

# 幌延深地層研究所における 堆積岩の調査研究

## 瑞浪，幌延における地上からの調査研究の成果報告

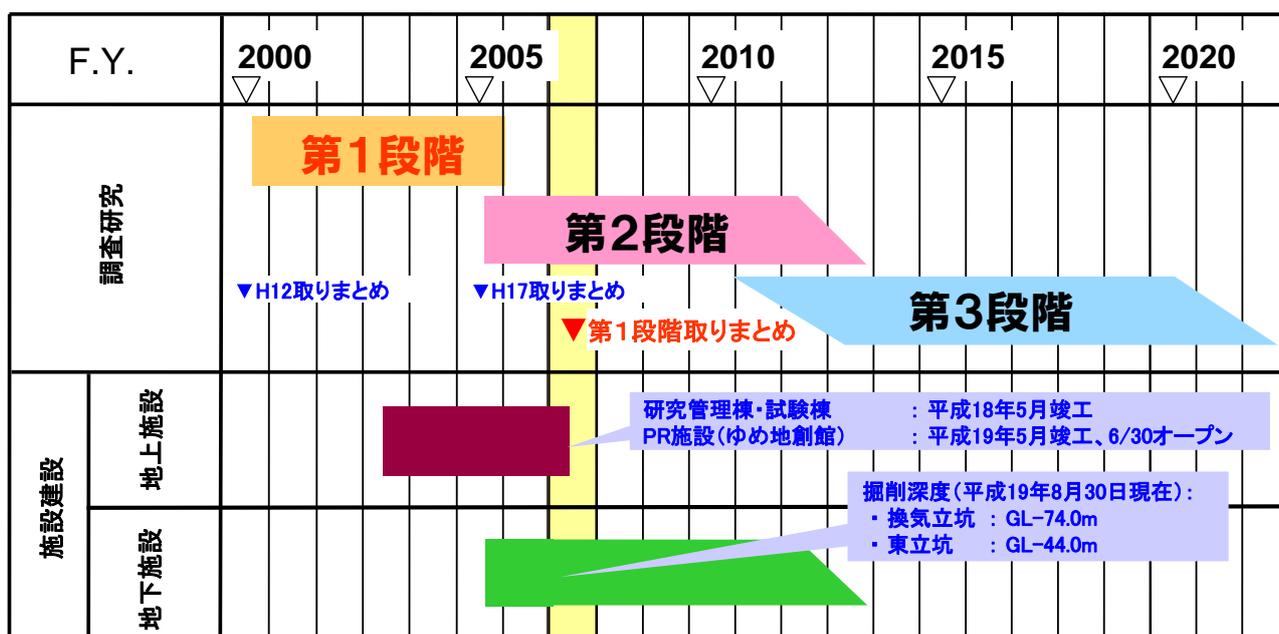
—地層処分の技術と信頼を支える研究開発：概要調査への技術基盤の確立—

平成19年9月18日 JAホール

日本原子力研究開発機構  
地層処分研究開発部門 幌延深地層研究ユニット  
福島 龍朗

## 幌延深地層研究計画の目標・進め方

### ■ 段階的な調査研究



- 第1段階 : 地上からの調査研究段階
- 第2段階 : 坑道掘削時(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

## ■ 幌延深地層研究計画の研究開発課題

- **地層科学研究(深地層の科学的研究)**
  1. 地質環境調査技術開発
  2. 地質環境モニタリング技術の開発
  3. 地質環境の長期安定性に関する研究
  4. 深地層の工学技術の基礎の開発
- **地層処分研究開発**
  5. 処分技術の信頼性の向上
    - 人工バリア等の工学技術の検証
    - 設計手法の適用性確認
  6. 安全評価手法の高度化
    - 安全評価手法の適用性確認

# 第1段階取りまとめ報告書の構成

## ■ 取りまとめの基本方針

- 第1段階における調査研究の**成果の適切な取りまとめ**と課題の抽出・整理
- 第2段階以降の調査研究の**目的・目標の明確化**
- 処分事業と安全規制を支える地層処分技術の**知識基盤の整備**に留意

### 分冊「深地層の科学的研究」

- 第1段階における深地層の科学的研究の概要
- 研究所設置地区及び研究所設置場所の選定
- 地上からの地質環境の調査研究
- 深地層における工学技術の基礎の開発
- 地下施設建設に伴う周辺環境への影響調査

### 分冊「地層処分研究開発」

- 処分技術の信頼性向上 - 設計手法の適用性の確認 -
- 安全評価手法の高度化 - 安全評価手法の適用性の確認 -

# 第1段階における深地層の科学的研究

## ■ 幌延町全域を対象とした調査研究

### □ 幌延町全域を対象とした広域的な調査

文献調査、空中物理探査、地上物理探査、地表地質調査、深層ボーリング調査(HDB-1,2)

### → 研究所設置地区及び研究所設置場所の選定

研究所設置地区：地上からの調査研究を主に展開する約3km×3kmの領域

研究所設置場所：地下施設の建設場所

## ■ 研究所設置地区及びその周辺を対象とした調査研究

### □ 地表からの調査

地表地質調査、浅層ボーリング調査、地上物理探査、表層水理調査

### □ ボーリング孔を用いた調査

深層ボーリング調査(HDB-3~11)

