

5. 第1段階の調査研究実績（野外調査）の評価と課題

5.1 第1段階におけるプロジェクト管理の評価

5.1.1 計画立案と調査研究の監理

第4章で示した調査研究の基本方針に則り、2002年度から2004年度までの3年間において表3に示した調査項目（野外調査）を実施した。その実績工程と概要を表5及び表6に示す。これらの表から明らかなように、当初計画した調査研究項目を全て実施することができた。

なお、4.2.4章の計画工程表（表4）と本章の実績工程表（表5）を比較すると明らかのように、第1段階の実施過程で調査研究の実施項目や期間などに変更が生じている。変更の理由の第1としては、繰り返しアプローチによる不確実性低減のための追加調査が挙げられる。第2の理由は、自然条件や人的要因による技術仕様の変更である。第3の理由は、調査技術の進展や新たな研究テーマの追加によるものである。第1の理由に該当する変更としては、地表踏査及び反射法弹性波探査の追加実施が挙げられる。第2の理由に該当する変更としては、深層ボーリング調査及び孔間弹性波トモグラフィ探査を挙げることができる。特に第1段階の工程延長（約3ヶ月）の原因は、深層ボーリング調査の工程遅延によるものである。この2つの調査研究に関しては、発生した問題やその対処方法を5.2章で詳細に報告する。第3の理由に対応するものとしては、用地内での表層水理観測施設及び傾斜計の設置による観測項目の追加である。これら2つの観測は、他の調査研究項目に比較して研究開発要素が高いことから、大学との共同研究などの形態で実施している。

【総括】

計画した第1段階の調査研究項目を全て実施できたことによって、「第2次取りまとめに示された調査フロー及び個々の調査技術を実際の地質環境に適用し、地下施設の設計、施工及び安全評価に必要とされる地質環境の情報を、要求される信頼レベルで取得できることを例示する」という4.2.1章で示した研究所計画の第1段階における必須の達成目標を果たすことができた。特に花崗岩などの結晶質岩（亀裂性岩盤）での地質環境を理解するうえで重要と考えられる「不連続構造の有無の推定」→「推定された不連続構造の確認」→「確認された不連続構造の地質学的・水理学的特性の把握」→「地質環境モデルの構築」→「不確実性低減に向けた次段階の調査課題の抽出」といった一連の調査・評価プロセスを実行し、それに関わる科学的・技術的知見の蓄積、

表5 第1段階の調査研究（野外調査）実績工程表

調査研究項目（2002年度）	実施形態	2002年4月 上旬	2002年4月 中旬	2002年4月 下旬	2002年5月 上旬	2002年5月 中旬	2002年5月 下旬	2002年6月 上旬	2002年6月 中旬	2002年6月 下旬	2002年7月 上旬	2002年7月 中旬	2002年7月 下旬	2002年8月 上旬	2002年8月 中旬	2002年8月 下旬	2002年9月 上旬	2002年9月 中旬	2002年9月 下旬	2002年10月 上旬	2002年10月 中旬	2002年10月 下旬	2002年11月 上旬	2002年11月 中旬	2002年11月 下旬	2002年12月 上旬	2002年12月 中旬	2002年12月 下旬	2003年1月 上旬	2003年1月 中旬	2003年1月 下旬	2003年2月 上旬	2003年2月 中旬	2003年2月 下旬	2003年3月 上旬	2003年3月 中旬	2003年3月 下旬
地質踏査	内部																																				
反射法弹性波探査	外注																																				
浅層ボーリング調査	外注																																				
浅層地下水長期観測	外注																																				
深層ボーリング調査	外注																																				
調査研究項目（2003年度）	実施形態	2003年4月 上旬	2003年4月 中旬	2003年4月 下旬	2003年5月 上旬	2003年5月 中旬	2003年5月 下旬	2003年6月 上旬	2003年6月 中旬	2003年6月 下旬	2003年7月 上旬	2003年7月 中旬	2003年7月 下旬	2003年8月 上旬	2003年8月 中旬	2003年8月 下旬	2003年9月 上旬	2003年9月 中旬	2003年9月 下旬	2003年10月 上旬	2003年10月 中旬	2003年10月 下旬	2003年11月 上旬	2003年11月 中旬	2003年11月 下旬	2003年12月 上旬	2003年12月 中旬	2003年12月 下旬	2004年1月 上旬	2004年1月 中旬	2004年1月 下旬	2004年2月 上旬	2004年2月 中旬	2004年2月 下旬	2004年3月 上旬	2004年3月 中旬	2004年3月 下旬
地質踏査	内部																																				
浅層地下水長期観測	外注																																				
深層ボーリング調査	外注																																				
調査研究項目（2004年度）	実施形態	2004年4月 上旬	2004年4月 中旬	2004年4月 下旬	2004年5月 上旬	2004年5月 中旬	2004年5月 下旬	2004年6月 上旬	2004年6月 中旬	2004年6月 下旬	2004年7月 上旬	2004年7月 中旬	2004年7月 下旬	2004年8月 上旬	2004年8月 中旬	2004年8月 下旬	2004年9月 上旬	2004年9月 中旬	2004年9月 下旬	2004年10月 上旬	2004年10月 中旬	2004年10月 下旬	2004年11月 上旬	2004年11月 中旬	2004年11月 下旬	2004年12月 上旬	2004年12月 中旬	2004年12月 下旬	2005年1月 上旬	2005年1月 中旬	2005年1月 下旬	2005年2月 上旬	2005年2月 中旬	2005年2月 下旬	2005年3月 上旬	2005年3月 中旬	2005年3月 下旬
反射法弹性波探査	外注																																				
深層ボーリング調査	外注																																				
マルチオフセットVSP探査	外注																																				
孔間弹性波トモグラフィ探査	外注																																				
孔間比抵抗トモグラフィ探査	外注																																				
初期応力測定（水圧破碎法）	外注																																				
孔間水理試験	外注																																				
表層水理観測	外注																																				
傾斜量観測	外注																																				
浅層地下水長期観測	外注																																				
深層地下水長期観測	外注																																				

表 6 第1段階において実施した調査研究の概要（野外調査）

調査段階	調査項目 ()内は調査内で実施した試験項目	目的	実施形態 受注者名(外注のみ) ()内は協力業者	実施場所	実施年度	技術仕様 変更有無
1	地表踏査	研究所用地及び周辺における地質・地質構造の分布の確認	内部実施	研究所用地内及び周辺 (道路沿いの露頭)	2002年度 2003年度	-
2	反射法弹性波探査	新第三紀層と基盤花崗岩の不整合面の形状、新第三紀層の堆積構造、断層などの不連続構造の把握	外注 地球科学総合研究所	研究所用地内及び周辺 (道路沿い)	2002年度	無
	反射法弹性波探査	新第三紀層と基盤花崗岩の不整合面の形状、新第三紀層の堆積構造、断層などの不連続構造の把握	外注 ダイヤコンサルタント	研究所用地内及び周辺(山林)	2004年度	無
3	浅層ボーリング調査 (ボーリング孔掘削) (岩芯観察) (物理検層) (ポアホールテレビ) (水理試験) (フローメーター検層) (地下水採水・分析)	研究所用地の地質環境(地質・地質構造、地下水流动特性、地下水の地球化学特性)の把握 岩芯採取及び観測孔の掘削 岩相分布及び不連續構造の地質学的情報の取得 岩盤の物理学的性質及びボーリング孔の孔内形状及び幾何情報の把握 岩相境界及び割れ目の深度分布及び幾何情報の把握 岩盤の水理特性及び地下水水圧分布の把握 透水性割れ目の抽出 被覆堆積岩及び基盤花崗岩上部での地下水の地球化学特性の把握	外注 大林組 (住鉱コンサルタント) (住鉱コンサルタント) (物理計測) (レックス) (大成基礎設計) (物理計測) (大成基礎設計) (島津テクノリサーチ)	研究所用地内(4孔) MAB-1号孔(掘削長:201.0m) MSB-2号孔(掘削長:180.0m) MSB-3号孔(掘削長:199.0m) MSB-4号孔(掘削長:99.0m)	2002年度	無
4	地下水観測装置の設置と観測	研究坑道掘削前及び掘削後の地下水の水圧及び水質の把握	外注 清水建設	研究所用地内(4孔:同上)	2002年度 設置 (観測中)	無
5	深層ボーリング調査 (ボーリング孔掘削) (岩芯観察) (物理検層) (ポアホールテレビ) (ポアホールレビューア) (ポアホールレーダー) (水理試験) (フローメーター検層) (電気伝導度検層) (地下水採水・分析)	地表から深度1,000m以深に至る基盤花崗岩(土岐花崗岩)の地質環境特性の把握 研究坑道掘削前の地質環境の初期状態(ペースライン)の把握 研究坑道の掘削や坑道内での調査試験による地下水の水圧及び水質に関する影響を把握するための観測孔 岩芯採取及び観測孔の掘削 岩相分布及び不連續構造の地質学的情報の取得 岩盤の物理学的性質及びボーリング孔の孔内形状及び幾何情報の把握 岩相境界及び割れ目の深度分布及び幾何情報の把握 割れ目の深度分布及び幾何情報の把握 ボーリング孔周辺の不連續構造の把握 岩盤の水理特性及び地下水水圧分布の把握 透水性割れ目の把握及び透水性の把握 透水性割れ目の把握及び透水性の把握 地下水の地球化学特性の把握	外注 大林組・簡組特定建設 工事共同企業体 (住鉱コンサルタント) (住鉱コンサルタント) (物理計測) (レックス) (物理計測) (物理計測) (物理計測) (物理計測) (大成基礎設計) (島津テクノリサーチ)	研究所用地内(1孔) MIZ-1号孔(掘削長:1300.2m)	2002年度 2004年度	有
	マルチオフセットVSP探査	深層ボーリング孔周辺の不連續構造の把握	外注 ダイヤコンサルタント	研究所用地内(MIZ-1号孔:受振孔)及び周辺(道路沿いでの震源配置)	2004年度	無
	孔内力学試験	研究所用地の地表から深度1,000mまでの岩盤の初期応力状態の把握	外注 ジオテクノス	研究所用地内(MIZ-1号孔)	2004年度	無
	孔間トモグラフィ探査 (弹性波トモグラフィ探査) (比抵抗トモグラフィ探査)	発振孔と受振孔の間(研究坑道展開予定エリア)に分布する地質・地質構造の推定 発振孔と受振孔の間の岩盤中の弾性波速度分布による地質・地質構造の推定 発振孔と受振孔の間の岩盤中の電気比抵抗分布による地質・地質構造の推定	外注 ダイヤコンサルタント (日本地下探査)	研究所用地内(MIZ-1号孔)及び周辺(DH-2号孔、遠電極設置)	2004年度	有
	孔間水理試験	揚水孔と各観測孔の間(研究坑道展開予定エリア)に分布する不連續構造の水理学的連続性及び水理学的特性の把握	外注 大林組 (大成基礎設計)	研究所用地内 揚水孔: MIZ-1号孔 観測孔: MSB-1,3号孔 及び周辺(観測孔: DH-2,15号孔)	2004年度	無
	地下水観測装置の設置と観測	研究坑道掘削前及び掘削後の地下水の水圧及び水質の把握	外注 地熱技術開発	研究所用地内(観測孔4地点) 04ME02号孔 04ME03号孔 04ME04号孔 04ME05号孔	2004年度 設置 (観測中)	無
	傾斜計の設置と観測	研究坑道掘削による地下水位の変化に伴う地面の傾斜量・方向から水みちとなる地下構造の推定	外注 大和地質研究所 共同研究 東北大大学	研究所用地内 04ME02号孔 04ME03号孔 04ME04号孔 04ME05号孔	2004年度 設置 (観測中)	無
	表層水理観測装置の設置と観測	研究坑道掘削の影響による地下水位、表層土壤水分などへの影響の有無の把握	外注 アジア航測	研究所用地内 地下水観測井 1孔: 04ME01号孔 気象観測装置 1地点 土壤水分計 1地点	2004年度 設置 (観測中)	無

*調査段階3の調査研究項目については、広域地下水流动研究の成果を活用したため、本表には記載していない。

及びそれに携わった研究者・技術者のスキルを向上できたことは、我が国の処分事業及び国の安全規制の両面に対して有形無形の貢献ができるものと考える。

また、後述する深層ボーリング調査及び孔間弾性波トモグラフィ探査については、変更対応を必要としたが、これらを含め、第1段階の調査項目をほぼ計画通り実施することができた。換言すれば、計画通りに実施できた調査技術については、技術的に成熟し、信頼性の高い調査技術ということがいえる。

一方、計画立案と調査研究の監理に関する課題としては、研究開発業務のより一層の効率化・合理化に向け、研究成果の反映先である処分事業及び国の安全規制の実務担当者と議論して、国の地層処分計画を段階的に推進する上で要求される知識やノウハウの項目及び研究開発のマイルストーンで公開する報告書類や開催する報告会を中期計画などに具体的に設定しておくことが重要であったと考える。また、第1段階における調査研究の計画立案にあたっては、既往の調査結果を基に、調査で遭遇する地質環境を可能な限り想定して調査研究計画書を作成し臨んだが、自然条件などによって調査継続や工期内での実施が困難になった時の判断の拠り所である「調査研究の成否を判断するための基準」の設定に曖昧さがあり、調査研究の継続・中止に関して判断をくださなければならない時点になって、その判断基準自体の議論を始めていたことが反省点として挙げられる。調査研究の継続・変更・中止の判断が速やかにできるように、調査開始前に「調査研究の成否を判断するための基準」を明確に設定し、関係者に周知しておくことが重要である。

加えて、第1段階における最も重要な調査項目であったボーリング調査の課題として、地質環境に与える影響を必要最低限に抑えつつ、確実に調査対象となる深度や地質構造に到達し、脆弱な岩盤においてもコアを確実に採取するといった基本的な要求に確実に応えることができる理想的な方法がないため、地質状況に応じた手法を組み合せて対応しなければならない。また、削孔と孔内試験が分業化しており、各々の側での都合によって仕様を決定し、機器や資材を製作しているため、孔内崩壊などの対策によってケーシングによる段落とし（孔径変更）がなされると、対応できない試験項目があった。このような状況に対して、目標の深度や地質構造まで到達しなければ試験もできないため、優先順位は掘削側にあり、自然条件によって発生する問題にも対応できるボーリング孔の仕様や掘削工法を決定した後、ボーリング孔の仕様変更（特に孔径）に対して柔軟に対処できるように、孔内試験の機器などの仕様を決定することが合理的である。自然条件によって発生する問題に対処し、使用目的に合った品質のデータを確実に取得できるボーリング調査システムの構築が重要である。

5.1.2 品質保証

第4章で述べたように、「透明性」、「追跡性」、「公開性」「専門家によるレビュー」の4項目を基本に、ISO 9001に基づく品質保証規則を策定し、研究開発業務における品質保証活動を進めた。以下に各項目の実施状況及び今後の課題を示す。

(1) 透明性の確保

● 研究計画及び研究成果の報告

各年度当初に、前年度の主な研究活動及びその成果、並びに当該年度の研究計画について、関連する自治体・自治会に対する事業説明会を実施した（20ヶ所）。

事業説明会によって、当該年度の研究開発業務の内容や工程を地元の方々に対し、事前に周知することができるため、用地周辺における公共や個人の土地をお借りして調査研究を行う際の協議も、年を追って円滑に行えるようになった。

● 定期見学会の開催

研究坑道建設現場の定期見学会（毎月第4日曜日）とともに、見学を希望する方々には

隨時対応し、地元をはじめ、一般の方々に研究開発の現場を直接見ていただき、研究者との対話を通して、研究所計画に対する理解を深めていただくよう努めた。

このように研究現場を一般の方々に見ていただくことは、研究所計画における研究開発業務の内容や研究に対する研究者の意識や態度を直接知ってもらうことになり、研究所計画への社会的不安の払拭や地域との共生を双方で意識するためにも良い機会であった。

(2) 追跡性の確保

● 各調査研究における調査研究計画書及び作業マニュアルの作成

品質保証規則の調査研究業務監理要領において、主要な調査研究項目については、実施に先立ち、実施目的、達成目標、実施内容、手順、品質管理方法などを記述した調査研究計画書、並びに個々の試験については作業マニュアルの作成を義務付け、データの品質保証に努めた。また、各調査研究における作業過程やデータの品質に影響を及ぼすと考えられる事象、及びその対処の内容を記録として残し、追跡性の確保を図った。

これらの品質管理や追跡性の確保に関する方策は、学会などに積極的に発表しており(例えば、古江ほか, 2004)、専門家からも評価していただいている。

● 報告書の階層化

調査研究の結果の敏速な関係者への周知と品質保証上のピアレビューを目的として、主要な実施内容と結果を記した「速報」と、調査試験結果の解釈や評価も含めた「成果報告書」という2つの階層の報告書体系を構築して運用した。

その結果、関係者への調査研究結果の周知が早期に可能となり、次の調査研究の立案に対して、「繰り返しアプローチ」を適切なタイミングで実践することができた。

なお、「成果報告書」については公開資料として公表しているが、「速報」については、一部を除き、内部資料扱いとしている。これについても追跡性の観点から、順次、公開資料化を進める予定である。

● データ及び解析結果の記録・保存（データベースの構築）

正馬様用地における第1段階で構築したデータベース(G★ Base: ジースター・ベース)、可視化システム、地下水流动シミュレーションプログラム(稲葉・三枝, 2003)を継承し、研究所用地における各種調査研究で取得された地質環境特性に関するデータを記録・保存した。また、イントラによるデータ検索・閲覧機能の追加や可視化システムと地下水流动解析などのシミュレーションソフトとのリンク機能を強化し、データベースに関する利便性や作業効率の向上を図った。

上記のデータベース及び可視化システムの機能強化は、第1段階におけるモデル化・解析において強力な支援ツールとなり、解析のみならず、ボーリング調査地点の選定などの計画立案において大いに役立った。

(3) 公開性の確保

● 計画書及び成果報告書類の原則公開

各年度における計画書及び成果報告書、並びに調査研究項目ごとの報告書を公開資料として作成し(Appendix I 参照)、研究業務の計画及び成果に関する情報の普及に努めた。

