

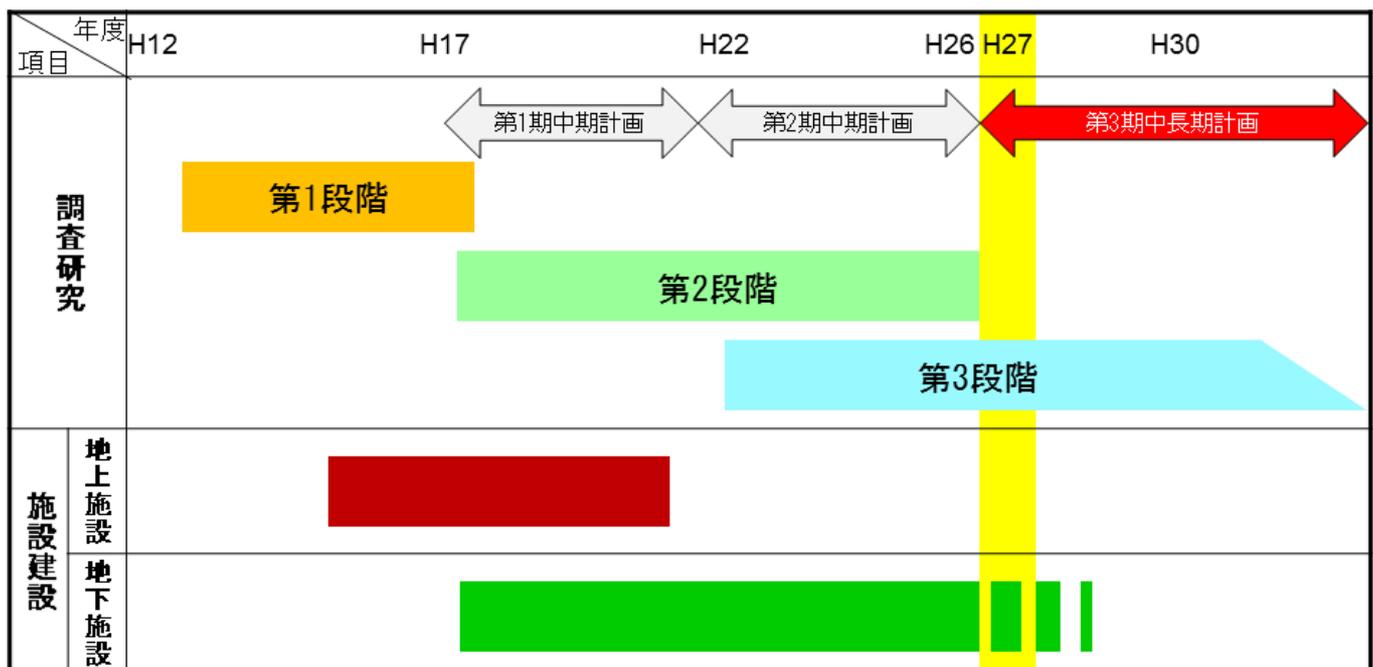
幌延深地層研究計画の現状について

-平成27年度調査研究成果-
-平成28年度調査研究計画-

平成28年8月25日(木)

日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

幌延深地層研究計画の全体スケジュール



第1段階：地上からの調査研究段階

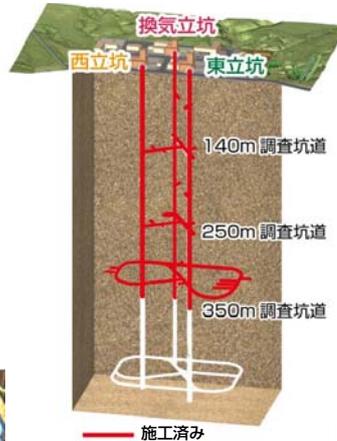
第2段階：坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階

第3段階：地下施設での調査研究段階

※平成31年度末までに研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて決定する。

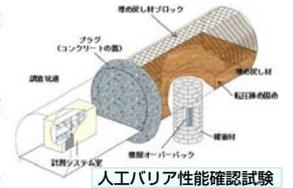
1. 地層科学研究

- 1.1 地質環境調査技術開発
- 1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発
- 1.3 地質環境の長期安定性に関する研究



2. 地層処分研究開発

- 2.1 処分技術の信頼性向上
- 2.2 安全評価手法の高度化



3. 地下施設の維持管理

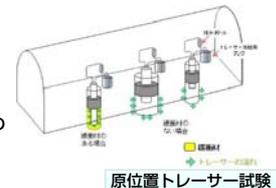
4. 環境モニタリング

5. 安全確保の取組み

6. 開かれた研究



※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。



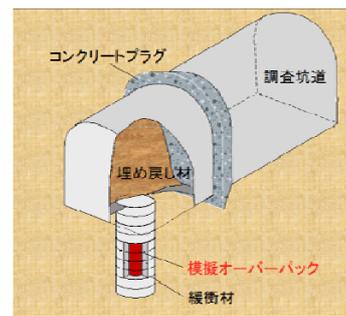
平成27年度の調査研究のイメージ

必須の課題

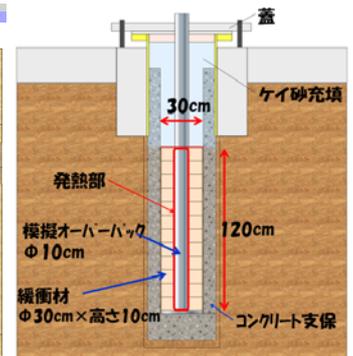
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

平成26年度から深度350m調査坑道で実施している人工バリア性能確認試験、オーバーバック腐食試験、物質移行試験を通して、**実際の地質環境において、人工バリアや周辺岩盤中での熱-水-応力-化学連成挙動や物質移行現象などを計測・評価する技術の適用性を確認し、「精密調査後半」に必要な実証試験の技術基盤を確立する。**

- 人工バリア性能確認試験
- オーバーバック腐食試験
- 物質移行試験



人工バリア性能確認試験

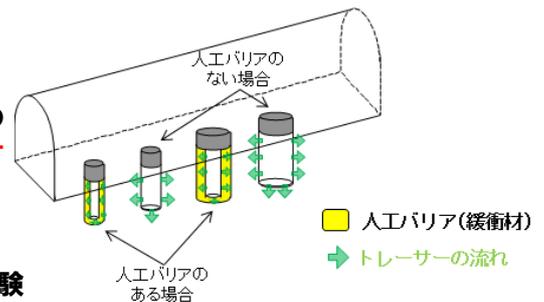


オーバーバック腐食試験

②処分概念オプションの実証

人工バリア設置環境の**深度依存性を考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する。**

- 処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験
- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
- 高温(100℃以上)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験



物質移行試験

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

地震・断層活動等の地殻変動に対する力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する。

- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

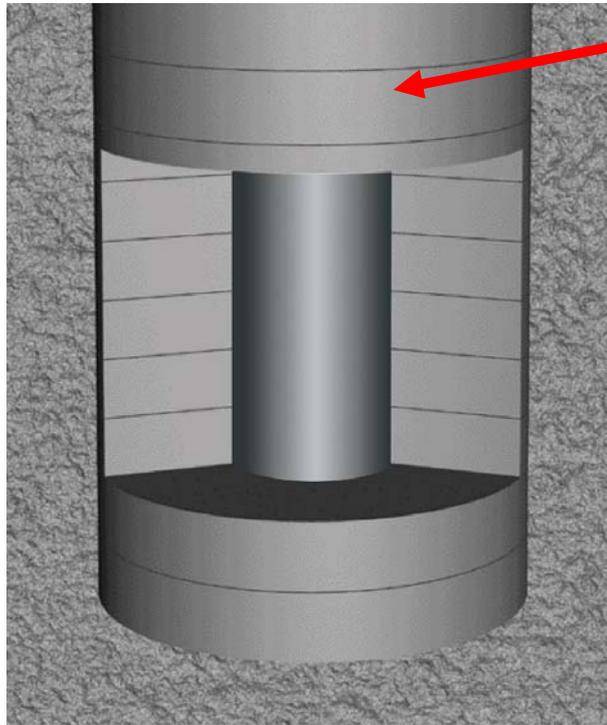
人工バリア仕様
(試験で使用しているもの)