掘削長:470~1,020m

岩芯観察、物理検層、水理試験、力学試験など

調査終了後、長期モニタリング装置を設置し、地下水の圧力及び水質のモニタリングを実施

### → 地上からの地質環境の調査研究

深地層における工学技術の基礎の開発

地下施設建設に伴う周辺環境への影響調査

# 第1段階における深地層の科学的研究

## ■ 第1段階の調査研究の段階・領域・項目・対象の整理

| 対象領域        | 段階                             | 2000<br>(年度)   | 2001      | 2002      | 2003      | 2004      | 2005      | 対象・目的   |
|-------------|--------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|
| 幌延町<br>全域   | 幌延町全域を対象<br>とした調査研究段階          | [Red bar spanning 2001-2005]   |           |           |           |           |           | 地質構造の三次元分布<br>地下水の流動特性<br>地下水の地球化学的特性<br>物質移動の遅延効果<br>希釈効果<br>地下施設近傍の力学・水理<br>地下の温度環境<br>環境影響評価 |
| 研究所<br>設置地区 | 研究所設置区及び<br>その周辺における<br>調査研究段階 | [Red bar for 2002-2003 labeled "前半"]<br>[Red bar for 2004-2005 labeled "後半"] |           |           |           |           |           |   |
| 実施<br>項目    | 既存情報を用いた調査                     | [Red bar]  |           |           |           |           |           | ✓ ✓ ✓ ✓ ✓   |
|             | 空中物理探査                         | [Red bar]  |           |           |           |           |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | 地上物理探査<br>(電磁探査)               | [Red bar]  |           |           |           |           |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | (反射法地震探査)                      |  | [Red bar] |           |           |           |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | (電磁探査)                         |  |           | [Red bar] |           |           |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | (高密度反射法地震探査/重力探査)              |  |           |           | [Red bar] |           |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | (高密度電磁探査)                      |  |           |           |           | [Red bar] |           | ✓ ✓ ✓   |
| 地表調査        |                                | [Red bar spanning 2001-2005]   |           |           |           |           |           | ✓ ✓ ✓   |
| ボーリング調査     | (HDB-1/2)                      |  | [Red bar] |           |           |           |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | (HDB-3/4/5)                    |  |           | [Red bar] |           |           |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | (HDB-6/7/8)                    |  |           |           | [Red bar] |           |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | (HDB-9/10)                     |  |           |           |           | [Red bar] |           | ✓ ✓ ✓   |
|             | (HDB-11)                       |  |           |           |           |           | [Red bar] | ✓ ✓ ✓   |
| 環境調査        |                                | [Red bar spanning 2001-2005]   |           |           |           |           |           | ✓   |



電磁探査の現地作業風景  
右上はボーリング調査の櫓



ボーリング調査終了後、機材や櫓を撤去し、ボーリング孔内に地下水圧モニタリング装置を設置



冬期の観測機器のデータ回収や点検には場所により雪上車を利用



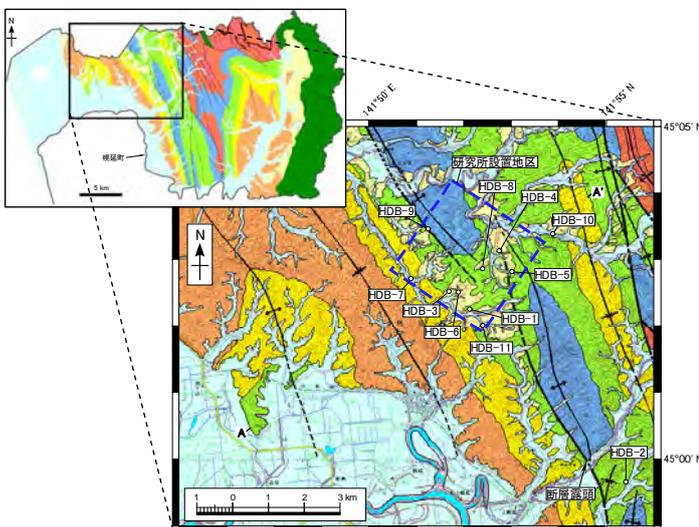
冬期の研究所周辺の小河川の流量観測作業は、川を掘り出すことから開始

|        | 研究所設置候補区域<br>A, B1, B2, C                           | 研究所設置候補区域<br>B1, B2   | 研究所設置地区  | 研究所設置場所  |
|--------|---|---|--|--|
| 調査対象領域 |   |   |  |  |
| 調査項目   | 文献調査<br>地質調査<br>空中物理探査<br>地上物理探査                    | 文献調査<br>地質調査<br>試錐調査（HDB-1孔、HDB-2孔）<br>土地利用状況                                   | 試錐調査<br>土地利用状況                                     | 土地利用状況   |
| 選定要件   | 研究の対象となる地層と地下水の存在<br>・深度350m程度に層厚150m程度<br>・塩水系の地下水 | 対象地層の存在<br>地下水の存在<br>土地利用状況<br>・国有林、農地<br>地下施設の安全な建設・維持<br>・メタンガスの胚胎<br>・力学強度など | 研究の展開<br>地質学的条件<br>施設の建設<br>地形条件<br>道路状況<br>土地利用状況 | 許認可<br>用地取得<br>施設の建設<br>地形条件<br>道路状況<br>土地利用状況 |

