

JNC TN7410 2001-010

東濃鉾山における調査試験研究
年度計画書（2001年度）

（技術報告）

2001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

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) 2001

目次

1	はじめに	1
2	2000年度までの調査試験研究成果の概要	2
2.1	岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究	2
2.2	坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究	2
2.3	岩盤中の物質移動に関する調査試験研究	3
2.4	月吉断層に関する調査試験研究	3
3	2001年度の調査試験研究の計画	5
3.1	岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究	5
3.1.1	目標	5
3.1.2	実施内容	5
3.2	坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究	6
3.2.1	目標	6
3.2.2	実施内容	6
3.3	岩盤中の物質移動に関する調査試験研究	7
3.3.1	目標	7
3.3.2	実施内容	7
3.4	月吉断層に関する調査試験研究	8
3.4.1	目標	8
3.4.2	実施内容	8
4	2001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鉾山とその周辺において、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各種の調査・研究（「東濃鉾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。東濃鉾山における調査試験研究は、「東濃鉾山における調査試験研究基本計画書」（サイクル機構，1999a）に基づき、ウラン鉾床を胚胎し断層などの地質学的特徴を有する堆積岩中における物質の移行・遅延特性の把握、および地質環境を総合的に調査・評価するための技術・機器の開発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岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究
- ②坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究
- ③岩盤中の物質移動に関する調査試験研究
- ④月吉断層に関する調査試験研究

これらの調査試験研究計画において得られた成果は、地層処分研究開発の基盤として反映されるほか、地下深部についての学術的研究や地下空間利用などにも寄与するものである。たとえば、ウランを含む岩石を採取・利用して行われる研究は、ウラン鉾床の成因や形成プロセスの解明の一助となる。また、坑道の力学的安定性の評価や掘削工法と岩盤への影響との関係に関する研究成果は、鉾山開発や地下空間利用の技術としても活用されると期待される。

本計画書は、「東濃鉾山における調査試験研究基本計画書」に基づき、2001 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 2000年度までの調査試験研究計画の概要

本調査試験研究は、図1に示すように、坑道を含む東濃鉾山敷地内およびその周辺部において実施しており、地表から深度約150mまでに分布する堆積岩をおもな対象としている。以下に、2000年度までに実施した本調査試験研究の実施内容および成果の概要を示す。

2.1 岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究

2000年度に掘削した試錐孔(00SE-03孔)を含む5本の試錐孔において、これまでに実施した水圧破碎法およびAE(Acoustic Emission)法による応力測定の結果、月吉断層が堆積岩中の応力状態に及ぼす影響は顕著に認められないこと、東濃鉾山周辺に分布する堆積岩および土岐花崗岩中の鉛直応力はほぼ土被り圧に等しいこと、土岐花崗岩上部の応力状態は月吉断層上盤側では最大主応力の大きさが堆積岩と異なるが、月吉断層下盤側ではほぼ等しいことなどが明らかになった(Maeda et al., 1999; サイクル機構, 2001a)。

岩盤の長期挙動に関する試験研究では、空圧式クリープ試験装置を設計・製作し、その性能を確認した(サイクル機構, 2001b)。また、空圧式クリープ試験装置を用いた田下凝灰岩の一軸クリープ試験を継続実施し(試験日数1300日)、低応力条件下における岩石の変形挙動の時間依存性評価の観点から弾性係数の載荷速度依存性について検討した。併せて、応力緩和試験装置による試験を継続するとともに、花崗岩を対象とした分子動力学-均質化法統合解析(MD-HA法)のための入力パラメータの決定方法に関する検討を行った(サイクル機構, 2001c, d)。

2.2 坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究

2000年度も東濃鉾山北延NATM坑道において、1999年度に掘削した水平方向の試錐孔2本に引き続き、鉛直上向きに1本の試錐孔(掘削長50m)を掘削し、釜石原位置試験で使用した多点式パッカーシステムを設置して、坑道周辺岩盤中の間隙水圧分布を観察するシステムを整備した(サイクル機構, 2000a, 2001e)。

不飽和領域の計測・解析手法に関する研究では、2000年度までに、岩盤の含水量分布の計測におけるTDR(Time Domain Reflectometry)法の有効性、および多孔質媒体内の水分移動などの解析における既存の飽和・不飽和浸透流解析コードの適用可能性を確認した。また、現場においてTDR法による含水量計測に実用可能なパッカー式プローブを製作するとともに、電磁波波形解析技術として微分法が最適であることを確認した(サイクル機構, 2000b, 2001f)。

