

超深地層研究所
地層科学研究基本計画

平成8年11月

動力炉・核燃料開発事業団

東濃地科学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺959-31

動力炉・核燃料開発事業団

東濃地科学センター

技術開発課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Geotechnics Development Section, Tono Geoscience Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 959-31, Jorinji, Izumi-cho, Toki-shi, Gifu-ken 509-51, Japan

〔目 次〕

1. 超深地層研究所の位置づけ	1
2. 動燃の地層科学研究の経緯	1
3. 超深地層研究所計画（地層科学研究）の概要	2
3.1 超深地層研究所における地層科学研究の目標	3
3.2 施設概要	5
3.3 設置場所概要	5
3.4 超深地層研究所の組織体制（案）	8
3.5 スケジュール	8
4. 研究の概要	10
4.1 これまでに得られている知見と今後の課題	10
4.2 地表からの調査予測研究段階の計画概要	13
4.3 坑道の掘削を伴う研究段階の計画概要	16
4.4 坑道を利用した研究段階の計画概要	18
5. おわりに	20

1. 超深地層研究所の位置づけ

原子力委員会は、平成6年6月、『原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（以下、原子力長計という）』を新たに決定し、その中（第3章7項）で、『地層処分研究開発の基盤となる深部地質環境の科学的研究を着実に進めること』との指針を示した。ここでいう深部地質環境の科学的研究を、動力炉・核燃料開発事業団（以下、動燃）は地層科学研究として進めている。原子力長計はさらに、深地層の研究施設に以下に示すような位置づけを与え、その重要性を明らかにした。

- ・深地層の環境条件として考慮されるべき特性等の正確な把握や地層処分を行うシステムの性能を評価するモデルの信頼性向上等地層処分研究に共通の研究基盤となる施設であり、我が国の深地層についての学術的研究にも寄与できる総合的な研究の場として整備していくことが重要、
- ・我が国の地質の特性等を考慮して複数の設置が望まれる、
- ・深地層の計画は、研究開発の成果、特に深部地質環境の科学的研究の成果を基盤として進めることが重要であり、その計画は処分場の計画とは明確に区別して進める。

動燃が計画している超深地層研究所は、原子力長計に示された深地層の研究施設に相当する研究施設のひとつである。

2. 動燃の地層科学研究の経緯

動燃東濃地科学センターでは、地層科学研究のうち地質環境特性に関する研究について、主に、東濃鉱山とその周辺ならびに釜石鉱山において実施してきている。地層科学研究では、我が国の地質（主に水理地質学的特徴）等を考慮し、堆積岩系と結晶質岩系（花崗岩など）の2岩系を対象として研究を進めてきた。

東濃鉱山では堆積岩を対象とし、地下水の流動と地球化学的な性質の研究、ウラン鉱床を利用した物質移行の研究、坑道の掘削に伴う周辺岩盤領域への影響（掘削影響）の研究などが行われてきている。平成元年から実施した立坑掘削影響試験では、直径6m、深さ150mの立坑を掘削し、立坑の掘削前から掘削終了後まで、周辺の地質環境に関する連続的な観測を行った。この観測で得られた情報に基づき、立坑掘削に伴う地質環境の変化を予測し、その結果と実際の観測結果との比較を行い、地質環境の観測・解析・評価手法の開発・改良を進めた。また、東濃鉱山の周辺では、堆積岩とその基盤岩である花崗岩を含む約10km四方、深さ1kmの領域を対象に、広域地下水流动研究が行われている。この研究では広域的な地下水流动を把握するために必要な調査手法を開発し、信頼性の高いデータを取得することを目的としている。立坑掘削影響試験および広域地下水流动研究の対象地域は、超深地層研究所の対象地域と共に多くの立坑掘削影響試験や広域地下水流动研究の成果を超深地層研究所計画に活かすことができる。

釜石鉱山では花崗岩を対象とし、地質構造、地下水の流動と地球化学的な性質、掘削影響、地震が地質環境に及ぼす影響などについての研究が行われている。この研究は平成4

年度までの第一フェーズと平成5～9年度の第二フェーズに分けて行われており、第二フェーズでは、地質環境、掘削影響、地下水による物質移行、工学的技術、地震が地質環境に及ぼす影響の5項目に関する研究が行われている。

東濃鉱山と釜石鉱山での研究では、地質に関する情報や鉱山の坑道といった研究資源を十分に活用して研究が行われ、深部の地質環境についての情報や調査・解析手法などさまざまな成果が得られてきた。一方、地層科学研究の観点からは、人工的な擾乱を受けていない自然のままの状態の地質環境と、それが空洞掘削などの擾乱を受けた場合の影響について、その範囲や経時変化を含めて知ることが重要である。この観点からは、東濃鉱山と釜石鉱山での研究のように、既存の地下空洞を利用する研究には次のような限界がある。

①既存空洞の影響

既存空洞が掘削されてから今日までに長い時間が経過しており、岩盤にかかる圧力、地下水の流動、地下水の地球化学的性質などが広い範囲にわたって様々な影響を受けていると考えられ、これらの影響を受ける前の地質環境が把握できない。

②研究場所の限定

地下での研究の場が既存坑道とその近辺に限定されるため、岩相境界や断層など地層科学研究の対象として重要な地質構造へのアクセスが制限される。

超深地層研究所での研究は、地下施設の建設に先立って開始され、地下施設の建設中および建設後も段階的に進められる。この間、地下深部の地質環境の推定と検証が段階毎に繰り返し行われるとともに、地下施設建設の影響評価や部分的な埋め戻し後も含めた地下深部での現象が把握される。また全期間を通じて周辺環境のモニタリングも行われる。

研究をこのように進めることにより、人工的な擾乱を受けていない自然のままの地質環境が把握され、それが地下施設の建設などにより変化していく状況の把握が可能となる。また、地下施設建設前の研究により得られる情報に基づき、地下施設を適切に設計することにより、研究対象へのアクセスが容易となる。このような総合的かつ計画的な研究は、更地を出発点とする超深地層研究所計画において初めて可能となるものである。

3. 超深地層研究所（地層科学研究）計画の概要

動燃では、国の方針と地層科学研究の経緯を踏まえ、日本に広く分布する結晶質岩のひとつである花崗岩を主たる対象として、瑞浪市明世町の動燃用地に超深地層研究所を建設することとした。超深地層研究所では、東濃鉱山やその周辺において進めてきたこれまでの地層科学研究（広域地下水流动研究や立坑掘削影響試験など）の一層の拡充を図る。特に、今後も継続実施されていく広域地下水流动研究については、その対象範囲が超深地層研究所の建設用地を含むことから、研究成果を相互に活用していく。