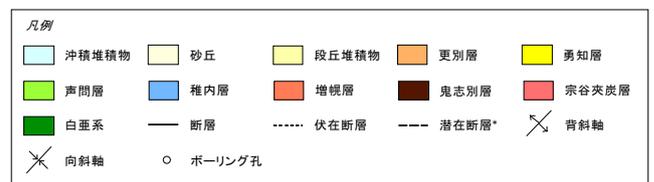
## ■ 地質・地質構造に関する調査研究

### 研究所設置地区及びその周辺の地質・地質構造

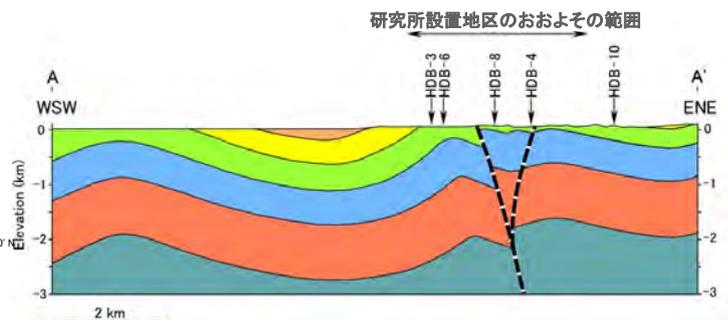
- 更別層：礫岩・砂岩・シルト岩の互層から構成され、亜炭層を挟在、層厚最大約700m
- 勇知層：軟質な細粒砂岩、層厚約400～800m
- 声問層：塊状の珪藻質泥岩が主体、層厚約400～700m
- 稚内層：層理の不明瞭な珪質泥岩あるいは層理の明瞭な硬質頁岩が主体、層厚約600～1,000m



研究所設置地区及び周辺の地質図



\* 反射法地震探査、AMT探査およびボーリング調査に基づく

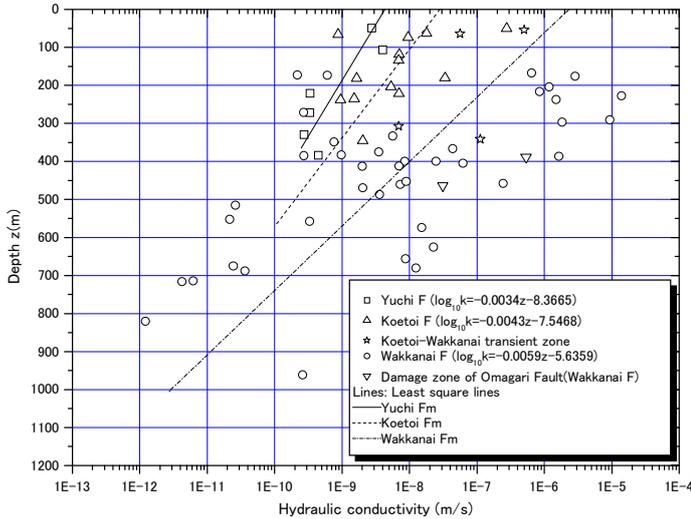


研究所設置地区及び周辺の地質断面図(A-A' 断面)

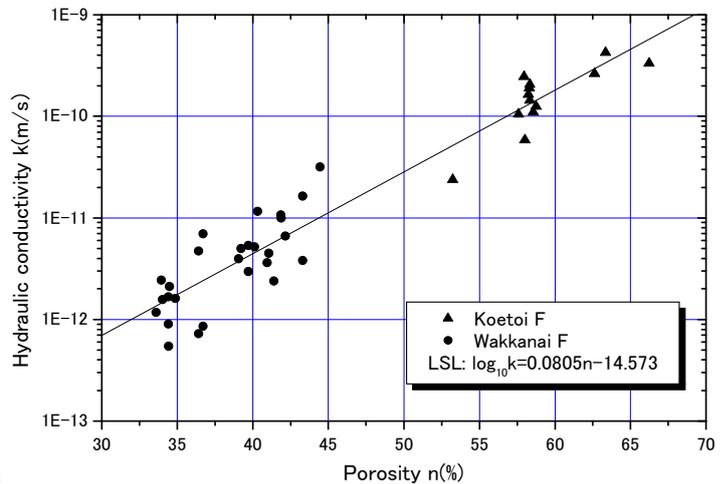
## ■ 岩盤の水理に関する調査研究

### 水理試験結果：地層の透水係数

- 原位置試験
  - 稚内層： $10^{-11} \sim 10^{-5} \text{m/s}$  と広範囲。深度依存性を示し、深度に対する変化率が大きい
  - 声問層、勇知層： $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{m/s}$  の範囲。深度依存性を示す
- 室内試験
  - 稚内層、声問層に係わらず、空隙率と良い相関を示す



透水係数分布(原位置試験)

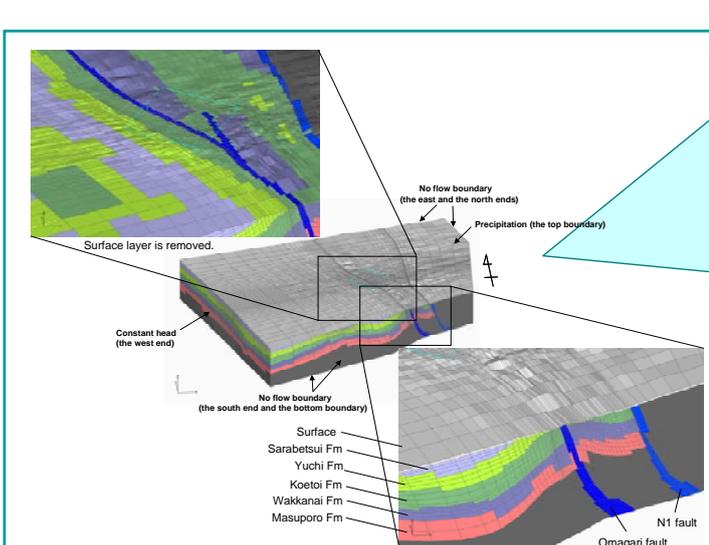


透水係数分布(室内試験)