● 研究開発業務内容の周知

研究所計画における調査研究及び研究坑道建設工事における作業項目や実施日程、作業の進捗状況などの情報をリーフレット「地層研ニュース」にまとめて月1回発行し、地元

の方々（約500戸）へ配布するとともに、マスメディアに向けては「プレス週報」を発信した。

● 成果報告会の一般公開

各年度の第3四半期に、それまでの研究成果と今後の研究計画を報告し、地層処分関連の産学官の専門家の方々と意見交換する主旨で「情報・意見交換会」を開催した。当会は、2002年度から一般公開として、専門家以外の方々にも、機構の報告や参加した専門家の意見を聞き、発言できる場とした。特に2004年度は、国際会議の形態を探り、地層処分技術に関する研究開発の先進国である欧米の専門家による報告やパネルディスカッションを実施し、研究所計画の意義や役割を討論した。

このような研究所計画に関する第三者の意見や情報を一般の方々に直接聞いていただく場を設けたことは、地元の方々の「研究所計画が処分場につながる」等の不安払拭を含め、研究所計画を正しく理解していただく良い機会であった。

(4) 専門家によるレビュー

● 機構外の専門家で構成する委員会による研究計画及び成果のレビュー

研究所計画における研究プログラム及び成果の妥当性を第三者に評価してもらう目的で、我が国における各研究分野の専門家を委員とした「深地層の研究施設における研究計画等検討部会」を設置し、計画及び成果についての審議及び技術的助言をいただいた（Appendix II 参照）。

● 国際共同研究としての Nagra（スイス）の専門家による研究計画及び成果のレビュー

Nagraとの国際共同研究の一環として、研究所計画の第1段階の主要な研究上の節目で、技術検討会議を開催し、Nagraの専門家から研究計画の妥当性及び研究成果の評価や調査試験に係る技術的助言をいただいた。

● 研究成果の査読付き論文としての発表

研究成果が処分事業や国の安全規制の取り組みにおける科学的・技術的基盤となるためには、主要な研究成果に対して、当該分野の学会（専門家集団）の支持を得ておくことが最低限必要と考えられる。そのため、研究成果の妥当性を担保するため、国内外の査読制度のある学会誌や学術雑誌に積極的に投稿した（Appendix I 参照）。

【総括】

研究所計画の第1段階においては、ISO 9000を基本とする品質保証規則を策定し、品質保証の基本要素である「透明性」、「追跡性」、「公開性」「専門家によるレビュー」の4項目に関して、具体的な活動を実施してきた。特に、透明性、公開性の確保については、一般の方々から専門家までの幅広いステークホルダーに対して、適宜、情報を提供するとともに、研究所用地内の各現場の見学会など、地域の方々と直接対話の機会を設け、研究所計画に対する理解を深めていただいた。その結果、年を追って研究業務に対する地元の方々の協力を得られる状況になってきたことは、上記の活動が実を結んできていることを示しているものと考えられる。

研究所計画における各研究計画の妥当性や成果の評価については、上述のように、我が国各分野における専門家を委員とした検討部会での審議と国際共同研究の一環としての Nagra の専門家によるレビューによって行ってきた。これらの専門家による多面的なレビューにおいては、特に各研究分野間の地質環境の統合的な研究の重要性が強く指摘されており、その提案は研究計画に反映してきた。また、Nagra の専門家によるレビューでは、グリムゼルやモンテリーにおける地下研究所プロジェクト（資源エネルギー庁、2006）等の先行事例で得られた知識や経験に基づ

く提案が数多く出されており、研究所計画における各調査研究の質的向上に大いに貢献した。

これらの専門家のレビューを受ける場合の今後の課題としては、特に研究計画の審議に関して、予算や期間などが確定する前に会議を開催すること挙げられる。それによって、各専門家からの有益な提案を十分活かすことができると考える。

技術的な品質保証事項である追跡性の確保については、品質保証規則において、「調査研究計画書」の作成を義務付け、その中で、データの品質保証の具体的な方法及び手順、並びにデータや解析結果の再現性を確保する上で必要な背景情報の記録を定めている。このような取組みの結果、データの品質保証の面においては、科学調査としての水準においても、十分通用する品質を有するデータが取得できたと考える。

ただし、データ及びデータ取得時の背景情報は、基本的に研究担当グループの分野担当チームごとに管理されており、研究所計画全体としての情報の共有化という管理体制の面で改善の余地が残されている。今後、情報の一元管理に向けた整備が必要であろう。これに関連して、データベースについての課題としては、今後、研究坑道の建設に伴い取得される膨大な量のデータを、その品質確認を行いつつ、遅滞無く入力することが要求されることから、責任体制の明確化、必要とされるスキルを有したスタッフを擁した専任チームの設置など、検討すべき項目がある。また、第1段階においては、データベースや可視化システムの運用を外部からの技術者派遣で対応してきた。しかし、データベース等、情報の管理・運用は、処分事業や国の安全規制にとっても基盤となる必須事項であることから、機構自身の力量として、運用に関する知識・ノウハウの蓄積、及び運用管理者のスキル向上を図るべきと感ずる。

個別の試験に関する作業マニュアルは、研究所計画に特化して記述しているため、現行のままでは異なる地質環境への適用が難しい部分も存在する。そのため、調査研究の実施を通して得られたノウハウを加えて、今後、より一般化した記述の作業マニュアルを整備・公開することが、処分事業及び国の安全規制へ貢献する観点からも重要である。

5.1.3 現場監理（安全確保、工程管理、環境保全）

(1) 安全確保、工程管理

- 調査研究の各作業に対するリスク評価とそれに基づく安全対策の策定

野外調査の実施にあたっては、事前に当該調査で実施する各作業の安全性に対するリスク評価を実施し、リスクの高い項目について安全対策を策定するとともに、毎作業時の点検項目リストを作成し、現場作業の安全確保に努めた。

- 毎作業日の始業前の打ち合わせによる前日の進捗状況と当日の作業内容（目標）の確認

野外調査の実施にあたっては、毎作業日の朝に発注者及び受注者の担当者が出席する打ち合わせの場を設け、前日の作業実績及び当日の作業内容、人員、並びに調査研究のデータ等に影響を与える事象を確認し、その対策を議論した。

これによって、作業直前に当日の作業内容を再確認ができるとともに、事故の主原因となる計画外作業の防止にも役立った。ただし、工程管理上での観点でいえば、5.2章で述べるように、前日の作業目標が未達成の場合、受注者に対してその原因と解決策に加え、可能であれば工程遅延の挽回策の提示を要求すべきであった。

- 週1回の工程会議及び月1回の拡大工程会議の開催

ボーリング調査においては、調査期間が長期に渡り、試験項目も多岐に亘るため、発注者-受注者間の情報共有が重要であるため、週1回の工程会議及び月1回の拡大工程会議を開催した。

しかし、大幅な工程遅れが問題となった深層ボーリング調査の場合、人的要因による工程遅延に対する議論に終始したため、本来の意図である発注者-受注者間及び受注者内（元請-協力会社間）のコミュニケーション不足の解消には十分役立たなかった。

- 毎作業日の安全巡視の実施

当該調査研究の発注者側の担当者は、毎作業日、及び責任者は月1回以上、現場作業の安全確保の状況を確認するため巡視を実施した。その際、不備な点があった場合は、その場では正を指示し、安全確保の徹底を促した。

- 毎月1回の研究坑道建設工事側との合同安全巡視の実施

研究所用地における各作業現場の安全確保を多面的な視点で確認するため、月1回、建設担当及び研究担当各部署、並びに全受注業者合同の現場安全巡視を実施した。

このように研究所計画に従事する全受注者が相互の作業現場の安全点検を実施することは、現場全体の安全意識を向上させるうえで有効な安全施策であった。

- 発注者・受注者合同の総合防災訓練の実施

研究所用地内における建設現場での事故発生を想定した総合防災訓練を発注者・受注者共同で実施し、事故・災害時の2次災害の防止及び通報連絡の習熟を図った。

(2) 環境保全

ISO 14001に基づく環境管理システムに則り、第1段階の野外調査による環境への影響を最小限に留めるよう、該当する法令・条例を順守し、ボーリング調査に伴い発生する泥水やコンクリート廃材については、全て産業廃棄物として専門業者に処分を委託した。また、環境への影響が懸念される油、廃水、掘削水の漏洩・流出などの事故に備えて、各事象に関する対策作業手順書及び対策資材を整備した。さらに、作業担当者の防災訓練を通して、対策作業手順書での問題点

を抽出し、常に実効性のある手順書及び体制維持に努めた。

【総括】

上記の活動の結果、作業における事故や環境へ影響を及ぼす事故は1件も発生せずに、第1段階の調査研究を終了することができた。

5.1.4 組織・人材育成

研究担当部署では、従来の分野別の枠組みの他に、研究計画、現場における調査試験、研究成果の取りまとめを担当する統括PIを置き、それらを縦割り組織に対する横串としてマトリックス的な組織体制を組んだ。その結果として、研究所計画の調査研究と「平成17年取りまとめ」の執筆作業を両立し得たと考える。また、地層処分分野の人材育成を目的にNagra主催のITC(International Training Centre)schoolへ毎年1名の研究者を参加させ、地層処分全般や地下研究所における調査研究に関する知識及びスキル向上に努めた。さらに研究者自身の力量に対する品質保証として、学位取得を奨励した。その結果、3年間で2名の学位取得者を出すとともに、3名が社会人大学院を受講中である(2004年当時)。

【総括】

組織の課題としては、研究開発という業務の特性上、一部の部署や個人に業務が集中しがちであることが挙げられる。この問題については、研究スタッフ個人の力量を向上させる以外に解決の方法がないため、上述したITCへの派遣をはじめ、学会主催の講演会や講習会へ研究者を積極的に参加させるとともに、学位取得を奨励し、専門知識及びスキルの向上に努めてきた。今後も引き続き研究者個人の力量を向上させるための取り組みを組織として継続していく必要がある。

また、調査研究と建設工事が有機的に関連する第2段階以降においては、研究担当部署と建設工事担当部署とのより緊密な調整が要求される。しかしながら、品質保証規則の策定においては、定常的な生産ラインを前提としたと考えられるISO9000シリーズに倣ったことから、例えば、研究開発体制と工事監理体制を統括して適切に管理できるものとなっていない等、研究開発を目的とした組織に適応させるための課題は多く残っており、これまで以上に情報を共有できる組織上の工夫が必要である。

外部との研究協力については、韓国原子力研究所(KAERI)との研究協力協定が2003年に締結され、2004年10月に地質環境特性の調査・評価技術の開発分野に関する実務者レベルの技術検討会議を研究所で開催した。翌年には、KAERIの岩盤水理及び地球化学分野の研究者が来日し、研究所において研究坑道内における地下水調査に関する情報交換を行った。また、Nagraとの研究協力の一環として実施している研究所計画に関する技術検討会における議論は、研究者の育成にも大いに役立った。

研究所計画の第2、第3段階においては、第1段階以上に国内外の外部研究機関との研究協力の機会が増えることが予想されることから、国際協力を含め、地層処分分野の研究者・技術者の育成及び技術の継承の場として、研究所は重要な役割を果たすことが期待される。このような国内外の研究者・技術者の養成も含め、原子力機構が掲げるCOE構想の具体化には、国際的なCOEネットワーク^{注5)}への参加が効果的と考える。

^{注5)} 例えば、IAEA主催で、現在、カナダ、ベルギー、スイス、スウェーデン、イギリス、アメリカの6カ国の地下研究所を含む研究施設を活用して、地層処分技術の信頼性向上と国際協力に向けた取り組みがなされている(IAEA, 2001)。

5.2 調査研究時における問題の発生原因と対策

5.1 章で述べたように、自然条件や人的要因で実施項目や数量などの技術仕様を変更した調査研究として、深層ボーリング調査と孔間弾性波トモグラフィ探査が挙げられる。前者は特に掘削工法に関わる技術的問題によって大幅な工程遅延を招いた。また、後者においては、調査対象の岩盤状態に対して孔内震源のエネルギーが足りず、発振孔からの信号が受振孔に届かないことから、その代替策として地表発振-孔内受振の調査レイアウトに変更した。さらに、調査レイアウトの変更に伴う解析領域の減少を補うために、孔間比抵抗トモグラフィ探査を追加実施した。問題が生じたこれらの調査研究は、地質環境の調査計画立案のための事前検討の重要性や完全請負形態での調査・工事における発注者側の現場監理の有り方などについて多くの教訓を与えてくれた。

以下に2つの調査研究に発生した事象とその経過、事象に対する対処、対策を示すとともに、最後に当該事象の総括、背景ならびに再発防止のために知識化した対策内容について説明する。

5.2.1 深層ボーリング調査

深層ボーリング調査(MIZ-1号孔)は、研究所用地における深度1,000m以深の基盤花崗岩内の地質環境特性を明らかにすることを目的に実施された。特にサイト・スケールにおける地質構造モデルの不確実性の低減には、研究所用地内に推定されている3本の北北西方向の断層の存在を確認し、その地質学的・水理学的特性などを確認することが重要とされた。そのため、清水掘削^{注6)}による深度1,000m以深までの掘削と、断層にボーリング孔を遭遇させるためのコントロール掘削技術が本ボーリング調査の成否に大きく関わるものであった。

(1) 事象

深層ボーリング調査のために導入された掘削工法の機能不全による掘進率の低下とコントロール掘削の失敗によって、計画に対して約6ヶ月の工期遅延とそれに伴う孔内試験数量の変更が生じた。

(2) 経過

本ボーリング調査の計画立案にあたっては、次段階の孔間弾性波トモグラフィ探査における発振孔と受振孔とのジオメトリの観点や正馬様用地における傾斜掘りの経験から、地表から深度250mまで垂直に掘削し、その後、研究対象の不連続構造に遭遇させるため、南西方向へ傾斜角(俯角)78度の角度で掘削することにした。コントロール掘削技術に関する調査を行った結果、石油や地熱資源開発などの分野において、コントロール掘削に関する十分な技術的実績があることから、既存技術によって十分仕様を満足するボーリング孔を掘削できると判断した。その結果、掘削工法は、コア採取の必要性からワイヤーライン制御掘削工法を用いることとし、費用積算の基礎とした。なお、従来工法で実施可能との判断、及び今回の実績調査では把握しきれなかった優れた工法の適用も考慮したため、契約における技術仕様には掘削工法を具体的に指定しなかった。

契約後、調査に先立ち、受注者へボーリング掘削工法について確認を行ったところ、受注者から先端駆動型の掘削工法を適用したいとの提案があった。本工法は掘削ロッドの先端に取り付けたダウンホールモーターによって掘削ビットを回転させるものであり、ダウンホールモーターの取り付け角度をえることで、任意の角度に孔を曲げ、同時に岩芯も採取できるという優れた機能を有する。そのため、提案された掘削工法の採用の可否を検討するため、前述の発注者案(既存技術)との比較を実施した。その結果、両者間において技術面での優劣はないことを確認した。しかし、提案された工法には花崗岩のような硬岩での適用実績がなかったため、硬岩での事前適用試験の実施を条件として、提案工法による掘削を受け容れることとした。また、計画通りに掘削が進まない状況も想定して、代替工法を準備することも受け入れの条件とした。しかし、結局、

^{注6)} 通常のボーリング掘削では、孔壁の保護などの目的でベントナイト等の泥材や薬剤を掘削水に添加するが、このような泥水などを用いると岩盤の透水性や地下水の水質に影響を与える。そのため、研究所計画のボーリング掘削では、掘削水に泥材などを添加しない清水掘削を基本とした。

受注者提案の掘削工法の事前適用試験は試験場の手配がつかず実施されなかった。したがって、本来なら、受注者提案を断り、発注者が想定した従来工法で深層ボーリング調査を実施すべきであったが、資材の再準備に時間がかかるという状況から、これ以上の開始遅延は、第1段階全体の調査研究工程に大きな影響を与えててしまうため、受注者提案工法で開始することを認めた。この決定は、予想される問題を回避するために行った事前検討を全く無駄にしたことにより、本調査において最も大きな反省点である。

上記の経緯で受注者提案の掘削工法によるコントロールコアリング掘削（孔径：152 mm）を開始した。地表から深度 109mまでの新第三紀層の堆積岩では、掘削中にバイブレーションが発生し、基底礫岩層などでコアロス^{注7)}が発生した。掘削長 109.14mで基盤花崗岩に着岩し、その後、掘削長 116.54mにおいて大量逸水が発生した。そのため、1回目の水理試験を逸水箇所で実施した。掘削長 123mまで掘削した後、堆積岩部分の保孔を目的に、孔口より掘削長 117mまで拡孔し、14 インチケーシングを設置した。その際、エアハンマーでの拡孔時に前述の逸水箇所から毎分 5 m³の湧水が発生した。掘削長 250mまでの鉛直掘削部においても掘削中にバイブレーションが発生しコアロスが生じた。この区間で逸水が発生した 2 箇所を対象に水理試験を実施した。

掘削長 250mからのコントロール掘削区間では、期待されたコントロール掘削機能が有效地に働かず、掘削方位を計画方位に向けられない状況が続いた。この問題に対しては、コアリングと拡孔を交互に行うことや、ウェッジを使用する等の試行錯誤を重ねたが、最後は角度の誤設定という人的ミスも重なり、掘削長 502mにおいて計画線に対して 90° 東に逸れた結果となった。このままでは、研究所用地境界を超える恐れがあるため、方位の修正作業が容易と考えられる掘削長 356mまでボーリング孔をセメントで埋め戻し、この深度からコントロール掘削をやり直すこととした。なお、ボーリング孔を埋め戻す前に、掘削長 502mまでの一連の孔内試験（BTV 計測、物理検層、流体検層、水理試験）を実施した。再度のコントロール掘削では、ホイップストックを用いたサイドトラック^{注8)}及びボーリング孔の方位・傾斜を計測しながら掘削する MWD^{注9)}機能付きノンコアコントロール掘削を海外の技術者を招いて実施した。その結果、予定の工期内において計画の方位・傾斜にボーリング孔を曲げることに成功した。再コントロール掘削後（掘削長 494.81 m）からは、通常工法であるワイヤーライン工法（孔径：134 mm）での沿角掘削を行い、掘削長 728m及び 960m付近で本調査の主要対象と考えられる断層に遭遇した。掘削長 960m付近の断層破碎帶では孔壁崩壊が著しいため、崩壊発生部でのセメンチングと泥水掘削（それまでは清水掘削）で突破した。掘削長 1,000m付近から健岩部に入り、掘削は順調に進んだが、ボーリング孔の方位が若干西側に振れ、このまま予定掘削長（1,350 m）まで掘削を継続した場合、研究所用地境界を再び超える恐れが出てきたため、余裕をみて、掘削長 1,300.20 mで掘り止めとした（図 17）。その後、BTV 計測、物理検層、流体検層、水理試験などの一連の孔内試験を実施し、本調査を終了した。