高さ：約4.2m
直径：約2.4m
重さ：約37t



ガラス固化体

高レベル放射性廃液をガラスと混ぜて、ステンレス製の容器の中で固めたもの。放射性物質を閉じ込め、溶けにくくする。



緩衝材

ベントナイト70%とケイ砂30%を混ぜて固めたブロック。1段8~9個のブロックを12段。地下水や放射性物質の移動を遅くし、地層や地下水の変化に緩衝する。



オーバーパック

ガラス固化体を入れる金属製(炭素鋼)の容器。ガラス固化体と地下水との接触を抑え、地圧などからガラス固化体を保護する。

1. 地層科学研究に関する成果の報告

1.1 地質環境調査技術開発

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

1.1 地質環境調査技術開発

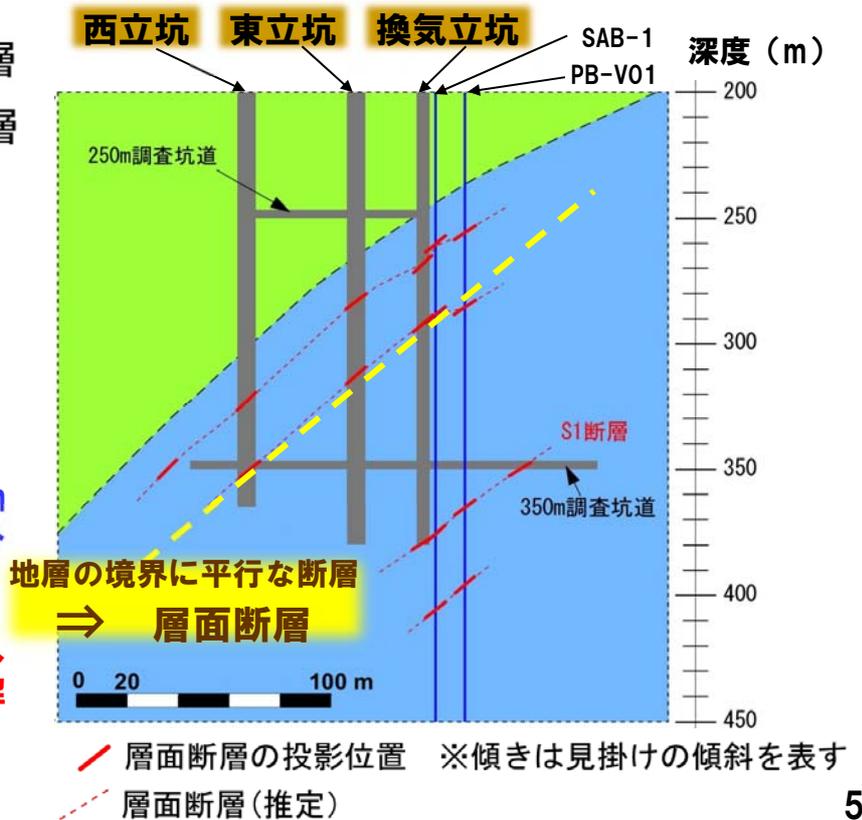
地下の地質環境をモデル化・予測する技術の開発：地質・地質構造

- 声問層
- 稚内層

- 350m調査坑道における坑道壁面の観察データや、ボーリング調査結果に基づき、断層の連続性を推定しました。



- これらの断層は、少なくとも数十mの連続性を持って分布することが分かりました。
- 今後は、他の交差する断層の発達への影響や、断層の三次元分布の理解を深めていく予定です。



報-P 7~10

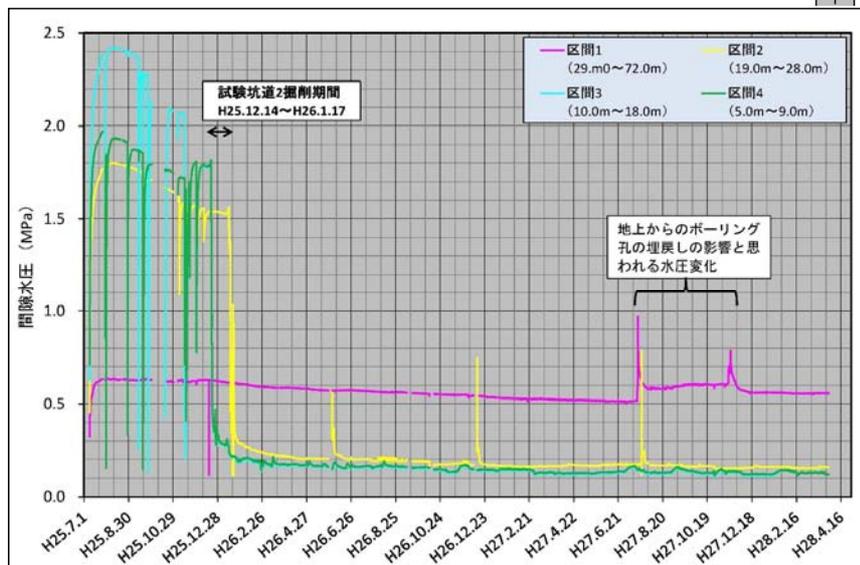
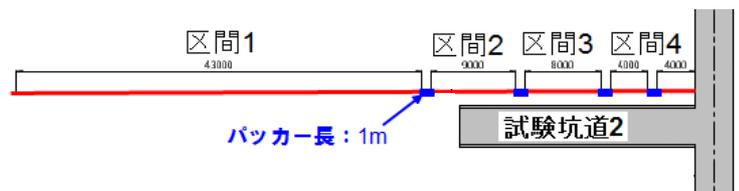
1.1 地質環境調査技術開発

坑道周辺の地質環境の変化をモデル化・予測する技術の開発：地下水圧・水質

- 水圧・水質モニタリングを350m調査坑道で継続しました。



- 水圧：坑道掘削後に大きく低下し、その後は徐々に水圧が低下する傾向がみられます。
- 水質：坑道掘削前後で変化は見られず、
 - ・ pH=約7
 - ・ 酸化還元電位=-280~-200mVでほぼ一定の値を示しています。