地球化学特性に関する研究では、堆積岩中の鉄およびウラン系列核種について坑道壁面からの深度プロファイルを取得し、酸化・還元フロントに関する予察的な検討を行った。

2.3 岩盤中の物質移動に関する調査試験研究

岩盤中の物質移行・遅延を解析・評価する際に必要となるデータベースの高度化を目的に、東濃鉱山調査坑道内より掘削した試錐孔（KNA-6号孔）において、土岐花崗岩および堆積岩／土岐花崗岩不整合の地下水の水質連続モニタリングとともに、ウランを含む堆積岩試料の化学分析を継続し、地下水および岩石の地球化学データセットの拡充を図った。併せて、岩石・鉱物の収着特性に関するデータセットも作成し、「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，1999b）に基盤情報として反映させた。

地下水中の有機物／微生物に関する調査研究では、地下水中のフミン酸／フルボ酸は堆積岩中の有機物の微生物分解により生成していること、有機物は微量元素の化学的状態にほとんど影響していないことが明らかになった。また、地下水中の微生物の存在量などに関する予察的情報が取得された（村上ほか，1999）。

2.4 月吉断層に関する調査試験研究

2000年度までの月吉断層に関する構造地質学的調査、岩芯を用いた微視的構造調査ならびに鉱物学的・地球化学的調査の結果、月吉断層は2条の断層からなり、それらが幅十数m～20m程度の破碎帯を両側に伴い、湾曲しながら堆積岩層浅部（明世累層中）から深部（土岐夾炭累層）まで連続する分布・形状を示すことが推定された（Milodowski et al., 2001）。また、月吉断層は逆断層系の変形作用とそれに引き続く局所的な正断層系の変形作用（再動）によって形成されたと考えられ、それらの断層運動において熱水の循環が関与していた可能性、および月吉断層に付随する破碎帯が過去に水みちとして機能していた可能性があること（Gilliespie et al., 2000）も明らかになった。