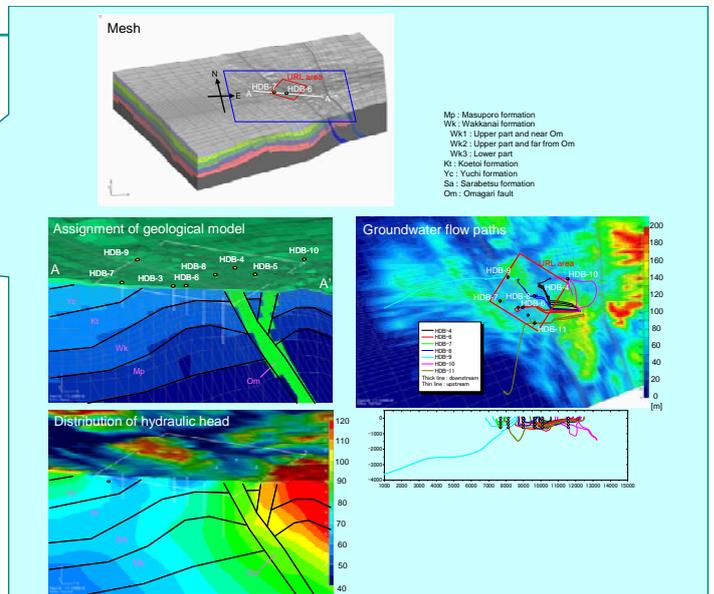
## ■ 岩盤の水理に関する調査研究

### 水理地質構造モデルの構築と地下水流動解析

- 均質連続体モデルによる解析
- 稚内層、声問層、勇知層の透水係数の深度依存性を考慮
- 研究所設置地区の地下水は大局的には東側から西側に流れ、局所的な流れは地形勾配に支配される