報-P 24~29

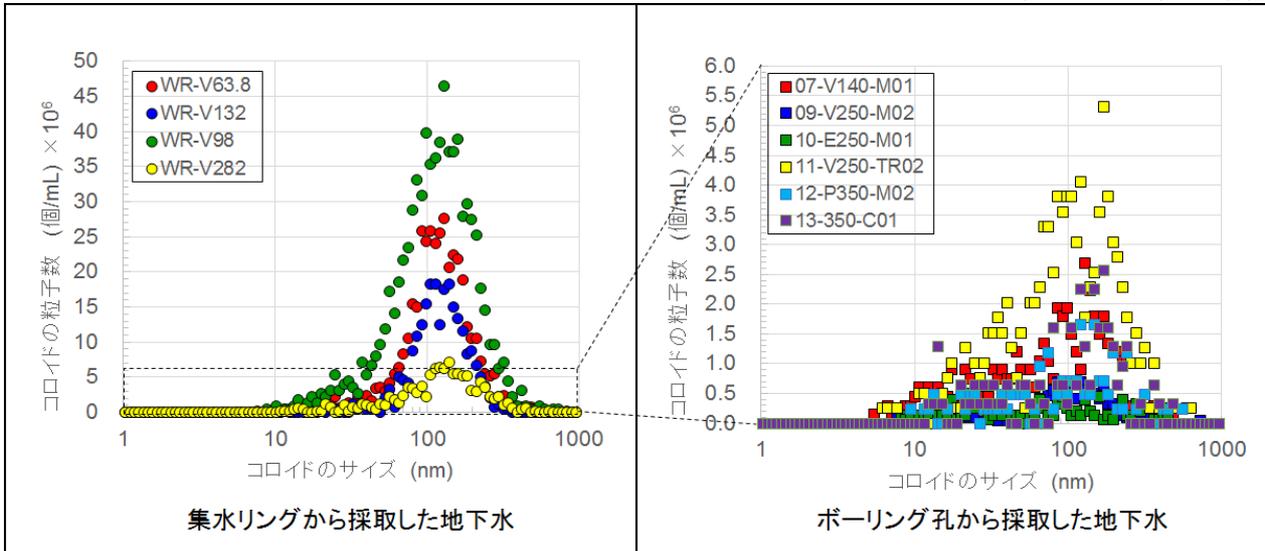
引き続き、坑道周辺の掘削影響の経時変化を把握していきます。

1.1 地質環境調査技術開発

坑道周辺の地質環境の変化をモデル化・予測する技術の開発：コロイド

- 地下水に含まれるコロイドのサイズと粒子数を測定しました。

コロイドとは…大きさが1nm～1000nm程度の微粒子
※ nm (ナノメートル) = 10億分の1メートル



- サイズは、いずれの地下水でも100nm～200nm程度が多いことがわかりました。
 - 粒子数は、集水リングからのものが多く、コンクリートの影響があると推定されました。
- コロイドは物質移行に影響を与える因子となるため、原位置での状態の把握や、物質との吸着についての情報を引き続き取得していきます。7

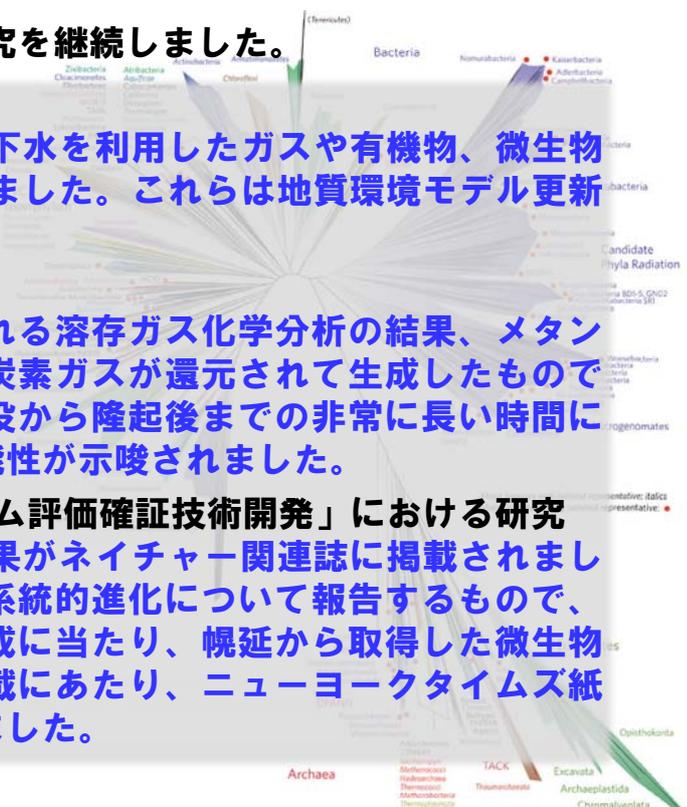
報-P 20～22

1.1 地質環境調査技術開発

坑道周辺の地質環境の変化をモデル化・予測する技術の開発：微生物

- 地下水や岩石に含まれる微生物についての研究を継続しました。

- 幌延地圏環境研究所との共同研究
 - 調査坑道において取得した岩石、地下水を利用したガスや有機物、微生物などの分析を行い、データを取得しました。これらは地質環境モデル更新のための基盤データとしました。
- 産業技術総合研究所との共同研究
 - 調査坑道から採取した地下水に含まれる溶存ガス化学分析の結果、メタンガスは主に微生物活動により二酸化炭素ガスが還元されて生成したものであることが分かり、また、地層の埋没から隆起後までの非常に長い時間にわたり微生物活動が継続していた可能性が示唆されました。
- 資源エネルギー庁受託事業「処分システム評価確証技術開発」における研究
 - 米国UCバークレイとの共同研究の成果がネイチャー関連誌に掲載されました。微生物のゲノム情報から生命の系統的進化について報告するもので、系統樹（ツリー・オブ・ライフ）作成に当たり、幌延から取得した微生物ゲノム情報が追加されています。掲載にあたり、ニューヨークタイムズ紙を含む複数のメディアでも紹介されました。



報-P 100～101

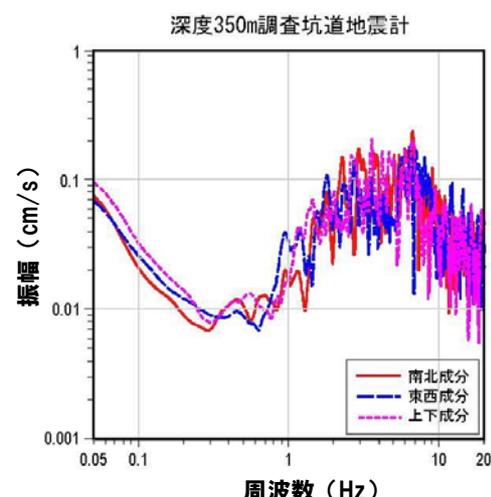
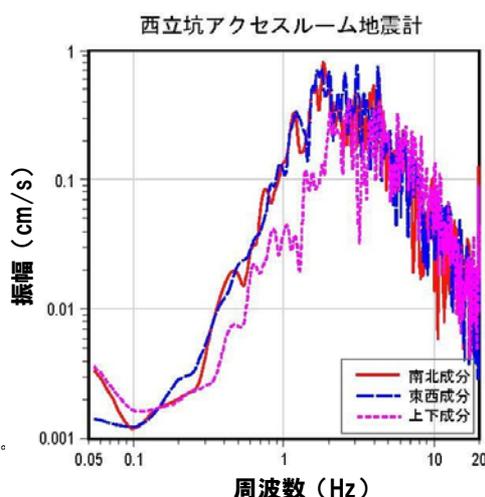
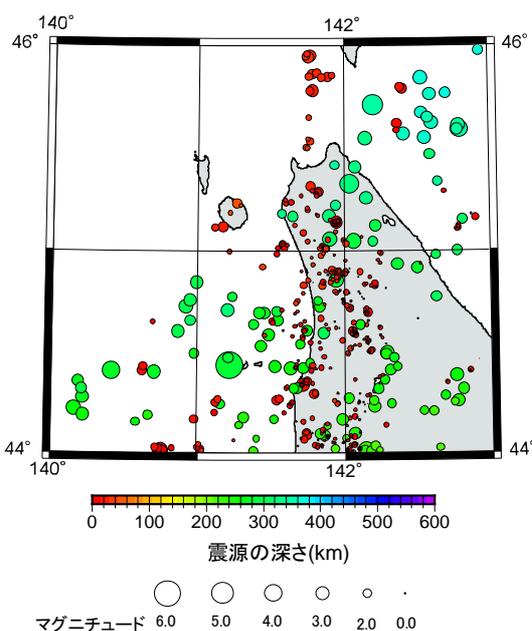
1.1 地質環境調査技術開発

