

性能評価へ適用可能なナチュラル アナログに関する研究(II) 研究概要

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
Σ	J156197-002	9.5.13.
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1997年2月

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

性能評価へ適用可能なナチュラルアナログに関する研究（Ⅱ）

	*		*
妹尾宗明		伊藤賢治	
	*		*
安保則明		松田 武	

要 旨

本研究は、地層処分における性能評価事象との対比において、天然に存在する類似現象（ナチュラルアナログ）に関する研究の現状について国内外の事例を幅広く調査するとともに、今後の我が国における地層処分システムの性能評価への適用の可能性を検討することを目的とする。

前年度（平成7年度）は、ナチュラルアナログの現状の調査としてナチュラルアナログ研究の構造と現状を整理するとともに、別途抽出した地層処分に関する主要事象等を対象として性能評価へ適用可能なナチュラルアナログを検討した。

平成8年度は、引き続きナチュラルアナログの現状の調査を行い、調査結果の取りまとめを行うとともに、主要事象について性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討を行う。また、ナチュラルアナログを適用する際に必要な技術的課題を抽出する。

本報告書は、（財）原子力環境整備センターが動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：080D0198

事業団担当部課室および担当者：環境技術開発推進本部処分研究グループ（原 啓二）

* 研究第二部

Study on possibility of Natural Analogue to applicate for performance
assessment of high-level radioactive waste repository (II)

Muneaki Senoo * Kenji Ito *
Noriaki Ambo * Takeshi Matsuda *

Abstract

The purpose of this work is to research about domestic and overseas examples of study of Natural Analogue in comparison with events of performance assessment on high-level radioactive waste repository, and to study the possibility of Natural Analogue to apply to performance assessment of high level radioactive waste repository.

Last year, we studied the general view and the present status of Natural Analogue study, and also we studied the possibility of Natural Analogue to apply to performance assessment of high-level radioactive waste repository concerning about the selected FEPs (Feature, Event and Process) for performance assessment.

This year, we study the general view and the status of Natural Analogue, and also the possibility of Natural Analogue to apply to performance assessment. And we furthermore extract the technical problems in applying Natural Analogue to performance assessment.

This report is the results performed by Radioactive Waste Management Center under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison ... Isolation System Research Program, Radioactive Waste
Management Project, (Keiji Hara)

* Second Research Division

まえがき

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関わる性能評価研究は、性能評価上対象となる特質、事象、プロセス（F E P s）を我が国の地質環境条件や処分概念に基づいて同定し、分類、選別、結合を経て必要なシナリオを作成し、その影響解析を行うことによつてなされる。それらの研究プロセスにおいて必要なことは、F E P sの同定、モデルの構築、コードの検証、モデルの確証等において、必要データを実験室試験、原位置試験、ナチュラルアナログ、専門家の知識等から適切に取得し、入力することである。それら情報が有する信頼性は性能評価の信頼性を高め、そして維持する上において必須のものである。

本研究は、成立の可能性があるが性能評価上重要と思われるF E P s、あるいは成立性の議論が必要であるが成立した場合には重要と思われる影響が考えられるF E P s等のうち、実験室試験、原位置試験、専門家の知識等から得られる情報の量と質が不十分なもの、あるいはある程度十分であるもののさらにバックアップ情報が必要と思われるものを対象に、ナチュラルアナログ研究の観点から得られている既存データを取りまとめることにより、あるいはそれがない場合には新たなナチュラルアナログ研究を提案することにより、当該F E P sに関わる関連データベースの信頼性の向上を図ることを目的としている。それにより、我が国で考慮されている地層処分システムに関わる性能評価研究に対してナチュラルアナログの成果の適用の可能性を明らかにすることが可能となろう。また、それらの検討結果をベースにした、我が国における新たなナチュラルアナログ研究の提案をも目的としている。

今年度は、昨年度と同様、これまでに関連する学会等の場において発表されたナチュラルアナログに関する研究報告の内容を性能評価研究への適用の観点から整理するとともに、特定のF E P sについてナチュラルアナログの観点からその内容を整理した。また、新たに、我が国への適用において必要な実施上の課題の検討を行うとともに、特に、東濃鉾山を対象とした予備的な研究提案を行った。

1. ナチュラルアナログの現状調査

本章においてまず、地層処分における性能評価事象との対比において、天然に存在する類似現象（ナチュラルアナログ）に関する研究の現状について国内外の事例、特に海外事例を中心に幅広く調査した結果をとりまとめる。

1.1 ナチュラルアナログの現状調査の方法

今年度調査の対象とした文献の総数は80である。主要な文献分類とそれぞれの総数を以下に示す。

調査対象文献の概要

- ・平成7年度報告書2.章参考文献（1991年～）（文献数28）
- ・Scientific Basis for Nuclear Waste Management, X I X), 1996(文献数7)
- ・Proc. 4th CEC/NAWG meeting and Pocos de Caldas Project Final Workshop, 1991(文献数28)
- ・Paleohydrological Methods and Their Applications, Proceedings of an NEA Workshop, OECD/NEA, 1993 (文献数17)

また、文献調査事項は以下の通りである。

- ① 研究テーマ名
- ② 研究目的
- ③ 調査場所名
- ④ 研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象
- ⑤ 研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素（ナチュラルアナログとしての試料数を含む）
- ⑥ 研究対象事象の空間的広がり
- ⑦ 研究対象事象の時間的広がり
- ⑧ 研究対象事象に係る場の幾何的特性
- ⑨ 研究対象事象の環境条件（地下水組成等の化学的条件、熱的条件、応力条件、水理的条件など）
- ⑩ 研究概要

- ⑪ 主要な成果
- ⑫ 成果の利用方法
- ⑬ 研究成果の評価
- ⑭ 課題
- ⑮ その他の特記事項
- ⑯ 著者名（著者の所属を含む）
- ⑰ 文献名（総頁数、図表枚数、引用文献数を含む）

1.2 ナチュラルアナログの現状調査の結果

1.1で示した文献調査の結果を本冊の付録にデータシートとしてとりまとめた。さらに、表1.2-1(1)~(5)に、1.1で示した調査項目のうち、各文献の研究概要、主要な成果、課題、その他の特記事項、著者名及び総頁数・図表枚数・引用文献数を除く文献名を割愛したその他事項を比較検討すべき重要な項目として示した。

さらに昨年調査した文献を含めて、以下のとりまとめを行った。

① 研究対象FEPs及びそれと対置される性能評価事象についての検討結果

これにより、核種移行特性、地下水流動特性、地下水化学特性を扱った文献が多いことがわかった。

また、表1.2-2中の性能評価FEPsのうち、第2章で対象としたFEPsに関わるものは、全部で48個あるが、調査研究の結果として分類した総FEPs数に比べるとはるかに少ないことがわかった。

② 研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素についての検討結果

これにより、ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤に関する研究が多いのに対して、ガラス固化体、キャニスタ/オーバーパックに関する研究が少ないことがわかった。これは、アナログの選定やアプローチの難易を反映しているものと思われる。

③ 研究対象事象の時間的広がりについての検討結果

時間的広がりを0~2,000年、2,000年~1万年、1万~10万年、10万年~170万年、170年以上に区分し、それぞれにおける、各文献が扱う研究対象事象に係る時間的広がりについて検討度合いを比較した。結果は、まず、時間的広がりに関して記載されていないものが最も多く、時間を調査していない研究、あるいは、

表1.2-1(1) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(1/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(101)	Palmottuウラン鉱床のウランに富んだ地下水中の酸化還元化学	天然の地下水条件におけるウランの酸化還元化学的性質をより深く理解することを目的とする。	Palmottuウラン鉱床	溶解ウランの酸化還元化学的挙動 - 岩石-水環境における使用済燃料中の放射性核種の挙動	ウランに富んだ地下水 - 使用済燃料試料数：7個	【水平方向：約300m, 垂直方向：約200m (Fig.1からの読み取り)】	【記載なし】	雲母片麻岩と種々の大きさの花崗岩質貫入岩あるいはペグマタイト質貫入岩がFig.1のように配置されている。試錐孔はFig.1のように掘削されている。	ウラン鉱化帯近傍の花崗岩中の地下水は下方に流動している。地下水試料のEh, pH, 化学組成：Table2, Table3	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【本研究により、溶解ウランの挙動をU(VI)/U(IV)の酸化還元対により理論的に推測できることがわかった。また、地下水中のカリウムの濃度が低いという実例が示されたので、人工バリア中のスメクタイトがイライトへ広範に変化することがないということを支援している。】	7頁、7葉、25件
(102)	結晶質母岩中の垂直断裂帯への浅層水の大規模侵入	スウェーデンのHRLへのアクセス坑道に見いだされた垂直断裂帯中の地下水の化学成分分析等を通して浅層水の地下への挙動とその作用を調べた。	南部スウェーデンのエスポボ島のアクセス坑道 (Halo島の地下)	エスポボ島へのアクセス坑道近傍の断裂帯の地下水化学 - ニアフィールドの地下水化学	エスポボ島へのアクセス坑道近傍の断裂帯の岩盤・地下水 - ニアフィールド岩盤試料数：【記載なし】	地表から約70mの深さで坑道と交差する垂直断裂帯	約18億年のU-Pb貫入を伴うトランスカジャナイア花崗岩系に属する。	垂直断裂帯は幅2-5m, 長さ220m (Halo島の全幅)以上で、島の地表から、地下1-5kmの深さに及ぶ。赤-灰色の花崗閃緑岩～花崗閃緑斑岩からなる。(Fig.1)	大量の浅層水が地下へ浸透する。	【本論文は放射性廃棄物処分場として建設されるエスポボ島へのアクセス坑道中で発見された断裂帯を、地下水化学的・鉱物学的に詳細に検討している。その豊富なデータは地質学的データベースとして利用でき、また地下の酸化還元環境のよき理解に役立つと考えられる。】	【本論文は、直接にナチュラルアナログとは明言していないが、上述のような鉄鉱物の還元作用等は、ニアフィールドの酸化還元条件の理解・類推等に極めて有効であると考えられる。】	17頁、13葉、65件
(103)	Yucca Mountain候補処分場のニアフィールド及び変質ゾーン中の化学プロセスのアナログとしての地熱地域	Yucca Mountainのアナログサイトとして著者らが最初にニュージーランドの熱水システムを選定したことに関して議論すること。	Taupo 火山地帯	熱水システム中の化学プロセス - Yucca Mountainで起る化学プロセス	岩石試料、流体試料、人工物 - ニアフィールド岩盤試料数：【記載なし】	幅：30 - 80 km, 長さ：250 km	10,000年間～300,000年間	Taupo 火山地帯中のWairakei地熱地域の断面図：Fig.3	熱水作用をうけた。岩石タイプは珪質火山岩であり、温度範囲は10℃～<300℃である。	【定性的なシステムの理解のための資料】	【本研究により、TVZの熱水システム中の化学プロセスを定性的に理解することができ、これをもとに地熱がニアフィールドでのプロセスに及ぼす潜在的な影響についても定性的に理解できる。TVZ中の熱水システムでは、詳細なサイト特性調査が行われているが、本文ではそれらの詳細なデータは示されていない。したがって、参考文献等からそれらのデータ照会を行えば定量的な理解が可能である。】	24頁、12葉、32件
(104)	Bangombeのコロイド研究	数10億年前に起きた核放射能により与えられた欠乏したウランの同位体的特徴に重点を置いて、Bangombeのシステム中の核種の移行におけるコロイドの役割を評価すること。	Bangombeウラン鉱床	地下水中のコロイドの存在状況 - コロイドによる核種の移行の促進または抑制	コロイド試料、地下水試料 - ファーフィールド岩盤試料数：【記載なし】	【水平方向：約150m, 鉛直方向：約120m (Fig.2-1からの読み取り)】	数10億年	Bangombe原子炉ゾーンの南西-北東方向の断面図：Fig.2-1	地下水のタイプ：Na-Mg-Ca-HCO3タイプ。地下水のpH：6-7。地下水のEh：わずかに負。	【定量的なシステムの理解のための資料、モデル開発の基礎資料】	【本研究により、Bangombeのコロイドの存在状況について定量的に理解することができた。また、このことをBangombeの核種移行モデルに反映させることが可能である。しかしながら、他のサイトに適用する場合には、定性的なシステムの理解のための資料として用いられ、モデルへの反映のされかたも定性的なものとなるであろう。】	18頁、10葉、16件
(105)	Pocos de Caldas計画; 放射性廃棄物処分のための同計画の内容の紹介と要約	Pocos de Caldasプロジェクトの、放射性廃棄物の地層処分への適用性について概観し要約する。	ブラジル、Pocos de Caldas (Osamu Utsumi鉱山及びMorro do Ferro)	ナチュラルアナログとしてのPocos de Caldas計画全体 - ニアフィールド・ファーフィールドにおける放射性核種の移行	Pocos de Caldasの地質・地下水特性全般 - ニアフィールド・ファーフィールド試料数：【記載なし】	【記載無し】	【記載無し】	【記載無し】	【Pocos de Caldasの地下水温度等】	Pocos de Caldas (ナチュラルアナログ) プロジェクトにおいて、データの提供やモデルの検証等、様々な点で寄与することが示された。	【本論文は、Pocos de Caldas (ナチュラルアナログ) プロジェクトの概要を示し、その成果を判りやすく示しており、ナチュラルアナログの成果を理解する上で有効である。】	24頁、2葉、28件

表1.2-1(2) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (2/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(106)	AECL/SKB Cigar Lakeアナログ研究の最終報告書：水理地球化学 (Hydrogeochemistry) 3.5.3 水理学および同位体学的状況 (constraint)	【Cigar Lake鉱床サイトの岩石/水反応に対する水理学的フレームワークを把握すること。】	Cigar Lake鉱床サイト	岩石/水反応に対する水理学的フレームワーク - 【地下水流動】	岩石試料、地下水試料 - 【ファーフィールド岩盤】 試料数：54試料	【水平方向：約1,100m×1,600m、深さ方向：約600m (Fig.3.64, 3.65からの読み取り)】	13億年間	Cigar Lake鉱床域周辺の南西-北東断面：Fig.3.65	水理学的に飽和な環境。還元条件。	【定量的なシステムの理解のための資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【本研究により、Cigar Lake鉱床サイトの地下水流動状況が定量的に理解できた。また、鉱化帯周辺の粘土層が地下水の流動に対して有効なバリアとして機能することが定性的にわかった。】	30頁、16葉、25件
(107)	玄武岩質ガラスの変質過程における希土類元素の挙動：アイスランドのハイアロクラスタイトの風化のケース	玄武岩質ガラスの二次相の溶解および沈殿の過程での希土類元素の挙動を調べることで、ホウ珪酸ガラスの腐食における三価の超ウラン元素の長期的挙動を推測すること	アイスランドのHengillとHusafell	玄武岩質ガラスの変質 - ホウ珪酸ガラスの腐食	玄武岩質ガラス - ガラス固化体 試料数：5個	【記載なし】	最短：90,000年間、最長：100,000年間	【記載なし】	水河の溶解水と天水の温度：0℃に近い温度。弱酸性、酸化的、非常に希釈されている。初期のEh値は410mV、初期のpHの値は約6。ガラスの溶解が進むにつれて、pHの値は9.5まで上昇する。	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【低温で、酸化的な環境条件下でのガラス固化体の溶解現象を理解することができ、これをモデルに反映させることが可能である。】	8頁、7葉、8件
(108)	GabonのBangombeの天然原子炉中の粘土と母岩：アクチノイドの移行	【アクチノイドに対する粘土の遅延効果を調べる】	Bangombe天然原子炉	ウランに対するリピドライトの遅延効果 - アクチノイドに対する緑泥石の遅延効果	岩石試料 - 【緩衝材、ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】 試料数：6試料	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、リピドライトがウランの晶出を促進させてウランの移行に対して遅延効果があることがわかり、また、このことはモデルに反映させることが可能である。】	1頁、0葉、0件
(109)	シナリオ開発の手段としてのインフルエンスタグラムのSFL3-5処分概念への適用による試験 FEP：腐食生成物の沈殿/溶解	【FEPとしての腐食生成物の沈殿/溶解を説明すること】	【記載なし】	腐食生成物の沈殿/溶解 - 腐食生成物の沈殿/溶解	腐食生成物 - 【キャニスタ/オーバーパック】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、腐食生成物によるベントナイト中の新たな割れ目の生成の可能性が指摘され、これをモデルに反映させることが可能である。】	2頁、0葉、2件
(110)	El Berrocalプロジェクト；現実的な亀裂系花崗岩環境の条件下の天然の放射性核種の移行プロセスの特性調査と確認；フェーズ1の概要報告書 3.5 地下水化学	亀裂系花崗岩環境中の天然の放射性核種の分配を支配している現在及び過去の移行プロセスを理解しモデル化すること	El Berrocalサイト	El Berrocalサイトの地下水化学特性 - 【亀裂系花崗岩環境中の地下水化学特性】	地下水試料 - 【ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【水平方向：700m、深さ方向：400m (Fig.3.32からの読み取り)】	【記載なし】	El Berrocalサイトの第三紀層、花崗閃緑岩、花崗岩、断層の位置関係：Fig.1.3	亀裂系花崗岩環境	サイトの地下水化学の一次近似的なモデル化	【Table3.2は地下水中のカリウム濃度が<20mg/Lであることの一例として評価できる】	10頁、7葉、0件
(111)	ニュージーランドの熱水システム中の岩石-水反応：地球化学的プロセスについてのシミュレーション結果と観察結果の比較	天然システムの中で地球化学モデルの検証の方法の評価を行うこと	Ngawhaサイト(1)、Rotokawaサイト(2)	(1)：流体のミキシング - 流体のミキシング、 (2)：酸化還元反応を伴う鉱物の沈殿 - 酸化還元反応を伴う鉱物の沈殿	(1)：Ngawhaサイトの流体 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】 (2)：Rotokawaサイトの流体、それと反応する岩石、流体から沈殿する鉱物 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	(1)：地下の流体；ガス濃度の高いアルカリ塩化物溶液。温度は220℃～240℃。希釈水；130℃で塩化物を含まない。 (2)：Rotokawa湖の水の温度は気温と同じ。pHは約2.3。地熱蒸気の温度は330℃	【技術、手法の開発】	【本研究により、天然システム中での地球化学モデルの検証の実例が示された。ここで示された方法は、他の異なる環境条件にあるサイトで地球化学モデルの検証を行う際に参考になると考えられる】	5頁、2葉、8件