(3) 原因

主原因としては、事前に従来工法との比較を行い、発生する問題を議論し、工法選定のための事前試験を行うという受注者が提案した工法を認める上で条件を満たされずにもかかわらず、第1段階の調査研究工程を優先して、硬岩での実績のない掘削工法による調査開始を認めた点である。また、完全請負工事及び仕様書に掘削工法を指定しなかったことにより、掘削工法の変更などについて、強制力のある指示ができず、発注者からの提案という形でしか受注者へ意思を伝えられなかつたことが挙げられる。

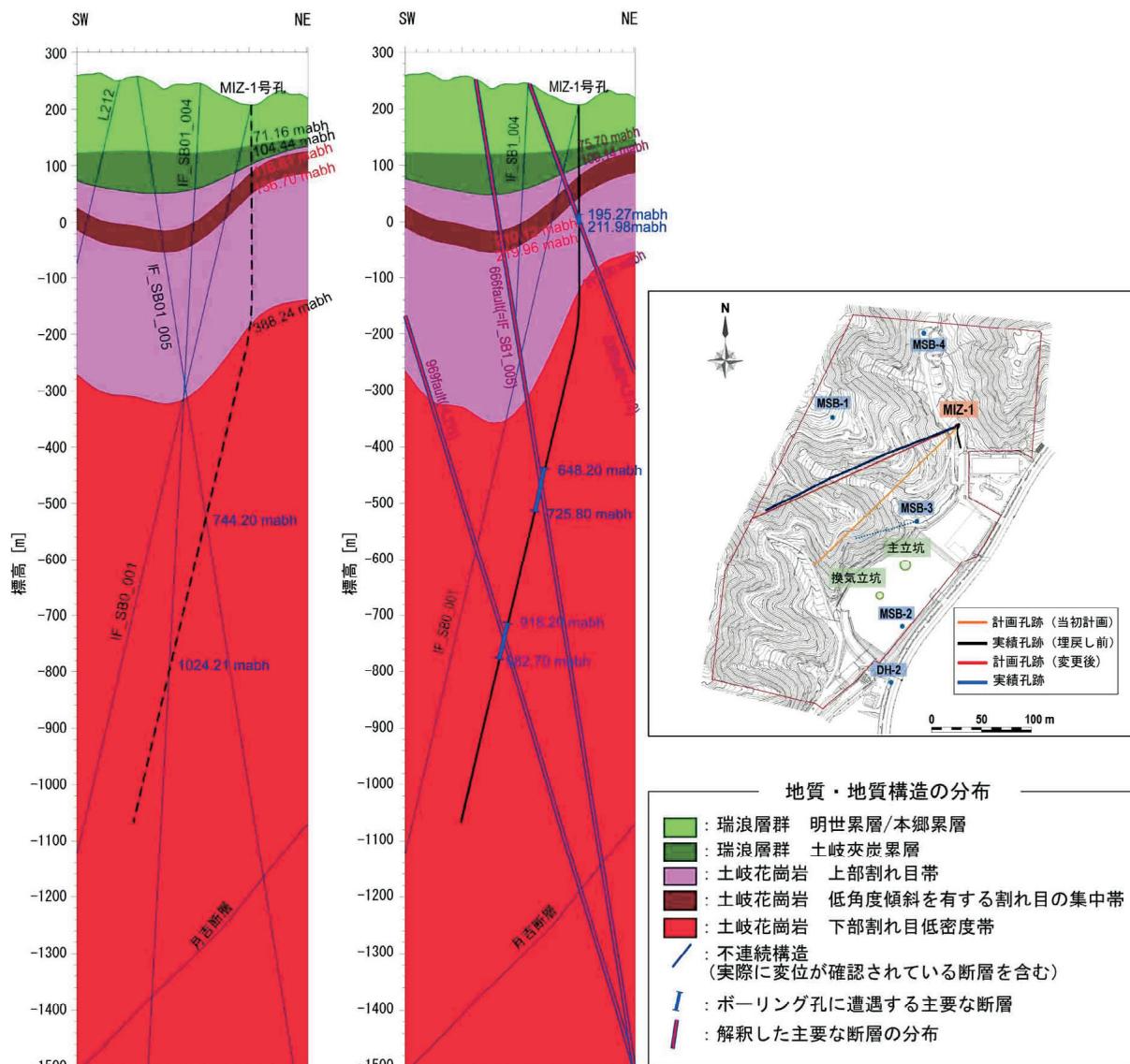
(4) 対処

本調査で発生した主要な事象とその対処を以下に記す。

注7) 岩石サンプルが取得されないこと。

注8) 楔状の資材（ホイップストック）をボーリング孔内に設置して、ボーリング孔を曲げたり、枝掘（サイドトラック）を行ったりする掘削方法。

注9) Measurement While Drilling の略



左図：地表からの調査・解析結果に基づき更新した地質構造モデル

右図：ボーリング孔を利用した調査・解析結果に基づき更新した地質構造モデル

※図中の深度[mabh]は、それぞれ、ボーリング孔での遭遇予測深度（左図）と実際の遭遇深度（右図）

(核燃料サイクル開発機構, 2005 p.4-66 を一部編集)

図 17 深層ボーリング調査 (MIZ-1 号孔) における調査結果 (地質構造)

【事象 1】コア回収率及び掘進率の低下 (調査研究への影響 : 地質情報の欠如と工程遅延)

コア回収率の低下は、基盤花崗岩直上の新第三紀層の礫岩層において発生した。また、砂岩や泥岩部分でもコア痩せが一部に認められた。コア回収率の問題は基盤花崗岩でも同様に発生しており、研究上、最も重要な部分である断層破碎帶では殆どコアが採取できなかった。

(原因)

コア回収率低下の主要な原因是、掘削時における高い送水圧の設定が考えられる。本工法は、送水圧をダウンホールモーターの駆動力にしているため、従来のワイヤーライン工法に比較して高い送水圧に設定する必要がある。そのため、礫岩層の基質部が高圧の掘削水で洗い流されるため、コア回収率の高い三重管方式を併用しても、54%までコア回収率が低下した。さらに構造上の問題として、通常のワイヤーライン工法に比べ岩盤の切削面積が大きく、かつ、コア回収用の掘削ビットの掘削速度に比べ、ダウンホールモーター等の直径分を確保する拡径ビットの掘削速度が遅く、拡径ビットの掘削速度が全体の掘削速度を決定している。そのため、従来工法に比べ、

採取したコアが掘削水に洗われている時間が長くなることもコア回収率低下の一因と考えられる。
(対処)

実施した対処として、コアが洗い流されないように送水圧を絞ることを行ったが、ダウンホールモーターの駆動力を送水圧に頼っている以上、必要な圧力以下には低下させることができない。また、送水圧の低下は掘削速度の低下に直接結びつく。そのため、ビット先端へ流れる掘削水の量を減少させる等の機器の改良を実施したが、有効な解決策とはならなかった。結局、コア回収やビット交換などの付帯作業を加えた平均掘進率（24時間あたりの掘削長）は、新第三紀の堆積岩（軟岩）から基盤花崗岩上部（掘削長 2.82m-116.28m）までの区間で 3.2m/24h、花崗岩上部からコントロール掘削開始部（123.00m-250.00m）までは 2.8m/24h、コントロール掘削開始部からコントロール掘削の失敗による掘削停止（250.00m-502.82m）までは 2.4m/24h であった。これに対して、掘削長 356.00mからの再コントロール掘削後（掘削長 494.81m-1300.20m）から通常のワイヤーライン工法に変更した結果、付帯作業を加えた平均掘進率は先端駆動型工法の 2 倍以上の 6.6m/24h に向上了。これは計画時の予想掘進率に近い値である。

【事象 2】バイブレーションの発生（調査研究への影響：工程遅延）

先端駆動型工法による掘削中にバイブレーションが発生し、掘削不能となった。

(原因)

原因としては、ビットや送水量の不適合、及び回転軸の軸ずれ等が考えられる。その中でも、主たる原因としては、コアバーレルと拡孔装置との軸ずれによって孔壁とビットが干渉し、バイブレーションが発生したことが考えられる。バイブレーションによる掘削停止は 2 回発生したが、最初のバイブレーションとなった軸ずれの原因是、拡径ビットの著しい磨耗によるものと推定された。また、2 回目は、花崗岩の硬さに対して掘削装置の剛性が低く、掘削中に掘削装置の腰折れや回転軸の支持部の遊びにより、軸ずれが生じたものと考えられる。

(対処)

本事象に対する対策として、外管内でのインナーツールスの遊びを小さくするため、セントラライザーを取り付けた。その結果、鉛直掘削においてはバイブレーションを抑えることができた。また、併せてバイブレーション防止と掘進率向上を目的にビットの適合試験を実施したが、最適なビットを選定するまでには至らなかった。

【事象 3】コントロール掘削の失敗（調査研究への影響：調査目標の未達成及び工程遅延）

コントロール掘削開始点（掘削長 250 m）を過ぎても計画の南西方向にボーリング孔を向けられず、結局、試行錯誤を繰り返し、掘削長 502mまで掘削したが、計画線に対して 90° 東に逸れる結果となった。

(原因)

コントロール掘削が計画通り実施できなかった原因としては、掘削ツールスの剛性不足が挙げられる。これは、掘削ツールスが岩盤の強度に負けて腰折れを起こし、計画の方位・傾斜に掘削ツールスを向けることができなかつたことと推測される。また、掘削作業員も先端駆動型工法によるコントロール掘削に習熟しておらず、掘削時の反力による掘削ツールスの捩れなどを考慮した角度設定ができなかつたこと、及びボーリング孔の方位・傾斜の測定方法が一定せず、測定から得られたボーリング孔の方位・傾斜の値から適切な判断ができなかつたことも大きな要因のひとつと考えられる。

(対処)

先端駆動型工法に代え、実績のある従来工法（ホイップストック工法によるサイドトラック掘削及び方位・傾斜を計測しながら掘削する MWD 機能付きノンコアコントロール掘削）を海外の技術者を招いて行い、計画の方位・傾斜にボーリング孔を曲げることに成功した。

【事象 4】逸水（調査研究への影響：掘削水の混入による地下水水質の変化）

逸水とは、掘削中、ボーリング孔内と地上間を循環させている掘削水が岩盤内へ流入し、地上に掘削水の一部及び全量が戻ってこない現象をいう。

（原因）

岩盤内に透水性の高い地層や割れ目が存在し、その場の間隙水圧が掘削水の送水圧より小さい場合に発生する。

（対処）

本調査では、ロッドの先端にシングルパッカーを取り付け、セメントや逸水防止剤^{注 10)}、または両者を同時にパッカーアクション下の区間に注入する方法、及びシングルパッカーを使用せずにロッドを逸水箇所上部に挿入し、逸水防止材を注入する二種類の方法を試みた。

シングルパッカーを用いた方法は、後の試験のために、可能な限り逸水対策区間を限定したい箇所（掘削長 116m、128m、158m、225m、266m、278m）で実施した。一方、ロッドによる逸水防止剤注入は、「逸水防止材注入→後押し水注入→孔内洗浄→余剰逸水防止材の排除」という手順で、掘削長 280m 以深で実施した。その結果、両方法とも期待した止水効果が得られた。

【事象 5】孔壁への黒色物質の付着（調査研究への影響：地質学的情報の欠如）

BTV 観察時に掘削長 123m から 502m の区間において、ボーリング孔壁に黒色付着物が認められ、壁面画像から割れ目などの不連続面の抽出が難しい状況となった。

（原因）

孔壁の黒色付着物は、化学分析の結果、鉄と硫黄の存在比が高いことから硫化鉄や酸化鉄であると考えられる。黒色付着物の主成分である鉄と硫黄の主要な供給源としては、鉄は掘削ビットの磨耗により、また、硫黄は地下水から供給されていると推測される。しかし、広域地下水流动研究も含め、これまでのボーリング調査では孔壁への黒色付着物が認められておらず、本ボーリング調査で初めて経験した現象である。

黒色付着物が認められた区間は、先端駆動型工法で掘削した区間にあたることから、本ボーリング調査と従来のボーリング調査で大きく異なる点は、掘削工法のみである。そのため、掘削工法の相違点から本事象の原因を考察した。その結果、原因として以下の 2 点が考えられる。

- 従来工法は、掘削ロッド自体を回転させて、その先端にある掘削ビットで岩盤を掘削する。一方、先端駆動型工法においては、掘削中にダウンホールモーターより上部の掘削ロッドは回転しない。そのため、従来工法では掘削中に掘削ロッドが常に孔壁を擦ることになるが、先端駆動型工法ではそのようなことがないため、従来工法に比べ、孔壁へ物質が付着し易いものと考えられる。
- 黒色付着物の区間は、花崗岩に入り、掘削長 250m からコントロール掘削を行った区間にあたる。この区間は、前述のように先端駆動型工法の掘削ツールスに問題が頻発し、コントロール掘削も計画通りに実施できなかった区間である。そのため、掘削ツールスの修理や資材待ちによって、予想外にボーリング孔を放置したため、孔壁に付着物が生成する時間を与えた可能性がある。これは、問題の区間の上部ほど付着物が濃いことからもいえる。

（対処）

孔壁への付着物の除去方法については、物理的及び化学的な方法を検討した。その結果、環境への影響や作業期間の観点から掘削ビットによるリーミング（拡孔）及び掘削ロッドにワイヤーブラシを取り付け、回転させながら掘削ロッドを降下させる方法を試みた。前者については、適切なサイズのリーミング資材が現場ではなく、新規に機材を調達する必要があった。しかし、機材準備に要する時間が工程上容認できるものではなかったため、手持ちの機材で実施せざるを得

^{注 10)} 古紙や綿花などの植物の繊維からなる止水用材料

なかった。結果は孔壁に螺旋状のキズをつけたのみで効果は全くなかった。また、ワイヤーブラシも孔壁保護の観点から強度のあるものが使えなかつたため、結果として付着物を完全に除去することはできず、孔内洗浄後も BTV 観察では部分的に割れ目の抽出が困難であった。

(5) 対策

- ① 仕様書に具体的な掘削工法及び想定される事象発生時の対応などを記述する。
- ② 受注者側から工法などの提案があった場合の検討においては、発注者が指定した工法との技術的比較、問題が発生した際の代替工法の内容及び工法変更の判断基準や時期、変更に伴う経費などの責任分担などについて具体的に受注者と協議しておく。
- ③ 毎作業日の朝の打ち合わせで、当日の作業目標及び目標が達成できなかつた場合の原因とその改善策、及び可能であれば工程挽回策などを受注者に必ず確認する。
- ④ 発注者から受注者への指示が実際に作業を実施している協力業者の作業員に伝わっていないことが多々あったことから、発注者-受注者間および元請-協力業者間のコミュニケーションを改善するため、受注者（元請け及び協力業者の代表者）出席の拡大工程会議等を開催するよう仕様書に明記する。
- ⑤ 完全請負工事という契約形態においては、受注者の人的要因による問題発生は、受注者の責任において解決することが基本である。したがって、本調査で問題となつた掘削工法の機能不全による低い掘進率やコントロール掘削に関する問題は、契約金額の変更を伴う契約変更などの措置を探るべき事項ではないと判断した。そのため、早い時点から工程会議の場などで工程遅延の対策を議論していたにも関わらず、受注者へは「提案」という形で掘削工法の変更を促すに留まり、その結果、大幅な工期遅延を招いてしまつた。したがって、契約形態の如何に関わらず、調査時における受注者の問題対応能力を的確に見定め、早期に掘削工法の変更に関し強い指示を出すべきであったと考える。

(6) 総括

深層ボーリング調査においては、人的要因や自然条件に起因する多くの問題が発生し、予想外に困難な調査となつた。しかし、関係者の多大な努力によって不連続構造の地質学的性状及び水理学的特性、並びに深度 1,000m 以深までの基盤花崗岩での地質・地質構造、さらに地下水の水質などの地質環境特性の初期状態の把握といった本調査の主目標を達成することができた。

工程遅延の主原因である掘削工法については、採用を硬岩での事前適用試験を行う条件で承認した。それにもかかわらず、受注者の都合で事前適用試験を実施しないことを黙認し、第 1 段階の調査研究工程を優先したことが、約 6 ヶ月という大幅な工程遅延を招いてしまつた第一の原因である。

第二の原因としては、本調査が完全請負工事の契約形態であることから、発注者には、「受注者側の人的要因による工程遅延に伴う追加費用は受注者の負担である」との考えがあり、受注者に対して強制的な工法変更の指示が早期に出せなかつたことが挙げられる。調査開始前の事前検討において代替工法を準備することも提案工法を承認する条件としていたが、実際に工法変更のための準備がなされたのは、最初のコントロール掘削が失敗し、掘り直しの決定が下されてからであり、資材準備のための待機時間も、工程管理上、無視できないものであった。

これらの問題に対する解決には、調査契約の金額を算定する際には、必要最小限の金額を見積もることが前提となるが、一般的な建屋の建設工事の場合と異なり、調査の実施において変化する自然状況への対応は必須のものであり、これに係る費用を適切に協議できる場の設置など、受注者が合理的に施工できる環境を作ることが重要である。

5.2.2 孔間弾性波トモグラフィ探査

(1) 事象

2本のボーリング孔（孔間距離：約 265m）を用いた孔間弾性波トモグラフィ探査を計画したが、発振孔から受振孔へ信号（弾性波）が届かなかつたため、地表発振-孔内受振というレイアウトに変更して実施した。

(2) 経過

孔間弾性波トモグラフィ探査は、第1段階における最後の野外調査として、研究所用地のより詳細な地質構造の把握を目的に、深層ボーリング孔（MIZ-1号孔）と研究所用地近傍の既存ボーリング孔（DH-2号孔）^{注11)}を用いて実施する計画であった（図18）。仕様の検討にあたっては、使用する孔内震源として、フィンランドのVibrometric社のSPH-54（発振エネルギー：約400J）、応用地質株のOWS（OYO Wappa Source：100J）、JOWS（JNOC-OYO Wappa Source：約1600J）、JFEシビル株の大型ピエゾ震源（約640J）の4種類が候補に挙げられた。なお、震源エネルギーの大きさの観点では、エアガンタイプの孔内震源も考えられたが、孔内に設置したケーシングを変形・破損させる恐れがあるため、検討から除外した。

