

分冊 1「深地層の科学的研究」

要 約

第 2 次取りまとめ以降、サイクル機構では、地層処分技術に関する研究開発の「全体計画」を 2001 年度に策定し、これに沿って、処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化を目指した「地層処分研究開発」と、その基盤となる「深地層の科学的研究」を進めてきた。全体計画では、「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」と「地層処分システムの長期挙動の理解」という大きく 2 つの研究目標を設定した。「深地層の科学的研究」においては、上記の 2 つの研究目標の達成に向けて 4 つの研究課題、すなわち「地質環境特性の研究」、地質環境の長期安定性に関する研究、「深地層における工学技術の基礎の開発」、および「ナチュラルアナログ研究」を設定して調査研究を展開した。分冊 1 では、この「深地層の科学的研究」の第 2 次取りまとめ以降の進捗を示した。

分冊 1 は、全 6 章の構成とし、第 1 章「はじめに」と第 2 章「深地層の科学的研究の役割」に続き、第 3 章で「地質環境の長期安定性に関する研究」、第 4 章で「地質環境特性の研究」と「ナチュラルアナログ研究」、第 5 章で「深地層における工学技術の基礎の開発」について報告する。第 6 章の「おわりに」では、第 3 章から 5 章の研究成果を簡潔にまとめるとともに、今後の研究課題について記した。

以降、「深地層の科学的研究」における 4 つの研究課題ごとに分冊 1 における報告の要点をまとめ、末尾に今後の研究の展開について簡単に記す。

地質環境特性の研究

「地質環境特性の研究」について、第 2 次取りまとめまでは、東濃地科学センターが中心となって、その周辺での広域地下水流動研究、釜石鉱山における結晶質岩の研究を実施してきた。第 2 次取りまとめ以降は、主に 2 つの深地層の研究施設計画において研究を進めており、「結晶質岩を対象とした研究」と「堆積岩を対象とした研究」に分けられる。前者については、東濃地科学センターが超深地層研究所計画および広域地下水流動研究として、また後者については、幌延深地層研究センターが幌延深地層研究計画として進めている。

本研究は、深地層の研究施設計画の全体目標の 1 つである「深部地質環境の調査・解析・評価技術の開発」を目指したものであり、これは、「全体計画」に示した第 2 次取りまとめ以降における研究開発の大目標の 1 つである「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」の基盤となる部分である。具体的には、深地層の研究施設等における調査研究を段階的に進めながら、これまでに整備してきた地質環境の調査技術や評価手法などを実際の地質環境に適用していくことを通じて、その信頼性や適用性などを確認していく。その過程で、地質環境への理解や取得する地質環境情報の精度の向上を図りつつ、地質環境モデルの検証や調査・評価技術の改良を進め、段階ごとに、実際の地質環境に適用可能な技術として体系化していく。この体系化においては、調査によるデータ取得からモデル化や解析作業を経た評価に至るまでの、地質環境を理解するための一連の方法論を例示することに重点をおきつつ、あわせて、その過程で得られた経験（失敗例を含む）やノウハウをできるだけ知識化して提示することを目指す。これは、処分事業や安全規制を支える技術基盤としての厚みを与えるものと考えている。

〔結晶質岩を対象とした調査研究〕

東濃地域における結晶質岩を対象とした調査研究では、地層処分にとって重要な地質環境特性を段階的に理解するために、4 つの空間スケール（リージョナル、ローカル、サイト、ブロック）を設定した。さらに、ローカルおよびサイトスケールでは安全評価および地下施

制限固相は $\text{UO}_2(\text{am})$ であり、その溶解度には pH、酸化還元電位および炭酸ガス分圧が影響することが明らかになるとともに、長期的なウランの溶解度が非常に低い範囲にあったことを確認した。

物質移動に影響を及ぼす主要因子の抽出：地質環境特性に関わるデータの取得、影響解析用のデータセット案の作成、影響解析、核種移行に影響を及ぼす主要な要因の抽出、という一連の作業を通じて、ウラン鉱床の移行／保持に影響を及ぼす主要な要因の抽出を行ってきた。影響解析の結果とウラン鉱床中のウラン量およびウラン鉱床の形成年代を比較することによって、ウラン鉱床形成に重要な影響を及ぼした要因として、地下水の流動様式が挙げられることを確認した。

