

東濃鉦山における調査試験研究
年度計画書（2003年度）

（技術報告）

2003年4月

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

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) 2003

目次

1	はじめに	1
2	ナチュラルアナログ研究	2
2.1	背景と目標	2
2.2	2002年度までの研究成果の概要	2
2.3	2003年度の研究計画	4
3	岩盤の力学的安定性に関する試験研究	5
3.1	背景と目標	5
3.2	2002年度までの試験研究成果の概要	5
3.3	2003年度の試験研究計画	7
4	坑道周辺の地質環境に関する調査研究	8
4.1	背景と目標	8
4.2	2002年度までの調査研究成果の概要	8
4.3	2003年度の調査研究計画	9
5	2003年度の調査試験研究のスケジュール	10
	参考文献	11

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は、岐阜県土岐市に所有する東濃鉦山とその周辺域において、主として地表から深度約 150m までに分布する新第三紀堆積岩を対象とした様々な調査・試験・研究に加え、調査・解析技術ならびに機器の開発（以下、「東濃鉦山における調査試験研究」）を地層科学研究の一環として進めてきている。これらの調査・研究は、「東濃鉦山における調査試験研究基本計画書」（サイクル機構，1999）に基づき、

- ・ウラン鉦床が存在し、それを断層が横切るという地質学的特徴を活かして、堆積岩中における物質の長期的な移行・遅延挙動を評価すること
- ・坑道周辺における地質環境の長期的な変化を評価し、総合的に調査・評価するための技術を開発すること

を目標として実施しており、その調査試験研究の項目は以下のとおりである。

- ①ナチュラルアナログ研究
- ②岩盤の力学的安定性に関する試験研究
- ③坑道周辺の地質環境に関する調査研究

このうち、「ナチュラルアナログ研究」については、2001 年度までの「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」および「月吉断層に関する調査試験研究」（サイクル機構，1999）を統合し、1～10 万年といった長期的な時間スケールで生じる地質学的事象や地質環境の変化に伴う物質の移行・遅延挙動に主眼を置いた調査・研究として 2002 年度より開始したものである（サイクル機構，2002b）。

本調査試験研究において得られる成果のうち、とくに地質環境中における物質の長期的な移行・遅延挙動に関する知見は「地層処分システムの長期挙動の理解」の観点から、安全評価手法の高度化に反映される。また、坑道からの調査・モニタリング技術、地質環境特性のモデル化・評価手法や断層を対象とした年代測定技術などは「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」に反映されるほか、新第三紀堆積岩を対象とした幌延深地層研究計画を進めるうえでの技術基盤としても活用される。さらに、ナチュラルアナログ研究の成果は、地層処分の長期的な安全性についての国民の理解を得ていくために重要な意義をもつ。また、深部地質環境の特性やそこで生じる現象に関する知見は、地下深部についての学術的研究などにも寄与するものである。

本計画書は、「東濃鉦山における調査試験研究基本計画書」（サイクル機構，1999）に基づき、2003 年度に実施する調査試験研究計画の詳細を示すものである。

2 ナチュラルアナログ研究

2.1 背景と目標

東濃ウラン鉱床を事例研究の場として、地質環境下で実際に生じた現象とその場の特性を定量的に把握することにより、地質環境が本来有している、物質の移行を遅延させ長期的に保存する性能の評価が可能となる。これまでの「東濃鉱山における調査試験研究」では、「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」および「月吉断層に関する調査試験研究」を実施し、おもに現在の地質環境特性や物質の移行・遅延現象についての知見を得てきた（サイクル機構，2002a）。

地層処分システムの長期的な安全評価の信頼性をさらに向上させるためには、これらの知見に加えて、1～10万年といった長期的な時間スケールで生じる地質学的事象とそれに伴う地質環境の変化に伴う物質の移行・遅延挙動についての知見を得ることが必要である。また、物質の移行・遅延挙動に影響を及ぼす要因を評価するとともに、定量的な情報を取得することも重要である。そこで、2002年度からは「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」および「月吉断層に関する調査試験研究」を統合し、「ナチュラルアナログ研究」として調査・研究を進めている（サイクル機構，2002b）。

