

**幌延深地層研究計画
平成20年度調査研究成果報告
(概要版)**

平成21年6月

**日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター**



1. はじめに

幌延深地層研究計画は、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）が、堆積岩を対象とした深地層の研究を北海道幌延町で実施しているものです。

幌延深地層研究計画では、「原子力政策大綱」に示された「深地層の科学的研究」については「地層科学研究」、また、「地層処分技術の信頼性向上」と「安全評価手法の高度化」については「地層処分研究開発」として研究開発を進めています。

また、文部科学省と経済産業省が公表した「独立行政法人日本原子力研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標（中期目標）」では、「深地層の研究計画について、中間的な深度までの坑道掘削時の調査研究を進める。あわせて工学技術や安全評価に関する研究開発を他の研究開発機関と連携して実施し、これらの成果を地層処分の安全性に係る一連の論拠を支える知識ベースとして体系化する」ことが目標として掲げられ、幌延深地層研究計画を着実に推進することとなっています。

図1に研究所用地における主な施設と観測装置の配置を示します。

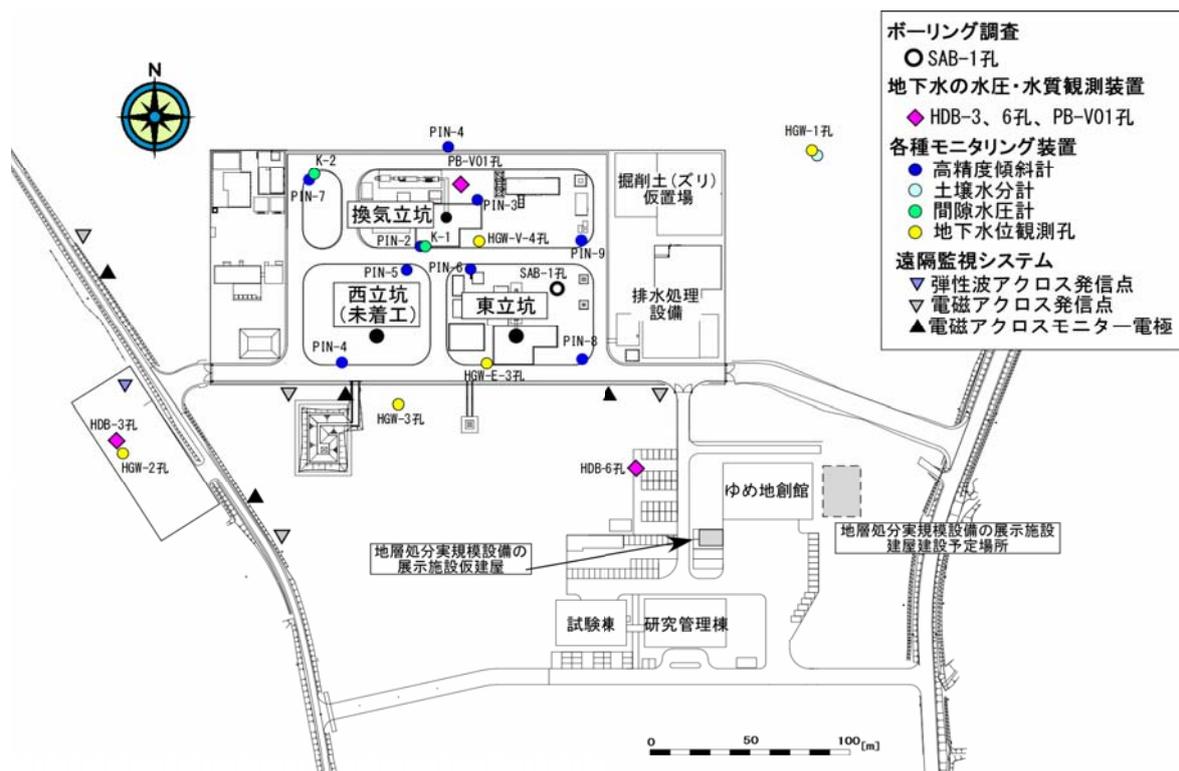


図 1 研究所用地における主な施設と観測装置の配置

2. 平成20年度の主な調査研究の進め方

幌延深地層研究計画は、「地上からの調査研究段階（第1段階）」、「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）」、「地下施設での調査研究段階（第3段階）」の3つの段階に分けて実施しており、平成20年度は、平成17年度に開始した第2段階の4年目にあたります。

調査研究は、これまでと同様に、「地層科学研究」と「地層処分研究開発」に区分して行いました。以下に、平成20年度の調査研究および施設建設などに関する実施項目を示します。

3. 地層科学研究

- 3.1 地質環境調査技術開発
- 3.2 地質環境モニタリング技術開発
- 3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発
- 3.4 地質環境の長期安定性に関する研究

4. 地層処分研究開発

- 4.1 処分技術の信頼性向上
- 4.2 安全評価手法の高度化

5. 地下施設の建設

6. 地上施設の建設

7. 環境モニタリング

- 7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査
- 7.2 地下施設の建設に伴うモニタリング調査