超深地層研究所での研究は、その内容が異なる以下の3段階に分け、地下施設の建設前から地下施設の完成後まで約20年をかけて実施する。

第1段階：地表からの調査予測研究段階

第2段階：坑道の掘削を伴う研究段階

第3段階：坑道を利用した研究段階

3.1 超深地層研究所における地層科学的研究の目標

第2章に示したように、超深地層研究所計画では適切な深さと広がりをもち、人間活動によって乱されていない天然の地質環境を対象とすることを研究の出発点とする。研究を進めるにあたっては、地層処分研究や深地層についての学術的研究に寄与するという視点から、地質環境の本来の姿と、それが掘削によって受ける影響など地下深部での現象を正確に把握するための調査試験研究と、これに必要な手法と機器を開発するための研究を、総合的かつ計画的に行うことが可能である。

超深地層研究所における研究内容は段階毎に異なることから、目標を全体目標と段階目標に分けて設定する。各段階においては、しかるべき基準を設定して、前段階での予測を検証するとともに、次段階で調査される地質環境を予測する。

(1)全体目標

①地質環境の総合的な調査技術を確立すること。

超深地層研究所では、同一の場所において、これまでの地層科学的研究により個別に開発・改良されてきた要素技術やそれらを基に開発される技術を系統的に組み合わせ、地上や地下から高い精度で効率よく地質環境を調査・研究・予測・検証する一連の手法としての有効性を確認することを目標とする。このようにして開発された調査技術は、地質環境に関するデータの品質を保証するとともに、様々な地質環境に対応可能な技術の基盤となることが期待される。

②深部の地質環境に関する情報を取得すること。

超深地層研究所では、これまでの地層科学的研究で開発された手法を系統的に用いて、地質環境に関する質の高い情報を体系的に集めることを目標とする。これらの情報は、国内外の地球科学分野の学術的研究の成果などと併せて、日本の地質環境を概略的に示す地質構造モデルや水理地質構造モデルなどの信頼性の向上や、地下利用に用いられる工学材料を検討する上でも参考として用いられる。また、これらの情報は国内外の地球科学分野の学術的研究の成果などと併せて整理され、結晶質岩における地質環境条件の例として考慮されるべき性質と現象の理解にも用いられるなど、地層処分研究の基盤として役立てられる。

③深地層における工学的技術の基礎を開発すること。

将来における地下利用の基礎として、深地層に大規模な施設を設計・施工する技術の有効性を確かめ、施設が地質環境に与える長期的な影響（例えば、各種工学材料と地下水や岩盤との相互作用など）を明らかにすることを目標とする。また、施設における安全確保、環境維持のための研究も行う。

(2)段階目標

①地表からの調査予測研究段階の目標

- (a)地表からの調査により地質環境データを取得し、地下の地質環境及び地下施設建設に伴う地質環境の変化を予測すること。

地表からの調査により、研究対象である地層の地質環境データを取得するとともに、地質環境を簡明に表現する地質構造モデル、水理地質構造モデルおよび地下水の地球化学モデルを構築し、後続の研究段階で対象となる地質環境と地下施設の建設による影響を予測する。

- (b)予測結果の評価方法を決定すること。

上記で行う予測の結果を、坑道の掘削を伴う研究段階で取得される情報との比較により検証するため、評価基準を設定し具体的な評価方法を決定する。

- (c)地下施設の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を決定すること。

本段階で取得される情報と予測結果に基づき、地下施設の詳細設計を行うとともに、坑道の掘削を伴う研究段階の研究計画を決定する。

②坑道の掘削を伴う研究段階の目標

- (a)坑道からの調査により地質環境データを取得し、坑道周辺の地質環境を予測すること。

坑道からの調査により地質環境データを取得するとともに、前段階の地質構造モデル、水理地質構造モデルおよび地下水の地球化学モデルを改良し、本段階に続く坑道を利用した研究段階でアクセスする地質環境を予測する。

- (b)地表からの調査予測研究段階での予測の妥当性を評価すること。

地表からの調査予測研究段階で決定した評価基準と方法に基づき、地表からの調査予測研究段階で行われた地下深部の地質環境の予測結果、および地下施設建設に伴う変化の予測結果と、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地下水の地球化学モデルの妥当性および地表からの調査技術の有効性を評価する。なお、予測結果と観測結果が、事前に設定された評価基準を外れる場合には、適宜、後戻りして研究を繰り返すこととなる。

- (c)地下施設の設計・建設技術の有効性を実証すること。

地下施設の設計・建設に用いた工学的技術の有効性を評価する。

- (d)坑道を利用した研究段階の計画を決定すること。

本段階までに取得される情報と予測結果に基づき、坑道を利用した研究段階で実施する研究の詳細計画を決定する。

③坑道を利用した研究段階の目標

- (a)坑道からの調査により詳細な地質環境データを取得すること。

坑道からの調査により、研究対象岩盤領域の地質環境データを前段階より、さらに詳細に取得するとともに、深部岩盤領域での各種の現象の情報を取得する。

- (b)坑道の掘削を伴う研究段階での予測の妥当性を評価すること。

坑道の掘削を伴う研究段階で決定した評価基準と方法に基づき、坑道の掘削を伴う研究段階で行われた地下深部の地質環境の予測結果、および地下施設建設に伴う変化の予

測結果と、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地下水の地球化学モデルおよび岩盤力学モデルの妥当性および坑道からの調査技術の有効性を評価する。なお、予測結果と観測結果が、事前に設定された評価基準を外れる場合には、適宜、後戻りして研究を繰り返すこととなる。

(c)深地層における工学的技術の有効性を実証すること。

孔内安全確保および研究環境を維持管理する技術、岩盤領域の熱一水一応力連成試験や坑道掘削による岩盤領域への影響を修復する技術などの有効性を評価する。また、地下施設の建設が地質環境に与える影響を軽減、修復するための工学的技術について、その有効性を確認する。

3.2 施設概要

超深地層研究所は、地表施設と地下施設からなる。その概念的な例を図1に示す。地上施設は研究・管理棟、総合試料管理棟、ワークショップ、立坑坑口建屋などの他、堆積場、排水処理設備などからなる。地下施設は、立坑、研究坑道、通気立坑からなる。