本研究では、以上のような背景を踏まえ、①東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境に関する研究、②ウラン系列核種の移行・遅延およびその影響要因に関する研究、③体系的なナチュラルアナログ研究手法の整備、の3点を研究課題として設定し調査研究を実施する。

なお、これまで月吉鉱床におけるウランの移行・保持様式との比較検討を行うため、美佐野鉱床と謡坂鉱床での鉱石採取を予定していたが、研究展開の長期スケジュールや研究実施項目の見直しを踏まえ、今後の研究は月吉鉱床のみを対象として研究を進める。

2.2 2002年度までの研究成果の概要

本研究は、図1に示すように、東濃鉱山敷地内およびその周辺部において掘削した試錐孔などを利用して実施してきた。以下に、2002年度までに実施した本試験研究の成果（サイクル機構，2001a，2001b，2002a，2003）の概要を示す。

(1) 東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境に関する研究

東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境については、ウラン鉱床が存在する深度では地層中の有機物を介した硫酸還元菌による硫酸還元とそれに続く硫化鉱物の沈殿が還元状態の形成に関与する主要な酸化還元反応であることが示されている（岩月ほか，2003a）。この反応に必要な硫酸イオンは堆積岩上部の海成層から供給されており、現在の水理環境が続く場合、堆積岩中の水—鉱物—微生物システムによる酸化還元反応は今後数十万年間にわたって継続する可能性があるかと推測された（岩月ほか，2003a）。また、堆積岩と花崗岩との不整合付近にある酸化還元フロントの移動速度は極めて遅く、堆積岩が十分な還元緩衝能力を維持していることを解析的に示した（Arthur et al., 2002）。

(2) ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響要因に関する研究

ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼした影響要因について、微生物および有機物に関する研究を行い、地下水中に生息する微生物の種類（硝酸・亜硝酸還元菌、鉄関連菌、硫酸還元菌など）と存在量、堆積岩中の還元環境形成への微生物の寄与、地下水中のフミン酸／フルボ酸の起源と微量元素の移行・遅延への影響などについての知見を得るとともに、微生物研究用の岩石試料の採取・調製手法を開発した（長沼ほか，2003）。

また、無機化学的な熱力学解析により、東濃ウラン鉱床におけるウランの溶解度を規制する環境条件が地下水の pH、酸化還元電位、炭酸ガス分圧であることが求められていた（岩月ほか，2003b）。一方、実際の地下水中には溶存有機物が存在しており、一般的に地下水中に存在している有機物（酢酸塩、シュウ酸塩、腐食酸など）がウランの移行挙動に与える影響について予察的な解析を行った結果、実際の地下水と同程度の溶存有機物濃度の条件では、ウランの溶解度を最大で 10 倍程度増加させる可能性のあることが示された。

(3) 体系的なナチュラルアナログ研究手法の整備

性能評価研究に適用されるシステム解析手法を本研究に導入した（Stenhouse et al., 2002）。これまでに、東濃ウラン鉱床の長期保存について FEP（特質、事象、プロセス）を抽出し、それらの関連性を詳細に記述するとともに、現時点で得られているデータに基づいて解析の前提となるシナリオの作成を行った。