8. 開かれた研究

- 8.1 国内機関との研究協力
- 8.2 国外機関との研究協力

以降のページからは、上記の平成20年度の調査研究および施設建設などで得られた成果の一部を紹介します。

3. 地層科学研究

3.1 地質環境調査技術開発

地質構造

換気立坑における声問層と稚内層の境界が深度約247mであることを確認するとともに、換気立坑の深度約20～約247mと東立坑の深度約20～約140mにおける声問層の地質観察の結果、稚内層との境界付近（換気立坑の深度約200～約247m）では長さ数m以上の連続性・連結性を有する断層が複数認められたものの、全深度を通じて観察された割れ目の大部分は連続性・連結性に乏しい割れ目（長さ数十cm程度）であり、湧水箇所も稚内層との境界付近以外では認められませんでした（図 2）。この結果は声問層の割れ目は多数存在しても地下水の流れに影響しない性質を持つとする第1段階のモデルと整合的と言えます。なお、稚内層との境界付近に認められた断層の連続性（広がり）については、これらの断層の深度・方向性・産状に対応する割れ目がPB-V01孔（換気立坑中心との距離：約17m）に認められなかったことから、概ね数m～十数m程度と推定されます。

一方、換気立坑の深度約247～約250mにおける稚内層の地質観察の結果、層理面に高角な断層/せん断割れ目/引張割れ目（東西走向～北東-南西走向）からの湧水（約1 l/min以下）が複数の箇所で認められ、掘削深度がこの部分を通過した後は、換気立坑からの湧水量が約20m³/日から約80m³/日へと上昇しました。この結果は、稚内層中の主要な水みち（割れ目）が層理面に高角な割れ目であるとする第1段階のモデルと整合しています。

上記のように、平成20年度は、坑道壁面/底盤の地質観察や立坑周辺のボーリング調査の結果に基づいて、立坑近傍の地表から深度約250mまでの地層の分布や割れ目の発達状況を把握することができました。今後も同様な調査を行い、第1段階のモデルを確認・更新するためのデータを取得していく予定です。