なお、東濃鉱山の坑道内での研究は 2003 年度末をもって終了し、現在は、地表からの調査を主体に研究を進めている。

今後の研究の展開

「地質環境特性の研究」については、2 つの深地層の研究施設計画が第 1 段階から第 2 段階へ移行する時期を迎えており、H17 取りまとめを 1 つの礎として、第 1 段階の終了後速やかにその研究成果を総括し報告書として取りまとめていく。深地層の研究施設計画を中心とした今後の調査研究においては、「実際の地質環境に適用可能な体系的な技術の提示」の信頼性をより高めていくために、段階的に進められる深地層の研究計画に沿って地質環境を理解するための一連の方法論の詳細化とその評価を重ねつつ、あわせて、その過程で得られた経験（失敗例を含む）やノウハウをできるだけ知識化して提示していく。

「地質環境の長期安定性に関する研究」では、「調査技術の開発・体系化」において概要調査開始前までに天然現象に関する過去の記録や現在の状況を調査するための個別の調査技術の適用性の確認を進めつつ、信頼性の高い総合的かつ体系的な調査手法の構築に向けて研究を進める。「長期予測・影響評価モデルの開発」では、それぞれの天然現象に応じた予測手法の検討や個別のシミュレーション技術の開発を進めるほか、予測結果の検証方法を検討していく。また、「研究情報基盤の整備」では、天然現象を考慮した安全評価に必要となる地球科学に関する最新の知見のほか、天然現象に伴う地質環境条件（力学、熱、地下水理、水質など）の変化に関するデータを重点的に整備していく。

「深地層における工学技術の基礎の開発」においては、第 1 段階の地質環境情報を基に実施した地下施設の設計結果を第 2 段階以降に得られる計測データなどに基づき確認・評価していく。なお、瑞浪超深地層研究所では 2003 年 7 月に地下施設の建設に着手しており、は 8 月末現在、2 本の立坑は深度約 150m まで到達している。今後、2009 年度までに、地下 500 m 程度までの立坑を掘削したうえで、当該深度に試験用の水平坑道を展開して坑道内での調査研究を開始する計画である。また、2010 年代前半頃には、深度 1000m 程度に至る地下施設が完成する見込みである。幌延深地層研究センターにおいては、2005 年度後半に立坑掘削に着手し、2006 年度より掘削機を用いた本格掘削を開始する。2009 年度までに、3 本の立坑のうち、換気立坑を深度 500m まで完成し、東立坑（主立坑 2 本のうちの 1 本）を地下 300 m 程度まで掘削する計画である。また、2010 年代前半頃には、深度 500m 程度に至る地下施設が完成する見込みである。

「ナチュラルアナログ研究」では、ウラン系列核種の挙動と地質環境条件の関係を明確にすることを目指して、地殻変動などによって生じる地質環境の変化がウラン鉱床の長期にわたる保存に及ぼした影響の評価や、微生物などがウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響の評価を引き続き行っていく。

設の設計・施工への成果の反映を見据えて調査研究の個別目標と課題を設定した。この個別目標と課題に向けて、繰り返しアプローチを適用して様々な調査研究を進めてきた。

リージョナルスケール：ローカルスケールの研究実施領域を設定するために、深部地下水の涵養域から流出域までの地下水流動系に注目し、既存情報に基づく後背地地形と大規模な不連続構造を考慮した解析領域の異なる数段階の地下水流動解析を実施した。この結果、瑞浪超深地層研究所付近の深部地下水の流動系が推定でき研究実施領域を設定した。また、この妥当性については後述するローカルスケールの調査研究を通して確認できつつある。

ローカルスケール：ローカルスケールの調査研究は、リージョナルスケールの調査研究で予測した深部地下水の流動系および研究実施領域の設定の妥当性を実際の調査結果などに基づき評価すること、安全評価や地下施設の設計を見据えて設定した個別目標と課題の解決に向けて深部地質環境を段階的に理解し地質環境モデルの信頼性を向上していくこと、さらに、地下研究施設の設置場所を中心としてより詳細に地質環境を理解していくためのサイトスケールの解析領域や境界条件を設定することに重点をおいて調査研究を展開した。