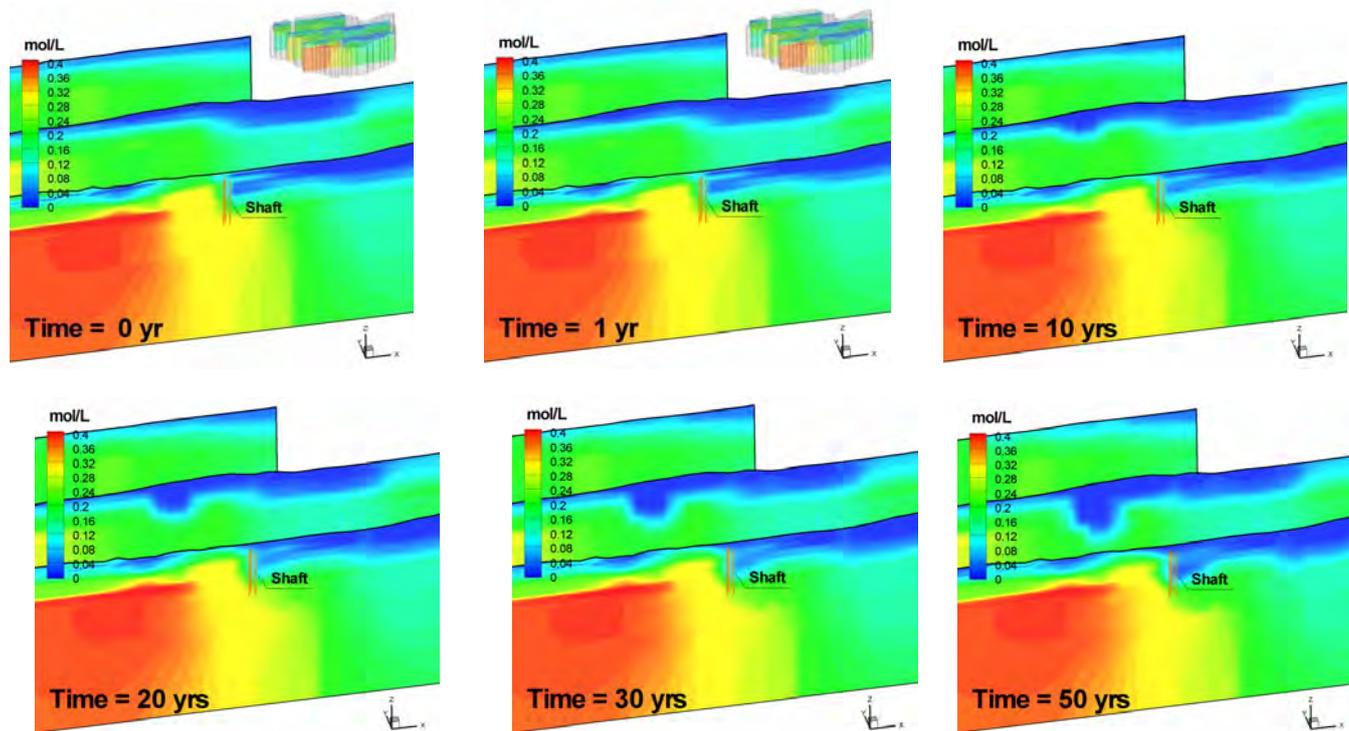
有限要素メッシュと境界条件



地下水流動解析結果

## ■ 地下施設建設に伴う地質環境の変化の予測

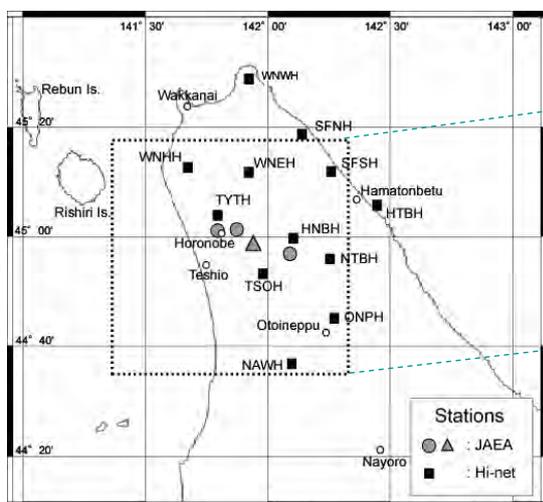
### 地下水中の塩化物イオン濃度の変化



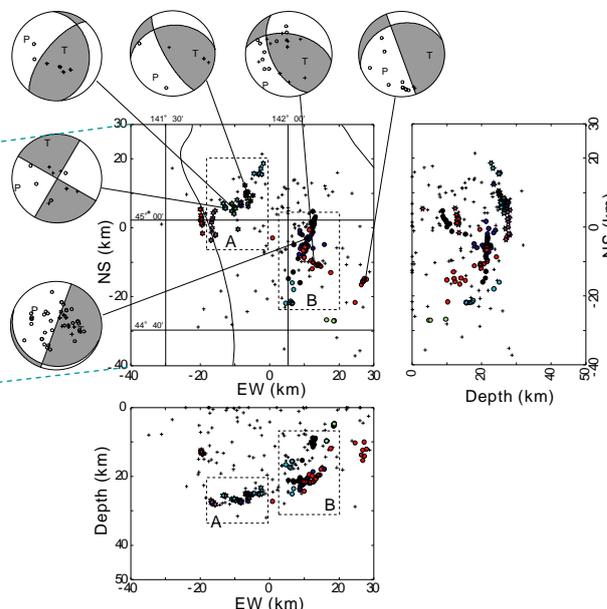
## ■ 地質環境の長期安定性に関する調査研究

### 地震活動の調査・解析

- これまでに取得された地震データに基づき、hypomhとマルチプレットクラスタリング解析により震源分布及びメカニズム解を推定
- 解析の結果、南北方向もしくは北北東から南南西に延びる震源分布が推定された



北海道北部における地震計設置場所



北海道北部における震源分布(解析結果)

## ■ 地下施設の設計・施工計画の策定

### 地下施設の支保設計

●ボーリング調査で得られた力学試験結果等より、堆積岩（軟岩）においても、不連続面（割れ目・ヘアークラック）の影響を受けることを考慮して設計を実施

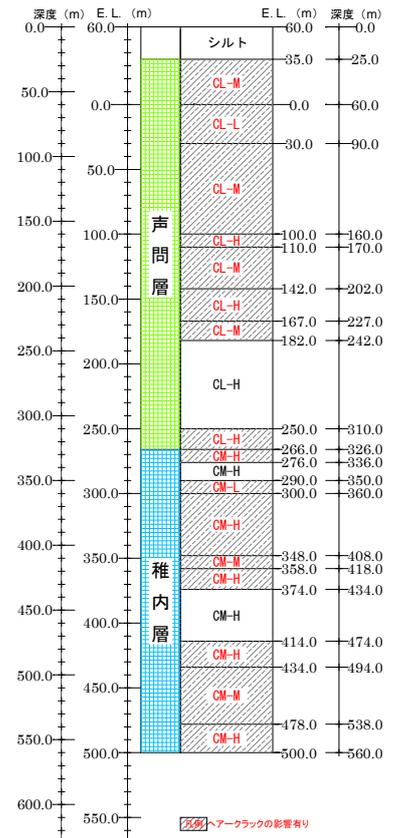
- ①岩級（岩盤物性値）を母岩の硬さ、割れ目頻度、ヘアークラックの有無で区分
- ②岩級と土被り（地圧）に応じて、挙動予測解析を実施
- ③ゆるみ領域（塑性領域）幅と支保部材の健全性から空洞の安定性を評価

#### ＜解析用岩盤物性値＞

| 岩級区分              | 静弾性係数<br>MPa | 割れ目<br>低減<br>係数 | 強度特性 |     | ヘアークラック<br>低減係数 |     |
|-------------------|--------------|-----------------|------|-----|-----------------|-----|
|                   |              |                 | c    | Φ   | 変形              | 強度  |
| <b>声間層（珪藻質泥岩）</b> |              |                 |      |     |                 |     |
| CL-H              | 1300         | 1.0             | 2.2  | 15  | 0.8             | 0.7 |
| ヘアークラック 有         | 1040         |                 | 1.5  |     |                 |     |
| CL-M              | 500          | 0.38            | 0.8  |     | 0.9             | 0.8 |
| ヘアークラック 有         | 450          |                 | 0.6  |     |                 |     |
| CL-L              | 300          | 0.23            | 0.5  | 1.0 | 1.0             |     |
| ヘアークラック 有         | 300          |                 | 0.5  |     |                 |     |
| <b>稚内層（硬質頁岩）</b>  |              |                 |      |     |                 |     |
| CM-H              | 2500         | 1.0             | 5.2  | 25  | 0.8             | 0.3 |
| ヘアークラック 有         | 2000         |                 | 1.6  |     |                 |     |
| CM-M              | 500          | 0.60            | 3.1  |     | 0.9             | 0.5 |
| ヘアークラック 有         | 1350         |                 | 1.6  |     |                 |     |
| CM-L              | 300          | 0.20            | 1.0  | 1.0 | 1.0             |     |
| ヘアークラック 有         | 300          |                 | 1.0  |     |                 |     |

●HDB-3およびHDB-6のコア観察結果を内挿して設定した地山区分のため、施工時の切羽観察での岩級評価が必要

#### ＜実施設計での地山区分＞



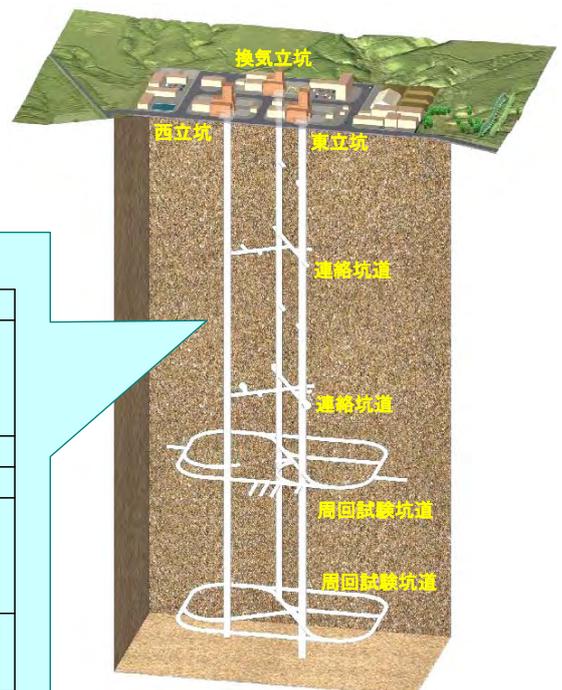
## ■ 地下施設の設計・施工計画の策定

### 地下施設の配置計画

- アクセス方式として立坑方式を採用
- 立坑の深度約500mを予定、複数の深度において水平坑道（連絡坑道と周回試験坑道）を展開

#### 坑道断面

| 項目     | 東・西立坑   | 換気立坑                              | 水平坑道                            |
|--------|---|-----------------------------------|---------------------------------|
| 断面図    |   |                                   |                                 |
| 断面形状   | 円形  | 円形                                | 三心円馬蹄形                          |
| 内径     | 6.5m  | 4.5m                              | 4.0m(内空幅)                       |
| 掘削工法   | 全断面掘下がり工法<br>東立坑 発破工法<br>西立坑 機械工法<br>(ショートステップ工法) | 全断面掘下がり工法<br>機械工法<br>(ショートステップ工法) | 全断面掘削工法<br>機械工法<br>(NATM)       |
| 断面算定根拠 | 立坑・水平坑道の施工性の確保                                    | 立坑の施工性の確保                         | 坑道内からの試験作業空間の確保<br>(試験長は10数m程度) |
| 備考     | 水平坑道の作業立坑として利用                                    |                                   | ・大型試験座の設置<br>7.0m(内空幅)断面        |



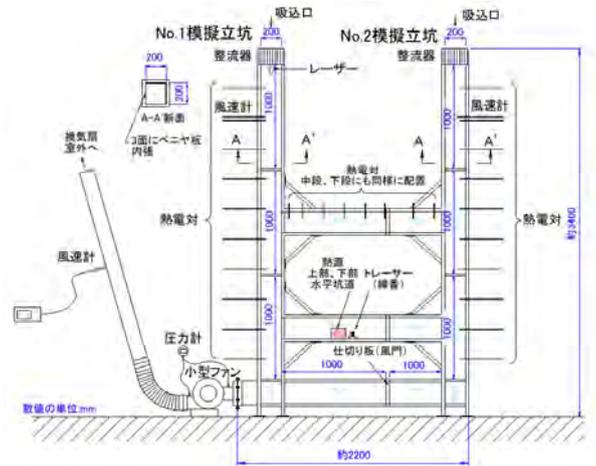
※この検討図は、今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。

地下施設レイアウトの検討図

## ■ 地下施設の設計・施工計画の策定

### 防災対策の検討

- 坑内環境対策
  - 熱環境の予測解析の結果、労働安全衛生規則の作業環境を満足することを確認
- 可燃性ガス対策
  - 換気方式は、吸出し方式とし、定常時の排出効果とファン停止時の湧出抑制効果を保持
  - 換気設備の性能としては、ガスレイヤー生成防止の風速限界0.5m/s以上の風量を確保
  - 切羽から30m以内で使用する機器類には防爆設備を配置
  - 切羽部における掘削サイクル毎のガスチェックボーリングの実施
- 火災時対策
  - 通気網解析による坑内火災時の燃焼影響範囲の予測と通気制御方式の妥当性を検証
    - 安全区域が確保できることを確認
  - 水平坑道内における緊急時の避難場所の設置
- 通気挙動模型実験
  - 坑内火災時の複雑な通気挙動を把握するための模型実験の実施
    - 通気網解析モデルの改良と信頼性向上

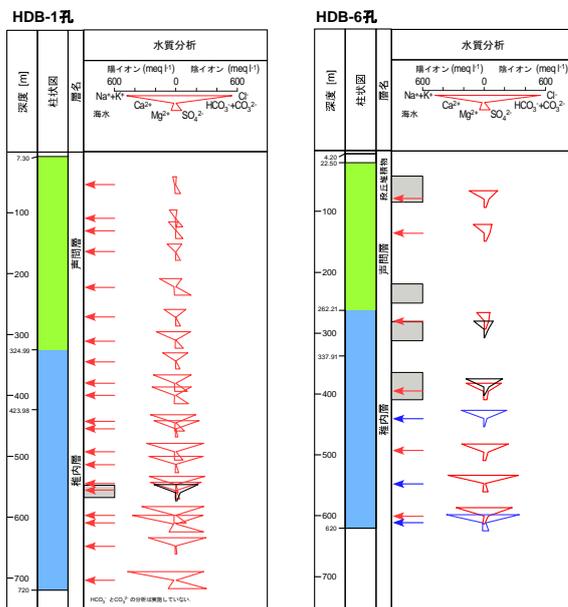


通気挙動模型実験装置の概要

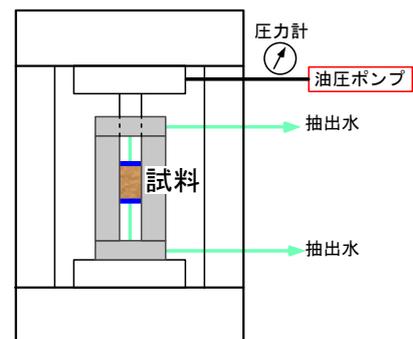
# 成果の反映（1）

## ■ 要素技術開発（地球化学調査技術）

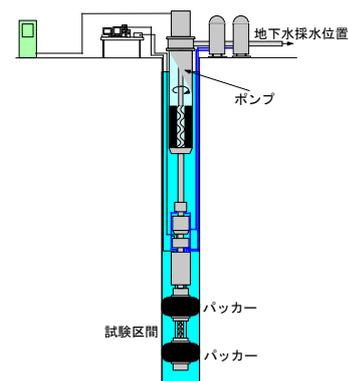
地球化学特性の調査において、揚水した地下水に加えて、間隙水を利用することが有効



- 大気中で抽出した間隙水
- 不活性雰囲気下で抽出した間隙水
- 揚水した地下水

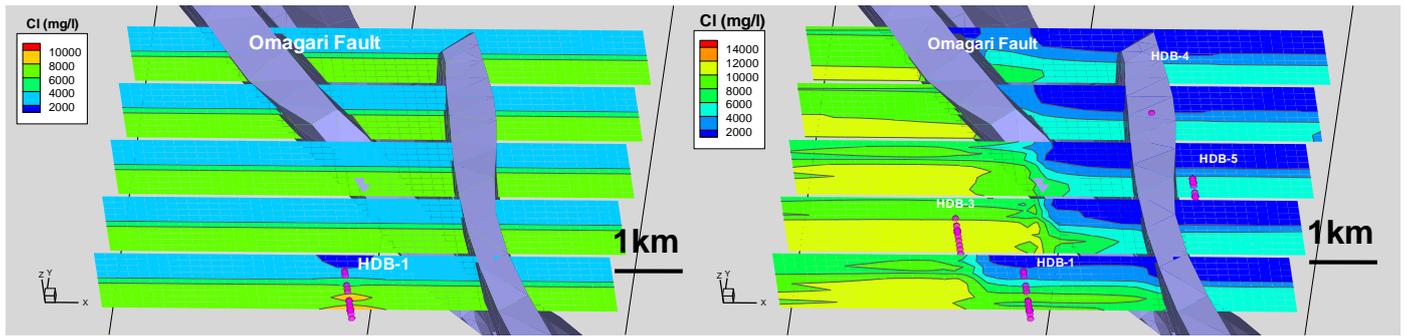


コアからの間隙水抽出装置の概念図



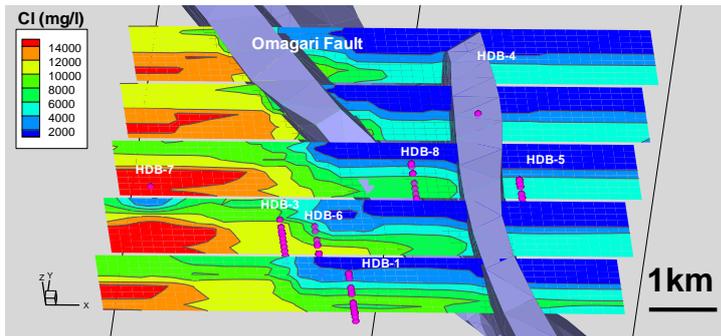
揚水地下水の採水装置の概念図

## ■ 不確実性の低減(地下水水質の空間分布の推定)



(a) HDB-1

(b) HDB-1, 3, 4, 5



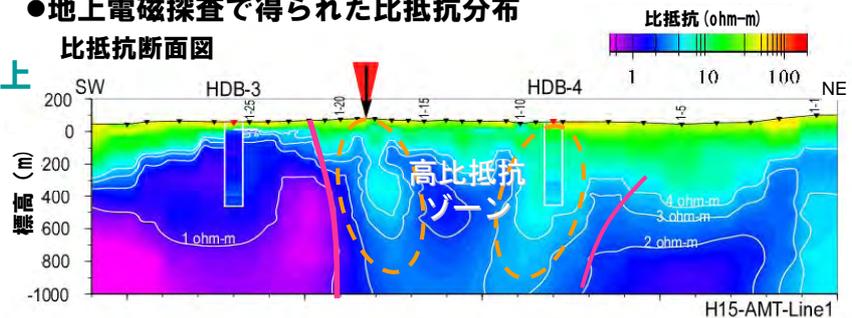
(c) HDB-1, 3, 4, 5, 6, 7, 8

調査計画立案に際して、調査量の増加に応じて不確実性が低減することを考慮

## ■ 調査手法の体系化と信頼性向上

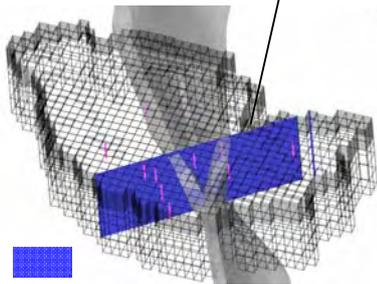
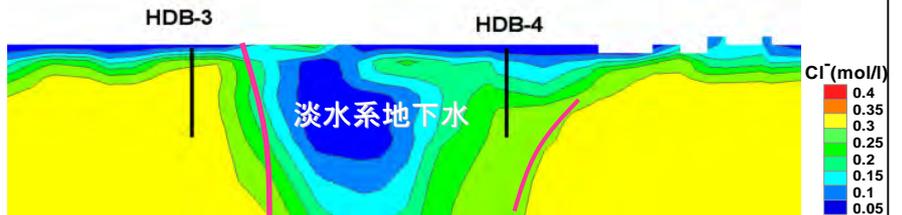
異なる調査手法の結果を、対比し組み合わせる事により、調査手法体系化の信頼性が向上