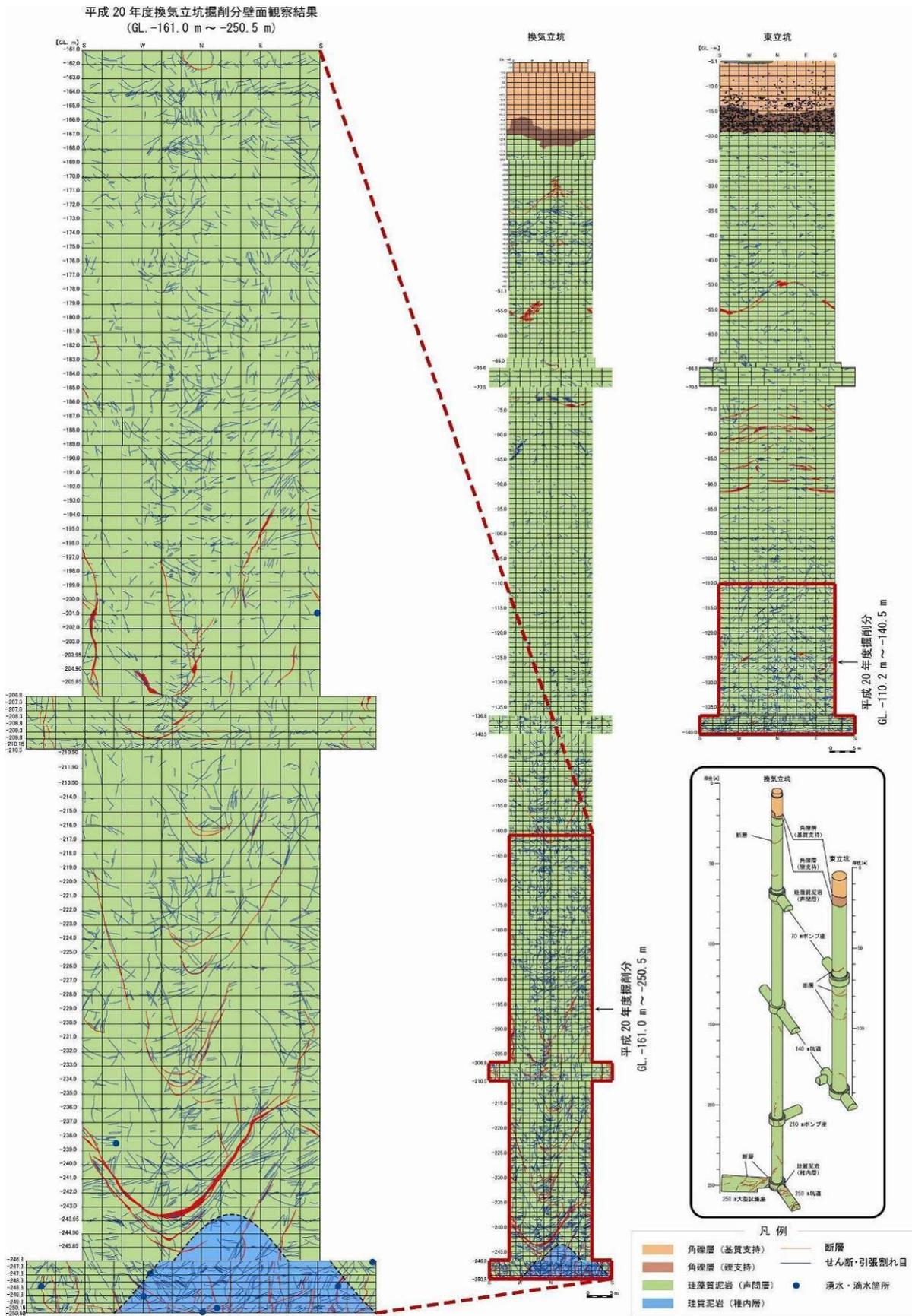


図 2 立坑における壁面の地質観察結果 (展開図)

地下水の地球化学モデル

地下に坑道掘削を行うと、坑道周辺は地下水圧の低下などにより、坑道周辺の地下水や岩石の化学的状態が変化すると考えられます。坑道掘削に伴って地下水の圧力が解放されると、地下水中に溶存している二酸化炭素が脱ガスし、pHがアルカリ側に変化すると考えられています。また、坑道掘削後に坑道壁面に打設される覆工コンクリートの近傍では、コンクリートを構成するセメントと地下水との反応により地下水のpHが高くなり、これと接触する岩盤中の鉱物に変質と考えられます。

平成20年度は、平成19年度までに開発した解析技術を用いて、地下施設の建設に伴って、坑道周辺で生じる地下水の水質ならびに岩石鉱物の変質の予測解析を行いました(図3)。以上の地球化学に関する解析により、坑道の壁面から深さ数mの岩盤内部まで化学的酸化が進み、還元的な環境に特有な鉄と硫黄から成る既存の鉱物(黄鉄鉱)の組成が変化し、酸化的な環境に特有な水酸化鉄鉱物(ゲーサイト)が生成することが分かりました。また、声問層と稚内層の地層境界の付近では、地下水中の溶存ガスの脱ガスにより形成される不飽和帯中において、酸素の拡散による化学的変化が起こりやすい可能性が示されました。

今後は、坑道周辺において実際の鉱物の変化や不飽和帯の拡がりを観測し、予測結果と比較することにより、開発した解析技術の適用性を確認する予定です。

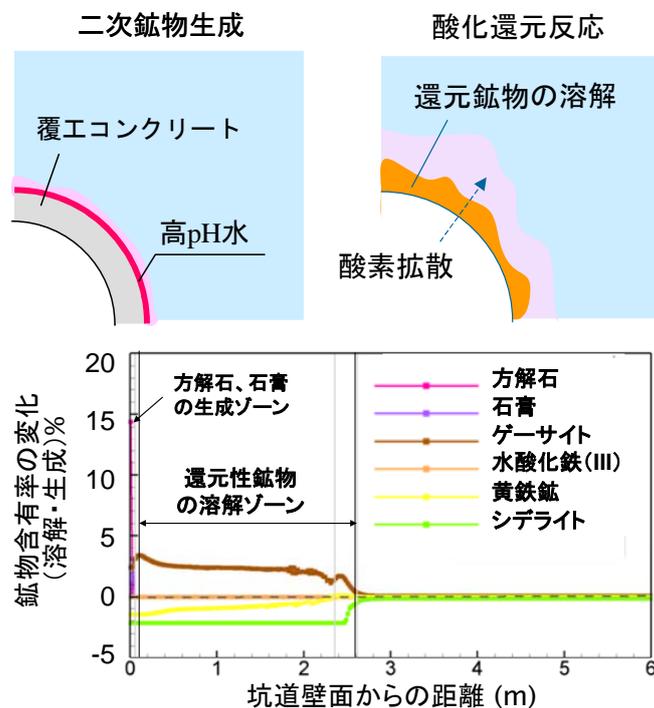


図3 坑道周辺の地球化学反応と岩石鉱物の変化量

3.2 地質環境モニタリング技術開発

比抵抗モニタリング技術の適用性確認

第1段階の調査研究結果より、岩盤中の見掛比抵抗値と地下水の塩化物イオン濃度には良好な相関関係があることが分かりました。そこで、この見掛比抵抗値を定期的に測定し、変化を捉えることにより、地下施設建設に伴う周辺地下水流動の変化をモニタリングする試みを平成18年度より実施し、適用性の確認を行っています。岩盤中の見掛比抵抗分布は、既存のボーリング孔を結ぶ2つの測線を配置し、電気探査法により測定しました。測定の結果を図4に示します。平成18、19、20年度の結果を比較すると、全体的に見掛比抵抗の値や分布形状が大きく変わる区域はみられませんでした。深度の深い部分で見掛比抵抗の変化がやや大きい箇所が認められますが、この原因については、今後検討する予定です。また、立坑付近に関しては、立坑掘削に起因すると考えられる明瞭な比抵抗の変化域は認められませんでした。