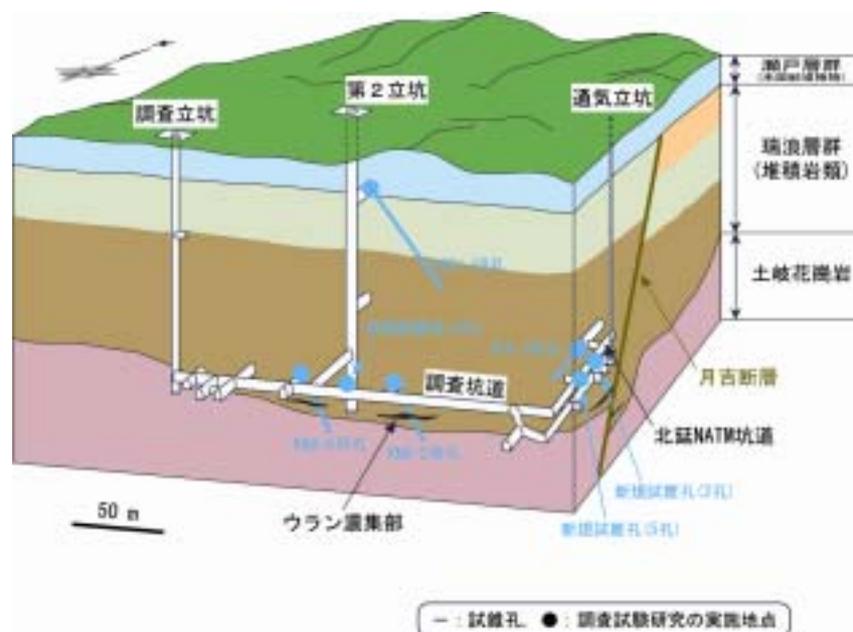


図1 東濃鉱山における「ナチュラルアナログ研究」の実施領域

2.3 2003 年度の研究計画

2003 年度は、「東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境」および「ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響要因」について、岩芯や地下水試料を用いた室内調査などにより地質環境の変遷やウラン系列核種の移行・遅延挙動に関する定量的情報を取得する。また、「体系的なナチュラルアナログ研究手法」として、システム解析手法を用いて、ウラン鉱床の保存に重要な影響を及ぼす要因を抽出する。

(1) 東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境に関する研究

既存試錐孔の岩芯試料および新規試錐孔の岩芯試料や地下水試料を用い、鉱物共生や地球化学に関する調査を実施し、ウラン鉱床における地球化学的環境の長期的変遷について解析する。

一方、地質環境の変遷とその影響に関しては、既往の研究事例のレビューや岩芯試料を用いた調査（たとえば、岩盤物性の変化による不整合期の地層削剥量の推定）などをおして、とくに地形変化（隆起・沈降）や月吉断層の活動に関する定量的情報を取得する。

(2) ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響要因に関する研究

既存試錐孔および新規試錐孔の岩芯試料を用いた調査・分析により、月吉断層に沿うウラン系列核種の移行・遅延（移流・拡散等）の要因を解明する。

また、有機物、微生物の存在がウランの移行・遅延挙動に及ぼす影響に関する調査・研究を行う。

(3) 体系的なナチュラルアナログ研究手法の整備

東濃ウラン鉱床の長期保存について、ウラン系列核種の移行に重要な影響を及ぼす FEP（特質、事象、プロセス）に対応する数式モデルを作成するとともに、解析によってウラン鉱床の保存に重要な影響を及ぼす要因を抽出する。

3 岩盤の力学的安定性に関する試験研究

3.1 背景と目標

一般に岩石や岩盤などの天然材料にも一定応力下において変形が時間とともに増大するクリープ現象が存在することが知られている。このようなクリープ現象の解明は、掘削影響領域を含む空洞周辺岩盤の長期安定性を評価するために必要であるものの、空洞周辺岩盤の長期的な挙動を定量的に予測可能な解析手法は存在しないのが現状である。

本試験研究では、このような背景を踏まえ、岩盤の長期挙動を評価する手法の開発を目的とした「長期挙動に関する研究」を実施する。なお、2002年度まで実施してきた「応力状態に関する調査研究」および「長期挙動に関する研究」の一部については、2003年度以降は超深地層研究所計画において継続実施していく。

3.2 2002年度までの試験研究成果の概要

本試験研究は、図2に示すように、東濃鉦山敷地内およびその周辺部において掘削した試験錐孔などを利用して実施してきた。以下に、2002年度までに実施した本試験研究の成果（サイクル機構，2001a，2001b，2002a，2003）の概要を示す。