本調査では、前述の深層ボーリング調査の工程遅延によって、MIZ-1号孔を用いたマルチオフセットVSP探査を並行して行うことになったため、MIZ-1号孔を受振孔に、DH-2号孔を発振孔として使用することとした。そのため、DH-2号の孔径98mmに適合する孔内震源が必要であるため、震源装置の直径が54mmで、花崗岩中のトモグラフィ探査で発振点-受振点間の距離が約450mの実績を有するSPH-54を本調査用の孔内震源に選定した。

本調査はMIZ-1号孔とDH-2号孔とを受振孔及び発振孔として、2004年10月22日より開始した。測定の前に発振・受振テストを行った結果、DH-2号孔から発振した弾性波は、MIZ-1号孔まで伝播しないことが判明した。その原因を探るため、震源の開発元（Vibrometric社）に装置の機能や測定時のパラメーター設定の確認などを行ったが、開発担当者との連絡に手間取り、約2週間という工程管理上無視できない貴重な時間を費やしてしまった。そのうえ、開発元の指導の下での機器の再調整後も孔間での弾性波の受振はできなかつた。このSPH-54の調整・試験と並行して、発振エネルギーのより大きい大型ピエゾ震源を取り寄せ、MIZ-1号孔及びDH-2号孔を各々発振孔、受振孔とした孔間での発振・受振テストを実施した。しかし、1000回にも及ぶスタッキングにも関わらず、結果はSPH-54と同様に、発振孔からの弾性波を受振することができなかつた。

調査時点で手配可能な孔内震源による孔間弾性波トモグラフィ探査が実施できないことが明らかになつたことから、その代替案として、地表発振・孔内受振という配置（図19）での弾性波トモグラフィ探査の準備に取りかかった。また、図19から明らかなように、この調査配置では、孔間中央部に解析不能な部分が生じるため、その補足として、MIZ-1号孔とDH-2号孔を用いた孔間比抵抗トモグラフィ探査も追加で実施した。さらに、実績上では問題なく孔間での受振が可能な震源を用いたにもかかわらず、受振できなかつた原因を解明するため、SPH-54震源での弾性波の伝播能力試験を孔内発振・地表受振の形で実施した。

代替案の弾性波トモグラフィ探査では、並行して実施中であったマルチオフセットVSP探査の地表震源（電磁バイブレータ震源及びミニバイブルレータ：図20）が利用可能であったため、11月13日より2日間で調査を終了することができた。また、比抵抗トモグラフィ探査も弾性波トモグラフィ探査の実施中に機材の準備を行い、11月15日から3日間で調査を終了した。SPH-54震源の伝播能力試験においては、DH-2号孔を発振孔として、孔口から受振器を地表に展開した。その結果、DH-2号孔の孔口から45m付近にある受振器から弾性波の振幅が急激に小さくなり、孔口から85m地点の受振器において辛うじて初動が確認できるレベルであった。この結果から2孔間の岩盤内に水平方向の弾性波を大きく減衰させるような岩盤の脆弱部の存在が示唆された。

^{注11)} 広域地下水流动研究の一環で平成5年度に掘削されたボーリング孔（掘削長約500m）

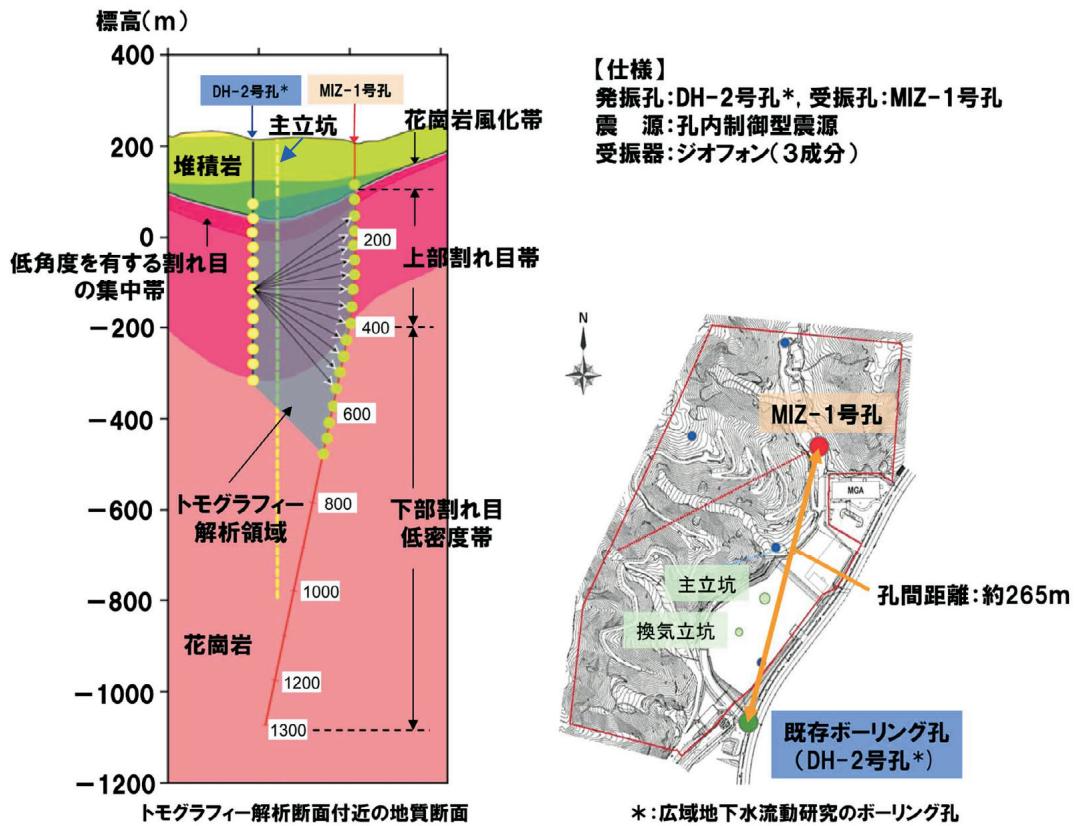


図 18 孔間弾性波トモグラフィ探査の配置（計画時）

(3) 原因

発振孔からの弾性波を受振孔で捉えられなかった原因としては、自然条件と人的要因の2つを考えることができる。自然条件としては、孔間の岩盤内に弾性波を大きく減衰させる断層破碎帶のような岩盤の脆弱部の存在を挙げることができる。一方、人的要因としては、孔内震源の検討の際、選定理由の根拠となる過去の実績に関する情報を鵜呑みとして、実績として挙げられた調査における岩盤の状態などの詳細な背景情報の収集を怠ったこと、及び、調査計画立案時には、すでに既往の調査によって調査範囲に断層破碎帶の存在が推定されていたにも関わらず、調査におけるこれらの影響に対する認識が薄く、選定された孔内震源における調査の成立性の検討が十分ではなかったことも挙げられる。

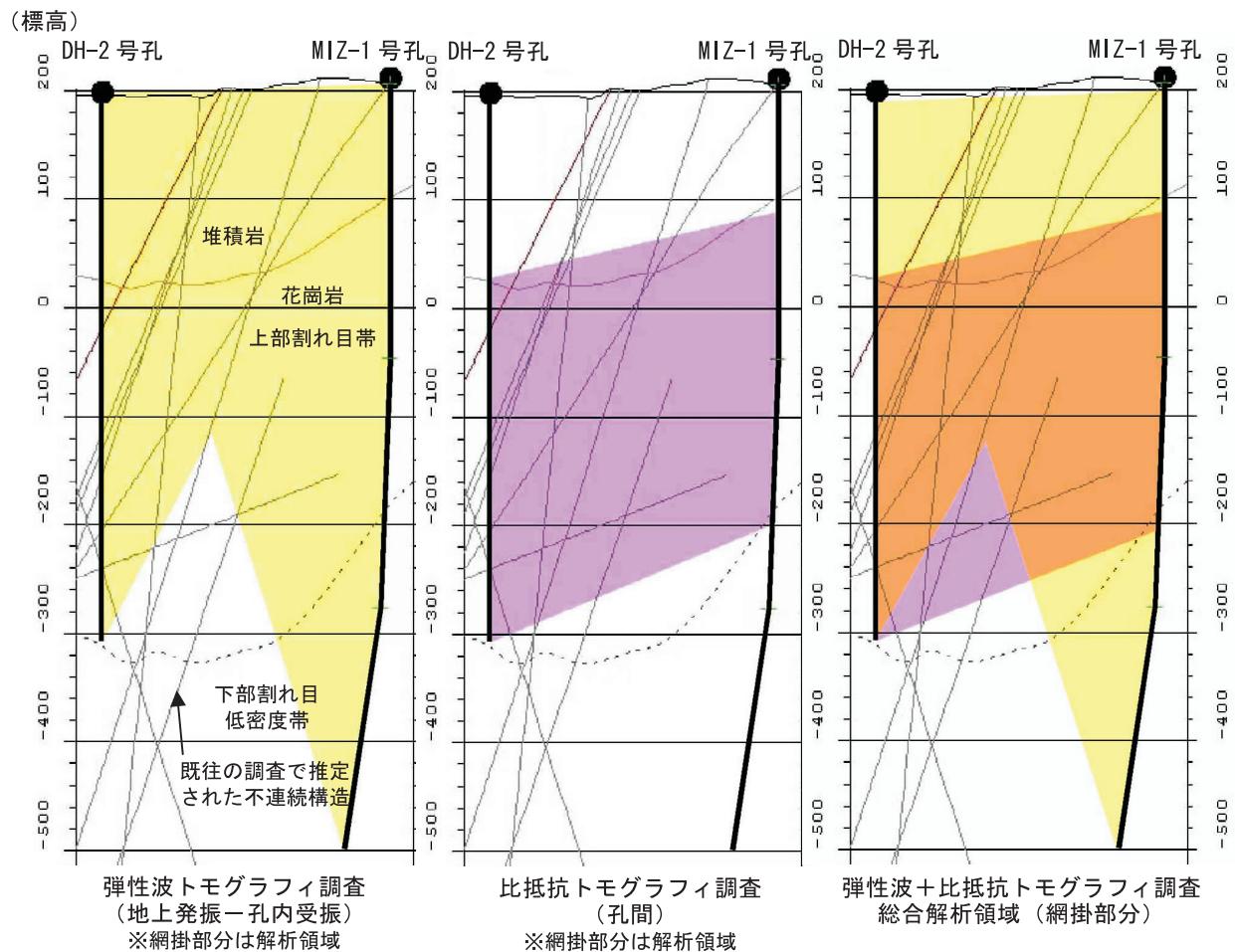
(4) 対処

【事象 1】孔間での弾性波の未到達（調査研究への影響：調査目標の未達成）

SPH-54震源を用いてMIZ-1号孔とDH-2号孔を各々受振孔及び発振孔とした孔間弾性波トモグラフィ探査を計画したが、過去の実績の到達距離（約450m）に比べ十分短い孔間距離（孔口間で約265m）であったにも関わらず、DH-2号孔から発振された弾性波をMIZ-1号孔で受振できなかつた。

（対処）

孔内震源を用いた調査が不可能ということが明らかになった時点で、地表発振・孔内受振という配置での弾性波トモグラフィ探査に変更した。また、この調査配置では、孔間中央部に解析不能な部分が生じるため、その補足として、MIZ-1号孔とDH-2号孔とを用いた孔間比抵抗トモグラフィ探査を追加で実施した。さらに、受振できなかつた原因究明のため、SPH-54震源での弾性波の伝播能力の試験を実施した。



【事象 2】震源開発業者との問題発生時の対応に関する調整不足（調査研究への影響：工程遅延）

発振孔からの弾性波が受振孔まで到達しない原因の究明のため、震源の開発元（Vibrometric 社）との確認作業で約 2 週間という工程管理上無視できない時間を費やしてしまった。

（対処）

震源開発担当者は、フィンランド国外へ出張中であり、先方の都合から日本への出張もできないことから、開発担当者とのやり取りは、電子メール及びインターネット経由での測定パラメータの送信といった方法で対応せざるをえなかった。



図 20 地表発振一孔内受振の弾性波トモグラフィ探査において使用した震源装置

(4) 対策

- ① 孔内震源の選定において、受注者の情報のみならず、発注者自身による情報の吟味や確認作業を行なう。また、既往の調査結果から推測できるかぎりの地質状況を想定して、調査の成立性を検討する。
- ② 使用機器の開発元と受注者が事前に問題発生時の対応策や代替工法などの準備、及び問題発生時の責任分担などについて具体的に協議していることを、調査開始前に発注者が確認することが重要である。

(5) 総括

当初計画の孔間弾性波トモグラフィ探査については、孔間での弾性波の受振ができず、調査仕様の変更を余儀なくされた。その代替調査として実施した地表一孔間弾性波トモグラフィ探査及び孔間比抵抗トモグラフィ探査の解析結果から、MIZ-1号孔とDH-2号孔の孔間に複数の高角度の断層破碎帯と考えられる不連続構造の存在が推定された。また、立坑付近の被覆堆積岩と花崗岩との不整合深度及び岩盤の弾性波速度分布も推定され、第1段階の目標である地質環境モデルの構築のみならず、立坑掘削工事にも有益な情報を取得することができた。

本調査で発生した問題については、計画立案時の段階において対象とする調査範囲に不連続構造の存在が予想されていただけに、想定外の自然条件に遭遇した不可抗力的な事象とは言えない。孔内震源の選定や問題発生時の対応など、本調査における問題については、多分に人的要因が関わっていると考えられる。その1つとして、深層ボーリング調査と同様に、調査技術の吟味や問題発生時の対応など、事前の準備が十分ではなかったことが挙げられる。したがって、調査計画の立案にあたっては、適用する調査機器や手法に技術的な不安要素が考えられる場合、事前に適用試験などを実施して潜在する問題点を顕在化させ、本番の調査までに対策を講じておくことが重要である。特に孔間弾性波トモグラフィ探査の場合は、調査の成否に、岩盤の物性、ノイズ状況、試験孔の孔径、岩盤と震源のカップリング等の複数の要因が絡んでくることから、本番の調査の前に、調査対象地における調査の成立性の確認が不可欠と考える。

6. 第1段階を通して得られた教訓

第5章で記したように、第1段階の調査研究における主たる調査目標を達成し、野外調査を計画通り2004年度末までに終了することができた。しかし、表4と表5の比較から明らかなように、深層ボーリング調査及び孔間弾性波トモグラフィ探査においては、自然条件や人的要因による工期遅延や技術仕様の変更などの問題が発生したため、野外での調査研究は全体として約3ヶ月の延長を余儀なくされた。これらの問題は、それ以降の調査研究の工程に大きく影響を与えたが、調査技術開発と場の理解としての地質環境の条件及び特性に関する調査研究との兼ね合い、調査立案時の事前検討の重要性、並びに完全請負工事における発注者側の現場監理の有り方などについて多くの教訓を与えてくれた。また、研究開発業務に対する組織及び研究者・技術者個人の理念や社会的意識が、地域社会の理解・協力を得るうえで最も重要なことが再認識された。

本章では、第1段階の調査研究で発生した問題への対処を通して得られたプロジェクト管理上の知識や経験に基づき、研究開発プロジェクトを安全かつ円滑に推進するための教訓を、地質環境に関する他の研究開発プロジェクト等にも役立つように、より一般化した表現を用いて、知識化に努めた。以下に教訓の要点を箇書きとし、その項目の基となった事例や背景などを解説する。

6.1 計画立案・契約について

- ① 地質環境の条件及び特性の把握のための調査研究には、実績ある業者を選定すること。
- ② 新技術を地質環境の条件及び特性の把握のための調査研究に使用する場合、事前に適用試験を実施し、機能に関する問題点を顕在化させ、対策を講じてから調査研究を実施すること。
- ③ 調査期間及び予算は、想定される自然条件による問題を想定して見積もること。
- ④ 受注者選定方法としては、受注者の力量を客観的に判断できる「総合評価落札方式」などの検討が望ましい。
- ⑤ 契約時には、調査研究において発生が想定される問題に対して、費用などの責任分担のあり方を発注者-受注者間で明確にしておくこと。

【解説】

① 実績ある業者の選定

地質環境の条件及び特性を明らかにすることを目的とする調査研究（特にボーリング調査）には、確実に調査対象となる深度や地質構造などに到達し、品質管理されたデータを取得することが要求される。そのため、以下の項目を満足する業者を選定することが重要である。

- 対象深度まで掘削した実績があり、合わせて多くの自然条件下での経験を積み、技術的課題に対するノウハウを有している、あるいは、技術的課題に対応できる関連会社などを保有していること。
- 科学ボーリング調査において、目的を理解し、必要な調査機材の調達及び体制が組めること。特に調査上の品質保証に関して高い意識を有しており、実際に遂行できる能力をもつこと。
- 協力業者（下請け、孫請け）も含めて、安全面、技術面、品質面、労務管理面を厳格に監理し得る能力を有すること。
- 将来実施される処分事業での調査を確実に遂行するための知識やノウハウの蓄積の機会と捉え、発注者と協力して積極的に調査方法や手順などを改善していく意識を有すること。

② 地質環境の条件及び特性の把握のための調査研究と調査機器開発などの適用試験との区分

対象となる領域の地質環境の条件及び特性を調べる調査は、現実的な調査期間や予算が組まれ、

その制限の中で計画した調査を実施することが求められる。そして使用される調査機器などが仕様上の精度や機能を完全に発揮できることを前提に調査計画が立案される。一方、調査技術開発においては、机上では想定できぬ機能上の問題を抱えている場合があり、実際の地質環境に適用して初めて問題が顕在化することがある。第1段階における深層ボーリング調査における掘削工法がその例といつてよい。深層ボーリング調査の例のように、技術的に成熟していない新規技術を対象となる領域の地質環境の条件や特性を調べる調査に使用した場合は、地質環境への適用によって顕在化する問題によって、調査対象のデータが必ずしも十分には得られず、調査目標を達成できなくなることが想定される。そのため、地質環境の条件及び特性の把握を目的とした調査研究と調査技術開発のための適用試験は、明確に区分して実施することができるため合理的である。