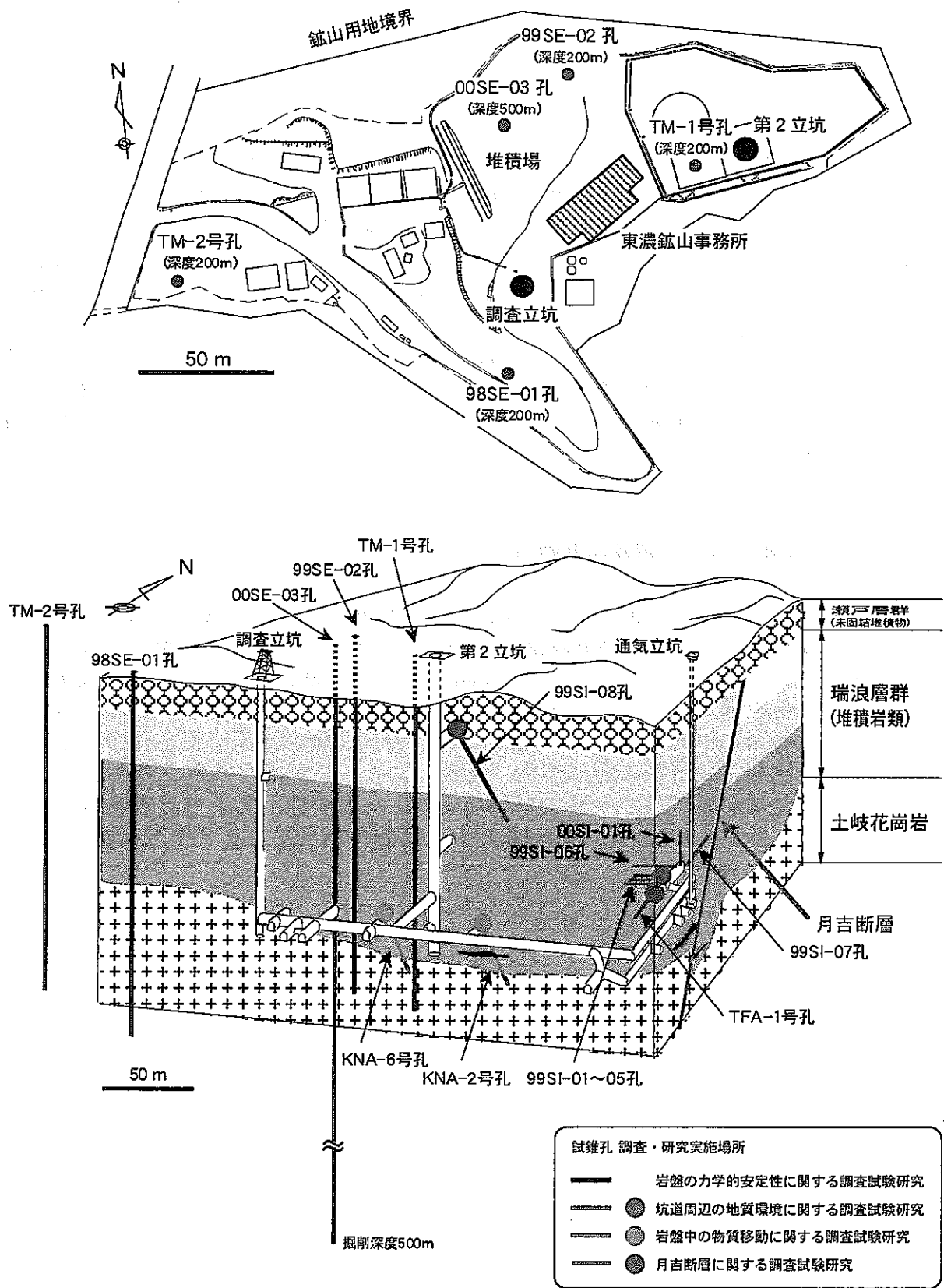


図1 東濃鉱山における調査試験研究の実施領域

3 2001 年度の調査試験研究の計画

3.1 岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究

3.1.1 目標

一般に岩盤内の応力状態は不均一性を有することが知られているが、応力状態の不均一性を考慮し客観的に場の三次元応力分布を評価しうる調査・解析手法は十分には確立されていない。また、坑道掘削によって力学的な塑性領域が生じるようなケースでの物性変化の程度やその範囲に関する知見も得られておらず、塑性領域内の物性変化という観点での既存の調査・研究事例もほとんどない。このような調査・研究は一般的な三次元地下構造物の設計施工および空洞の安定性を確保するうえで必要不可欠であるとともに、その成果は超深地層研究所計画（動燃事業団，1996）および幌延深地層研究計画（サイクル機構，1998）における坑道の物理的な安定性に関する研究にも反映されるものである。さらに、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が現存しないため、そのような解析手法の開発も掘削影響領域を含む空洞周辺岩盤の長期的な安定性を評価するうえで重要である。

2001 年度は、場の三次元的応力分布を客観的に評価する手法、および堆積岩（とくに軟岩）の長期挙動を表現できる解析手法の開発を目的とした以下の調査試験研究とともに、双設坑道安定性評価試験の計画策定および坑道掘削前の事前調査を実施する。

3.1.2 実施内容

これまでに実施した応力状態調査の結果に基づき、三次元的な応力分布を解析的に推定する手法についての検討を開始するとともに、東濃鉱山から採取した岩石試料および空圧式クリープ試験装置を用いた長期クリープ試験を開始する。また、坑道周辺岩盤中の塑性域の発生に伴う岩盤物性変化の程度とその範囲を把握・評価するための、双設坑道安定性評価試験の計画策定および事前調査を実施する。

(1) 応力状態に関する調査研究

東濃鉱山用地内に掘削した試錐孔および東濃鉱山坑道内（第2立坑および北延 NATM 坑道）において実施した初期応力測定の結果に基づき、東濃鉱山およびその周辺（正馬様用地）を事例として、場の三次元応力分布を解析的に推定するための手法に関する研究を開始する。なお、この研究は 2003 年度までの 3 年間にわたって実施する計画である。

(2) 長期挙動に関する試験研究

東濃鉱山から採取した岩石試料、および 2000 年度に導入した空圧式クリープ試験装置を用いた長期クリープ試験を実施し、コンプライアンス可変型構成式に含まれるパラメータの同定を試みる。また、大学への委託研究では、長期クリープ試験を継続するとともに、花崗岩などの硬岩への適用を目的とした油圧式多連クリープ試験装置の適用試験を実施する。併せて、分子動力学-均質化法統合解析（MD-HA

法)に必要となるパラメータの設定手法に関する研究を継続する。一方、現場調査として、東濃鉱山北延 NATM 坑道において、孔径の異なる 5 本の試錐孔における孔壁面の経時変化の観察ならびに変位計測を継続する。