(1) 応力状態に関する調査研究

東濃鉦山および瑞浪超深地層研究所正馬様用地における試験錐孔にて測定した初期応力測定結果ならびに東濃地域の地質構造データを利用して、3次元応力場を逆解析的に推定するにあたり、不均一な岩盤モデルにおける解析結果の信頼性について検討を行った（水田ほか，2003）。その結果、不均一岩体では岩体の不均一性の程度に応じて評価誤差が生じること、同一の岩体の測定点を増やしても評価誤差はほとんど変わらないこと、評価誤差を小さくするには異なる岩体から測定点を選ぶ必要があることが示された（木村ほか，2003）。解析は、東濃地域の10km×10km×約1kmの広範囲の領域を対象領域とした初期応力解析モデルを構築し、領域の中心部に存在する東濃鉦山と正馬様用地を含む2km×2km×約1kmの地域を注目領域とし、有限要素法により広域応力場の推定を行った。明世累層と土岐夾炭累層内の応力は比較的よく再現しているものの、土岐花崗岩については誤差が大きい結果となった（木村ほか，2003）。

(2) 長期挙動に関する研究

クリープ変形挙動については、田下凝灰岩の長期クリープ試験を継続するとともに、北延 NATM 坑道から採取した粗粒砂岩のクリープ特性を室内試験により把握した（高倉ほか，2003）。さらに東濃鉦山の粗粒砂岩のクリープ試験について、大久保らが提案する構成方程式（大久保ほか，2002）を適用したところ、試験で得られたクリープ曲線をかなり良く再現できることを確認した（高倉ほか，2003）。また、低応力条件下におけるクリープ変形挙動評価のための基礎情報の取得および構成式の開発を行うとともに、クリープひずみ速度の温度依存性を把握した。一方、現場調査では、北延 NATM 坑道および第2立坑における変形挙動の長期観測を継続実施し、これらの取