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

効率的・安全に地下施設を建設するための工学的技術の開発： 地震観測



平成27年8月29日の地震（幌延町で震度1）の振幅と周波数の関係

- 地表（西立坑アクセスルーム）：最大加速度 1.45cm/s^2
- 350m調査坑道：最大加速度 0.91cm/s^2

震央分布 (H27.4.1~H28.2.29) ▶ 地震波は深部岩盤で周波数が高く振幅の小さい波が、地上付近で周波数が低く振幅の大きな波に変わっていることがわかりました。

今後、岩盤の地震動に対するモデルの見直しを行い、地下施設の耐震性評価技術の整備を進めていきます。

1.1 地質環境調査技術開発

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

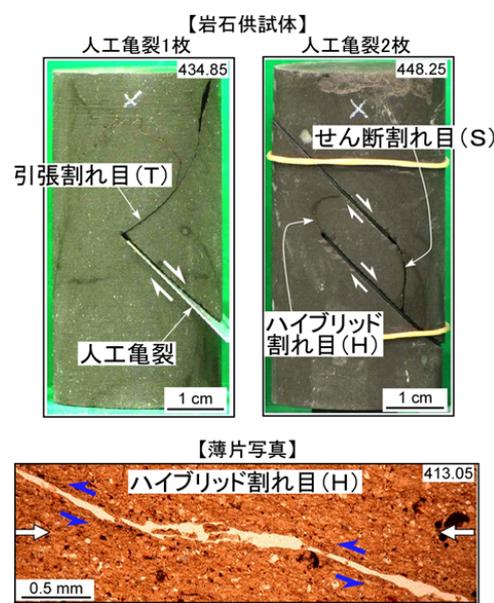
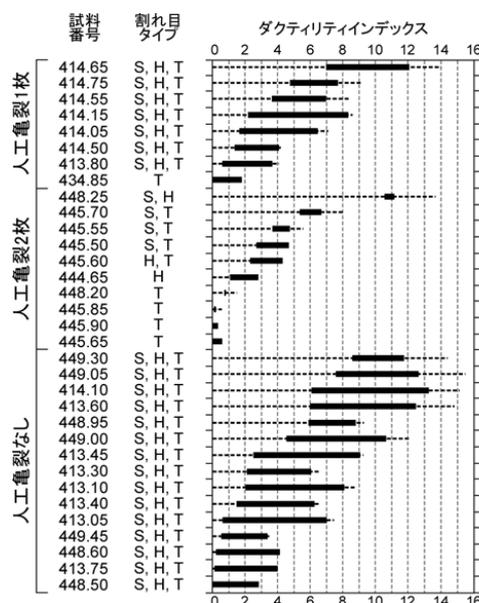
1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

地殻変動等が地質環境に与える影響をモデル化・予測する技術の開発

- 断層付近に生成する割れ目の状態（せん断・引張・ハイブリッド）を観察しました。
- 人工亀裂を入れた岩石供試体を用いた室内試験を実施し、発生する亀裂を観察しました。



- **ダクティリティインデックス**
 - 2以上：せん断割れ目が形成
 - 2未満：引張・ハイブリッド割れ目が形成
- **ダクティリティインデックス**は、断層付近に発達する割れ目の状態と密接に関連しています。
- 地質環境の長期変遷（隆起・侵食）に伴う断層の発達様式の変化をモデル化しました。



(本成果は米学術誌 JGR に掲載)

人工亀裂端部に形成される割れ目のタイプとDIの関係

※ **ダクティリティインデックス (DI)**：岩石の強度と応力状態により定義される値
断層帯中の水みちの透水性は **ダクティリティインデックス** が大きくなるほど小さくなる

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

地殻変動等が地質環境に与える影響をモデル化・予測する技術の開発

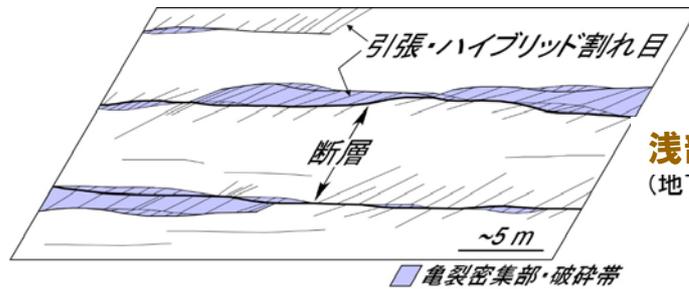
- 地質環境の長期変遷（**隆起・侵食**）に伴う断層の発達様式の変化をモデル化しました。



➤ 岩盤は隆起・侵食の過程でダクティリティインデックスが徐々に低下していくことが予想されます。

➤ したがって、隆起・侵食に伴う断層の発達様式の変化が考えられます（付随する割れ目が、せん断型から引張・ハイブリッド型に変化）。

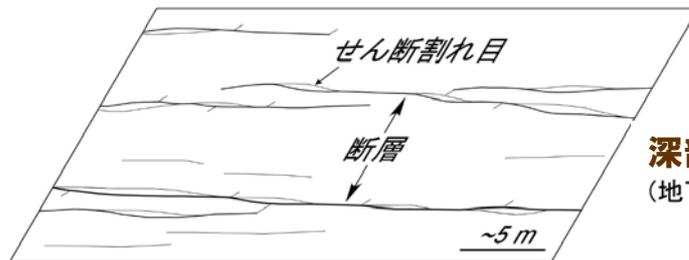
（本成果は米学術誌 JGR に掲載）



浅部 DI < 2
(地下施設の深度350mレベル)



隆起・侵食



深部 DI > 2
(地下施設の深度500mレベル)