ここでの調査研究は、①既存情報を用いた調査・解析、②空中および地表からの調査・解析および、③ボーリング孔を利用した調査・解析の3段階に区分した。これらの段階を経て、上述した地質環境モデルの構築と更新を行い地下水の流動経路を再評価しつつサイトスケールの解析領域などを設定した。加えて、地質環境モデルの信頼性向上に向けて、例えば地下水流動解析結果と地球化学モデルの整合性などについて考察した。

以上の調査研究の過程で得た知見は、実際の地質環境を対象とした経験に基づく体系的な方法論の一端として、上記の3つの段階ごとに調査から反映先にいたるデータの流れを系統的に記述した統合化データフローを提示した。この他、ここでの調査研究を通して得られた主な知見を以下に記す。

- ・基盤花崗岩中の高角度の不連続構造を把握するためには高密度電気探査が有効である。
- ・リニアメントの長さ別頻度分布から、基盤花崗岩中の不連続構造の空間的な分布頻度を推定することが可能である。
- ・ローカルスケールでの地下水流動解析結果の妥当性を確認するためには、地下水の流動方向に沿ったボーリング調査を行い、水圧や水質分布に関する情報を取得することが効果的である。
- ・地下水流動に大きく影響を与える不連続構造の把握のためには、地下水流動の主流動方向にほぼ直交する断層の水理特性を調査することが必要である。

サイトスケール（ブロックスケールを包含）：サイトスケールの調査研究は、ローカルスケールの調査研究を踏まえ、個別目標と課題の解決に向けて、より精緻に深部地質環境を段階的に理解し地質環境モデルの信頼性を向上していくことに重点をおいた。特に、地下水流動に大きく影響を与えている断層などの不連続構造、岩盤中の透水性と水みちとなる構造、地球化学特性、岩盤力学特性の分布に注目した。加えて、データ、モデルおよび解析結果に含まれる不確実性についても注目し、その幅の低減に向けた調査研究の進め方についても検討した。

ここでの調査研究はローカルスケールと同様に、①既存情報を用いた調査・解析、②空中および地表からの調査・解析および、③ボーリング孔を利用した調査・解析の3段階に区分した。これらの段階を経て、地質構造、水理地質構造、地球化学、岩盤力学および物質移動（概念）の各モデルの構築と更新を行い、地下水流動解析により研究所用地周辺の地下水移行経路を推定するとともに、応力・掘削解析などにより地下空洞周辺の力学・水理状態を予測した。

以上の調査研究の過程で得た知見は、実際の地質環境を対象とした経験に基づく体系的な方法論の一端として、上記の3つの段階ごとに統合化データフローとして提示した。また、

第2段階以降の検討課題を抽出し整理した。この他、ここでの調査研究を通して得られた主な知見を以下に記す。

- ・地下水流動に影響を及ぼす可能性のある不連続構造を抽出するためには、その透水異方性に着目した地下水流動解析を実施し、不連続構造が動水勾配分布に及ぼす影響などを評価することが有効である。
- ・水理地質構造のモデル化にあたっては、トレース長に着目した不連続構造のスクリーニングが必要である。
- ・地質学的調査などにより同定された不連続構造の中から水理学的に重要な水みちを精度よく把握するためには、電気伝導度検層が有効である。
- ・局所的な応力場を把握するためには、ボーリング孔における水圧破碎試験などの原位置試験が有効である。

〔堆積岩を対象とした調査研究〕

幌延深地層研究センターの第1段階の調査研究は、大きく「研究所設置地区（主たる調査研究の展開場所、2～3 km 四方程度の領域）選定のための調査」と「研究所設置地区およびその周辺における調査研究」の2つに分けられる。「研究所設置地区選定のための調査」においては、研究所設置地区の選定のための要件などを設定し、段階的な調査により研究所設置地区を選定した。「研究所設置地区およびその周辺における調査研究」においては、結晶質岩を対象とした調査研究と同様に、安全評価および地下施設の設計・施工への調査研究成果の反映を念頭に置いた調査研究の個別目標と課題を設定し、段階的な調査・研究を展開した。以下に、第1段階の4年目である2004年度までに得られた主な成果について記す。

研究所設置地区選定のための調査：研究所設置地区の選定にあたっては、研究の対象となる地層と地下水が存在すること（地質環境要件）、安全に地下施設を建設でき、研究環境を確保できること（安全要件）を基本的要件と考えた。また、基本的な要件に加えて、調査・研究のための許認可や用地取得が容易なこと（社会的要件）、調査研究の展開や施設建設において有利であること（地形要件）、道路状況および土地利用状況を考慮して調査研究を進めた。ここでの調査研究は、①既存情報を用いた調査・解析、②空中からの調査・解析、③地表からの調査・解析、④ボーリング孔を利用した調査・解析の順序で段階的に実施することにより研究所設置地区を絞り込み、上記の要件に照らして最終的に幌延町北進地区に研究所設置地区と研究所用地を選定した。ここでの調査研究を通して得られた主な知見を以下に記す。

- ・調査研究の対象となる地層と地下水が存在すること（地質環境要件）を概略的に判断するためには空中物理探査（空中電磁探査、磁気探査、放射能探査）が有効である。
- ・しかしながら、大規模断層のような不連続構造の位置を特定するまでに十分な情報が取得できるとは言えない。
- ・地上物理探査や地表地質調査は、空中物理探査や既存の地質情報の妥当性の確認を行うための重要な情報を提供しうる。

研究所設置地区およびその周辺における調査研究：ここでの調査研究においては、安全評価や地下施設の設計を見据えて設定した個別目標と課題の解決に向けて、研究所設置地区とその周辺を対象に①既存情報を用いた調査・解析、②空中および地表からの調査・解析および、③ボーリング孔を利用した調査・解析に区分した段階的な調査研究により深部地質環境を効率的に理解すること、さらに情報量の増加とともに地質環境モデルを更新し、その信頼性を向上していくことに重点をおいて調査研究を展開している。上述した調査研究により得られた主な知見を以下に記す。

- ・既存情報を用いた調査・解析段階において、地下水流動解析を感度解析的に実施することで、パラメータの重要度が把握できるとともに、地下水流動方向や流速の概略的な値を示すことができる。
- ・異常高圧が存在する可能性のある堆積岩地域では、地下水の流動方向に大きな影響を与え

- ることから、地質学的観点からの異常高圧の原因究明を優先的に行う必要がある。
- ・幌延地域のような地下深部に塩水系地下水が存在する場では、混合が重要な地下水水質形成プロセスの1つと考えられるので、表層水の水質に関する情報が重要となる。
 - ・水理特性の観点で、幌延地域の岩盤は、亀裂性岩盤と多孔質とみなされる岩盤の特性を合わせ持つ。
 - ・結晶質岩、堆積岩に関わらず、あらかじめ亀裂性岩盤であることを視野に入れて調査・解析を実施することが、効果的な調査計画策定に役立つと考えられる。
 - ・幌延地域のように塩水系地下水を有する場においては、塩化物イオンの挙動を地下水流動解析と併せて検討することで、地下水流動特性の理解に役立つ。
 - ・ただし、塩水系地下水の分布（塩淡境界を含む）は、長期的な地質環境変化の影響を強く受けているため、地球化学特性を含めた地質環境の長期安定性に関する調査・評価と整合するような解析の実施が必要である。
 - ・岩盤力学特性については、幌延で対象とするような均質性の高い岩盤では、既往の物理検層・応力測定や標準的な室内試験の組み合わせにより、地質環境が有する特徴を考慮した物性分布や応力場の把握が可能であると考えられる。
 - ・岩盤力学特性のうち変形特性に関しては、コア試験結果と物理検層結果からおおむね原位置岩盤のそれを把握することが可能で、特に一軸圧縮試験は、安価・短時間で実施できるため、可能な限り多点で実施しておくことが調査対象岩盤の特長を早期に捉え次段階の調査を合理化する観点から望ましい。

地質環境の長期安定性に関する研究

「地質環境の長期安定性に関する研究」について、第2次取りまとめまでは、地層処分に適した安定な地質環境がわが国にも広く存在し得るとの見通しを得るため、関連する地球科学の分野に蓄積された情報や知見を分析するとともに、過去の天然現象に認められる傾向や規則性に基づき、将来の活動の可能性や変動の規模などを検討した。

第2次取りまとめ以降の研究開発については、従来から進めてきた全国レベルでのデータの蓄積や個別現象・メカニズムの解明といった学術的な研究を継続する一方で、概要調査地区等の選定や安全規制に必要となる調査技術や評価手法の整備に重点をおいて研究を進めることとした。当面の研究開発では、①調査技術の開発・体系化、②長期予測・影響評価モデルの開発および、③研究情報基盤の整備の3つの目標を設定し、隆起・侵食／気候・海水準変動、火山活動、地震・断層活動に関連するそれぞれの研究課題に取り組んでいる。

〔調査技術の開発・体系化〕

「調査技術の開発・体系化」では、天然現象に関する過去の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備を進めている。現段階では、最終的な体系化に向け、主に個別の要素技術の開発や既存の調査技術の適用性の確認などを進めており、「隆起・沈降量などに関する調査技術」、「侵食速度に関する調査技術」、「第四紀の火山・地熱活動などの調査技術」、「地下深部のマグマ・高温流体などの調査技術」、「地下の活断層に関する調査技術」の5つの研究課題について取り組んでいる。

隆起・沈降量などに関する調査技術：北海道北部における事例研究を通じて、沿岸域の隆起量や旧汀線の変遷や地殻水平短縮量を推定するための技術についての検討を行った。その結果、過去数～数十万年程度の時間スケールでは、海成段丘を指標とした垂直変動量や地下地質構造断面図を用いた地殻水平歪速度の解析などといった地質学的手法が測地学的手法に比べて有効であることを確認した。

侵食速度に関する調査技術：ボーリングによって得られた堆積岩中の自生鉱物を利用して埋没深度や削剥量を推定するとともに、古地温勾配と最大埋没時期から現在までの年代を用いて数十年以上のオーダでの侵食速度を計算する方法を提示した。

第四紀の火山・地熱活動などの調査技術：肉眼では識別できないテフラ降灰層準を認定する方法(RIPL法)によって、更新世中期までの火山の同定が可能であることを示すとともに、岩石や鉱物を用いた熱年代学的手法が古地温・熱水系の復元に有効な方法であることを示した。

地下深部のマグマ・高温流体などの調査技術：地震波トモグラフィー、MT法などの地球物理学的手法に加えて、希ガス同位体などを指標とした地球化学的手法を組み合わせた体系的な調査技術を提示した。また、紀伊半島南部の非火山性温泉の熱源は、沈み込むスラブの脱水に由来する深部流体であることを明らかにした。

地下の活断層に関する調査技術：顕著な地表地震断層を伴わずに、過去数十万年以降繰り返し活動した活断層を「地下の活断層」と定義し、これらの分布を調査するための方法について検討した。その結果、リニアメントの抽出と地震データおよびDEMデータの解析などによって、「地下の活断層」の存在の可能性やその方向を推定することができる見通しを得た。

〔長期予測・影響評価モデルの開発〕

「長期予測・影響評価モデルの開発」では、将来の天然現象に伴う地質環境条件の変化を予測・評価するための手法の整備を図るため、現象の発生頻度を空間統計学的に求める方法や現象のプロセスを考慮した数値シミュレーション技術などの開発を進めている。現段階では、「三次元地形変化モデル」、「火山活動等の長期予測モデル」、「熱水活動等の影響評価モデル」、「断層活動の影響評価モデル」の4つの研究課題に取り組んでいる。

三次元地形変化モデル：隆起・侵食、断層活動などに伴う地形変化を予測するため、従順化モデルによるシミュレーション技術を開発するとともに、地下水流動モデルとの結合を図り、東濃地域を事例に将来の地下水流動の変遷について検討を行った。

火山活動などの長期予測モデル：新たに火山の発生する可能性を確率論的アプローチによって評価するため、カーネル関数による空間モデルや最近隣接法による時空間モデルなどを構築するとともに、独立単成火山群（東伊豆単成火山群、神鍋・扇ノ山単成火山群）を事例にモデルの適用性などについて検討を行った。

熱水活動などの影響評価モデル：地下深部からの熱流束（熱エネルギー）や流体の上昇速度を評価するため、実際に測定された坑井温度プロファイルについて複数の解析方法を適用し、解析方法の違いによる熱流束の見積もりの誤差などについて検討した。また、マグマ溜り周辺岩盤の熱や地下水理などの変化を計算するための解析コード(Magma2002)を開発した。