得データの信頼性を確認するため、計測システムの点検を実施した。また、孔壁崩壊現象の長期観測については、孔壁崩壊形状の計測を行い、崩壊量を定量的に把握した。

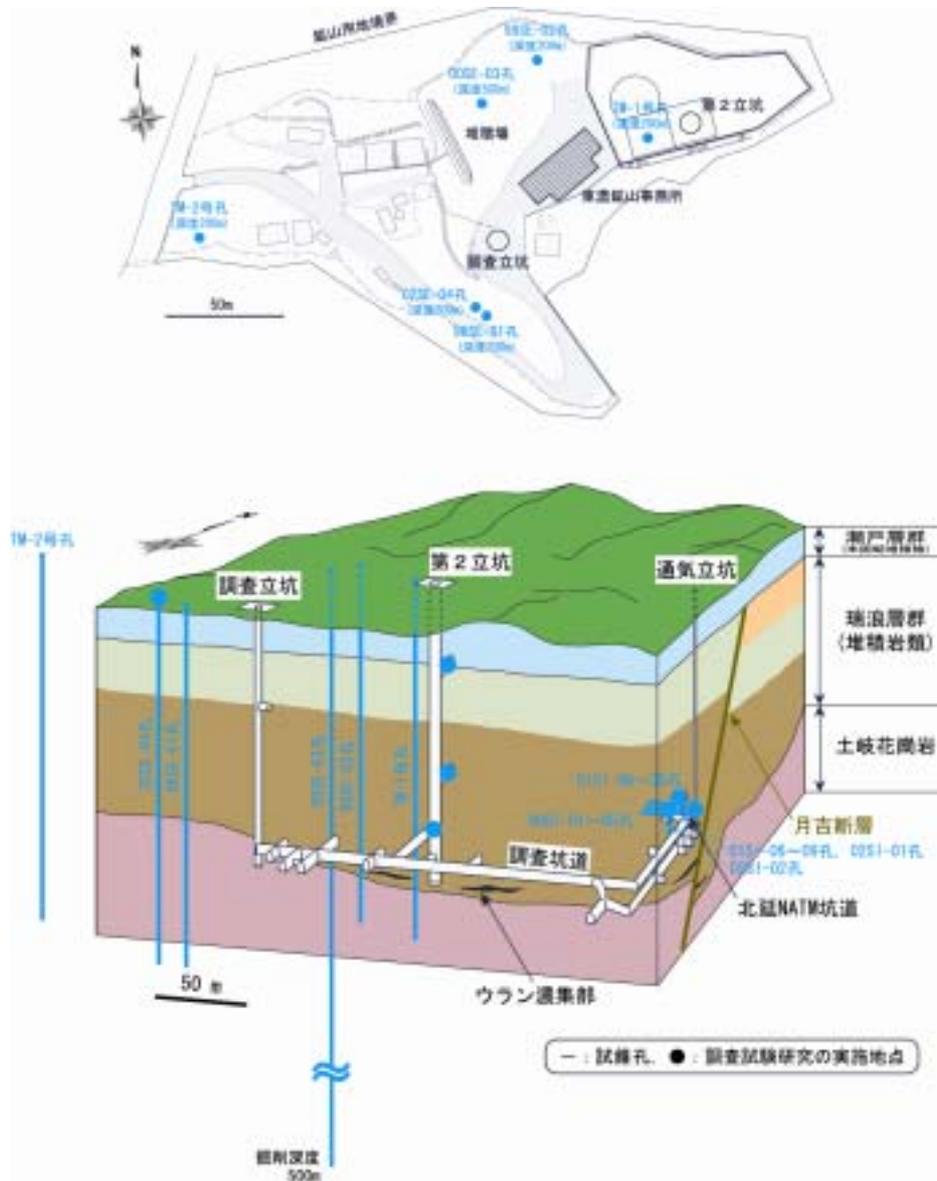


図2 東濃鉱山における「岩盤の力学的安定性に関する試験研究」の実施領域

3.3 2003 年度の試験研究計画

2003 年度は、堆積岩の長期挙動を表現できる解析手法の開発を目的として、北延 NATM 坑道周辺から採取した岩石試料について昨年度算出したコンプライアンス可変型構成式のパラメータを用い、その構成式を組み込んだ二次元粘弾性モデルによる、北延 NATM 坑道を対象としたクリープ変形解析を実施する。その解析結果とこれまでの十数年間の観測結果とを比較することにより、構成式の適用性について検討する。さらに、岩盤の長期変形挙動に関する調査・解析手法の開発、ならびに北延 NATM 坑道および第 2 立坑における変形挙動の長期観測を継続する。

孔壁崩壊現象については、小孔径試錐孔のオーバーコアリングおよび孔径検層、崩壊時の電位・AE 計測などを実施し、大孔径試錐孔で認められた破壊現象の支配要因(孔径や岩盤の不均質性)を把握する。

4 坑道周辺の地質環境に関する調査研究

4.1 背景と目標

坑道周辺の地質環境に関しては、これまでに東濃鉦山において立坑および水平坑道掘削影響試験などを実施し、力学的・水理的・地球化学的な特性や現象について個別に評価を行ってきた。その結果、個々の特性や現象についての情報は蓄積されてきたものの、堆積岩については、坑道掘削により生じる地質環境の水理的・地球化学的な状態変化と岩盤物性（弾性係数や透水係数など）の変化との関係や力学－水理－地球化学連成現象に関しては把握されていない。

坑道周辺における地質環境の状態変化や連成現象の概念モデルや調査・評価技術などは、幌延深地層研究計画における坑道からの調査・研究の具体化などに反映されるものである。

本調査研究では、以上のような背景を踏まえ、「坑道周辺水理特性調査」ならびに「坑道周辺地球化学特性調査」を実施し、坑道周辺における地質環境の状態変化や連成現象を明らかにするとともに、その概念モデルを構築することにより、坑道周辺における地質環境特性の総合的な調査・評価手法を開発する。

4.2 2002年度までの調査研究成果の概要

本調査研究は、図3に示すように、おもに東濃鉦山坑道内および坑道から掘削した試錐孔において実施してきた。以下に、2002年度までに実施した本調査研究の成果（サイクル機構，2001a，2001b，2002a，2003）の概要を示す。

(1) 坑道周辺水理特性調査

北延 NATM 坑道の3本の試錐孔において、多点式パッカーを用いた計測システムによる間隙水圧観測を継続し、坑道周辺岩盤の三次元的な間隙水圧分布を概ね把握した。一方、不飽和領域の計測手法に関する研究では、原位置における TDR (Time Domain Reflectometry) 法を用いた計測結果と含水量との関係を取得するために、室内試験において含水量が既知の岩石コアの比誘電率を測定した。その結果、飽和近傍で比誘電率が急激に増加する傾向がみられ、土壌において適用されている混合モデルでは説明できないことがわかった。さらに、TDR 法を用いた原位置試験結果を補完する目的で連続波レーダーを用いた坑道周辺岩盤の不飽和領域の原位置試験を実施した。その結果、坑道周辺の水理特性を2次元的に把握できる可能性が示された。