(3)双設坑道安定性評価試験

堆積岩(とくに軟岩)を対象に、坑道掘削に伴い坑道周辺岩盤中に塑性域が発生した際の岩盤物性変化の程度とその範囲を把握・評価する手法の開発を目的として、東濃鉱山北延 NATM 坑道において、既存坑道からの離間距離を変えて新規坑道を掘削し、坑道掘削の前後において坑道周辺岩盤中の物性変化の程度や範囲を把握する。

2001 年度は、2000 年度に実施した予備的検討(二次元解析による坑道離間距離の検討など)の結果に基づき、詳細な試験計画を策定するとともに、坑道掘削前の事前調査(試錐孔掘削、水理試験など)を実施する。

3.2 坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究

3.2.1 目標

坑道周辺岩盤を対象としたこれまでの調査試験研究(たとえば、杉原ほか、1998)により、力学的、水理的、地球化学的な物性や現象などが個別に把握されてきている。しかしながら、岩盤物性の変化と坑道周辺岩盤中の地下水の水理的、地球化学的な状態変化との関係は把握されておらず、坑道掘削によって生じると考えられる地質環境の力学-水理-地球化学連成現象やその発生メカニズムなどは十分解明されていない。これらを明らかにするための調査試験研究を行うことにより、坑道周辺の地質環境特性に関する総合的な概念モデルの構築が可能になる。また、開発した評価・モデル化手法は、超深地層研究所計画(動燃事業団、1996)および幌延深地層研究計画(サイクル機構、1998)における坑道掘削を伴う調査・研究ならびに坑道を利用した調査・研究に直接反映される。

2001 年度は、坑道周辺岩盤中における三次元的な水理的・地球化学的な状態の変化領域の把握、および堆積岩中の酸化・還元フロントに関する定量的情報の取得を目的として、以下に示す調査試験研究を実施する。

3.2.2 実施内容

坑道周辺の水理特性調査では、東濃鉱山北延 NATM 坑道の水平試錐孔(2 孔)および鉛直上向き試錐孔において間隙水圧計測システムによる水圧観測を継続する。また、不飽和研究では、新規に掘削する水平試錐孔において、2000 年度に製作したパッカー式プローブの現場での適用性を確認するとともに測定手法の検討を行う。

一方、坑道周辺の地球化学特性については、2000 年度とは異なる岩相および地質構造を対象に、坑道壁面からの酸化・還元フロントの形成速度と坑道周辺岩盤が有する酸素消費能力を見積もるための調査を行う。また、多点式パッカーシステムが設置されている試錐孔において、地下水中の物理化学パラメータの長期観測を開始する。

(1)坑道周辺水理特性調査

東濃鉦山北延 NATM 坑道の試錐孔（水平方向 2 孔および鉛直上向き 1 孔）内に設置した間隙水圧計測システムを用い、多点式パッカーシステムによって区切られた 5 測定区間（ほぼ同じ区間長）において長期的な水圧変化の観測を行い、坑道周辺岩盤中の三次元的な水圧分布とその変化の程度を把握する。また、不飽和研究では第 2 立坑第 2 計測坑道において水平試錐孔（孔径 86mm×掘削長約 20m）を掘削し、2000 年度に製作したパッカー式プローブ（改良型棒状 TDR プローブ）の適用試験を行う。この試験をとおしてパッカー式プローブの現場での適用性を確認するとともに測定手法の検討を行う。

(2)坑道周辺地球化学特性調査

東濃鉦山第 2 立坑第 2 計測坑道ならびに下盤連絡坑道において試錐孔（2 地点とも孔径 146mm×掘削長 2m×2 本）を掘削し、取得した堆積岩試料の化学分析を行い、ウラン系列核種や鉄（ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ）などの酸化・還元に鋭敏な挙動を示す元素について坑道壁面からの元素の深度プロファイルを取得する。また、多点式パッカーシステムが設置されている試錐孔（北延 NATM 坑道 99SI-07 孔）において、地下水の物理化学パラメータの長期観測を開始する。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態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。

3.3 岩盤中の物質移動に関する調査試験研究

3.3.1 目標

東濃ウラン鉦床を事例研究の場として、実際の地質環境下で起きている現象と場の特性を把握し、定量的データを取得することにより、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と考えられる。また、物質を長期間にわたり保持するために要求される地質環境条件を明らかにすることも可能となると期待される。このような地質環境中における物質移行・遅延に関する情報（実例）は、地層処分システムの安全評価モデルおよび安全評価結果の信頼性を向上させるために重要である（サイクル機構，1999b）。本調査試験研究においては、上記の情報を取得するための調査・解析手法を開発する。