今後も、同じ測線上で電気探査法を実施し、地下施設建設に伴う岩盤中の比抵抗の変化を観測していく予定です。

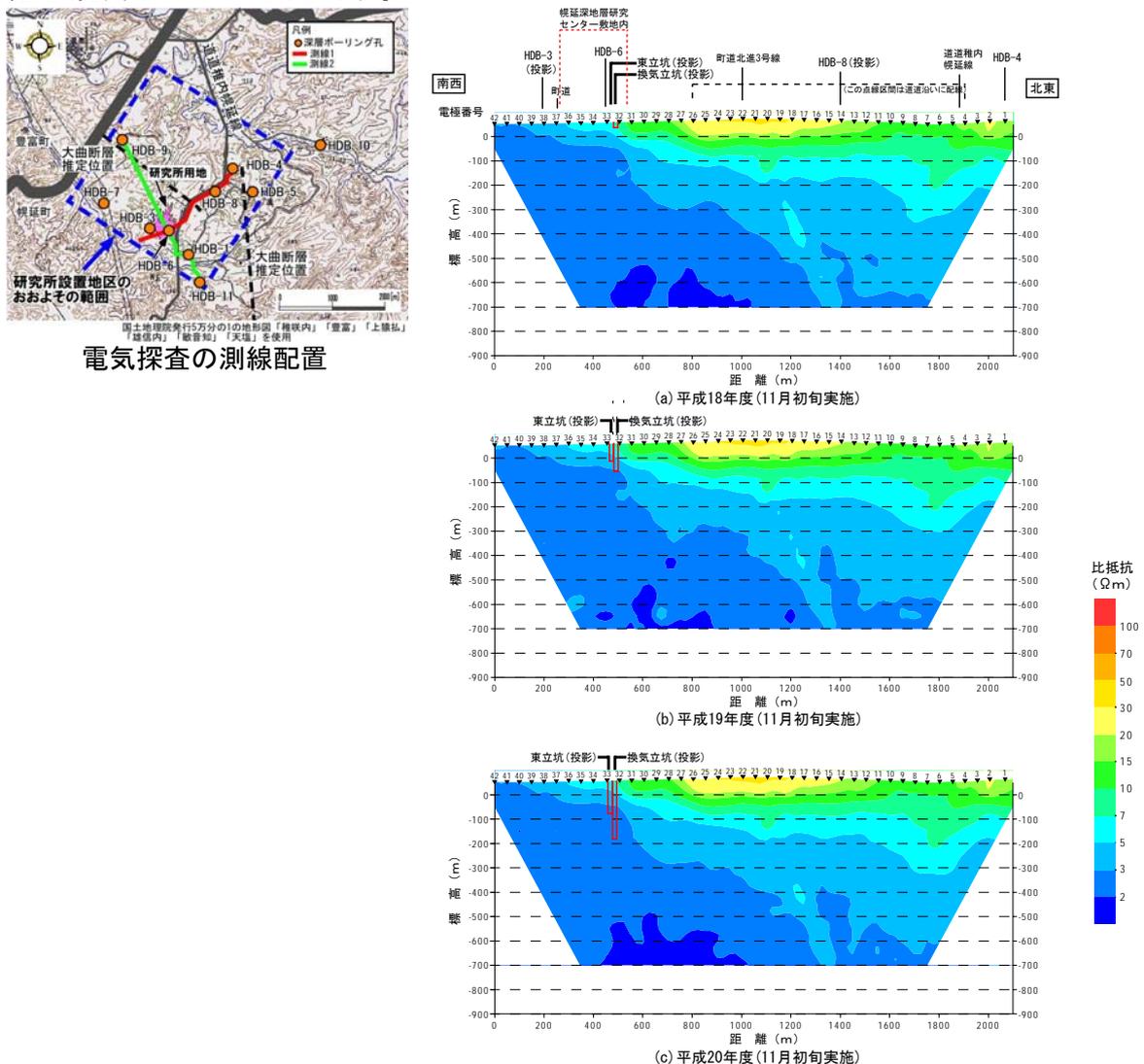


図4 電気探査で得られた見掛比抵抗分布（測線1）

3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

坑道内における防災対策の信頼性向上を目的として、平成18年度までに実施した坑内火災を想定した立坑模型実験の結果を踏まえた、火災時の通気網解析手法の高度化を検討しました。具体的には、平成19年度に構築した解析手法に基づき、覆工の熱伝達の効果を考慮した計算機能を開発し、模型実験と同様の条件でシミュレーションを行い、検証・評価しました。その結果、模型実験で確認された坑道内の温度変化が再現されました。図 5に立坑2本・水平坑道2本モデルにおいて、水平坑道に火災源を設けた場合の解析結果の一例を示します。

今後も、解析手法を改良し、火災時の通気網解析手法の高度化を進めていく予定です。

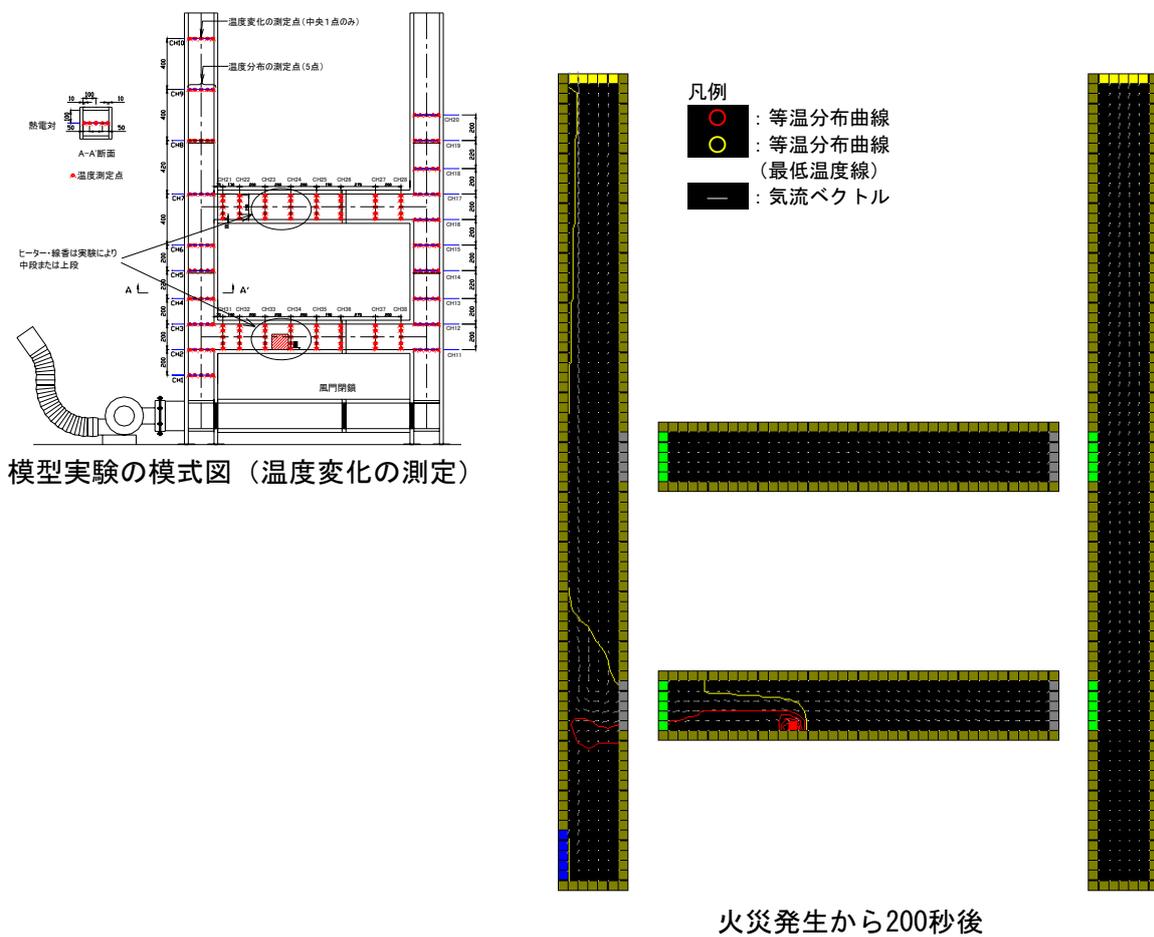


図 5 温度変化解析結果の一例 (立坑2本・水平坑道2本モデル)

3.4 地質環境の長期安定性に関する研究

地震研究

第2段階では、地震観測を継続するとともに、地表および地下施設で取得する地質環境データを組み合わせて、断層活動が地質環境に与える影響について検討します。

平成20年度は、幌延町内に設置している4箇所地震観測点での連続観測を継続するとともに、断層活動が地質環境に与える影響を把握するための地質調査、岩石サンプルの分析および数値解析を行いました。

断層活動が地質環境に与える影響を把握するための数値解析では、北海道北部地域を対象に、断層の運動に伴って周辺の岩盤がどのように変形するかについて、感度解析的にコンピュータ上でのシミュレーションを行いました。図6は、大曲断層を含む一連の断層の分布を仮定した数値解析の結果です。断層の運動に伴って断層を挟んだ両側の岩盤がずれることで、その周辺の地面が鉛直方向にどの程度動くか（鉛直変動量）を示しています。暖色系は隆起、寒色系は沈降を表しています。この図から、断層から10km程度以内の地点において、断層の東側では隆起し、西側では沈降することが分かります。このような断層の運動はこの地域の地質構造の変遷に深く関わっていると推測されます。

今後も、断層運動に伴う地質環境の変化について検討を進めていくため、北海道北部地域のほかの断層やその運動に関する特徴を踏まえた数値解析、断層周辺の地質調査および岩石サンプルの分析を実施するとともに、地震観測点での連続観測を継続して行う予定です。

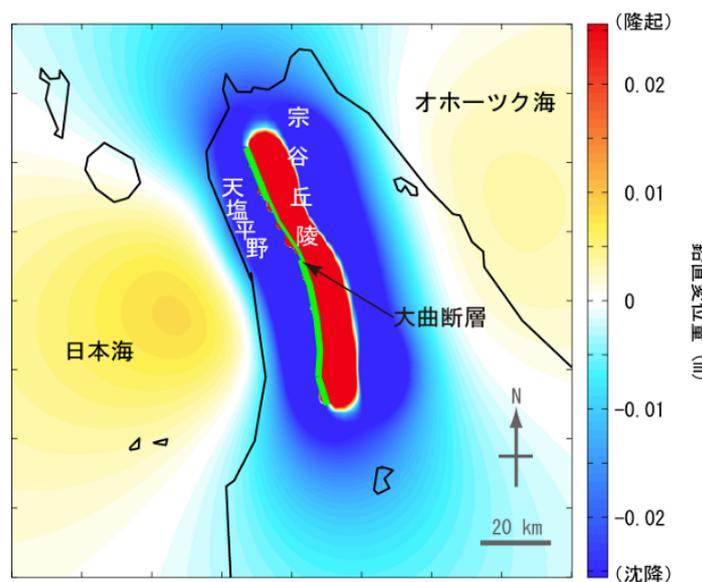


図6 数値解析によって推定した大曲断層の活動に伴う北海道北部地域の鉛直変動量

4. 地層処分研究開発

人工バリアなどの工学技術の検証

坑道掘削に伴い発生する湧水対策のための技術開発の一環として、低アルカリ性のグラウト材料の原位置試験計画を作成しました。原位置試験では、平成19年度から20年度にかけて実施したPB-V01孔の調査結果や換気立坑底盤からのボーリング調査結果から、深度280m付近に存在すると予想される透水性の比較的高い部分を対象として、HFSCの知見を反映したセメント系材料を用いる計画です。今後、換気立坑の深度250m大型試錐座からボーリング孔を掘削し、グラウト材料を注入して透水性を低下させる試験を平成21年度に実施し、その止水性や地下水への化学的影響などを確認する計画です（図 7）。なお本研究は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業である、地下坑道施工技術高度化開発として、平成19年度より実施しています。

- *グラウト：岩盤に孔をあけ、セメントなどの固化材を圧入することにより、岩盤の割れ目を充填して湧水を止める技術のことです。
- *HFSC：普通ポルトランドセメントにシリカフェーム、フライアッシュを加えて、組成を変えることで間隙水のpHを低下させたセメントのことです。