隆起・侵食に伴う断層の発達様式の変化

今後も、地殻変動が地質環境に与える影響をモデル化し予測する手法の技術開発を続けていきます。

2. 地層処分研究開発に関する成果の報告

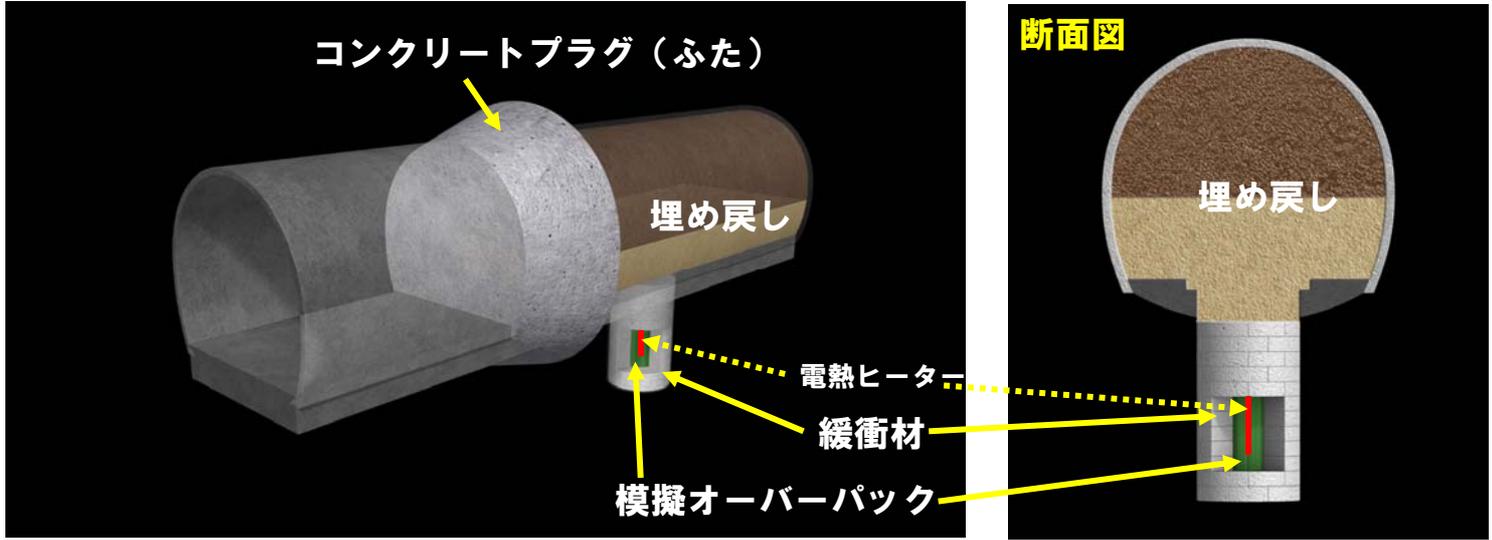
2.1 処分技術の信頼性向上

2.2 安全評価手法の高度化

2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認

深度350m調査坑道 試験坑道4 人工バリア性能確認試験イメージ



- 地下水やガスが存在する軟岩での地質環境における**施工を確認する**。
- 人工バリアや周辺岩盤の**変化（温度、水分、応力、水質等）を観測し、評価する**。

報-P 48

15

2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認

- 人工バリア性能確認試験における、緩衝材、模擬オーバーパック、計測センサーの設置、坑道の埋め戻し、およびコンクリートプラグの施工の状況（H26年度実施）。



16

2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認



H27.6月の深度350m調査坑道 試験坑道4

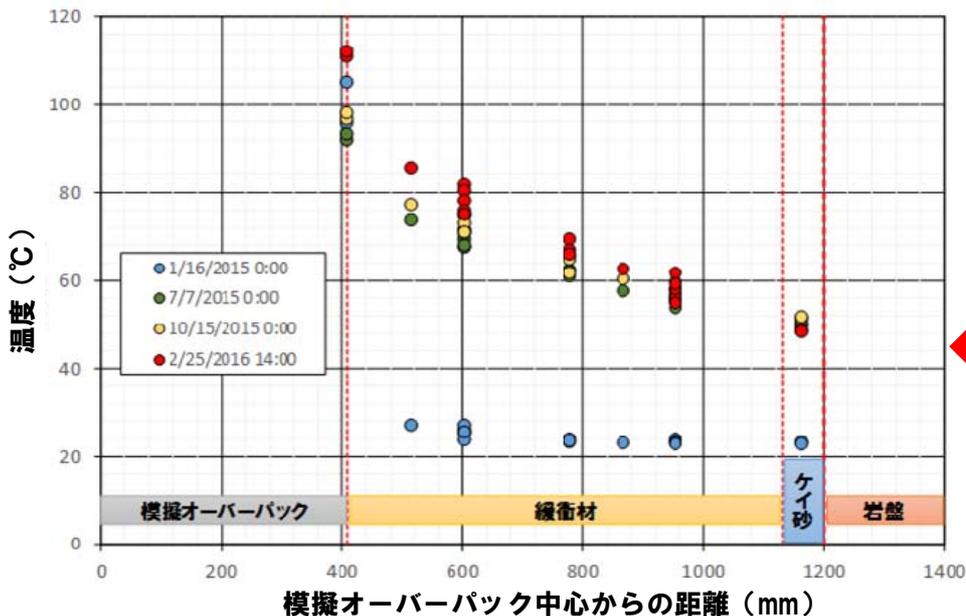


H28.3月の深度350m調査坑道 試験坑道4

2.1 処分技術の信頼性向上

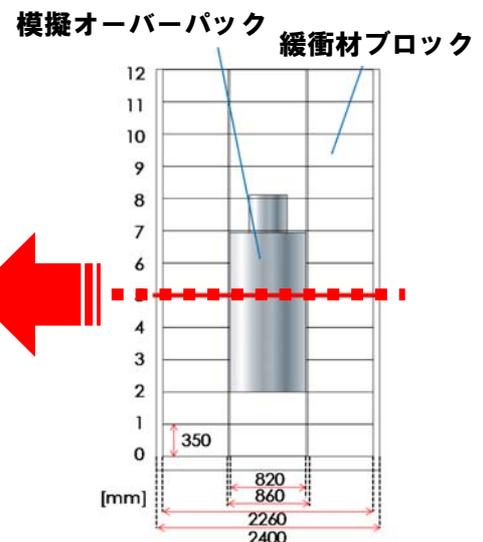
人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認

- 人工バリア性能確認試験における加熱・注水試験を継続しました。



模擬オーバーパック中心からの距離 (mm)