(2) 坑道周辺地球化学特性調査

北延坑道内のウラン濃集部、第2立坑第2計測坑道、下盤連絡坑道において、坑道壁面からの主要化学成分（とくに鉄およびウラン系列核種）や微生物の深度分布を調査し、これまでに酸化還元状態が坑道壁面から50cm程度で大きく変化する事例が確認された。

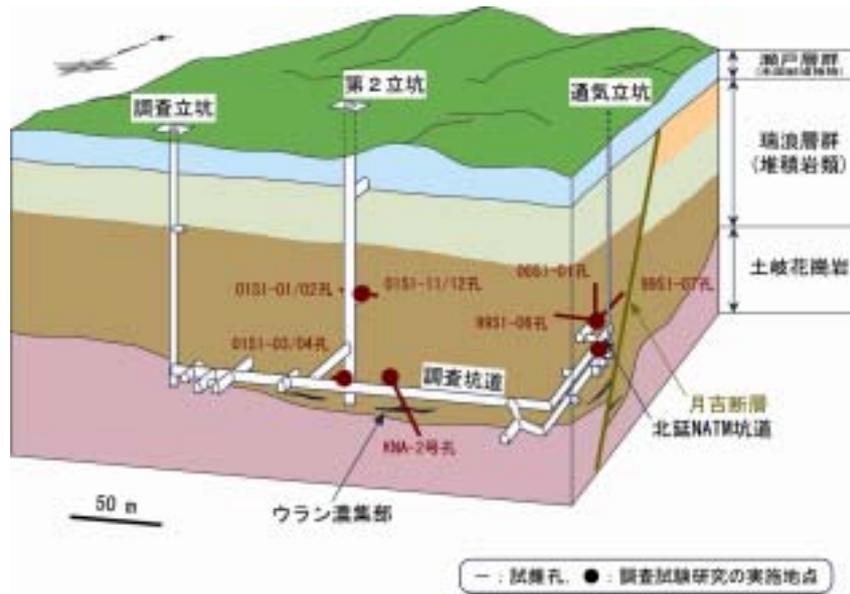


図3 東濃鉱山における「坑道周辺の地質環境に関する調査研究」の実施領域

4.3 2003年度の調査研究計画

2003年度は、坑道周辺岩盤中における三次元的な水理的・地球化学的状态の変化領域の把握、および定量的情報の取得を目的とした以下の調査・研究を実施し、坑道周辺の地質環境特性の評価手法の構築について検討する。

(1) 坑道周辺水理特性調査

長期間隙水圧観測では、北延 NATM 坑道における間隙水圧観測を継続し、長期的な水圧変動を把握する。また、既存の地質学的・水理的データと合わせ、北延 NATM 坑道周辺における水理学的状態変化についての検討を行う。

不飽和領域の計測手法に関する研究では、坑道周辺の地質環境情報が豊富な東濃鉱山 NATM 坑道において、TDR の適用性確認のための原位置試験を実施する。また、昨年度、NATM 坑道壁面で実施した地表連続波レーダーの結果を評価し、TDR の原位置試験結果と比較する基礎データを取得するため、NATM 坑道の壁面に掘削した試錐孔のコアを用いて室内比誘電率計測を行う。これらの試験結果を基に、坑道周辺における総合的な地質環境特性評価手法を構築する。

(2) 坑道周辺地球化学特性調査

第2立坑下盤連絡坑道から採取した堆積岩試料（シルト岩）について、主要化学成分（とくに鉄およびウラン系列核種）の坑道壁面からの深度プロファイルおよび酸化還元状態の指標となる鉱物種（とくに鉄鉱物）の坑道壁面からの深度分布を取得する。また、本延坑道等において地下水の主要化学成分および物理化学パラメータの長期観測を実施する。さらに、取得した情報に基づき、坑道周辺岩盤中における地球化学的状态の変化に関する概念モデルの構築について、予察的な検討を行う。