断層活動の影響評価モデル：断層活動によって引き起こされる周辺岩盤の力学的、水理学的影響を予測・評価するため、断層活動に伴う地下水流動の変化モデルと逆断層帯の三次元構造発達モデルの開発に向けた基盤情報の整備を進めた。

〔研究情報基盤の整備〕

「研究情報基盤の整備」については、上記の「調査技術の開発・体系化」「長期予測・影響評価モデルの開発」の基盤となる最新の学術的知見やそれを支える最先端の観測・分析技術に関する情報の収集・整備を進めている。また、次世代の調査技術として地下深部の高分解能の探査技術やモニタリング技術についての基盤的な研究を進めている。

このうち、全国レベルでの天然現象の情報の収集・整備については、第2次取りまとめ以降についても引き続き実施し、「最近約10万年間の隆起速度分布図」、「地すべり地形分布図」、「坑井温度プロファイルデータベース」、「温泉地化学データベース」を新たに作成し、学術雑誌などを通じて公表した。また、天然現象を考慮した安全評価に必要な変動シナリオや物質移行解析の前提となる一般的かつ現実的な現象のプロセスに関する情報や地質環境条件（力学、熱、地下水理、水質など）の変化などに関するデータを整備するためのデータベ

ースのプロトタイプを作成した。

地下深部の高分解能の探査技術やモニタリング技術については、精密制御定常信号システム（アクロス）の研究開発を進めており、これまでに、弾性波と電磁波の送受信システムとデータの解析手法を構築し、高分解能と探査深度の向上に必要な、高い信号対雑音比の信号観測を実現している。

深地層における工学技術の基礎の開発

第2次取りまとめ以降に開始した2つの深地層の研究施設計画は、実際の地質環境への適用を通じて地質環境を調査・解析・評価する技術の信頼性や適用性を確認していくことが大きな目標である。一方で、得られた地質環境情報に基づき地下の研究坑道を設計・施工していくことを通じて、地層処分に特有の『情報の取得や技術の実証を目的とした地下施設』を設置・維持するための工学技術の基盤を確立していくことも重要な目標である。ここに、地下施設建設そのものは目的ではなく、地質環境を理解するための調査手段であり、また深部の地質環境下での試験を行う場に到達するための手段である。このような深地層の研究施設での研究坑道の設計、施工および維持管理を通じて培われた技術や経験は、実際の処分事業において、処分地選定に向けた最終段階の調査（精密調査）での掘削の際に活用されることになる。また、本研究で得られた成果は、処分施設の設計・施工や人工バリアなどに関する工学技術の開発にも寄与する。

〔瑞浪超深地層研究所〕

瑞浪超深地層研究所では、岐阜県瑞浪市明世町を設置場所として2本の立坑によるアクセス方式を採用した地下1,000mに到達する地下施設の建設を2003年7月に開始した。地下施設の設計は、地下施設の建設深度が深いこと、また坑道のレイアウトが複雑で入坑者も多様となることなどに留意し、第1段階の調査研究により得られる地質環境情報を基に、地震時を含めた空洞安定性の評価、突発事象対策、通気網解析に基づく防災の検討、安全対策などを主要な課題として実施した。設計の妥当性については、地下施設建設時に取得される情報や第3段階において実施する原位置試験によって最終的に評価する。現時点における設計の成果は、以下のとおりである。

空洞安定性評価と支保設計：第2次取りまとめの手法を踏襲し、地表からの調査結果に基づいて地山区分を行い、この区分に応じて物性値を設定して、トンネル標準示方書を参考に支保を仮設定した。これに対して二次元および三次元有限要素解析により各坑道の力学的安定性を評価するとともに、支保発生応力が許容応力を満足することを確認し、設計としての支保を確定した。

耐震設計：瑞浪地域の特徴を考慮して、歴史地震、周辺の活断層、東海地震および東南海地震を震源と想定して地震波を作成し、これに対して第2次取りまとめの手法を踏襲して立坑および覆工コンクリートの許容応力度を照査した。さらに、大深度立坑の特徴を考慮して鉛直地震動についても検討を行い、耐震性を確認した。