緩衝材5段目の温度分布

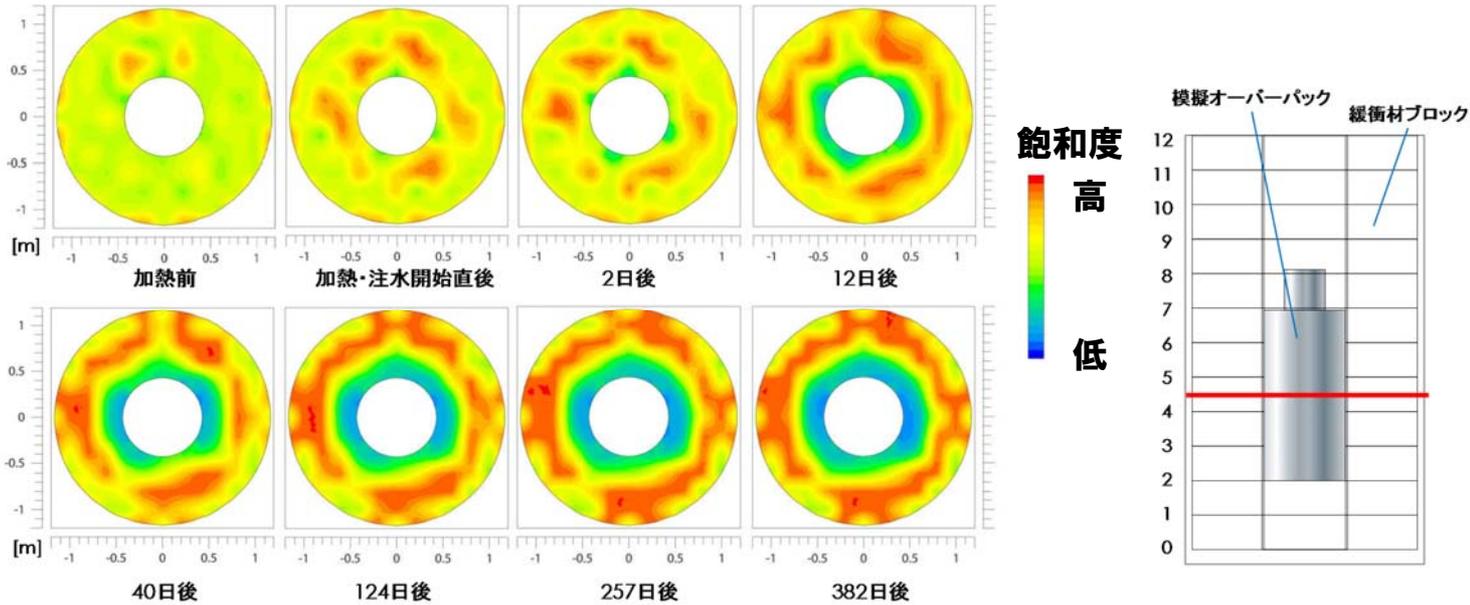


- 加熱から約1年後には温度は定常状態になり、模擬オーバーパック表面から遠ざかるにつれて緩やかな温度勾配を示すことが分かります。

2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認

- 人工バリア性能確認試験における加熱・注水試験を継続しました。



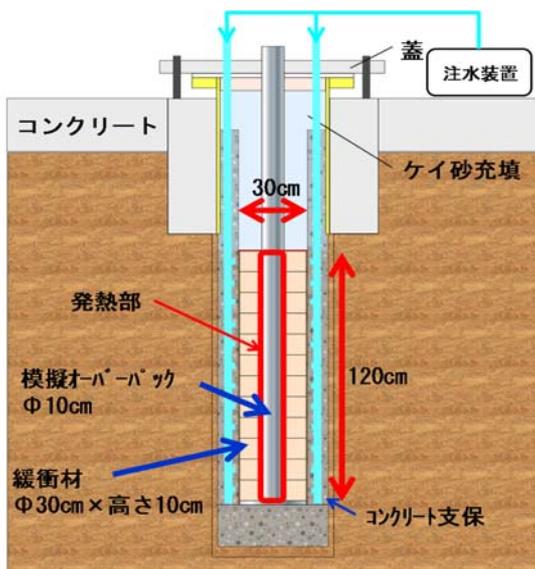
緩衝材の水分飽和度の経時変化

- ▶ 加熱から、382日後（H28年2月1日）の段階で緩衝材のほぼ中間にまで地下水が浸潤してきていると考えられます。今後もデータ取得を継続し、実測値とコンピューターシミュレーションの結果を比較するとともに、計測センサーの耐久性を確認します。

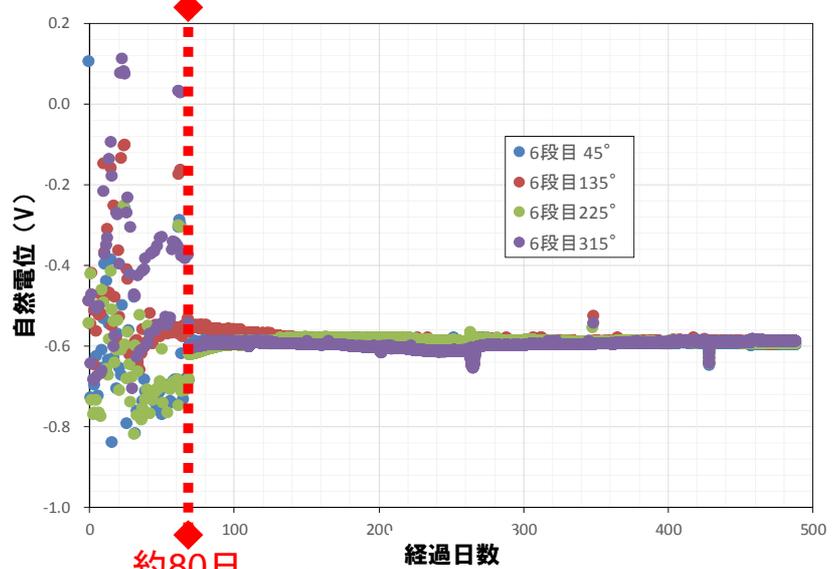
2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリアや緩衝材の定置等に必要な工学技術の開発

- オーバーパック腐食試験：腐食センサーによる測定を継続しました。



オーバーパック腐食試験の概念図



自然電位の経時変化

- ▶ 加熱（95℃）から約80日以降はばらつきが収まり、自然電位はほぼ同一の値を示したことから、地下水がセンサー近傍に到達したと考えられます。

今後もデータ取得を継続します。
腐食速度の評価を行うとともに、センサーの耐久性を確認します。

2.1 処分技術の信頼性向上

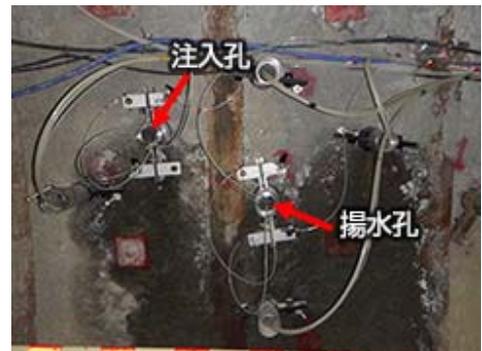
2.2 安全評価手法の高度化

2.2 安全評価手法の高度化

安全評価における物質移動解析に関わる技術の開発

- 350m調査坑道で健岩部や単一の割れ目を対象とした原位置トレーサー試験を実施しました。

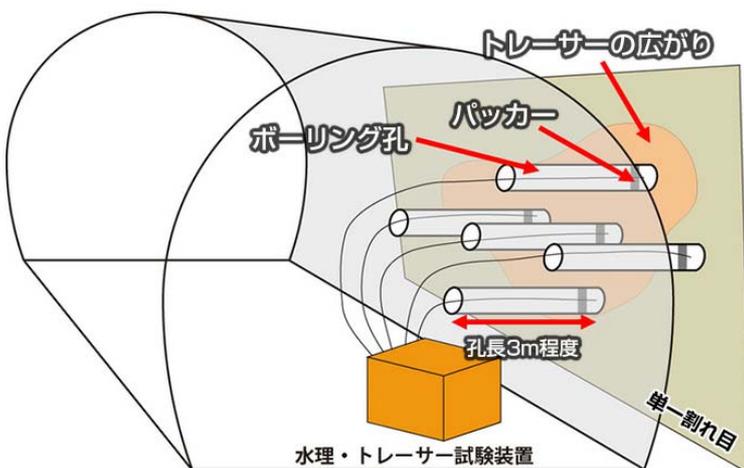
物質移行試験（単一の割れ目を対象とした試験の例）



原位置試験の状況



試験後の採取した岩石試料

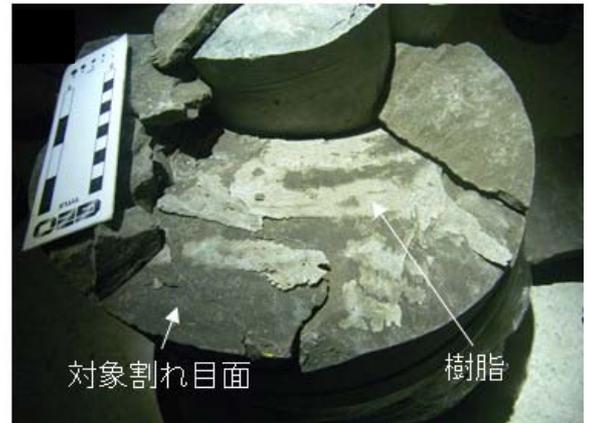
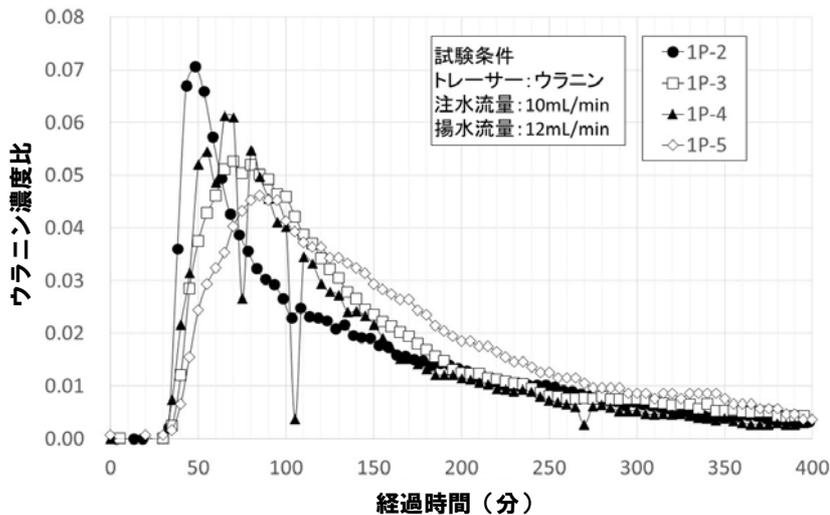