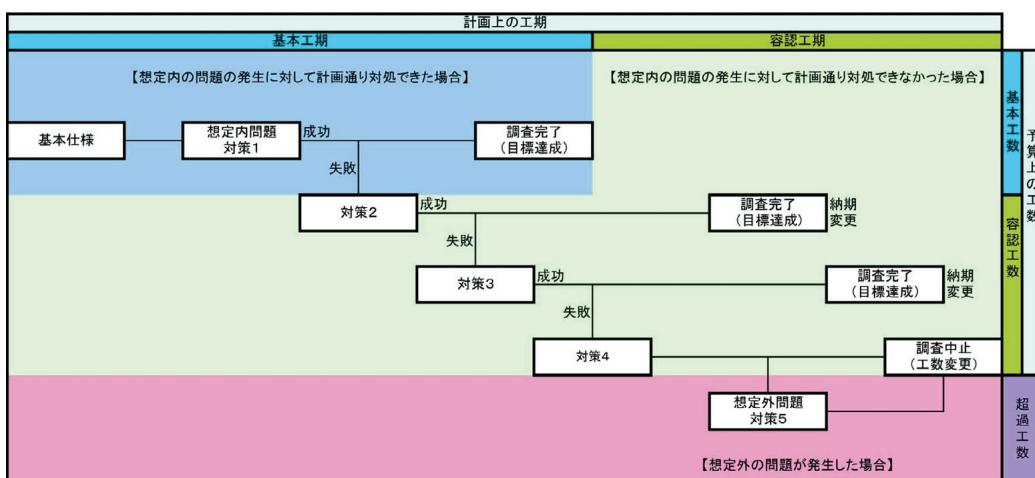


図 21 PDPC を活用した問題発生を想定した調査計画立案の概念

③ 想定される自然条件に起因する問題を想定した調査予算

過去の土木工事などの事例からも明らかなように、地質環境という不均質で不確実な場や現象を対象にした調査研究や工事には、自然条件に起因する問題がつきものである。その上、地下施設の設計、施工及び安全評価の観点では、断層破碎帯などの脆弱な部分が調査研究の主要な対象となるため、問題の発生確率はさらに高いと考えられる。したがって、問題発生を前提とした計画立案が重要であり、そのためには、既存の情報を最大限活用して、調査研究で遭遇する可能性のある地質状況を想定し、発生が予想される問題の対処に必要な作業・資材を考慮して、調査期間及び予算を設定する必要がある。また、普段から、過去の調査事例や現場経験者から調査の留意点などのノウハウに関する情報の収集に努めることが肝要である。

問題発生を見込んだ調査計画を立案するうえで有効な検討ツールの1つとして、PDPC^{注12)}の活用が挙げられる。この手法を用いた調査計画の立案作業では、調査の開始から終了までに、想定される問題が発生した場合、対応策が計画通り行えた場合と失敗した場合を考え、失敗した場合は新たな対策を実施する等、調査期間と総工数（予算）を制約条件として、どのような状況の時にどのような判断を下すかを事前に決定しておくものである（図21）。

想定する問題は、基本的に自然条件による問題のみとし、調査目標の達成度、調査期間、実施工事費に影響を与えるものを列挙しておく必要がある。その際、検討の範囲を限定するため、許容される調査期間・総工数（予算）及び最低限達成すべき調査目標を制約条件として、事前に決

注12) Process Decision Program Chart の略

定しておく必要がある。これらの制約条件を設定せずに作業を実施した場合、最も重大な判断である調査中止の決断時期が曖昧となり、後続の調査研究の工程に多大な影響を与えててしまう。また、PDPCを効果的に工程管理に活用するためには、設定した判断の分岐に時間的な期限を設けることである。例として深層ボーリング調査の場合、PDPCを用いた工程管理は、工程遅延が大きな問題となってから始められた(図22)。しかし、問題発生時の分岐点において、判断するための基準や具体的な対策方法を明確に設定しなかったため、結果として試行錯誤を受注者に許してしまい、発生した事象から具体的な対処作業までのフィードバックに時間を要してしまった。

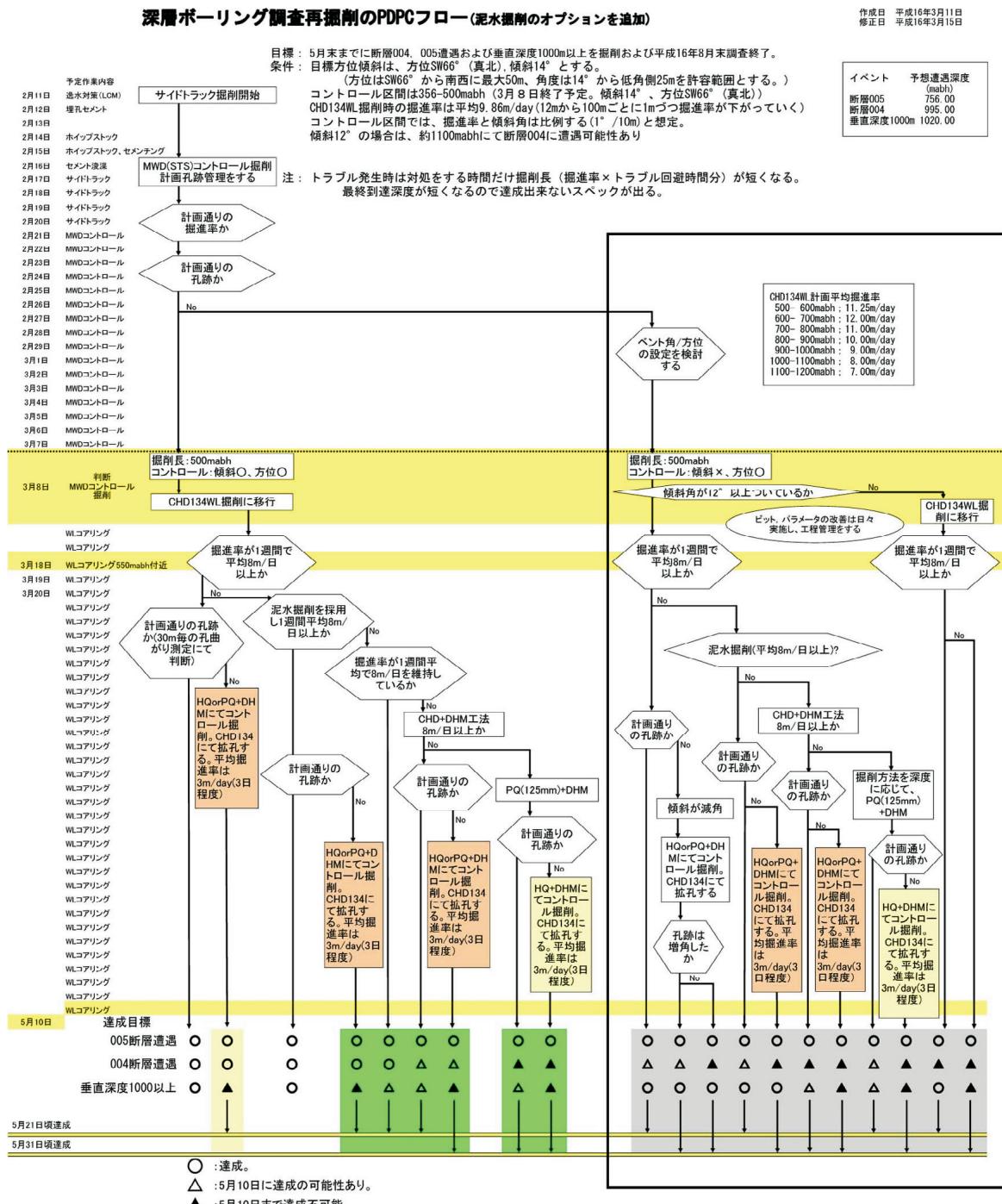


図 22 PDPC を用いた深層ボーリング調査の工程検討事例

④ 総合評価落札方式などの技術提案型による受注者の選定

地層処分技術の研究開発においては、調査研究における計画、作業、成果の全てに対して、高い品質保証・管理及び透明性や追跡性の確保が要求される。勿論、これらの事項は従来の土木工事や環境調査などにおいても重要であることには変わりはないが、地層処分の場合、多様なステークホルダーを考慮する必要があるため、より高いレベルの対応が要求されることが考えられる。

調査研究の成果の品質などは、受注者の本分野に対する意識や力量に大きく依存するため、受注者の選定においては、従来の入札価格のみによる契約方式ではなく、調査研究における品質保証・品質管理方法や想定される問題の対処方法などを提示させ、その優劣を総合的に判断して受注者の調査研究に関する遂行能力を客観的に評価できる「総合評価落札方式」等の技術提案型が望ましいと考える。

⑤ 責任分担の明確化

計画立案の項目でも述べたように、地質環境という不均質で不確実な場や現象を対象にした調査研究には、自然条件に起因する問題がつきものである。契約時には、想定される問題に対する追加費用などの責任分担を発注者-受注者間で十分協議し、作業開始前までに明確にしておく必要がある。これによって、調査終了後の実施工事費に対する精算時の調整などが円滑に進めることができるとともに、調査中、受注者に過度の経済的なリスクの心配をさせず、結果として現場の技術者の士気を保つことから、現場監理の観点からも重要と考えられる。

6.2 現場監理について

- ① 現場作業開始前までに調査研究計画書を受注者と協議しながら作成し、調査研究の目標や要求されるデータの品質、問題の発生を想定して作成したP D P Cに示された調査目標を達成するための重要な工程確認点の時期などを協力業者も含め、調査に関わる作業員全員に十分周知・徹底すること。
- ② 現場作業開始前までに調査研究における各作業に対するリスク評価を受注者・発注者双方で実施し、安全確保や環境保全のための方策に見落としがないかを確認すること。
- ③ 日単位、週単位、月単位などで受注者から発注者へ報告すべき項目を研究上の重要度や優先度から吟味し、これらの情報の項目、及び報告・議論の場を仕様書に明記して、発注者-受注者間のコミュニケーションが効果的に実施できるように留意すること。
- ④ 工程管理においては、当日の作業目標を作業前に確認し、翌日、作業実績を報告させ、もし目標が未達成の場合は、遅延原因とその対策を報告させることを受注者に義務付け、工程遅延を最小限に留める努力をさせること。
- ⑤ 作業内容の変更や問題が生じた場合は、速やかに発注者に報告することを受注者に義務付け、対処方法などを発注責任者が了解するまでは作業を停止させておくこと。
- ⑥ 問題の解決には、想定される最悪のシナリオを考え、最も確実な方法を選択すること。
- ⑦ 野外での調査研究時においては、地物の変更を最小限に留めること、及び調査後の原状復旧を徹底すること。

【解説】

① 調査研究計画書の作成による発注者と受注者との意識合わせ

契約締結後、現場作業開始前までに、作業工程、作業体制、使用する調査・解析手法、想定される問題の対策、各作業の手順書、品質管理や安全確保のための作業チェックリスト等を記した調査研究計画書を受注者は発注者と協議しながら作成し、協力業者も含め、調査に関わる作業員全員に当該調査研究で達成すべき目標や要求されるデータの品質などを十分周知・徹底することが重要である。特にボーリング調査の場合、元請業者の下に複数の協力業者が従事し、実施する

作業項目も多種に渡ることから、調査研究計画書作成のための検討と発注者-受注者間の意識合わせの時間を確保するため、契約締結から作業開始までの期間に余裕を持たせる必要がある。

② 安全確保及び環境保全

第4章で述べたように、地質環境特性の調査・評価技術の開発であっても、原子力機構が実施する以上、社会的に原子力分野の考え方を準じた安全確保や環境保全への配慮が求められることから、安全確保と環境保全は調査研究実施の大前提である。そのため、上記の調査研究計画書には安全確保及び環境保全の項目を立て、これらに対するリスク評価とその結果に基づく具体的な安全方策を発注者及び受注者共同で検討する必要がある。発注者は、調査研究計画書に記載されている安全確保及び環境保全の方策や法的順守が確実に行われていることを日々の巡視で確認し、不備が認められれば直ちに指摘し、その場で改善させることが重要である。また、これらの順守状況を受注者に定期的に書面で提出させ、記録として残しておくことも必要である。

③ 発注者-受注者間の効果的なコミュニケーションの実施

第1段階の調査研究（野外調査）における日々の工程管理の方法として、前日の作業実績と当日の作業内容（目標）の確認及びボーリング調査時の孔内水位などの研究上重要と考えられる情報の収集のため、発注者及び受注者双方の担当者が出席する会議を毎作業日の作業開始前に行うとともに、週単位、月単位の工程会議を開催した。また、その際の提出図書類についても、工程会議の開催とともに仕様書に明記した。しかし、調査開始後しばらくは、指示した図書類の提出の遅延や内容の不備などの問題が生じた。この問題は調査ごとに改善に要する期間の長短はあるものの、調査の度に繰り返される。原因としては、以下の事項が考えられる。

- 提出を求めている図書類が調査試験の品質保証や工程管理など、調査研究の目標達成に重要なことを受注者側の作業員全員に適切に理解されていない。
- 同種の調査を同じ業者が再び受注したにも関わらず、作業員が必ずしも同一ではないため、前回の調査で習得したスキルやノウハウが活かされない。
- 発注者側の問題として、仕様書上において受注者に提出を求めている資料（情報）に関して、研究上の重要性や優先度などの観点での内容や提出期限などの整理が十分ではなかった。

上記問題を解決する方策としては、以下の事項が考えられる。

- 研究上の重要度や優先度を明確にしたうえで、受注者に提出を求める図書類の記入事項を整理・合理化し、受注者の作業負荷を低減した上で、厳守すべき提出期限を明確にする。
- 発注者及び受注者共同で作成する調査研究計画書の作成過程を通して、発注者の意図を受注者（協力業者も含む）の全作業員へ理解してもらう。

また、発注者-受注者間のコミュニケーションの改善を図るべく、深層ボーリング調査においては、月1回の拡大工程会議を開催し、協力業者も含めて受注者の代表に出席してもらい、調査が抱える技術課題や現場監理上の問題点などを協議し、情報の共有と、意思統一する場を設けた。しかし、期待したほどの効果は上がらなかった。その理由としては、前章で述べたように完全請負工事という契約形態のもと、調査における責任分担を発注者及び受注者双方で明確にできずに、大幅な工程遅延に関する議論が中心議題になったことが考えられる。さらに発注者側の反省点として、調査が仕様書通りに実施できることを前提に調査計画を立案したことから、本調査において必須の達成目標に関する組織としての意思統一が十分でなかった。したがって、調査研究の目標達成に向けて最も効果的な手法や手順を選択できるよう、調査研究計画書の作成過程において発注者と受注者が互いに有するノウハウを持ち寄って議論する場をもつことが重要と考えられる。

④ 日単位の工程管理の重要性

毎作業日の作業開始前に発注者及び受注者双方の担当者が、前日の作業実績と当日の作業内容（目標）を確認することが工程管理の基本である。その際、前日の作業目標が達成されなかつた場合は、必ず受注者にその原因と改善策を回答させることを義務付けることが重要である。また、当日の作業で危険な作業形態があると判断された場合は、作業効率より安全確保を最優先し、是正を求めるべきである。

⑤ 速やかな報告による問題拡大の防止

作業内容の変更や問題が生じた場合は、受注者から発注者へ速やかに報告させるとともに、対処方法を発注責任者が了承するまでは、作業を停止させておくことが、二次災害や無用な工程遅延を防止する上で重要であると考えられる。報告の遅延が判断のタイミングを遅らせ、結果として問題の規模や対策費の増大につながる可能性が高いことを忘れてはならない。

⑥ 問題解決には、最も確実度の高い対策を講ずること

調査上の問題が発生した場合、受注者は、自己負担の出費を可能な限り低減したいため、安価で済む方法で対応しがちである。また、現場経験の長いベテラン作業員でも、そのような状況では安易に対処しがちであり、現場の独断で対策作業を実施し、結局、手に負えない状況になった段階で発注者へ報告するケースが多い。

しかし、これまでの研究所計画や広域地下水流动研究における野外調査での経験では、絶対と言えるほど、安価な方法で解決した例はなく、試行錯誤を重ね、無駄に時間と費用を浪費し、問題が解決できないばかりか、さらに状況が悪化するのが常である。結局は、調査が完遂しなければ、契約金が支払われないことから、コストが高くとも、最も確実な方法を探らざるを得なくなるのである。したがって、問題が発生した場合は、想定上、最悪のシナリオを考え、最も確実な方法と考えられる対策を選択することが、結果として問題解決のための時間と費用の節約になるものと考えられる。一つの事例であるが、ボーリング孔内に機材を落下させ、回収しなければならないことがあった。普通の業者ならば闇雲にフィッティングツールを降ろし、落下物を吊り上げるまで何度も上げ下げを繰り返すのであるが、その時は、ボアホールテレビで落下した機材の位置と形状を確認し、その形状に合わせたフィッティングツールを準備した。そのツールを用いて回収作業を実施した結果、1回の作業で機材も破損せずに回収することができた。問題対策に手抜きは通用しないことを現場担当者及び計画管理者は忘れてはならない。

⑦ 調査時における環境保全と協力していただいた地元の方々への感謝の意識の大切さ

研究所用地は瑞浪市からの借地であり、その周辺は全て民有地である。したがって、調査の実施にあたっては、発注者は、地権者に調査の目的や内容を説明し、また調査後の後始末など、地権者の立場になって考えることが大切である。地元の方々には、研究所計画の重要性を理解して、調査研究に協力していただいている。それは、原子力機構という組織ではなく、夜間や休日にも関わらず、協力を得るためにお願いに回っている担当者個人を信用してくれた結果であり、その信頼には真摯に応えるのが当然である。したがって、調査を行う場合は、現状維持に最大限気を配り、地物の変更（地形変更や樹木などの伐採など）を極力避けなければならない。また、地物の変更が避けられない場合は、事前に地権者の了解を得たうえで作業を実施することは言うまでもない。このような作業が発生する場合は、受注者任せにするのではなく、発注者が地権者へ説明に行き、協力をお願いするとともに、作業実施時には常時立ち会う等の配慮が必要である。また、調査終了後には、資材やゴミ等が調査地に残っていないか、構造物や道路、樹木などに損傷を与えていないか、原状復旧作業は適切に行われたか等を、発注者は受注者に同行して確認しなければならない。「調査前よりきれいに」を心掛け、協力していただいた地元の方々の信頼に応えていくことが、研究所計画を円滑に推進する上で最も大切なことである。