計測結果の設計・施工計画へのフィードバック技術（情報化施工）：観察、計測および解析による地山評価を組み合わせた具体的なフィードバックフロー図を作成した。地質観察については、複数の岩盤分類法を適用して立坑壁面の地質状況を評価するうえで最適な方法を検討している。

突発湧水に対する対策技術：基本的には地上へ排水しなければならないこと、および、周辺環境への影響を最小限にとどめるという本計画の理念を考慮して、グラウトによる止水を基本とし、その計画を立案した。突発湧水や大量出水が発生した後での対応には期間と予算が多大となることが想定されるため、プレグラウト（事前のグラウト）を実施することとし

た。

深地層の研究施設計画を推進するうえで最も重要な安全対策：入出坑，火災，環境および通信システムと通気網解析を組み合わせた統合管理システムを構築するとともに，立坑の特徴を考慮したリスクマネジメント手法を活用することにより，リスクを抽出し，安全対策に反映している。

地下施設の建設は，全体を大きく3段階（坑口上部工，坑口下部工，一般部掘削）に分けて施工している。瑞浪超深地層研究所用地の造成工事を2002年7月より開始し，引き続き2003年7月より坑口上部工，2004年4月より坑口下部工，2005年2月に一般部掘削に着手した。また，施工の進捗に合わせて，坑道壁面の地質観察，湧水量測定，各種計測（岩盤変位，支保工応力）を実施し，設計・施工へのフィードバックを行っている。また，掘削工事に伴う周辺環境への影響調査として，水文調査（河川流量調査，地下水位調査），騒音・振動調査，水質・底質調査を工事開始前から継続して実施している。

〔幌延深地層研究センター〕

幌延深地層研究計画の第1段階では，地下深部で遭遇する様々な現象を考慮した坑道の安全確保，坑内環境の維持のために必要となる対策工（支保工の選定など），施工管理方法について検討した。また，これらの成果を踏まえ，第1段階の調査研究で得られた地質環境情報を基に，2005年度より建設を開始する立坑によるアクセス方式を採用した深度約500mの地下施設の設計を行った。

設計・施工計画の検討：施設を安全に建設・維持するための空洞安定性評価や防災対策（可燃性ガス対策，坑内作業環境，火災など）だけでなく，研究に資するための各種データを取得することを考慮した。さらに，一般の人々が深地層を体験する場であることも考慮に入れた。

空洞安定性の検討：2003年度までに地下施設予定位置近傍で実施したボーリング調査で得られた力学試験結果などに基づいて解析条件を設定し，空洞安定性の検討を行った。地下施設の空洞安定性の検討では，割れ目の影響を考慮した評価を加え，ボーリングコアで柱状となる岩盤において乾燥や外的荷重により顕在化する潜在割れ目（ヘアークラック）に対しても強度・変形特性の低減する可能性があるとして地山区分および岩盤物性値を設定し，完全弾塑性モデルを用いた二次元有限要素法による予測解析を行った。

防災対策：可燃性ガスの発生が見込まれる坑内の研究・作業環境や入坑者の安全を確保するために，可燃性ガス対策，坑内作業環境対策，火災時対策，坑内情報管理システムなどの検討を行った。

ナチュラルアナログ研究

「ナチュラルアナログ研究」では，地層処分の長期安全性を傍証する情報の体系化や具体的な評価に寄与できるような科学的根拠の整備を目指し，東濃ウラン鉱床を利用して，ウラン系列核種を中心とした物質の長期挙動やこれを取り巻く地質環境の変遷を解明するための研究を進めている。第2次取りまとめまでにおいて，地質環境中でのウラン系列各種に注目した研究を行い，放射性核種は地質環境中に長期間にわたって保持されることを定性的に示した。第2次取りまとめ以降のナチュラルアナログ研究においては，東濃ウラン鉱床を事例の場として，「地質環境が有する放射性核種保持機能の定量化」と「保持機能に影響を及ぼす主要因子の抽出」を主要な目的として研究を進めてきた。それぞれの目的に対するこれまでの主な成果を以下に簡潔に記す。

地質環境が有する放射性核種保持機能の定量化：東濃ウラン鉱床を胚胎する土岐夾炭累層中の地下水組成に基づいて，ウランの長期的な溶解度を検討した。その結果，主要な溶解度