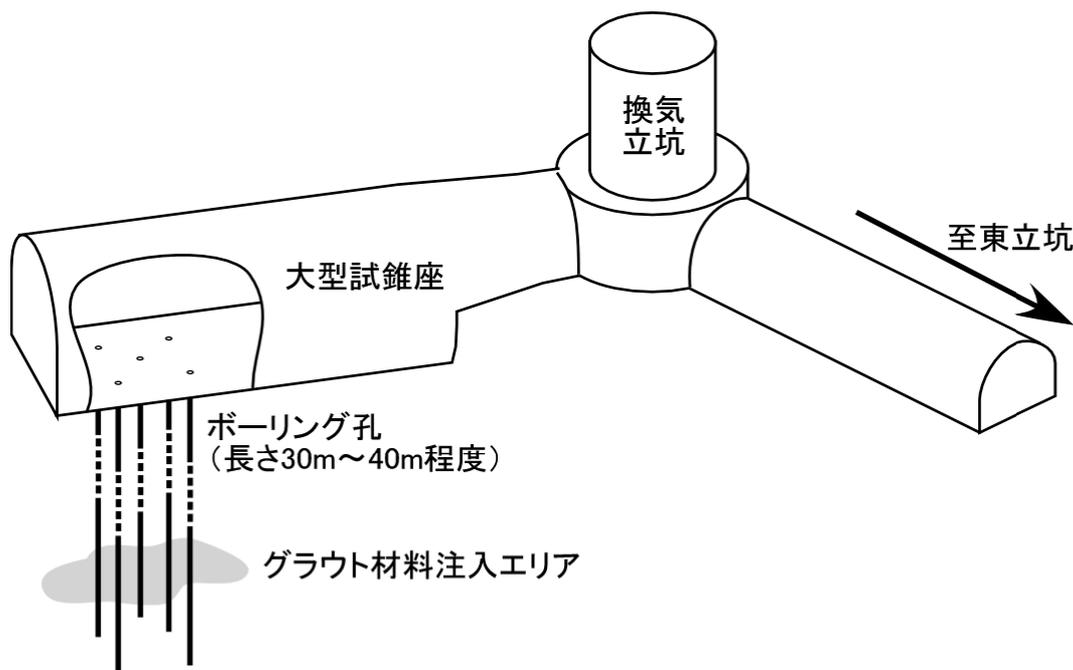


図 7 低アルカリ性グラウト材料の原位置試験計画位置

また、経済産業省資源エネルギー庁が進める地層処分実規模設備の整備に関するプロジェクトを原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究として実施し、操業技術や人工バリアの長期挙動について、実物大での試験設備について検討し、一部の設備を製作しました。具体的には、地上での設備として、操業技術に係る人工バリアの定置試験設備と人工バリアの長期挙動に係る再冠水挙動の試験設備についての試験計画の立案や設計を行い、人工バリア定置試験設備のうち、緩衝材を持ち上げるための把持装置を製作しました。図 8に緩衝材定置試験設備の概念図と製作した把持装置を示します。一方、地下での設備については、操業技術に係る人工バリアの定置試験設備および人工バリアの回収試験設備と、人工バリアの長期挙動に係る再冠水挙動およびオーバーパックの腐食挙動の試験設備について検討しました。また、これらの検討結果に、幌延の地下施設の建設工程や坑道の仕様、試験条件や地質環境条件などのほか、国外事例の調査結果を踏まえ、地上と地下での試験設備の絞り込みを行い、全体計画を策定しました。

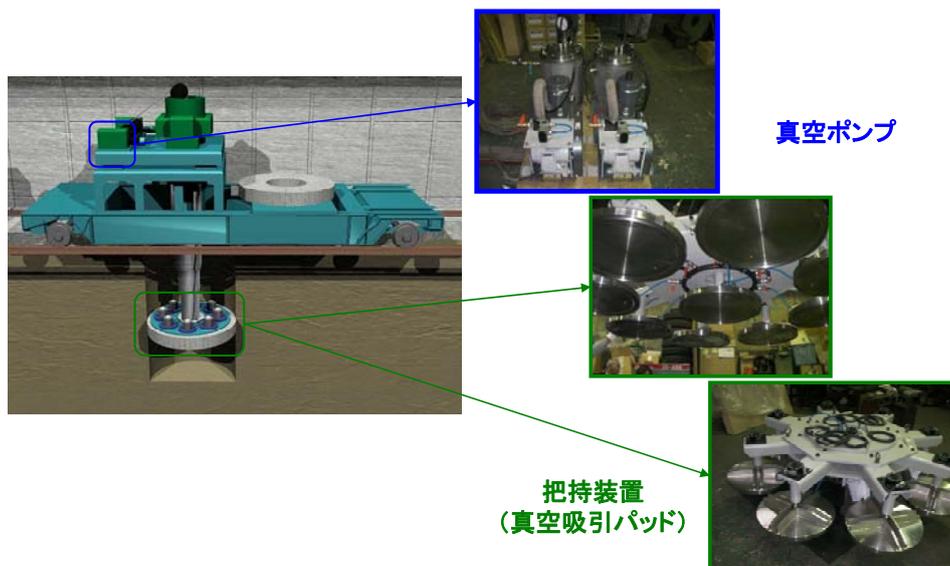
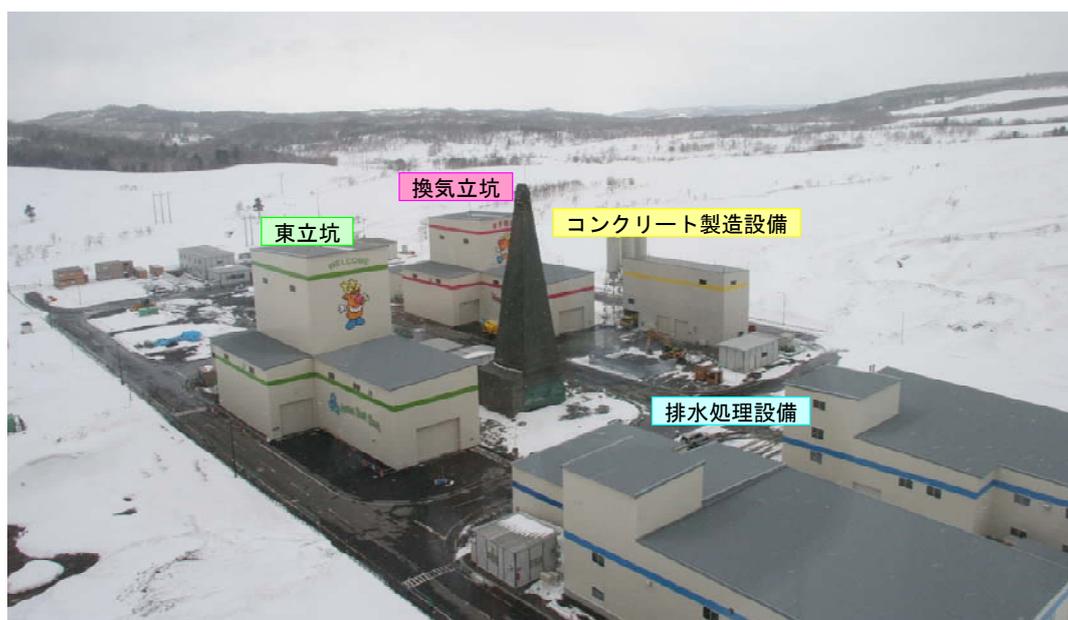