6.3 品質保証について

- ① 発注責任者が調査研究計画書を承認するまでは、受注者に現場作業を開始させてはならない。
- ② 品質保証・品質管理の重要性を受注者の作業員まで含めた全員へ周知・徹底すること。

【解説】

① 調査研究計画書による調査・解析の品質保証・品質管理方法の確認

地層処分に必要な地質環境に関する研究成果などの信頼性を恒常的に高めていくためには、処分事業や国の安全規制、及びこれらの各段階で関与する多様なステークホルダーに、研究開発業務で得られた成果を伝え、その妥当性を理解してもらう必要がある。その際、発表する研究成果の品質を保証するうえで、データの信頼性、「透明性」、「追跡性」、「公開性」、「専門家のレビュー」の5点の事項に留意することが肝要である。「6.2 ①」の繰り返しになるが、これらの品質保証上の基本事項に対する具体的なアクションプログラムを「調査研究計画書」に明記させ、発注者はその内容を確認し、発注責任者が承認してから、調査作業を開始することが重要である。発注者は、調査研究の実施（この場合、項目と場所）の機会は現実的に1回しか与えられないことを常に意識して、中途半端な状況で調査研究を開始してはならない。

② 品質保証・品質管理の重要性の周知・徹底

成果としての調査結果が、どのような仕様の調査で取得されたデータに基づき解釈されたかを第三者が確認できることを追跡性の確保という。そのためには、調査仕様の決定のプロセス、調査仕様に基づく日々の現場作業内容、得られたデータの品質や工程などに影響を与えると考えられる事象及びその際の判断のプロセスと結果を記録として残しておく必要がある。作業項目や結果に関する記録については、従来の調査においても実施されてきているが、作業中に発生した事象に関する検討プロセスが記録されているケースは稀である。その理由としては、発生した事象に対する処置などが、現場担当者自身の判断に任されていたからだと推察される。しかし、各事象に対する判断や対処作業は、調査を実施するうえでのノウハウにつながることから、現場担当者個人のスキル向上に留めることなく、各事象に関連する経緯を文書化して、組織として知識やノウハウを共有化していくことが重要である。そのためには、調査の品質保証・品質管理に必要な提出物の項目、作成方法及びチェック体制を具体的に決定しておく必要がある。その際、誰が何を確認するのかを明確にしておくことが重要なポイントである。

第1段階における経験では、調査研究計画書に上記の品質保証・品質管理に関する事項が盛り込まれているにも関わらず、現場では確実に実行されなかつたことが多くあった。その対策として、受注者への意識づけと実施方法の教育が不可欠である。しかし、前述のように同様な調査を同一業者が連續して受注したにも関わらず、現場責任者を含め、全ての作業員が入れ替わったため、再度、意識づけや実施方法の教育を行わなければならぬといった問題があった。

研究所計画は、我が国において実際の地質環境を対象に、その特性や現象を調査・評価するという重要な研究プロジェクトであり、それに係る研究者・技術者個人のスキル向上において、またとない貴重な機会にもかかわらず、十分に生かされていないことは非常に残念に感ずる。研究所計画の有効活用に向け、一層の産学連携強化を図っていく必要がある。

7. おわりに

2002年1月に締結した瑞浪市との市有地の土地賃貸契約及び協定とそれに基づく研究所用地の変更は、我が国の地層処分技術の研究開発の分野にとって重要な出来事であったと思う。研究所計画を受容した瑞浪市や地元明世町の方々のご協力は、原子力の平和利用を進めるうえで重要なものと考える。

1995年8月の研究所計画の公表から研究所用地の変更までは、当時の動力炉・核燃料開発機構、さらにその後身の核燃料サイクル開発機構にとって、これまで経験したことのない地域社会との関わりの中で、本社と事業所、国と地域の認識の差を生身で感じながら、競合する、研究開発の目標達成と社会科学的な配慮の均衡点を手探りで模索していた6年間であった。

その間、研究成果の「第2次取りまとめ」の公開及び国の評価を経て、2000年には事業の枠組みを規定する最終処分法が施行され、それに基づき実施主体（原子力発電環境整備機構）が設立された。また、国の安全規制の体制も、原子力安全委員会及び経済産業省原子力安全・保安院で制度を整備することになり、我が国の地層処分計画の枠組みが整備されていった。地層処分の体制の整備に伴い、2005年10月の日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構の統合により設立された日本原子力研究開発機構となって、地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を果たすことが、従来よりも増して求められている。その背景には、我が国最大の原子力分野の公的研究機関ということだけではなく、唯一、我が国で地域社会に受け入れられた地層処分技術の研究開発のための深地層の研究施設のプロジェクトを計画・運用している実績によるものと考えられる。

このような社会情勢の大きな変化の中で、研究所計画を推進するため、組織一丸となって努力した結果としては、OECD/NEA(2004)で示されている幅広いステークホルダーの信頼を得るために重要な要求事項、つまり「透明性」、「追跡性」、「公開性」、「力量」等を組織として着実に具現化していくこと、及びステークホルダー（地域社会）との関わり方は公平中立であるべきことを実際の体験を通して認識できたことである。そして、研究所計画を受け入れ、協力いただいた地域社会の方々の信頼を裏切らないよう、組織としての社会的責任を果たしていく意識を研究者・技術者個人が持ち続けなければならないことである。これらのことが、組織への信頼をさらに高め、今後の研究所計画を着実に発展させていくための、プロジェクト管理における基本理念と考える。

参考文献

- AECL : Environmental Impact Statement on the Concept for Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste, Atomic Energy of Canada Limited, AECL-10711, COG-93-1 (1994)
- Almén, K.E., Olsson, P., Rönn, I., Stanfors, R., Wikberg, P.: Aspo Hard Rock Laboratory – Feasibility and usefulness of site investigation methods Experiences from the pre-investigation phase, SKB TR-94-24, p.148. (1994)
- DOE : Final Environmental Impact Statement for a Geological Repository for the Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste at Yucca Mountain, Nye County, Nevada, U.S. department of Energy, DOE/EIS-0250 (2002)
- 動力炉・核燃料開発事業団：広域地下水水流動研究基本計画書、動力炉・核燃料サイクル開発機構技術報告書、PNC TN7020 98-001 (1997)
- 古江良治, 岩月輝希, 彌榮英樹, 水野 崇 (2004) : 地下水の水質データ評価のための品質評価システムの構築, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, CD-ROM.
- 原子力安全委員会 : 高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について (1 次報告) (2000)
- 原子力委員会 : 原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画 (1994)
- 原子力委員会 : 我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価 (2000)
- 原子力委員会 : 原子力政策大綱 (2005)
- IAEA : The use of scientific and technical results from underground research laboratory investigations for the geological disposal of radioactive waste, IAEA-TECDOC-1243 (2001)
- 稻葉薰, 三枝博光 : 地下水流動の予測解析総合システム (GEOMASS システム) の概要と東濃地域への適用事例、サイクル機構技報、No. 18, pp. 71-82 (2003)
- 糸魚川淳二 : 瑞浪地域の地質、瑞浪市化石博物館専報、No. 1, pp. 1-50 (1980)
- 核燃料サイクル開発機構 : 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－総論、分冊 1・2・3、核燃料サイクル開発機構技術報告書、JNC TN1410 99-020-024 (1999)
- 核燃料サイクル開発機構 : 超深地層研究所 地層科学研究基本計画書、核燃料サイクル開発機構技術報告書、JNC TN7410 2001-018 (2002)
- 核燃料サイクル開発機構 : 超深地層研究所計画における調査研究の考え方と進め方 (平成 15~17 年度)、核燃料サイクル開発機構研究報告書、JNC TN7400 2004-008 (2004)
- 核燃料サイクル開発機構 : 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤－平成 17 年取りまとめ－分冊 1 深地層の科学的研究－、核燃料サイクル開発機構研究報告書、JNC TN1400 2005-014 (2005)
- Nagra : Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I and II, Nagra Technical Report NTB96-01, (1997)
- 日本原子力研究開発機構 : 超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階 (第 1 段階) 研究開発報告書、日本原子力研究開発機構研究開発報告書、JAEA-Research 2007-043、2007.

OECD/NEA : Establishing and Communicating Confidence in the Safety of Deep Geologic Disposal - Approaches and Arguments-, Radioactive Waste management, ISBN 92-64-09782-1, (2002)

OECD/NEA : Stepwise Approach to decision Making For Long-term Radioactive Waste Management -Experience, Issues, and Guiding Principles-, NEA No.4429, (2004)

太田久仁雄、天野健治、須山康宏、三枝博光：広域地下水流动研究における三次元地質構造モデルの構築、サイクル機構技報、NO. 4、pp. 101-110 (1999)

太田久仁雄、佐藤稔紀、竹内真司、岩月輝希、天野健治、三枝博光、松岡稔幸、尾上博則：東濃地域における地上からの地質環境の調査・評価技術、核燃料サイクル開発機構研究報告書、JNC TN7400 2005-023 (2005)

Posiva : The Final Disposal Facility for Spent Nuclear fuel-Environmental Impact Assessment Report, (1999)

資源エネルギー庁：諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について、p. 136 (2006)

清水和彦：深地層の研究施設計画の現状と課題、第 7 回 NUCEF セミナー講演報文集、pp. 50-53 (2004)

APPENDIX I 研究成果の分野別発表実績

【2002 年度】

●計画書・成果報告書

(1) 地質・地質構造

- 1) Goto, J., Ikeda, K., Kumazaki, N., Mukai, K., Iwatsuki, T., Hama, K. (2002) : Working Program for Shallow Borehole Investigations, JNC Technical Report, JNC TN7400 2002-005.
- 2) 石橋利久, 廣岡知, 岩崎任伯 (2002) : 正馬様用地におけるマルチオフセット VSP 探査, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7420 2002-001.

(2) 岩盤力学

- 1) 加藤春實 (2002) : 深部岩盤における初期応力測定プローブを用いた原位置試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7400 2002-008.
- 2) 加藤春實 (2002) : 土岐花崗岩を対象とした断層の岩盤力学的影響に関する室内試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7400 2002-006.
- 3) 大久保誠介 (2003) : 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－平成 14 年度委託研究報告書 - , 核燃料サイクル開発機構技術資料 (研究委託報告書), JNC TJ7400 2002-011.

(3) 岩盤水理

- 1) 堀田政國, 室井達巳 (2003) : 正馬様用地における MP システムのテレメータ化, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7410 2003-091.
 - 2) 井尻裕二, 鈴木俊一, 杉原豊, 下茂道人, 山本肇, 文村賢一 (2002) : 水理地質構造の不確実性を考慮した水理地質構造のモデル化及び地下水流动解析, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7400 2002-003.
 - 3) 越川憲一, 若松尚則, 小田川信哉 (2002) : 平成 13 年度表層水理研究における蒸発散量推定手法の比較, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7440 2002-006.
 - 4) 宮原智哉, 片岡達彦, 竹内真司 (2002) : 1989~2000 年度表層水理観測年報, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7450 2002-002.
 - 5) 長田昌彦, 渡辺邦夫 (2002) : 割れ目系岩盤を対象とした地質構造のモデル化に関する研究, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (研究委託報告書), JNC TJ7400 2002-004.
 - 6) 下茂道人, 山本肇, 文村賢一 (2002) : 長期揚水試験の実施, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7440 2002-001.
 - 7) 進士喜英, 狩野裕之 (2002) : 水理試験により得られる実測データの解析手法の高度化と適用 (その 2), 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7440 2002-004.
 - 8) 吉添誠, Dershowitz, W. (2002) : 亀裂ネットワークモデルによる解析作業の実施および長期揚水試験の計画策定に関する支援, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7400 2002-002.
- 9) (4) 調査研究の統合, 他
 - 10) 核燃料サイクル開発機構 (2002) : 超深地層研究所計画年度報告書 (平成 13 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-004.

- 2) 核燃料サイクル開発機構 (2002) : 超深地層研究所計画年度計画書 (平成 14 年度), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7410 2002-005.
- 3) 核燃料サイクル開発機構 (2002) : 平成 14 年度地層科学研究情報・意見交換会要旨集, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7410 2002-006.
- 4) 核燃料サイクル開発機構 (2002) : 東濃地域における地質環境特性の調査・評価技術の開発-地表からの調査研究の考え方と進め方-, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7410 2002-008.
- 5) 河村秀紀, 納多勝 (2002) : 立坑及び坑道の掘削を伴う地質環境特性調査・評価技術の超深地層研究所計画への適用, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7410 2002-002.
- 6) Kumazaki, N., Ota, K., McCrank, G., Ikeda, K., Amano, K., Takeuchi, S., Hama, K., Nakano, K., and Osawa, H. (2002) : An Overview of the MIU-4 Borehole Investigations during Phase IV, JNC Tech. Rep., JNC TN7400 2002-006.
- 7) Kumazaki, N., Ota, K., Nakano, K., Ikeda, K., Amano, K., Takeuchi, S., Hama, K. (2002) : An Overview of the MIU-4 Borehole Investigations during Phase III, JNC Tech. Rep., JNC TN7400 2002-002.
- 8) McCrank, G. (2002) : Summary of Activities for the Mizunami Underground research laboratory, International Fellowship 2000 to 2002, JNC Tech. Rep., JNC TN7440 2002-004.
- 9) Metcalfe, R. (2002) : Geochemical Method for Interpreting Groundwater Flow around Tono and Their Generic Relevance to Site Selection, Site Characterization and Performance Assessment-A final report on a JNC International Fellowship, JNC Tech. Rep., JNC TN7440 2002-002.
- 10) Nakano, K., Amano, K., Takeuchi, S., Ikeda, K., Saegusa, H., Hama, K., Kumazaki, N., Iwatsuki, T., Yabuuchi, S. and Sato, T. (2002) : Working Program for MIZ-1 Borehole Investigations, JNC Tech. Rep., JNC TN7400 2002-008.
- 11) 槙木義一 (2002) : 深部地質環境の調査・解析技術の体系化に関する研究 (平成 14 年度), 核燃料サイクル開発機構技術資料 (研究委託報告書), JNC TJ7400 2002-013.

●外部発表

(1) 地質・地質構造

- 1) 石井英一, 天野健治, 水野 崇, 竹内真司 (2002) 亀裂性岩盤中の水みちに認められる特徴-土岐花崗岩を対象とした研究事例-, 平成 14 年度応用地質学会中部支部研究発表会・講演会予稿集, pp. 1-4.
- 2) 松岡稔幸, 上原大二郎, 藤内 聰, 中野勝志, 太田陽一, 川中卓 (2002) 花崗岩中の地質構造を対象とした反射法弾性波探査の適用, 日本地震学会 2002 年度秋季大会講演予稿集, P. 3.
- 3) 松岡稔幸, 上原大二郎, 藤内 聰, 太田陽一, 川中卓 (2002b) 花崗岩地域を対象とした反射法弾性波探査の適用, 平成 14 年度応用地質学会中部支部研究発表会・講演会予稿集, pp. 31-36.
- 4) 高瀬嗣郎, 渡辺俊樹, 藤内聰, 松岡俊文, 芦田譲 (2002) : 音響波フルウェーブトモグラフィの実データへの適用, 物理探査, 55, pp. 375-385.

(2) 岩盤力学

- 1) 中間茂雄, 佐藤稔紀, 加藤春實, 菊地慎二 (2002) : 応力開放法に基づく深度 1000m 対応 3 次元初期応力測定装置の開発, 資源・素材 2002 企画発表・一般発表, pp. 131-132.

- 2) Stephansson, O., Shen, B., Rinne, M., Backers, T., Koide, K., Nakama, S., Ishida, T., Mori, Y. and Amemiya, K. (2003) : Geomechanical evaluation and analysis of research shafts and galleries in MIU Project, Japan, Pre-print Proceedings of the 1st Kyoto International Symposium on Underground Environment-Role of Geotechnology to the Underground Environment-, March 17-18, 2003, Kyoto Japan, pp.39-49.

(3) 岩盤水理

- 1) 稲葉薰, 三枝博光 (2003) : 地下水流動の予測解析統合システム (GEOMASS システム) の概要と東濃地域への適用事例, サイクル機構技報, No. 18 (2003. 3), pp. 71-82.
- 2) 稲葉薰, 三枝博光, M. J. White, P. Robinson (2002) : 地下水流動の予測解析統合システム (GEOMASS システム) の概要と東濃地域への適用事例, 地下水学会誌, 第 44 卷, 第 2 号, pp. 105-123.
- 3) 升元一彦, 竹内真司 (2003) : 試錐掘削時の圧力応答による孔間における高透水ゾーンの連続性の評価, 日本原子力学会 2003 年春の大会
- 4) 宮原智哉, 片岡達彦, 竹内真司 (2002) : 水収支観測による岩盤浸透流の算出と観測流域スケールの検討, 日本地下水学会 2002 年秋季講演会講演要旨, pp. 202-205.
- 5) 森田豊, 渡辺邦夫 (2003) : 断層の透水異方性に着目したフラクチャーネットワーク地下水流动解析, 第 32 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 365-370.
- 6) 長田昌彦, 渡辺邦夫 (2002) : 割れ目系岩盤を対象とした地質構造のモデル化に関する研究
- 7) 三枝博光, 稲葉薰, 澤田淳 (2002) : 断層の透水異方性に着目した水理地質構造のモデル化・地下水流动解析 —東濃地域を例として—, 第 32 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 371-376.
- 8) 三枝博光, 澤田淳 (2002) : 地質環境特性調査における地下水流动の不確実性評価に対する取り組み, 第 18 回バックエンド夏期セミナー資料集, pp. 1. 5-1~1. 5-21.
- 9) 斎藤和春, 三枝博光, 渡辺邦夫, Mahesh R. Gautam (2002) : ニューラルネットワークモデルによる割れ目密度の予測に関する考察, 日本応用地質学会平成 14 年度研究発表会講演論文集, pp. 195-198.
- 10) 斎藤和春, 三枝博光, 渡辺邦夫, 宋元泰 (2002) : 推移確率行列と情報論的エントロピーを用いた岩盤割れ目系の解析 —東濃地区大深度ボーリング調査データを用いた検討—, 応用地質, 第 43 卷, 第 3 号, pp. 143-155.
- 11) 澤田淳, 三枝博光, 中野勝志, 大澤英昭 (2002) : 複数のモデル化手法を用いた地下水流动評価の不確実性について, 第 32 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 161-166.
- 12) 竹内真司, 下茂道人, 山本肇, 文村賢一 (2002) : 1000m 級ボーリング孔を用いた長期揚水試験, 第 32 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 173-178.