試験のレイアウト概要

2.2 安全評価手法の高度化

安全評価における物質移動解析に関わる技術の開発

- 350m調査坑道で健岩部や単一割れ目を対象とした原位置トレーサー試験を実施しました。



試験後の採取した岩石試料
(割れ目内の一部にトレーサー試験後に注入した樹脂が充填されている様子が確認できます。)

トレーサー試験の結果（注水流量と揚水流量を同一に設定）

- 試験開始から概ね50~100分の間にピークが生じ、その後、緩やかな濃度低下が確認できます。採取した岩石試料の室内試験を実施中です。

報-P 70~73

今後、原位置試験と室内試験の結果を総合的に解釈し、物質移行特性の評価を継続します。

23

研究成果

- 報告書 : 14冊
- 論文 : 4編
- 学会発表 : 13件

受賞 :

- 日本原子力学会バックエンド部会 平成27年度論文賞
- 土木学会平成27年度論文奨励賞
- 第13回 国際ガス地球化学会議 (8月24日~27日中国・成都市) 最優秀発表賞



24

地層科学研究

地質環境調査技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 坑道壁面の観察データや地下水の水質データを用いて、これまでに構築した地質環境モデルの妥当性について確認し、必要に応じて更新します。 水圧擾乱試験(通常よりも高い注入圧を用いた透水試験)などを行い、坑道内での調査技術や調査に使用する機器の開発を進めます。
深地層における工学的技術の基礎の開発	<ul style="list-style-type: none"> 坑道掘削後の岩盤や支保の長期挙動の観測を継続し、地下施設の設計の妥当性について確認します。 耐震設計や湧水抑制対策などの一連の工学的技術の整備を継続します。
地質環境の長期安定性に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> 地形や地質構造の長期的な変化を予測する手法や、地震や断層活動が地下水の流れや水質に与える影響を推定する手法の検討を継続します。

地層処分研究開発

処分技術の信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリア性能確認試験やオーバーパック腐食試験を継続します。 低アルカリ性コンクリート材料が周辺岩盤や地下水に及ぼす影響を把握するための調査を継続します。 オーバーパック溶接部の耐食性や緩衝材の流出現象に関する原位置試験などを継続します。緩衝材の定置試験の準備を開始します。
安全評価手法の高度化	<ul style="list-style-type: none"> 350m調査坑道で原位置トレーサー試験を継続します。 原位置試験を補完・検証するため、並行して必要な室内試験を行います。



3. 地下施設の維持管理
4. 環境モニタリング
5. 安全確保の取組み
6. 開かれた研究

3. 地下施設の維持管理

今年度も地下施設の機械設備や電気設備の点検保守や修繕（維持管理）を継続し、地下施設の安全性確保に努めました。

平成28年度も、維持管理業務を継続していきます。

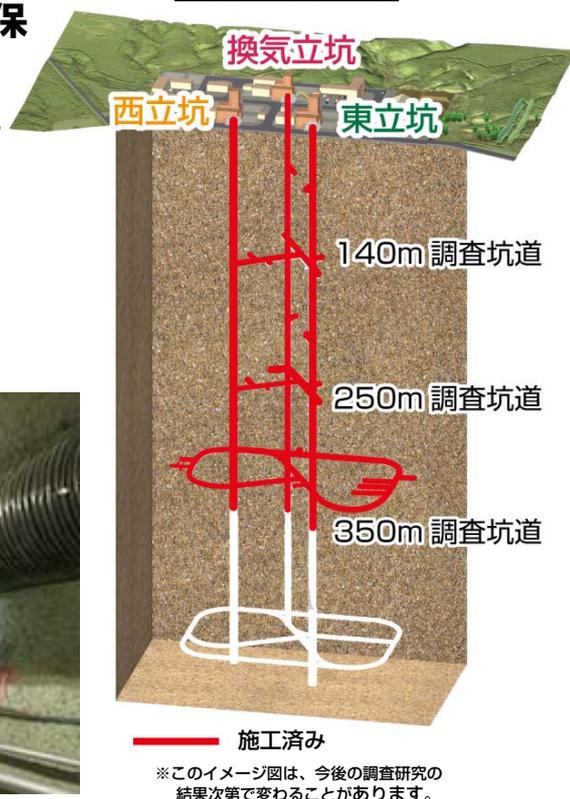


機械設備の点検・整備



地下水の排水用シートの更新

地下施設概要図



4. 環境モニタリング

○排水量および水質調査

- (1) 天塩川への排水量
- (2) 地下施設からの排水の水質調査
- (3) 天塩川の水質調査
- (4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査
- (5) 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査
- (6) 浄化槽排水の水質調査

○センター周辺の環境影響調査

- (1) 清水川の水質調査
- (2) 魚類の調査

4. 環境モニタリング ～排水量および水質調査結果～



(1) 天塩川への排水量

排水処理設備から天塩川への年間排水量は61,907m³でした。

日最大排水量は、融雪の影響より掘削土（ズリ）置場の浸出水を多く処理した3月の429m³が最大であり、北るもい漁業協同組合との協定値である750m³未満でした。

年月	月排水量(m ³)	日最大排水量(m ³)	日平均排水量(m ³)
27年4月	6,376	406	212.5
5月	4,557	280	147.0
6月	5,365	361	178.8
7月	6,975	364	225.0
8月	4,511	343	145.5
9月	5,165	305	172.2
10月	6,877	339	221.8
11月	3,928	220	130.9
12月	4,803	301	154.9
28年1月	3,604	286	116.3
2月	3,970	308	136.9
3月	5,776	429	186.3
年間	合計:61,907	—	—

報-P 80

(毎日の排水量は、ホームページで公開しています。)

31

4. 環境モニタリング ～排水量および水質調査結果～



(2) 地下施設からの排水の水質調査結果

排水基準を超える処理済排水はありませんでした。

平成28年度も継続して調査を実施します。

分析項目	単位	採水地点			参考値 (水質汚濁防止法 排水基準)
		立坑の原水	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	揚水設備における 処理済排水	
カドミウム	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
ヒ素	mg/L	<0.01	<0.01~0.01	<0.01	0.1
セレン	mg/L	<0.01	<0.01~0.01	<0.01	0.1
フッ素	mg/L	<0.8	<0.8	<0.8~1.6	8
ホウ素	mg/L	61~86	0.2~9.3	0.1~2.1	10
全窒素	mg/L	76~91	23~79	13~29	120 (日間平均:60)
全アンモニア	mg/L	54~72	0.12~2.1	<0.05~0.91	—
pH	—	8.1~8.2	7.1~7.4	7.2~8.0	5.8~8.6
浮遊物質 (SS)	mg/L	4~48	5~18	<1~4	200 (日間平均:150)
塩化物イオン	mg/L	3,400~4,100	22~330	2,400~4,400	—