5 2003 年度の調査試験研究のスケジュール

2.3、3.3、4.3 にそれぞれ述べた 2003 年度に実施する調査試験研究のスケジュールを表 1 に示す。

表 1 2003 年度調査試験研究スケジュール

調査試験研究項目	2003年												2004年		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
1 ナチュラルアナログ研究	計画				現場調査								取りまとめ		
	試験		室内調査・解析												
2 岩盤の力学的安定性に関する試験研究 ・ 長期挙動に関する研究	室内調査・解析						現場調査/室内調査・解析			取りまとめ					
	長期観測/室内試験														
3 坑道周辺の地質環境に関する調査研究 ・ 坑道周辺水理特性調査 ・ 坑道周辺地球化学特性調査	長期観測/データ取りまとめ														
	室内試験										取りまとめ				
	長期観測/データ取りまとめ														
	室内調査										新試				

参考文献

Arthur, R., Iwatsuki, T., Hama, K., Amano, K., Metcalfe, R. and Ota, K. (2002) : The redox environment of deep groundwaters associated with the Tono uranium deposit, Japan. *Sci. Basis Nucl. Waste Manag.* XXV.

岩月輝希, 村上由記, 長沼 毅, 濱 克宏 (2003a) : ウラン鉱床の長期保存に関わる岩盤の酸化還元緩衝能力ー東濃地域における天然環境の水ー鉱物ー微生物システムの研究例ー. *地球化学, 地球化学*, 37, 71~82.

岩月輝希, 濱 克宏, 太田久仁雄, ランディ・アーサー (2003b) : 東濃ウラン鉱床におけるナチュラルアナログ研究ーウランの長期的な溶解度変動幅の解析ー. *日本原子力学会 2003 年春の年会要旨集*.

核燃料サイクル開発機構 (1999) : 東濃鉱山における調査試験研究基本計画書. サイクル機構技術資料, JNC TN7410 99-006.

核燃料サイクル開発機構 (2001a) : 東濃鉱山における調査試験研究年度報告書 (平成 11 年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-006.

核燃料サイクル開発機構 (2001b) : 東濃鉱山における調査試験研究年度報告書 (2000 年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-007.

核燃料サイクル開発機構 (2002a) : 東濃鉱山における調査試験研究年度報告書 (2001 年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2002-003.

核燃料サイクル開発機構 (2002b) : 東濃鉱山における調査試験研究年度計画書 (2002 年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-001.

核燃料サイクル開発機構 (2003) : 東濃鉱山における調査試験研究年度報告書 (2002 年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2003-001.

木村直樹, 松木浩二, 坂口清敏, 中間茂雄, 佐藤稔紀 (2003) : 不均一岩体の広域応力場評価法に関する研究. *資源・素材学会春季大会講演集 (I) 資源編*, pp. 93-94.

水田義明, 金子勝比古, 松木浩二, 菅原勝彦, 須藤茂韶 (2003) : 3次元応力場の同定手法に関する研究(その2). サイクル機構技術資料 (研究委託報告書: 社団法人資源・素材学会), JNC TJ7400 2003-004.

長沼 毅, 岩月 輝希, 村上 由記, 濱 克宏, 岡本 拓士, 谷本 大輔, 藤田 夕佳 (2003) : 深部地質環境に対する微生物の影響に関する研究ー地下微生物群集の種組成と代謝の多様性に関する研究ー. サイクル機構技術資料, JNC TY7400 2003-001.

大久保誠介, 福井勝則, 羽柴公博 (2002) : コンプライアンス可変型構成方程式の拡張とクリープ試験結果による検討, 資源と素材, Vol. 118, pp. 737-744.

Stenhouse, M. J., Arthur, R., Ota, K., Iwatsuki, T., Metcalfe, R and Takase, H. (2002) : Application of the systems analysis approach to a natural analogue project. Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXV.

高倉 望, 中間茂雄, 大久保誠介 (2003) : 堆積軟岩を対象とした低応力レベルにおけるクリープ解析. 第 58 回土木学会年次学術講演会 CD-ROM, CS7-057.