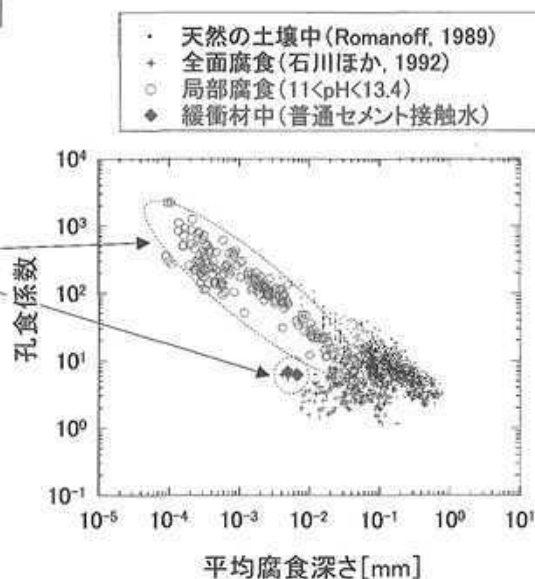
JNC

6

緩衝材によるpH緩衝作用と
緩衝材中における炭素鋼の腐食形態



平均腐食深さと孔食係数の関係



○高pH環境における孔食係数は平均腐食深さの増加とともに低下した。
平均腐食深さ約0.1mm以上では全面腐食での孔食係数と同程度になると推定される。

●目的:

岩盤亀裂中への緩衝材の膨潤による侵入および地下水による浸食の現象解明ならびに長期予測モデルの構築

●実施内容:

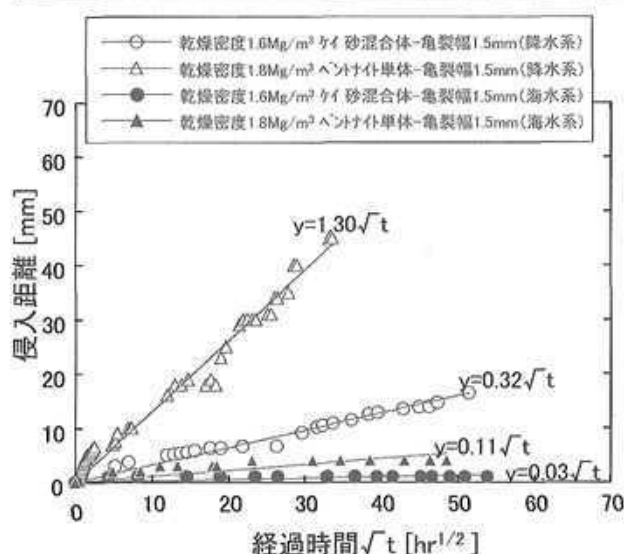
侵入現象

- ・海水系地下水における基礎データの拡充
- ・モデル構築へ資するための物性データ(侵入密度分布等)の整備および上記データを用いたモデルの妥当性評価

浸食現象

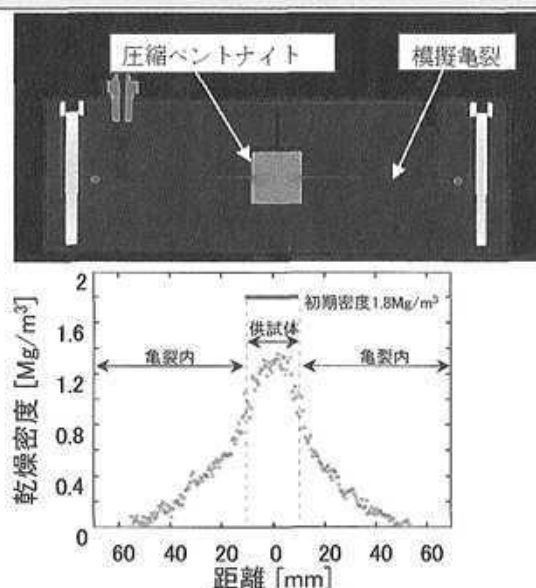
- ・安全評価におけるベントナイト浸食の影響評価に反映するため、降水系地下水における流速と浸食コロイド濃度に係るデータを拡充

海水系地下水の侵入挙動への影響



○海水系地下水を用いたデータの拡充により、海水系地下水は降水系に比べ亀裂中への侵入が小さく、比例係数は降水系地下水の1/10程度となった。

X線 CTによる侵入密度分布の測定



《0～44日後の密度分布》

○モデルの妥当性を評価するために必要となる、亀裂中に侵入したベントナイト密度分布の把握を行った。

熱-水-応力-化学 (THMC) 連成挙動 に関する研究

●目的:

熱的、水理学的、力学的、化学的なプロセスが相互に影響を及ぼし合うニアフィールド連成挙動の時間的／空間的変遷を数値実験に基づき現実的に理解、把握

●実施内容:

THMC連成モデル／解析コードのプロトタイプを開発し試解析を実施
室内試験(改良型COUPLE)を実施中



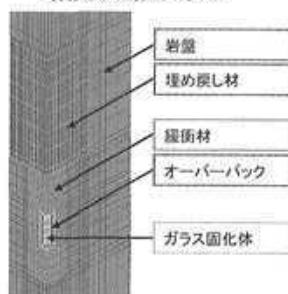
THMC連成挙動の室内試験
(改良型COUPLE)

熱-水-応力-化学 (THMC) 連成挙動に関する研究

連成モデルによる解析結果

第2次取りまとめ環境に対する試解析

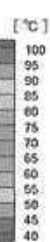
硬岩系岩盤 処分孔設置方式
有限要素解析メッシュ



解析結果(例)

人工バリア定置10年後

温度分布



pH分布



OTHMC連成モデル／解析コードのプロトタイプを開発し、ニアフィールド数値実験の基盤を整備した。

○開発コードによる試解析結果と第2次取りまとめの整合を確認した。

	第2次取りまとめ	プロトタイプコードによる試解析 (THC連成解析)
緩衝材中の最高温度	82°C (THM連成解析)／ 98°C (熱解析)	90°C
緩衝材の再冠水時間	50年以下 (THM連成解析)	20年
人工バリア定置1,000年後の 緩衝材間隙水のpH	8.4 (地球化学解析)	8.9

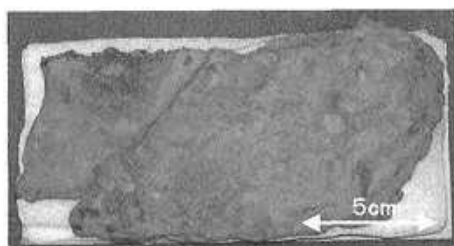
●目的:

オーバーパック腐食寿命評価方法の信頼性の確認

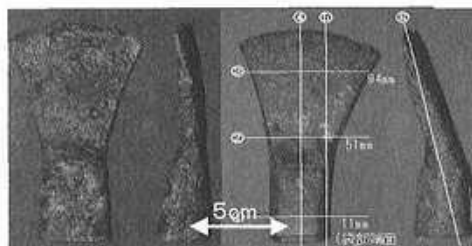
→特に、数百年から千年程度の長期の金属腐食挙動について、
試料の環境を考慮し実例を評価

●実施内容:

地中に埋没していた考古学的試料等を用いた金属腐食の評価

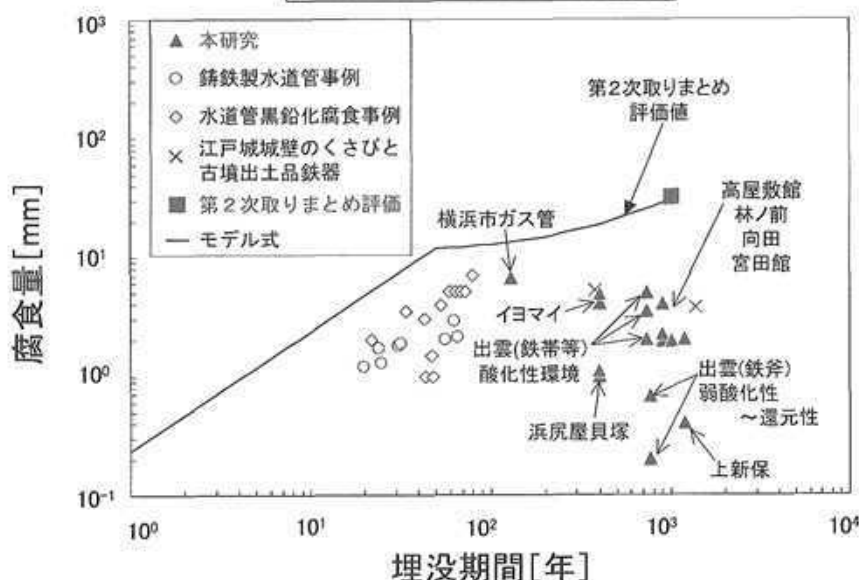


酸化性環境からの出土例
鉄帯(約750年間埋没)



弱酸化性から還元性環境からの
出土例、鉄斧(約750年間埋没)

埋没期間と腐食量の関係



○これまでの試料は酸化雰囲気や百年以下の埋没事例が多かったが、
弱酸化性から還元性で、千年程度の試料を入手し、より、現実的な
長期腐食データが得られた。

●目的:

緩衝材(ベントナイト)の変質およびオーバーパック(炭素鋼)の腐食に顕著な影響を与えないセメント材料の開発

●セメントの概要:

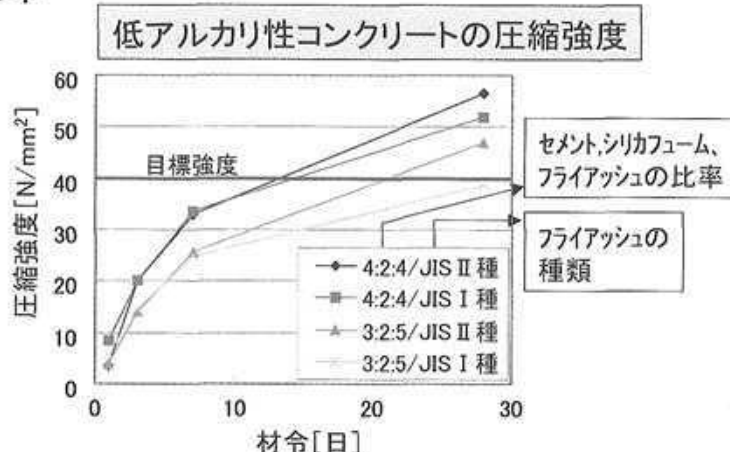
高pHの原因となる水酸化カルシウムの生成を抑制するため、pHが11以下になるように、普通セメントに多量のシリカフュームとフライアッシュを混入したセメント

●実施内容:

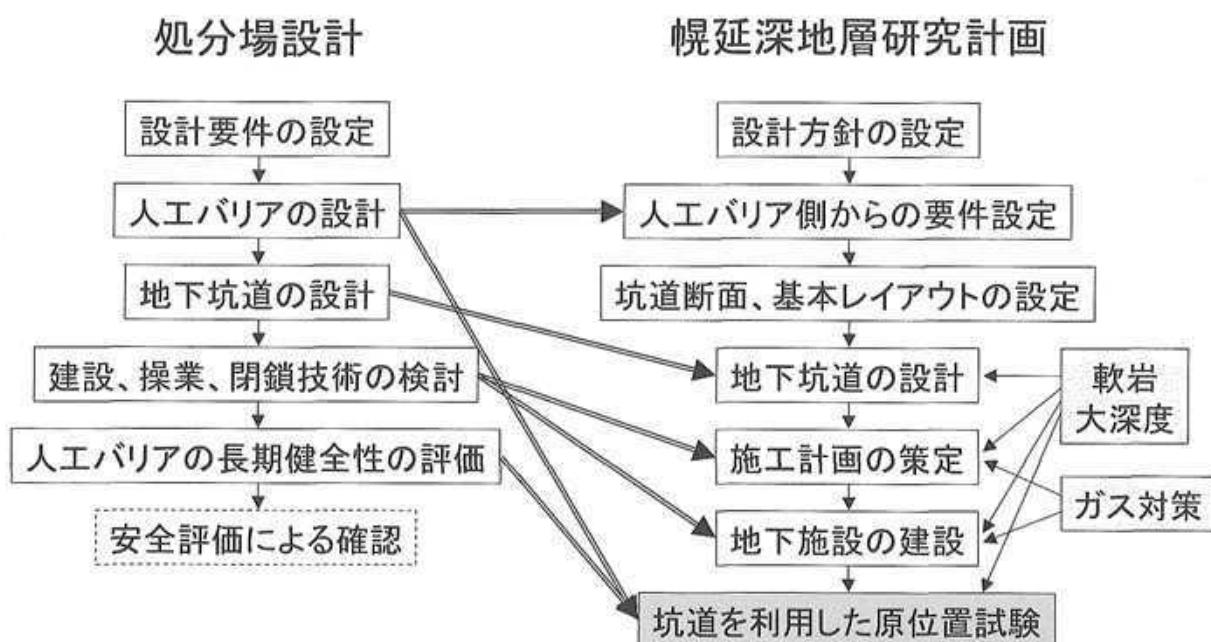
- ①強度の得られる配合設計
- ②pH低下挙動の把握
- ③鉄筋の腐食耐久性評価
- ④施工性の確認

●今後の予定:

幌延の深地層研究施設で施工性を確認する。



処分技術の信頼性向上に係わる 幌延深地層研究計画との連携



処分技術の信頼性向上に係わる 幌延深地層研究計画との連携

JNC

15

連成挙動に関する研究の例

室内試験 (エントリー、クオリティー)

基礎データ 取得

熱物性試験



工学試験 (COUPLE)



モデル構築／数値実験

国際共同研究(DECOVALEX 等)

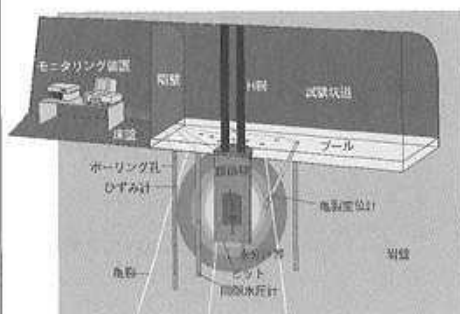
予測解析



検証データ

深地層の研究施設での試験

原位置人工バリア試験



原位置におけるデータ取得
計測技術の適用性確認

JNC 熱力学・収着データベースの開発

JNC

16

● 目的:

JNCが開発した熱力学・収着データベースを国内外に幅広く周知し、データベースの活用を図ること



平成15年8月1日より、ホームページを外部公開。アドレスは、
<http://migrationdb.jnc.go.jp/>

熱力学データベースは、地球化学コード PHREEQE、PHREEQC、EQ3/6および Geochemists Work Benchで 利用可能なフォーマットで整備。

収着データベースは、 Microsoft Accessで利用可能。

データベースのダウンロードにあたっては、 e-mail address、user ID、氏名および住所を 入力し、ユーザー登録して頂きます。 現在の登録者数は、110名程度。

放射性核種の移行挙動に関する モデル及びデータベースの信頼性確認

JNC

17

- 目的：地層処分放射化学研究施設(QUALITY)等における実験結果に基づき、放射性核種の移行挙動に関するモデル及びデータベースの信頼性を確認するとともに、不足している領域のデータを取得する。

	平成15年度	平成16年度	平成17年度	期待される成果
ガラス固化体の溶解挙動	廃棄物ガラスの鉱物化試験 還元下・海水系でのガラス浸出試験			変質・浸出メカニズム検討 ガラス溶解モデルの信頼性確認
放射性核種の溶解度	還元下での溶解度試験(Np, Se, Pu)			還元下での熱力学データの信頼性確認
ベントナイト・岩石への収着	海水系でのベントナイト収着試験(Cs, Se, Np, Pu) 海水系での堆積岩収着試験(Cs, Se, Np, Pu)			海水系での収着データの拡充 堆積岩への収着データの拡充
ベントナイト・岩石中の拡散	還元下でのベントナイト中拡散試験(Np, Se, Pu) 海水系での堆積岩中拡散試験(Cs)			還元下での拡散データの拡充 海水系での拡散データの拡充
コロイド・有機物の影響評価	フミン酸との錯生成試験(Np) コロイド収着試験(Cs, Np)	コロイド・フミン酸共存下でのカラム移行試験		核種との収着・錯生成モデル検討 移行試験でのモデルの信頼性確認

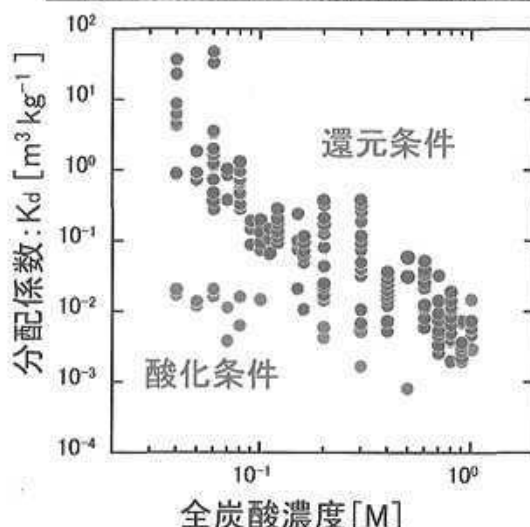
- 反映先：成果は、性能評価に用いる計算コード(モデルに基づく)及びデータベース(熱力学・収着・拡散)の作成に反映される。

放射性核種の移行挙動に関する モデル及びデータベースの信頼性確認

JNC

18

スメクタイトに対するNpの収着挙動
-酸化還元条件、炭酸濃度依存性-



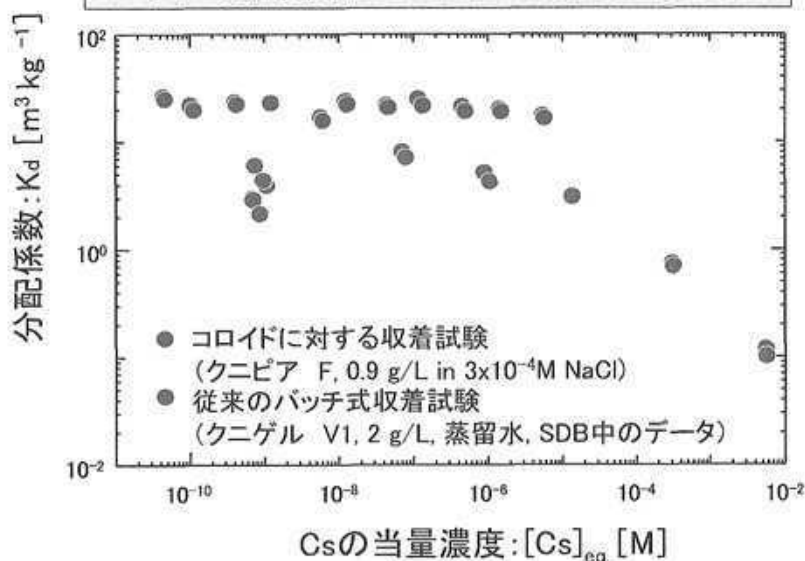
- 還元条件：Npのスメクタイトへの収着は全炭酸濃度と負の相関がある。
Npの収着は溶存化学種に依存する。
○酸化条件：Npはあまり収着しない。

放射性核種の移行挙動に関する モデル及びデータベースの信頼性確認

JNC

19

ベントナイトに対するCsの収着挙動
ーバッチ式収着試験とコロイド収着試験の比較ー



○コロイドに対する分配係数は、
バッチ式収着試験による分配係数より大きい。

コロイド等の影響評価モデルの開発

JNC

20

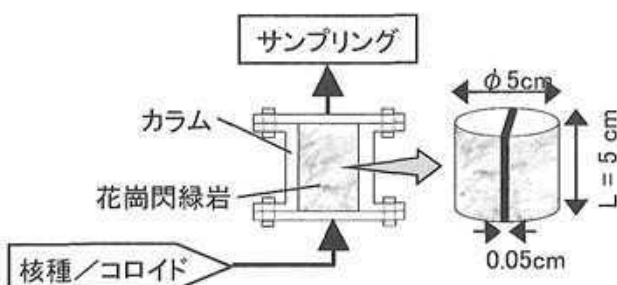
●目的:

コロイド等の影響評価モデルの開発と、安全評価手法としての適用性の検討

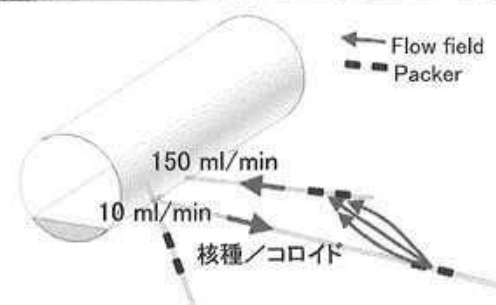
●実施内容:

- ・平行平板状亀裂を加工した岩石カラムを用いた核種とコロイドの移行試験
実施による実験とモデル解析の結果の比較 (左図)
- ・グリムゼル岩盤試験場における亀裂中の核種とコロイドの移行試験に関する
モデル解析を通じた実用性の検討 (右図)