●地上電磁探査で得られた比抵抗分布  
比抵抗断面図



●地下水の地球化学モデルの例  
地下水水質の変遷を考慮した  
水質分布の推定結果

比較・検討



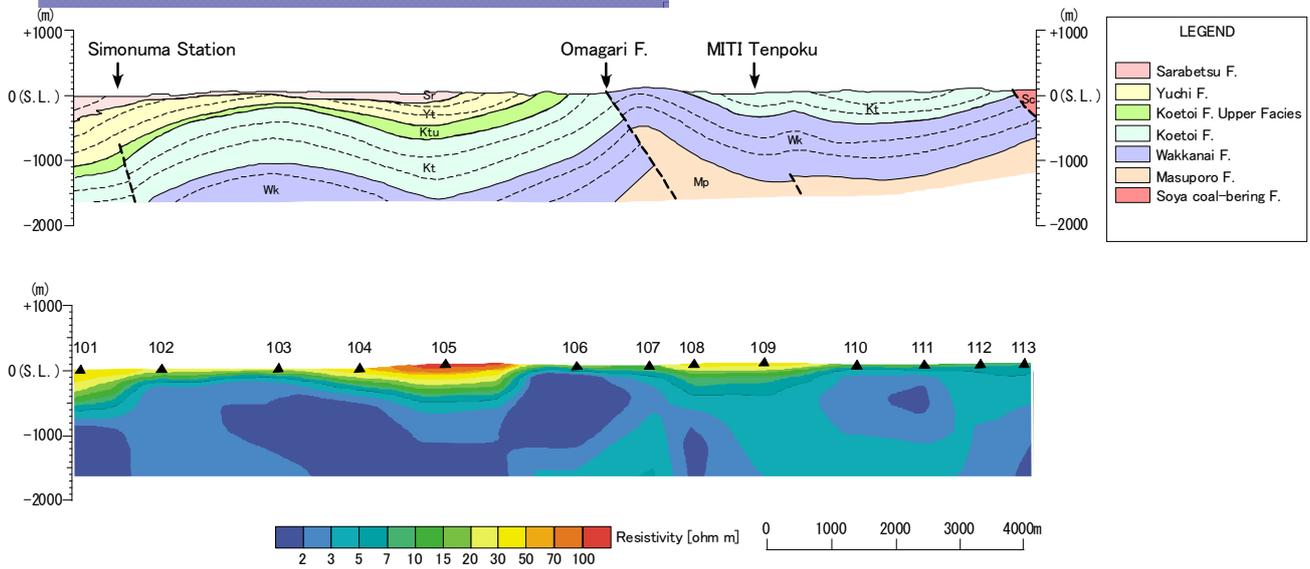
表示断面

地下施設建設に伴う地質環境の変化の予測と各分野間のモデルの整合性の検討

## ■ 総合的な地質環境調査の例示

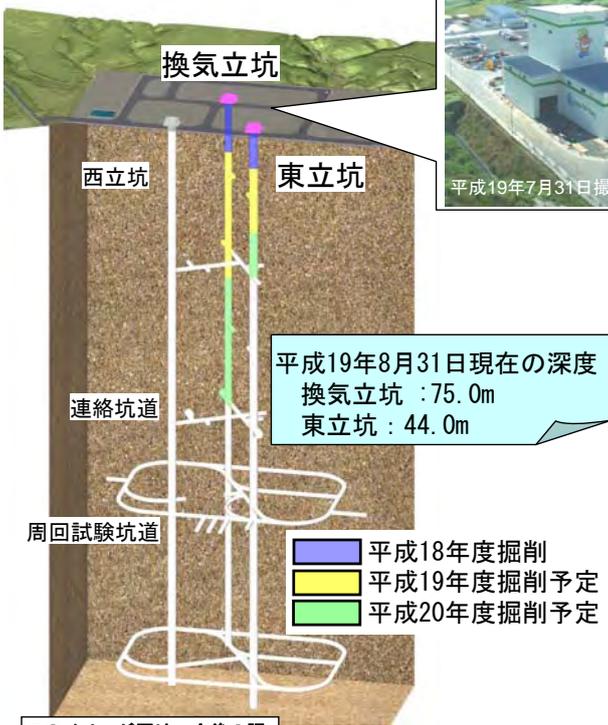
調査を進めるにあたっては、技術面のみならず、安全面、社会面などの条件を考慮することが必要

### 既存文献に基づく推定地質断面図と地上物理探査の比較の例



# 第2段階の現状と今後の予定

## 地下施設工事の現状



このイメージ図は、今後の調査研究等の結果次第で見直すことがあります。



## 平成19年度～20年度の予定

- 地下施設工事
  - 換気立坑掘削：280m
  - 東立坑掘削：140m
  - 先行ボーリング調査：520m
- 坑道掘削に伴う調査
- 共同研究・受託研究
  - 沿岸域調査
  - 地質環境総合評価技術高度化開発
  - 処分システム化学影響評価高度化開発
  - 地下坑道施工技術高度化開発 等

- 研究所設置地区及び研究所設置場所の選定の考え方と実施した調査の内容・結果
- 研究所設置地区及びその周辺で実施した調査研究で得られた技術的知見の整理
  - ・地質環境の調査研究
  - ・地質環境の変化の予測
  - ・調査技術の整備
  - ・地質環境の長期安定性に関する調査研究
- 地下施設を安全に建設・維持するための工学技術の基礎の開発として、地下施設の設計・施工計画策定を実施
- 残された課題と、第2段階の調査研究