表1.2-1(3) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (3/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリエーション構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何学的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(112)	スメクタイトのイライト化の実験によって得られた速度論的モデルとその地熱計としての利用	モンモリロナイトを実験的にスメクタイト/イライト化させて、頁岩の続成作用の速度論を把握し、世界各地の盆地(basins)の熱履歴の評価に利用する。	ラボ実験(モンモリロナイトのスメクタイト/イライト化)、実験結果と対比された盆地(メキシコ湾、ウイゴン盆地、東台湾盆地、サルトラ地熱地域、774盆地、カリフォルニア等)	ベントナイトの変質(ラボ実験による頁岩の続成作用のシミュレート) - ベントナイトの変質(イライト化)	粘土(Naで飽和したモンモリロナイト) - ベントナイト 試料数:【記載なし】	【ラボ実験;液体/岩石: 5-10μl/mg】	【ラボ実験;実験時間は1~61日で、主に3-5日の場合が多い。】	ラボ実験;冷間封止圧力容器内で実験、サブ容器には金ガゼルを使用。	ラボ実験;温度: 250,275,300,325℃、圧力: 500bar	【当該研究は、石油探査のために開発された技術で、頁岩の続成作用をシミュレートし潜在的な石油鉱床の熱履歴を把握することを目的としており、特に温度が250-325℃と、地層処分場で予想される温度(~100℃)とは異なるが、ラボ実験により基本的な速度論的モデルを構築する、という思想は利用可能である。】	【上述のように当該研究は石油探査のためのもので地層処分場のためのもの、またナチュラアナログとしての研究ではないが、ベントナイトの特性変化を実験的に把握しようという積極的な姿勢は評価できるであろう。】	16頁、19葉、54件
(113)	ベントナイトの長期的耐久性に関するナチュラルアナログ研究 - 村上鉱床のイライト化における時間-温度条件と水の化学	イライト化の時間-温度条件と、イライト化に関与した空隙水のイオン濃度を見積もること。	村上鉱床	ベントナイトのイライト化 - 圧縮ベントナイトのイライト化	岩石試料 - 圧縮ベントナイト 試料数: 3個	【直線距離約200mの範囲(Fig.5からの読み取り)】	350万年	Fig.1	反応前の水の組成: K+: 400, Mg2+: 1300, Ca2+: 400, Na+: 11000 (mg/l)。	【定量的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、ベントナイトのイライト化について、時間-温度条件とイライト化の程度との関係が定量的に明らかにされており、これは緩衝材/埋戻材のイライト化のモデルに反映させることができる】	8頁、12葉、12件
(114)	温度勾配のある圧縮ベントナイト中の塩の再分配と濃縮	温度勾配と逆方向に水を吸い上げさせた後に粘土の空隙水中のイオンの分配を観察すること	実験室内	温度勾配のある圧縮ベントナイト中の塩の再分配と濃縮 - 温度勾配のある圧縮ベントナイト中の塩の再分配と濃縮	圧縮ベントナイト - 緩衝材 試料数: 20試料	直径50mm、高さ50mmの円柱	45または120日間	実験装置: Fig.2-2及びFig.2-3	試料FとH: 実験期間中は室温で保持。他の試料中の温度勾配: 14℃/cm。実験条件及び飽和水溶液のイオン濃度: Table2-1及びTable2-2	【定量的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、圧縮ベントナイトが温度勾配条件下に置かれた時にどのような塩の再分配と濃縮が生じるかが定量的にわかった。ただし、本実験での温度勾配条件は処分場環境で予想されるものよりも温度勾配が大きいので、この相違が実験結果に及ぼす効果を定量的に見積もることができれば、本研究結果を定量的にモデルに反映させることが可能である。】	46頁、12葉、5件
(115)	Na及びKベントナイトに及ぼす循環的な水和/脱水の効果	脱水により引き起こされたスメクタイトの鉱物学および構造的な変化を明らかにし、それに関連する透水係数及び膨潤圧の変化を測定すること	【記載なし】	Na及びKベントナイトに及ぼす循環的な水和/脱水の効果 - 脱水によるベントナイトの透水性と膨潤性の変化	Na及びKベントナイト - ベントナイト緩衝材 試料数: 8試料	【記載なし】	120日間	高密度試料: Fig.2-1、低密度試料: Fig.2-2	加熱温度: 最高150℃、実験条件: Table2-1	【定量的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、ベントナイトが脱水したときにどのような鉱物学および構造的な変化が生じ、それに関連して透水係数および膨潤圧がどのように変化するかを定量的に明らかにし、これらの結果をモデルに反映させることが可能である。】	46頁、60葉、12件

表1.2-1(4) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(4/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリエーション構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(116)	スメクタイトのイライト化のモデル；KBS条件の重要なファクター	【スメクタイトのイライト化のモデルをKBS3処分環境へ適用すること】	【記載なし】	スメクタイトのイライト化 - スメクタイトのイライト化	スメクタイト/イライト粘土 - 緩衝材 試料数：【記載なし】	【水平方向：およそ6m、鉛直方向：およそ14m (Fig.3-1からの読み取り)】	100万年間	KBS3タイプの処分場の概略図：Fig.3-1	pH：3~9	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、坑道、処分孔および埋戻材中のカリウムが緩衝材中のスメクタイトのイライト化にどの程度影響を及ぼすかがわかり、これをモデルに反映させることが可能である。】	42頁、21葉、55件
(117)	鉄-水-ベントナイト混合系における化学的相互作用に関する研究	オーバーパック材料としての鉄の腐食に伴う地下水の化学的条件の変化を把握すること	【記載なし】	鉄と水溶液の反応 - オーバーパックと水溶液の反応	鉄粉、蒸留水、人工海水、ベントナイト - オーバーパック 試料数：4個	【記載なし】	200日間	【記載なし】	還元条件	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	オーバーパック自体の腐食挙動やオーバーパック破損後の核種移行評価を行う上で重要である。	4頁、6葉、4件
(118)	放射性廃棄物ガラスのナチュラルアナログとしての流紋岩質ガラス；天然水による溶解に対するアイスランドのガラスの挙動	放射性廃棄物ガラスのナチュラルアナログとして、アイスランドの黒曜石の割れ目における流紋岩質ガラスの変成作用(水による溶解)を詳細に調べた。	Myvatn地区(アイスランドの北部火山地帯)	天然の流紋岩質ガラスの変成作用 - 放射性廃棄物ガラスの耐久性	天然の流紋岩質ガラス - 放射性廃棄物ガラス 試料数：【記載なし】	【サンプルサイズ等の記載無し】	更新世後期の火山活動により生じた黒曜石。	黒曜石の狭い割れ目の変成した緑	侵食水は中性に近いpH。氷河期の溶解水温は1℃、間氷期は<10℃と想定。	流紋岩質ガラスも廃棄物ガラスも共に、低温かつ割れ目条件で大陸性環境下での水による溶解を受けるものと考えられる。これらの点から流紋岩質ガラスの研究は、廃棄物ガラスの有効なアナログ研究である。鉄や希土類、ウランに富んだ化学組成も共通している。	【放射性廃棄物ガラスに対しては、流紋岩質ガラスよりも玄武岩質ガラスのほうが成分的に近いので玄武岩質ガラスで研究を進めるべきである。】	11頁、8葉、67件
(119)	スウェーデンのサイモテクトニクスのレビュー 8.5地殻のひずみと地下水	【Fennoscandia地域の地殻のひずみと地下水の関係がどのようになっているかを、関連する研究のレビューを行うことにより調査すること】	Fennoscandia地域	地殻のひずみの及ぼす水理地質学的影響 - 【処分場周辺の地殻ひずみの及ぼす水理地質学的影響】	【Fennoscandia地域の地殻】 - 【ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	10,000年間	【記載なし】	氷期には氷河で覆われていたが、その後退氷が起きた。	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、地震活動等により断層が生じた時に透水性にどのような影響を及ぼすかを定性的に理解することができ、それをモデルに反映させることが可能である。】	7頁、3葉、8件
(120)	ベントナイト中のスメクタイト粘土の劣化のメカニズム	【スメクタイトに富む粘土がHLW処分場に用いられた場合に生じる劣化のメカニズムについて解説すること】	【記載なし】	スメクタイトのイライト化 - 緩衝材/埋戻材中のスメクタイトのイライト化	スメクタイト - 緩衝材/埋戻材中 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【スメクタイトのイライト化のメカニズムを理解することができるだけでなく、イライト化に伴うシリカのセメンテーションについての現象の理解も可能である。また、これらをモデルに反映させることが可能である。】	4頁、3葉、5件
(121)	ストリパプロジェクトの最終報告書 - スメクタイト粘土のグラウトのシーリング特性と寿命	ベントナイト粘土のグラウトが汽水や蒸留水に曝されたときの透水係数と剪断強度を調べると、及び組成の異なるグラウト中の鉱物の変質メカニズムを同定することを目的とする。	【実験室内】	ベントナイト粘土グラウトの透水性及び剪断強度 - ベントナイト粘土グラウトの透水性及び剪断強度	ベントナイト粘土グラウト - 【ニアフィールド岩盤】 試料数：135試料	熱水試験用セル：600ml、試料ホルダー：6ml	10日~270日	熱水試験用セルの幾何特性：Fig.3.1	汽水の化学組成：Table 3.1、ベントナイトの化学組成：Table 3.2 温度条件：20, 90, 130, 160, 200℃ (Table 3.4)	【定量的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、ベントナイト粘土グラウトの透水性および剪断強度に及ぼす熱水汽水の影響が定量的に理解することができ、このことをモデルに反映させることが可能である。また、本研究結果はベントナイト緩衝材と汽水の相互作用を理解するための資料としても利用可能である。】	140頁、104葉、30件

表1.2-1(5) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(5/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(122)	Stripa鉱床における、フランスの候補粘土にスチールヒーターを埋め込んだ熱水場試験	野外実験を十分に長い時間をかけて行い、初期段階において不飽和な粘土中の水の吸い上げ速度をチェックすること、および化学的に引き起こされる可能性のある飽和相の物理特性の変化をみつけだすこと。	Stripa鉱床	カオリン/スメクタイト粘土の熱変質 - 【緩衝材/埋戻材の熱変質】	カオリン/スメクタイト粘土 - 【緩衝材/埋戻材】 試料数：2個	径200mm、長さ2.8mのボーリング孔	8ヵ月間及び4年間	深さ350mの坑道に鉛直方向に径200mmの2本ボーリング孔を掘削し、その中心部の径70mmのヒーターを配し、ヒーターの周囲にカオリン/スメクタイト粘土を配している。	地下水組成：Na+= 4.13×10^{-3} M, Ca2+= 1.30×10^{-3} M, Mg2+= 0.14×10^{-3} M, K+= 0.10×10^{-3} M, F= 0.13×10^{-3} M, Cl= 1.83×10^{-3} M, SO42-= 0.55×10^{-3} M	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、温度勾配条件下での容器とベントナイトの相互作用についての現象を理解することができ、これをモデルに反映させることが可能である】	88頁、57葉、42件
(123)	§10 不確実性と信頼の形成 10.2 天然のシステムからの情報	本項は、「放射性廃棄物地層処分の科学的及び規制的地盤」の第10章2項であり地層処分におけるナチュラルアナログの意義等を解説している。	【特定せず】	天然及び考古学的人工物等ナチュラルアナログの対象物全般 - 地層処分に係わる性能評価事象全般	天然事象(地質・地下水)、考古学的人工物等 - 廃棄物、緩衝材、ニアフィールド、ファーフィールド 試料数：【記載なし】	【特定せず】	【特定せず】	【特定せず】	【特定せず】	【性能評価におけるナチュラルアナログの意義が詳しく説明されていて、ナチュラルアナログを概念的に理解することに役立つ。また、ナチュラルアナログからの知見の利用上の問題点等が指摘されていて示唆的である。】	【過剰に信頼すべきでない事例としてオクロの天然原子炉の例をあげているが、ナチュラルアナログの研究の具体例の集約のようなものがあるとよいと考えられる。また、地層処分におけるナチュラルアナログの積極的意味がもっと示されるべきである。】	28頁、7葉、19件
(124)	性能評価上重要なCigar Lakeのいくつかの問題の再検討 4.3 粘土化した基盤岩試料の物理特性：ベントナイトとの比較	【スメクタイトのイライト化に伴う物理特性の変化を調べること】	Cigar Lake 鉱床	Cigar Lakeの粘土化した基盤岩試料の物理特性 - スメクタイトのイライト化	粘土化した基盤岩試料 - 緩衝材 試料数：【記載なし】	【記載なし】	100Ma	Cigar Lake鉱床の概略的な断面図：Fig. 2.2	還元的な環境条件	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、ベントナイトがイライト化した場合に物理特性にどのような変化が生じるかを定性的に理解することが可能になった。また、このことはモデルに反映させることが可能である。】	8頁、3葉、6件
(125)	地圏及び生物圏中の水素及びメタンの反応に関するレビュー	ニアフィールドから放出した水素とメタンの濃度が低くなりうる物理的及び/または化学的メカニズムに関する証拠を得ること。	地圏及び生物圏	地圏及び生物圏中の水素及びメタンの反応 - 中低レベル処分場から漏出した水素及びメタンの引火/爆発	水素、メタン - ファーフィールド岩盤 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための基礎資料】	【本研究では、地圏及び生物圏中の水素及びメタンの反応について、間接的なデータの獲得にとどまっている。】	44頁、10葉、101件
(126)	盆地と山脈の火山システム	処分場の長期的安全性に関わる、ユッカマウンテン近傍の盆地・山脈地域の、珪酸質及び玄武岩質火山活動の可能性の評価	ユッカマウンテン近傍の盆地・山脈地域	処分場候補地近傍の火山活動の可能性 - 大規模自然現象	珪酸質及び玄武岩質火山 - ファーフィールド 試料数：【記載なし】	伸長移動： $245\text{km} \pm 56\text{km}$	過去1500万年間の新世代	小規模な玄武岩質溶岩流と燃え滓コーンとしてのマフィックな火成複合体	珪酸質及び玄武岩質の溶岩	【ユッカマウンテン近傍の過去の火山活動の詳細な調査により、当該研究からの情報は、ユッカマウンテン処分場近傍の将来の安定性(火山活動の可能性の低さ)を示すことに有用な多くの情報をもたらしている。】	【当該研究はユッカマウンテン近傍の過去の火山活動の詳細な調査により、ユッカマウンテン処分場近傍の将来の安定性(火山活動の可能性の低さ)を示すことに有用な多くの情報をもたらしている。】	22頁、0葉、88件
(127)	非線形ダイナミクスとカオス理論の適用：長期時間の非線形ダイナミクスの例	非線形挙動の可能性及び/または火山-マグマシステム中で観測できるカオスの性質を説明すること。	【記載なし】	非線形ダイナミクス - マグマ活動	【外核、マントル、堆積岩】 - 【ファーフィールド岩盤】	【記載なし】	数万年のオーダー	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、マントル対流のプロセスに関する非常に基礎的な資料を得ることができた。これは、処分場近傍の火山活動を予測する際の基礎資料として利用可能であり、また、火山活動に関するモデルの開発に反映させることも可能である。】	2頁、0葉、8件