図 8 緩衝材定置試験設備の概念図と把持装置

5. 地下施設の建設

平成 20 年度は、平成 17 年度に開始した地下施設工事（第 I 期）を継続しました。地下施設工事については換気立坑を深度約 250m、東立坑を深度約 140m まで掘削するとともに、換気立坑の深度 250m および東立坑の深度 140m において水平坑道の一部掘削を行いました。また、立坑掘削の進捗に伴い発生する湧水対策として、排水処理設備の増設を行うとともに、湧水量の推定および湧水箇所を特定するための換気立坑先行ボーリング調査(PB-V01 孔)を継続しました。立坑および水平坑道の掘削では、可燃性ガスの存在を考慮し、切羽での防爆仕様機器の使用やガス濃度測定などの可燃性ガス対策を行いながら掘削を進めました。地下施設関連設備の状況を図 9 に示します。

また、立坑掘削に伴い発生する掘削土(ズリ)は、掘削土(ズリ)置場に保管しています。掘削土(ズリ)置場は土壌汚染対策法の遮水工封じ込め型に準じた二重遮水シート構造としています。



平成21年3月27日撮影

図 9 地下施設関連設備の状況

6. 地上施設の建設

平成20年度は、国際交流施設（仮称）の建設工事を6月より開始し、鉄骨工事まで行いました。図 10(a)に国際交流施設（仮称）の完成イメージ図（外観）および図 10(b)に平成21年3月時の工事状況（鉄骨工事）を示します。

本施設では、国外および国内研究者との交流活動を行うとともに、地域の方々との交流の場として講演会や報告会などを行います。

なお、運用開始は、平成21年秋頃を予定しています。



(a) 完成イメージ図（外観）



平成21年3月20日撮影

(b) 工事状況（鉄骨工事）

図 10 国際交流施設（仮称）

7. 環境モニタリング

地下施設の建設に伴うモニタリング調査として実施している、水質モニタリング調査については、立坑掘削に伴い発生する排水、掘削土(ズリ)置場からの浸出水、排水処理設備にて処理後の水、掘削土(ズリ)置場とその周辺の地表水、清水川河川水および排水の放流先である天塩川河川水について実施しました。

地下施設からの排水に係るモニタリングの公定分析の結果を表 1に示します。立坑からの排水は、坑道からの湧水に含まれるホウ素が自然的原因（地下水に元から含まれているため）により高い値を示していますが、排水処理設備からの排水処理後の水は排水基準値以下となっています。

表 1 地下施設からの排水に係るモニタリング調査結果（水質分析：公定分析）

分析項目	単位	立坑からの排水	掘削土(ズリ)置場 浸出水	排水処理設備にて 処理後の水	参考値 (水質汚濁防止法 排水基準値)
カドミウム	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
ヒ素		<0.01~0.04	<0.01~0.02	<0.01	0.1
セレン		<0.01	<0.01~0.01	<0.01	0.1
フッ素		<0.8~2.30	<0.8	<0.8	8
ホウ素		36~61	1.2~8	<0.1~3.0	10
pH	—	8.2~8.6	7.5~7.9	7.0~8.6	5.8~8.6
浮遊物質	mg/l	14~180	7~51	<1~1	200 (日間平均150)
塩化物 イオン		1,300~1,910	68.5~422	715~2,330	—

地下施設からの排水に係るモニタリングは平成20年4月から平成21年3月までの採水における調査分析結果を記載しています。

8. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、以下に示す研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、その他にも広く関連する国内外の研究機関や専門家の参加を得て進めました。

8.1 国内機関との研究協力

◆ 大学などとの研究協力

- 北海道大学
圧縮ベントナイト中における物質の移動経路の評価に関する研究
地下水・岩石中の有機物特性に関する研究
- 埼玉大学
ガスの流れを遮る地層・地質構造の存在についての推定
- 筑波大学
幌延の岩石の反応性, pHの緩衝作用に関する考察
など

◆ その他の国内研究機関との研究協力

- 電力中央研究所
地質・地下水環境特性評価に関する研究
- 幌延地圏環境研究所
岩石コアや地下水の提供、定期的な情報交換
- 原子力環境整備促進・資金管理センター
沿岸域塩淡境界・断層評価技術に関する研究
地層処分実規模設備の整備に関する研究
など

8.2 国外機関との研究協力

- Nagra (スイス)
透水試験データの品質確認と数値解法による透水性の解析の実施
- モンテリ・プロジェクト
難透水性堆積岩の地球化学的評価試験
鉄材料の腐食に関する原位置試験
など