(4) 地下水の地球化学

- 1) 水野崇, 岩月輝希, 濱克宏, 古江良治, 天野健治 (2002) : 深部地下水の地球化学研究における採水手法と品質管理について, 応用地質学会中部支部平成 14 年度支部研究発表会講演会予稿集, pp. 5-8.

(5) 調査研究の統合, 他

- 1) 花室孝広 (2002) : 東濃地域での地層科学研究の現状—現場調査を中心として—, 第 18 回バックエンド夏期セミナー資料集, pp. 2. 11-1~2. 111-2.

- 2) 花室孝広, 大澤英昭, 茂田直孝 (2002) : 超深地層研究所計画の現状, 原子力学会中部支部第34回研究発表会要旨集, p. 13.
- 3) 大澤英昭, 中野勝志, 澤田淳 (2002) : 不確実性を考慮した地質環境特性評価の基本的な考え方について, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, pp. 385-386.
- 4) 大澤英昭, 茂田直孝 (2002) : 超深地層研究所計画 - 地表からの調査予測研究段階の現状-, 第19回岩盤システム工学セミナー放射性廃棄物の地層処分研究特集 (その2), pp. 109-129.
- 5) 島田顕臣, 武田精悦, 清水和彦, 大澤英昭 (2002) : 結晶質岩を対象とした岐阜県瑞浪市における超深地層研究所計画-概要とこれまでの成果-, 地球惑星科学関連学会 2002年合同大会予稿集, G004-006.
- 6) Takeuchi, S.(2002): Current Status of the Mizunami Underground Research Laboratory Project, Proc. 1st International TRUE Block Scale Seminar.

【2003年度】

●計画書・成果報告書

(1) 地質・地質構造

- 1) Kumazaki, N., Ikeda, K., Goto, J., Mukai, K., Iwatsuki, T. and Furue, R. (2003) : Synthesis of the Shallow Borehole Investigation at the MIU Construction Site, JNC Tech. Rep., JNC TN7400 2003-005.

(2) 岩盤力学

- 1) 郷家光男, 多田浩幸, 堀田政國, 若林成樹 (2003) : 研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の透水性変化予測解析, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7400 2003-003.
- 2) 市川康明 (2004) : 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, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (研究委託報告書), JNC TJ7400 2004-014.
- 3) 加藤春實 (2003) : DH-2孔のコアを用いた土岐花崗岩の異方性に関する室内試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), TJ7400 2003-001.
- 4) 加藤春實 (2003) : 深部岩盤における初期応力測定プローブの改良および原位置適用試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), TJ7410 2003-003.
- 5) 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), 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7400 2003-004.
- 6) 中間茂雄, 中島貴弘, 青木俊朗, 佐藤稔紀 (2003) : DH-2号孔の岩芯を用いた力学特性調査結果, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7400 2003-003.
- 7) 大久保誠介 (2004) : 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-平成15年度委託研究報告書-, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (研究委託報告書), JNC TJ7400 2004-002.

(3) 岩盤水理

- 1) 穂刈利之, 澤口廣, 堀田政國 (2003) : 超深地層研究所計画における浅層試錐孔への地下水長期観測システムの購入・設置, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7440 2003-006.

- 2) 細田 宏, 下山昌宏, 竹村聖吾 (2003) : MIU-2, MIU-3 号孔への MP システムの再設置, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7440 2003-007.
- 3) 長田和洋, 梶川和弘, 水落幸広 (2003) : 改良設計のための指向性レーダー適用試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7420 2003-001.
- 4) 渡辺邦夫, M.R. Gautam, 三枝博光 (2003) : ニューラルネットワークを用いた地下水モニタリング解析に関する研究－A Study of Groundwater Monitoring Data Analysis Using Artificial Neural Network Model－, 核燃料サイクル機構技術資料 (先行基礎工学分野に関する研究詳細報告書), JNC TY7400 2003-002.

(4) 地下水の地球化学

- 1) Arthur, R. (2003) : 東濃地域を対象とした地球化学モデルの構築, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7400 2003-007.
- 2) Furue, R., Iwatsuki, T., Mizuno, T. and Mie, H. (2003) : Data Book on Groundwater Chemistry in the Tono Area, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7450 2003-001.
- 3) 古江良治, 岩月輝希, 水野崇, 彌榮英樹 (2003) : 試錐孔を利用した地下水の地球化学特性調査手法と品質管理, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7520 2003-001.
- 4) Metcalfe, R. (2003) : 放射性塩素同位体比 (36Cl/C1) に基づく地球化学解析, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書), JNC TJ7400 2003-006.

(5) 調査研究の統合, 他

- 1) 核燃料サイクル開発機構 (2003) : 超深地層研究所計画 年度計画書 (平成 15 年度), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7410 2003-005.
- 2) 核燃料サイクル開発機構 (2003) : 超深地層研究所計画 年度報告書 (平成 14 年度), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7410 2003-006.
- 3) 核燃料サイクル開発機構 (2003) : 平成 15 年度 地層科学研究情報・意見交換会要旨集, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7410 2003-002.

●外部発表

(1) 地質・地質構造

- 1) 石井英一, 天野健治, 水野崇, 竹内真司 (2003) : 瑞浪超深地層研究所における地質学的研究 -土岐花崗岩を対象とした地下水の流動経路に関する研究事例-, 地球惑星科学関連学会合同大会要旨集 (CD-ROM), G018-011.
- 2) Itoh, Y., Amano, K. and Kumazaki, N. (2003) : Early Miocene paleomagnetic data of core samples obtained from the Mizunami Area, central Japan, Abstracts, 2003 Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting (CD-ROM), E012-P008.
- 3) 熊崎直樹, 池田幸喜, 後藤淳一, 向井 圭, 岩月輝希, 古江良治 (2004) : 超深地層研究所計画における地表からの地質環境特性調査－繰り返しアプローチに基づく調査の事例－, 日本原子力学会 2004 年春の年会, 要旨集, p. 807.
- 4) Ota, K. and Amano, K. (2003) : Characterisation of Water-Conducting Fractures in Crystalline Rocks-Experience from Kamaishi URL Programme to Current MIU Programme, MRS2003 Scientific basis for Nuclear Waste Management XXVII Abstract, pp.155-156.

(2) 岩盤力学

- 1) 加藤春實, 佐藤稔紀, 中間茂雄, 長 秋雄 (2003) : ボーリングコアの三次元弾性波速度分布と初期応力の関係について, 資源・素材 2003, 企画発表・一般発表 (A) (B) 資料, pp. 69-70.

- 2) 加藤俊樹, 松本浩二, 坂口清敏, 中間茂雄, 佐藤稔紀 (2004) : 断層を含む不均一岩体の広域応力場評価法, 資源・素材学会平成 16 年度春季大会講演集 (I) 資源編, pp. 11-12.
- 3) 川崎 了, 栗栖圭太郎, 中村圭太, 金子勝比古, 佐藤稔紀, 中間茂雄 (2004) : 地盤内三次元応力分布の評価法, 資源・素材学会 2004 年春季大会, 要旨集, pp. 13-14.
- 4) Kawasaki, S., Nakamura, K., sato, T., Nakama, S. and Kaneko, K. (2003) : Estimation of Regional Stress and Stress Distribution, Rock Stress, pp.419-424.
- 5) 木村直樹, 松本浩二, 中間茂雄, 佐藤稔紀 (2003) : 不均一岩体の広域応力場評価法, 資源と素材, 119, pp. 655-662.
- 6) 栗栖圭太郎, 中村圭太, 川崎 了, 金子勝比古, 佐藤稔紀, 中間茂雄 (2004) : 地盤内三次元応力分布の評価法, 資源・素材学会平成 16 年度春季大会講演集 (I) 資源編, pp. 13-14.
- 7) 松木浩二, 加藤俊樹, 坂口清敏, 中間茂雄, 佐藤稔紀 (2004) : 断層を含む不均一岩体の広域応力場評価法, 資源・素材学会 2004 年春季大会, 要旨集, pp. 11-12.
- 8) 森 孝之, 田部井和人, 岩野圭太, 中間茂雄, 佐藤稔紀, 松井裕哉 (2004) : 龜裂開口現象を考慮した大深度坑道掘削の解析的検討, 第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム, 講演論文集, pp. 457-462.
- 9) 中間茂雄, 佐藤稔紀 (2003) : 超深地層研究所計画における岩盤力学研究の現状－東濃地域を例とした様々なスケールを対象とした初期応力評価－, 資源・素材 2003 (宇部), 要旨集, pp. 127-130.
- 10) Nakama, S., Sato, T., Kato, H. and Kikuchi, S. (2003) : Development of the three dimensional in-situ stress measurement equipment with the overcoring method and its field application for deep boreholes, Rock Stress, pp.327-332.
- 11) 並木和人, 鈴木健一郎, 小田匡寛, 中間茂雄 (2003) : 比抵抗計測を用いた大型岩石供試体の損傷の可視化, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 講演概要集, III-340, pp. 679-680.
- 12) 鈴木健一郎, 並木和人, 小田匡寛, 中間茂雄 (2003) : 空洞模型試験による周辺岩盤の損傷評価, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 講演概要集, III-340, pp. 681-682.
- 13) 竹村貴人, 小田匡寛, 亀田 篤, 鈴木健一郎, 中間茂雄 (2003) : 弹性波速度とクラックテンソルによる岩石の脆性破壊機構, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 講演概要集, III-323, pp. 645-646.

(3) 岩盤水理

- 1) Gautam, M. R., Watanabe, K. and Saegusa, H. (2003) : Analysis of hydraulic pressure fluctuation in deep geological formation in Tono area, Japan using artificial neural networks, Journal of Hydrology, 284, pp.174-192.
- 2) 後藤和幸, 升元一彦, 向井 圭, 竹内真司 (2004) : 水圧モニタリングデータの地球潮汐・気圧変動成分の分離解析, 第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム, 講演論文集, pp. 445-450.
- 3) 升元一彦, 向井 圭, 竹内真司 (2004) : 花崗岩地域における大深度長期間隙水圧モニタリング, 第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム, 講演論文集, pp. 277-282.
- 4) 升元一彦, 竹内真治 (2003) : 遮水性能を有する断層近傍における水圧モニタリング, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 講演概要集, CS-7-070, pp. 417-418.
- 5) 宮原智哉, 若松尚則, 小田川信哉, 片岡達彦, 竹内真司 (2004) : 樹林部における蒸発散量算定手法の適用性検討－超深地層研究所計画用地における検討例－, 日本応用地質学会平成 15 年度研究発表会, 講演論文集, pp. 385-388.

- 6) Khang, N. D., Watanabe, K. and Saegusa, H. (2004) : Fracture step structure: geometrical characterization and effects on fluid flow and breakthrough curve, *Engineering Geology* 75, pp.107-127.
- 7) Reeves, P.C., Mckenna, S.A., Takeuchi, S. and Saegusa, H. (2003) : Evolution of Neural Networks for the Prediction of Hydraulic Conductivity as a Function of Borehole Geophysical Logs, Shobasama Site, Japan, American Geophysical Union (AGU) 2003 Fall Meeting, Abstract of the meeting (CD-ROM), H11F-0909.
- 8) 三枝博光, 澤田 淳, 稲葉 薫, 竹内真司, 中野勝志 (2003) : 複数のモデル化手法を用いた地質環境特性調査における地下水流动評価の不確実性の検討, サイクル機構技報, No. 20, pp. 75-89.
- 9) Saegusa, H. and White, M. (2003) : Representation of Fracture Zone Interpretation Uncertainty in 3D Geological Models of the Mizunami Underground Research Laboratory, Japan, MRS2003, pp.21-22.
- 10) 斎藤和春, 三枝博光, 渡辺邦夫, Gautamn, M. (2003) : 岩盤割れ目密度の予測手法の検討-ニューラルネットワーク(ANN)と情報論的エントロピーを用いた検討-, 応用地質, 44, pp. 283-293.
- 11) 竹内真司, 天野健治, 下茂道人, 松岡清幸 (2003) : 電気伝導度検層を用いた亀裂性岩盤中の水みち検出技術, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 講演会概要集, CS7-068, pp. 413-414.
- 12) 竹内真司, 平田洋一, 西垣 誠 (2003) : 光ファイバーを用いた地下水圧観測装置の開発, 日本地下水学会 2003 年秋季講演会, 講演要旨, pp. 6-9.
- 13) Takeuchi, S., Simo, M., Doughty, C. and Tsang, C. F. (2004) : Identification of the Water-Conducting Features and Evaluation of Hydraulic Parameters Using Fluid Electric Conductivity Logging, International Symposium on the Dynamics of Fluids in Fractured Rock, Proceedings of the Symposium, pp.349-354.
- 14) 竹内真司, 下茂道人, 城まゆみ, Tsang, C. F. (2004) : 電気伝導度検層による深部花崗岩中の水みちの抽出と水理特性の評価, 第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム, 講演論文集, pp. 451-456.
- 15) White , M.J. and Saegusa, H. (2004) : Representation of Fracture Zone Interpretation Uncertainty in 3D Geological Models of the Mizunami Underground Research Laboratory, Japan, Material Resource Society Symposium, Proceedings, Vol.807, pp.533-538.
- 16) 藤内 聰, 竹内真司 (2003) : 深層岩盤を対象とした単孔式透水試験, 日本地下水学会 2003 年秋季講演会, 講演会要旨, pp. 32-35.

(4) 地下水の地球化学

- 1) Iwatsuki, T., Furue, R. and Mizuno, T. (2003) : Geochemical conceptual model at an Underground research Laboratory (URL) construction site, Mizunami, Japan, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 67(18S), p.A182.
- 2) 岩月輝希, 彌榮英樹, 古江良治, 水野崇 (2003) : 深部地質環境の長期安定性に関する研究, 第 19 回バックエンド夏期セミナー, 発表 OHP 集.
- 3) 岩月輝希, 彌榮英樹, 古江良治, 水野 崇 (2004) : 瑞浪超深地層研究所建設時に予想される地球化学特性の変化, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, CD-ROM 要旨集.
- 4) 岩月輝希, Randolph, A., 水野 崇 (2004) : 方解石中の微量元素濃度に基づく地下深部の酸化還元状態の推察, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, CD-ROM 要旨集
- 5) 彌榮英樹, 岩月輝希, 古江良治, 水野崇(2004) : 超深地層研究所計画 (第 1 段階) における

- 地下水の地球化学特性調査, サイクル機構技報, No. 23, pp41-49.
- 6) 水野 崇, 岩月輝希, 古江良治, 彌榮英樹 (2003) : 瑞浪超深地層研究所における地下水の地球化学特性について, 日本地球化学会 2003, 講演要旨集, p. 21.
 - 7) 長尾誠也, 岩月輝希 (2004) : 3 次元蛍光分光光度法による東濃地域地下水中の溶存腐植物質の特性研究, 腐植物質研究会北海道支部 2004 年冬季研究発表会, 要旨集.
- (5) **調査研究の統合, 他**
- 1) 太田久仁雄, 佐藤稔紀, 小出 馨, 坂巻昌工 (2004) : 超深地層研究所計画－地層科学的研究の現状－, 第 7 回 NUCEF セミナー, 要旨・スライド集, W-17.

【2004 年度】

●計画書・成果報告書

(1) 地質・地質構造

- 1) 持田裕之 (2004) : 瑞浪超深地層研究所用地のボーリングを利用した瑞浪層群地質層序の検討結果速報 IR04-14, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7420 2004-003.
- 2) Tsuruta, T., Ota, K., Amano, K., Matsuoka, T. and Sasaki, K. (2004) : Geological investigations during the surface-based investigation phase of the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) project, International Conference on JNC Underground Research Laboratory Projects in Mizunami and Horonobe, Japan 2004, Part 1, International Conference on Geoscientific Study in Mizunami'04, Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN7400 2004-010, pp.83-95.
- 3) 佐々木圭一, 太田久仁雄 (2004) : 大縮尺の空中写真により判読したリニアメントに関する検討－東濃地域における事例研究－, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7400 2004-007.
- 4) 笹尾英嗣, 佐々木圭一, 鶴田忠彦, 太田久仁雄 (2004) : 瑞浪層群の層序区分について, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7420 2004-001.

(2) 岩盤力学

- 1) 郷家光男, 堀田政國, 多田浩幸 (2004) : 掘削損傷領域を考慮したクラックテンソル・仮想割れ目モデルによる坑道掘削影響解析, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-007.
- 2) 市川康明 (2004) : 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, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-014.
- 3) 石島洋二, 藤井義明, 川北稔, 中間茂雄, 松井裕哉 (2004) : 軟弱な堆積地層における力学的な初期状態と施工性の評価システムの開発, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TY7400 2004-002.
- 4) 加藤春實 (2004) : MIZ-1 号孔の岩芯を用いた初期応力評価試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-018.
- 5) 水田義明, 金子勝比古, 松木浩二, 菅原勝彦, 須藤茂韶 (2004) : 3 次元応力場の同定手法に関する研究 (その 3), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-011.
- 6) 森孝之, 森川誠司, 田部井和人, 岩野圭太 (2004) : 掘削損傷領域を考慮した MBC モデルによる坑道掘削影響解析, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-006.
- 7) 大久保誠介 (2004) : 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, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-002.

- 8) 杉田信隆, 中島雅之, 中村敏明 (2004) : MIZ-1号孔の岩芯を用いた室内物理・力学物性試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7450 2004-002.