表1.2-1(6) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(6/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリエーション	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何学的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(128)	圧縮ベントナイト中のキャニスターの沈下	非排水クリープ変形のために生じるキャニスターの沈下の重大性/大きさを評価すること、及び沈下を支配している重要なファクターは何であるかを決定すること。	【室内(数値解析)】	圧縮ベントナイト中のキャニスターの沈下 - 圧縮ベントナイト中のキャニスターの沈下	圧縮ベントナイト - 緩衝材 試料数:【記載なし】	【水平方向:約8m,鉛直方向:3.7m(Fig.1aからの読み取り)】	10,000年間	廃棄物キャニスターの幾何学的状況: Fig.1a	ベントナイトは完全飽和状態。クリープ変形による体積変化は生じない(すなわち非排水クリープ変形)。	【定量的なシステムの理解のための資料,モデルへの入力パラメータ】	本研究の結果は、解析の際に用いられた仮定と、クリープ特性を決定した有効な実験データが限定されていることのために限られたものになっている。	31頁、15葉、19件
(129)	koongarra二次鉱床のsaleciteの生成メカニズム	koongarra二次鉱床におけるsaleciteの生成メカニズムを解明すること。	koongarraウラン鉱床	saleciteの生成 - ウランの再分配	岩石試料 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】	地表下20mまでの二次鉱床の範囲	【記載なし】	【Fig.1のウラニル燐酸塩とウラニル珪酸塩の部分。風化帯に存在し、水平方向に長い。一次鉱床の上部に位置する。】	M1孔及びM3孔の地下水組成: Table 1	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【少なくともkoongarra二次鉱床の地下水の上流の環境条件では、Skłodowskiteやアバタイトのsaleciteへの置き換えが起こることがわかった。】	8頁、8葉、12件
(130)	不飽和条件下における移行モデリングに対する、Akrotiri考古学サイトからのデータを用いたナチュラルアナログ的支持	予測的化学輸送モデルを試験し、それらの結果の確実性(validity)をより詳細に調べることを目的とする。	ギリシアのSantorini島のAkrotiri考古学サイト	不飽和条件下での金属腐食物質の移行 - 不飽和環境中の微量元素の移行	考古学的人工物を覆っていた珪質な凝灰岩の試料 - 【ファーフィールド岩盤】	【記載なし】	3,600年	人工物の埋没深度は2mである。	比較的乾燥した気候。都市は飽和した地下水レベルより上に埋没した。不飽和の水力条件。	モデル確証のためのデータ	フィールドデータはモデルの結果を支持したが、汚染物質の放出はモデル中で考慮されていないプロセスの影響を強く受けているかもしれない。	6頁、1葉、6件
(131)	使用済燃料の長期変化に対する二次ウラン鉱物のウラン系列年代の適用	酸化的な水に接した使用済燃料の長期的進化を理解するため	ザイール南部のShinkolobwe鉱床	二次U(VI)鉱物の生成 - 使用済燃料の長期的進化	Shinkolobwe鉱床のU(VI)鉱物 - 使用済燃料	【記載なし】	100,000年以上	【記載なし】	酸化的な水中	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	我々の結果は、UO ₂ の腐食生成物集合体の複雑さが地質学的時間の間持続することを説明している。また、その複雑さは天然のウラン鉱床の同様な条件下でみられる鉱物集合体と同程度かそれ以上であろう。	8頁、2葉、25件
(132)	熱水システムに関連したカーボナタイト中のパイロクロアの天然における生成及び安定性	【セラミック製核廃棄体のナチュラルアナログとなりうるパイロクロアの生成及び安定性について知見を得る】	Araxa (Brazil), Chiriguelo (Paraguay), Blue River (Canada), Fen (Norway), Mountain Pass (California)	パイロクロアの生成及び安定性 - 【セラミック製核廃棄体の溶解に関する安定性】	パイロクロア - セラミック製核廃棄体	【記載なし】	9,100万年間~14億年間	【記載なし】	火成岩体中。浅成作用環境下。変質した火成岩体中。熱水変質を受けた環境下。	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【パイロクロアの変質条件と放出したU量の限定化ができれば定量的なシステムの理解が可能になると考えられる】	8頁、4葉、12件
(133)	Palmottu ナチュラルアナログサイトにおける亀裂周辺の変質ゾーンの特性調査	研究目的は次の三つである。(1)天然の亀裂の周辺の空隙率と拡散率のプロファイルを決めること。(2)それらの特性を決定する際の試料サイズの効果を解析すること。(3)測定した変質ゾーンを、α線オートラジオグラフィを用いて解明した構造特性により補足すること。	Palmottu ナチュラルアナログサイト	【亀裂周辺の変質ゾーン】の諸特性(空隙率、拡散率、構造特性) - 岩石の変質帯中の核種移行特性	岩石試料 - 【ニアフィールド岩盤及びファーフィールド岩盤】	試料の大きさ:径32mm×長さ78mm	【記載なし】	ボーリングコアは地下42.82mから採取した。コアの一端は透水性亀裂面、その近傍の領域は変質が進んでいる。	亀裂の進化の過程において酸化条件下に置かれたことがある。	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【研究対象事象の環境条件をより詳細に明確化すれば、モデルへの入力パラメータとなりうる】	8頁、5葉、13件
(134)	割れ目充填物質の磁力分離物質中の微量元素の分配パターン	粘土鉱物の収着容量を識別すること	Stripa 鉱床	割れ目充填物質中の核種の分配 - 核種の収着	花崗岩中の割れ目充填物質 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	試料は地下360mから採取した。	試料採取地点は還元的环境条件。その地点における地下水中のウラン濃度は1-2 ppb。	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【個々の鉱物における測定対象元素の含有量を調べることができれば性能評価に対してより定量的な適用が可能になると考えられる。】	7頁、6葉、20件

表1.2-1(7) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(7/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(135)	巨礫試料中の後氷期のマトリクス拡散	フィンランドの放射性廃棄物処分場の性能評価において使用されているマトリクス拡散モデルの検証を行うことを最終的な目的とする。	フィンランドのHirsimakiからKolkanmakiまでの一帯	巨礫試料中の後氷期のマトリクス拡散 - マトリクス拡散	白雲母花崗岩の巨礫 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフフィールド岩盤】	試料の大きさ: 約 20mm × 30mm × 65mm	30,000 年以下	白雲母花崗岩の上に漂礫土とシルト/粘土が覆っている (Fig.1)。	試料採取箇所は、1万年前に退水が起こり、引き続き海面下に50~100年間置かれ、その後隆起により海面より上に来た。	モデル検証のためのデータ	この予備的な研究は入力データの不十分さにより阻害されている。しかしながら、巨礫試料は実験技術だけでなくモデルに対しても有効な試験の下地になりうるということを示した。	8頁、7葉、14件
(136)	高レベル放射性廃棄物処分場の研究の方針及び取り組み方の観念論	アメリカ合衆国における数10年におよぶ高レベル放射性廃棄物処分場の研究の方針及び取り組み方の見直し	アメリカ合衆国	【記載なし、一般論を述べた論文である。】	【記載なし、一般論を述べた論文である。】	【記載なし】	10,000年	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なPublic Acceptance資料、信頼形成(Confidence Building)のための資料。高レベル放射性廃棄物処分場の規定及び方針を考える上での指針】	【本論文は、処分事業に係わる広く一般の理解を得るための基本的な資料である。】	11頁、0葉、6件
(137)	安全性評価に関する最近の状況および専門家以外の人々に安全性を確認させるためのナチュラルアナログの役割	処分場システムの安全評価とは広い分野を含み、システムの理解を深め定量化すること、この定量化の限界を評価すること、これら解析結果の妥当性を関係団体に納得させることから成る。これらの分野における不確実な要素の議論及びナチュラルアナログのはたす役割を考察する。	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なPublic Acceptance資料、信頼形成(Confidence Building)のための資料】	【本論文は、処分事業に係わる広く一般の理解を得るための基本的な資料である。】	10頁、0葉、10件
(138)	放射性廃棄物の設計及び性能評価-ナチュラルアナログの役割についての現状の把握	放射性廃棄物の形態のマトリクスのデザイン及び性能評価のためのナチュラルアナログの果たす役割を示し、ナチュラルアナログがモデルに関する安全性評価と専門家および一般人への信頼の確立に重要な要素であることをしめす。	【文献をレビューしたものであり特定の場所はない】	【記載なし】 - 【放射性廃棄物形態およびマトリクスの長期安定性】	セラミックス、セメント、瀝青、樹脂、金属容器 - ニアフィールド、ガラス固化体/使用済燃料	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【各種の廃棄物形態に対するナチュラルアナログとの比較検討、モデル開発のための基礎資料、モデルへの入力パラメータ、モデルの検証のためのデータ】	【各種の廃棄物形態に対するナチュラルアナログの研究の現状がよくコンパイルされている。】	42頁、14葉、72件
(139)	高レベル廃棄物のために人工バリエーションシステム (EBS) の予知信頼度のためのナチュラルアナログ	本論文の目的は、ヒューマンアナログと同様にナチュラルアナログの最近の研究の文献調査を行ない、長期処分条件下の予知性能確認のために使用可能なEBS材料のナチュラルアナログを明らかにし、検討することである。	太平洋北西実験所	マストランスファー、水文学的移動、蒸気による移動、核廃棄物と地下水との相互作用、低地下水流、高石鹸質鉱物、低酸化還元ポテンシャル、飽和と不飽和 - 核種移行、岩石-水相互作用、多重バリアシステムの安定性、パラメーターの時間的変動	バリア材料、安定性材料、耐腐食/腐食耐性材料、廃棄物形態(種類)、岩盤、地下水 - キャスチング/オーバーパック、緩衝材/埋戻材、ニアフィールド岩盤、ファーフフィールド岩盤、放射性核種	【記載なし】	数万年から数10万年	【記載なし】	ベントナイト: 100℃以下106年以上	【定量的なシステムの理解のための資料、信頼の形成(Confidence Building)のための資料】	【深部の熱等の条件下に適用可能】	21頁、5葉、76件
(140)	自然状態の地下水化学データを使って、地下水中の放射性核種の挙動を明らかにする。	処分場の安全評価に使用されたコンピュータ・ベースのモデルが、実際のフィールドシステムの中で生じたプロセスを正しく再現するかを実証する。	Broubster, Scotland; South Terras, Cornwall; Alligator River, Northern Australia; Pocos de Caldas, Brazil	地下水と岩石との反応、ウラン鉱石の変質作用 - 収着、鉱物の変質、地下水化学	地下水、ウラン鉱石 - ファーフフィールド岩盤	【記載なし】	South Terras: 60年、【他のサイトの記載なし】	Broubster: 道路の100m東、Alligator Rivers: 80m川下に初成鉱床あり。【他のサイトの記載なし】	Broubster: 地下水は弱酸性(pH5.3~6.7) South Terras: 土壌は初生鉱石 (uraninite, pitchblende) や、二次ウラン変質鉱物に不飽和。 Pocos de Caldas: 酸化状態の地下水と、還元状態の岩盤との接触。【他のサイトの記載なし】	【モデル開発のための基礎資料】	Broubster: アクチニド移動・固定化をコントロールするプロセスや概念モデルの数式化が可能となる。 South Terras: 観察結果は良好である。 Alligator River: このサイトには信用できるデータが少ない。 Pocos de Caldas: Osamu Utsumi 鉱山は地化学の複雑なシステムを解明する分種化モデル技術の有効性を実証可能とした。	23頁、5葉、46件

表1.2-1(8) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(8/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(141)	性能評価におけるナチュラルアナログ：自然環境を研究することによって地下水中の放射性核種のモデル改善	地下水中の溶液移動の研究の文献調査を行い、地下水中の放射性核種の移動性能評価モデルを改善しながらアナログの役割を調査すること	スイス国 Berne大学地質研究所及び鉱物岩石研究所	花崗岩のカオリン化による分解、ウラン鉱床の形成・変質作用 - 溶液移動、収着プロセス (Fig.1)、地下水移動 (Fig.2)、遅延プロセス (Fig.4)	地下水、透水層、粘土層 - 放射性核種、ファーフィールド岩盤	物理的収着、イオン交換、鉱化作用、沈殿が起こる範囲 (fig.1) 露頭からの分散距離として 100kmの範囲	10,000年まえから現在まで特に地質年代として 5000年前の Flandrian海進期 (fig.5)	【記載なし】	【記載なし】	【モデル開発のための基礎資料及びモデル (数式) への入力パラメータ】	地下水中の溶液移動の研究の文献調査の結果では純粋にアカデミックな研究が多く、また性能評価の中で使用されたモデルの僅かな妥当性によっては十分に絞り込めない傾向にあった。実際有る場合には専門用語の混乱によって導かれた結論は、不正確であり、或いは誤解を招く。	33頁、6葉、105件
(142)	文献調査による核廃棄物の地層処分ナチュラルアナログと性能評価	核廃棄物の地層処分の安全性の性能評価を支える際のナチュラルアナログの使用に関して文献調査すること	スウェーデン国及びスイス国	カオリン化による花崗岩の塊状分解、ウラン鉱床の形成 - 【ニアフィールド母岩特性】	厚い銅、スチール性の容器、塊状のベントナイト粘土シール、コンクリート遮断壁などの塊状に設計されたバリアー。花崗岩質貫入岩。 - 緩衝材/埋戻材、ニアフィールド岩盤	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【信頼の形成 (Confidence Building) のための資料】	主要な報告書は燃料を供給する免許のためのアプリケーションを支えるために使用されたものである。	2頁、0葉、0件
(143)	ブラジル国ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダス・アルカリ岩質カルデラ複合岩体の広域地質学、鉱物学及び地球化学	ポソ・デ・カルダス・アルカリ岩質カルデラ複合岩体の広域地質学的及び地球化学的記載	ブラジル国ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダス	インパティブル元素、揮発性成分、Pneumatolitic 及び autohydrothermal 鉱化作用、アルカリ変換反応、熱水風化作用 - 【地下水流動、地下水化学】	アルカリ岩質カルデラ複合岩体 (アルカリ火山岩、侵入岩)、フォノライト、ネフェリンサイアナイト、ゼオライト鉱物、螢石赤鉄鉱 - ニアフィールド岩盤及びファーフィールド岩盤	直径 3.3 km の環状形状	アルカリ岩質カルデラ複合岩体の定置年代：1500万年 (同位体年代) 間で定置 火成活動及び熱水鉱化作用の上限のランプロファイヤー岩脈の年代：7600万年前	直径 3.3 km の環状構造、小規模のリングダイク、陥没カルデラ	hydrothermal 鉱化作用下の大きな温度範囲 K・U・Th・REE に富む岩石	【定性的なシステムの理解のための資料】	【ナチュラルアナログを地質学的、鉱物学的及び地球化学的に総合的に研究する上での指針となる。】	2頁、0葉、0件
(144)	ブラジル国 Minas Gerais 地域、Pocos de Caldas アナログ研究地域の鉱物学、岩石学及び地球化 I：Osamu Utsumi ウラン鉱山	ブラジル国 Minas Gerais 地域の Osamu Utsumi ウラン鉱山の鉱物学、岩石学及び地球化学に関する記載とアナログ研究	ブラジル国 Minas Gerais、Pocos de Caldas 複合岩体の南東地域	U-Zn-REE 鉱化作用、KとSに富む熱水変質作用、カリウム変質作用及び黄鉄鉱化作用。 - 【ニアフィールド母岩中核種移行】	古期から新期の斑状フォノライトおよびネフェリンサイアナイトの侵入岩類、岩脈火成活動の伴う角礫岩 - ニアフィールド岩盤	Osamu Utsumi ウラン鉱山：露天掘り；直径 800 m の円形状	鉱床形成に関連する貫入岩の年代は 7600 万年前	【酸化還元領域の存在はあるが、その幾何特性の詳細はない。】	初生変質の自熱水ステージの最低温度は 200℃以下流体包有物での最低温度は 210℃から 260℃の範囲で、最高温度は 260℃から 360℃	【モデル開発のための基礎資料】	岩石鉱物学的、鉱床学的、地質構造学的記載が良くなされており、流体包有物の研究からの鉱床形成温度が示されているので、ウラン鉱床形成モデルに重要である。	6頁、0葉、0件
(145)	ブラジル国ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダスアナログ研究地域の鉱物学、岩石学及び地球化学 II：モホ・ド・フェリョ	モリョ・ド・フェリョ地域の珪素質及び粘土質風化作用状態で形成された浅成起源の Th-REE-鉱床の研究	ブラジル国ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダス・アルカリ岩質カルデラ複合岩体の中に位置するモリョ・ド・フェリョ地域。	REE・螢石・U・Th 脈タイプ鉱化作用、フェナイト、鉱化作用とフォノライト質母岩の変質作用 - 鉱物の変質、【ニアフィールド~天然バリアへの核種移行】	フォノライト、風化ラテライト質物質、酸化磁鉄鉱脈、磁鉄鉱ストックワーク - ニアフィールド岩盤	南東斜面に沿った頂上から窪んだ丘陵地にかけて広がった NW-SE 方向に延長した粘土質レンズ鉱体	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための資料】	【変質の現象から物質移行等のモデル化に役立つ。】	2頁、0葉、0件

表 1.2 - 1 (9) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (9/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(146)	ブラジル国ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダス・アルカリ岩質カルデラ複合岩から選別されたネフェリンサイアナイトとフォノライトの同位体地球化学的特徴づけ	Osamu Utsumi ウラン鉱山での熱水鉱化作用及び変質作用に関連した特定元素及び同位体のマス・トランスファーを説明することを目的とする。	ブラジル国ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダス	熱水鉱化作用、同化作用、深部風化作用、天水/岩石相互作用、混成作用 - 鉱物の変質、【ニアフィールド母岩中の物質移行】	未変質の広域ネフェリンサイアナイト及びフォノライト - ニアフィールド岩盤	【記載なし】	Rb-Sr全岩データは7600万年前の年代から7800万年前の時代	【記載なし】	【後退変質作用】	【モデル開発のための基礎資料、定量的なシステムの理解のための資料】	【同位体研究は、時間軸と空間の位置との関係の把握に有効な手段と考えられる。】	2頁、0葉、0件
(147)	ポソ・デ・カルダス・アルカリ岩質カルデラとオサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究サイトの地形学的及び水文学的特徴	ポソ・デ・カルダス・アルカリ岩質カルデラとオサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究サイトの地形学的及び水文学的特徴を記載すること	ブラジル・ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダス・アルカリ岩質カルデラとオサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究サイト	地形及び水文の変化、気候の変化、熱水変質、裂隙作用、風化作用 - 【鉱物の変質、地下水流動、地下水化学、天然バリア中の物質移行】	火山岩及び岩脈とフォノライト - ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤	直径30kmと約800km2のおおよそ円形の地域	5000万年前から現在まで	一般的な標高は1300mと1600mの間に位置する。その台地は8000万年前に貫入した浸食カルデラ形である。	11月から4月までは顕著な雨期、その時期以外は乾期。熱水風化作用に伴う酸化還元帯に位置する。自然斜面は急峻、元来の植生は薄い森林であった。	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【記載なし】	1頁、0葉、0件
(148)	ブラジル国ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地での地下水の化学組成及び同位体組成とそれらの季節的な変化性	ナチュラルアナログ研究プログラムでのモデル作製の目的のために水の化学的データを提供することである。このために主要成分、幾つかの希少元素、トリチウム、ジウテリウム及び18O成分が分析され、地下水中の化学組成及び同位体組成の季節的な変化性を知ることである。	ブラジル国ミナスジェライス州ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地	黄鉄鉱酸化作用、水の成長ブリューム - 【地下水化学】	地下水、地表水 - ニアフィールド岩盤	【記載なし】	深部地下水浸透での40-60年	【記載なし】	【記載なし】	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【地下水化学のうち、地下水の起源の推定、比較的若い地下水年代の測定技術についての信頼性は高い。】	1頁、0葉、0件
(149)	ブラジル国ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地から得られた岩石試料の天然放射性核種及び安定元素の研究	酸化還元(redox)フロントでの自然崩壊系の放射性核種及び安定元素の挙動の研究を行うこと。トリウム、ウラン及びREEの地球化学挙動に基づく付加的情報を提供すること及び、これをこの種の移行の程度を評価するための地下水流パターンに関係付けることである。	オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地	酸化還元、岩石-水相互作用(自然崩壊系非平衡) - 【地下水流動、地下水化学、ニアフィールド岩盤~天然バリア中の核種移行】	岩石、水、ウラン・ノジュール - ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤	酸化還元フロントの通路はa cmスケール	105-106年のタイムスケール	【記載なし】	【酸化還元境界領域】	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	放射性元素の不安定性の解釈に関連して自然崩壊系の放射性核種の地球化学の見地の要約の再調査のよって、岩石-水相互作用の中の自然崩壊系の不安定性の数学的モデル作製の詳細な取扱方が示されている。5つの別の実験室と各実験室で実施された多くの個別的なサブプロジェクトからなる全ての研究は、詳細に記載されている。自己抑制した研究を選択することに加え、この研究の結果と結論は、モデル作製研究とこの統合された研究プログラムの見地のためのインプットとして使用された。	3頁、0葉、0件

表 1.2 - 1 (10) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (10/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(150)	ブラジル国ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地から採取した水の天然系核種と希土類元素の地球化学	濾過前の地表付近の水及び地下水中の希土類元素及び希ガスの分析	ブラジル国ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地	溶解、リーチング、後退鉱化 - 収着、放射性核種移行	地表付近の水、地下水、帯水層岩石、多孔質媒体浮遊粒子 - ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【酸化還元環境】	【モデル開発のための基礎資料、モデル(数式)への入力パラメータ】	【酸化還元条件、放射性非平衡の合理的結果が得られた。】	2頁、0葉、0件
(151)	ブラジル国ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地から採取した水の中の浮遊粒子とコロイドの化学的及び物理的特徴と研究すること	地下水中の浮遊粒子とコロイドの化学的及び物理的特徴と研究すること	ブラジル国ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地	水成コロイド状相と浮遊粒子相との間で元素変換平衡 - 【コロイド生成、放射性核種移行】	地下水中の浮遊粒子とコロイド、コロイド濃縮液 - 【ニアフィールド岩盤～ファーフールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【コロイド生成と核種移行との関係についての具体的なデータの提示が必要である。】	1頁、0葉、0件
(152)	ブラジル国ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地における微生物学的分析	放射性廃棄物の処分性能評価の中の多くの関連地域に絞られた1つの広い範囲に亘るナチュラルアナログ研究をすること。いろいろなプロセスにおける微生物の固体数やそれらの影響を研究すること。	ブラジル国ポソ・デ・カルダス地域オサム・ウツミ鉱山及びモホ・ド・フェホ・アナログ研究用地	酸化還元反応の触媒作用、微生物の固体数 - 【周辺母岩中の微生物活動】	ボーリングコア、地下水(微生物、硫黄バクテリア) - 【ニアフィールド岩盤、人工バリア】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【酸化還元境界領域】	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【深度による微生物の数量の変化について、嫌気性の微生物の調査がなされたのかどうか等、基礎データの公表がなされることが望ましい。】	1頁、0葉、0件
(153)	Pocos de Caldas アナログ研究における地球化学モデルの試験	地球化学モデルの試験(testing)を行うこと	Pocos de Caldas	地下水中の微量元素の溶解度、分種化、制限固相 - 【HLW起源の核種の地下水中の溶解度、分種化、制限固相】	地下水試料 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	モデルの試験のためのデータ	【モデルの検証のために使用されたデータは本文献中には具体的に示されていないが、それらのデータはモデルが単に適切かどうかを決定するだけでなく修正/改良が必要な箇所も明らかにできる点で評価できる】	1頁、0葉、0件
(154)	Osamu Utsumi 鉱床と Morro do Ferro アナログサイトでの酸化還元フロントの移動と地球化学のモデルの試験 (testing)	【酸化還元フロントの移動と地球化学のモデルの試験の結果に基づいてこのモデルの現状および問題点を明らかにすること】	Osamu Utsumi 鉱床、Morro do Ferro アナログサイト	酸化還元フロントの移動と地球化学 - 【ニアフィールド及びファーフールド岩盤中の酸化還元フロントの移動と地球化学】	【岩石試料】 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【モデル開発のための基礎資料】	【本文献ではモデルの試験の結果として、現行モデルの問題点を明らかにしており、これらはモデルの開発/改良に利用できると考えられる。】	2頁、0葉、0件
(155)	ニアフィールド中の高温条件での移行：Pocos de Caldas アルカリ複合岩体の Osamu Utsumi ウラン鉱床の生成からの証拠	【ニアフィールド中の高温条件での移行をモデル化すること】	Osamu Utsumi ウラン鉱床	Osamu Utsumi ウラン鉱床の鉱化作用および変質作用 - ニアフィールド中の高温条件での移行	【岩石試料】 - ニアフィールド岩盤	10km×10km×10km	数1,000年	【記載なし】	Osamu Utsumi ウラン鉱床は熱水変質作用を受けた	【モデル開発のための基礎資料】	鉱物の変質のデータは核種の移行を予測する際に用いられる。	2頁、0葉、0件
(156)	Pocos de Caldas の Osamu Utsumi 鉱床と Morro do Ferro アナログ研究サイトでの岩石/水反応の地球化学的モデリング	【アナログサイトにおいて水/岩石/気体反応を伴う地球化学的プロセスのモデル化を行うこと】	Pocos de Caldas の Osamu Utsumi 鉱床と Morro do Ferro アナログ研究サイト	水/岩石/気体反応 - 【ニアフィールドおよびファーフールド中の水/岩石/気体反応】	【地下水試料、岩石試料】 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	地表がラテライトで地下深くなるにつれて徐々にサブロライト(腐食岩石)に変化し、最終的に未風化の熱水変質母岩になる。	母岩は熱水変質を経験したことがあり、さらに地表近くは風化作用を受けている。	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のためのデータ】	【上記の成果は、検証済みのモデルから得た結果であるが、これらに対してフィールドでのデータにより正しいことを確認することは信頼の形成の観点から重要であると考えられる。】	1頁、0葉、0件

表 1.2 - 1 (11) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (11/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何学的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(157)	フィンランド国におけるナチュラルアナログ研究と性能評価	処分システムにナチュラルアナログを関係づけ、そして性能評価中の結果の適応性を評価することにある。	(1) (室内)、(2) (室内)、(3) Nummi-Pusula地域のPalmottuのウラン鉱床	(1)自然銅の変質 - 【キャスターの劣化】、(2) 岩石割れ目内の地下水中の塩濃度の変動 - マトリクス拡散、【地下水流動、地下水化学】、(3)割れ目充填鉱物へのウランの濃集 - 【収着、核種移行】	(1)銅管 - キャスター、(2)花崗岩(粗粒花崗岩) - ニアフィールド岩盤、(3)白雲母片麻岩、石英-長石片麻岩、含輝石片麻岩、花崗岩質岩脈、花崗岩質インクルーシブ状岩体、2タイプのウランを含む脈(粗粒長石石英黒雲母ペグマタイト、石英黒雲母に富む剪断性花崗岩質岩脈) - 【放射性核種】	【記載なし】	(3)Hyrkkola鉱化作用のウラニナイトは17億7400万年前の年代を示す。その地域の後期造山運動に伴う貫入岩はそれより僅かに若い。	【記載なし】	【記載なし】	定性的なシステムの理解のための資料。性能評価の観点から適切な研究地の選定に利用される。	水文地質学的条件下での自然銅の存在、測定された陰イオンのプロフィール及びウラン遅延の原因である現象とメカニズムの研究を通して分かったことは室内実験や野外実験の必要性についてであり、今後のこれらの実験を通してより良いナチュラルアナログの研究を充実されることが指摘できる。	14頁、6葉、12件
(158)	スコットランド国 Needle's Eye用地でのウランの移動のモデリング	地下廃棄物処理施設周辺地域での運動、移動及び集積に関する放射性核種に起こるプロセスを理解すること、関連した移動モデル及び熱力学的データベースの確実性を調べる	スコットランド国Solway Firthの後背地のDalbeattie町の近郊(Fig.1)	現世堆積岩中の地下水の流れ、水質の変化、ウランの溶解 - 【地下水流動、地下水化学、放射性核種の移行】	シルル紀堆積岩類、石炭紀石灰岩、現世のシルト質堆積岩、地下水 - ニアフィールド岩盤	85m延長、50m幅。崖からタイダルチャンネルまで。NE-SW方向	1万年前から現在まで	【堆積岩類の層厚は約1~2m】	【還元条件】	【定量的なシステムの理解のための資料。存続できる間の沈殿ウランは10~300ppmの範囲に落ちる。】	第四紀堆積岩内での還元条件下でのウラニナイト沈殿モデルは溶液と固体の中で観察されたウラン濃度をうまく説明し、ウランの移動過程を理解することができる。	4頁、4葉、5件
(159)	ナチュラルアナログ研究 (人工バリア物質の長期耐久性の評価のため)のいくつかの見地	人工バリア物質の長期耐久性の評価のためのナチュラルアナログ研究	富士・伊豆大島	玄武岩質ガラスの風化変質 - ガラス固化体の劣化。	玄武岩質ガラス - ガラス固化体	富士山(宝永山、ズナ沢)、伊豆大島	280~2800年	【記載なし】	スコリア中のガラスの化学組成は玄武岩質である。富士地域の地下水はCa(Mg)-HCO ₃ タイプ、伊豆・大島の地下水はNa-Clタイプ。サンプルは不飽和状態であった(水酸化鉄及びシリカゲルの沈殿)。	【モデル開発のための基礎資料】	【物質特性は長期の時が経過すると劣化すると予想され、時間、環境条件の変化に伴う詳細な定量的データの蓄積は価値がある。】	18頁、18葉、19件
(159)	ナチュラルアナログ研究 (人工バリア物質の長期耐久性の評価のため)のいくつかの見地	人工バリア物質の長期耐久性の評価のためのナチュラルアナログ研究	横浜、長崎、東京	土壤中の鉄の腐食 - 【緩衝材中のオーバーパック特性の経時変化】	炭素スチール又は鋳鉄からなるガス・水道管等の人工物 - オーバーパック	【記載なし】	20~110年	【記載なし】	砂質粘土、含有機物礫、粘質土	【モデル開発のための基礎資料】	【物質特性は長期の時が経過すると劣化すると予想され、時間、環境条件の変化に伴う詳細な定量的データの蓄積は価値がある。】	18頁、18葉、19件
(159)	ナチュラルアナログ研究 (人工バリア物質の長期耐久性の評価のため)のいくつかの見地	人工バリア物質の長期耐久性の評価のためのナチュラルアナログ研究	村上ベントナイト鉱床	スメクタイトのイライト化 - 【緩衝材の熱による劣化、変質】	スメクタイト~スメクタイト/イライト混合層鉱物 - 緩衝材	東西1600m、南北1600m、深度300m	240万年	流紋岩貫入岩体の分布は東西500m、南北1,000m、中心部は漏斗状で経200m、深さ300m以上?。ベントナイトは厚さ約150mで、東に約20度傾斜。	水理化学：海水起源	【モデル開発のための基礎資料、モデルの検証のためのデータ】	【物質特性は長期の時が経過すると劣化すると予想され、時間、環境条件の変化に伴う詳細な定量的データの蓄積は価値がある。】	18頁、18葉、19件
(159)	ナチュラルアナログ研究 (人工バリア物質の長期耐久性の評価のため)のいくつかの見地	人工バリア物質の長期耐久性の評価のためのナチュラルアナログ研究	神奈川トンネル、横浜河口	セメントの変質 - 【緩衝材の劣化】	セメント - 緩衝材、埋め戻し材	【記載なし】	61~67年	【記載なし】	水理化学：神奈川トンネル壁；Ca-NO ₃ 、横浜河口壁；Na-Cl	【モデル開発のための基礎資料】	【物質特性は長期の時が経過すると劣化すると予想され、時間、環境条件の変化に伴う詳細な定量的データの蓄積は価値がある。】	18頁、18葉、19件

表1.2-1(12) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (12/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(160)	オランダ国のナチュラルアナログ	変化する天然の地球水文学的状態の下でのウランの溶解と移動のプロセスについての情報を提供すること。 2つの地球化学的及び地球水文学的プロセスのための概念的モデルの発展の基礎を提供すること。	オランダ国南西部のショウベン(Schouwen)島のワッター・ポード州(Fig. 1)	放射性核種の溶解と移動、変質作用、元素の挙動、地下水流動 - 地下水化学、地下水流動	燐灰土ノジュール層、塩基を含む地下水、多孔質未固結堆積層 - ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤	【記載なし】	中新世中部～現在	【記載なし】	塩基を含む地下水	モデル開発のための基礎資料 モデルの検証のためのデータ	現在の地下水系は海に近いことによって主に影響を受け、更に繰り返された変質作用を条件としてきた。アナログは海に近い他の用地と同様に岩石-岩塩層中の地層処分のために考えられた地域での長期移動に適するモデルの確認のために妥当性を持つであろう。	8頁、7葉、4件
(161)	スイスの放射性廃棄物研究プログラムの中のナチュラルアナログ研究 (1990年での現状および出版目録)	【スイスのナチュラルアナログ研究の現状を概観すること】	Pocos de Caldas その他	【スイスのナチュラルアナログ研究の現状】 - 【放射性核種の移行】	【記載なし】 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【スイスのナチュラルアナログ研究の現状の理解】	【地層処分の先進国の一つであるスイスのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、これを基に今後進めるべき研究の方向を決定する際の資料とすることができる】	8頁、0葉、56件
(162)	ヨルダン国マカリン地域の過剰アルカリ地下水の地球化学の予知モデル作製	地球化学的種分化コードは溶液中の特有の元素の種分化と溶解度のシミュレーションを行うための実施評価を支援する研究業務の中で使用される。 初期のブラインド・モデル作製の目的は以下のようである。 1) 過剰アルカリ状態下での元素の溶解度/種分化の化学的モデルを試験すること。 2) (もしもモデル作製に使用されたデータベースが全く同じであるなら、) 異なったコードを確かめるために或いはデータベース間の相違を強調するために関係するグループからの予知を比較すること。 3) モデルの予備的確認を先導しながら、観察された化学と予知された化学を比較すること。	ヨルダン国マカリン地域	主要元素及び希少元素の溶解と種分化、母岩の変質 - 【地下水化学、収着】	過剰アルカリ地下水、希少元素(U,Th,Ra,Pb,Se,Sn, Ni) - ニアフィールド岩盤	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	高pHの化学的環境、過剰アルカリ地下水を天然に産する所	【モデル開発のための基礎資料、モデル(数式)への入力パラメータ、モデルの検証のためのデータ】	【放射性核種の地下水化学モデルの予備的検討に対して、一つの指針を提供している。】	17頁、10葉、17件
(163)	Yucca Mountainの水理学的に不飽和な凝灰岩中のHLW処分場のために可能なアナログ研究サイト	Yucca MountainとPena BlancaとSantoriniの類似点を、特に地質環境中の放射性汚染物質のアナログの変質および移行プロセスに関して説明すること	Pena Blanca(1)、Santorini(2)	閃ウラン鉱の酸化変質 - 使用済燃料の変質 ((1))、不飽和な地質環境中の元素の移動 - Yucca Mountainサイトでの微量元素の移行 ((1)、(2))	閃ウラン鉱 - 使用済燃料 ((1))、【岩石試料】 - 【ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤】 ((1)、(2)) 試料数：【記載なし】	(1):火山岩ユニットの厚さは106～538mである。(2):火山堆積物の厚さ：30m	(1):3.5Ma、(2):3,600年	(1):白亜紀中期の石灰岩と泥岩の上に第三紀の珪質の火山岩が堆積している。(2):【記載なし】	(1):不飽和で酸化条件。乾燥気候。ウラン鉱床の鉱液；0-4.94wt% NaCl equiv, 150-250℃、(2):水理学的に不飽和。半乾燥気候。	Pena Blanca及びSantoriniのサイトの研究により、候補となる処分場から種が放出されたときに生じるプロセスの同定および特性調査が可能になるとともに、Yucca Mountain処分場の変化を予測するモデルの開発および検証に役立てることができる。	【本研究により、Pena BlancaおよびSantoriniのサイトにおいて可能な、Yucca Mountainに対するナチュラルアナログ研究が明らかになったとともに、それらの研究の問題点および限界についても明らかにすることができた。】	10頁、0葉、21件

表1.2-1(13) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (13/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(164)	処分場の性能評価への古水理地質学情報の適用	放射性廃棄物の深地層処分場の安全事例を検討し、提示する際の手段として古水理地質学がどれだけの役にたつかを評価することを目的とする。	【記載なし】	【処分予定サイトの古水理地質学的性質】 - 【将来における処分予定サイトの地下水の流動や特性】	【処分予定サイトの地下水と岩盤】 - 【ファーフィールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【古水理地質学的情報の性能評価への適用方法の提示】	【性能評価に対する古水理地質学的手法の有効性について理解を深めることができる点において評価できる】	23頁、2葉、7件
(165)	古水理学と古気候の指標としての微化石	古水理地質学における貝形類の有効性をLas Vegas北部のサイトを例にして説明することを目的とする。	Las Vegas Valley	Las Vegas北部のサイトの古水理地質学、古気候学特性 - 【ファーフィールドの水理特性】	沼沢地堆積物 - 【ファーフィールド岩盤】	【記載なし】	15,000年間	沼沢地堆積物はLas Vegas Valleyの軸に沿って堆積している	沼沢地堆積物は、湿地(wet-ground)、泉の流出、小川、湿地(wetland)という一連の環境下で堆積した。	【定性的なシステムの理解のための資料】	【本文は貝形類の化石を用いた古水理地質学的环境の再構築の方法論の説明に重点を置いており、Las Vegas北部のサイトはその方法論の説明のための一例として挙げられている。したがって、Las Vegas北部のサイトの古水理地質学、古気候学的研究結果そのものに対する重要度は高くない。】	19頁、9葉、11件
(166)	Stと他の放射性起源のトレーサー同位体の古水理地質学的研究への適用	【Stの同位体を主体として重い放射性起源の同位体の古水理地質学的研究への適用の説明を行うことを目的とする。】	【記載なし】	【天然水中の重い放射性起源の同位体の挙動】 - 【地下水の挙動】	天然水、方解石 - 【ファーフィールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【古水理地質学的研究方法に関する資料】	【本文は、従来岩石成因論的研究の分野に用いられていた研究手法を水理学的問題に適用する方法論について解説した文献として評価できる。ただし、本研究は具体的に特定のサイトについて研究を行ったものではないので、性能評価に直接的に適用できるデータや資料等は文献中には記載されていない。】	26頁、7葉、60件
(167)	水理地質学的流動システムの起源と進化の理解における無機地球化学の使用	(1) 地下水システム中の化学的特徴の保存の変化における岩石/水反応およびミキシングの役割を説明すること。(2) 無機地球化学的特徴は、結晶質岩および堆積岩環境中の古流動の研究における同位体データの解釈に関する我々の理解を広げることができることを示すこと。	Ontario 南部域	Ontario 南部域の古流動 - 【ファーフィールドの水理特性】	堆積岩累層中から採取したブライン - 【ファーフィールド】	【約600km×約350km (Fig.9からの読み取り)】	【記載なし】	先カンブリア紀の花崗岩と片麻岩の上を層状の炭酸塩岩、蒸発岩、碎屑性堆積物からなる厚い混合層が覆っている。	流体試料は典型的な堆積盆のブラインであり、天水ではない。	【定性的なシステムの理解のための資料】	【本文は、水理地質学的流動システムの起源と進化を理解するうえで無機地球化学の使用が有効であることに重点を置いており、Ontario南部域のサイトはその説明のための一例として挙げられている。したがって、Ontario南部域のサイトの古流動に関する研究結果そのものに対する重要度は高くない。】	17頁、9葉、22件
(168)	花崗岩中の深地下水の化学的進化；天然のシステムから得た情報	微量元素および主要元素の規定 (Regulation) メカニズムを理解するために深地下水の組成と多様性に関する正確な知見を得ることを目的とする。	西ヨーロッパ	微量元素および主要元素の規定 (Regulation) メカニズム - 【地下水化学特性】	地下水試料 - 【ファーフィールド】	【約3,000km×約3,000km (Fig.1からの読み取り)】	【記載なし】	【記載なし】	地下水試料の採取箇所の母岩は花崗岩類である	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【研究成果は母岩を花崗岩類とする地下水一般について成り立つ非常に基礎的な特性を扱っている。また、主要な成果は他の文献から引用したものがほとんどなので、それを導く過程や成果に関連する詳細なデータ等は記載されていない。】	12頁、7葉、11件

表1.2-1(14) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (14/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何学的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(169)	東濃ウラン鉱床の地質学的及び地球化学的古水理地質学的指標	地質学的データと地球化学的データの結合させて、総合的な古水理地質学的再構築を行うための第一段階として東濃ウラン鉱床の地質学的及び地球化学的古水理地質学的指標を収集することを目的とする。	東濃ウラン鉱床	【東濃地域の地質学的特性および地球化学的特性】 - 地下水流動の予測	地下水試料、岩石試料 - 【ファーフィールド岩盤】	【約20km×約20km (Fig.4からの読み取り)】	1,800万年前から現在まで	東濃地域の地質は下位から土岐花崗岩、瑞浪層群、瀬戸層群からなる。瑞浪層群の東濃地域における厚さはほとんどが200m以下である。瑞浪層群の傾斜は堆積盆地内では10°以下である。東濃地域では、土岐花崗岩と瑞浪層群は月吉断層により切られている。この断層は瀬戸層群にまでは達していない。(Fig.4, Fig.11)	東濃地域は堆積作用、侵食作用、隆起-沈降運動、海進-海退のような多くの地質学的なプロセスと事象を経験している。東濃地域の主要な岩石層位学的及び水理層位学的ユニットと地質学的歴史: Table 1	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料、モデル(数式)への入力パラメータ】	【古水理地質学的再構築に必要な地質学的データと地球化学的データについて総合的に扱った研究として評価できる】	30頁、26葉、39件
(170)	Yucca Mountainにおける、古水理学を理解するための援助手法としての洞穴充填鉱物と割れ目充填鉱物の同位体的研究	ある鉱物と/またはそれらの同位体組成が、鉱物の生成に与えた水の起源について証拠を与えるかどうかを証明すること。	Yucca Mountain	Yucca Mountainサイトの過去の地下水面の上昇 - 将来の地下水面の変動	地下水試料、岩石試料 - 【ファーフィールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	Yucca Mountainは第三紀のフェルシクな火山灰流凝灰岩でできた、東に傾斜した断層地塊からなる。Yucca Mountainサイトにおける地下水面の深さはおよそ480mから780mの間で変化する。候補処分場は地下水面の180-410 m上方にある。	乾燥気候	【モデル開発のための基礎資料】	【過去におけるサイトの地下水面の状態に関する情報を得ることができたので、このことを将来の地下水面の状態を予測するための基礎資料とすることができる】	13頁、5葉、22件
(171)	Fennoscandian Shieldの結晶質基盤岩中の、地殻の反動に関連した地下水流動と方解石の生成: フィンランドでの新しい観察	氷河サイクル内の水力学的效果についての信頼できる知識を得ること	Outokumpu 鉱山、Olkiluoto 島	退水による地殻の反動に関連した地下水流動 - 氷河サイクル内の水力学的效果	岩石試料、地下水試料 - 【ファーフィールド岩盤】	深さ方向: 1,000m以上、水平方向: 【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	Fennoscandian Shieldはここ数10万年の間に氷河作用を繰り返し受けてきた	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、水理特性に及ぼす氷河作用の効果がわかった。しかしながら、それらの効果の程度に関しては解明されていない。】	7頁、3葉、11件
(172)	カナダ先カンブリア楯状地上のプロトンの古水理地質学: 割れ目中の方解石の同位体組成からの証拠	カナダ先カンブリア楯状地のプロトンの岩石の古水理地質学を理解し、それらが使用済燃料の処分に適しているかどうかを評価するために、割れ目中の方解石の同位体組成の分析がどのように適用されるのかを検討すること	AECL調査地域のプロトン	カナダ楯状地のプロトンの古水理地質学 - 【カナダ楯状地のプロトンの将来の水理特性】	岩石試料 - 【ファーフィールド岩盤】	Chalk River Pluton: 深さ500m以上、【他のプロトン: 記載なし】	Chalk River Pluton: 第四紀 - 【他のプロトン: 記載なし】	【記載なし】	割れ目中に熱水起源の方解石が生成した後に天水の浸透が起った	【技術、手法の開発】	【本研究により、割れ目を充填している方解石の同位体組成分析が古水理地質学的研究に適用できること、およびその適用方法が示された。しかしながら、本研究では、カナダ楯状地中のプロトンにおける古水理地質学的再構築は具体的に行っていない】	15頁、9葉、19件
(173)	New MexicoのWIPPサイトにおける現在及び過去の涵養の研究: 土壌水分の安定同位体的研究	現在及び過去の涵養の同位体組成および涵養速度について詳細に報告するための土壌水分の使用について調査すること	WIPPサイト	Rustler累層への涵養 - 将来におけるRustler累層の帯水層中の流速の変化	WIPPサイトの未固結堆積岩試料 - 【ファーフィールド岩盤】	【記載なし】	【記載なし】	WIPPサイトの地層の層位関係は下位からCastile累層、Salado累層、Rustler累層、Dewey Lake累層となっている。WIPPサイトはSalado累層の中央部に位置している。Salado累層は厚さ600mの層状の岩層を含む。処分場の深さは650mである。Rustler累層には処分場の上部に存在する最も処分場に近接した透水ユニットが含まれている。	半乾燥地帯	【モデル開発のための基礎資料、モデルへの入力パラメータ】	【本研究成果は現代の涵養に関するデータとして評価できる】	14頁、7葉、10件
(174)	数値的にモデル化した滞留時間の同位体年代データとの比較	水理地質学概念モデルとMOTIF地下水流動モデルの確実性を較正し、試験すること	ホワイトシェル調査地域	URL周辺の花崗岩中の地下水の涵養 - 【ファーフィールド中の地下水流動】	地下水試料 - 【ファーフィールド岩盤】	750km ²	10 ⁶ 年以上	ホワイトシェル調査地域はカナダ楯状地の縁に位置し、ほとんどのLac du Bonnetバソリスと周囲の片麻岩質の変成作用をうけた火山岩を含む。	先更新世(106年前)に温暖な気候の時期があり、8×10 ³ 年以上前の更新世の時期に氷河期があった。	モデル確認のためのデータ	【本研究において著者は、研究結果はMOTIFモデルの一般的な確実性(validity)を支持すると述べているが、モデルの検証ができたとは言いがたい。モデルの検証にはさらなる検証のためのデータが必要と考えられる。】	8頁、5葉、7件

表 1.2 - 1 (15) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (15/15)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(175)	Asse岩塩の背斜の上を覆っている岩石から採取した地下水の同位体水文学的研究	Asse岩塩鉱床の地下水の起源と年代に関する洞察を得ること	Asse岩塩鉱床	Asse岩塩鉱床の地下水の起源と年代 - 【Asse岩塩鉱床の水理特性】	地下水試料 - 【ファーフィールド岩盤】	北西-南東の方向に5~8km、深さ方向は最大で2256.3m	ほとんどの地下水：2000年以下	背斜の走向はNW-SE方向で、岩塩の上をBuntsandstein累層、Muschelkalk累層、Keuper累層、Lias累層が覆っている (Fig.1)。	【記載なし】	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【本研究により、深度別に地下水の起源や年代が明らかになったが、それらの地下水の流動に関する情報は明らかにされていない】	12頁、6葉、22件
(176)	スウェーデンのAspo HRLサイトでの地下水化学的(geohydrochemical)研究からの経験	【Aspo HRLサイトで行われた地下水化学的(geohydrochemical)研究成果をとりまとめてそれを提示すること】	Aspo HRLサイト	Aspo HRLサイトの地下水化学的(geohydrochemical)特性 - 【Aspo HRLサイトの広域の水理地質特性】	地下水試料、亀裂充填物質の試料 - 【ファーフィールド岩盤】	深さ方向：最大1,000mまで	7,000~30,000年	【記載なし】	いくつかの典型的な地下水組成：table 3.1	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のためのデータ】	【本研究結果により、Aspo HRLサイトの水理地質特性について定性的に理解することができ、これを基にして広域的水理地質モデルを開発することができる。】	18頁、6葉、15件
(177)	Gorlebenサイトの地下水モデリングの重要な手段としての古水理地質学情報	Gorlebenサイトで観察される地下水の密度分布が定常状態に達しているのか、または時間に依存するプロセスの途中段階にあるのかを決定すること	Gorlebenサイト	Gorlebenサイトの地下水の垂直方向の移動 - 【Gorlebenサイトの将来の地下水流動】	地下水試料 - 【ファーフィールド岩盤】	深さ方向：250m、水平方向：15km	最大計算時間：200,000年	Gorleben岩塩ドーム上に第三紀と第四紀の堆積岩からなる厚さ最大300mの多数帯水層システムを形成している (Fig.1)。長さ10km以上、幅1-2kmのGorleben浸食チャンネルが岩塩ドームを南から北に向かって横切っている。	【記載なし】	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のための資料、技術・手法の開発】	【本研究により、Gorlebenサイトの地下水流動に関する定性的な知見を得ることができ、これをモデル開発のための基礎資料として利用できると考えられる。また、二次元の数値解析の方法論を適当な他のサイトに応用することも可能であると考えられる】	14頁、9葉、9件
(178)	Gorleben岩塩ドーム上の堆積物中の古い水の同位体及び希ガスを用いた研究	【同位体測定及び希ガス測定によりGorleben岩塩ドーム上の被覆堆積岩中の地下水年代を調べること】	Gorlebenサイト	Gorleben岩塩ドーム上の堆積岩中の地下水年代 - 【Gorlebenサイトの水理地質特性、地下水化学特性】	地下水試料 - 【ファーフィールド岩盤】	【水平方向：約20km×約20km (Fig.1からの読み取り)、深さ方向：約300m (Fig.2からの読み取り)】	120,000年	調査地域は次の四つのユニットからなる。1:北部と南部の凹地、2:環状の壁 (ring wall)、3:中央部、4:Gorlebenチャンネル	【記載なし】	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のためのデータ】	【本研究結果は、被覆堆積岩中の地下水の現在の分布状況に至ったプロセスを推定するための基礎資料とすることができ、この過去のプロセスを基にして将来の地下水流動のモデルを開発することができると考えられる。】	15頁、7葉、10件
(179)	ジブサムを晶出させた水の安定同位体 - 岩塩ドームのキャップロックの形成時の古気候の型の調査手法	・キャップロックの異なる部分から採取したジブサムの結晶水は同位体組成に相違があるかどうかを調べること。 ・キャップロックの角礫岩中のジブサムがエルスター氷期に形成したということを安定同位体を用いた手法で説明できるかどうか確かめること。	Gorlebenサイト	キャップロック生成時の地下水の温度 - 【Gorlebenサイトの将来の地下水温度】	ジブサム - 【ファーフィールド岩盤】	【深さ方向：207.3~442.2m (table 1からの読み取り)】	【エルスター氷期 (40万年前~30万年前)の前後の期間】	キャップロックの厚さは30から111mの範囲で変化し、上から下に向かって次の5つの層からなっている。1:羽状として球状のジブサム、2:線状のジブサム、3:発酵したジブサム、4:キャップロックの角礫岩、5:層状のジブサム	角礫岩のマトリクス中のジブサムは地表で生成した。他の部分のジブサムもまた天水の同位体組成をもつ地下水から沈殿した。	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のためのデータ】	【本研究により、Gorlebenサイトの過去の地下水の温度に関する定性的なデータを得ることができた。これを基に、将来の地下水の温度を推定し、モデルに反映させることができると考えられる。】	12頁、4葉、5件
(180)	岩塩ドーム中の地下水処分場の長期の安全評価のための岩塩鉱物中の個々の流体包有物の定量分析	【岩塩鉱物中の流体包有物の定量分析を行うことにより、岩塩ドーム中の地下水処分場の長期の安全評価に適用できるデータを取得すること】	Gorleben岩塩ドーム	流体包有物の起源 - 【岩塩ドームの進化】	流体包有物 - 【ファーフィールド岩盤】	深さ方向：深さ303m1~1,320mの範囲	一部の試料：250Ma	【記載なし】	【記載なし】	【モデル開発のための基礎資料、定性的なシステムの理解のためのデータ】	【本研究により、岩塩ドームが経てきた変遷過程の一部について推定することができ、これをもとに将来の岩塩ドームの進化の方向を予測し、モデルに反映することができる。】	10頁、5葉、10件

その重要性を認めていない研究が多いことを示唆している。また、170 万年以上のものが次に多いが、これはKoongarra 鉱床（風化プロセス：約200 万年、）や Pocos de Caldas 地域（約7600万年前にランプロファイヤー岩脈の貫入）に関する研究が多いことによる。

④ 成果の利用方法についての検討結果

成果の利用方法の記述については、著者自身によるものはごくわずか（総数で 9）であり、他は全て調査者の判断で利用のあり方を割り振ったものである。すなわち、利用の仕方、あり方を意識して記述した研究は少ないことがわかる。なお、調査者の判断としてまとめた利用方法について検討した結果では、現象の理解とモデルの構築が多いことがわかった。

2. 性能評価に適用可能なナチュラルアナログの検討

本検討は、昨年度実施した同様の内容の検討に加えて、昨年度の検討の結果として新たに加えられたFBPsをも対象として実施したものである。なお、昨年度検討内容についても必要に応じて大幅な加筆を実施した。検討の主体としたのは以下の性能評価上の特質・事象・プロセスであり、それぞれの特質・事象・プロセスの性能評価への適用可能性を詳細に検討した。

① ベントナイトに関わる特質・事象・プロセス

- (a) ベントナイトの変質（イライト化、クロライト化、方解石の生成、シリカ及び鉄酸化物のセメンテーション、ゼオライト化、Ca型化）
- (b) ベントナイト中における高濃度の塩の蓄積
- (c) 腐食生成物のベントナイト中の移行及び蓄積
- (d) オーバーパックの沈下（ベントナイトのレオロジー）
- (e) ベントナイトの流出
- (f) ベントナイトと地下水の相互作用（陽イオン交換など）
- (g) ベントナイト中のガス移行（空気を含む）
- (h) ベントナイト中の酸化還元フロントの進展
(内側から：放射線分解、外側から：操業時に混入した空気の散逸・還元)
- (i) コロイド、微生物、有機物に対するベントナイトのフィルトレーション
- (j) 微生物の活動

② オーバーパックに関わる特質・事象・プロセス

- (a) 炭素鋼腐食生成物の性質
- (b) 腐食のモード
- (c) オーバーパック破壊のモード
- (d) 鉄の腐食生成物への核種の吸着と共沈

③ ガラス固化体に関わる特質・事象・プロセス

- (a) 長期的なガラスの溶解
- (b) 溶解度制限固相

④ ニアフィールド母岩に関わる特質・事象・プロセス

- (a) マトリクス拡散

- (b) 空気の侵入に対する母岩の緩衝能力
- (c) 岩盤中におけるガス発生と透気
- ⑤ その他の特質・事象・プロセス
 - (a) マグマの貫入、熱水の浸入による鉱物の変化と地下水の水理学的及び化学的变化
(接近シナリオ、変動シナリオの相違に留意してまとめる。)
 - (b) 断層運動／地震動による人工バリアの破壊と地下水の水理学的及び化学的变化
 - (c) 微生物の役割
 - (d) コロイドの役割
 - (e) 母岩の力学的挙動（岩石の長期圧密クリープ変形（地層の褶曲））

以上の①～⑤を構成する個々のF E P sについて以下のとりまとめを行った。

- ・ シナリオ開発におけるF E Pとしての内容説明及び実現可能性の評価
- ・ 個々のF E Pに対する適切な事例、すなわち、既の実施したアナログ研究及び将来のアナログ研究の提案

最後に以下に示す上記以外のF E P s項目を今後の検討の対象として提案した。

- ① 緩衝材としてのベントナイト
 - ・ 再飽和
 - ・ 地下水流動の影響
 - ・ 微量成分の沈殿／溶解
- ② 炭素鋼オーバーパック
 - ・ 放射線分解反応の緩衝性
 - ・ 地下水流動の影響
- ③ ニアフィールド岩盤
 - ・ 収着／共沈
 - ・ 温度の影響

3. 適用に関する研究課題の抽出

ナチュラルアナログ研究を次のような二つの主要なカテゴリーに分類して、以下の検討を行った。

- ・ 特定のプロセスを対象とした研究
- ・ 大規模かつ複合的な研究

3.1 特定のプロセスを対象とした研究

特定の個々のプロセスを対象として行う場合のナチュラルアナログ研究について、我が国への適用を考慮した場合の実施内容を予備的に提案し、さらに共通的に留意すべき事項についての検討を行った。

3.1.1 研究サイトの選定の可能性、難易

研究サイトの選定における考慮因子は以下の事項としてとりまとめられる。

- ・ アクセスの容易性：
地形、土地所有、土地利用、アプローチの手段（試錐の利用等）
- ・ 対象プロセスの賦存の可能性：
地質・地質構造、応力場、地史的変遷

本検討では、上記のうち、花崗岩及び堆積岩の主要な2岩種を想定して、プロセスを対象としたアナログ研究項目のうち新たに選定することが可能と判断される以下の項目を予備的に提示し、その難易について概略の考察を加えた。

① 低温での地球化学的プロセス

- ・ マトリクス拡散
- ・ 鉄／粘土界面反応
- ・ 天然ガラス
- ・ 粘土の輸送及び保持特性
- ・ コロイド、有機物及び微生物

② 高温での地球化学的プロセス

- ・ 地層処分の全体システム
- ・ スメクタイトの安定性
- ・ 割れ目の閉塞

- ・ 現在の地熱地域を対象とした研究
- ③ テクトニクスの影響
 - ・ 活褶曲
 - ・ 活断層
- ④ 地震活動の影響

3.1.2 調査計画立案上の問題

特定プロセスを対象としたナチュラルアナログの調査計画を立案する上において考えられる問題点は、立案したナチュラルアナログ研究に実際に適するサイトの適切な選定が可能かどうかである。この立案上の選定は、優れて、既存資料の内容のレベルと判断する専門家の知識レベル及び判断能力に掛かっていると言える。個々の対象とするプロセスは地質学的のみならず、水理学的、地球化学的あるいは岩盤工学的知見等が必要であり、地質学専門家と細分されたプロセスの専門家の協同作業が調査計画立案過程の“品質”を高める上で重要である。

3.1.3 調査上の問題

特定プロセスを対象としたナチュラルアナログの研究サイトにおいて調査の実施上、留意すべき現地技術（試料の採取法等）、大気・地表水・応力開放等の影響、地表／地下の相違等の問題点についてOhlsson and Neretnieks (1995) の検討結果を参考にとりまとめた。特に、サンプリングについては研究結果にもっとも大きな誤差をもたらす調査上の必須な行為として認識し、その原因とそれがもたらす影響について検討した。

3.1.4 室内分析・解析上の問題

ナチュラルアナログ研究サイトから取得したデータを室内で分析・解析する際に問題となる事項について検討した。本検討は事例的にマトリクス拡散に関わる問題を対象とし、測定／試験結果に及ぼす試料の大きさの問題（サンプリングの規模の問題）、当該パラメータ（拡散係数等）の測定に必要な規模と付随して取得すべきパラメータ（間隙率等）の測定に必要な規模とのずれの問題等についてとりまとめた。

3.2 大規模かつ複合的な研究

幾つかの F E P s に関わる研究の実施の可能性が認められるアナログサイトに対する調査計画立案と学術的データベース作成について予備的な検討を実施した。

3.2.1 調査計画

大規模かつ複合的な研究の調査計画における既存の科学的情報の整理や中心的研究グループの設置についての予備的な検討を行った（図3.2-1）。

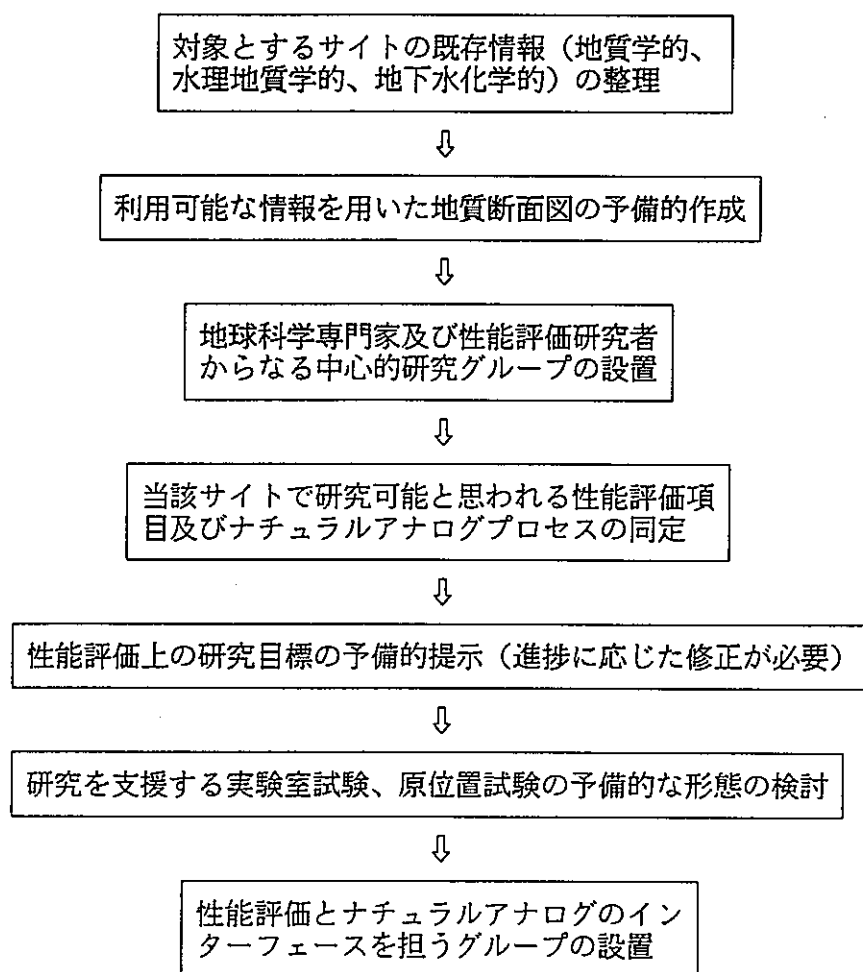


図3.2-1 調査計画立案段階における検討事項及び行為

3.2.2 学術的データベースの作成

ここで言う学術的データベースとは研究対象となるサイトに関する地質学的／水理地質学的／地下水化学的データベースのことを言う。性能評価目標との関連性は

別にして、科学的に好ましいフィールドと質の高い調査解析技術は、引き続きモデル化（概念モデル及び予測モデルの作成）と定量的な解釈に対する基礎を提供する重要なものとして位置づけられる。3.2.1で示した初期の計画段階に引き続き、広域的学術調査の実施や核種移行経路の同定に関する研究行為を予備的な検討の結果として提案する（図3.2-1参照）。

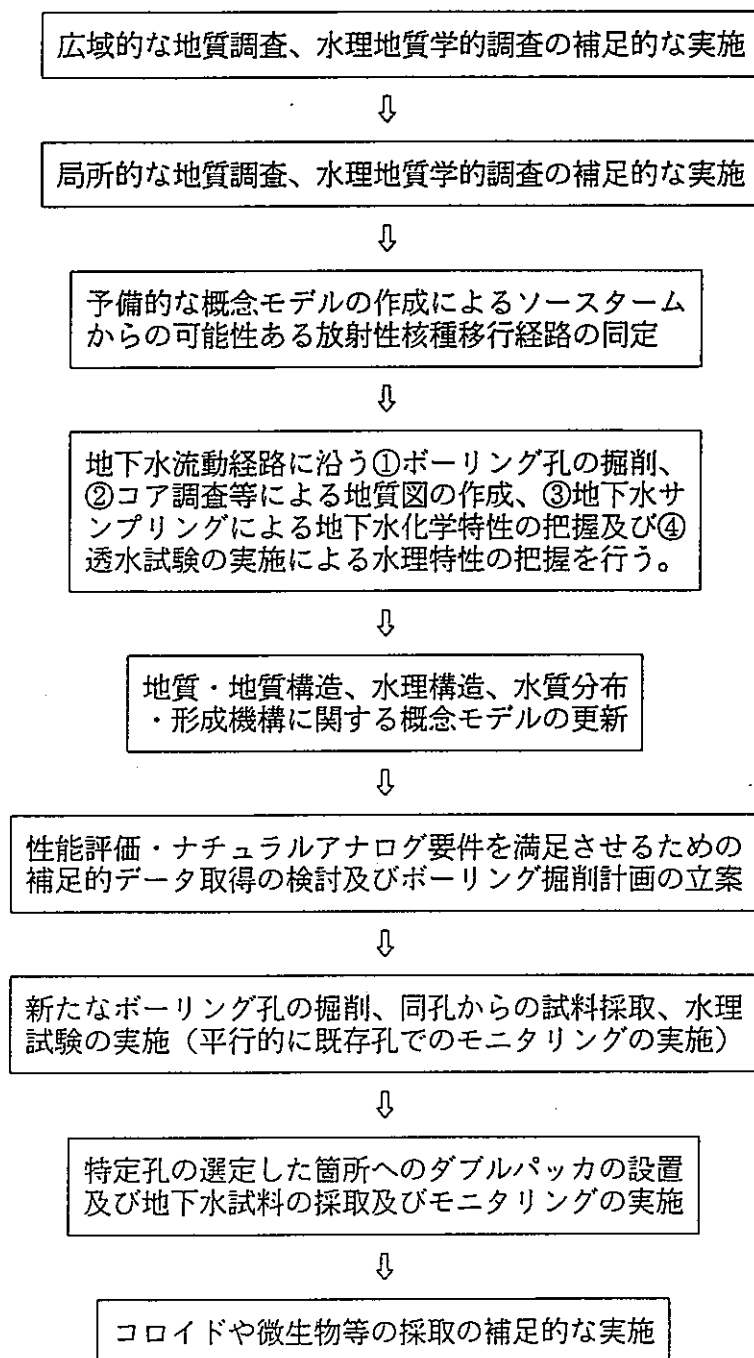


図3.2-2 学術的データベース作成のための調査実施のフロー

上記の九つの全ての段階において、例えば設立されたナチュラルアナログ／性能評価グループによる定期的な打合せが、全ての調査内容の決定に先立ってなされる必要がある。これは、性能評価上の関心や留意点が考慮されていることを保証するものとなる。加えて、実験室試験及び原位置試験はこの期間中に計画され、開始される必要がある。また、反復的なモデル化作業が、新しく、そしてより定量的である分析データと実験室試験／原位置試験データが利用可能になるにつれ、継続的に行われ、組織的に更新される必要がある。

3.2.3 東濃鉾山サイトに対するナチュラルアナログ研究の提案

前項までの検討結果に基づき、動燃事業団がナチュラルアナログ研究サイトとして有している東濃鉾山に対するナチュラルアナログ研究の予備的な提案を行った。その提案内容を表3.2-1に示し、それらの概略的なイメージを図3.2-3～8に示した。

表3.2-1 東濃鉱山における新期ナチュラルアノログ研究提案

ナチュラルアノログ研究項目	調査・試験項目	調査・試験場所	対象とする地質	特に対象とするプロセス	アノログとしての対比, 利用の仕方	NA研究の分類
(1) 花崗岩中のウランの移行挙動を明らかにするための調査・試験	坑内外試錐、地質調査、水理調査、地下水の地球化学調査	試錐中	花崗岩	花崗岩の風化帯中及び破砕帯中の地下水及び岩石中のウラン系列核種を含む微量元素の濃度及び存在形態	花崗岩中での物質(元素)の移行・保持	現象の理解、概念モデルの構築
(2) 堆積岩の被覆層を有する花崗岩の母岩特性を把握し、地質環境岩盤モデルを構築するための調査・試験	同上	試錐中、坑道中	瑞浪層群、花崗岩	堆積岩の還元環境保持特性・水理的隔離特性・有機物の供給特性(バクテリアの働きに対する影響)	堆積岩/花崗岩の組み合わせからなる母岩における堆積岩の地球化学的、水理的役割を評価し、その天然バリアとしての有効性を評価すること	現象の理解、概念モデルの構築
(3) 月吉断層の函義特性とその酸化還元緩衝能を把握するための調査・試験	坑内外試錐、地質調査(割れ目充填鉱物・上下盤構成鉱物)、地下水の地球化学調査(コロイド・有機物・Eh)	月吉断層の深部方向に列をなして実施した複数回の試錐中	月吉断層及びその上下盤の地層	月吉断層に沿って函発する地下水の酸化還元能とその状態におけるコロイド・有機物のレベル、酸化還元能に対する鉱物の影響	地質環境における核種移行・核種の遅延メカニズムに関する情報の取得; 処分場のタイムスケールにおける断層充填鉱物あるいは上下盤地層構成鉱物の酸化還元緩衝能に関する情報の取得	現象の理解、(概念モデル)の構築
(4) 月吉断層の断層運動の影響を把握するための調査・試験	坑道掘削、坑内外試錐、地質調査(ミクロテクスチャーや地質構造調査、鉱物学的調査)、地球化学的調査(年代測定)	月吉断層に面する坑道、試錐孔内	月吉断層、上下盤の瑞浪層群・花崗岩	月吉断層の断層運動によって断層の内側あるいは上下盤部に生じたかもしれない痕跡(構造あるいはプロセス)	堆積岩及び花崗岩に対する断層運動の影響の程度、範囲に関する情報を取得し、断層運動の地下水シナリオにおける位置付けの判断の基礎資料にすること	現象の理解、概念モデルの構築
(5) 地下水の水質に及ぼすバクテリアの影響を把握するための調査・試験	坑内外試錐、地質調査(割れ目充填鉱物・上下盤構成鉱物)、地下水の地球化学調査(微生物・その栄養分・Eh)	坑道からの試錐孔内	瑞浪層群、土岐花崗岩	バクテリアの地下水水質に及ぼす影響(堆積岩内と花崗岩内に分けて)	堆積岩を母岩とする処分場のニアフィールドの地下水化学を理解し評価する基礎資料とすること	現象の理解、概念モデルの構築
(6) 試錐孔周辺の化学的擾乱領域の長期的修復能を把握するための調査・試験	坑内外試錐、地質調査(鉱物学的調査)、地下水の地球化学調査(pH、Eh、泥水成分)	地表から、あるいは坑内からならぬ既存の古い試錐孔周辺岩盤	瀬戸層群、瑞浪層群、土岐花崗岩	放置された試錐孔のクリーパー変形による長期的閉塞挙動及びその周辺岩盤中の化学的特性(水質)の復元プロセス	処分場閉鎖後の見落とされた、あるいは放置された試錐孔の水理的、地球化学的な潜在的影響経路としての特性評価	現象の理解

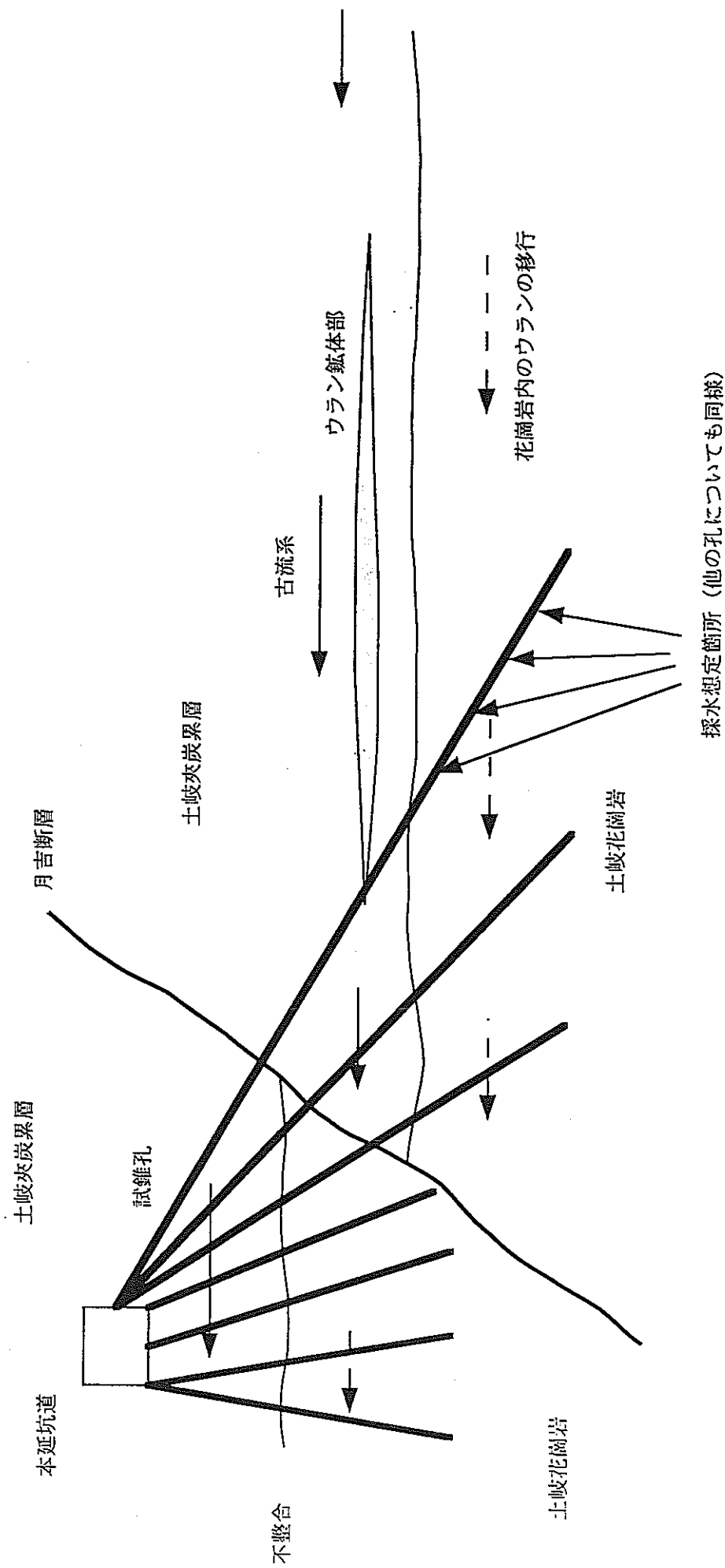


図3.2-3 アナログ研究提案①のイメージ図

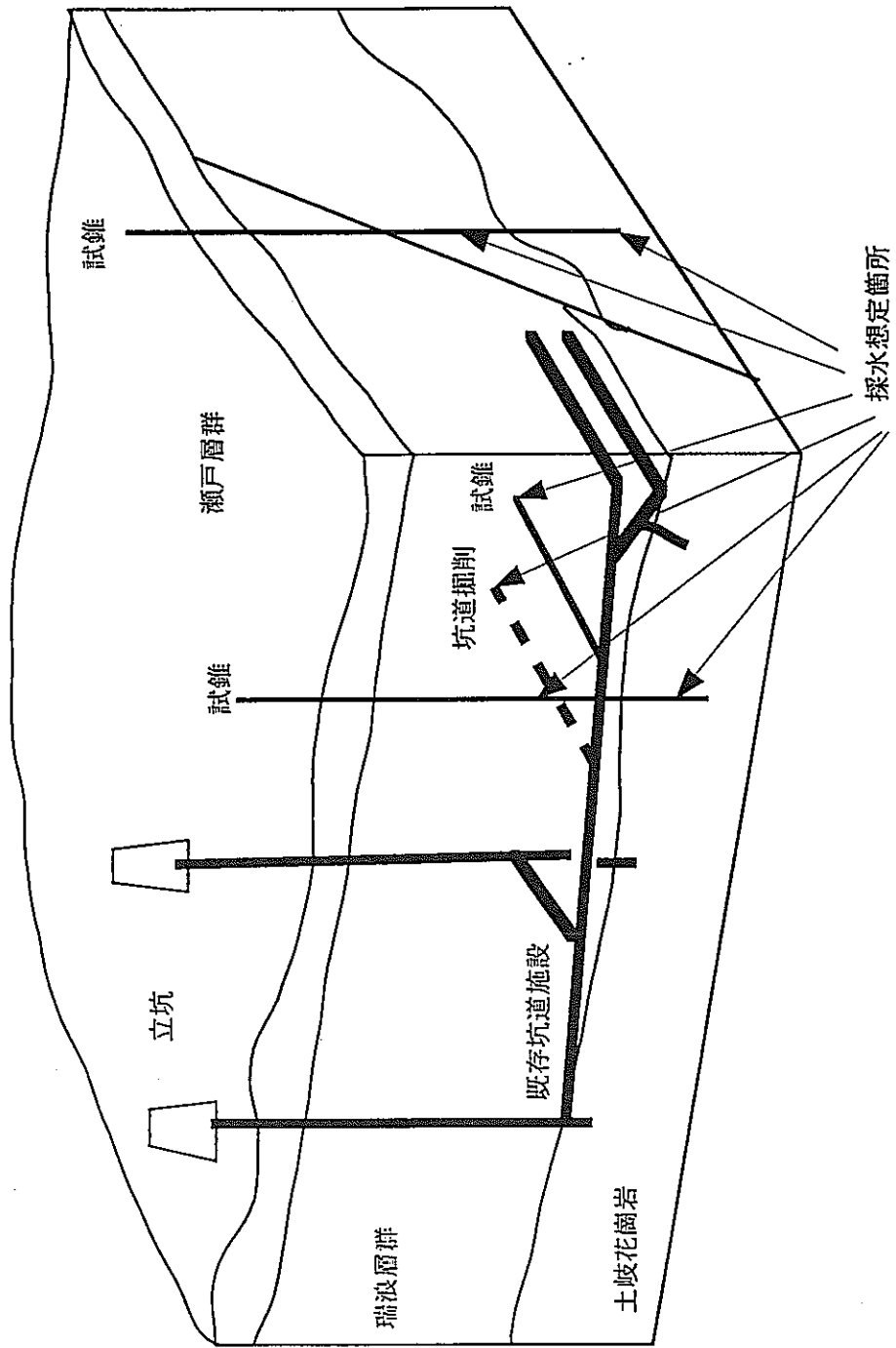


図3.2-4 アナログ研究提案②のイメージ図

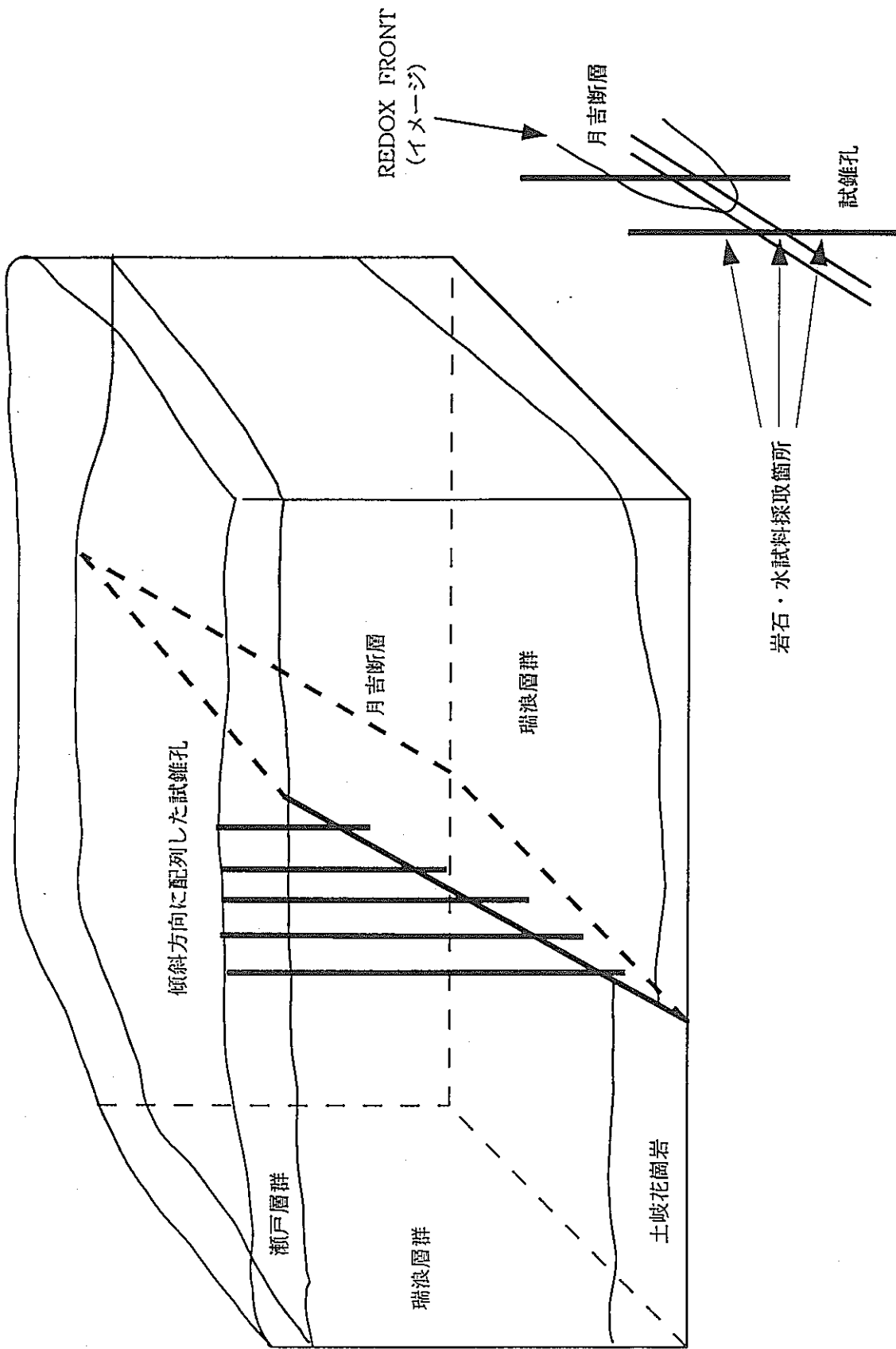


図3.2-5 アナログ研究提案③のイメージ図

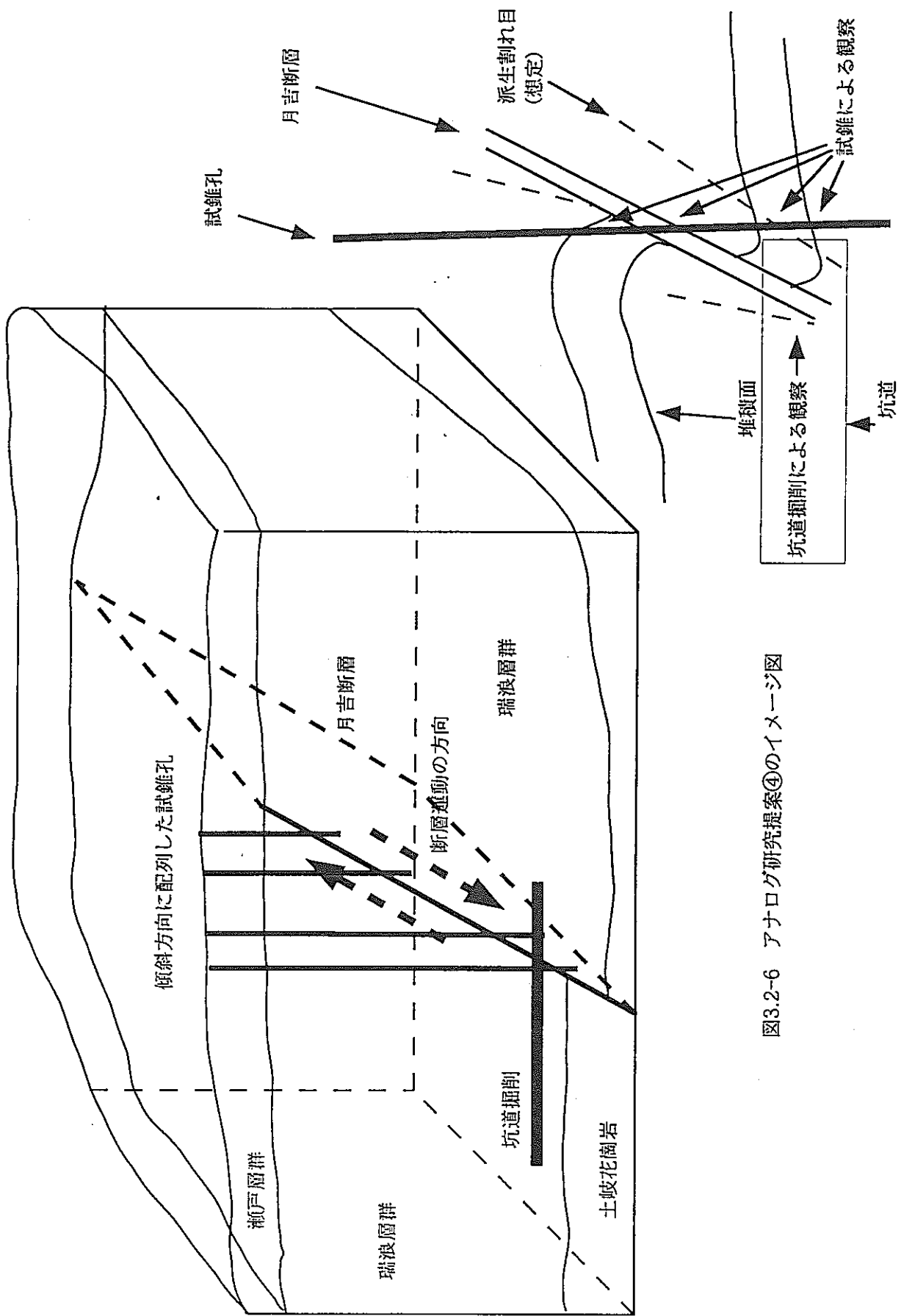


図3.2-6 アナログ研究提案④のイメージ図

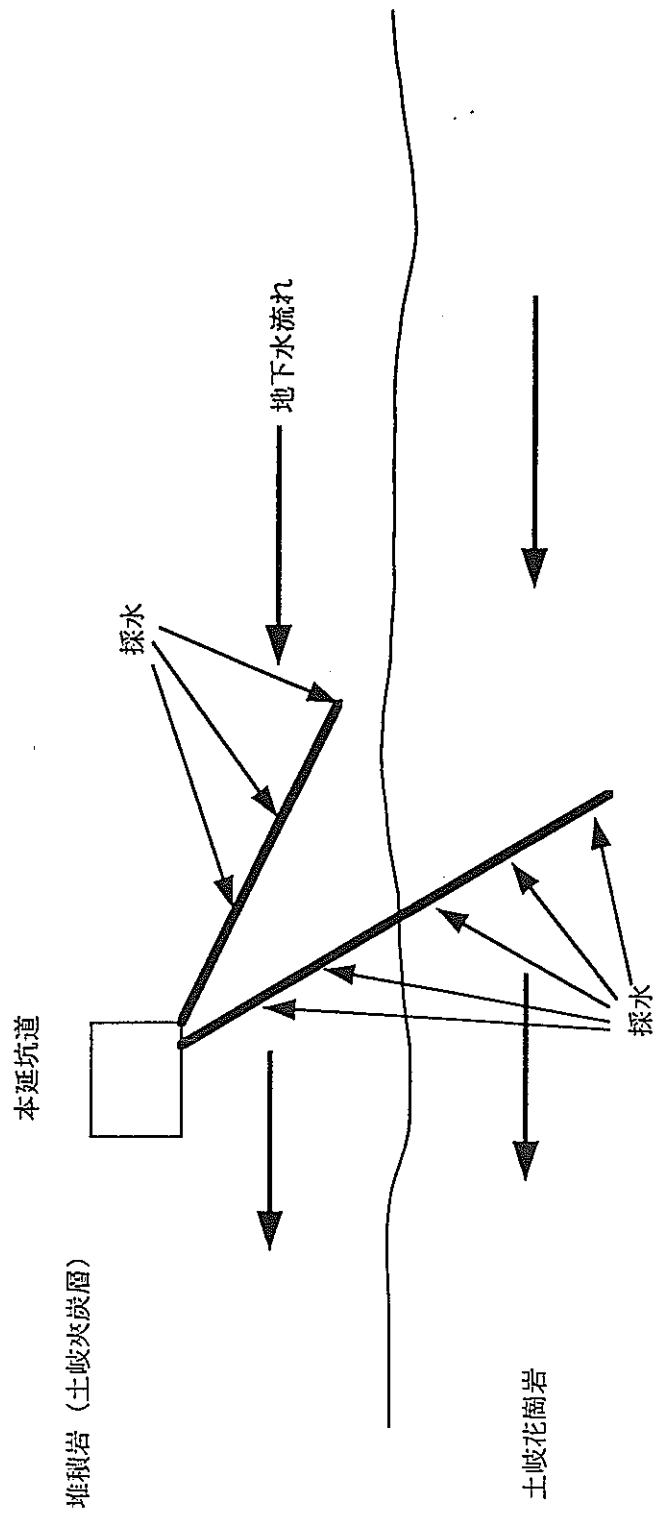


図3.2-7 アナログ研究提案⑤のイメージ図

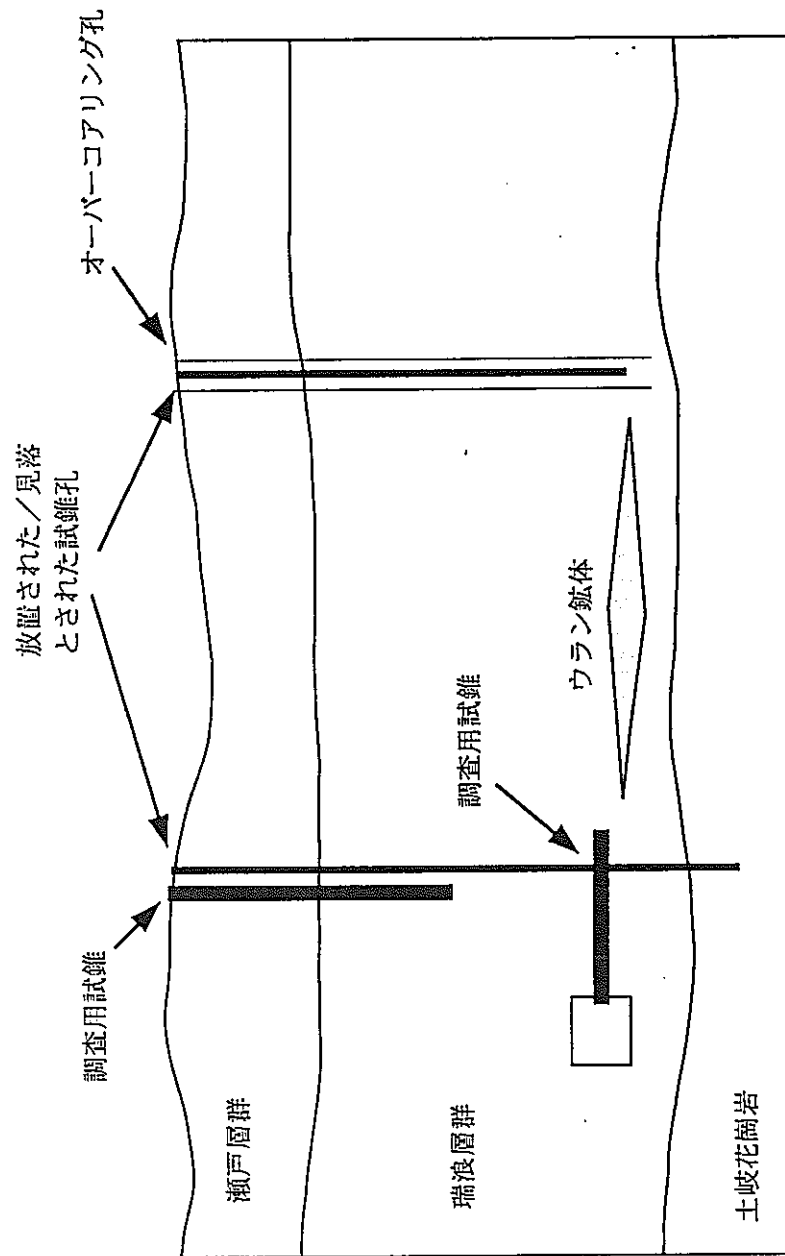


図3.2-8 アナログ研究提案⑥のイメージ図

4. まとめ

本研究は昨年度新たに発足した研究の二年度目の研究である。今年度は、昨年引き続き、主として最新のナチュラルアナログ文献を対象とした「1. ナチュラルアナログの現状調査」を行うとともに、特定のFEPsを対象とした「2. 性能評価に適用可能なナチュラルアナログの検討」の内容の充実を図った。さらに、ナチュラルアナログの「3. 適用に関する研究課題の抽出」を新たに実施した。

1.章においては、昨年度実施した75文献とは別に、計80に及ぶナチュラルアナログ文献の整理を、性能評価の視点において行った。また、昨年度の文献調査結果をも含め、成果の利用方法等、特に重要と思われる比較検討事項について、調査結果の吟味・対比を実施した。

昨年分及び今年度分を合計した研究数（個々のナチュラルアナログ研究として対象事象が独立しうるもの）は330余りに上るが、多くはニアフィールド岩盤あるいはファーフィールド岩盤に関わるFEPsを対象としたものであった。また、2.章で研究の対象としたFEPsに関わるものは、その選定が性能評価研究上相対的に難しいものを対象としたこともあり、48個に過ぎなかった。また、FEPs分類では、核種移行特性、地下水流動特性、地下水化学特性等を扱ったものが多く認められた。対象とする時間軸では、古い地質時代のウラン鉱床等を対象にプロジェクト的に行われたものについての文献が多かったことから、記載なしのものと合わせ、長期間（170万年以上）に渡るものが多かった。成果の利用方法については論文に記載されているものが少ないことがわかった。

2.章においては、昨年度の検討結果として加えたFEPsも含めた約30程のFEPsについてそれらの性能評価への適用可能性を検討した。主として検討した内容は各FEPの記述とナチュラルアナログとしてのアプローチの仕方、及び既往の研究内容や今後の研究のあり方のとりまとめである。また、考えうる他のFEPsの研究提案も行った。

3.章においては、ナチュラルアナログ研究を特定のプロセスを対象とした研究と、大規模かつ複合的な研究に分類し、前者については、研究サイトの選定の可能性、難易、調査計画立案上の問題、調査上の問題、室内分析・解析上の問題について、ナチュラルアナログ研究の視点で問題を取りまとめた。特に、研究サイトの選定の可能性、難易の検討においては、可能性あるナチュラルアナログとしての研究データを予備的に提示し

た。後者においては、調査計画、学術的データベースの作成、東濃鉾山サイトに対するナチュラルアナログ研究の提案についてとりまとめた。特に東濃鉾山に対しては、月吉断層、花崗岩の基盤等を特に対象とした6種類のナチュラルアナログ研究提案を予備的に行った。

あとがき

本研究は、動燃事業団が2000年前に計画している地層処分研究の進捗状況についての第2次とりまとめの内容、すなわち、主としてニアフィールド性能の定量化を図ることによる地層処分の実現可能性のより信頼性ある提示をさらに確実にするための一つの重要なアプローチとして昨年度より取り組みが開始されたものである。今年度は、昨年を引き続き、既往のナチュラルアナログ研究についての整理を行った。その結果として国際的に実施されている最近のナチュラルアナログ研究の現状が把握できた。また、我が国への適用を考慮したナチュラルアナログ研究の分析と提案を予備的に行った。

次年度以降は可能であれば、今年度までの研究の補足的なとりまとめを行うことが望まれる。また、我が国におけるナチュラルアナログ研究の新たな展開を実現可能とするより詳細な研究提案とその具体化に向けた検討の実施が望まれる。