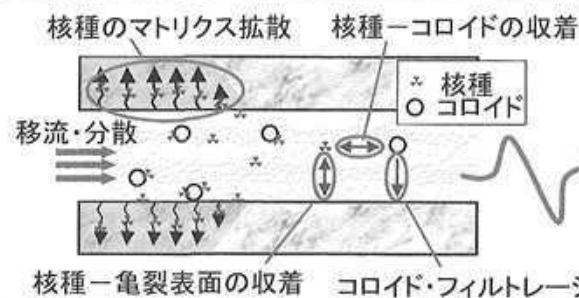
核種とコロイドの
カラム移行試験(ENTRY内)の概略図



グリムゼル岩盤試験場での亀裂中の
核種とコロイドの移行試験の概略図



コロイドの影響を考慮した核種移行モデルの概念

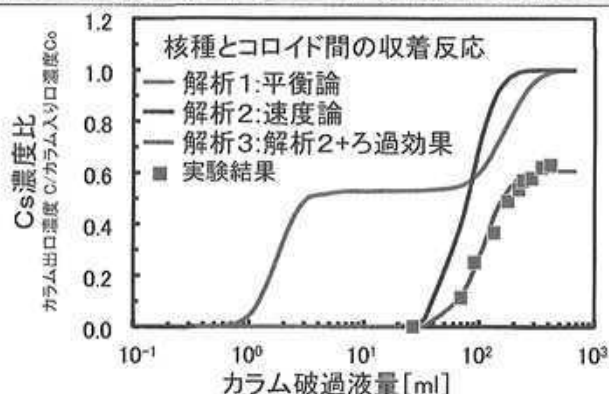


第2次取りまとめ以降のモデル開発点

核種-コロイド間の収着反応 平衡論 / 速度論

核種-亀裂表面間の収着反応 平衡論 / 速度論

カラム試験におけるコロイド共存下でのCs+の移行



- 核種移行試験の解析では、核種-コロイドの収脱着の反応速度を考慮することの重要性が認められた。
- 亀裂中でコロイドがろ過されることに伴って、コロイドに収着した核種も亀裂内に留まることが示唆される。

亀裂を有する軟岩中の流れと移行現象に関する研究

●目的:

堆積性軟岩における透水係数は、原位置試験から得られた値が室内試験から得られた値よりも高く、亀裂が透水性を高めている可能性がある。

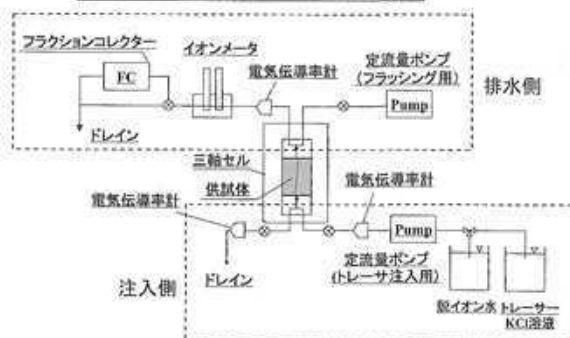
亀裂が透水性に寄与する場合、流速が早くなり、性能評価に影響を与える可能性があることから、室内試験を通してその支配プロセスを同定・評価する。

●実施内容:

- ・基本物性測定
- ・透水試験
(亀裂無し試料、亀裂有り試料)
- ・トレーサ試験(亀裂有り試料)
- ・拡散試験(亀裂無し試料)

室内試験に使用した岩石コア試料は幌延で掘削した試錐孔から採取した。

トレーサ試験の流れ図



亀裂を有する軟岩中の流れと移行現象に関する研究

透水試験結果

試料名	採取深度 (HDB-4)	透水係数 [m/s]	
		亀裂有り	亀裂無し
2-1i	200m付近	5.56E-09	5.49E-12
3-2i	300m付近	1.51E-09	4.88E-12
4-1i	450m付近	1.02E-08	1.63E-12

亀裂有り試料: 定流量透水試験

亀裂無し試料: トランジェントパルス法

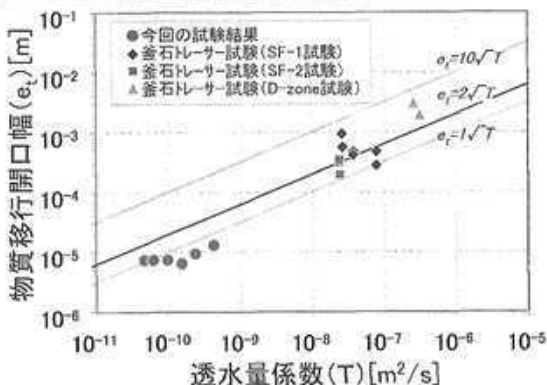
○地下水流れに関しては、堆積岩基質部よりも亀裂が卓越した「水みち」を形成する可能性がある。

●今後の課題

今後、さらに原位置において亀裂の頻度や透水性、連結性を評価し、岩盤全体として見た場合にも亀裂の影響が大きいかを評価する必要がある。

トレーサ試験結果

—透水量係数と物質移行開口幅の関係—



○第2次取りまとめで設定した結晶質岩における物質移行開口幅と透水量係数の関係が、堆積軟岩でも適用可能である。

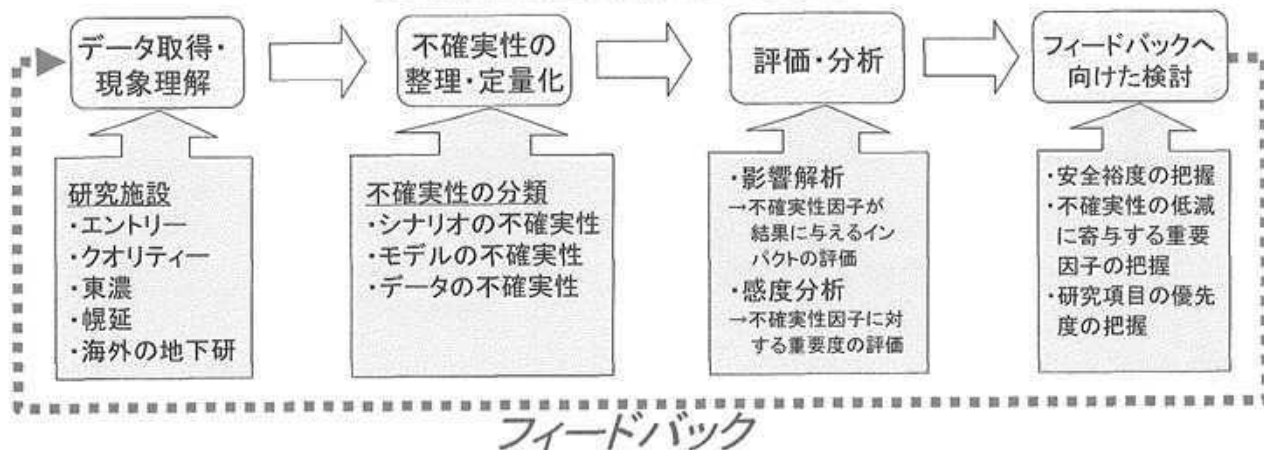
不確実性評価技術

●目的:

データ、モデル、シナリオの不確実性の定量化技術および評価・分析技術を整備すること。

また、データ取得、現象理解へのフィードバックを指向した検討を行うこと。

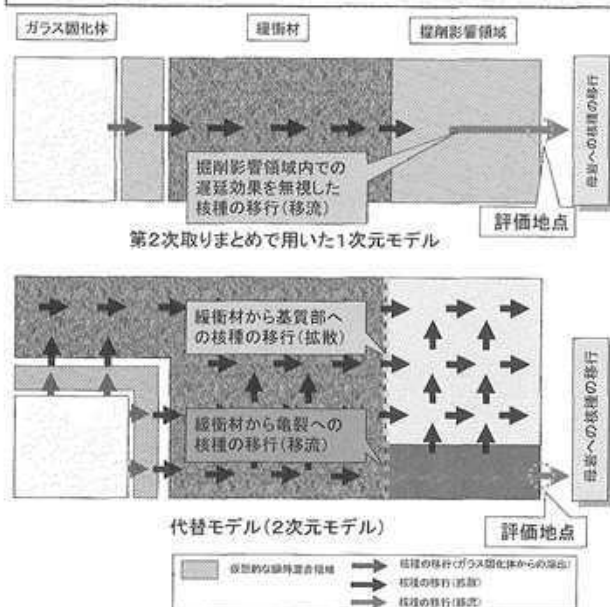
不確実性評価の流れ



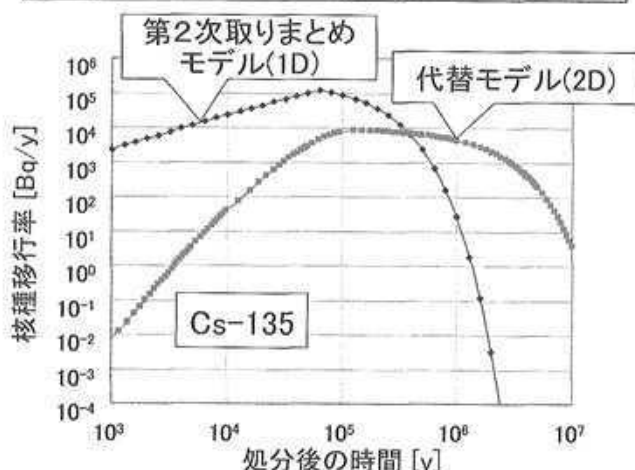
モデル不確実性の検討例：代替モデルの開発

着眼点：保守的かつ簡略的にモデル化した掘削影響領域(EDZ)中の核種移行を、より詳細にモデル化することにより、EDZの遅延効果を推定

概念モデル



EDZからの核種移行率の比較



○EDZ内の基質部の遅延効果により

- ・長半減期：数分の1から1桁程度低減
- ・短半減期：数桁の低減

技術情報統合システム(JGIS)開発

NC Geological Disposal Technical Information Integration System

●目的:

多様な研究の連携と繰り返しによる信頼性の段階的な向上

技術情報の増大・複雑化

情報マネジメントの必要性

「技術情報統合システム」の開発

① 技術情報の統合

研究の体系的な流れに即した情報の管理

② 研究内容の整合性確保

品質情報の管理、情報登録・更新の管理、情報利用の管理

③ 研究者間の情報共有環境の提供

IT技術(LAN、Web技術)の利用、情報登録・更新・利用の通知、技術的交流支援

システムの主要な機能と使用イメージ

① 技術情報の統合

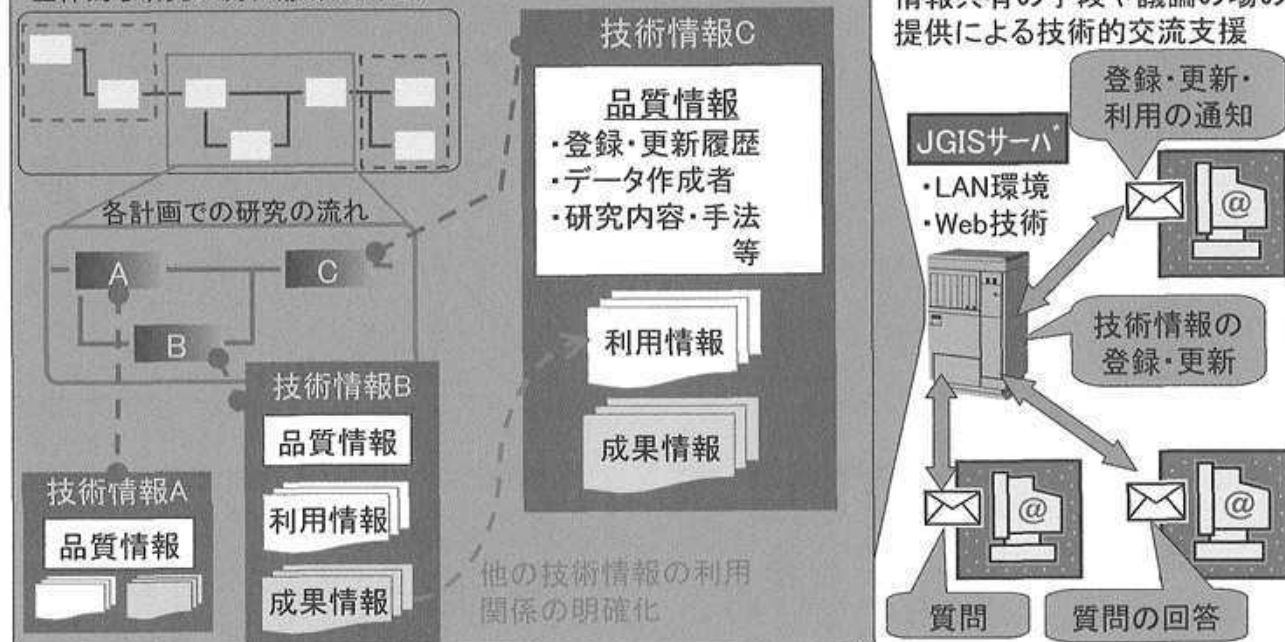
研究の体系的な流れと整合
全体的な研究の流れ(複数の計画)

② 研究内容の整合性確保

関連情報を一括管理

③ 研究者間の情報共有環境の提供

情報共有の手段や議論の場の提供による技術的交流支援



まとめ

1. 処分技術の信頼性向上に関する研究成果

- ・ 実際の地質環境を考慮し、地下水条件(イオン濃度、pH)を変えたデータの充実
- ・ 経験則からメカニズムに基づくモデル開発
- ・ ナチュラルアナログによる妥当性の確認
- ・ 深地層研究施設計画等と整合した工学技術、設計手法

2. 安全評価手法の高度化に関する研究成果

- ・ 信頼性の高いデータ取得とデータベースの整備
- ・ 実際の地質環境に適用可能/現実に即したモデル開発
- ・ 不確実性の定量化技術の開発
- ・ 分野間の連携を効率的に行う技術情報統合システムの整備