立坑の内径は、立坑掘削影響試験で掘削した第2立坑の内径(6m)がひとつの目安となり、深度は研究対象となる地質環境の範囲から千m程度が想定されるが、これらは地表からの段階で取得される地質環境についての情報とこれに基づき具体化される坑道掘削段階以降の研究内容により決定される。また、立坑の内径や深度のほか、立坑に設置される研究坑道の深度や規模、エレベーターの仕様、通気立坑の内径などは、地表からの段階で行われる地下施設の設計の重要な検討課題である。

3.3 設置場所概要

超深地層研究所は岐阜県瑞浪市明世町の正馬様洞にある動燃用地に建設される。この周辺の瑞浪市、土岐市付近は、領家帯に属する深成岩類と「美濃区」に属する中生層との境界部にあたる。超深地層研究所の地下施設は、この地域に存在する土岐花崗岩中に設けられる(図2)。

この地域は超深地層研究所の設置場所として以下のようないし特徴を有する。

- ①日本に普遍的な堆積盆地に堆積した地層が分布する。
- ②日本の基盤岩として普遍的に分布する花崗岩体が存在する。
- ③地層科学的研究の対象となる地下水、断層およびウラン鉱床が存在する。
- ④本州中央部に位置し、交通の便が良く、自然環境や生活環境に恵まれている。
- ⑤極限環境をテーマとした東濃研究学園都市構想が自治体により進められいる。

これらに加え、東濃地科学センターには動燃が30余年にわたり国内外でウラン資源の調査研究を通して培ってきた経験や情報、研究施設などが蓄積されており、これらの研究資源を活用できる。

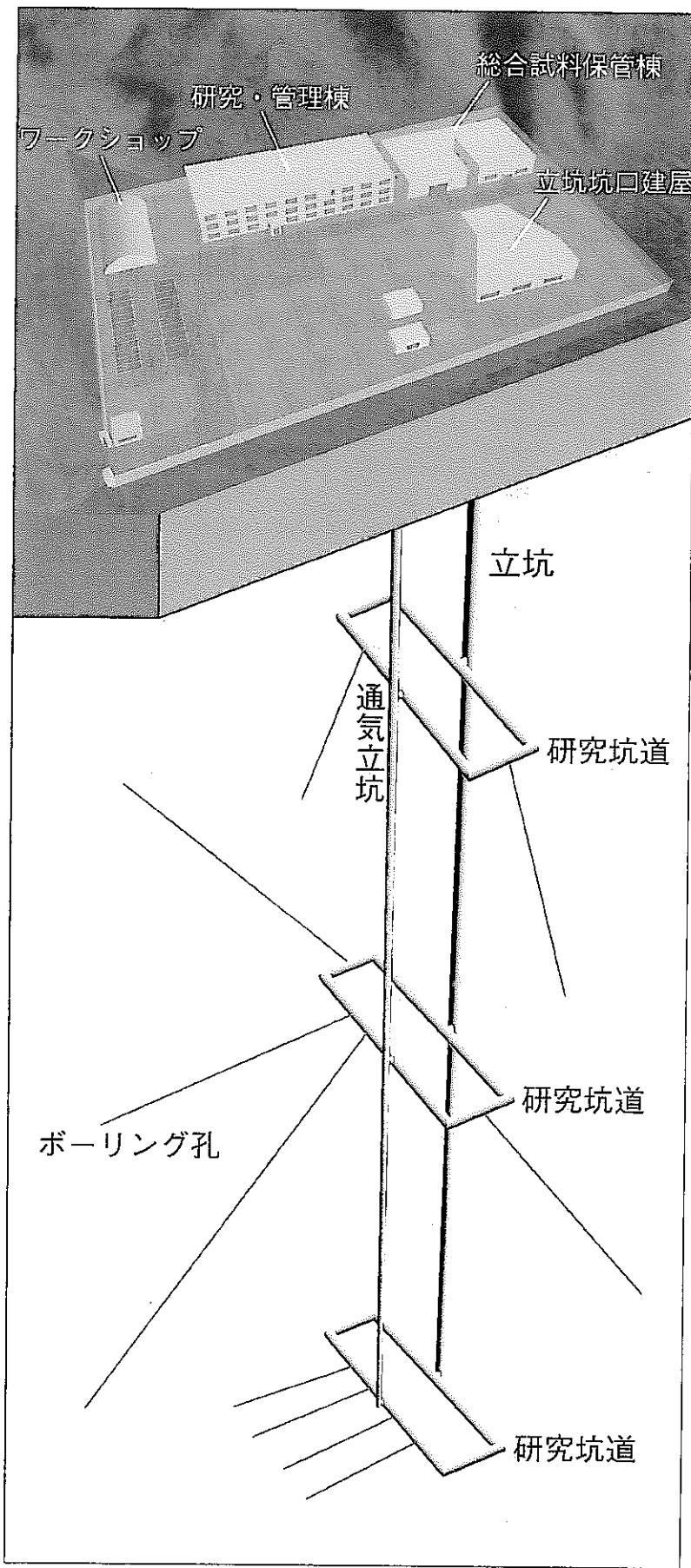
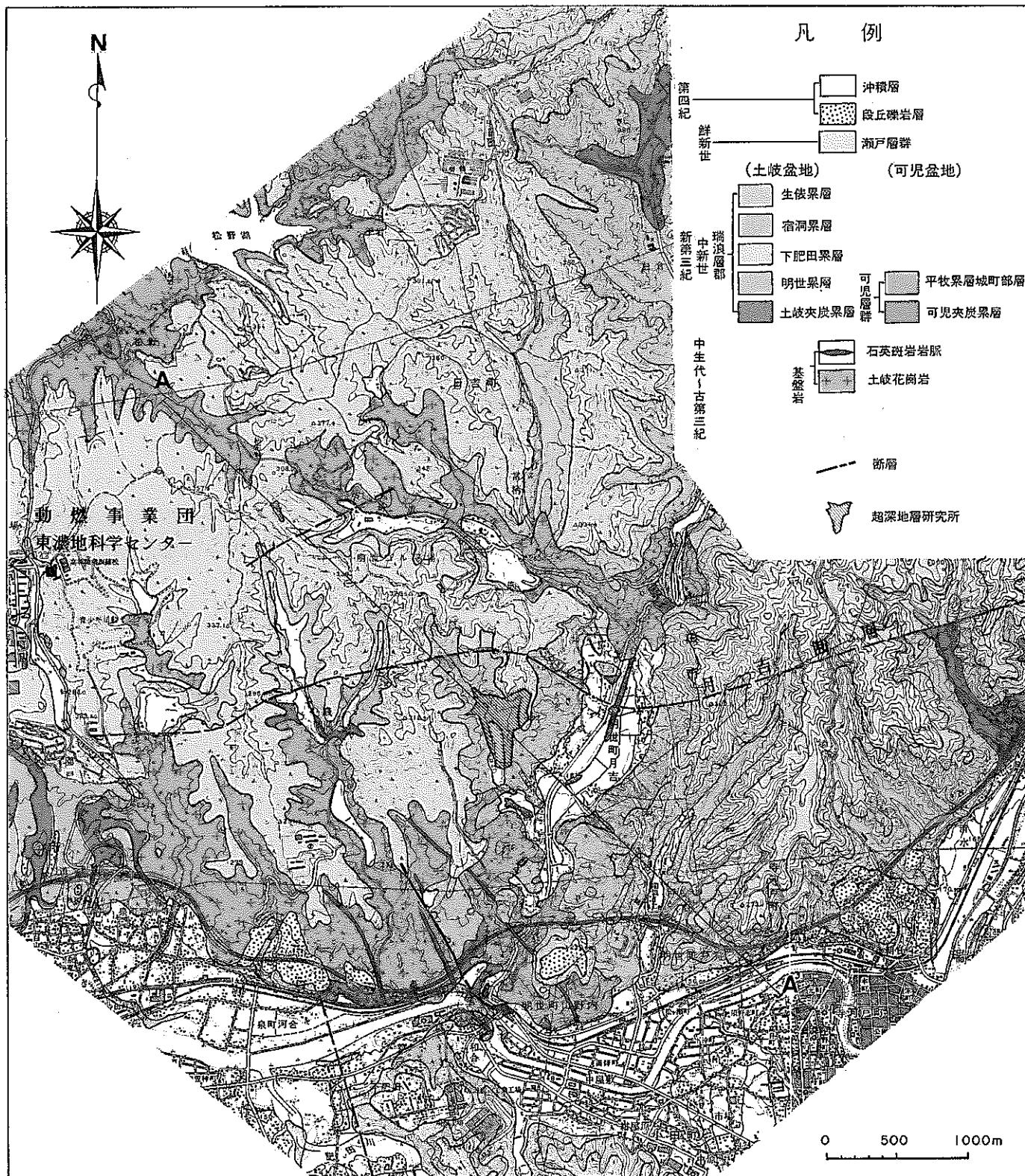


図1 超深地層研究所の施設概念図



地質断面図

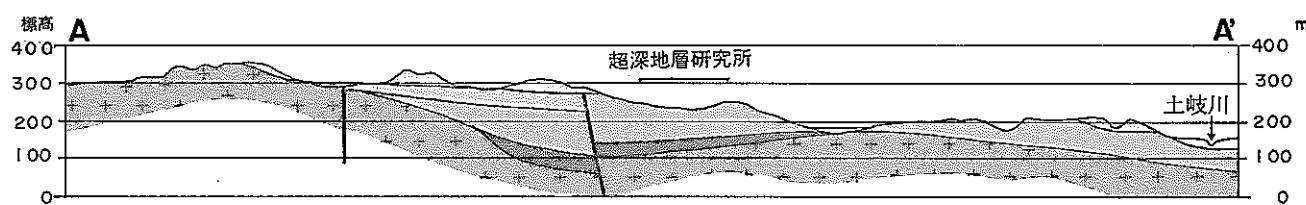


図 2 超深地層研究所周辺の地質

3.4 超深地層研究所の組織体制（案）

超深地層研究所の組織は研究段階毎に整備されるものであり、地表からの調査予測研究段階では地質構造、地下水水理、地下水の地球化学などの研究グループが計画実施の中心となる。坑道掘削段階以降は、岩盤力学、物質移行、工学的技術などの研究グループが必要となる。

研究を円滑に進めるため、超深地層研究所計画室が主に計画、調整などの全体管理を担当する。また、研究を科学的・技術的に高度なものとし、それを効率的に進めていくために、外部の有識者により、適宜、研究の計画や成果を審議し、計画の改訂などに助言を受ける。東濃地科学センターと東海事業所環境技術開発部は、必要に応じて成果の反映などにつき技術的に協力する。

超深地層研究所には研究を実施するための組織と、外部の専門家を加えて研究の実施の面から技術的な検討を行う専門家会議、および工事と研究の調整などを行う建設工程会議を設ける。また、社会的な要請により跡利用委員会が設置された他、安全確認委員会が設置される予定である。

超深地層研究所での研究は、地質学、岩盤力学、水理学、地球化学などの基礎的な研究分野にわたる極めて学術的な研究であるとともに、高度な土木技術や調査技術を用いることが必要なため、国際協力を含め関係機関や大学などとの協力を進める。また、深地層が物質の貯蔵や人間活動など空間利用の場としても期待されていることから、超深地層研究所は動燃の研究施設としてのみ利用するのではなく、広く外部の研究者に研究の場として提供し、いわゆるCOE (=Center Of Excellence) として活用していく。

3.5 スケジュール

各研究段階毎に、計画の策定、研究設備の設置、実施、結果の評価などを行っていくが、これらに必要な期間を考えると超深地層研究所での研究のスケジュールは表1のようになる。全体の期間は20年程度であり、長期観測は坑道利用段階終了まで継続される。

なお、本計画書の内容は、研究の進展に伴い、必要に応じて見直すこととする。

表1 超深地層研究所での調査試験研究スケジュール

進行年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
地表からの段階 計画策定 調査研究 評価																				
坑道掘削段階 計画策定 調査研究 評価						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
坑道利用段階 計画策定 調査研究 評価											—	—	—	—	—	—	—	—	—	
施設 地上施設設計 " 建設 地下施設設計 " 建設 環境モニタリング						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

4. 研究の概要

4.1 これまでに得られている知見と今後の課題

(1) 地質構造

動燃はこれまでの地層科学研究において、リモートセンシングデータの解析手法の開発や物理探査機器の改良・高度化の他、試錐孔の掘削・保孔に関する技術開発を実施してきた。例えば物理探査技術では、反射法弹性波探査や、O E C D / N E A の国際共同研究（動燃も参加）において開発された試錐孔用レーダーシステム（R A M A C）の適用試験を実施し、その有効性を確認した。また、結晶質岩中における割れ目の形態を、地下水による物質移行の場としての観点から分類・記載する手法を確立し、釜石鉱山での原位置試験でその一般性を検討してきた。さらに地層科学研究の一環として実施した試錐調査により、土岐花崗岩の地下深部における不均質性などに関する新たな知見が得られている。本計画では幅広い視野から日本の地質環境に適合し得る調査手法を開発することが目的であることから、これらの知見や情報のうち、日本の結晶質岩について一般的に存在すると考えられる部分を、地質構造の既存基礎情報として調査を開始する。

地表からの段階では、これらの既存の調査技術・機器を用いて調査することを基本とし、これまでの成果とスウェーデンやカナダ等における先行事例を踏まえ、様々な調査手法を組合せて適用し、予測された結果を次段階において得られる調査結果と比較することによって、有効な調査手法を取捨選択することが重要な課題である。

(2) 地下水水理

動燃はこれまでの広域地下水流动研究において、表層水理調査、深層水理調査および地下水流动解析を行い、地下水の水頭、流速、流动経路を決定する岩盤の透水係数の分布や地形、および解析上の境界条件となる地下水涵養量などの情報を取得してきた。

表層水理調査については、地下水流动解析の入力パラメータである地下水涵養量や初期条件としての地下水水面の分布を把握するため、東濃鉱山周辺において第2立坑の掘削影響解析のために表層水理定数観測システムを構築し、浅層地下水水面深度やの地下水涵養量（0.57mm／日）などのパラメータを取得した。

深層水理調査については、これまでカナダで開発された多点式間隙水圧観測システム（MPシステム）による長期観測、深度500mまでの透水性、ならびに岩盤中の透水割れ目（帯）の調査を行い、調査機器の有効性を評価してきた。また、諸外国においては難透水性岩盤を対象とした深度1,000m～2,000mに適用可能な水理試験装置が開発されているが、動燃でも平成6年度には日本の地質環境を前提とした独自の1,000m対応の水理試験装置の1号機を完成させ、地下深部の水理学的データの取得のための調査・機器の整備を進めている。深度1,000mまでの深層水理調査は、破碎帯などの特別なケースを除いて、これまで開発してきた試験装置ではほとんど対応可能であると考えられる。

地下水流动解析については、多孔質岩盤中や広域の地下水流动解析では3次元有限要素法を用いた解析コード（MOTIF, FELOW, NAMMU等）が、亀裂性岩盤中の比較的狭い領域内の地下水流动ではFracMan/MAFIC, TRINET, NAPSAC等が欧米の研究プロジェクトで使

用されている。動燃では前者の解析のために3次元飽和・不飽和浸透流解析コードTAGS ACを導入・改良するとともに、東濃鉱山第2立坑を対象とした掘削影響予測解析等に使用し、その妥当性を確認した。一方、後者の解析のためにFracMan/MAFICを導入した他、埼玉大学の渡辺助教授と共同でDon-Chanモデルを開発し、釜石鉱山におけるトレーサー試験のシミュレーションにより、FracMan/MAFICおよびDon-Chanモデルによる亀裂性岩盤への適用の可能性が確認された。岩盤の透水係数の空間的分布を推定する手法については、海外（例えばスウェーデン）では、地球統計解析手法による透水係数の推定が試みられている。動燃では多孔質岩盤を対象とした透水係数の空間分布の推定法として、物理検層データによる透水係数データの補完方法、地球統計解析手法やフラクタル理論を応用した手法を実際の岩盤に適用し、その有効性を確認した。

当面の課題として、これまで開発してきた試験装置を用いて、深度500m以深の透水係数を測定し、透水係数の深度依存性を把握すること、自然のままの状態、特に動水勾配を実測すること、ならびに地下水流动を規制する重要な地質構造と考えられる破碎帯の水理学的性質を解明することが挙げられる。また、結晶質岩を主な研究対象とするため、岩盤の透水性が割れ目や破碎帯などの分布に支配される亀裂性岩盤を対象とした地下水流动解析手法および透水係数の空間分布の推定手法の検討が必要である。

(3)地下水の地球化学

動燃はこれまでの地層科学研究において、東濃鉱山周辺では、堆積岩中の地下水を対象に深度約180mまでのpHや主要溶存成分濃度等のデータを深度別に把握した。また、地下水の起源・年代を推定するために、水素、酸素、炭素の同位体データを取得した。釜石鉱山では、試錐孔および坑道を利用して花崗岩中の地下水の化学組成（最大深度800m）、酸素・水素の安定同位体組成およびトリチウム濃度を概略的に把握した。採水および分析に関しては、深度1,000mの試錐孔を用いて原位置での物理化学パラメータの測定や地下水の採取が可能な装置として、スウェーデンで開発されたアンリガルホルシステムが先行事例としてある。動燃でも日本の地質環境を前提とした独自の1,000m対応の地球化学調査装置の1号機を完成させ、釜石鉱山や東濃鉱山における地層科学研究に用いている。

地下水の水質形成機構の把握とモデル化については、スウェーデンなどで多変量解析による地下水区分や水一岩石反応コード（PHREEQE, EQ3/6）を用いた理論解析を実施している。動燃でも、このような海外の先行事例を参考に同様の解析を実施してきた。東濃地域では、堆積岩中の地下水について、同位体データより地下水の起源は天水であり、堆積岩最下部の地下水の年代は約1万年であると推定された。また、野外調査、水一岩石反応の実験および平衡論に基づいた熱力学解析により、方解石の溶解、粘土鉱物—地下水間のイオン交換反応が主要な水一岩石反応であることが明らかとなった。釜石鉱山の地下水については、水質データを対象に多変量解析を行い、地下水の水質区分が可能であることが明らかとなった。また、トリチウム濃度の深度分布より、既存坑道の地下水流动への影響と考えられる結果が認められた。このように、多変量解析や平衡論に基づいた熱力学解析などの解析手法の有効性が確認されている。

東濃鉱山および釜石鉱山とも既存坑道による地下水の地球化学的性質への影響（例えば、釜石鉱山での地下水圧の低下やトリチウムの存在）が観察されており、地下水流动

の変化に伴う地下水の地球化学的性質への影響は否定できない。したがって、地表からの調査予測研究段階では、深度数百m～1,000m程度の結晶質岩における原位置地下水データ（特にEh等の物理化学パラメータ）を取得し、地質学的特徴の異なる岩盤部分毎の地下水の地球化学的性質を把握することが重要な課題である。

(4)調査技術・調査機器

動燃はこれまでに、様々な深度および広がりのある領域に対し、地表から深部までの地質環境が本来的に有する性質を正確に把握するために必要な調査技術・調査機器の開発を進めてきた。地表からの調査予測研究段階では、既存の調査技術・調査機器を活用して調査を実施することを基本とする。各調査の目的に従って、個々の調査手法を体系化するとともに、各研究分野で得られた広範な情報を適切に組み合わせて地質環境を包括的に理解することが重要である。現時点における主な調査技術・調査機器の開発の現状は次のとおりである。

①試錐掘削技術

天然の地下水の性状を極力乱さないように調査するという要求に応えるために、スウェーデンやカナダでは清水を用いて試錐孔の掘削を行っている。動燃でも、金属鉱床探査分野で開発してきたワイヤーライン掘削技術を用いて、清水を使用する試錐（深度1,000m）を原則としている。しかし、掘削流体に清水を用いた場合、孔内崩壊が発生しやすく、調査に利用可能な試錐孔が掘削できるかどうかは、泥水掘削に比べ、より岩盤の状態（破碎帯等の有無）に影響されやすい。このため、孔内崩壊に対応するための部分保孔技術の開発が必要であり、部分拡孔装置を開発中である。これに統いて、崩壊部固化技術の開発、部分ケーシング（ストレーナー付き）装填技術の開発が予定されている。開発された技術は、順次、超深地層研究所計画における試錐掘削に使用していく。

②1,000m対応の水理調査装置および地球化学調査装置の改良

現在の1,000m対応の水理調査装置および地球化学調査装置は、耐用温度が50°C以下であるが、耐用温度が70°Cまで利用可能で、かつ操作・維持管理性を向上させた2号機を製作中である。製作された装置は、順次、地下水水理／地球化学調査に利用していく。

③長期揚水試験装置の開発

実際の立坑掘削による地下水の低下に近い、大規模で長時間の揚水試験を実施するために、大容量の揚水試験に対応できる装置を開発する。

④試錐孔を利用した長期モニタリング装置の開発

地下深部の間隙水圧は、試錐孔内に設置されたカナダで開発されたMPシステムを用いてモニタリング可能である。ただし、立坑のごく近傍で間隙水圧観測を実施する場合には、装置は地下水位の低下に起因する高差圧環境に対応可能なことが必要であり、高差圧環境対応型の間隙水圧モニタリング装置の開発が必要である。

⑤データベースおよび可視化システムの開発

地表からの段階で実施される様々な調査や試験で得られるデータを一元管理し、データの効率的活用を図るために必要なデータベース（調査用データベースおよび工事の工程を管理するデータベース）とそのデータを可視化するシステムを開発する。

4.2 地表からの調査予測研究段階の計画概要

概要

地表からの調査予測研究段階では、地質構造、水理、地球化学に関する研究が主体となり、主に地表からの試錐孔を利用した地質環境に関する調査が行われる。取得される情報に基づき、地質構造が推定され、地質環境を簡明に示す水理地質構造モデルおよび地下水の地球化学モデルが構築され、これに基づいて地下施設の設計や地下水流动解析などが行われる。また、取得される膨大な情報を効率よく管理し活用するために不可欠な、データの管理システムの構築やモデル上の統一的な座標軸の決定など、データの一元的管理の方法を決定する。

地表からの調査予測研究の結果に基づき、深部岩盤領域の地質学的特徴、地下施設掘削時の地下水の流动と水質の変化などを予測すると同時に、予測結果を評価する基準や方法を決定しておく。また、立坑の詳細仕様、研究坑道の深度と規模などの地下施設の詳細設計が行われるとともに、この段階に続く坑道の掘削を伴う研究段階の詳細な計画が決定される。

地表からの調査予測研究段階の目標は次のとおりである。

- ①地表からの調査により地質環境データを取得し、地下の地質環境及び地下施設建設に伴う地質環境の変化を予測すること。
- ②予測結果の評価方法を決定すること。
- ③地下施設の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を決定すること。

(1)地質構造

地下深部における水理学的性質ならびに地球化学的性質は、調査対象領域内の岩種あるいは割れ目帯や破碎帯などの地質構造とその不均質性に大きく影響されるものと考えられる。この段階では、調査対象領域での3次元的な岩相の分布と主要な割れ目、破碎帯などから構成される地質構造の把握（地質構造モデルの構築）が重点目標となる。

立坑掘削予定位置を中心に十本程度の試錐孔を掘削し、ここで得られた地質、鉱物、岩盤物性に関する情報を基に、対象領域の地質構造モデルを構築し、地下施設の設計を行う。地質構造調査から得られた成果については、水理調査および地下水の地球化学調査に隨時反映していく。

次の段階の地質構造の推定については、立坑掘削段階において得られる情報との対比により、順次、その妥当性を評価するとともに、地下施設周辺で実施する地下水による物質移行や岩盤領域の力学的挙動に関する試験のレイアウトの決定に活用する。

(2)地下水水理

地質環境の構成要素である地下水の地球化学的性質を解明するためには、地層中の地下水の流动経路と滞留時間を把握することが重要であり、そのために地下水の流速と流动経路を決定する岩盤領域の透水係数の分布と地形、さらに浸透流解析上の境界条件となる地下水涵養量などの情報が必要とされる。これらの情報を取得するための手法とし

ては、地層科学研究の一環として実施してきた広域地下水流动研究において、実用化されてきたものが応用できる見通しがある。

地下水流动に関する当面の課題としては、透水係数の深度依存性の把握、主要な水理地質構造と考えられる破碎帯の水理学的性質の解明が挙げられる。特に、破碎帯の水理学的性質は、スウェーデンやカナダなどの安定地塊における破碎帯の水理学的性質とは異なることが予想されるため、日本特有の研究課題として重要である。また、本計画では、亀裂性岩盤領域を対象とした地下水流动解析手法、および透水係数の空間分布の推定手法の検討が必要である。

本計画では、立坑掘削予定位置を中心とした十本程度の試錐孔から得られる情報に基づき水理地質構造モデルを構築し、地下水流动解析を実施する。これにより地下施設の掘削に伴う水理学的影响の範囲と規模および掘削される坑道内への湧水量を予測する。また、長期揚水試験と物質移行試験を実施し、地下水流动経路の推定や水理地質構造モデルの改良を行う。水理地質構造モデルの構築および解析結果の検証に必要な地質学的、地球化学的情報については、地質構造調査ならびに地下水の地球化学調査の成果を反映する。また、必要に応じて広域地下水流动研究の成果を活用する。

構築される水理地質構造モデルの妥当性は、モデルによる予測値と実際の間隙水圧分布ならびに長期揚水試験などの実測値との比較により評価される。また、地下施設の掘削に伴う水理学的影响ならびに掘削される坑道内の湧水量の予測に関しては、次の坑道掘削段階で計測される実測値との比較により、順次評価していく。

(3)地下水の地球化学

東濃鉱山およびその周辺におけるこれまでの地層科学研究の結果、堆積岩と花崗岩では地下水の地球化学的性質の異なることが認められており、地下水の地球化学的性質の相違は、地下水が地下深部の現在位置に到達するまでにかかった時間と通過してきた土壤や岩種および地下水の流动経路のつながり方や分布の相違によって生じているものと考えられる。このため本計画の地下水の地球化学調査では、研究対象地域の地下深部の地下水の地球化学的性質を、地下深部までの地質構造や地下水の流动経路に関する情報と合わせて、岩石と地下水の地球化学的反応プロセスの観点から、より正確に把握することが重要である。

本研究では、地下施設の建設が地質環境に影響を与える前の地下水の地球化学的性質の把握と、本段階に続く地下施設の建設（坑道掘削）に伴うその変化の予測を行うために必要な試錐調査、および地下水の溶存成分濃度分布と地下水の主要な流动方向を簡明に表現する地球化学モデル構築のための一連の調査や予測解析が行われる。

地下水の地球化学モデルの構築および地下施設の建設による影響の予測に際しては、地下水の地球化学モデルを基に、調査・解析の繰り返しの中で、逐次地下水水理および地質構造の調査結果との比較・評価を行い、その精度を高めていく。また、予測の妥当性の評価については、坑道掘削段階で得られた情報との比較により順次評価していく。

(4)工学的技術

地下施設の詳細設計については、地表からの調査予測研究の成果に基づいて進められ

るもの、現実に工事が開始されると、予測とは違った地質環境に遭遇することが予想される。したがって、立坑掘削段階において柔軟性をもって地質環境条件を踏まえて設計を見直すという考えが基本である。

設計研究における実施内容は、地下施設の設計方法の検討、全体目標を達成するための具体的な実施研究項目に対する地下施設の設計、実際の施工方法や設備の検討、さらには地質環境の修復に関する設計や長期にわたる研究環境に関する課題（例えば、坑道の安全確保、坑内環境の維持）の検討など多岐にわたる。

(5)調査技術・調査機器

東濃地科学センターでは今まで、リモートセンシングデータの利用技術開発や物理探査機器の導入・開発ならびにデータ解析技術開発、大深度(1,000m)対応の水理試験装置および地球化学特性調査装置の開発、およびモニタリング機器の開発などを進めてきている。

地表からの段階では、対象となる領域に対し、地表から地下深部までの地質環境が本来有する性質を正確に把握する必要がある。この段階では、既存の調査技術・調査機器を活用して調査を実施することができると考えられるが、既存技術・機器だけでは各々の調査の目標を達成できない事態が発生した場合は、必要に応じて可能な限り既存技術・機器の改良・高度化ならびに新しい技術・機器の開発を実施する。また、坑道掘削段階での調査試験研究の実施に必要な調査技術や調査機器の準備を進める。

この段階では、各々の調査を目的に向けて体系化しつつ進めることが重要である。

4.3 坑道の掘削を伴う研究段階の計画概要

概要

坑道の掘削を伴う研究段階では、地質構造、水理、地球化学に加えて、岩盤力学に関する研究が行われ、地下施設の建設と並行して、各種の計測や試料の採取が行われる。破碎帯や岩種の境界など研究対象として重要な地質環境が認められる位置では、詳細な調査を実施するため立坑から研究用の水平あるいは傾斜した坑道が設けられる。坑道近傍の地質環境が研究対象となるため、地表からの段階に比べ小さな領域の重要さが増す。また、地表からの段階で設置された地下水圧などの観測機器による観測が行われ、地下施設掘削中の地質環境が観測される。これらの結果に基づいて、地表からの調査予測研究段階での予測結果が検証されるとともに、坑道を利用した研究段階でアクセスする地質環境が詳細に予測される。予測結果と観測結果が事前に設定された評価基準を外れる場合には、適宜、後戻りして研究を繰り返すこととなる。

地下施設の建設が進み、地質環境に関する情報が増加することにより、研究の内容を見直す必要があると考えられる。このため本段階は立坑の掘削深度に応じて複数のステージに分けて進めることとする。各ステージでの立坑の掘削深度やステージの数については、地表からの段階で得られる情報に基づき決定する。

坑道の掘削を伴う研究段階の目標は次のとおりである。

- ①坑道からの調査により地質環境に関するデータを取得し、坑道周辺の地質環境を予測すること。
- ②地表からの調査予測研究段階の予測の妥当性を評価すること。
- ③地下施設の設計・建設技術の有効性を実証すること。
- ④坑道を利用した研究段階の計画を決定すること。

(1)地質構造

坑道からの地質構造調査により、地表からの段階における推定内容の妥当性が確認され、調査手法の妥当性が評価されるとともに、坑道利用段階でアクセスする岩盤領域の地質構造を推定する。調査は、坑道周辺の領域を対象とした3次元的地質構造調査を基本として、掘削坑道壁面での岩種毎の岩石組成などの調査や、地下水による物質の移行経路になると考えられる割れ目の分布や形態などの調査が実施される。

(2)地下水水理

地表からの段階で推定された水理地質構造の検証による調査手法の評価ならびに掘削に伴う地下水流动の変化に対する予測結果の検証が重要課題である。また、坑道周辺岩盤領域の水理学的性質に関する情報も、坑道利用段階での調査試験研究計画の立案にとって重要である。予測の検証に伴い、水理地質構造モデルの改良、この段階で取得される情報を基にした地下水流动解析の見直しなどを行い、坑道利用段階でアクセスする地質環境の水理学的性質や地下水の動きを予測する。

各ステージでの間隙水圧の変化および坑道内の湧水量の予測については、実測値と比

較し、予測結果の妥当性を評価する。これにより、水理地質構造モデルの妥当性ならびに調査・解析手法の適用性を評価し、必要に応じて水理地質構造モデル等の改良に反映する。

また、坑道掘削によって生じるゆるみ領域を岩盤の水理学的性質の変化として、その範囲や程度を把握する。

(3)地下水の地球化学

坑道を利用して地下水の地球化学的データを取得し、地表からの段階で構築した地下水の地球化学モデルの妥当性を確認する。さらに坑道掘削に伴う地下水の地球化学的性質の変化を把握し、前段階で予測した変化と比較する。

坑道壁面、坑道に流入する地下水、試錐孔からの地下水と岩石を対象に、地球化学的性質および掘削に伴う地球化学的性質の変化に関する情報を取得する。これらと地表からの段階での予測と比較し、予測結果の妥当性を評価する。さらに坑道へ流入する水質の変化や坑道周辺の酸化還元状態を予測する。予測結果は長期モニタリングの実測値等と比較する。

(4)岩盤力学

この段階では立坑掘削時の周辺岩盤領域の力学的挙動が重要な研究対象となる。これは、坑道利用段階での掘削影響試験や熱－水－応力連成試験の基礎情報として重要であるとともに、力学的挙動の把握による立坑の安定性の観点から立坑の掘削工事管理にとっても重要である。

坑道掘削に伴う周辺岩盤領域の力学的挙動を計測・解析し、地表からの段階の予測を検証するとともに、必要に応じて岩盤領域の力学モデルの改良、この段階で取得されるデータに基づく力学パラメーターの見直しなどを行う。また、坑道利用段階でアクセスする周辺岩盤領域の力学的性質を予測する。

(5)工学的技術

地下施設の建設に伴い、施設設計の検証、施工技術の有効性評価および坑内安全確保、研究環境の維持のための研究が行われる。地表からの段階で予測された地質環境に基づいて実施した設計で地質環境の予測と実際が異なった場合には、柔軟性を持って設計変更を行い、適切な設計とする。この段階では、設計手法および施工技術の有効性を評価する。また、必要に応じ、施工材料や施工技術に関する技術開発を行う。

地下施設が深部になるほど坑内温度が上昇するなど安全衛生面から坑内の環境維持が重要になる。また、長期にわたり坑道を利用することから、安全確保も重要である。そのため、この段階では安全確保および環境維持のための技術開発を実施する。

(6)調査技術・機器開発

この段階の調査では、坑道近傍の地質環境が研究対象となるため、研究対象領域が小さくなる反面、要求される精度（分解能）が高くなること、限られた空間の中で作業する必要があることなどが要求される。この段階においては、既存技術・機器の活用を図

りつつ、必要に応じて可能な限りその改良・高度化、新たな技術・機器の開発を行い、調査手法の合理化・体系化に資することが重要である。

4.4 坑道を利用した研究段階の計画概要

概要

坑道を利用した研究段階では、物質移行、岩盤力学、工学的技術、地震に関する研究が主体となる。研究のために必要な深度に坑道が設けられ、各研究が実施される。研究の対象となる地質環境の規模は坑道掘削段階と同程度の領域で、坑道周辺の地質環境の詳細な調査、そこで発生する現象の理解、掘削影響を修復する技術の有効性評価などが行われる。この段階までに取得される情報に基づき、坑道の配置や各試験の内容が検討され、最終的には坑道掘削段階の終盤にそれらが決定される。ここに示す試験計画は予備的なものである。

この段階の段階目標は次のとおりである。

- ①坑道からの調査により詳細な地質環境に関するデータを取得すること。
- ②坑道の掘削を伴う研究段階の予測の妥当性を評価すること。
- ③深地層における工学的技術の有効性を実証すること。

(1)地質構造

地層科学の観点から、重要な地質環境をより詳しく研究するために必要な深度に坑道を建設し、坑道周囲の地質構造の詳細を把握するとともに、坑道掘削段階での推定結果の妥当性を評価する。

(2)地下水水理

坑道掘削段階での予測を検証するためのデータ取得を行うとともに、坑道周囲の水理地質構造モデルを構築する。また、坑道を埋め戻した後の地下水の飽和（再冠水）時の地下水流動などが研究課題となる。

(3)地下水の地球化学

坑道内における地下水の地球化学的变化の長期モニタリング、掘削影響領域の酸化還元状態調査、坑道周辺の岩盤領域と地下水が持つ酸化還元緩衝能力に関する試験研究などが行われる。また、物質移行研究の環境条件設定のための調査や再冠水時の地球化学的变化の予測などを行う。

(4)物質移行

坑道利用段階で最も重要な研究のひとつである。坑道周辺の深部地質環境における地下水による物質移行に関する試験を中心として、物質移行経路の調査、室内試験などが行われる。これらにより物質移行モデルの構築および妥当性の評価を行う。

(5)岩盤力学

坑道掘削に伴い発生する周辺岩盤領域への影響（掘削影響）を評価するための試験が主体となる。試験のための坑道の掘削前に、岩盤物性の調査や計測機器の設置が行われる。坑道掘削中は掘削振動や変位と応力の変化などが計測される。掘削後の計測により、掘削に伴う岩盤への影響やその範囲などが評価され、坑道掘削に伴う周辺岩盤領域の力学的挙動の研究が進められる。

(6)工学的技術

坑内安全確保および研究環境を維持管理する技術、岩盤領域の熱－水－応力連成試験や坑道掘削による岩盤領域への影響を修復する技術などの研究が行われる。地下深部の坑道を利用して、各々の試験を行うことにより、連成挙動の計測・解析手法、施工材料、施工技術、保安技術などの評価を行う。さらに、地下深部での情報が非常に少ない地下水の再冠水挙動を評価することも重要な検討課題である。また、坑内の研究環境を維持することによる周辺の地質環境への影響を明らかにすることも重要である。

(7)地震観測

この研究では、地下深部での地震動の観測や地震に伴う地質環境の変化を観測し、地震の地下施設や地質環境への影響の評価を行う。特に日本は地震国であり、海外からも研究成果が期待されている研究項目である。地下施設の異なる深度に地震計とともに湧水量計などを設置し、地震に伴う地質環境の変化を計測する。

5. おわりに

動燃は、國の方針と地層科学研究の現状を踏まえ、原子力長計に示された深地層の研究施設のひとつとして、岐阜県瑞浪市に超深地層研究所を計画したものである。これまで動燃が進めてきた地層科学研究計画に超深地層研究所における研究計画を加えることにより、地層科学研究の一層の拡充が図れるものと考えている。

研究計画の内容は、研究の進捗状況や研究成果を活用する様々な研究分野からの要請に的確に答えていくため、柔軟に見直していく予定である。また、研究成果についても研究施設と同様に公開する計画である。なお、超深地層研究所計画の終了後の研究施設の利用については、東濃研究学園都市の一角として、地震研究や地下空間を利用する研究などに引き続き利用されることが見込まれている。