2001 年度は、物質移行・遅延の解析・評価に用いるデータベースの高度化、および地下水中の微生物が物質移行・遅延に与える影響の把握を目的として、以下に示す調査試験研究を実施する。

3.3.2 実施内容

東濃鉦山調査坑道内の既存試錐孔を利用して、地下水および岩石の地球化学特性などに関するデータを継続して取得し、物質移行・遅延の解析・評価に必要なデータセットの拡充を図る。また、地下水中の微生物の種類・存在量に関するデータの取得を継続する。

(1)物質移行データベースの作成

東濃鉦山調査坑道内から掘削した試錐孔（KNA-6 号孔）からの湧水（土岐花崗岩および堆積岩／土岐花崗岩不整合）の水質連続モニタリングおよび採水、化学分析により、地下水の地球化学データを継続して取得する。併せて、ウランを含む堆積岩試料の化学・鉦物組成分析も継続し、岩石の地球化学・鉦物データを蓄積する。これにより、地下水および岩石の地球化学データセットの拡充を図る。

(2)地下水中の有機物／微生物に関する調査研究

KNA-6 号孔からの湧水を対象に、地下水中の微生物を採取し、微生物の種類、存在量、および特定の微生物（硫酸還元菌および鉄酸化菌）の活性度に関する調査研究を継続する（広島大学との共同研究）。

3.4 月吉断層に関する調査試験研究

3.4.1 目標

断層の水理・物質移動における機能や断層が岩盤の力学的安定性に及ぼす影響などを評価するためには、断層の分布や性状などの地質学的特性ならびに地球化学的特性を評価することが重要である。東濃鉦山における地質学的特徴の一つである月吉断層を事例として詳細な調査試験研究を実施することにより、とくに堆積岩中における、水理・物質移動および岩盤力学の観点からの断層の役割を把握することが可能になると考えられる。また、超深地層研究所計画において実施中の基盤花崗岩中の月吉断層に関する調査・研究（Ota et al., 1999）と合わせ、異なる岩相における断層の地質学的・地球化学的特性および役割を把握することにより、月吉断層を総合的に評価することができると考えられる。

2001 年度は、月吉断層の地質学的性状の総合的評価、および大規模不連続面の地質環境特性を調査する一般的な手法の整備状況についての中間的な評価を目的として、以下に示す調査試験研究を実施する。

3.4.2 実施内容

月吉断層の活動時期を特定するとともに、これまでの研究成果を構造地質学的、鉦物学的、地球化学的観点から整理・評価し、堆積岩中に認められる月吉断層の地質学的性状を総合的にとりまとめる。

(1)断層活動年代調査

月吉断層が確認されている既存試錐孔（TH-1, 2, 3 号孔、KNA-6 号孔、TM-2 号孔、98SE-01 孔、99SI-08 孔）において岩石試料を採取し、断層の充填鉦物について複数の手法（Rb-Sr 法、K-Ar 法、FT 法）による年代測定を行い、月吉断層が活動した年代を特定する。また、既存の年代測定技術の適用性に関する技術的検討を行う。

(2)月吉断層の地質学的性状に関する総合評価

2000 年度までの月吉断層に関する研究（英国地質調査所への委託研究）成果を、構造地質学的、鉱物学的、地球化学的観点から整理するとともに、深度依存性を考慮し、以下の項目に関する総合評価を行う。

- ・月吉断層および断層に付随する破砕帯の幾何学的形状およびその空間的分布
- ・月吉断層および断層に付随する破砕帯の活動履歴
- ・月吉断層および断層に付随する破砕帯が地下水の流動特性に及ぼす影響

4 2001 年度の調査試験研究のスケジュール

3 に述べた 2001 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 2001 年度調査試験研究スケジュール

調査試験研究項目	2001 年												2002 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 岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究															
①応力状態に関する調査研究															
・解析手法の検討															
・取りまとめ															
②長期挙動に関する試験研究															
・長期クリープ試験															
・油圧式多連クリープ試験装置の適用試験															
・パラメータ設定手法の検討															
・孔壁面の長期観測/変位計測															
・取りまとめ															
③双設坑道安定性評価試験															
・試験計画の策定															
・坑道掘削前の事前調査															
・取りまとめ															
2 坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究															
①坑道周辺水理特性調査															
・長期水圧計測 (北延 NATM 坑道)															
・不飽和計測試験															
・取りまとめ															
②坑道周辺地球化学特性調査															
・長期水質観測 (北延 NATM 坑道)															
・試験孔掘削 (第 2 立坑第 1 計測坑道/下盤連絡坑道)															
・化学分析															
・概念モデルの検討															
・取りまとめ															
3 岩盤中の物質移動に関する調査試験研究															
①物質移行データベースの作成															
・水質連続モニタリング (KNA-6 号孔)															
・岩石の化学・鉱物組成分析															
・取りまとめ															
②地下水中の有機物/微生物に関する調査研究															
・微生物の採取・分析 (KNA-6 号孔)															
4 月吉断層に関する調査試験研究															
①断層活動年代調査															
・年代測定															
・取りまとめ															
②月吉断層の地質学的性状に関する総合評価															
・総合評価/取りまとめ															

参考文献

動力炉・核燃料開発事業団（1996）：超深地層研究所地層科学研究基本計画．動燃事業団技術資料，PNC TN7070 96-002.

Gillespie, M.R., Milodowski, A.E., Hama, K., Amano, K., Metcalfe, R., Hards, V.L., Darbyshire, D.P.F., Iwatsuki, T., Kunimaru, T. and Yoshida, H. (2000) : Characterization of the Tsukiyoshi fault phase I [1999-2000] : The Tsukiyoshi fault intersections in the Toki Formation, The Toki Formation-Toki granite unconformity and preliminary investigations in the Toki granite. BGS Technical Report CR/00/37.

核燃料サイクル開発機構（1998）：深地層研究所（仮称）計画 平成10年10月.

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

核燃料サイクル開発機構（1999b）：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（2000a）：北延 NATM 坑道における間隙水圧計測システムの設置．サイクル機構技術資料，JNC TJ7440 2000-002.

核燃料サイクル開発機構（2000b）：不飽和領域の原位置計測手法の研究（平成11年度）．サイクル機構技術資料，JNC TJ7400 2000-004.

核燃料サイクル開発機構（2001a）：00SE-03 孔における水圧破碎法による初期応力測定．サイクル機構技術資料，JNC TJ7430 2001-001.

核燃料サイクル開発機構（2001b）：岩石用長期クリープ試験機的设计・製作．サイクル機構技術資料，JNC TJ7410 2001-001.

核燃料サイクル開発機構（2001c）：長期岩盤挙動評価のための微視的観点による基礎的研究．サイクル機構技術資料，JNC TJ7400 2001-002.

核燃料サイクル開発機構（2001d）：長期岩盤挙動評価のための巨視的観点による基礎的研究．サイクル機構技術資料，JNC TJ7400 2001-003.

核燃料サイクル開発機構（2001e）：北延 NATM 坑道における間隙水圧計測システムの設置．サイクル機構技術資料，JNC TJ7440 2001-002.

核燃料サイクル開発機構（2001f）：不飽和領域の原位置計測手法の研究（平成12

年度) . サイクル機構技術資料, JNC TJ7400 2001-001.

Maeda,N., Sato,T., Matsui,H., and Sugihara,K. (1999) : Estimation of applicability of stress measurement methods and three dimensional stress state in soft sedimentary rock. In: Proceeding of The '99 Japan-Korea Joint Symposium on Rock Engineering, pp.277-284.

Milodowski,A.E., Gillespie,M.R., Hama,K., Amano,K., Kemp,S.J., McKevey,J., Metcalfe,R., Kunimaru,T. and Iwatsuki,T. (2001) : Characterisation of the Tsukiyoshi fault Phase II [2000-2001] : The Tsukiyoshi fault intersection in the Toki granite in Borehole MIU-3 and the Akeyo Formation in Tono Mine Borehole 99SI-08. BGS Technical Report CR/01/17.

村上由記, 長沼 毅, 岩月輝希 (1999) : 深部地質環境における微生物群集-東濃地域を例として-, 原子力バックエンド研究, 5, pp.59-66.

Ota,K., Nakano,K., Metcalfe,R., Ikeda,K., Goto,J., Amano,K., Takeuchi,S., Hama,K. and Matsui,H. (1999) : Working programme for MIU-4 borehole investigations. JNC Technical Report, JNC TN7410 99-007.

杉原弘造, 亀村勝美, 二宮康郎 (1998) : 堆積軟岩での発破による掘削影響の現場計測に基づく検討. 土木学会論文集, No.589, III-42, pp.239-251.