報-P 82

(調査結果の詳細なデータは、ホームページで公開しています。)

32

4. 環境モニタリング ～排水量および水質調査結果～

(3) 天塩川の水質調査結果

浮遊物質（SS）が高い値を示していますが、放流口の上流においても高い値を示していること、当センターからの排水は低い値であることから、地下施設からの排水の影響ではなく、融雪や降雨に伴う自然的な原因によるものと考えられます。

平成28年度も継続して調査を実施します。

分析項目	単位	採水地点			北るもい漁協 協定値
		B1:放流口	B2:放流口 上流1km	B3:放流口 下流1km	
ホウ素	mg/L	0.01~4.7	<0.01~4.6	<0.01~4.5	5以下
全窒素	mg/L	0.17~2.1	0.16~1.4	0.17~1.4	20以下
全アンモニア	mg/L	<0.05~0.08	<0.05~0.08	<0.05~0.09	2以下 (B3地点のみ)
pH	—	6.6~7.7	6.7~7.6	6.6~7.6	5.8~8.6
浮遊物質 (SS)	mg/L	<1~370	<1~410	<1~420	20以下

(調査結果の詳細なデータは、ホームページで公開しています。)

4. 環境モニタリング ～排水量および水質調査結果～

(4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

平成27年度の調査結果から掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないと判断しています。

平成28年度も継続して調査を実施します。

分析項目	単位	採水地点	掘削土(ズリ)搬入前 (H18.6~H19.4)	掘削土(ズリ)搬入後 (H19.5~H27.3)	H27年度
カドミウム	mg/L	A1~A4	<0.001~0.004	<0.001~0.009	<0.001
鉛	mg/L	A1~A4	<0.005~0.171	<0.005	<0.005
ヒ素	mg/L	A1~A4	<0.005	<0.005~0.012	<0.005
セレン	mg/L	A1~A4	<0.002	<0.002~0.005	<0.002
フッ素	mg/L	A1~A4	<0.1~0.4	<0.1~0.4	<0.1~0.3
ホウ素	mg/L	A1~A4	<0.02~50.7	<0.02~63.0	<0.02~32
pH	—	A1~A4	4.6~7.3	3.7~7.3	5.2~7.4
塩化物イオン	mg/L	A1~A4	9.7~2,910	8.4~3,400	11~1,400

(調査結果の詳細なデータは、ホームページで公開しています。)

4. 環境モニタリング ～排水量および水質調査結果～



(5) 清水川及び掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

平成27年度の調査結果から掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないと判断しています。

平成28年度も継続して調査を実施します。

分析項目	単位	採水地点	掘削土(ズリ)搬入前 (H18.6~H19.4)	掘削土(ズリ)搬入後 (H19.5~H27.3)	H27年度
カドミウム	mg/L	A5~A7	<0.001~0.001	<0.001~0.002	<0.001
鉛	mg/L	A5~A7	<0.005	<0.005~0.008	<0.005
ヒ素	mg/L	A5~A7	<0.005~0.011	<0.005~0.015	<0.005~0.005
セレン	mg/L	A5~A7	<0.002	<0.002~0.003	<0.002
フッ素	mg/L	A5~A7	<0.1~0.7	<0.1~1.1	<0.1~0.1
ホウ素	mg/L	A5~A7	<0.02~0.30	<0.02~0.44	0.04~0.31
pH	—	A5~A7	5.8~7.4	5.7~9.1	6.0~8.9
浮遊物質(SS)	mg/L	A5~A7	1~173	<1~500	1~80
塩化物イオン	mg/L	A5~A7	5.1~30.5	2.9~269	5.6~50

報-P 90

(調査結果の詳細なデータは、ホームページで公開しています。)

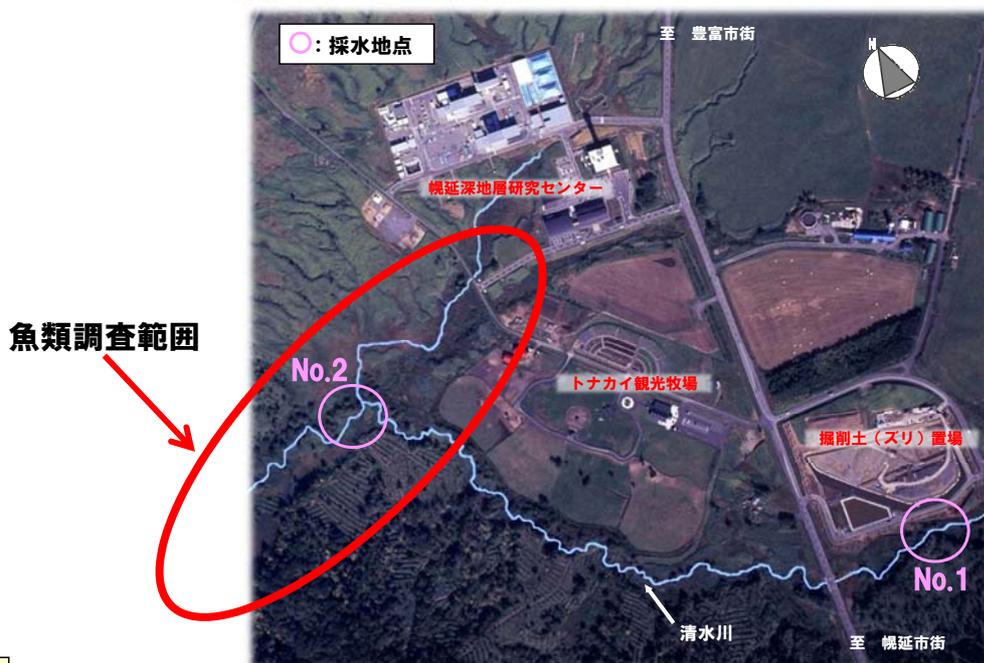
35

4. 環境モニタリング ～センター周辺の環境影響調査結果～



清水川の水質及び魚類の調査結果

当センター周辺の環境影響調査として清水川の水質および魚類を対象に調査を実施しています。



報-P 92

環境調査実施場所

36

5. 安全確保の取組み

各種の安全活動に積極的に取り組むとともに、「安全推進協議会」を組織し、センター一丸となって安全活動を推進・実施しました。平成28年度も安全最優先で業務を進めていきます。



安全大会 (H27年7月)

- 各種安全行事による意識高揚
- 定期的な安全パトロールの実施
- 作業計画書による作業前の安全対策・リスクアセスメントの確認
- 新規配属者・請負業者に対する安全教育の実施
- 事故対応訓練 (年2回)、通報連絡訓練 (毎月)
- 安全関係規則類の見直し改定
- 安全推進協議会活動



所長パトロール (月例)



事故対応訓練 (H28年2月)



6. 開かれた研究

◆大学との研究協力

北海道大学、
室蘭工業大学、
信州大学、
京都大学、
東北大学など

◆その他の機関との研究協力

幌延地圏環境研究所、
電力中央研究所、
産業技術総合研究所、
株式会社大林組、
原子力環境整備促進・資金管理センター、
大成建設株式会社、
株式会社地層科学研究所など

◆国外機関との研究協力

DECOVALEXプロジェクト、
モンテリ・プロジェクト (スイスのモンテリでの国際共同研究) など



原環センター・原子力機構
共同研究
オーバーパック溶接部腐食試験
でヒーターを設置している様子
(平成27年9月、
於 350m調査坑道)



DECOVALEX-2015
第8回ワークショップの様子
(平成27年10月、於 国際交流施設)

MEMO

