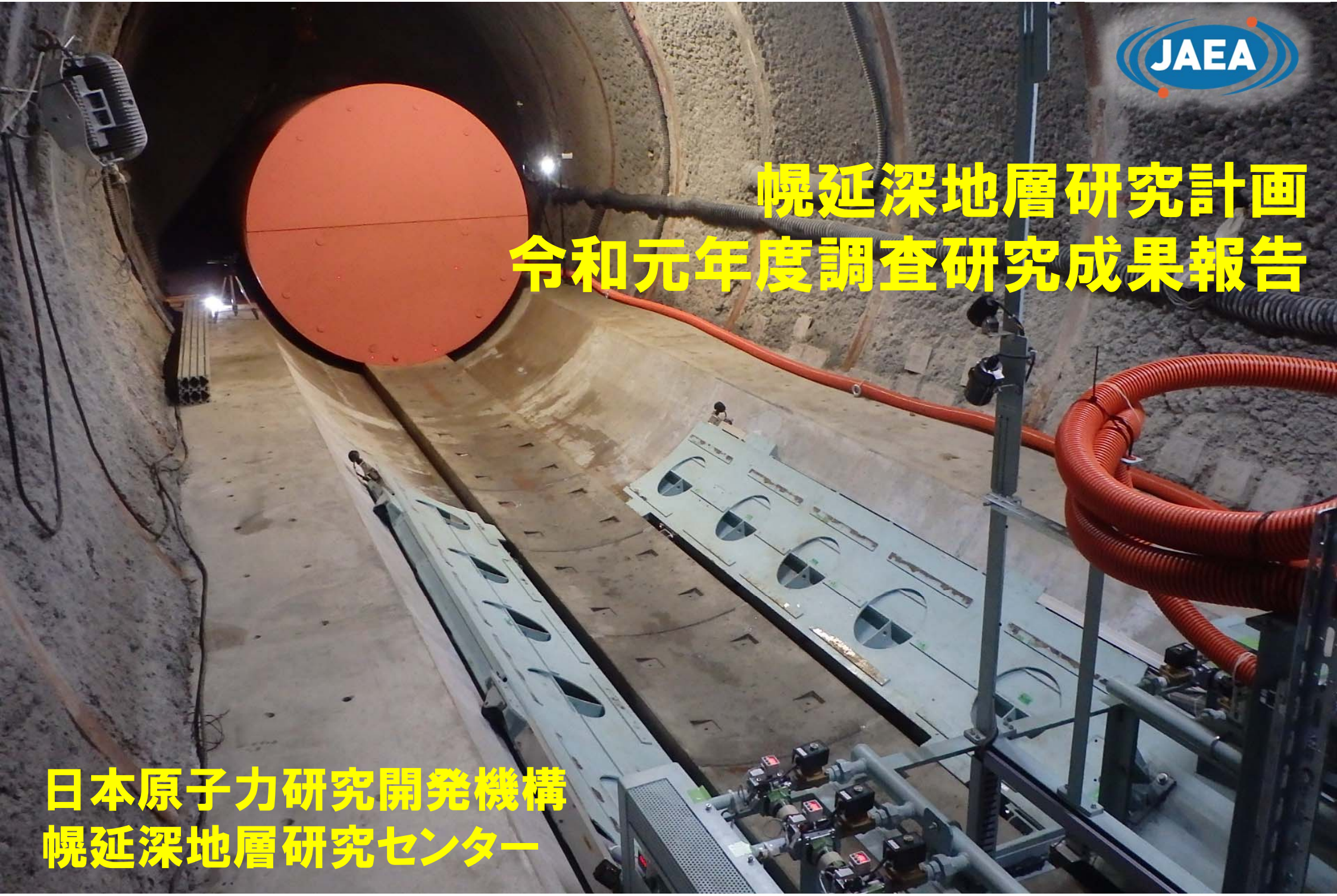


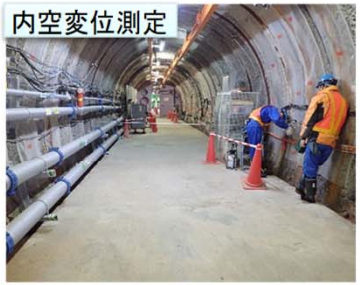
幌延深地層研究計画
令和元年度調査研究成果報告

日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

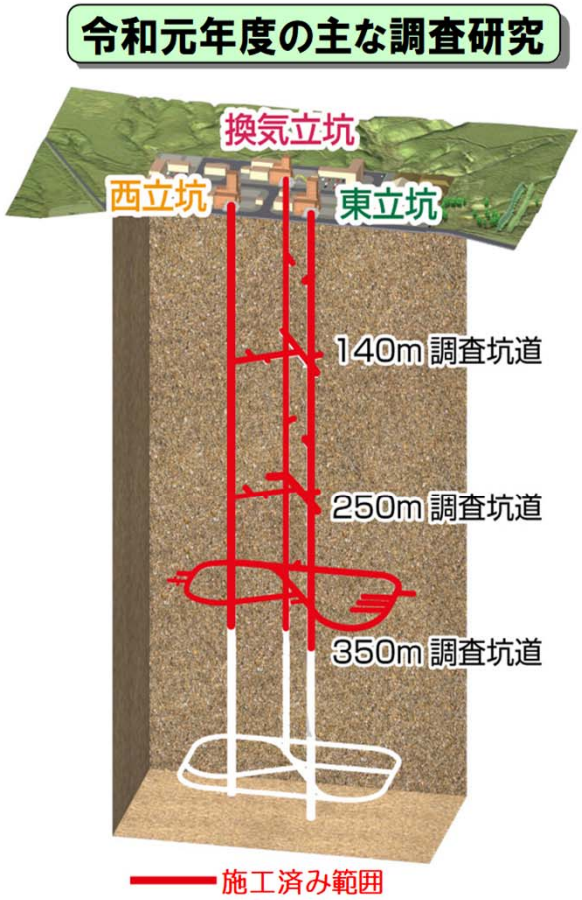
報告の概要

1. 地層科学研究
2. 地層処分研究開発
3. 地下施設の維持管理
4. 環境調査
5. 安全確保の取組み
6. 開かれた研究

地質調査


内空変位測定

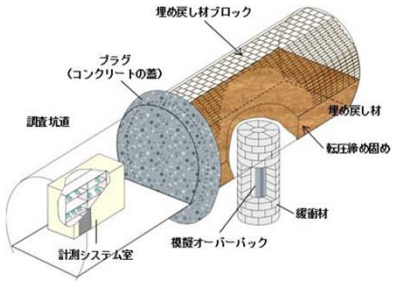
コンクリート材料の影響調査



※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。

水圧水質モニタリング

岩石試料の採取



人工バリア性能確認試験

令和元年度の調査研究

1. 地層科学研究

1.1 地質環境調査技術開発

地下の地質や地下水がどうなっているのか理解するための技術の開発

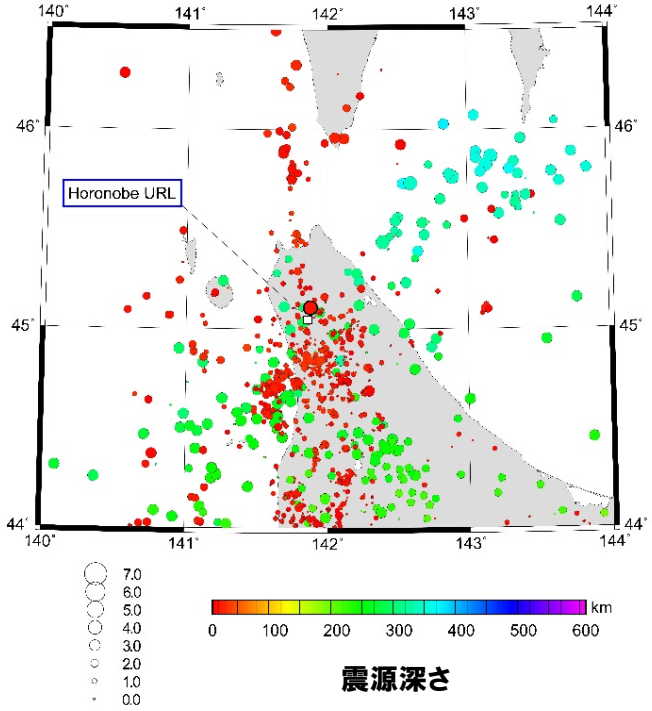
大きな地下施設を作った時の影響を理解するための方法の技術の開発

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

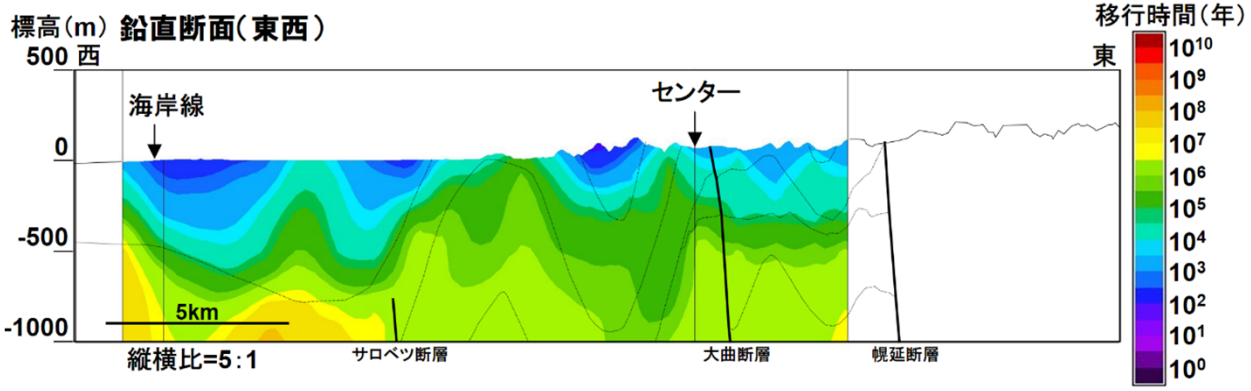
安全かつ効率的に地下施設を建設するための技術の開発

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

断層や地盤の隆起など長期的な変化に対する地下の安定性を調べる技術の開発



幌延町周辺の地震の震央分布



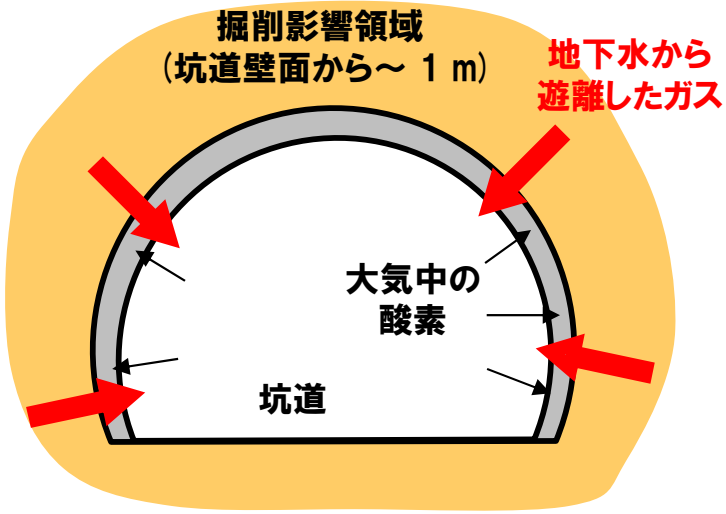
地下水の移行時間の解析結果

地層科学研究　主な成果
1.1地質環境調査技術開発

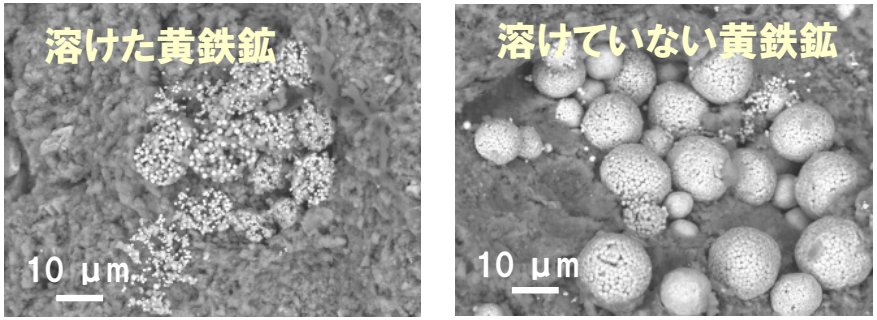
(1) 坑道掘削の影響に関する調査技術の開発

坑道で割れ目が増えた坑道の周りの岩盤の酸化還元状態の変化に関する研究を行いました。

その結果、地下水から出てきたガス(メタンガス、炭酸ガス)が岩盤への空気(酸素)の侵入を抑え、掘削後5年が経過しても、坑道の周りが酸素のない状態にあることが分かりました。この研究成果は、3月27日の電気新聞に掲載されました。



坑道周囲の化学環境
に関する概念モデル



3年前に採取して空気に触れていた岩石

350m調査坑道の岩石

電子顕微鏡の写真

黄鉄鉱

地下の岩石には、酸素のない環境でできる黄鉄鉱という鉱物が含まれています。この鉱物は、酸素があると水に徐々に溶け出します。

坑道の壁面から約2cm奥には、黄鉄鉱が溶けずに残っており、地下に坑道を掘っても、酸素が岩盤内に入っていないことが分かりました。

報ーP 37～39

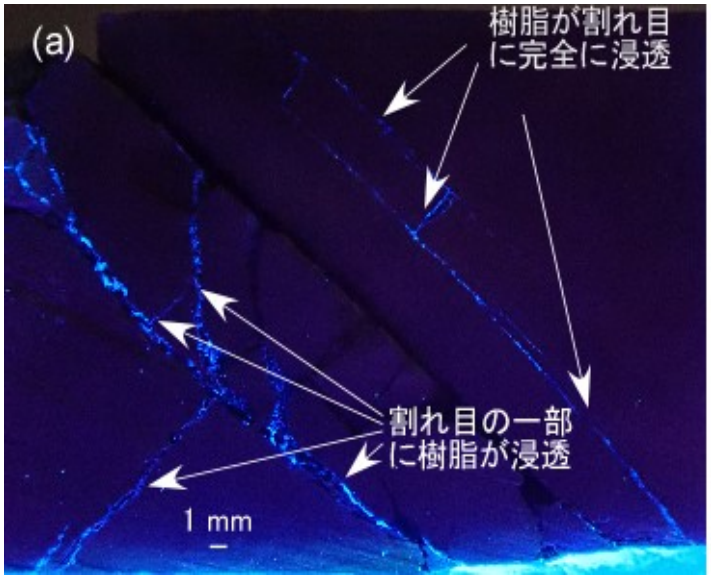
地層科学研究　主な成果
1.1地質環境調査技術開発

(2) 岩盤の力学特性に関する調査技術の開発

掘削により坑道の周りにできた割れ目の分布を把握する方法の研究を行いました。

割れ目の分布を可視化するために、紫外線を当てると光る樹脂を岩盤に注入して割れ目を固定しました。
その後、コアドリルで岩盤をくり抜きました。

円柱状にくり抜き、採取された岩盤



割れ目に浸透した、青く光る蛍光樹脂

坑道の壁面から約40cm奥までは割れ目が多く、つながりあっていて、さらにその奥は割れ目が少なくなることが分かりました。また、割れ目の幅の分布も分かりました。

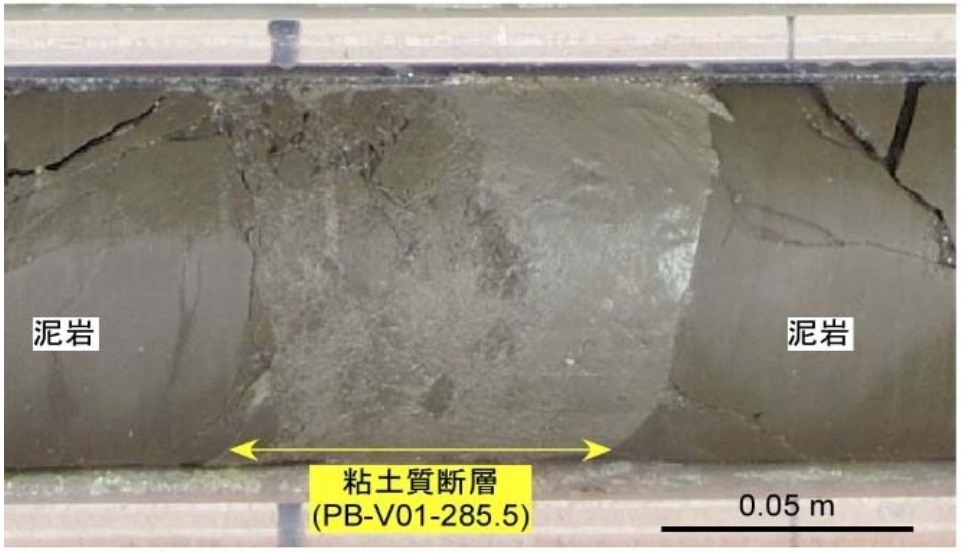
坑道周りの割れ目分布を可視化し、掘削の影響を受ける範囲を把握できるようになりました。

報ーP 42～44

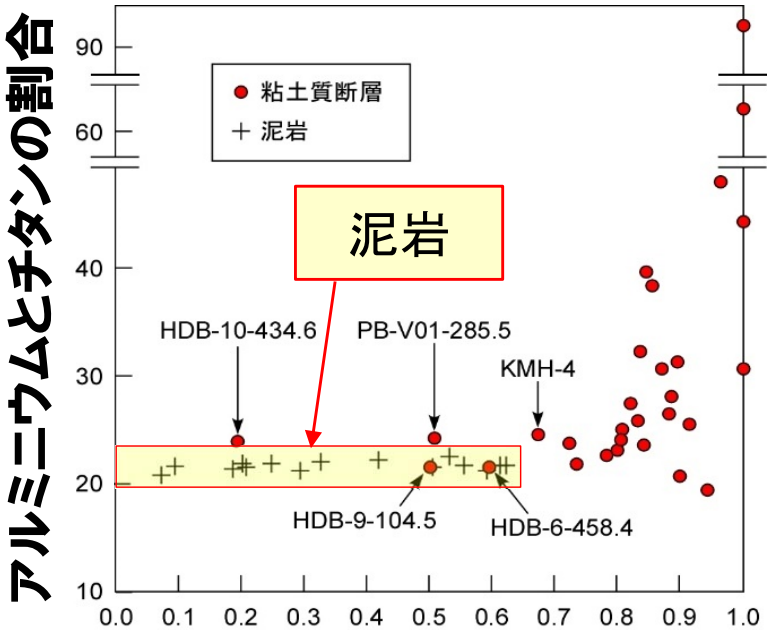
地層科学研究　主な成果
1.2深地層における工学的技術の開発

(1) 地下施設における湧水対策技術の開発

地下の断層の中には、坑道を掘った時に地下水によって断層中の粘土が坑道内に流出し、新たに水みちが形成されることで多量の湧水量増加を引き起こす断層が存在します。これは、火山灰が元となっている粘土質断層で、これをあらかじめ把握することが出来れば、安全に坑道を掘ることができます。このため、このような断層を、坑道を掘る前のボーリング調査で判別する方法を開発しました。



泥岩の中に在る粘土質断層



膨らむ粘土と膨らまない粘土の割合

断層部分に含まれるアルミニウムとチタンの割合や粘土の種類の割合を調べることで、坑道掘削時に気を付けなければならない粘土質断層を見分けられるようになりました。

報ーP 53～54

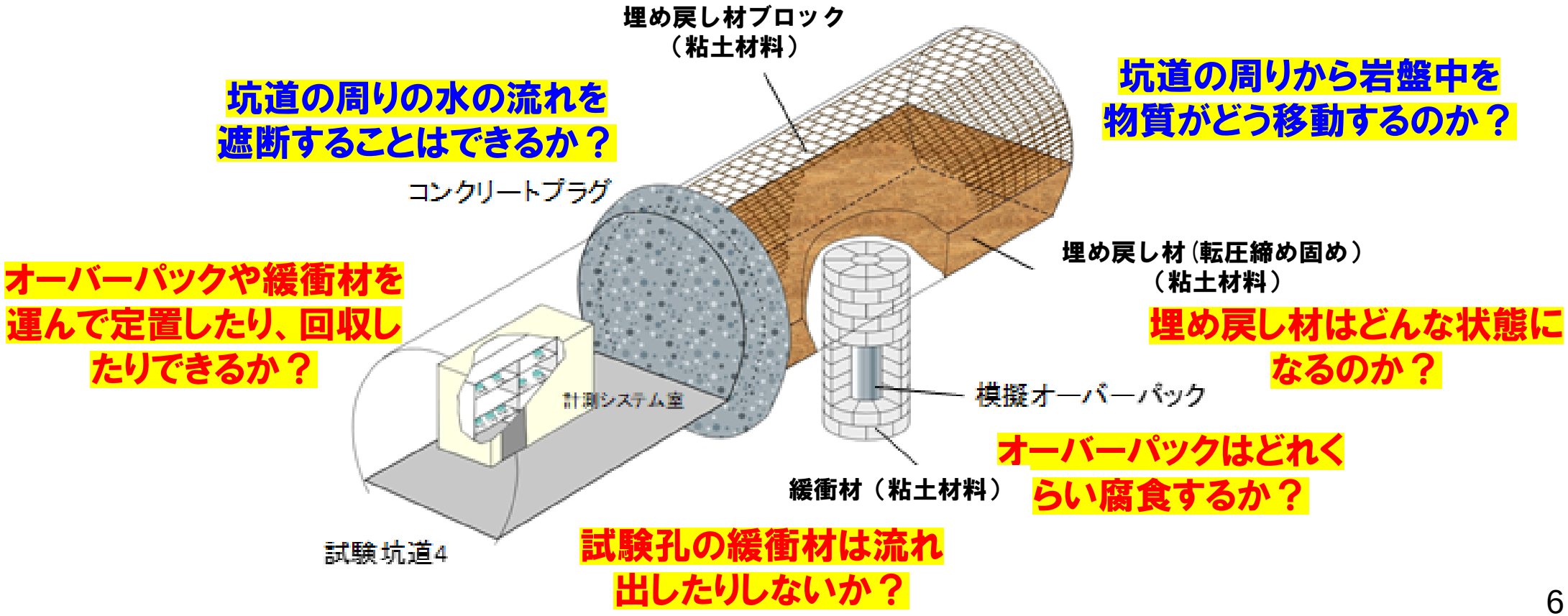
2. 地層処分研究開発

2.1 処分技術の信頼性向上

地下深部に人工バリア（緩衝材（粘土材料）やオーバーパック（金属容器））を設置する方法や、人工バリアを設置した後の状態を確認するための方法の研究

2.2 安全評価手法の高度化

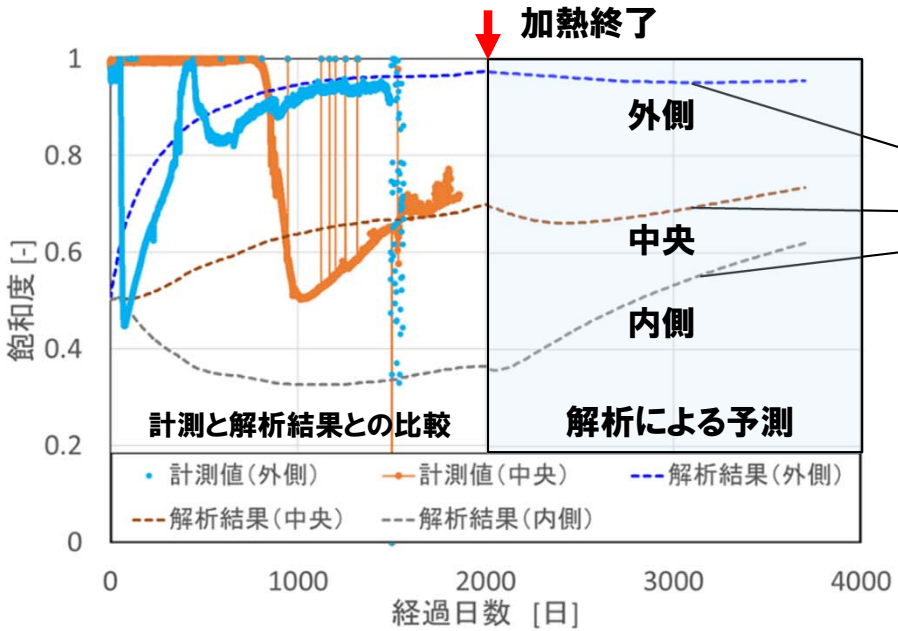
坑道から周りの岩盤まで、地下水や地下水中の物質が、どのように移動するのかを理解するための方法の研究

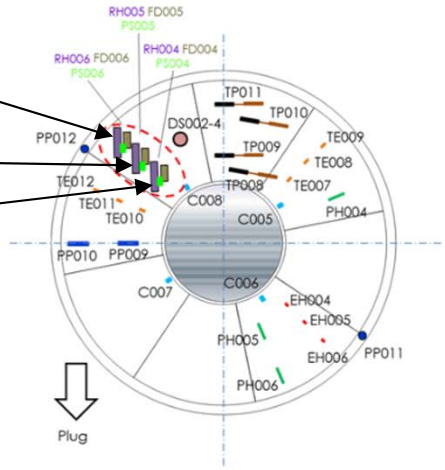


地層処分研究開発　主な成果
2.1処分技術の信頼性向上

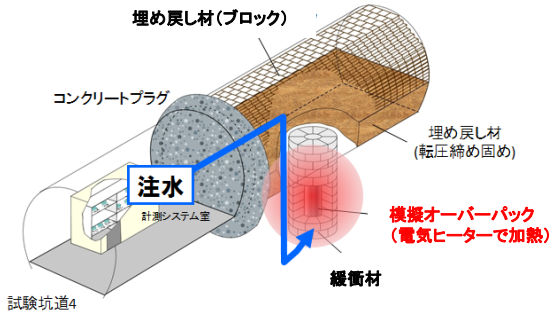
(1) 人工バリア性能確認試験

廃棄物は徐々に発熱量が低下することから、人工バリア性能確認試験においても、このような状況を想定したヒーターの温度を低下させる試験を今後行います。この試験に先立ち、ヒーターの温度を下げた時の緩衝材内の温度や水分量の変化を解析で予測しました。





緩衝材内の
計測センサーの配置



試験設備の概要

ヒーターの加熱を終了した予測（グラフの水色で示した範囲内）では、グラフの点線のように、緩衝材内への水の浸み込みが、中央や内側で進むことが示されました。

緩衝材内の水分量が増えていく状態を推定できました。

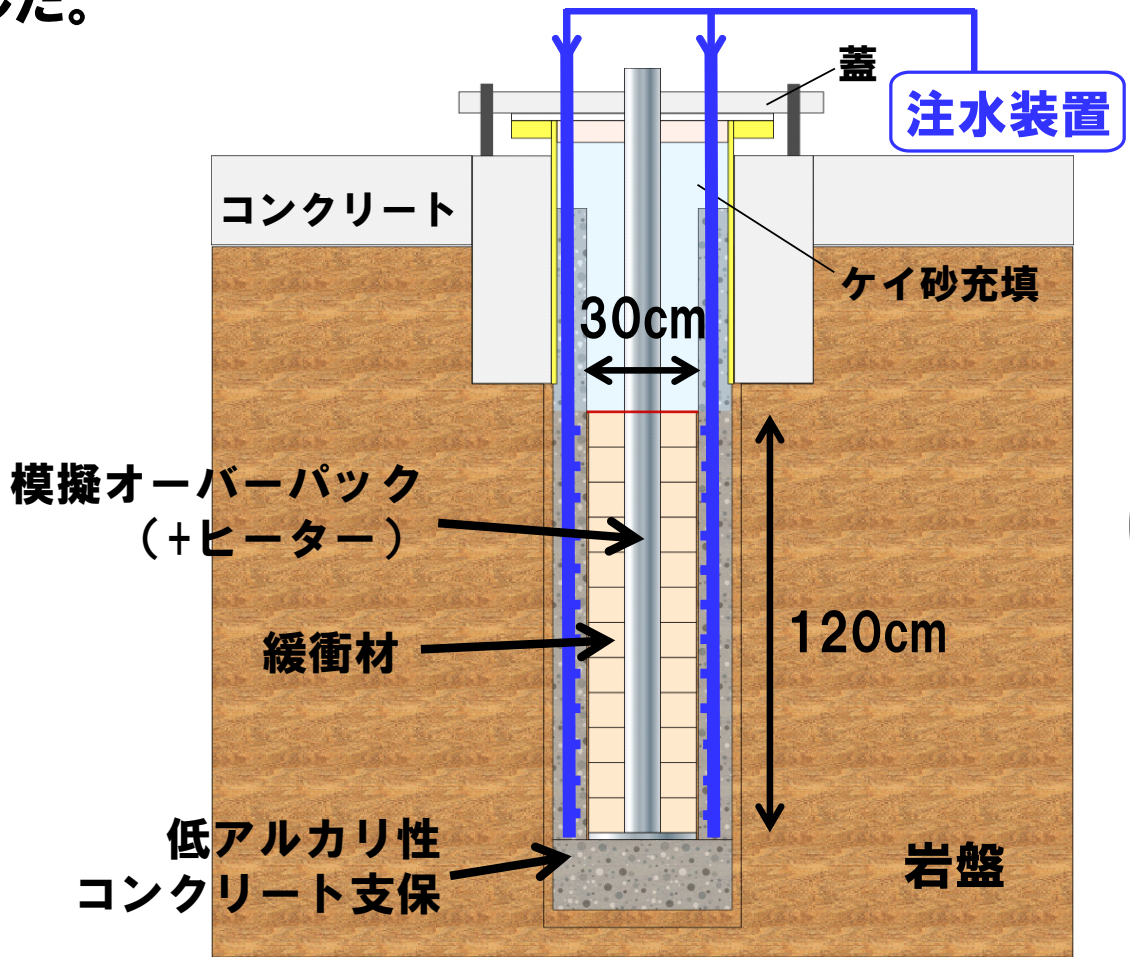
解析で予測された結果を元に、今後、ヒーターの温度を下げる試験を行い、解析方法が正しかったのか、確認していきます。

報ーP 62～67

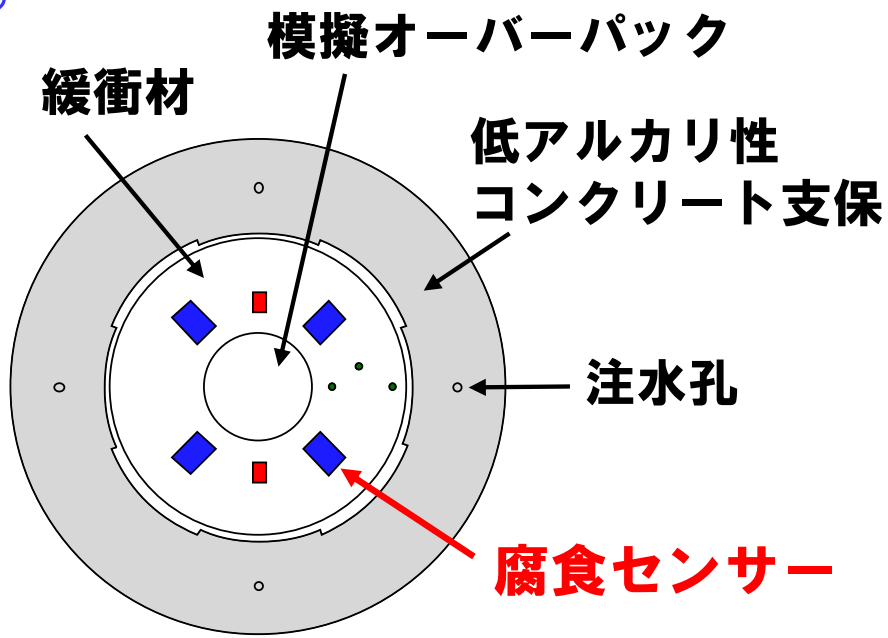
地層処分研究開発　主な成果
2.1処分技術の信頼性向上

(2) オーバーパック腐食試験

模擬オーバーパック（人工バリア性能確認試験のものと同じ金属材料）がどのくらい錆びる（腐食する）のかを、確認するための試験を、幌延の地下水（塩水）環境で実施しました。



オーバーパック腐食試験の概念図



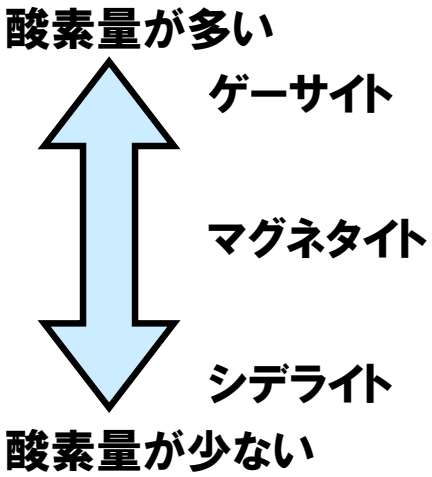
センサーの配置
（水平断面図）

報ーP 67～72

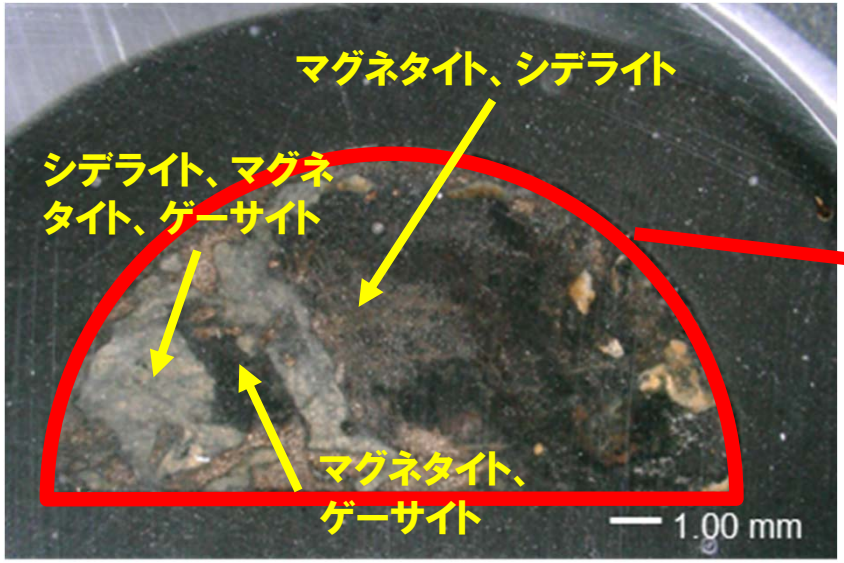
地層処分研究開発　主な成果
2.1処分技術の信頼性向上

(2) オーバーパック腐食試験

金属容器(模擬オーバーパック)の周りに設置した、金属容器と同じ材料でできた腐食センサーの感知部の表面を分析することで、金属容器の表面が試験開始後、**酸素の多い**状態(ゲーサイトが確認された)から**酸素の少ない**状態(シデライトが確認された)になったことが分かりました。



酸素の量と観察される鉱物との関係



腐食センサーの感知部の拡大写真
観察された鉱物は、割合の多い順に記載

腐食センサーの写真

これまでに実施した金属容器の錆び(腐食)の深さを観察した結果を使って、実物大のオーバーパックの最大腐食深さを推定して、従来の計算方法で見積りができることが分かりました。

報ーP 67～72

地層処分研究開発　主な成果
2.1処分技術の信頼性向上

(3) 搬送定置・回収技術の実証

模擬PEMの回収技術を確認するため、機械除去と流体除去技術を併用して模擬PEMの周りに充填された充填材(粘土材料)の除去技術の実証試験を行いました。また、エアベアリング方式の搬送定置装置で、模擬PEMの回収試験を行いました。

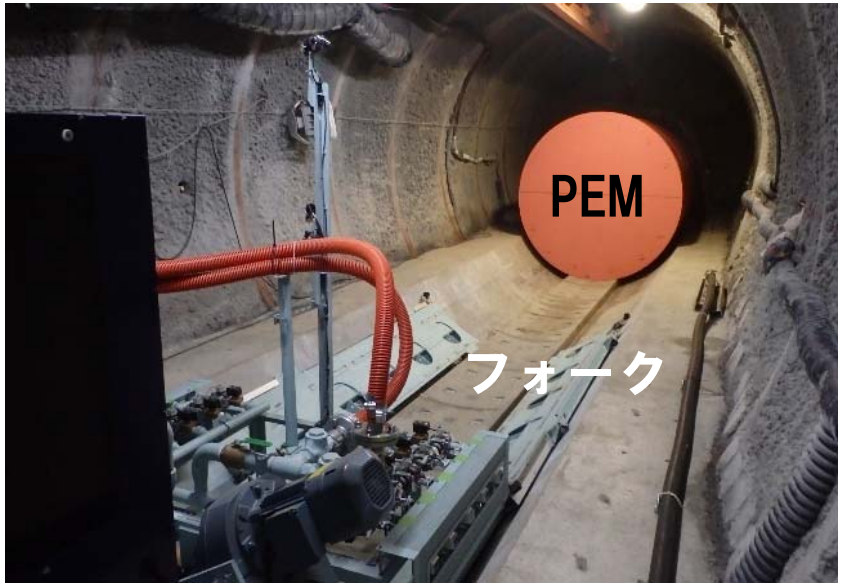
この研究で、定置から回収までの一連の操業技術の実現性を示すことができました。

除去試験前の状態

模擬PEM：
直径約2.5m
長さ約3.5m
重量約36t

PEM（Prefabricated Engineering barrier system Module）：
鋼製容器の中にオーバーパックや緩衝材を設置して一体化したもの

回転する刃を押し当てて、模擬PEM上部開放部の充填材を削りながら取り除きます(機械式除去)



フォークをPEMの下に差し込み、エアベアリング（空気の力で浮かすことで、軽い力でも前後に動かせるようになる）で浮かせて、模擬PEM（約36.5トン）を動かします

報ーP 74～78

原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究

地層処分研究開発　主な成果
2.1処分技術の信頼性向上

動画の出典：原子力環境整備促進・資金管理センター「地下環境での横置きPEM方式を対象とした技術開発」

(3) 搬送定置・回収技術の実証

処分坑道　横置き・PEM方式
Prefabricated Engineered barrier system Module

整備前
直径4m、

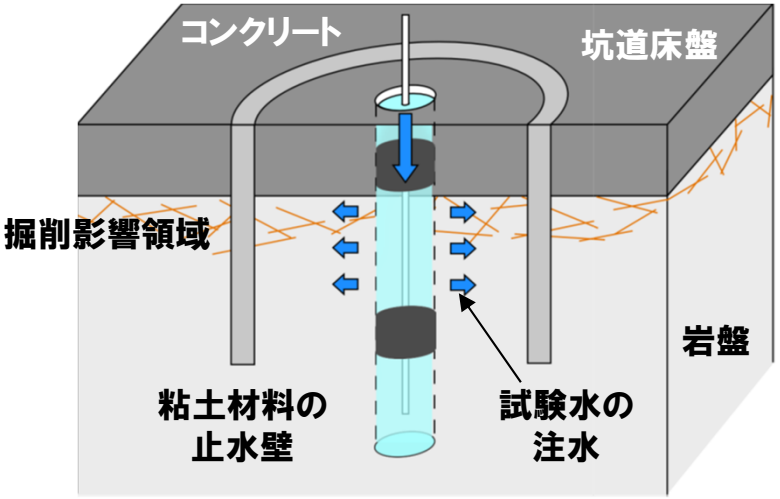
報ーP 74～78

地層処分研究開発　主な成果
2.1処分技術の信頼性向上

(4) 処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備

坑道の周りは、掘削の影響で割れ目ができやすく、水が流れやすくなります(掘削影響領域)。この掘削影響領域中の水の流れを遮るために、粘土材料などで出来た壁を設置する方法が考えられています。

坑道の床面に発生している掘削影響領域に、粘土の壁を作り、水の流れを遮る効果を確認する試験を行いました。



試験領域概略図

円周でくりぬかれた隙間に、粘土材料を止水壁を形成するように充填

コンクリートの表面まで粘土材料を充填し、止水壁が完成した状態

坑道の周りに発生する掘削影響領域(水の流れ道となる)を遮るように粘土で止水壁を作ることで、水の流れやすさが約1,000分の1まで小さくなることが確認できました。

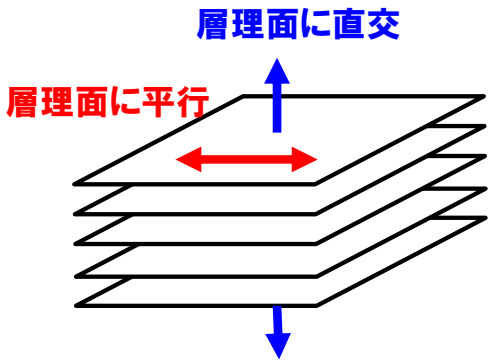
報ーP 82～95

地層処分研究開発　主な成果
2.2安全評価手法の高度化

(1) 健岩部を対象とした原位置トレーサー試験

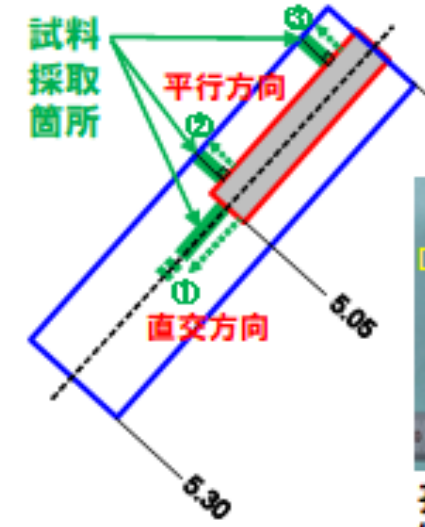
岩石中に目印になる物質(放射性物質ではありません)を浸み込ませて、その動き方を推測する方法の研究を行っています。

割れ目のない場所での物質の動き方を理解するため、地層の堆積時にできた層理面に沿った方向とそれに直交する方向の、物質の動き方の違いを調べました。

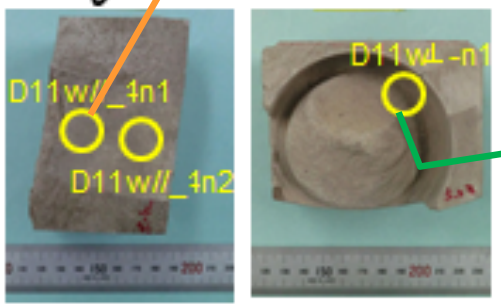


堆積岩は、堆積する際に層状になっており、層と層の継ぎ目を層理面と呼びます。

(a) 層理面に対する異方性に着目した原位置拡散試験

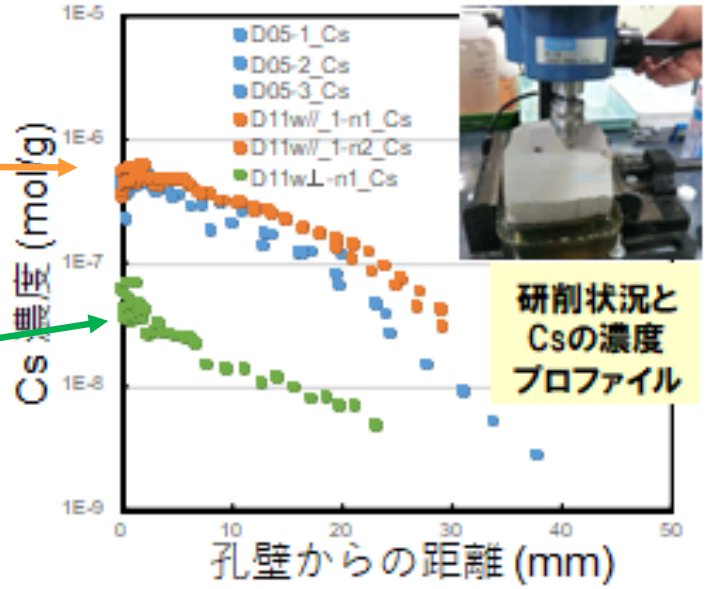


採取コアと研削位置



孔壁面:層理面に平行方向②　孔底面:層理面に直交方向①

(b) 取得された濃度プロファイル

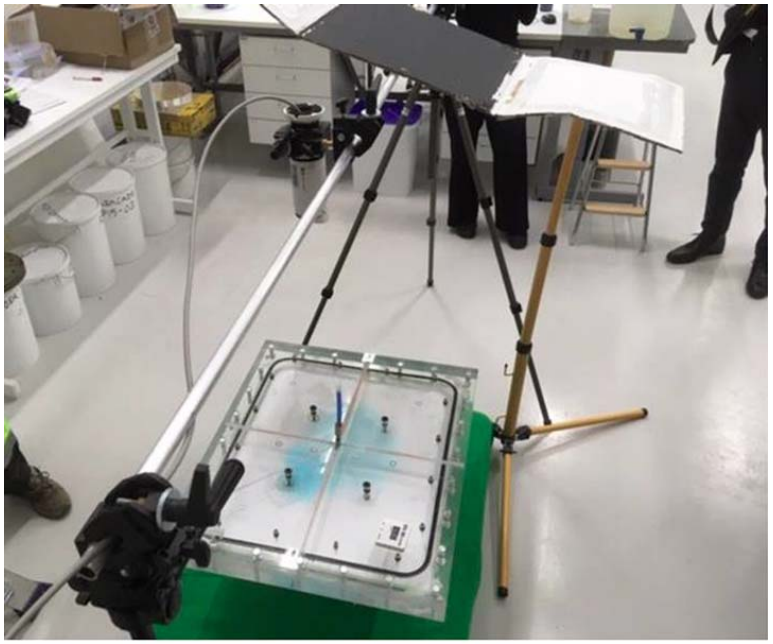


層理面に直交する方向の物質の濃度は、水平方向よりも一桁程度低い結果となりました。今後は、この原因について検討していきます。

報ーP 95～96

研究成果の発表

- 論文　　：２４編
- 報告書　　：１４冊
- 学会発表　：２１件
- プレス発表：　１件



【平行平板装置を用いた浸透試験】
ダブル受賞した研究で行った試験

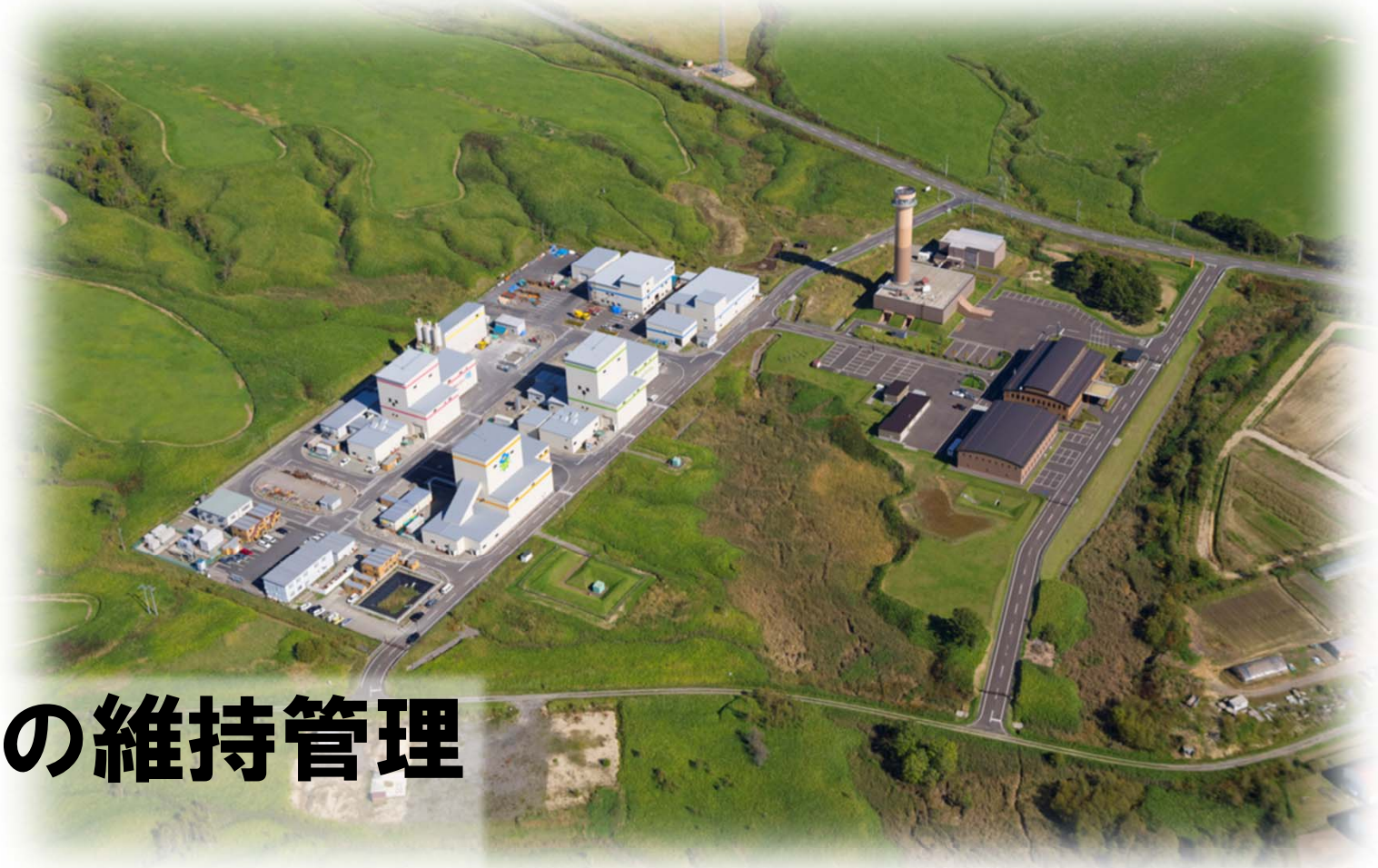
- 受賞：
  - 放射性廃棄物管理シンポジウム2019
    - Superior Paper Award（優秀論文賞）
    - Paper of Note（注目論文として受賞）

ダブル受賞

「Study on Characterization of Colloidal Silica Grout for Rock Excavation Under Saline Groundwater（海水条件下の岩盤掘削時に適用するグラウトの材料特性）」

・清水建設株式会社・日本原子力研究開発機構

  - 日本地下水学会　若手優秀講演賞
  - 日本原子力学会バックエンド部会（第35回バックエンド夏期セミナー）　ポスター賞

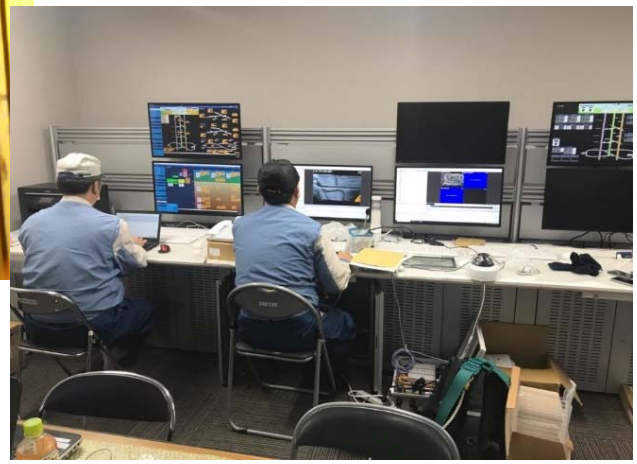


３．　地下施設の維持管理
４．　環境調査
５．　安全確保の取組み
６．　開かれた研究

3. 地下施設の維持管理

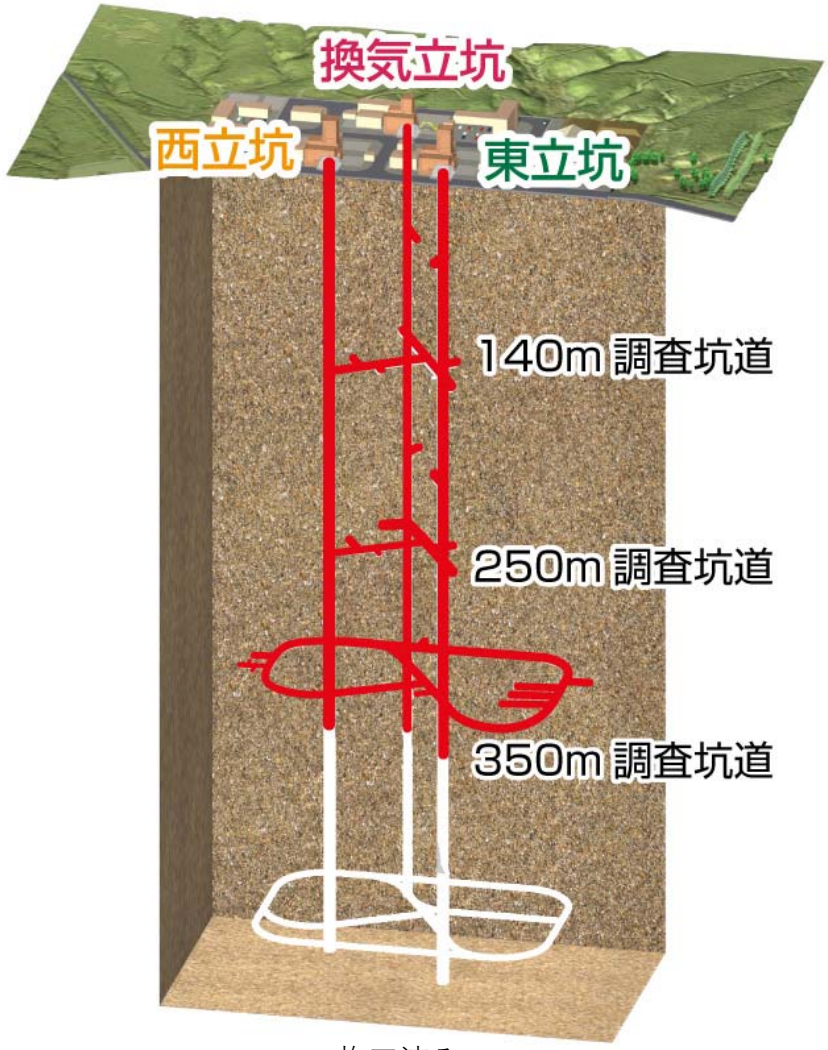
今年度も地下施設の機械設備や電気設備の点検保守・修繕等（維持管理）を継続し、地下施設の安全性確保に努めました。

巻き上げ機の点検
＊スカフォード（吊り足場）を支えるワイヤーを巻き取るものです



中央監視室の更新
＊メタンガスなどのセンサーや排風機など、各設備の運転状況を監視するための装置です

地下施設概要図



※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。

報ーP 101

４．環境調査

○排水量及び水質調査

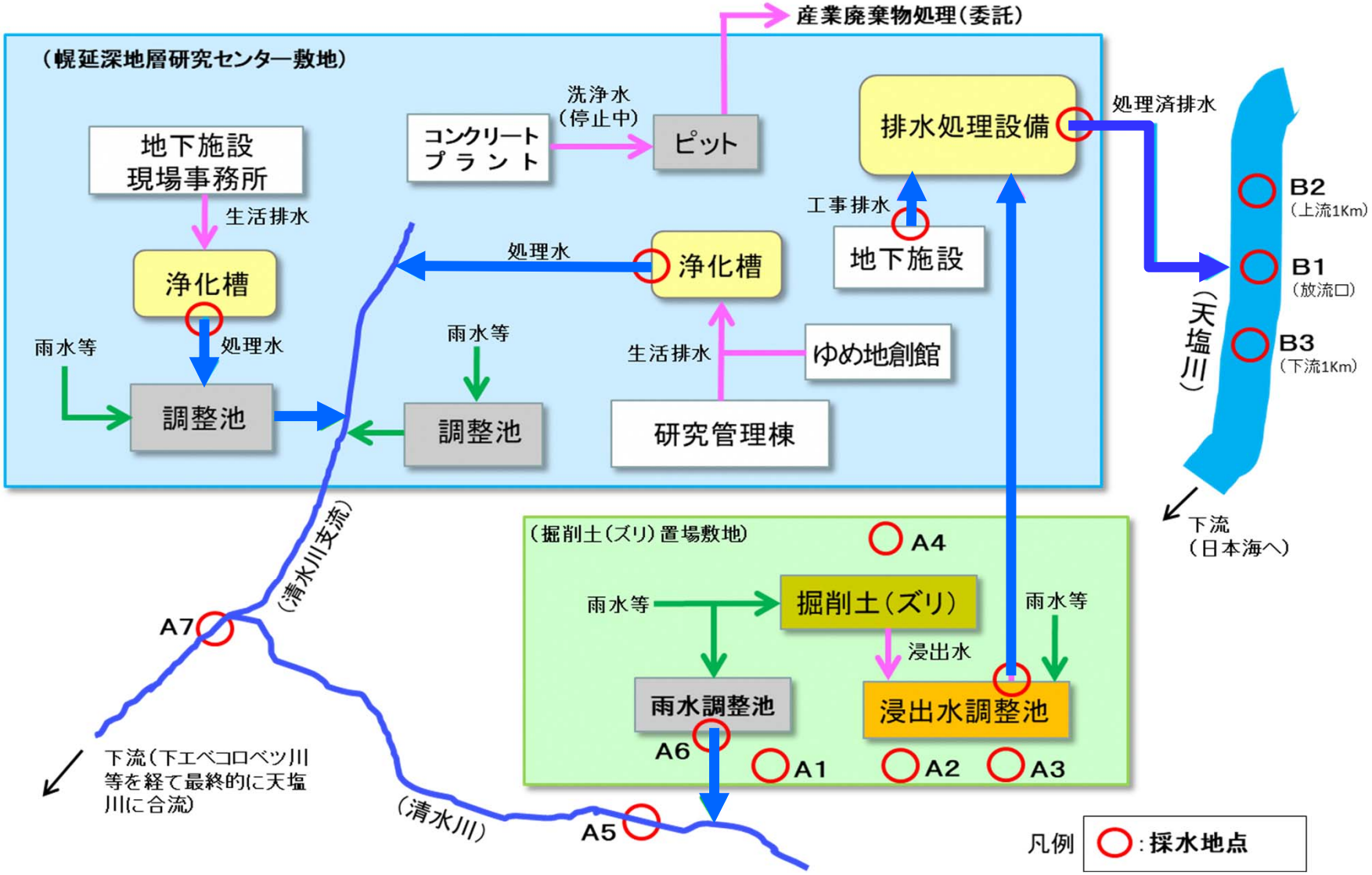
（１）天塩川への排水量
（２）地下施設からの排水の水質調査結果
（３）天塩川の水質調査結果
（４）掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果
（５）清水川及び掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

○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. 環境調査 ～排水量および水質調査～

幌延深地層研究センターの排水系統図



報ーP 104

4. 環境モニタリング ～排水量及び水質調査～

水質調査試料の採取状況

天塩川の採水状況（B1～B3）

掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水状況（A1～A4）

4. 環境調査 ～排水量及び水質調査～

（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44,956m^{3}でした。
日最大排水量は、降雨の影響により掘削土（ズリ）置場の浸出水を多く処理した8月の418m^{3}が最大であり、北るもい漁業協同組合との協定値である750m^{3}未満でした。

年月	月排水量（㎥）	日最大排水量（㎥）	日平均排水量（㎥）
平成３１年４月	4,473	359	149.1
令和元年５月	2,894	251	93.4
令和元年６月	2,827	257	94.2
令和元年７月	3,614	303	116.6
令和元年８月	5,660	418	182.6
令和元年９月	3,837	333	127.9
令和元年１０月	3,208	302	103.5
令和元年１１月	2,827	261	94.2
令和元年１２月	4,384	283	141.4
令和２年１月	3,117	230	100.5
令和２年２月	2,928	312	101.0
令和２年３月	5,187	344	167.3
年間	44,956	－	－

報－P 105

（毎日の排水量は、ホームページで公開しています。）

4. 環境調査 ～排水量及び水質調査～

（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。

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	0.1
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	8
ホウ素	mg/L	57～80	2.4～6.2	0.2～2.2	10
全窒素	mg/L	55～90	18～35	6.2～21	120（日間平均：60）
全アンモニア	mg/L	30～61	0.27～1.1	＜0.05	―
ｐＨ	―	8.1～8.2	7.2～7.8	7.4～7.9	5.8～8.6
浮遊物質量（ＳＳ）	mg/L	6～130	3～6	＜1	200（日間平均：150）
塩化物イオン	mg/L	2,500～3,900	77～170	1,500～4,000	―

報ーP 106～107

（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。）
https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/disclosure/suishitsu.html

4. 環境調査 ～排水量及び水質調査～

（3）天塩川の水質調査結果

浮遊物質量（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。

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	＜0.01～4.6	＜0.01～4.6	＜0.01～4.7	5以下
全窒素	mg/L	0.28～1.0	0.32～1.0	0.25～0.99	20以下
全アンモニア	mg/L	＜0.05～0.17	＜0.05～0.06	＜0.05～0.06	2以下（B3地点のみ）
ｐＨ	－	7.0～7.8	6.8～7.9	7.2～7.9	5.8～8.6
浮遊物質量（ＳＳ）	mg/L	＜1～46	＜1～50	＜1～56	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。）
https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/disclosure/suishitsu.html

報ーP 108～109

4. 環境調査 ～排水量および水質調査～

（4）掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

令和元年度の調査結果から、これまでの結果と比較して大きく変化していないことから、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。

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～H30.2）	令和元年度
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	<0.005～0.007	<0.005～0.007
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
ホウ素	mg/L	A1～A4	<0.02～50.7	<0.02～63.0	<0.02～24
pH	－	A1～A4	4.6～7.3	3.7～7.9	5.0～6.7
塩化物イオン	mg/L	A1～A4	9.7～2,910	8.4～3,400	8.8～1,700

（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。）
https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/disclosure/suishitsu.html

報－P110～111

4. 環境調査 ～排水量および水質調査～

（5）清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

令和元年度の調査結果から、これまでの結果と比較して大きく変化していないことから、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。

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～H30.3）	令和元年度
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	＜0.005～0.007
ヒ素	mg/L	A5～A7	＜0.005～0.011	＜0.005～0.015	＜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	＜0.02～0.39
pH	－	A5～A7	5.8～7.4	5.7～9.1	6.3～8.6
浮遊物質量（SS）	mg/L	A5～A7	1～173	＜1～500	1～50
塩化物イオン	mg/L	A5～A7	5.1～30.5	2.7～269	1.7～49

報ーP112～113

（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。）
https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/disclosure/suishitsu.html

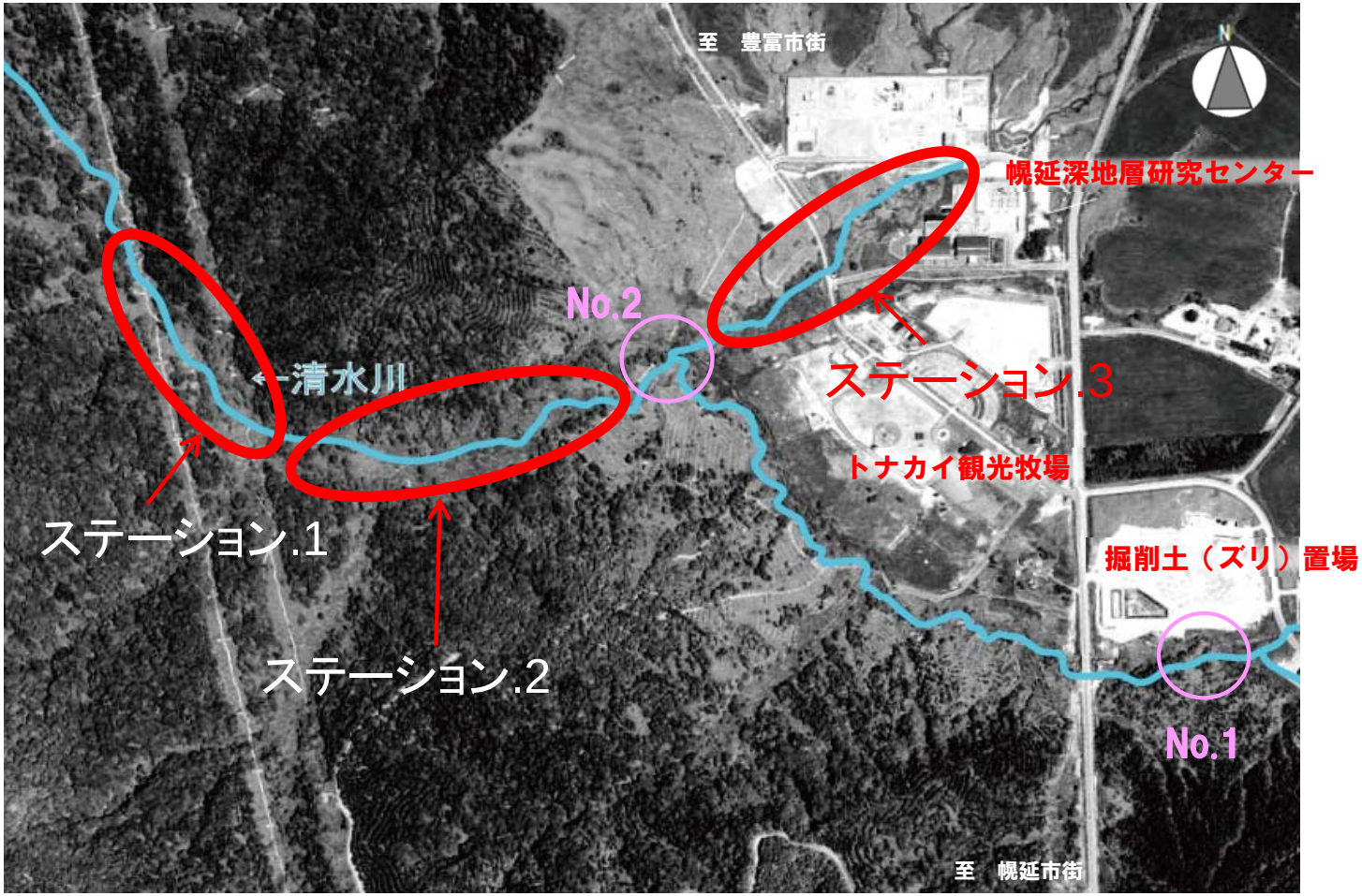
4. 環境調査
～センター周辺の環境影響調査～

清水川の水質および魚類の調査結果

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。

○ :水質調査地点

○ : 魚類調査範囲（ステーション.1～3）



環境調査実施場所

報ーP115

4. 環境調査
～センター周辺の環境影響調査～

（１）清水川の水質調査結果

令和元年度の調査結果から、これまでと比較して大きな変化がないことを確認しています。

分析項目※1	単位	採水地点	過年度（H14.8～H31.2）	令和元年度			
				6月	9月	11月	2月
pH	―	No.1	6.3～7.9	7.4	6.6	7.1	6.8
		No.2	6.4～7.7	7.0	6.8	6.9	6.7
生物化学的酸素要求量	mg/L	No.1	<0.5～62	7.3	0.8	3.7	0.8
		No.2	<0.5～10.0	2.1	1.5	5.9	1.9
浮遊物質量	mg/L	No.1	1～70	2	2	6	1
		No.2	<1～69	2	4	9	2
溶存酸素量	mg/L	No.1	6.6～13.9	8.4	9.8	9.5	12.8
		No.2	5.5～12.5	8.0	8.5	7.5	8.6

報ーP 116

4. 環境調査
～センター周辺の環境影響調査～

（2）魚類の調査結果

清水川の魚類（種類）については、これまでに確認された重要種に大きな変化は見られず、工事着手前の環境が維持されているものと判断されます。

調査項目	調　査　結　果
魚類 （3回/年）	重要種については、 スナヤツメ北方種、エゾウグイ、エゾホトケドジョウ、サクラマス（ヤマメ）、 エゾトミヨ、ハナカジカの６科６種を確認した。

生息魚類調査（清水川流域、年３回）

報－P 117

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。

安全大会

- ○各種安全行事や事例情報の周知等による意識高揚
- ○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

安全講演会

安全パトロール（月例）

事故対応訓練

報ーP 120

6. 開かれた研究

◆大学などとの研究協力

○東京大学：堆積軟岩の力学挙動評価の開発に関する研究

○京都大学、東北大学：地下水中の微量元素と有機物を対象とした地球化学研究

○東京工業大学、サンコーコンサルタント：スパースモデリングとカルマンフィルターを用いた弾性波トモグラフィ解析手法の研究

○幌延地圏環境研究所：堆積岩を対象とした岩盤力学や微生物などに関する研究

○原子力環境整備促進・資金管理センター：地下環境での人工バリアの搬送定置・回収技術に関する研究

○産業技術総合研究所：岩盤の水理・化学・生物連成現象に関わる研究

○電力中央研究所：地下施設建設時の坑道掘削影響領域の調査技術に関する研究

○国立環境研究所：地下水中の溶存有機物の特性評価に関する研究

◆国外機関との研究協力

○Clay club：様々な粘土質媒体の特性の比較、粘土の物性や挙動および地下施設で実施される試験に関する情報交換など

○Mont Terri project：スイスオパリナス粘土層の摩擦特性試験など

報ーP 119～124