(3) 岩盤水理

- 1) 荒井靖 (2004) : 広域地下水流动研究及び超深地層研究所計画における表層水理観測 (2004年4月～6月) 調査速報 IR04-13, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7420 2004-004.
- 2) 藤田有二 (2004) : 超深地層研究所計画における間隙水圧観測 (2004年4月～6月) 調査速報 IR04-12, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7420 2004-002.
- 3) 藤田有二 (2004) : 超深地層研究所計画における間隙水圧観測－ (2004年7月～9月) 調査速報 IR05-02, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7450 2004-004.
- 4) 井尻祐二, 小野誠, 杉原豊, 下茂道人, 山本肇, 文村賢一 (2004) : 超深地層研究所建設用地周辺を対象とした複数のモデル化概念による地下水流动のモデル化・解析 (その1), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-003.
- 5) 井尻祐二, 小野誠, 杉原豊, 下茂道人, 山本肇, 文村賢一 (2004) : 水理地質構造の不確実性を考慮した水理地質構造のモデル化及び地下水流动解析－モデルキャリブレーション－, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-005.
- 6) 井尻祐二, 小野誠, 杉原豊, 下茂道人, 山本肇, 文村賢一 (2004) : 超深地層研究所建設用地周辺を対象とした複数のモデル化概念による地下水流动のモデル化・解析 (その2), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-015.

(4) 地下水の地球化学

- 1) 古江良治, 岩月輝希, 水野崇 (2004) : MSB-2号孔・MSB-4号孔における地下水水質観測 (2003年1月～2004年3月), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7450 2004-002.
- 2) Metcalfe, R., Savage, D., Bath, A.H. and Walker, C. (2004) : 核種の溶解度評価に関する地下水の地球化学パラメータの感度解析, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-013.
- 3) 彌榮秀樹, 岩月輝希, 古江良治, 水野崇, 井岡聖一郎 (2004) : 超深地層研究所周辺における地下水の地球化学モデルに関わる調査結果 (平成15年度), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7400 2004-009.
- 4) Mizuno, T., Iwatsuki, T., Mie, H., Furue, R. and Ioka, S. (2004) : Hydrogeochemical baseline groundwater conditions in and around the Mizunami Underground Research Laboratory, the MIU Construction Site, International Conference on JNC Underground Research Laboratory Projects in Mizunami and Horonobe, Japan 2004, Part 1, International Conference on Geoscientific Study in Mizunami'04, Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN7400 2004-010, pp.111-121.
- 5) 戸高法文, 阿島秀司, 赤坂千寿, 中西繁隆 (2004) : 超深地層研究所周辺の地下水の水質形成に関する多変量解析, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-012.

(5) 調査研究の統合, 他

- 1) 核燃料サイクル開発機構 (2004) : 超深地層研究所計画における調査研究の考え方と進め方 (平成15～17年度), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7400 2004-008.
- 2) 核燃料サイクル開発機構 (2004) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発－平成15年度報告－, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN71400 2004-001
- 3) 小出馨, 池田幸喜, 太田久仁雄, 竹内真司, 佐藤稔紀, 岩月輝希, 天野健治, 三枝博光 (2004) : 超深地層研究所計画 年度計画書 (2004年度), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7410 2004-003.

- 4) 太田久仁雄, 竹内真司, 池田幸喜, 天野健治, 松岡稔幸, 蔵内聰, 岩月輝希, 堀本誠記, 藤田有二, 古江良治, 熊崎直樹 (2004) : An Overview of the MIZ-1 Borehole Investigations during Phase I/II, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7400 2004-001.
- 5) Ota, K., Takeuchi, S., Ikeda, K., Horimoto, S., Amano, K., Kumazaki, N., Matsuoka, N., Yabuuchi, S., Fujita, Y., Iwatsuki, T. and Furue, R. (2004) : An Overview of the MIZ-1 Borehole Investigations during Phase I/II, MIZ-1 Progress Report 03-01, Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN7400 2004-001.
- 6) 島田邦明, 安倍健一, 藤井満, 棚田益彰 (2004) : 試錐孔閉塞技術の開発, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TJ7400 2004-019.

●外部発表

(1) 地質・地質構造

- 1) 松岡稔幸, 太田久仁雄, 川中卓, 楢原省吾, 土家輝光, 成田憲文 (2004) : 東濃地域における花崗岩を対象とした地質構造調査への反射法弾性波探査の適用例, 物理探査学会 第110回学術講演会, pp. 129-132.
- 2) 西嶋圭, 高木秀雄, 円城寺守, 水野崇 (2004) : 野島断層周辺に分布する花崗岩中のヒールドマイクロクラックによる古応力場と生成環境の復元, 日本地質学会第111年年会, P. 226.
- 3) 佐々木圭一, 天野健治 (2004) : 物理検層結果による割れ目帯の評価, 日本応用地質学会 平成16年度研究発表会講演論文集, PP. 247-250.
- 4) 山崎聰, 高木秀雄, 三浦宏一, 水野崇 (2004) : 野島断層周辺に分布する花崗岩中のヒールド・シールドマイクロクラックの三次元方位解析と古応力場の復元, 日本地質学会第111年年会講演論文集, P. 226.

(2) 岩盤力学

- 1) 郷家光男, 堀田政國, 若林成樹, 多田浩幸, 佐藤稔紀, 中間茂雄, 青木俊朗 (2004) : 坑道展開方向による水理学的な掘削影響の変化に関する解析的検討, 土木学会第59回年次学術講演概要集, 3-335, pp. 669-670.
- 2) 今井忠男, 鴨志田直人, 中間茂雄, 佐藤稔紀, 加藤春實, 杉本文男 (2004) : 深部花崗岩コアのP波速度異方性と初期応力について, 資源・素材 2004 (盛岡), pp. 57-58.
- 3) 加藤春實, 杉本文男, 佐藤稔紀, 中間茂雄 (2004) : オーバーコアリング過程におけるパイロット孔内壁の応力変化について, 資源・素材 2004 (盛岡), A2-7.
- 4) 松木浩二, 加藤俊樹, 木村直樹, 中間茂雄, 佐藤稔紀 (2004) : Estimation of Regional Stress for Heterogeneous Rock Mass by FEM, ISRM International Symposium 3rd ARMS 2004, pp. 1135-1140.
- 5) 森孝之, 森川誠司, 田部井和人, 岩野圭太, 中間茂雄, 青木俊朗, 佐藤稔紀 (2004) : Analysis of Deep Tunnel Excavation in Consideration of Joint Opening Phenomena, ISRM International Symposium 3rd ARMS 2004.
- 6) 中間茂雄, 森孝之, 郷家光男, 青木俊朗, 佐藤稔紀 (2004) : 掘削損傷領域を考慮したMBC及びクラックテンソルモデルによる岩盤挙動の予測解析, 第34回 岩盤力学に関するシンポジウム, pp. 33-40.
- 7) 中間茂雄, 佐藤稔紀 (2004) : 超深地層研究所計画における施設建設設計画・岩盤力学調査, 岩の力学ニュース, No. 73, pp. 1-4.

- 7) 中間茂雄, 佐藤稔紀, 加藤春實 (2004) : 応力解放法による深部岩盤における初期応力測定装置の適用例, 資源・素材 2004 (盛岡), A2-6.
- 8) 中間茂雄, 佐藤稔紀 (2004) : 超深地層研究所計画における施設建設設計画・岩盤力学調査, 岩の力学ニュース, No. 73, pp. 1-4.
- 9) 及川寧己, 相馬宣和, 山口勉, 山田淳夫, 中間茂雄 (2004) : AE/DRA 法による初期応力計測と採取からの経過時間の及ぼす影響 -DRA 法-, 資源・素材学会 平成 16 年度春季大会, pp. 153-154.
- 10) 及川寧己, 相馬宣和, 山口勉, 中間茂雄, 中島貴弘 (2004) : 東濃地域の岩芯試料を用いた AE/DRA 法による地殻応力計測, 資源・素材 2004 (盛岡), A2-2.
- 11) 相馬宣和, 及川寧己, 山口勉, 山田淳夫, 中間茂雄 (2004) : AE/DRA 法による初期応力計測と採取からの経過時間の及ぼす影響 -AE 法-, 資源・素材学会 平成 16 年度春季大会, pp. 151-152.
- 12) 相馬宣和, 山口勉, 中島貴弘, 中間茂雄, 浅沼宏 (2004) : 坑内ボーリング作業時の掘削振動の観測と地層構造推定の試み, 資源・素材 2004 (盛岡), B7-4.

(3) 岩盤水理

- 1) Doughty, C., Takeuchi, S., Amano, K., Simo, M. and Tsang, C.F. (2004) : Application of Multi-Rate Flowing Fluid Electric Conductivity Logging Method to Well DH-2, Tono Site, Japan, Water Resources Research (in printing).
- 2) 後藤和幸, 升元一彦, 向井圭, 竹内真司 (2004) : 水圧モニタリングデータの地球潮汐・気圧変動成分の分離解析, 第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 445-450.
- 3) 升元一彦, 向井圭, 竹内真司 (2004) : 花崗岩地域における大深度長期間隙水圧モニタリング, 第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 277-282.
- 4) 升元一彦, 竹内真司, 薮内聰, 渥美博行, 名児耶薰 (2004) : 堆積岩中の不飽和領域調査への連続波レーダーの適用, 平成 16 年度日本応用地質学会研究発表会論文集, PP. 117-120.
- 5) 升元一彦, 竹内真司, 薮内聰, 渥美博行, 名児耶薰 (2004) : 堆積岩中の坑道周辺の不飽和領域を対象とした連続波レーダー調査結果の評価, 土木学会第 59 回年次学術講演会, CS1-016, pp. 31-32.
- 6) 大山卓也, 三枝博光, 竹内真司 (2004) : 水頭分布の不連続性に着目した断層の透水性の評価, 応用地質学会中部支部研究発表会, pp. 11-14.
- 7) Takeuchi, S., Shimo, M., Doughty, C., and Tsang, C.-F. (2004) : Identification of the Water-Conducting Features and Evaluation of Hydraulic parameters using Fluid Electric Conductivity Logging, Proceedings of the Secound International Symposium on Dynamics of Fluids in Fractured Rock, pp.349-354.
- 8) 竹内真司, 下茂道人, 城まゆみ, Chin-Fu Tsang (2004) : 電気伝導度検層による深部花崗岩中の水みちの抽出と水理特性の評価, 第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム論文講演集, pp. 451-456.

(4) 地下水の地球化学

- 1) 古江良治, 岩月輝希, 彌榮英樹, 水野 崇 (2004) : 地下水の水質データ評価のための品質評価システムの構築, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, CD-ROM.
- 2) 井岡聖一郎, 岩月輝希, 古江良治, 彌榮英樹, 水野崇 (2004) : 瑞浪超深地層研究所周辺における地下水の物理化学特性について, 2004 年 日本地球化学会年会, p38.

- 3) 岩月輝希, Arthur, R., 水野崇 (2004) : 方解石中の微量元素濃度に基づく地下深部の酸化還元状態の推察, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会.
 - 4) 岩月輝希, 古江良治, 彌榮英樹, 井岡聖一郎, 水野崇 (2005) : Hydrochemical Baseline Condition of Groundwater at the Mizunami Underground Research Laboratory, Applied Geochemistry (投稿中).
 - 5) 岩月輝希, 彌榮英樹, 古江良治, 水野崇 (2004) : 瑞浪超深地層研究所建設時に予想される地球化学特性の変化, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会.
 - 6) 彌榮英樹, 岩月輝希, 古江良治, 水野崇 (2004) : 瑞浪超深地層研究所における地球化学調査, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会.
 - 7) 彌榮英樹, 岩月輝希, 古江良治, 水野崇 (2004) : 超深地層研究所計画 (第 1 段階) における地下水の地球化学特性調査, サイクル機構技報, No. 23 (2004. 6), pp. 41–50.
 - 8) 長尾誠也, 岩月輝希 (2004) : 3 次元蛍光光度分光法による東濃地域地下水中の溶存腐植物質の特性研究, 2004 年腐植物質研究会.
- (5) **調査研究の統合, 他**
- 1) 三枝博光, 松岡稔幸, 熊崎直樹, 稲葉薰 (2004) : 超深地層研究所計画における研究の現状-繰り返しアプローチに基づく地質構造モデルの構築及び地下水流动解析について-, 土木学会第 59 回年次学術講演会論文集, CS1-018, pp. 35–36.

APPENDIX II 深地層の研究施設における研究計画等検討部会開催実績

【委員構成】 * 2005年3月当時

主査 西垣 誠	岡山大学 環境理工学部教授
委員 亀村勝美	大成建設 土木技術部土木設計部長
委員 河西 基	電力中央研究所 地球工学研究所バックエンド研究センター長
委員 嶋田 純	熊本大学 理学部教授
委員 田中和広	山口大学 理学部教授
委員 千木良雅弘	京都大学 防災研究所教授
委員 土 宏之	原子力発電環境整備機構 技術部 グループマネジャー
委員 徳永朋祥	東京大学 大学院工学系研究科助教授
委員 登坂博行	東京大学 大学院工学系研究科助教授
委員 栄山 修	東北大学 多元物質科学研究所教授
委員 平川一臣	北海道大学 大学院地球環境科学研究科教授
委員 堀井秀之	東京大学 大学院工学系研究科教授
委員 丸井敦尚	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 主任研究員
委員 山口徹治	日本原子力研究所 安全性試験研究センター 副主任研究員
委員 渡辺邦夫	埼玉大学 地圏科学研究センター教授

【2002年度】

第5回 深地層の研究施設における研究計画等検討部会（東濃）2002年10月30日

主な審議事項

- ① サイクル機構における地層処分技術に関する研究開発への取組み
- ② 超深地層研究所計画の現状と計画について
- ③ 幌延深地層研究所計画の現状と計画について

第6回 深地層の研究施設における研究計画等検討部会（東京）2003年3月20日

主な審議議題

- ① 深地層の研究施設計画の概要
- ② 超深地層研究所計画について（研究成果と今後の計画、深層ボーリング調査計画）
- ③ 幌延深地層研究所計画について（研究成果と今後の計画、地下施設計画）

【2003年度】

第7回 深地層の研究施設における研究計画等検討部会（東京）2003年10月1日

主な審議議題

- ① H14年報の概要及びH17取りまとめ等について
- ② 超深地層研究所計画について（繰り返しアプローチの現状など）
- ③ 幌延深地層研究所計画について（地質環境のモデル化の考え方、解析の現状など）

第8回 深地層の研究施設における研究計画等検討部会（東京）2004年3月11日

主な審議議題

- ② 超深地層研究所計画について（研究所の設計・施工、研究の進捗状況と来年度の計画）
- ① 幌延深地層研究所計画について（研究の進捗状況と来年度の計画、地下施設の計画）

【2004 年度】

第 9 回 深地層の研究施設における研究計画等検討部会（東京）2004 年 11 月 26 日

主な審議議題

- ① 超深地層研究所計画について（第 1 段階の進捗状況、第 2 段階の計画）
- ② 幌延深地層研究所計画について（第 1 段階の進捗状況、第 2, 3 段階の計画）

第 10 回 深地層の研究施設における研究計画等検討部会（東京）2005 年 3 月 17 日

主な審議議題

- ① 超深地層研究所計画について（研究の進捗状況）
- ② 幌延深地層研究所計画について（研究の進捗状況）
- ③ 平成 17 年度研究成果の取りまとめについて

以上

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立方メートル	m^3
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
密度(質量密度)	メートル毎メートル	m^{-1}
質量体積(比体積)	立法メートル毎キログラム	kg/m^3
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率	(数の)	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨーダ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^9	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^6	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^2	ヘクト	h	10^{-21}	ゼット	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(a)	rad	$m \cdot m^{-1}=1^{(b)}$
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)	$m^2 \cdot m^{-2}=1^{(b)}$
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
力	ニュートン	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m^2
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$N \cdot m$
功率、放射束	ワット	W	J/s
電荷、電気量	クーロン	C	$s \cdot A$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	フアラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジメンス	S	A/V
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C	K
光束度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr^{(c)}$
(放射性核種の)放射能吸収線量、質量エネルギー一分与、カーマ	ベクレル	Bq	lm/m^2
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個	シーベルト	Sv	J/kg
人線量当量、組織線量当量			$m^2 \cdot s^{-2}$

(a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なる性質をもつた量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。

(b) 実際には、使用的する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。

(c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。

(d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量、エンタルピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)	ジュール毎キログラム	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー	モル毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
(比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジユール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエントロピー	ジユール毎モル毎ケルビン	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
モル熱容量	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	Gy	$m^2 \cdot s^{-3}$
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット毎平方メートル	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

表7. 国際単位系と併用されこれに属さないSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.60217733(49) \times 10^{-19} J$
統一原子質量単位	u	$1u=1.6605402(10) \times 10^{-27} kg$
天文単位	ua	$1ua=1.49597870691(30) \times 10^{11} m$

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	mi	1海里=1852m
ノット	kn	1ノット=1海里每時=(1852/3600)m/s
アール	a	$1a=1 \text{ dam}^2=10^2 m^2$
ヘルツ	Hz	$1a=1 \text{ hm}^2=10^4 m^2$
バル	bar	$1 \text{ bar}=0.1 \text{ MPa}=100 \text{ hPa}=10^5 \text{ Pa}$
オングストローム	Å	$1 \text{ Å}=0.1 \text{ nm}=10^{-10} m$
ペニン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=10^{-28} m^2$

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	$1 \text{ erg}=10^{-7} J$
ダイニン	dyn	$1 \text{ dyn}=10^{-5} N$
ボアズ	P	$1 P=1 \text{ dyn} \cdot s/cm^2=0.1 \text{ Pa} \cdot s$
ストークス	St	$1 St=1cm^2/s=10^{-4} m^2/s$
ガウス	G	$1 G=10^{-4} T$
エルステッド	Oe	$1 Oe=(1000/4\pi) A/m$
マクスウェル	Mx	$1 Mx=10^{-8} Wb$
スチール	sb	$1 sb=1cd/cm^2=10^4 cd/m^2$
ホタル	ph	$1 ph=10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal=1cm/s^2=10^{-2} m/s^2$

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R=2.58 \times 10^{-4} C/kg$
ラド	rad	$1 rad=1cGy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
X線単位	X unit	$1 X unit=1.002 \times 10^{-4} nm$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 nT=10^{-4} T$
ジャンスキ	Jy	$1 Jy=10^{-26} W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ	fermi	$1 fermi=1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 metric carat=200 mg=2 \times 10^{-4} kg$
トル	Torr	$1 Torr=(101325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm=101325 Pa$
カリ	cal	$1 cal=1J=10^4 J$
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \mu m=10^{-6} m$


古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています