

# 第62回試錐研究会

## 講演資料集

- 開催日 令和6年(2024年)2月19日(月)
- 会場 札幌サンプラザ 2階「金枝の間」  
(札幌市北区北24条西5丁目)
- 主催 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構  
産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所
- 協賛 一般社団法人 北海道地質調査業協会  
一般社団法人 全国さく井協会北海道支部
- 後援 一般社団法人 日本応用地質学会北海道支部  
一般社団法人 資源・素材学会北海道支部  
北海道地域産業技術連携推進会議



## 第 62 回試錐研究会プログラム

---

日 時 : 令和 6 年 2 月 19 日(月) 13:00~17:30 (受付開始 12:00)  
場 所 : 札幌サンプラザ 2 階「金枝の間」(札幌市北区北 24 条西 5 丁目 Tel. 011-758-3111)  
主 催 : 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所  
協 賛 : 一般社団法人北海道地質調査業協会／一般社団法人全国さく井協会北海道支部  
後 援 : 一般社団法人日本応用地質学会北海道支部／一般社団法人資源・素材学会北海道支部／  
北海道地域産業技術連携推進会議

---

13:00 開会

■ 開会の挨拶(13:00 ~ 13:10)

北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所  
所長 大津 直

■ 特別講演(13:10 ~ 14:40)

13:10 ~ 14:40 点群による地形画像とコアスキャナ技術が拓く地形・地質情報のDX化  
東北大学災害科学国際研究所  
特任教授 原口 強

----- 休憩 14:40 ~ 15:00 -----

■ 一般講演(15:00 ~ 17:20)

15:00 ~ 15:30 高品質ボーリングコアを用いた周氷河堆積物の観察および解析  
北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所  
研究主任 小安 浩理

15:30 ~ 15:50 高品質・定方位ボーリングについて

有限会社エーシーイー試錐工業  
取締役技術部長 福間 哲

----- 休憩 15:50 ~ 16:10 -----

16:10 ~ 16:40 地下水熱(オープンループ方式)利用の現状と課題

株式会社アクアジオテクノ 技術部  
資源開発グループ 課長 岩佐 大  
地盤環境グループ 課長 若狭 靖之

16:40 ~ 17:20 道民の暮らしと産業振興を支えてきた掘削の歴史とその技術

北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所  
専門研究員 高橋 徹哉

■ 閉会の挨拶(17:20 ~ 17:30)

北海道地質調査業協会  
理事長 千葉 新次

---

18:00 ~ 意見交換会 (北海道地質調査業協会・全国さく井協会北海道支部 主催)



# 目 次

## ■ 特別講演

- 点群による地形画像とコアスキャナ技術が拓く地形・地質情報のDX化 …………… 3  
東北大学災害科学国際研究所  
特任教授 原口 強

## ■ 一般講演

- 高品質ボーリングコアを用いた周氷河堆積物の観察および解析 …………… 39  
北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所  
研究主任 小安 浩理
- 高品質・定方位ボーリングについて …………… 77  
有限会社エーシーイー試錐工業  
取締役技術部長 福間 哲
- 地下水熱（オープンループ方式）利用の現状と課題 …………… 87  
株式会社アクアジオテクノ 技術部  
資源開発グループ 課長 岩佐 大  
地盤環境グループ 課長 若狭 靖之
- 道民の暮らしと産業振興を支えてきた掘削の歴史とその技術 …………… 127  
北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所  
専門研究員 高橋 徹哉



## 特別講演

点群による地形画像とコアシキャナ技術が拓く地形・地質情報のDX化	3
東北大学災害科学国際研究所	
特任教授 原口 強	





# 特別講演 (90分)

## 「点群による地形画像とコアスキャナ技術が拓く 地形・地質情報のDX化」



東北大学災害科学国際研究所 特任教授・中央大学機構教授  
大阪公立大学客員准教授、(株)STORY代表取締役

**原口 強 氏**

### 講演内容

1. 事例紹介 (自己紹介を兼ねて)
2. 地形の可視化と地形画像診断
3. RGB & X線コアスキャナー
4. 地形・地質情報のDX化

### プロフィール

HARAGUCHI Tsuyoshi1956年生  
 ■技術士(応用理学部門) 博士(工学)(東京大学)  
 ■専門分野 地質工学, 自然災害科学, 環境考古学  
 ■職歴: 1979年~2003年復建調査設計  
 2003年~2022年 大阪市立大学, 2020年~STORY  
 ■内閣府原子力安全委員会原子炉安全専門審査会審査委員  
 文化庁文化審議会文化財分科会第3専門調査会 会長

コア検診車

60秒で結果表示

- ◆ 4K高精細コア写真とX線写真同時撮影
- ◆ スピードスキャン: 60秒/1箱: 66mm/86mm
- ◆ その場で画像確認
- ◆ X線管理区域不要
- ◆ X線作業責任者免許不要
- ◆ AC100V・発電機でも可

### 点群データによる地形画像診断診断

UAVライダー計測  
UAV M300RTK  
クラス機重量1.0kg  
System Accuracy: ±7.0cm, Field of View: 55.2°  
Laser Sensor: 1500x1500 dots, Range Accuracy: 1cm  
Scan Rate: 1300000 pts/s

地形の3D可視化  
地形断面図例

地形断面図例  
CSマップ+等高線図(地形判読例)

計画画像の計測事例  
UAV写真によるオルソ画像  
地形画像診断用画像  
3Dモデル図→動画作成可能

#### 地形画像診断の手順

- ① 現地地形
- ② 3次元計測点群
- ③ 傾斜計画像, 地形表示
- ④ 地形画像
- ⑤ 地形画像診断



第 62 回試錐研究会  
令和 6 年 2 月 19 日(月)  
特別講演(13:10 ~ 14:40)

# 点群による地形画像とコアスキャナ技術が拓く 地形・地質情報のDX化

東北大学災害科学国際研究所  
特任教授 原口 強

# 自己紹介 原口 強

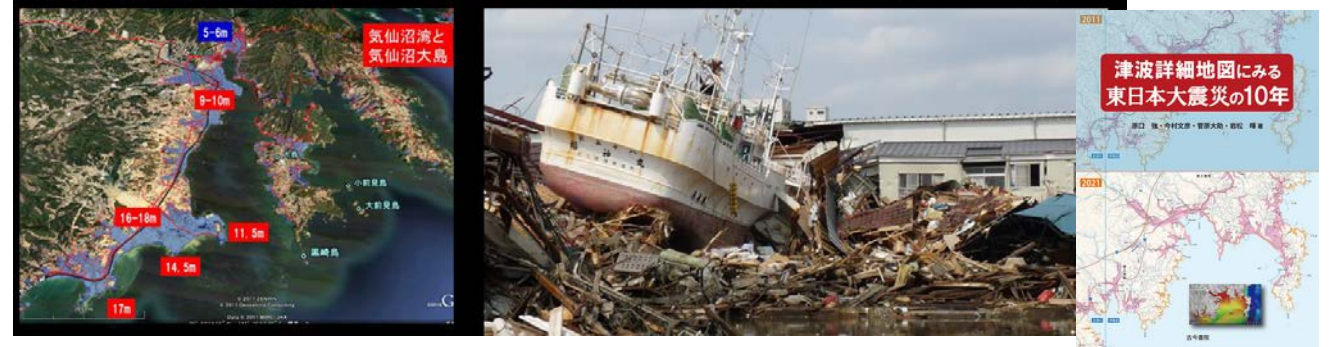
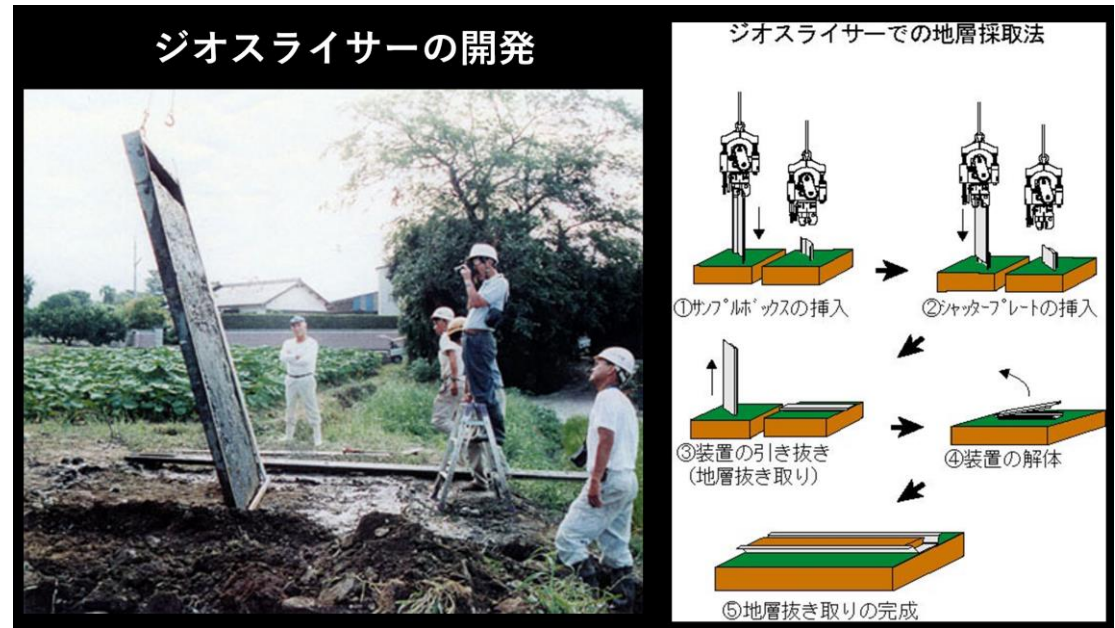
## 1956年、鹿児島県市来出身

1979年04月～2003年9月  
(24年6ヵ月) 22歳～47歳  
復建調査設計(株)・土研・東大  
: 広島、高松、つくば  
長崎、東京、横浜

2003年10月～2022年3月  
(18年6ヵ月) 47歳～65歳  
大阪市立大学: 大阪

2020年4月～  
STORY 代表 (大学発ベンチャー)

2022年4月～  
東北大学特任教授・中央大学機構教授  
・大阪公立大学客員准教授



**Geoslicer**

トルコ断層調査

USGS、液状化調査

USGS・ヘイワード断層

Hayward断層調査

トルコ・ガズネキイ  
トルコ・エアデン湖  
コロンビア州  
サンフランシスコ  
ニューマドリッド

**Geoslicer**

津波堆積物調査

北海道から九州  
全国100か所以上

**2004年**

航空／地上レーザー測量による大規模岩盤崩落斜面の三次元モデリング

原口 強 大阪市立大学助教授  
中田 賢 中田基量 代表取締役  
矢崎 潤一郎 北海航測研 代表取締役

航空レーザーデータによる地形3Dモデル 地上レーザーデータによる地形3Dモデル

航空・地上レーザーデータの合成

崩落斜面の形状計測

崩落面の位置関係の算定方法

a) 柱状節理

b) 破断面①

c) 破断面②

d) 下方から見た柱状節理の破断面①, ②

表面積 A=2,269m<sup>2</sup>

柱状節理の3Dモデルと形状計測

別府湾海底地質構造調査

別府湾地下構造探査  
(10KHz・3.5KHz・プーマー・エアガン)

エアガン  
プーマー  
10KHz・3.5KHz

Lateral-spread graben

Compressed zone

BPNS-05

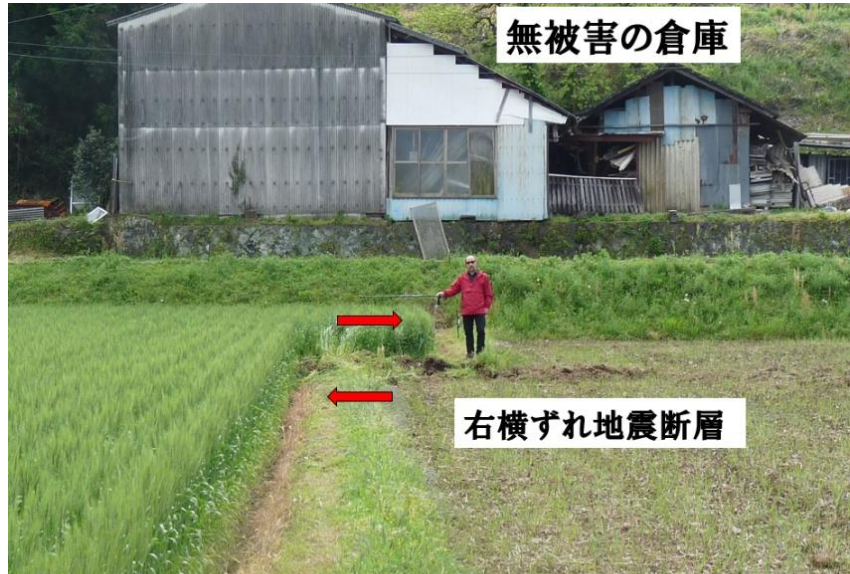
BPNS-04

BPNS-03(A)

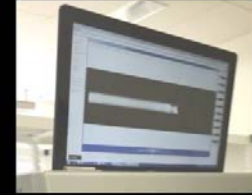
BPNS-02

BPNS-01

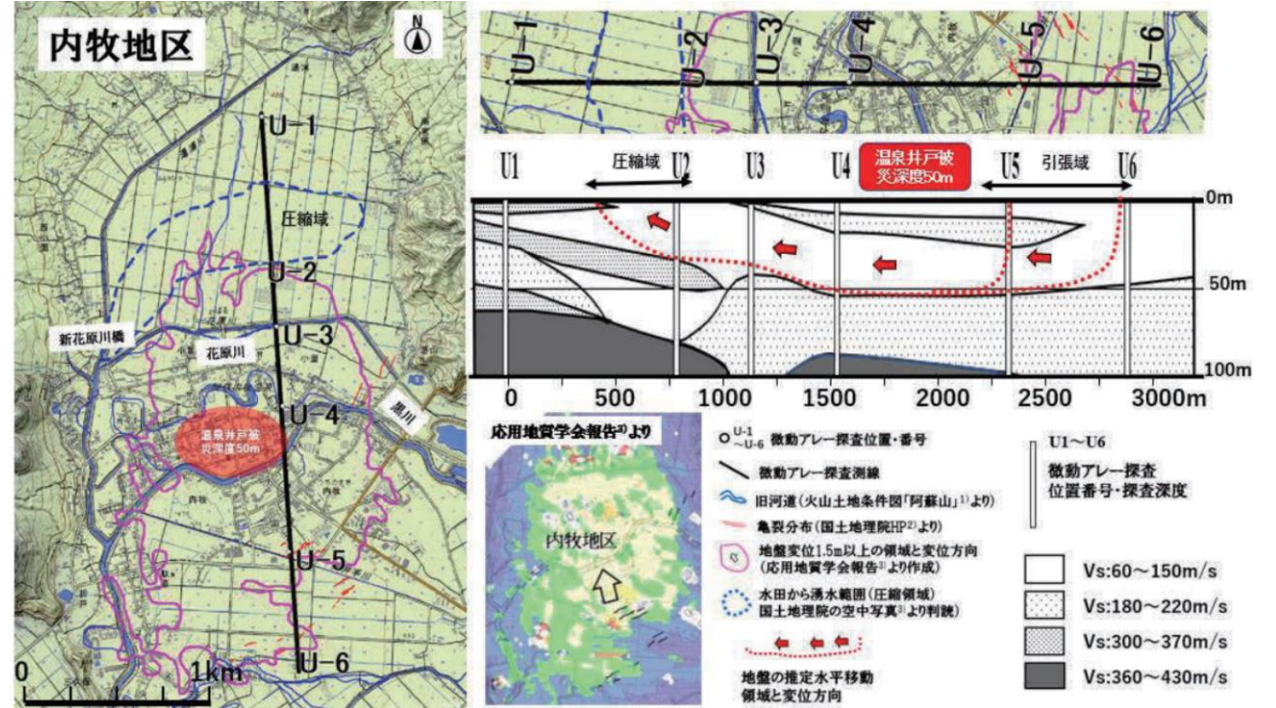
# 2016熊本地震



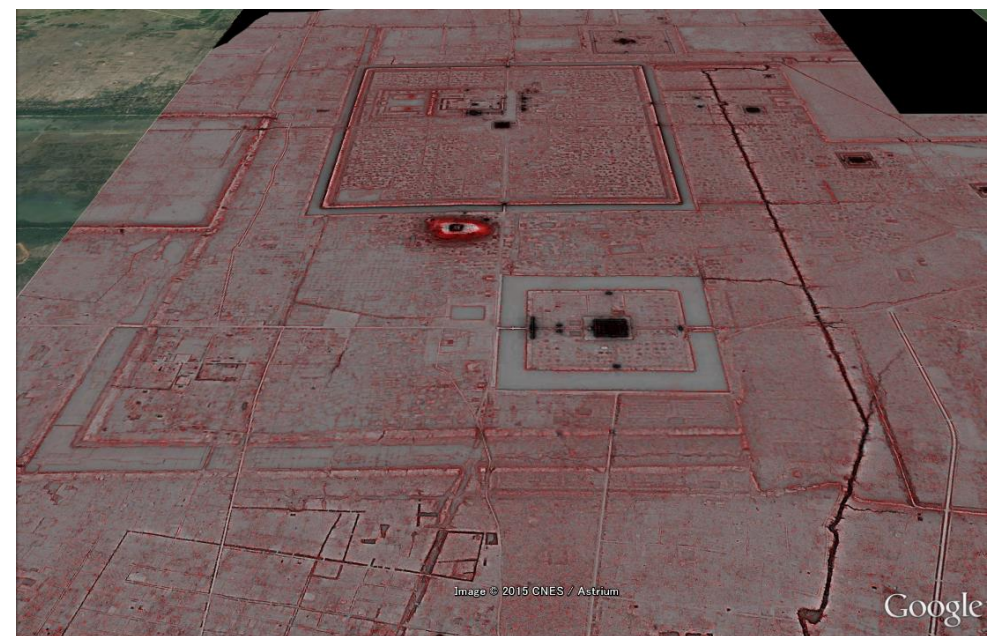
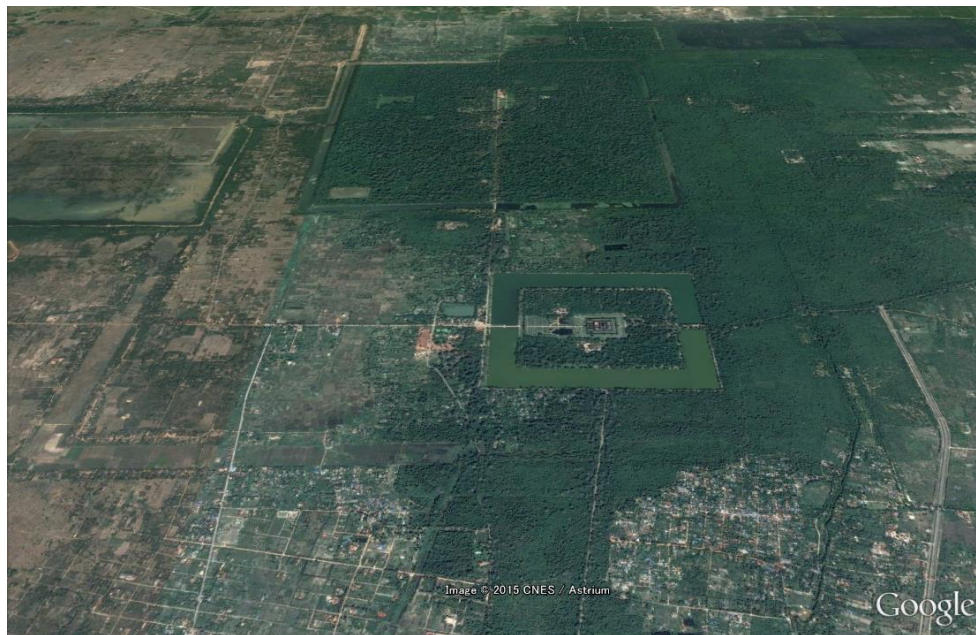
地層の構造・傾斜から読み取る  
湖成層の内部変形



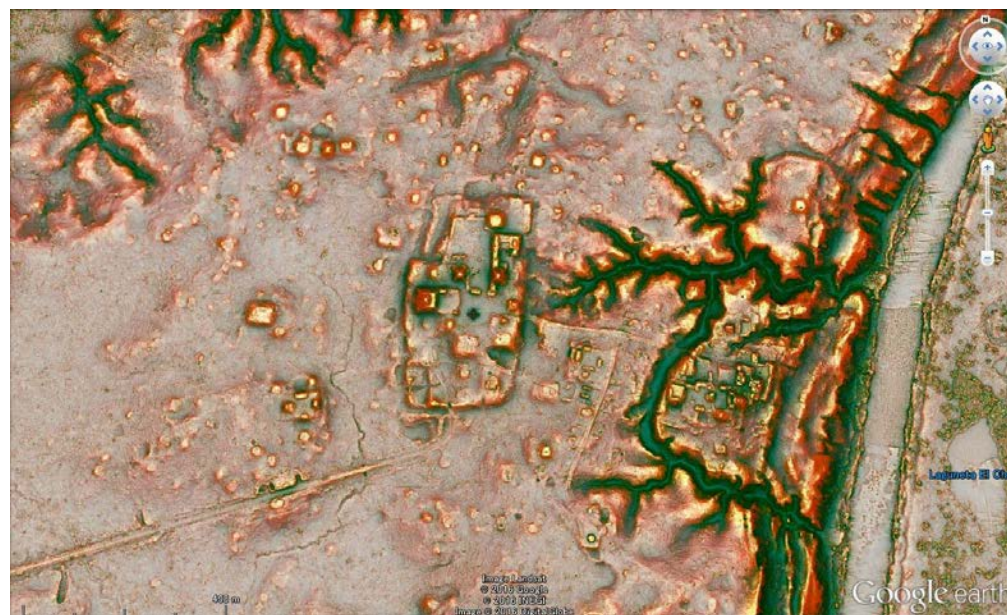
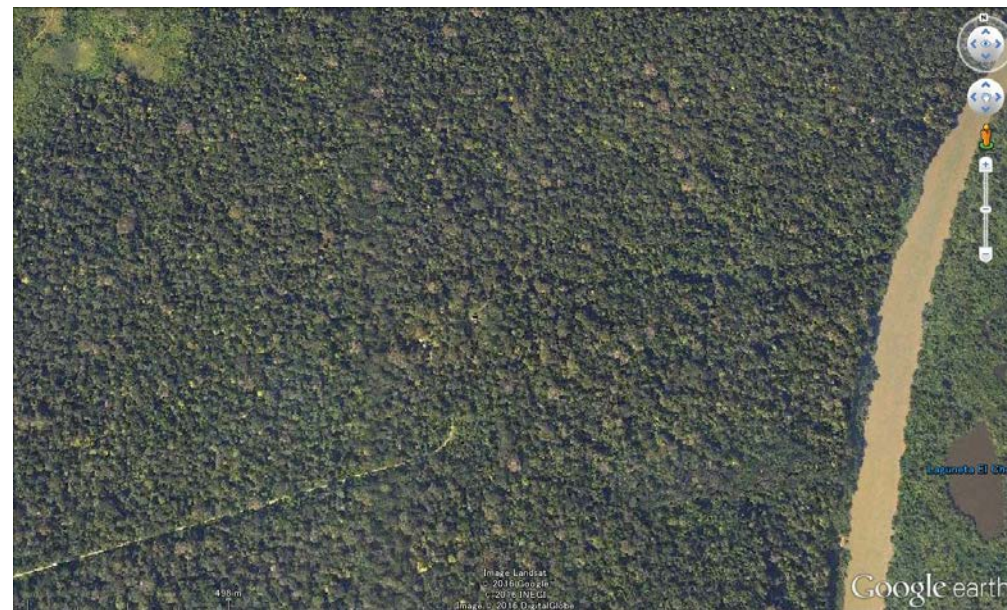
簡易型高速X線スキャナ



## 古代都市：アンコール遺跡群の可視化



## マヤ古代遺跡の可視化

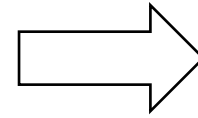
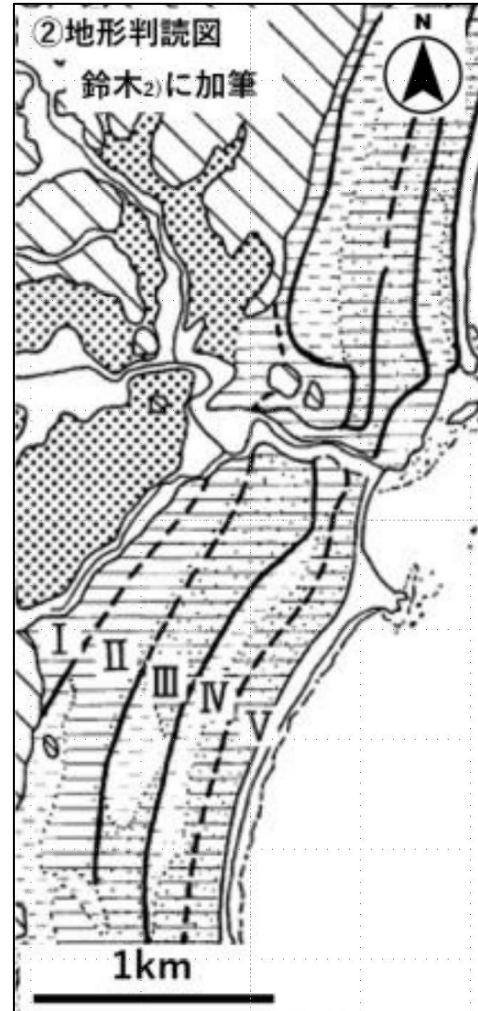
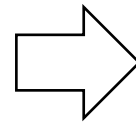
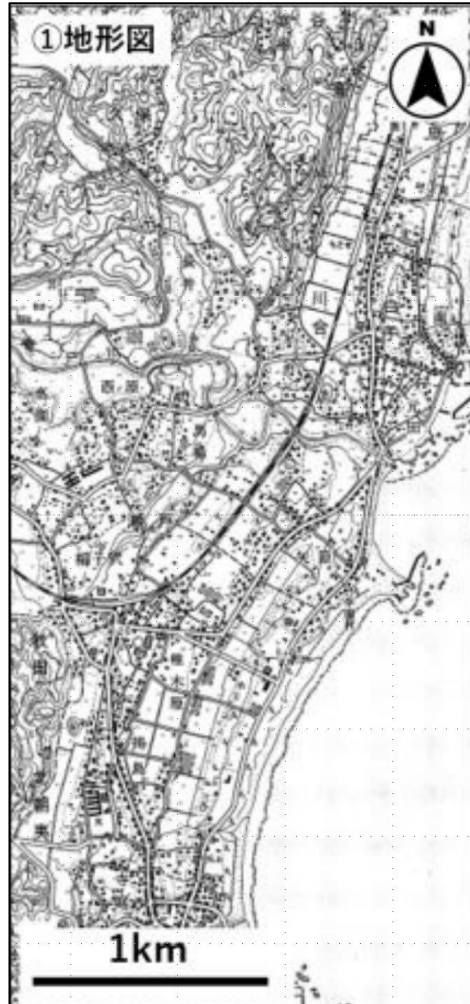


# 地形画像診断

Terrain Diagnostic Imaging

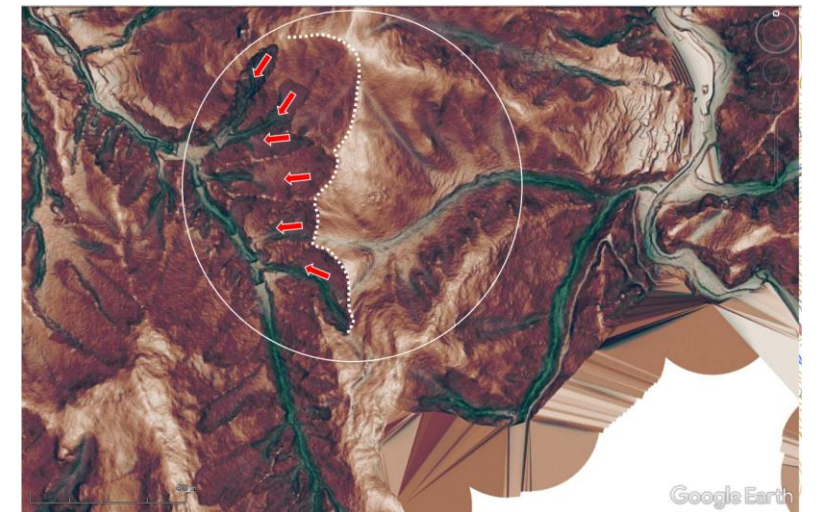
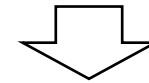
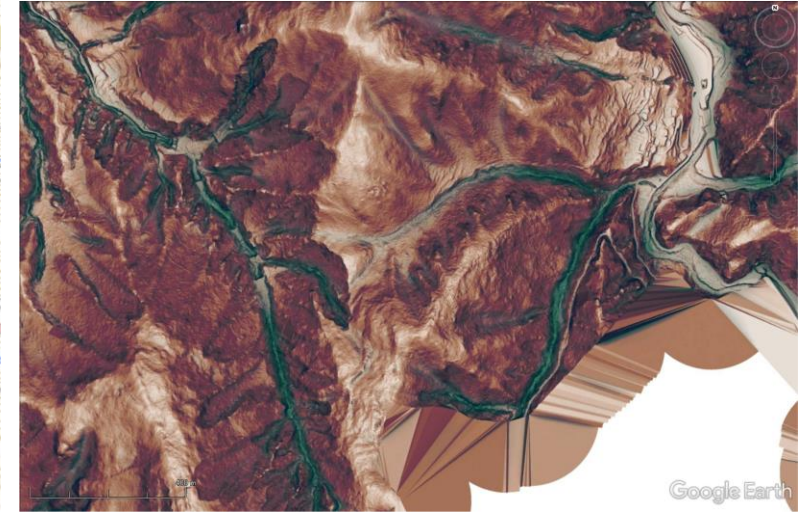
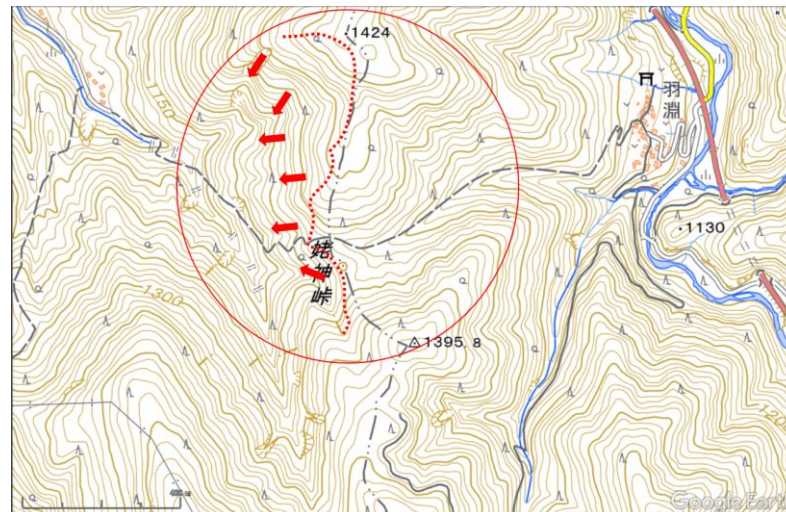
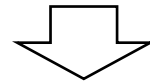
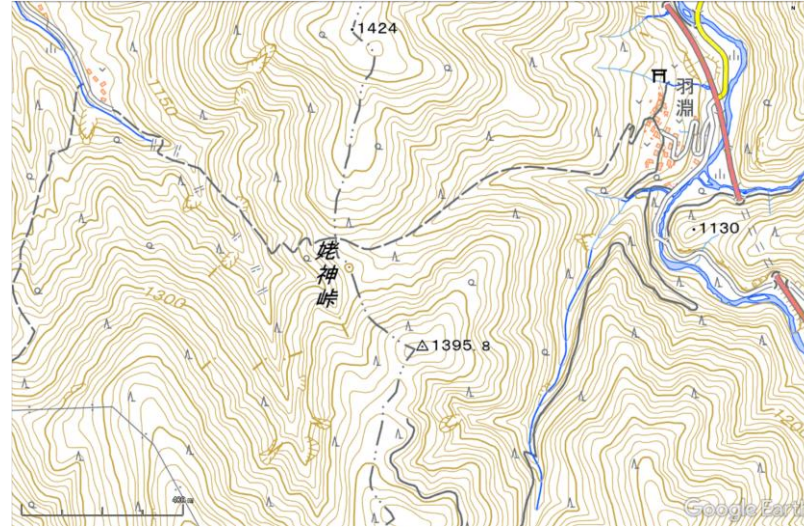
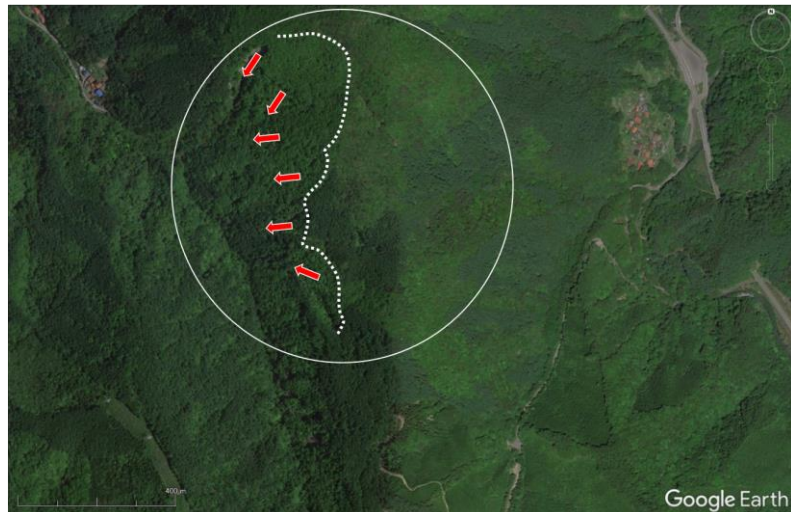
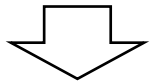
地形判読から地形画像診断へ

例: 段丘地形





# 微地形表現図の優位性

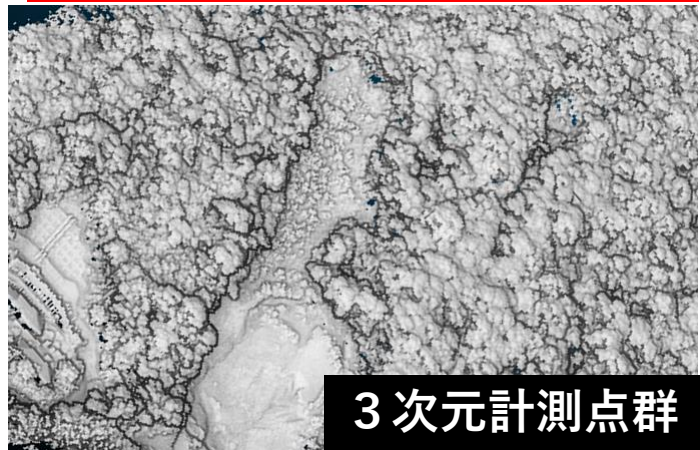


# UAVレーザ測量

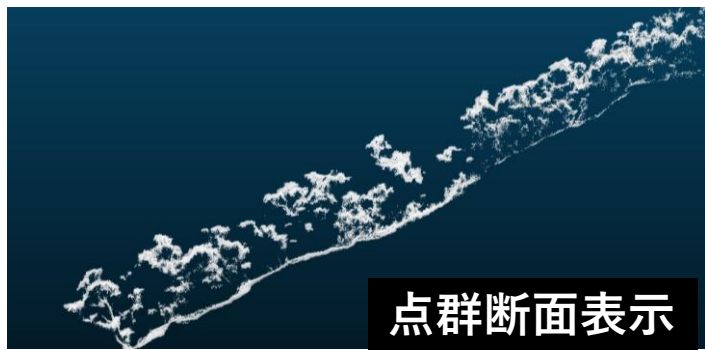


UAVレーザ計測  
10万点毎秒  
精度 2 cm

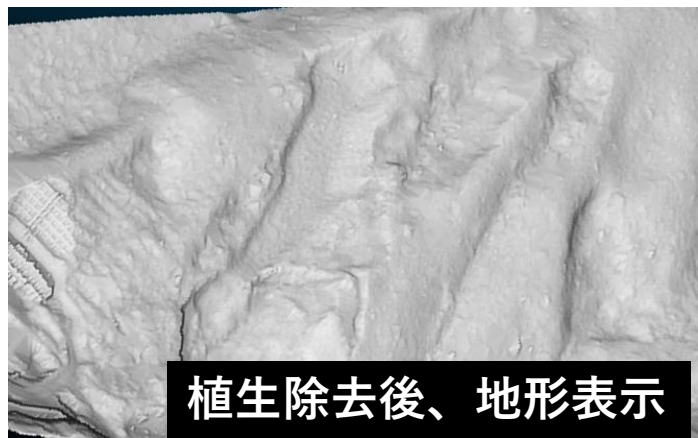
# 地形画像診断の流れ



3次元計測点群



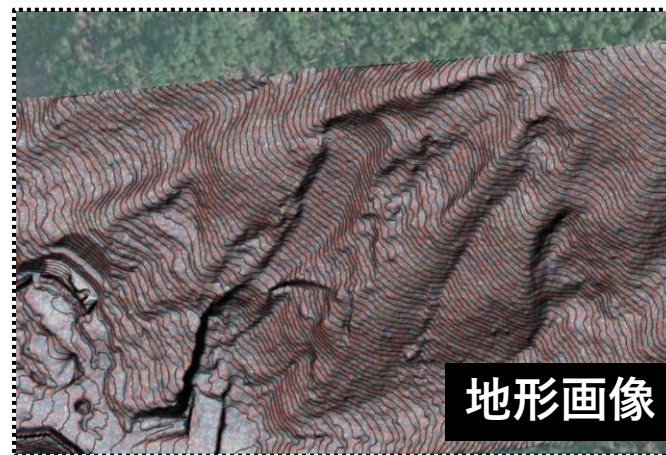
点群断面表示



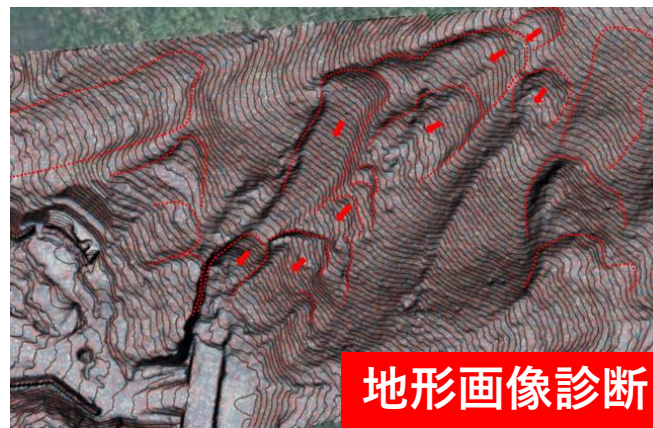
植生除去後、地形表示



現況地形



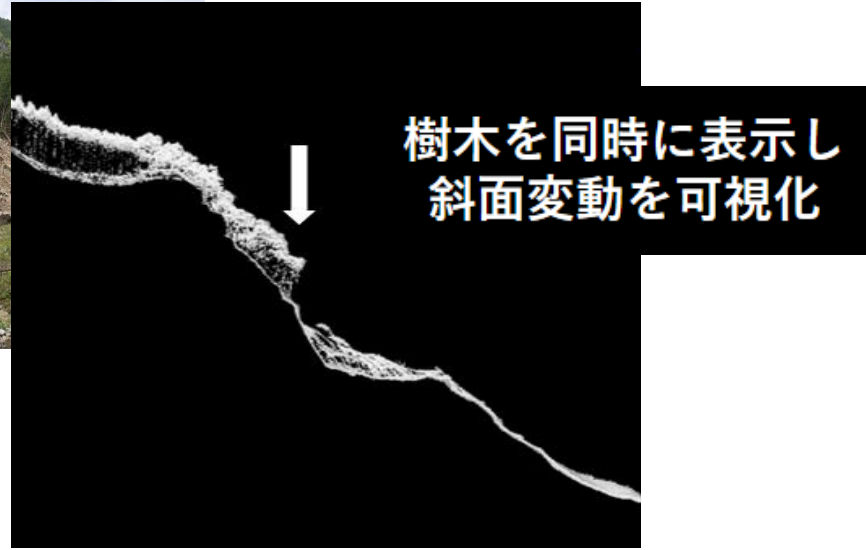
地形画像



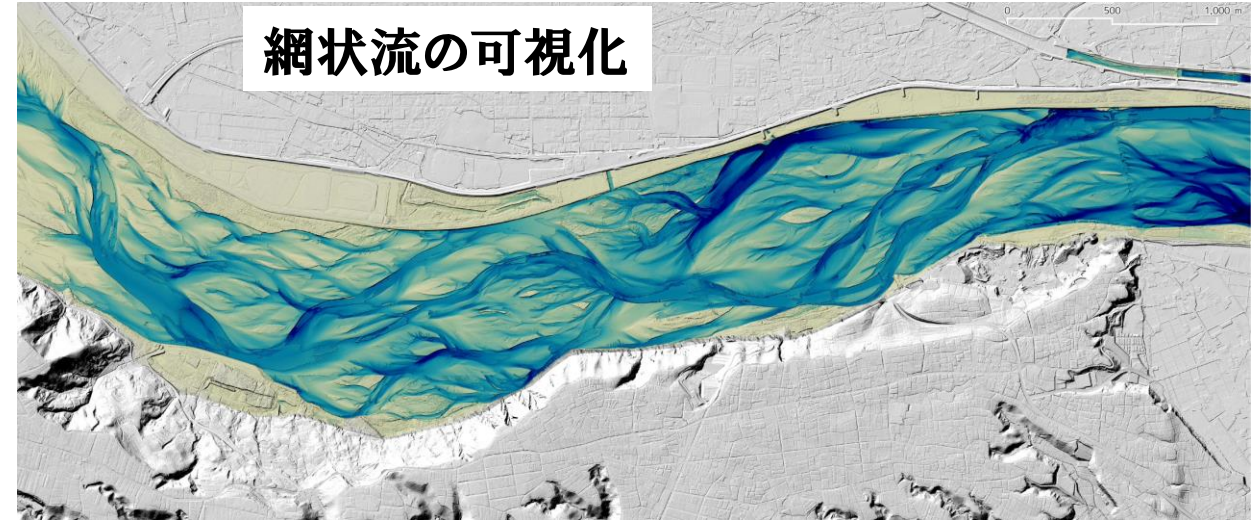
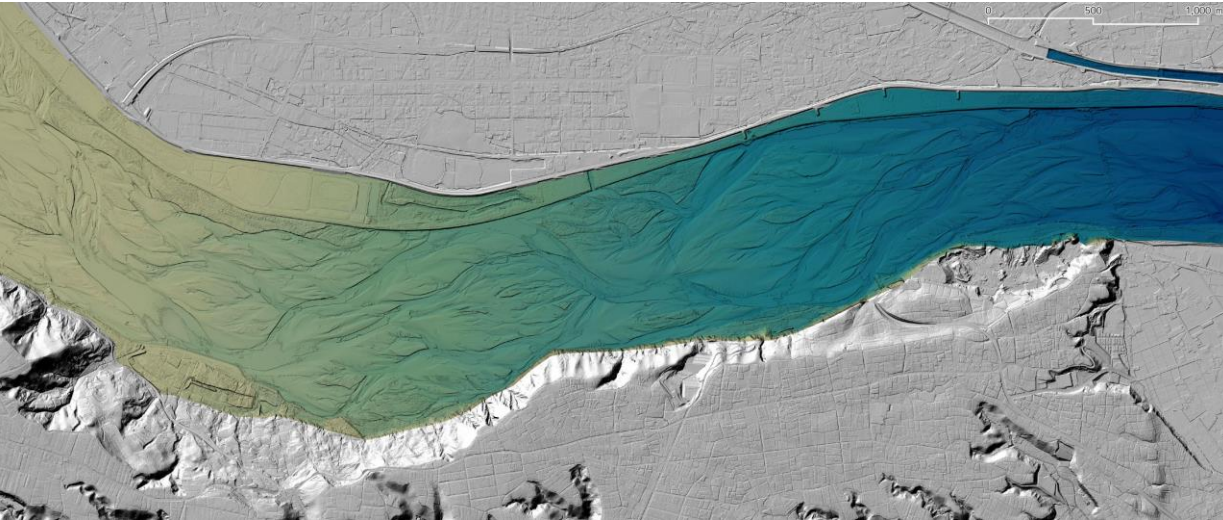
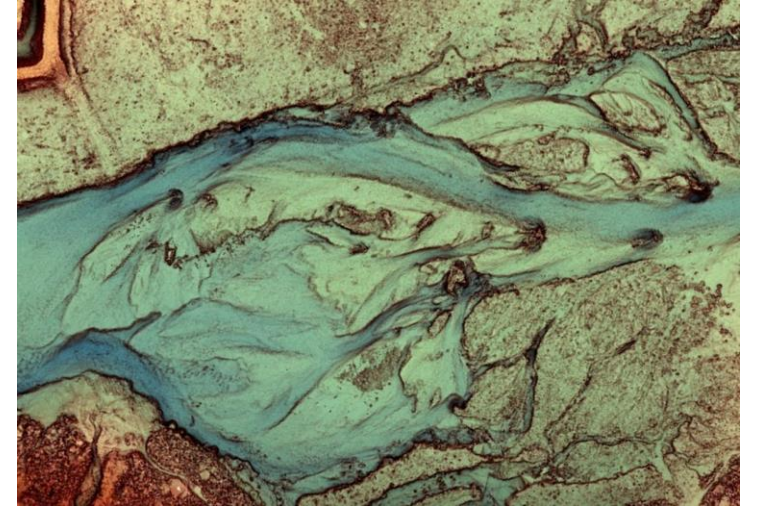
地形画像診断



## 斜面災害



## 河川水中部の可視化



## 網状流の可視化

# デジタル化、オープンデータ化:熱海の土石流災害



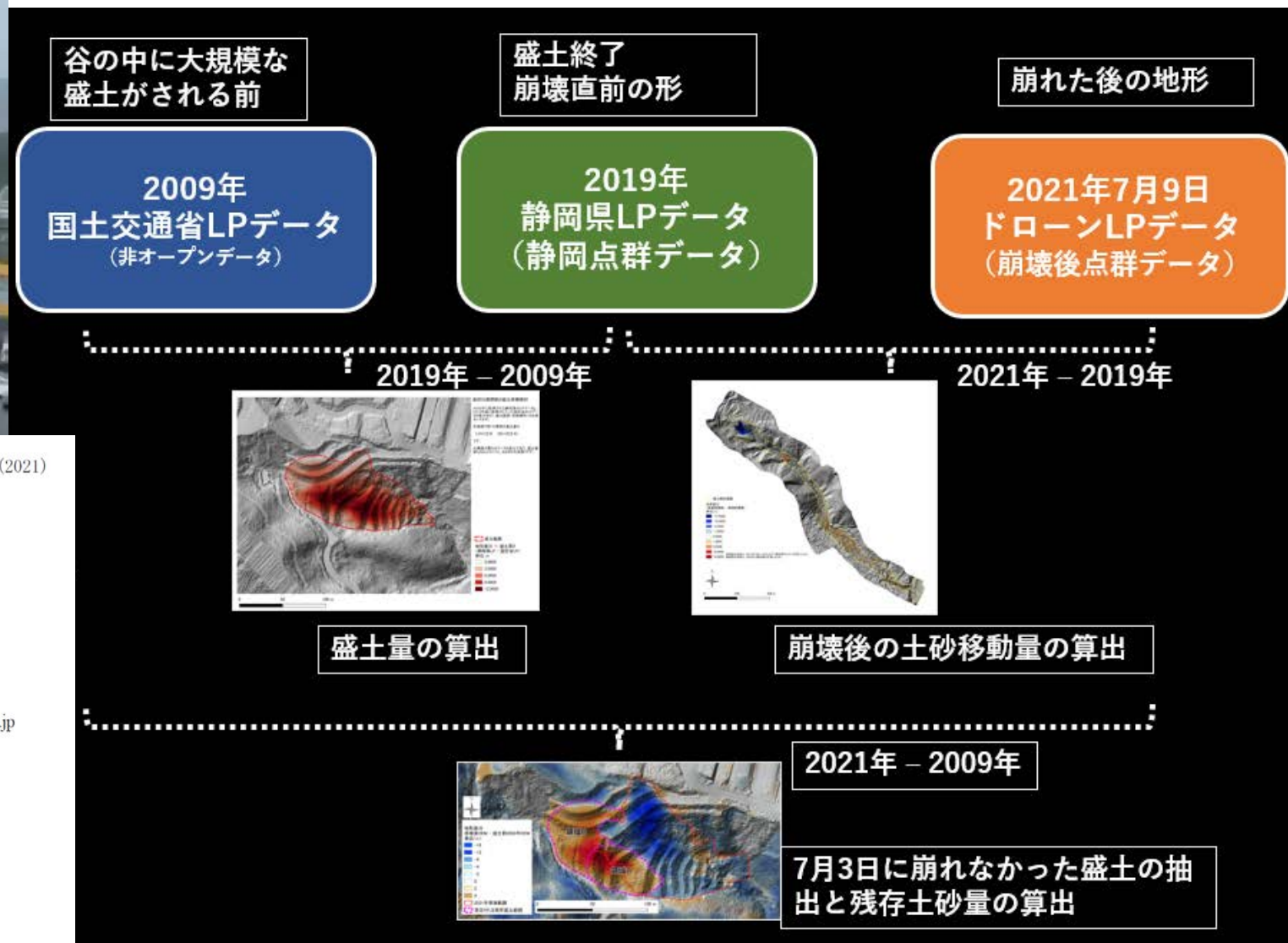
都市防災研究論文集, 第8巻 (2021)

## 土砂災害時の点群データ活用と地形画像診断の提案 - 2021年7月熱海土石流災害を例として -

鈴木雄介<sup>1)</sup>・杉本直也<sup>2)</sup>・増田慎一郎<sup>3)</sup>・原口 強<sup>3)</sup>

- 1) (株) STORY e-mail: ysk.suzuki@gmail.com
- 2) 静岡県交通基盤部建設政策課イノベーション推進班 e-mail: naoya2\_sugimoto@pref.shizuoka.lg.jp
- 3) 静岡県交通基盤部建設政策課未来まちづくり室 e-mail: shinichiro1\_masuda@pref.shizuoka.lg.jp
- 4) 大阪市立大学大学院理学研究科 e-mail: haraguchi@osaka-cu.ac.jp

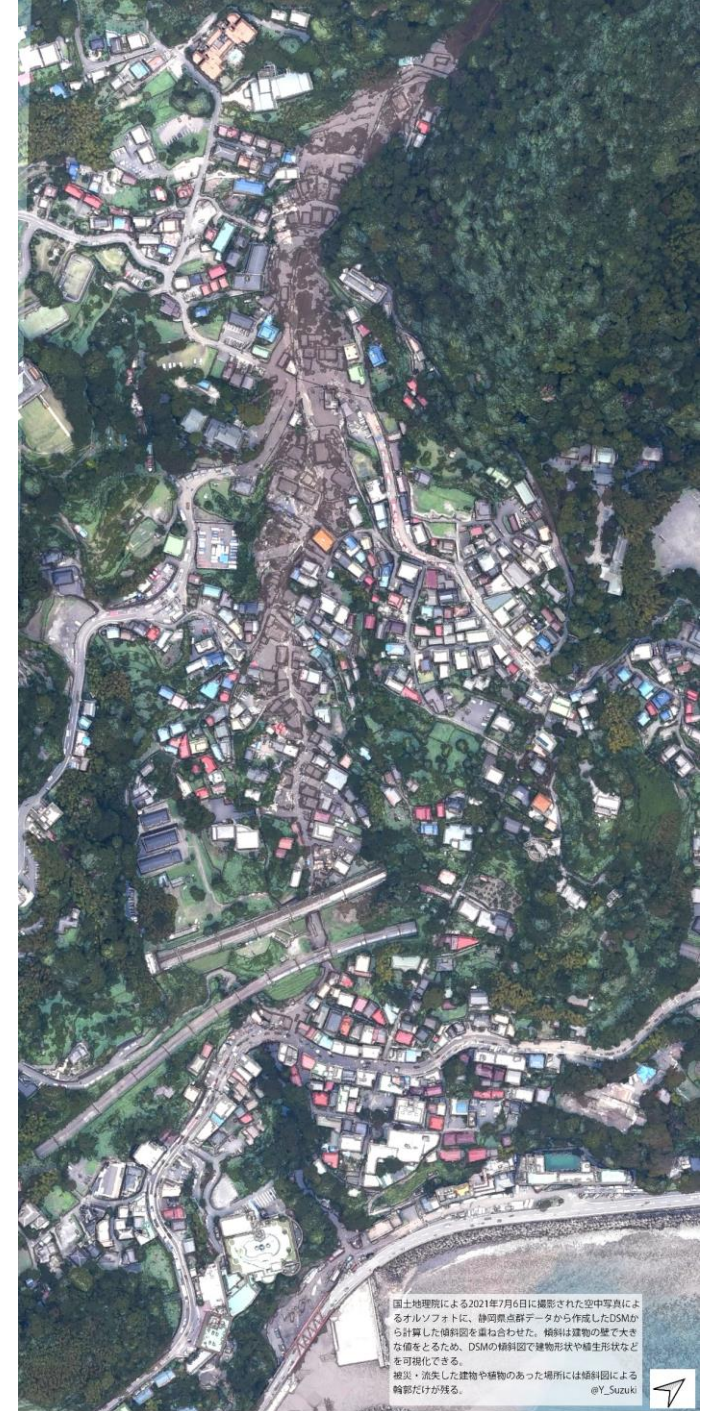
土砂災害が発生した際、被害状況の地形把握は必須である。救助活動が最優先される一方、二次災害を防ぐ視点から救助隊員の安全確保も重要な課題である。熱海伊豆山土石流災害では、地形のオープンデータによる解析により短時間で崩壊地の盛土が特定された。ここではこれを可能とした地形のオープンデータの概要と点群を活用した地形画像診断例を示す。これらを踏まえ、災害時の点群活用と地形画像診断の在り方について提案する。



# 災害時の最重要課題 安否確認

## 各種情報の可視化

1. 被災前後の画像を重合
2. 住民台帳
3. 携帯電話と紐付け



国土地理院による2021年7月6日に撮影された空中写真によるオルソフォトに、静岡県点群データから作成したDSMから計算した傾斜図を重ね合わせた。傾斜は建物の壁で大きな傾きをとるため、DSMの傾斜図で建物形状や植生形状などを可視化できる。被災・消失した建物や植物のあった場所には傾斜図による輪郭だけが残る。  
@Y\_Suzuki

# オープンデータによる災害状況の可視化

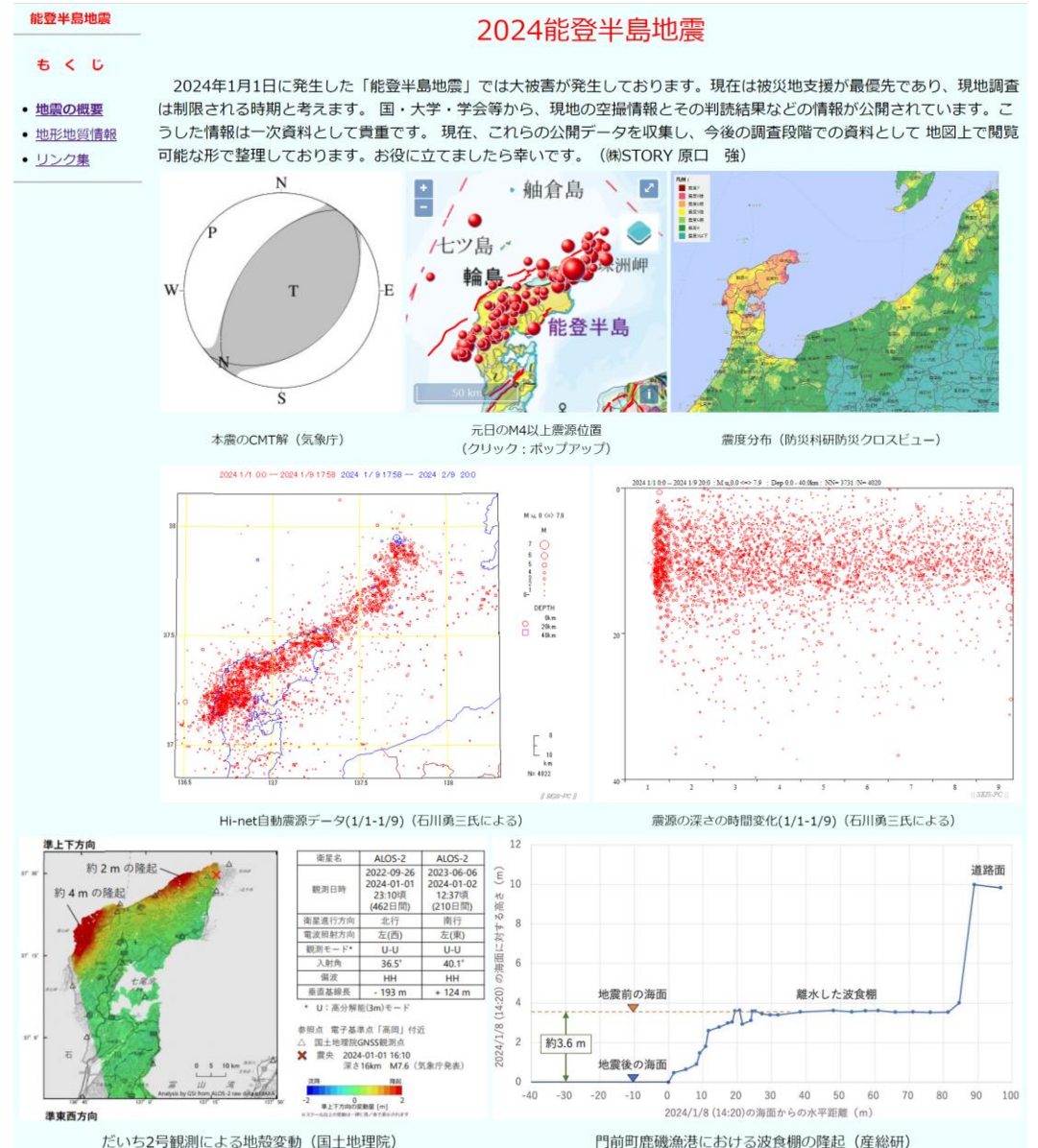
## ➤ 能登半島地震の例

<https://story-ujv.com/opendata/noto/index.html>

### 能登半島地震





#### もくじ

- [地震の概要](#)
- [地形地質情報](#)
- [リンク集](#)

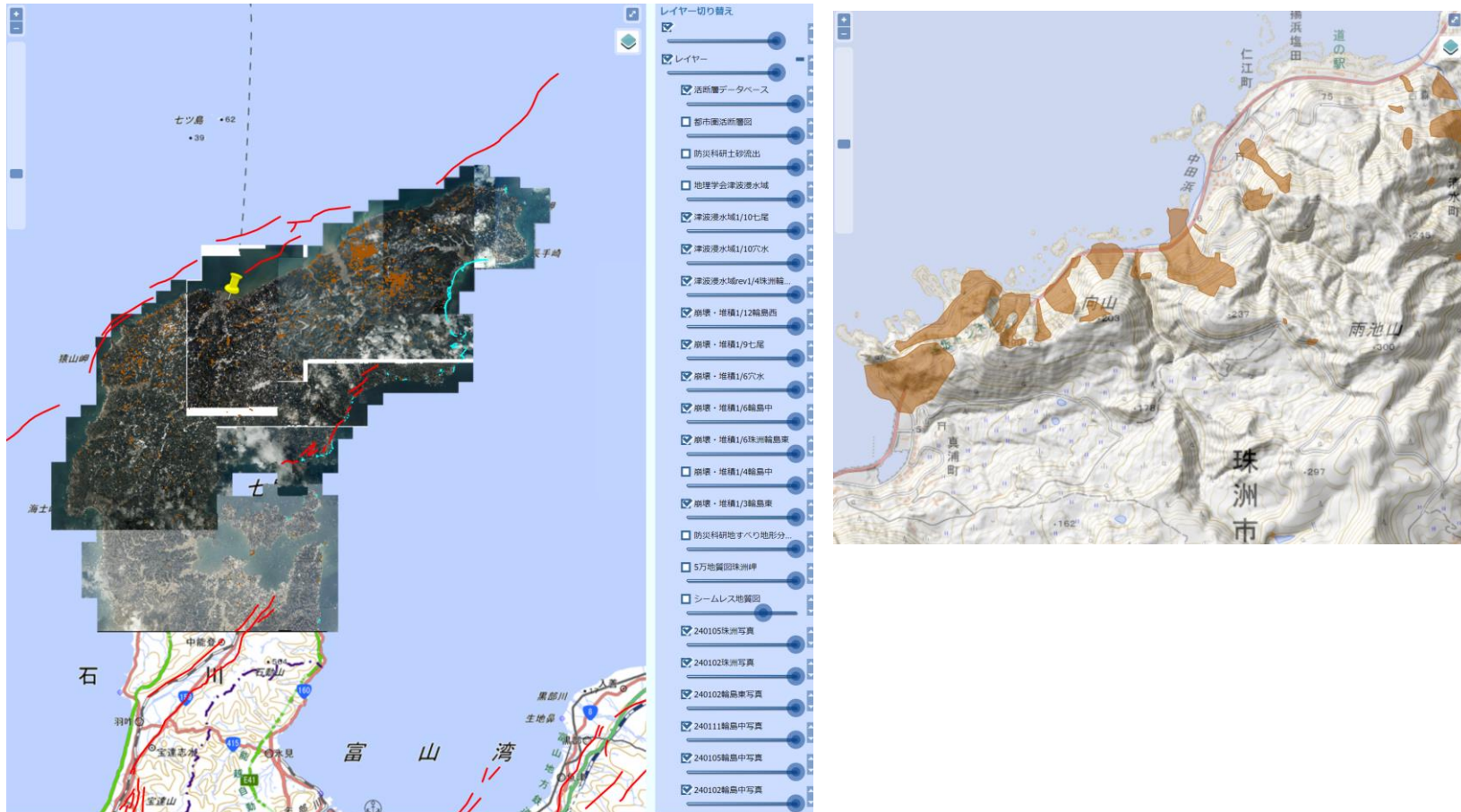


## ◀地形画像診断マップの使い方▶

地形画像診断は各種地形情報を勘案して行います。上記オーバーレイの中から必要な情報にチェックを入れて重ね合わせます。上にあるほうが優先されますから、右端の両矢印(up/down)をドラッグして順序を入れ替えてください。透明度は横バーで自由に変わります。回転・傾動もできます。

Shift+drag : 回転・ズーム、 : 正常方向復帰、alt+drag : 傾動、 : 全画面表示、Esc : 復帰、 : 著作権・凡例表示、 : 地図選択 (外部スイッチャーと同じ、全画面表示の時に使用)

※ 地図によっては大縮尺のデータがない場合があります。表示されるまで一旦縮小してください。なお、以下のレイヤーのうち、赤字は国交省ハザードマップポータルのデータです。



## 参考文献:

1. 石山達也・松多信尚・立石良・安江健一 (2024), 2024年1月1日令和6年能登半島地震 (M7.6) で生じた海岸隆起【速報】. 東大地震研ウェブサイト.
2. 穴倉正展・越後智雄・行谷佑一 (2020), 能登半島北部沿岸の低位段丘および離水生物遺骸群集の高度分布からみた海域活断層の活動性. 活断層研究, Vol.2020, No.53, p.33-49.

## § 参考サイト

- 国土数値情報ダウンロード (国交省GISホームページ)
- 基礎地図情報ダウンロードサービス
- 令和6年能登半島地震による被害状況等について (内閣府災害情報のページ)
- 地震情報 (気象庁)
- CMT解 (気象庁)
- 震源リスト (気象庁)
- 最近の地震(ときどき火山も)の解説 (石川有三氏)
- 令和6年能登半島地震関連情報 (国交省)
- 令和6年能登半島地震 道路復旧見える化マップ (国交省)
- 防災クロスビュー (防災科研)
- 令和6年能登半島地震に関する情報 (地震本部)
- 令和6年能登半島地震の関連情報 (気象庁)
- 令和6年(2024年)能登半島地震の関連情報 (産総研)
- 令和6年能登半島地震で発生した崩壊箇所、土砂流出範囲および津波浸水域の推定 (防災科研)
- 令和6年(2024年)能登半島地震に関する情報 (国土地理院)
- 「だいち2号」による令和6年能登半島地震の観測結果について (JAXA)
- 平成19年(2007年)能登半島地震に関する「だいち」による緊急観測の結果について (JAXA)
- 【研究速報】令和6年能登半島地震 (東大地震研)
- 災害調査報告 (京大防災研)
- 防災学術連携体
- 令和6年能登半島地震の関連情報 (日本地質学会)
- 日本地理学会災害対応委員会
- 令和6年(2024年)能登半島地震 地震被害調査に関する情報 (地盤工学会)
- 土木学会地震工学委員会
- 令和6年能登半島地震 (国際航業)
- 2024年1月 令和6年能登半島地震 (バスコ)
- 「令和6年能登半島地震」被害状況 (2024年1月) (アジア航測)
- 令和6年能登半島地震による被害状況等の航空写真 (朝日航洋)
- 災害対応情報 (中日本航空)
- 地盤情報緊急公開サイト【石川県】 (国土地盤情報センター)



現地調査:  
2024/1/30-2/2



上下変位を伴う線状の地表変状:石川県珠洲市若山町

	岸壁	物揚場
漁港	水深-3m以上	水深-3m未満
港湾	水深-4.5m以上	水深-4.5m未満

鹿磯（かいそ）漁港岸壁（物揚場）  
（石川県輪島市）:2024/2/2



津波による被害



# 医療現場

⇒患者との会話・問診可能

⇒最新の機器が使用可能



## 地形画像診断（医療分野レベルを目指して）

- 高精細な地形データは画像と同じ
- 処理速度、作業性が飛躍的に向上
- 「難しいことをわかりやすく」市民レベルの理解

# ボーリングコアの画像診断技術を用いた 地質情報のDX化

- コアは地下の岩石を手にとって観察
- 地質調査の最も重要な要素
- 柱状図は地質調査の基本
- 「ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説」に従い
- コアは丁寧にコア箱に収納
- コアパックを外し
- コア表面のマッドケーキを洗浄・除去

ボーリング柱状図作成及び  
ボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説

本要領(案)・同解説をこのたび公開することとなりましたが、本要領(案)・同解説のうち、「第10編ボーリングコアの取扱い及び保管方法」以外の編については、「地質・土質調査成果電子納品要領(案)」が改訂された後の施行となりますので、ご留意下さい。

平成27年6月

一般社団法人全国地質調査業協会連合会  
社会基盤情報標準化委員会

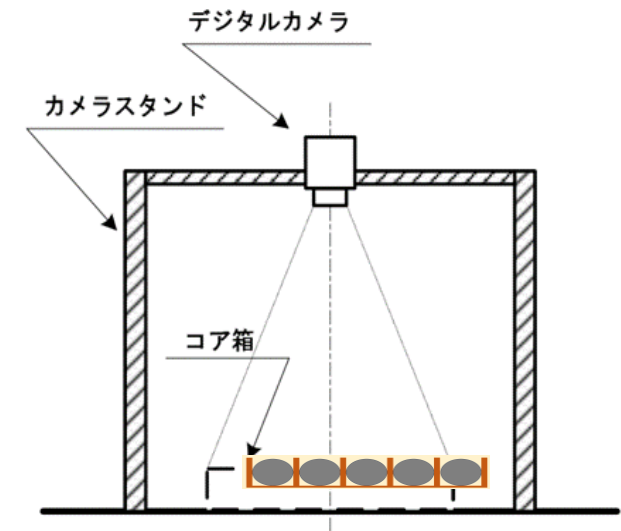
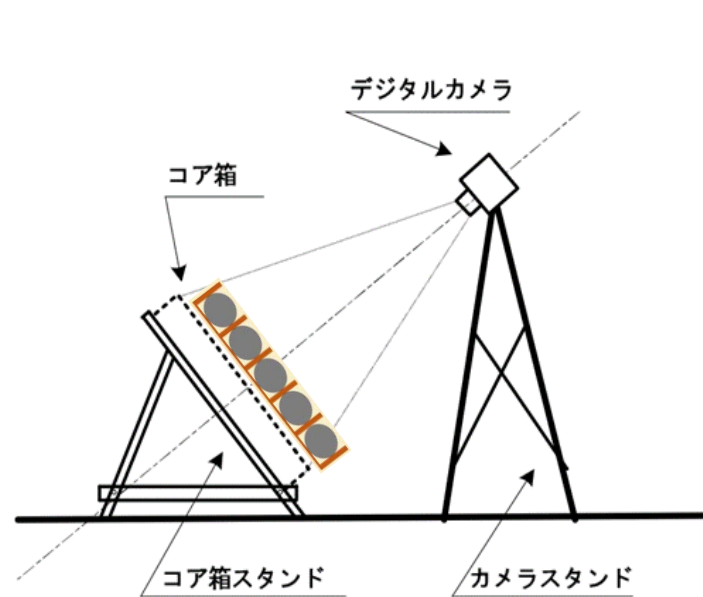


## ボーリングコア処理の現状



## コア写真の課題

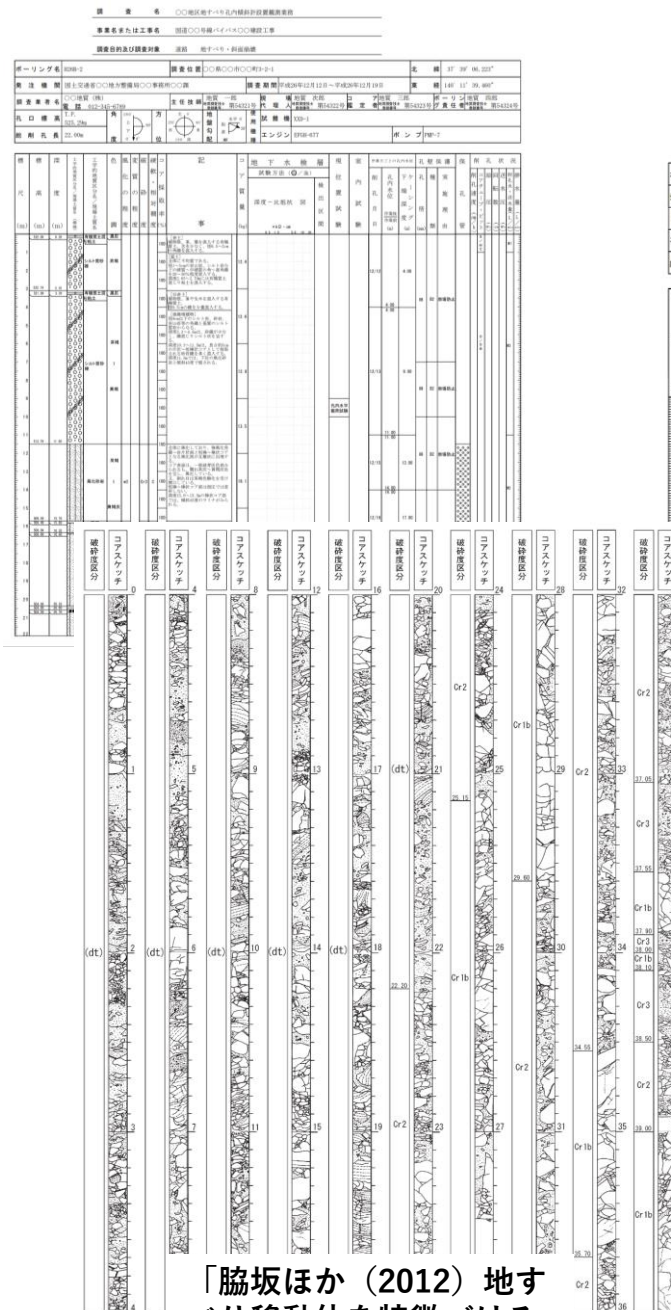
- 写真はコア箱を**正対して撮影**
- **表の面のみで、側面・裏面写真が無い**
- 亀裂方向，内部の礫などの**情報が不明瞭**
- 柱状図に記載するが，**物証写真が少ない**
- 断層，破碎帯，地すべり面などの情報
  - **鏡肌やせん断構造の記載**
  - **コアを割ると再度観察が出来ない**
- 時間変化
  - 応力解放により割目が顕在化
- 乾湿繰り返し変化
  - スレーキング
  - 含有粘土鉱物による膨潤化
- 処理時間の迅速化
  - 採取後のコア処理・写真撮影・記載処理時間
- コアの劣化過程
  - その後の地山評価では貴重な情報
  - 経時変化を複数回記録する仕組みがない
- コアの保管場所



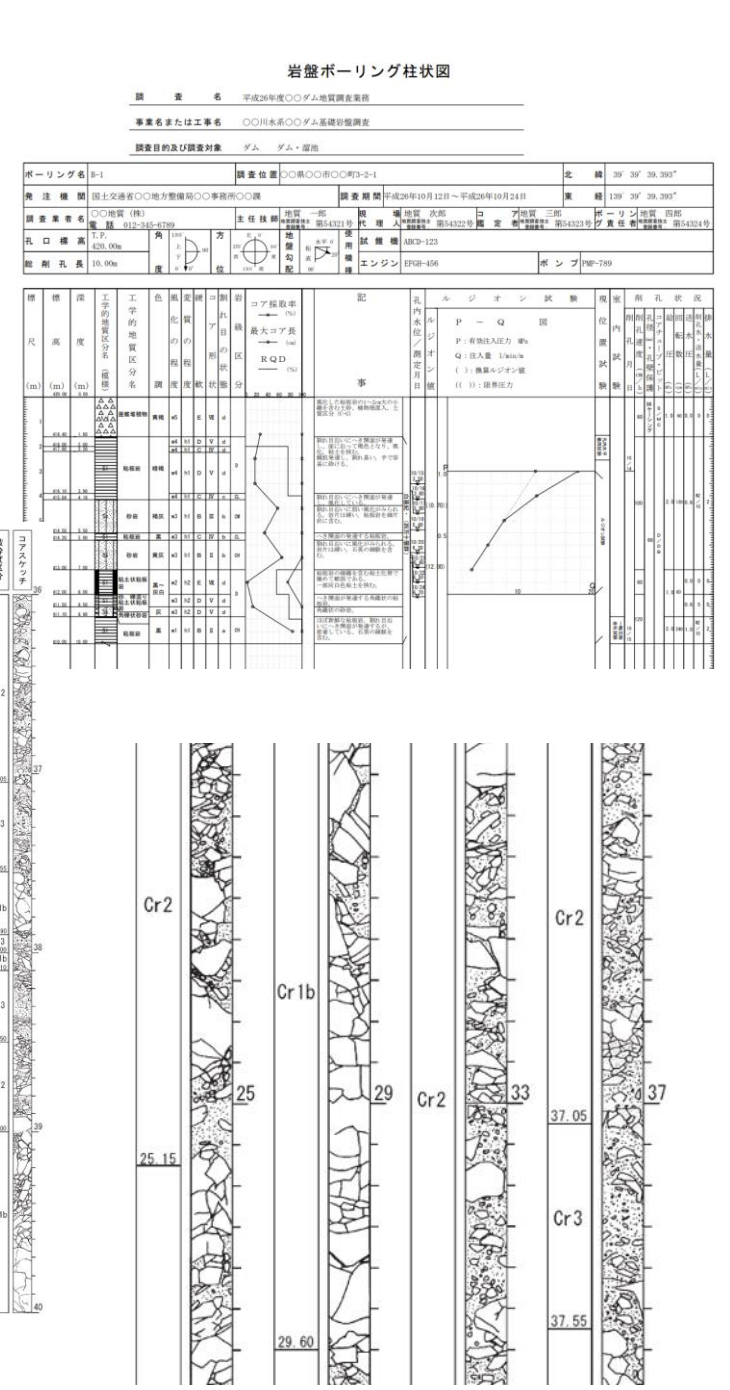
「ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説」より

## コア処理・柱状図作成

- 肉眼観察により柱状図作成
- 報告書には柱状図は必須
- 柱状図は地盤情報データベース化
- 肉眼観察の柱状図作成は個人差が生じる
- コアスケッチや破碎度区分
  - 個人の能力に依存
- 過去のコアの評価・判定は困難を伴う
  - 数カ月・数年後にコアの再度観察は稀
  - 柱状図と低解像度コア写真情報
- ボーリングコア処理は重労働
  - コアは重い
  - コア処理に長時間が必要
  - その労働環境は半世紀前のまま
  - じっくりコア観察する時間がない
  - 熟練者が若手を教育する時間がない



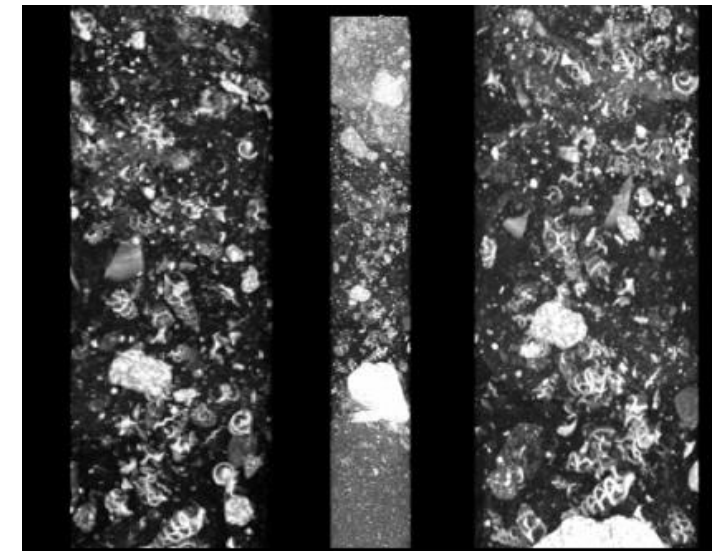
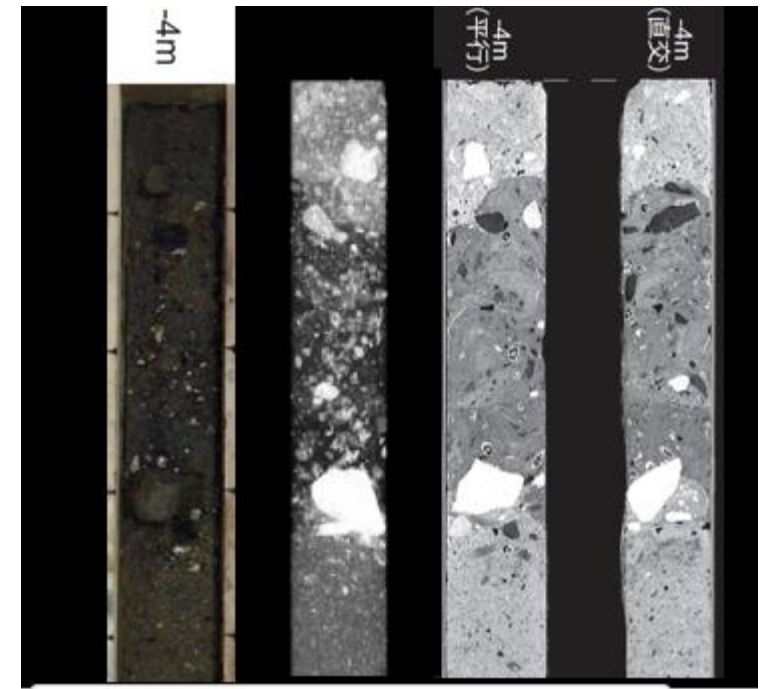
「脇坂ほか(2012)地すべり移動体を特徴づける破碎岩」より



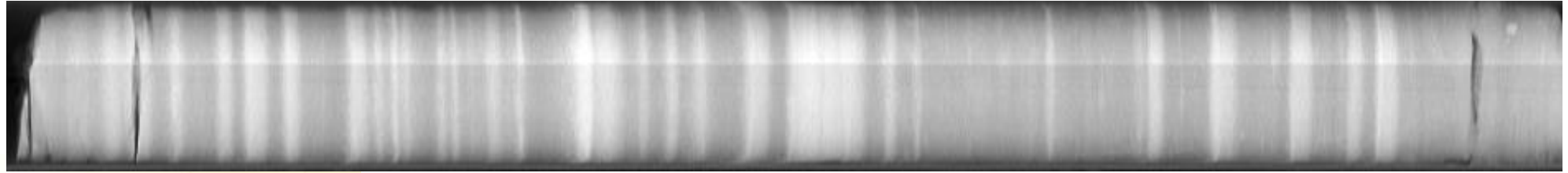
# コアの可視化技術

## 現状

- 国内の地質系研究機関
  - コアのX線撮影が標準
- 民間利用制度
  - 産総研や高知コアセンター
  - 土木地質分野の膨大なコアを運搬・撮影
  - 現実的には難しい
- 土木地質分野コアの可視化技術の環境整備が課題
- コアの画像処理（X線画像・可視画像：コア写真）
  - 条件：
    - 装置を運搬・撮影⇒**可搬型**（検診車）
    - 資格不要・簡便で迅速な操作⇒**自動化**
    - **デジタルアーカイブ化**
    - 繰り返し撮影



# ①透過型X線コアスキャナ:コア1本毎



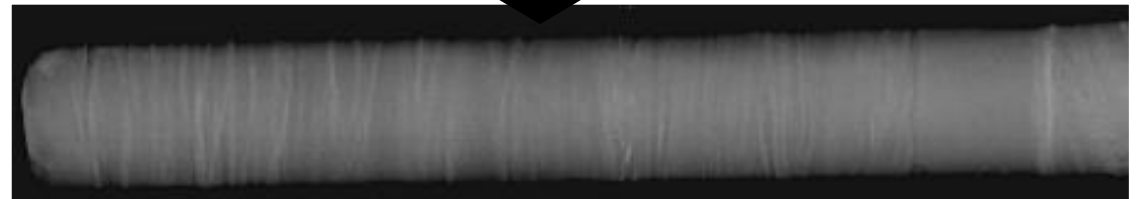
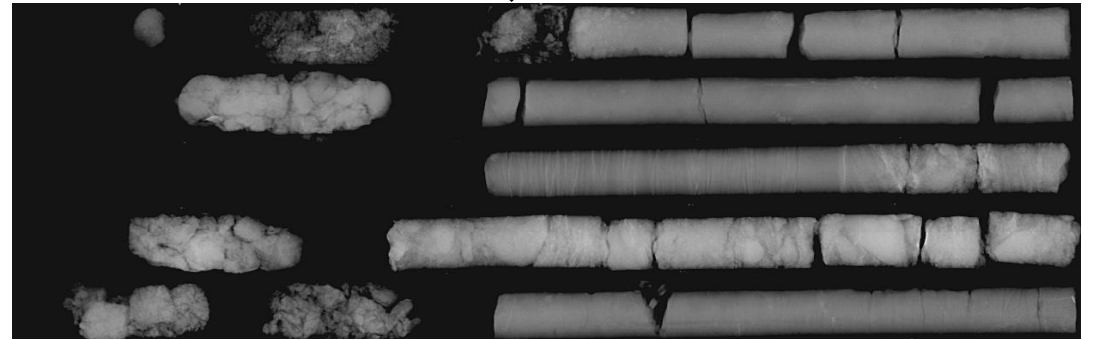
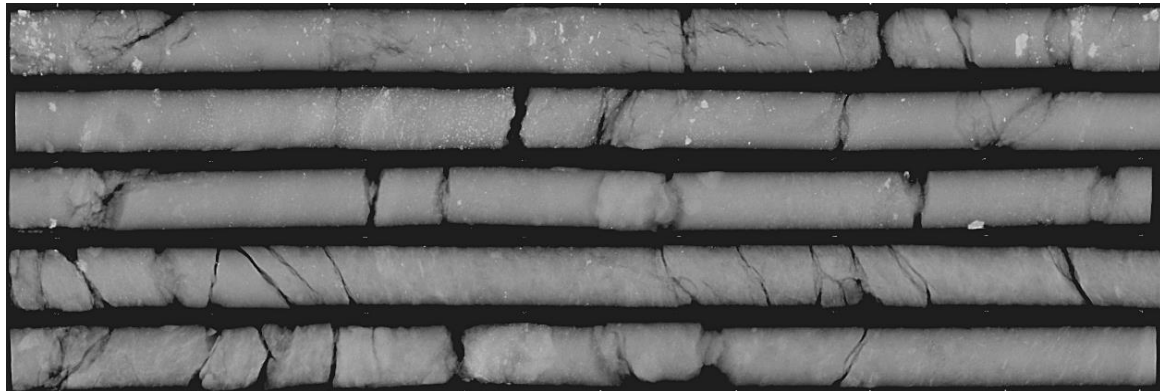
## ②コア箱のまま

### X線コアスキャナ（可搬型）

- コアパックのまま
- マッドケーキ付着のまま
- 迅速化:30秒
- 1箱分のコアの透過X線画像
- 解像度0.8mm
- ネガポジ変換
- 諧調補正



1箱分のコアの透過X線画像  
解像度0.8mm  
ネガポジ変換





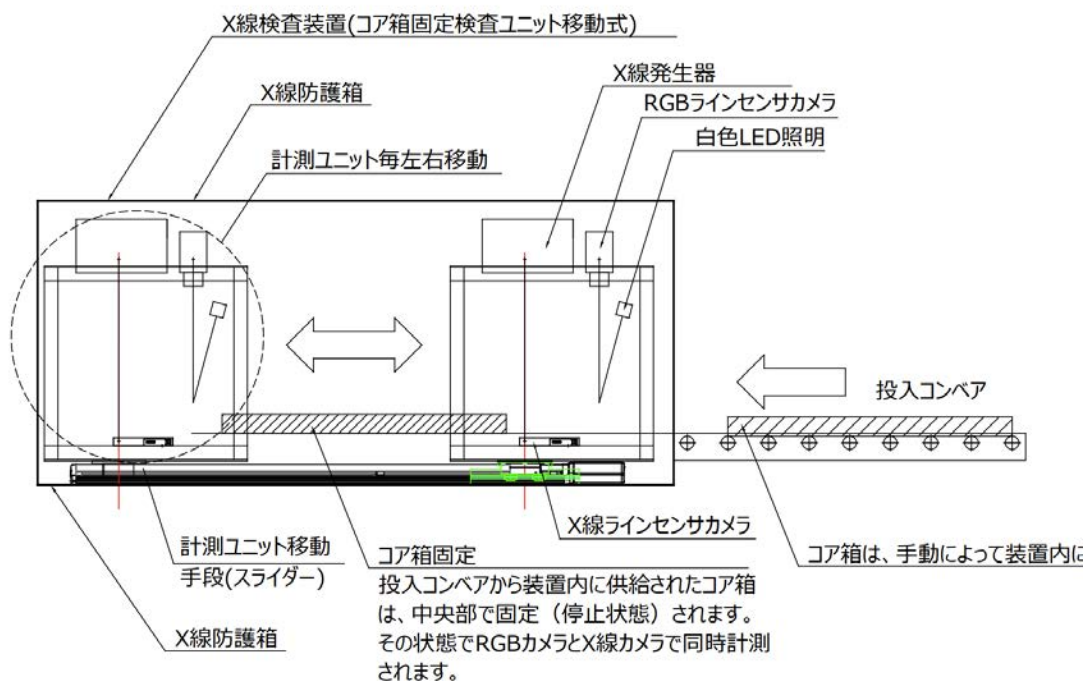
# ③コア検診車



- 4K高精細コア写真とX線写真同時撮影
- スピードスキャン：60秒/1箱
- その場で画像確認
- X線管理区域不要
- X線作業責任者免許不要
- AC100V・発電機でも可

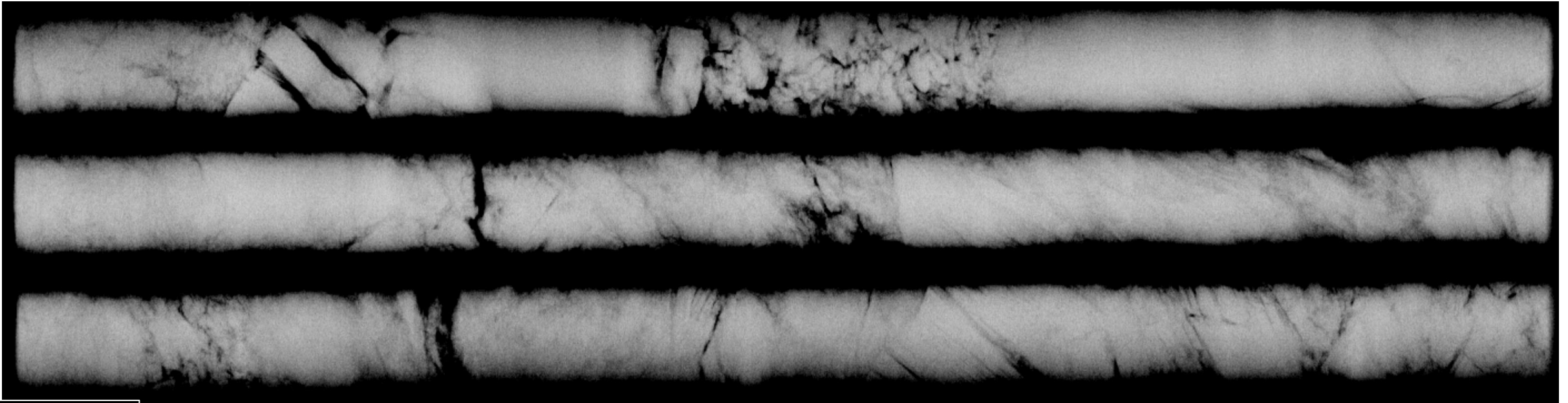
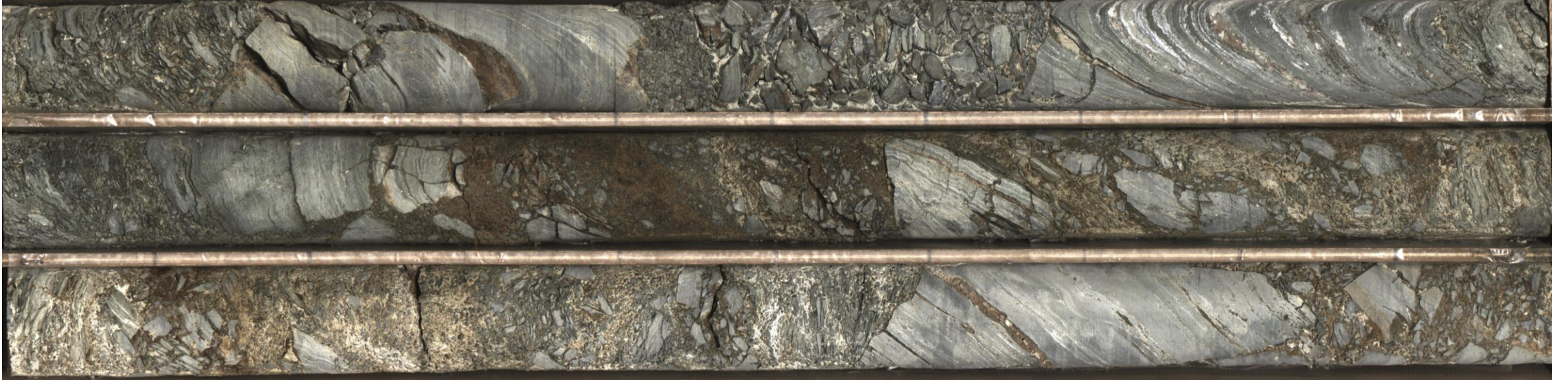


## 同時に、7 画像ファイルを出力



名前	日付時刻	種類	サイズ
231201_1521_0001_RGBColor.bmp	2023/12/03 7:39	BMP ファイル	140,236 KB
231201_1521_0001_RGBColor.jpg	2023/12/01 15:23	JPG ファイル	7,391 KB
231201_1521_0001_RGBGray.bmp	2023/12/01 15:22	BMP ファイル	111,932 KB
231201_1521_0001_RGBGray.jpg	2023/12/01 15:22	JPG ファイル	4,590 KB
231201_1521_0001_XRay.bmp	2023/12/01 15:22	BMP ファイル	1,750 KB
231201_1521_0001_XRay.jpg	2023/12/01 15:22	JPG ファイル	50 KB
231201_1521_0001_XRay.tif	2023/12/01 15:22	TIF ファイル	1,167 KB

4Kカラー写真



X線写真



## コアの詳細観察

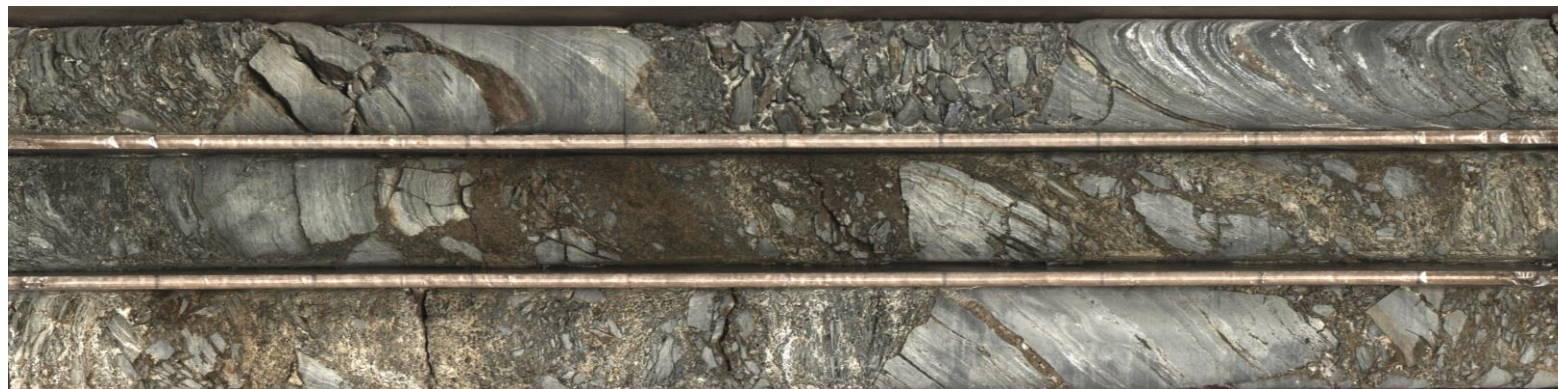
4 K 複数人でWEBで  
大型モニターで議論



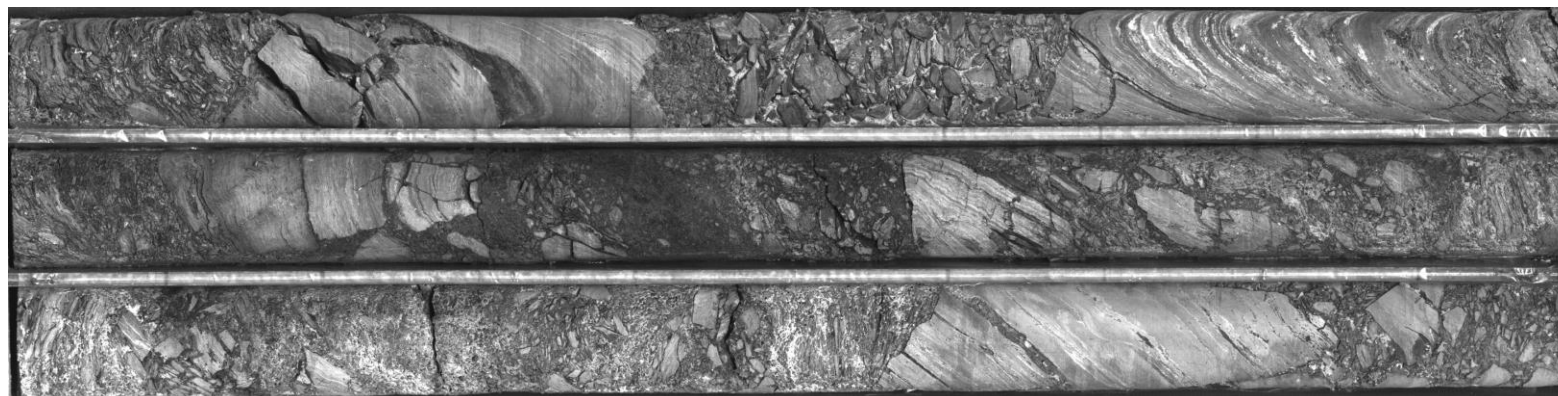
# 数年前のコアの再撮影も容易：100箱 半日で完了



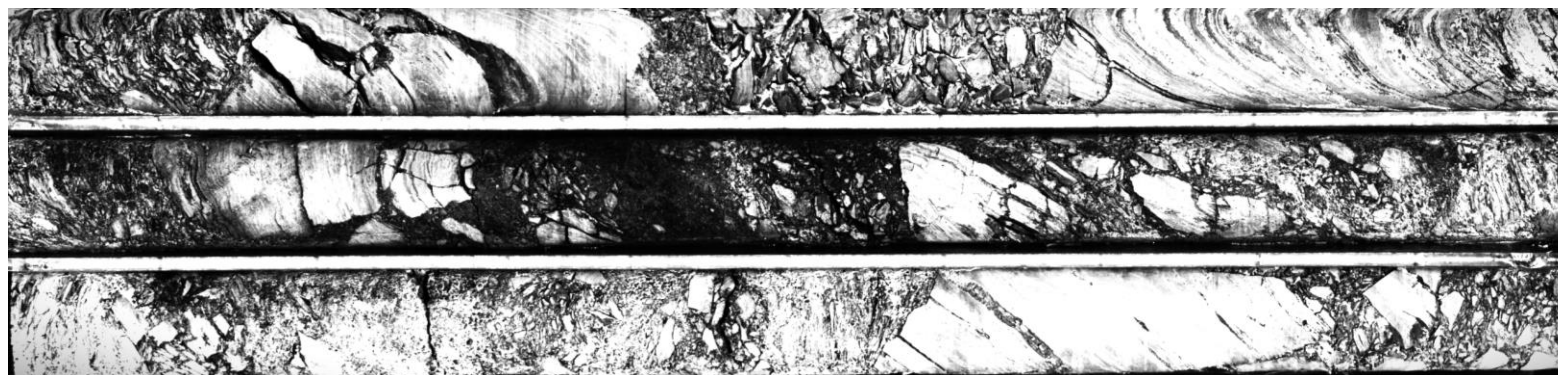
4Kカラー写真

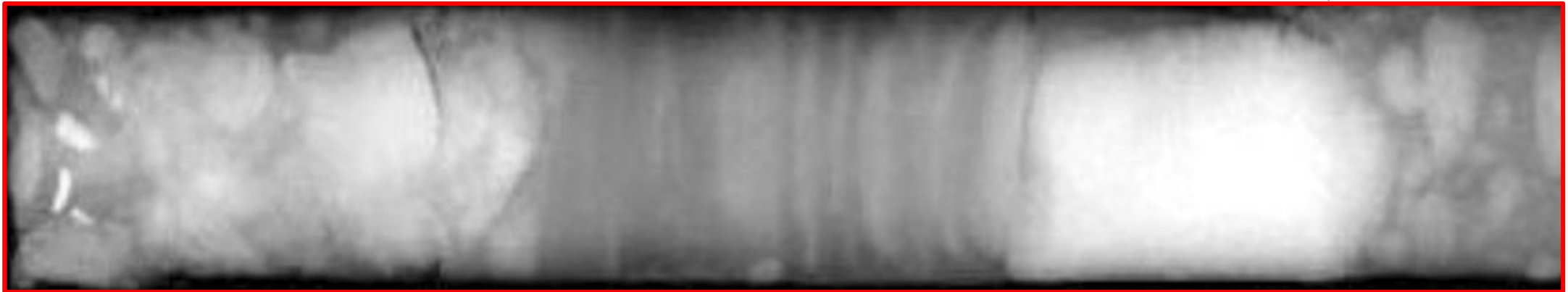
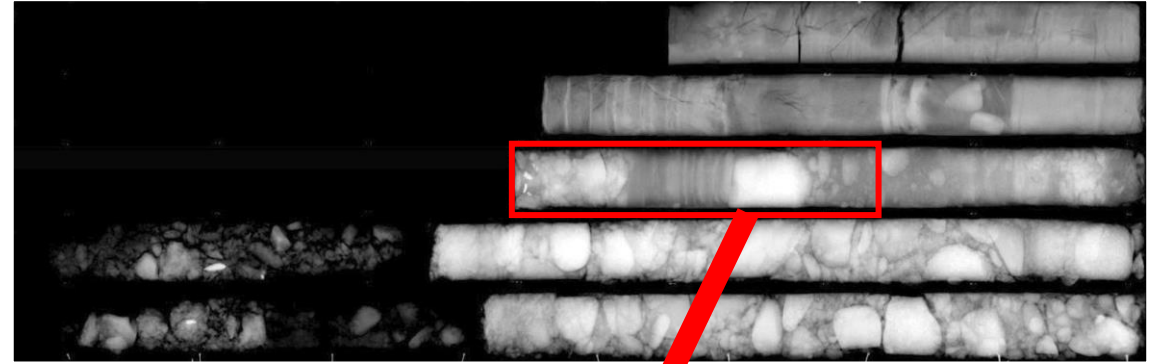


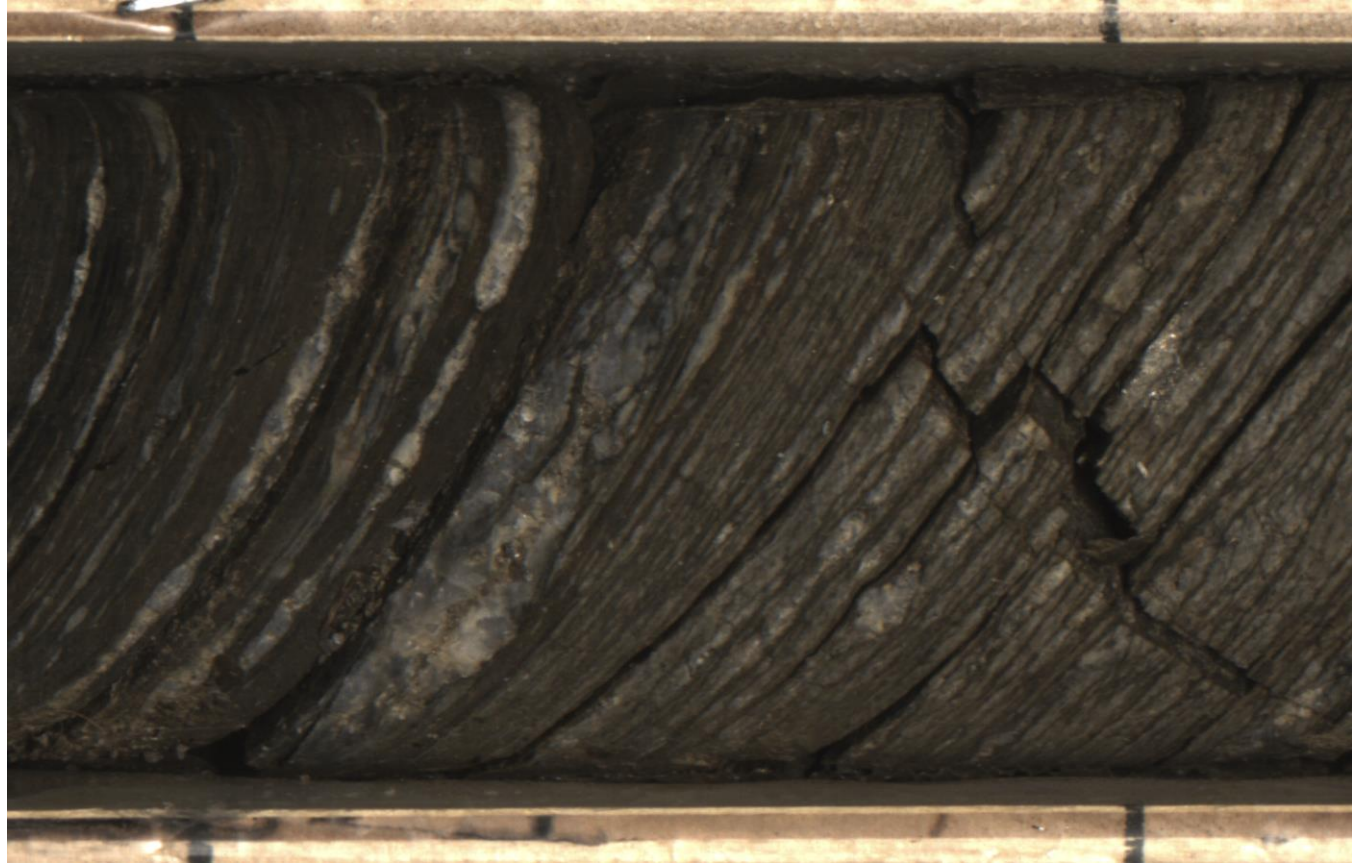
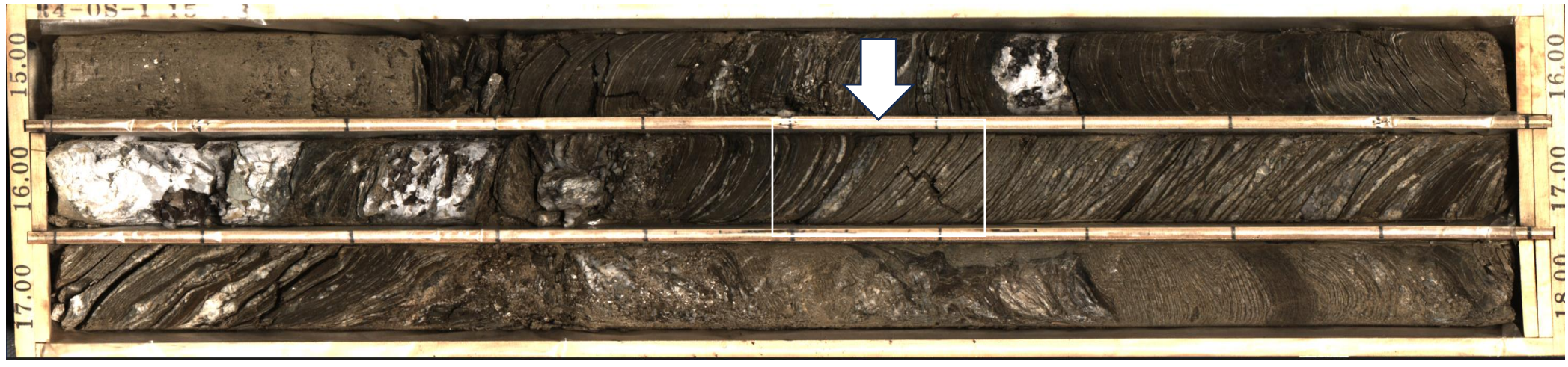
グレイスケール



モノクロ写真



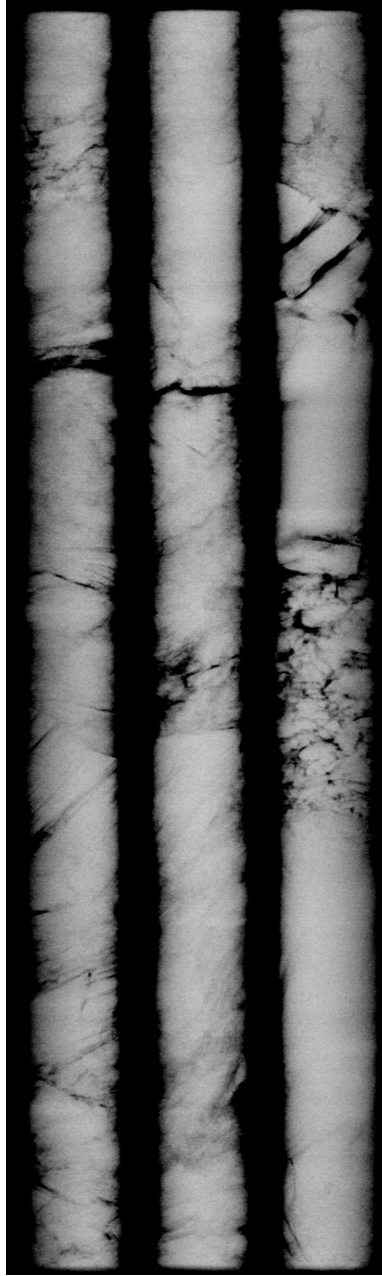




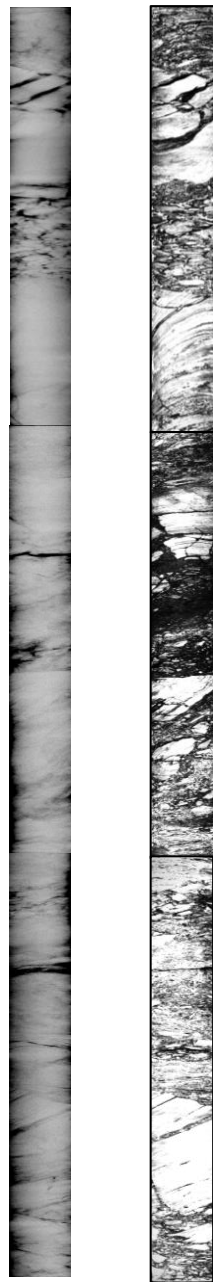
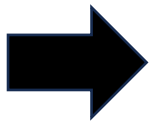




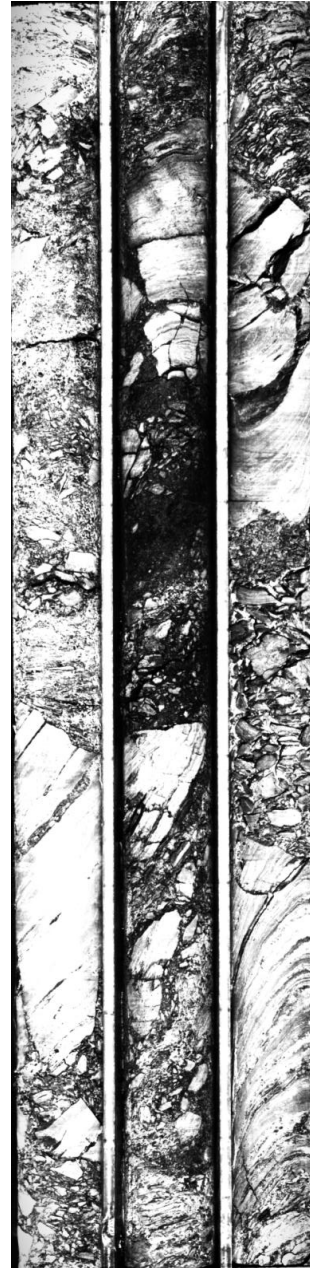
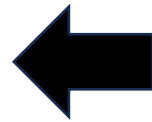
4Kカラー写真



X線写真



コアの多面的観察の必要性



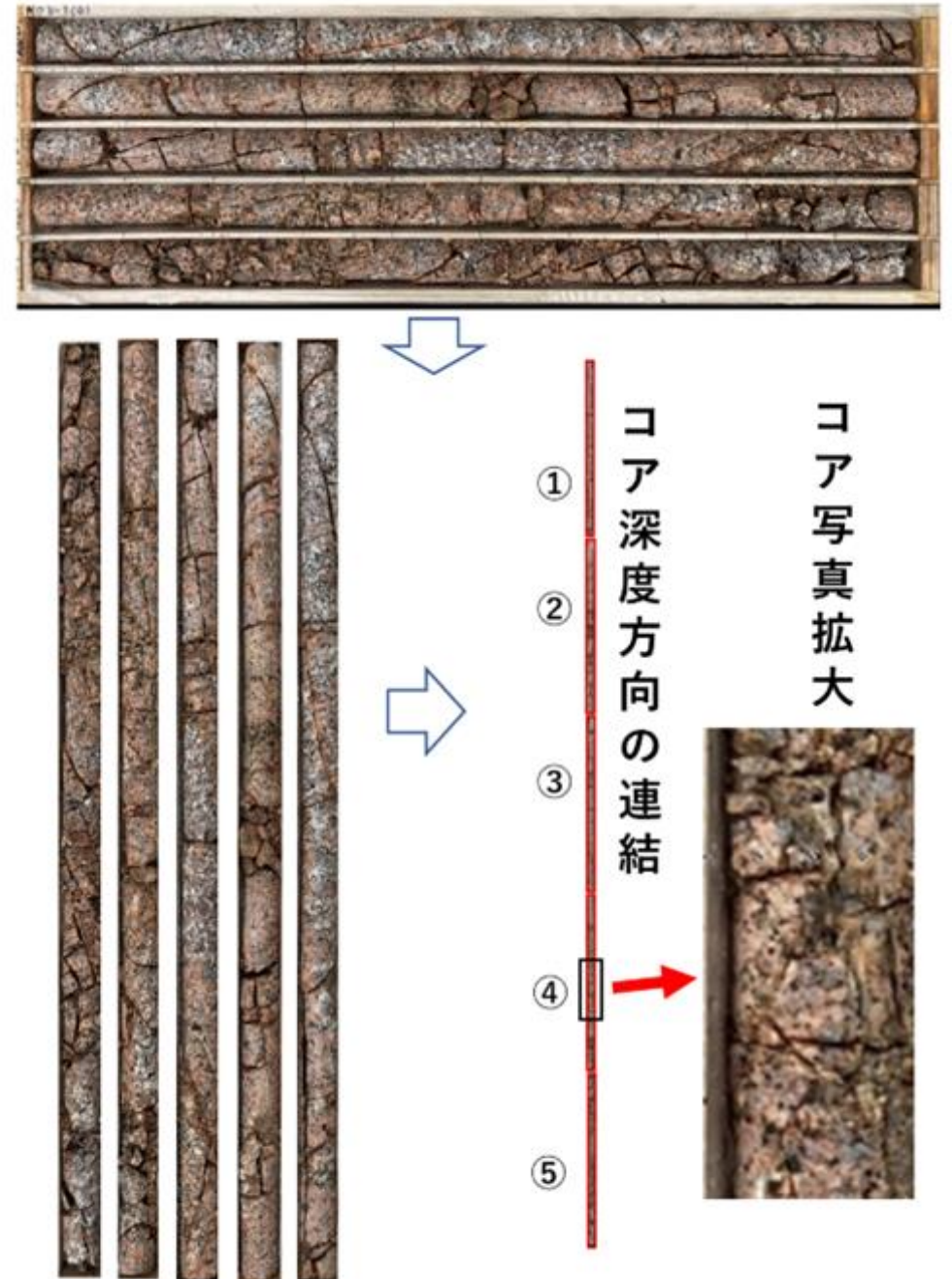
モノクロ写真



グレイスケール

## コア画像ビュー

- 孔口から深度方向の連続コア
- 高解像度写真とX線画像を
- 連続的にCRTに表示
- 自由に拡大・縮小が可能
- コアを高解像で自由に観察
- DX化で重要なこと
- データのトレーサビリティの担保
- 地すべり調査では,
  - 地形断面に複数のボーリングの柱状図や  
破砕度区分図を並べた地下構造が描かれ,
  - すべり面の判定が行われる。
- 判定の物証となるのは、実はコア写真等の1次データである。この情報がすべり面の判断を行う際に瞬時に画面表示されることで、柱状図や破砕度区分の客観性が担保される。



深さ 標高

-0 -200

-5 -180

-10 -160

-15 -140

-20 -120

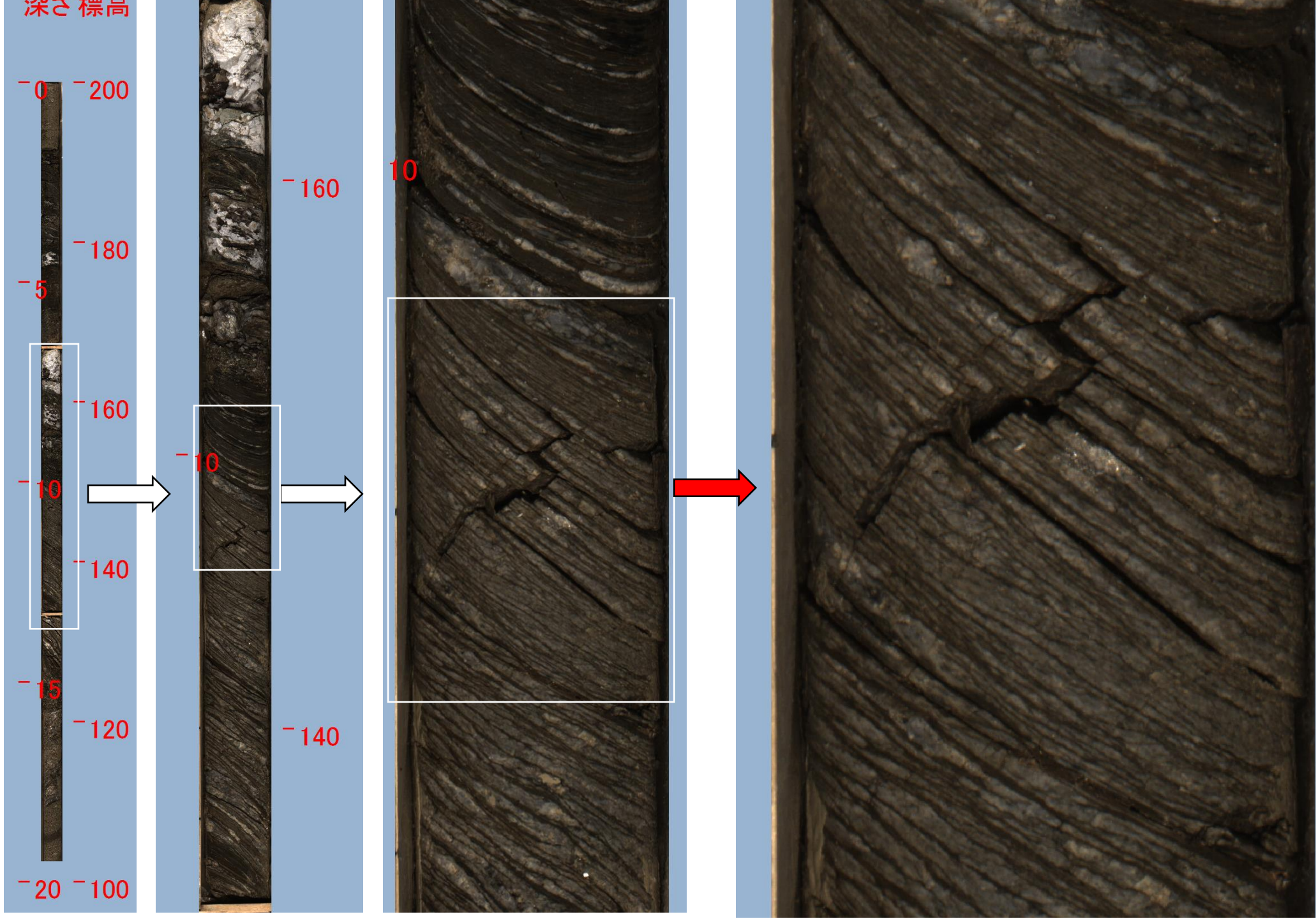
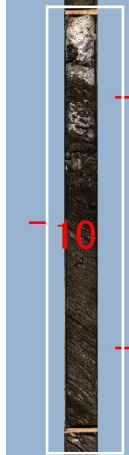
-20 -100

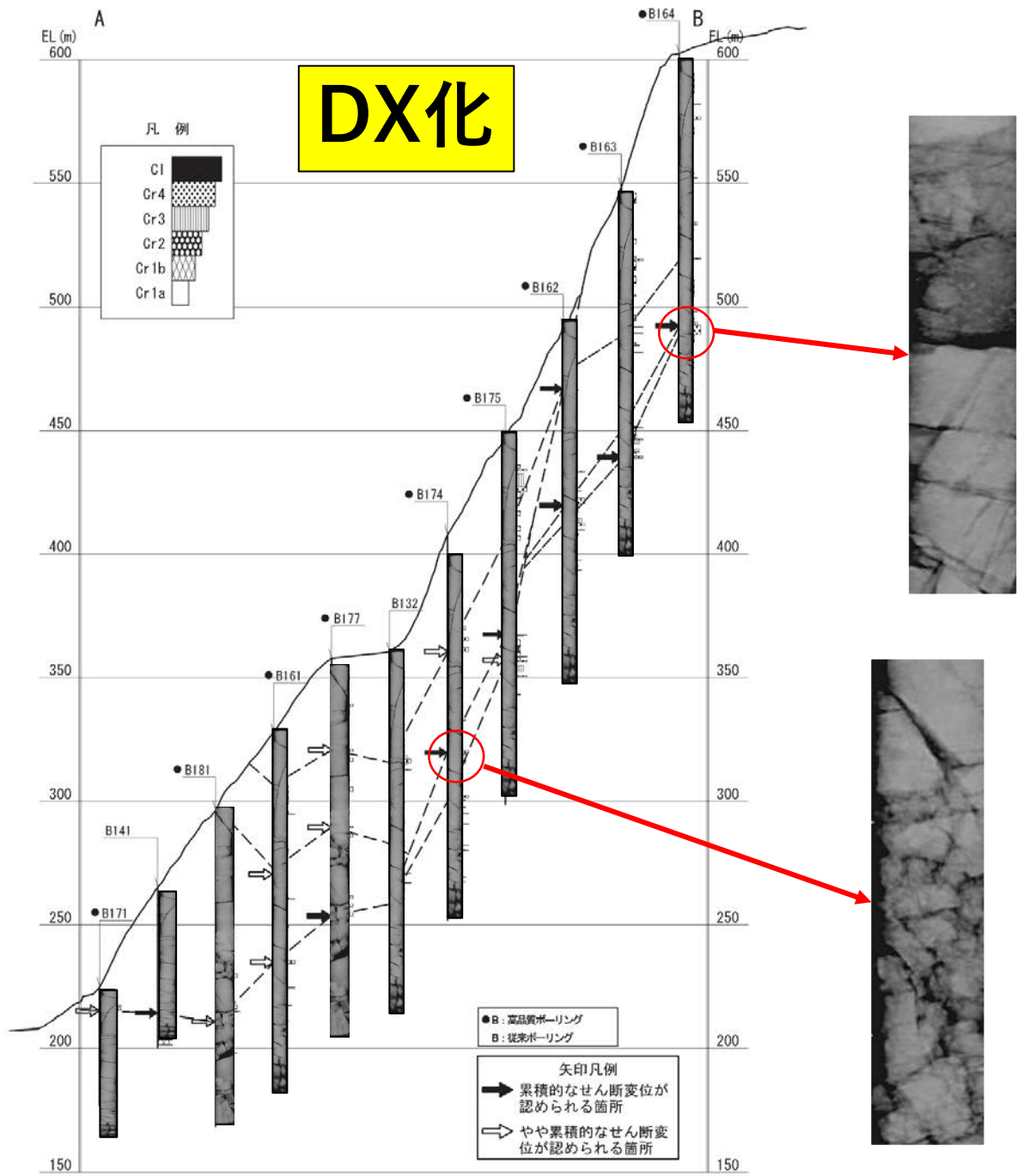
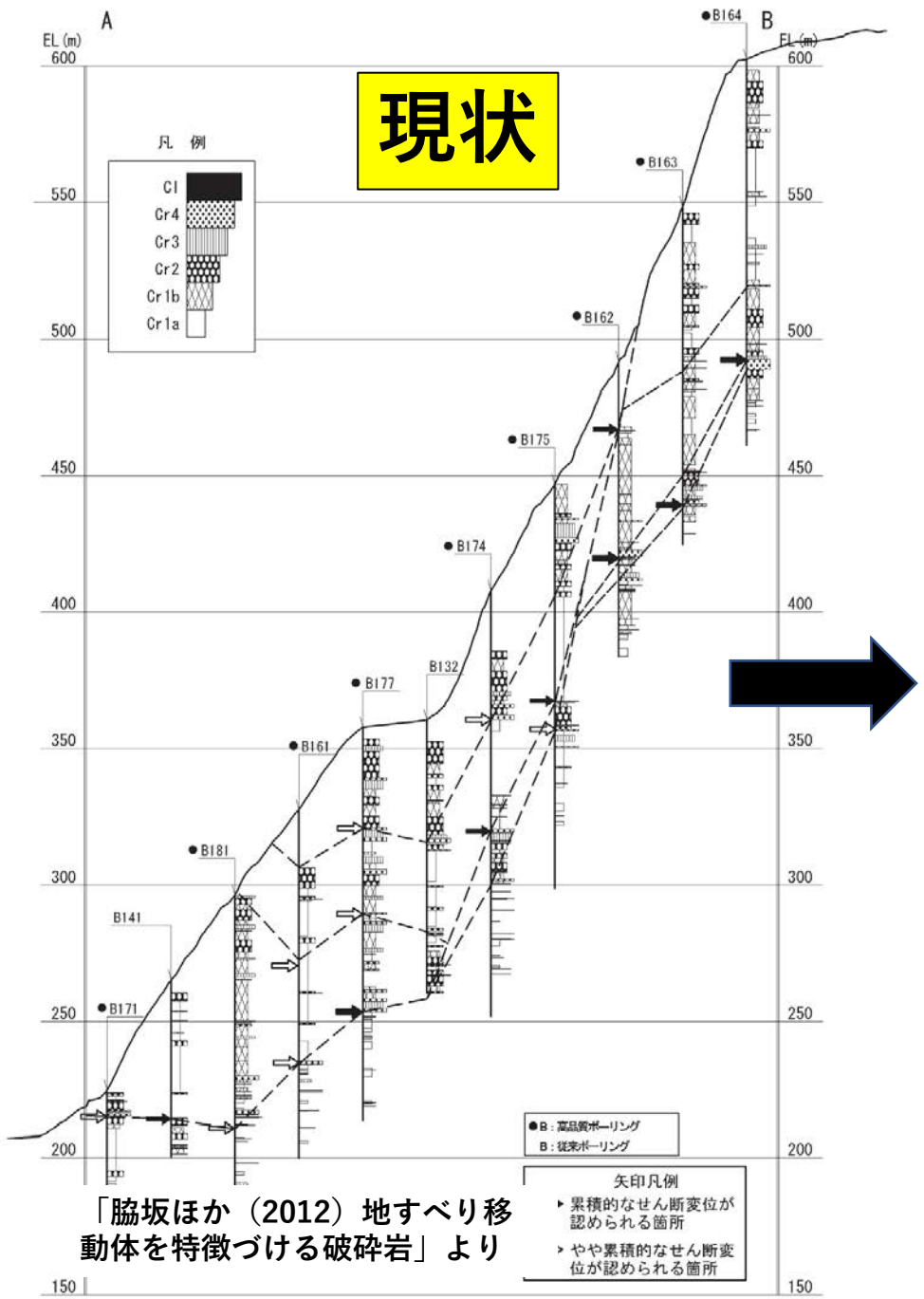
-160

-10

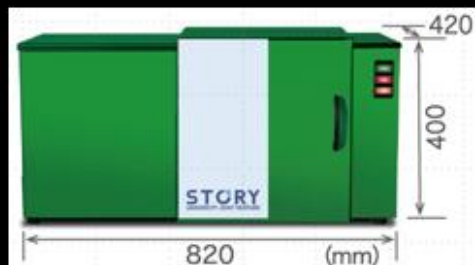
10

-140





# ボーリングコアX線CT画像撮影システム



約70kg

仕様

- AC100V 50/60Hz
- 1.0kVA (照射時ピーク電力)
- X線発生部
- 管電圧: 50~100kV
- 管電流: 2~10mA
- 最大出力電力: 500W
- 装備: インターロック
- X線漏洩線量: 1 $\mu$ Sv以下 (装置外側に管理区域不要)
- 「X線作業主任者」資格: 不要

◆ 分解能 LP/mm (ラインペアパーミリ)  
1mm中に確認できる白黒の線のペア数  
4LP/mm 0.125mm

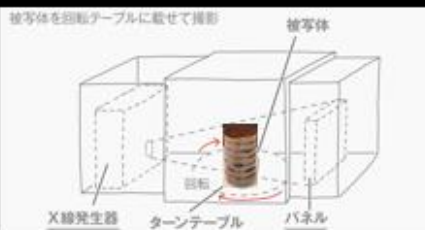
◆ 搭載可能サイズ  
 $\phi$ 300 × H320mm

◆ ターンテーブル耐荷重: 約10kg

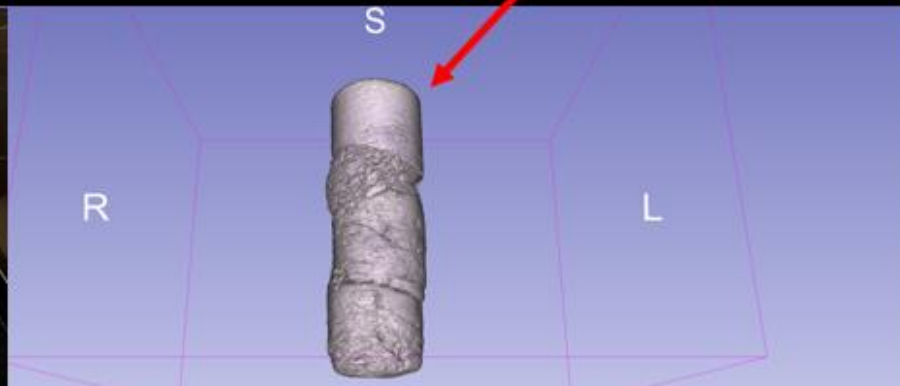
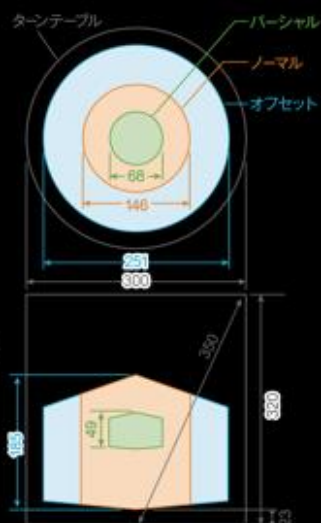
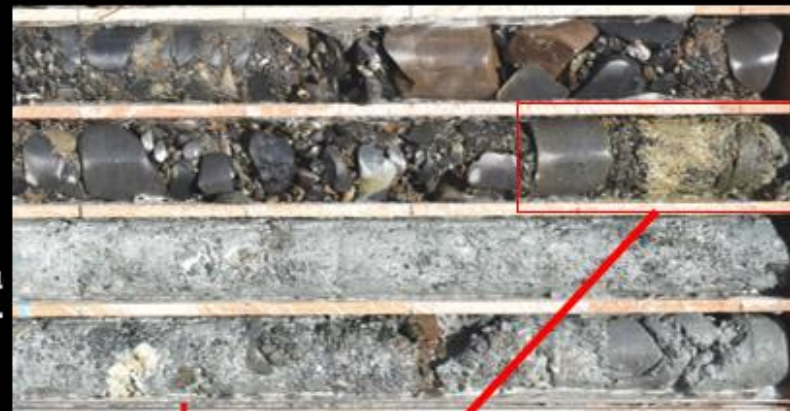
素材	透過厚 mm	原子番号
樹脂	150	13以下
アルミ	100	13
鉄	10	26
重金属	5以下	銅29/亜鉛30/ 銀47/金79



専用パソコンで撮影条件を入力し撮影  
3Dの場合は約400枚、2Dの場合は1枚撮影

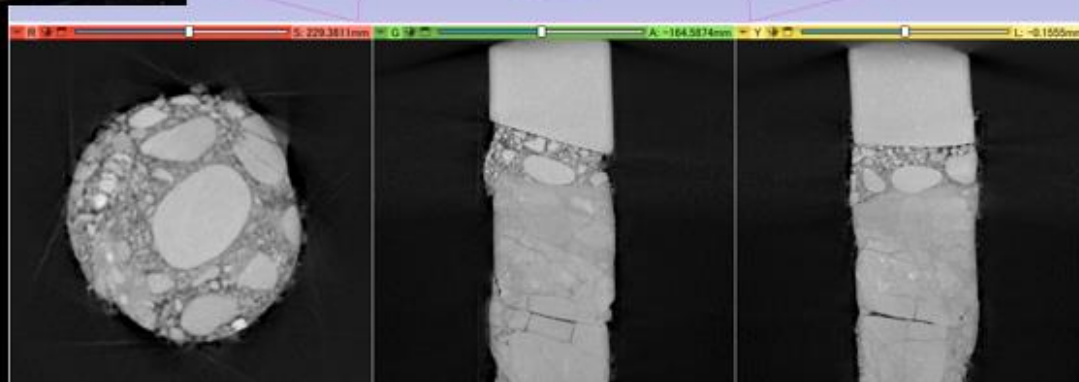


## X線CT撮影装置



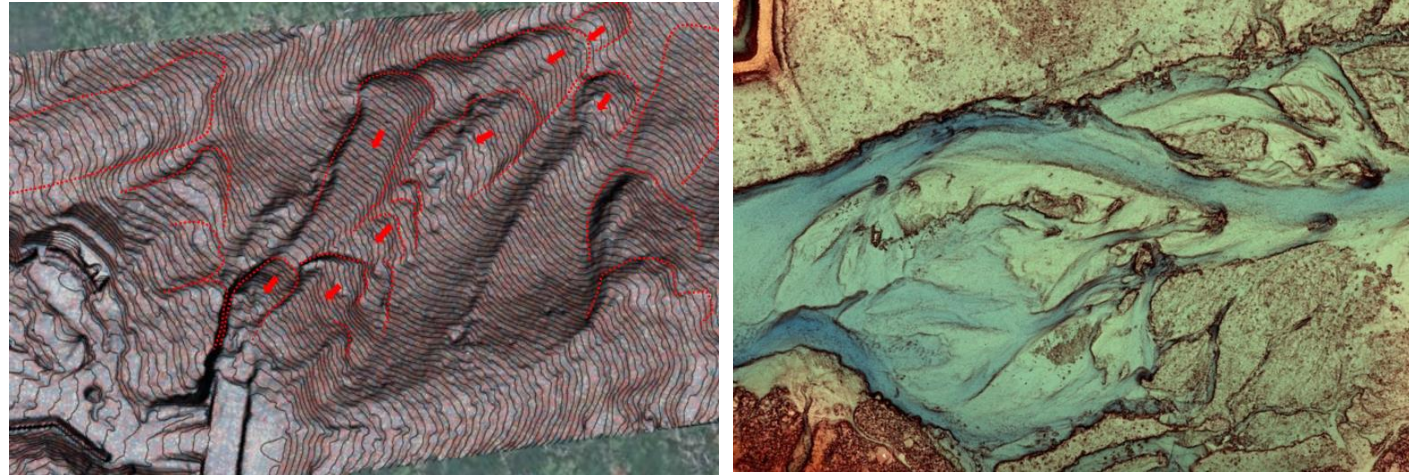
$\phi$ 68 × H38~49mm  
画素サイズ: 0.083mm  
 $\phi$ 146 × H153~185mm  
画素サイズ: 0.16mm  
 $\phi$ 251 × H130~185mm  
画素サイズ: 0.24mm

ピクセルサイズ 120 $\mu$ m  
露調 16bit  
有効受光面サイズ  
H263 × w213mm  
画素数 400万画素



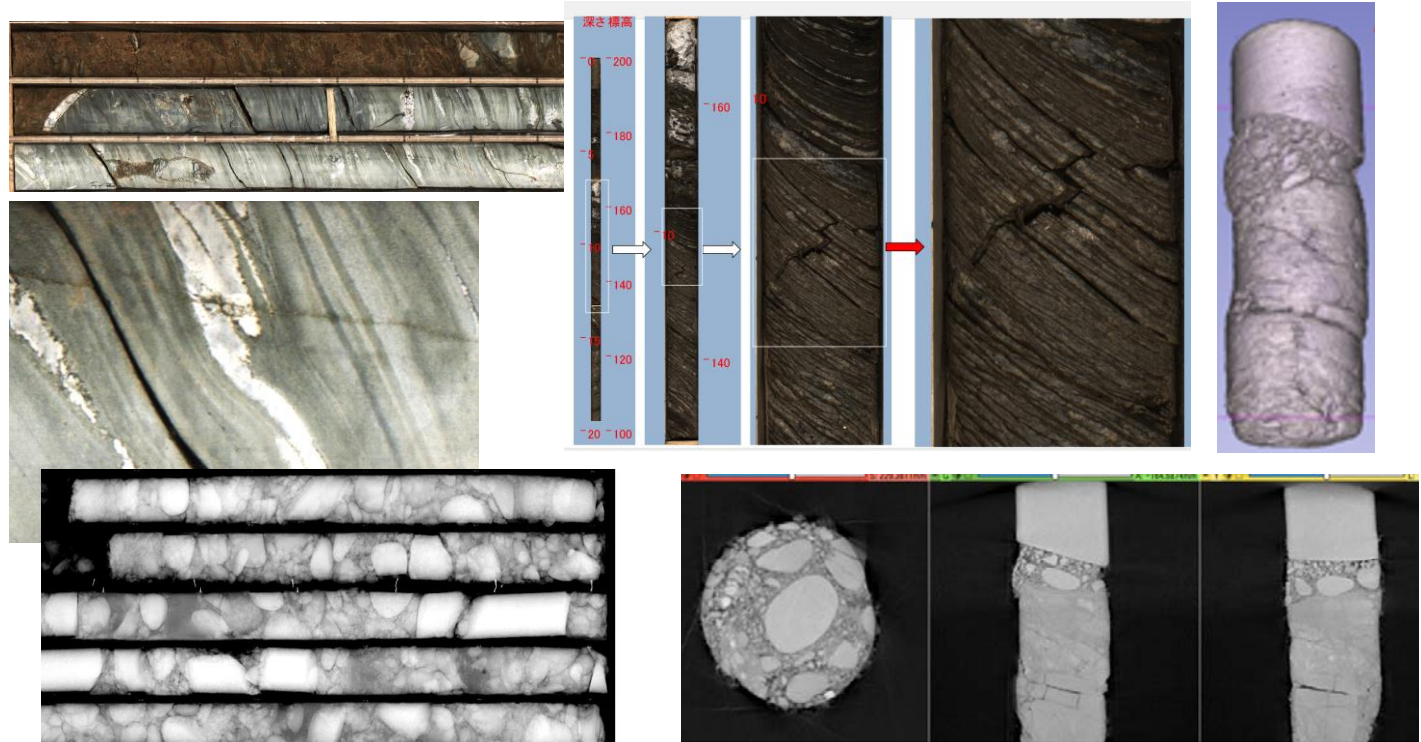
# 点群による地形画像とコアスキャナ技術が拓く地形・地質情報のDX化

- 点群による地形画像
  - 圧倒的な情報量
  - 解釈からファクトデータ
- 地形画像⇒地形判読からの脱却
- 難しいことをわかりやすく
- 等高線図から地形画像へ



## コアスキャナ技術

- 4Kコア写真：圧倒的な情報量
- X線写真：多面的な評価
- 柱状図からコア画像診断へ
- 解釈図からファクトデータへ
- トレーサビリティ
- コアビューア
  - 深さ方向での観察
  - 高品質コアを生かそう
  - 地下を容易に観察しよう



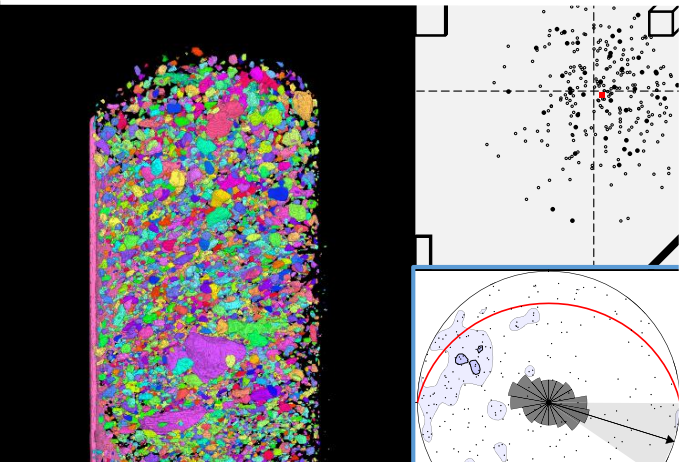
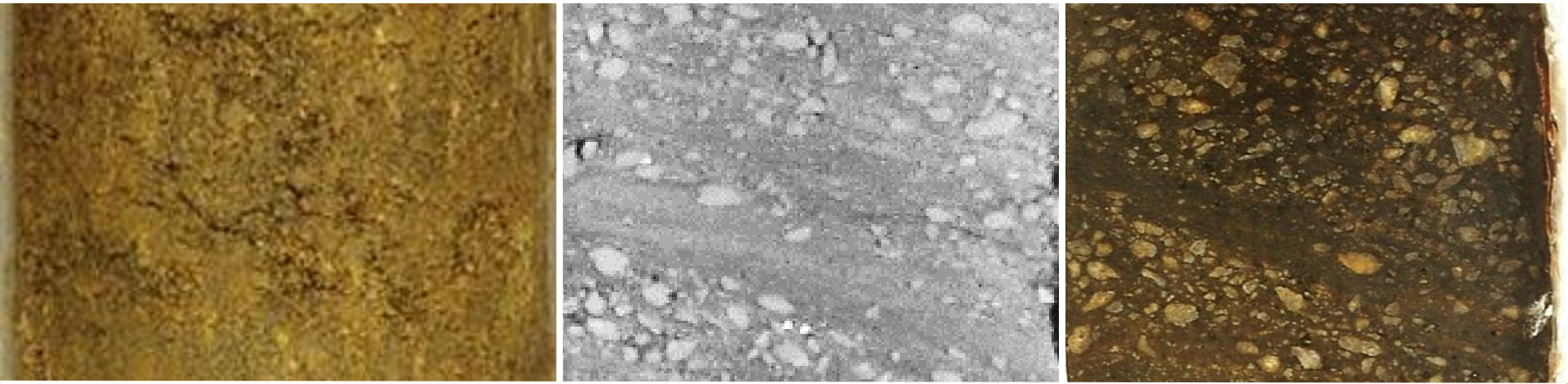
## 一般講演

- 高品質ボーリングコアを用いた周氷河堆積物の観察および解析 ..... 39  
北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所  
研究主任 小安 浩理
- 高品質・定方位ボーリングについて ..... 77  
有限会社エーシーイー試錐工業  
取締役技術部長 福間 哲
- 地下水熱（オープンループ方式）利用の現状と課題 ..... 87  
株式会社アクアジオテクノ 技術部  
資源開発グループ 課長 岩佐 大  
地盤環境グループ 課長 若狭 靖之
- 道民の暮らしと産業振興を支えてきた掘削の歴史とその技術 ..... 127  
北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所  
専門研究員 高橋 徹哉





# 高品質ボーリングコアを用いた 周氷河堆積物の観察および解析



エネルギー・環境・地質研究所 地域地質部 地質防災グループ  
研究主任 小安浩理

# 本日の内容



- 周氷河斜面と周氷河堆積物
- 高品質ボーリングコアの特徴
- 肉眼によるコア表面の観察
- X線CTによるコア内部の観察
- 樹脂固化標本による微細構造の観察
- CT断層画像による粒子の三次元解析
- 透水試験による透水性の解析
- 三軸試験によるせん断強度の解析
- まとめ

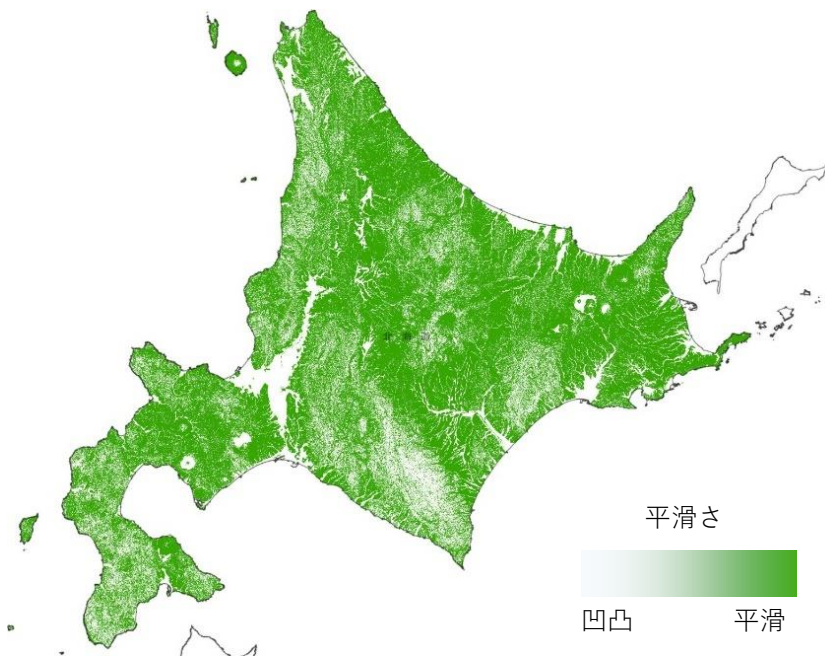
# 周氷河斜面とは



周氷河作用により形成された平滑な緩斜面



典型的な周氷河斜面（礼文島）



道内における平滑な斜面の分布  
(周氷河斜面以外の平滑な緩斜面も含む)

## 最近まで斜面災害が少なかった

# 周氷河斜面の崩壊



## 崩壊面に周氷河堆積物が露出



2016年北海道豪雨での斜面災害

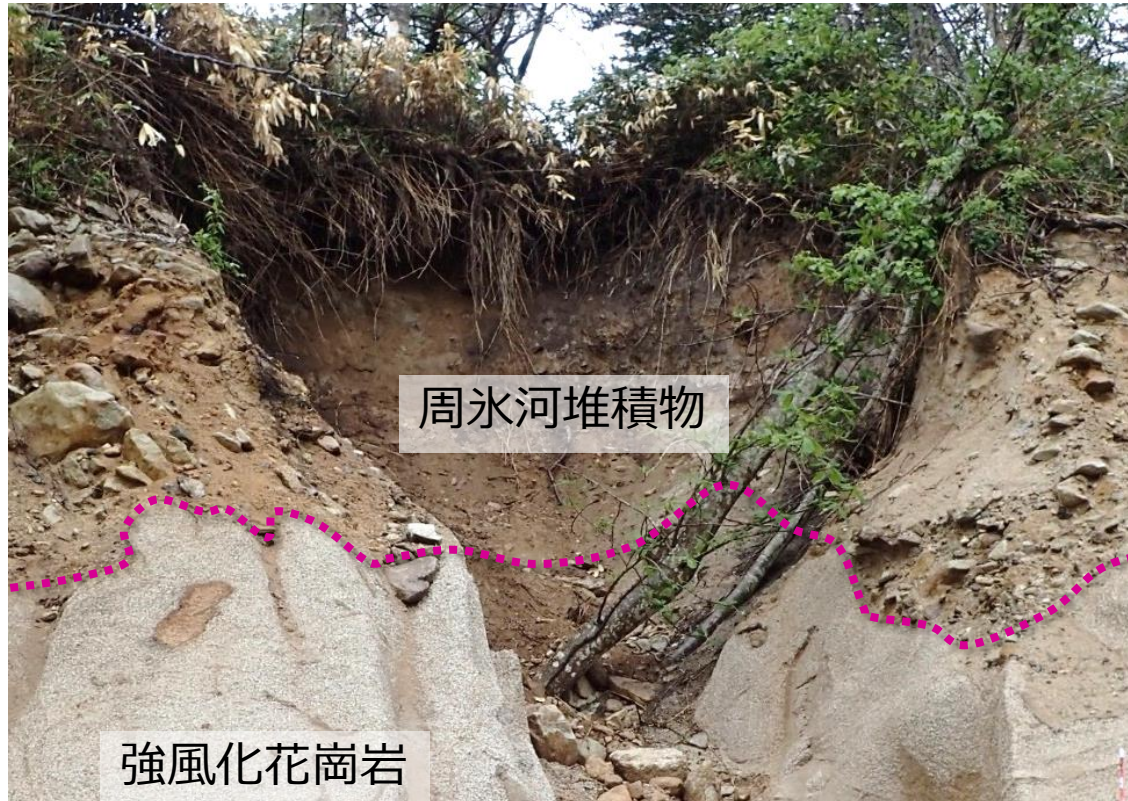


崩壊斜面近傍に見られた露頭

# 周氷河堆積物～現状の認識～



一般には「角礫主体の淘汰の悪い堆積物」として一括  
→詳細な層相や構造（特に細粒部）が不明



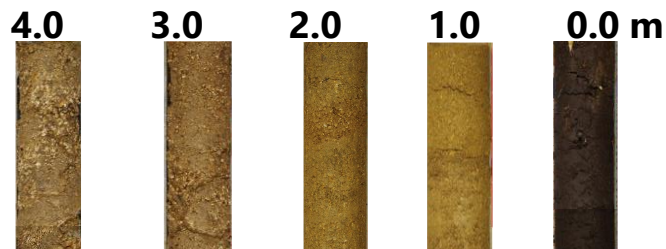
**周氷河堆積物の特徴の把握が必要**

# 乱さない周氷河堆積物の採取

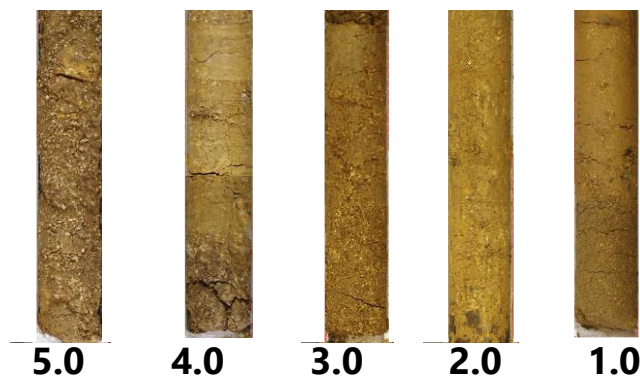
標準貫入試験のコア



高品質ボーリングコア



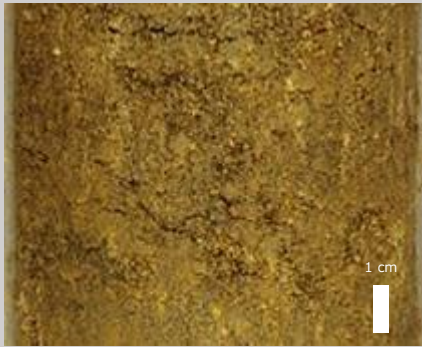
- 回収率が高い (~100%)
- 原位置の構造を乱さずに採取



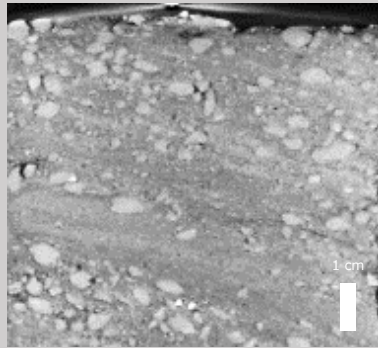
# 高品質コアから得られる情報



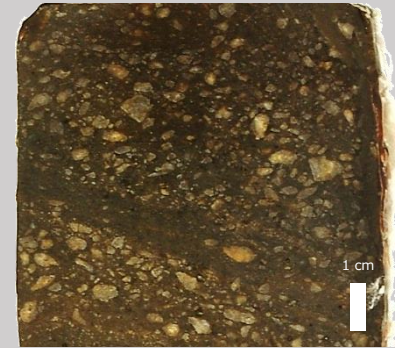
## 堆積物の微細な構造



肉眼観察

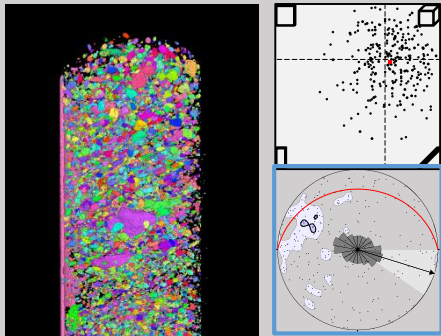


X線CT



樹脂固化

## 粒子の三次元配列



画像粒子解析

## 乱さない試料の土質試験



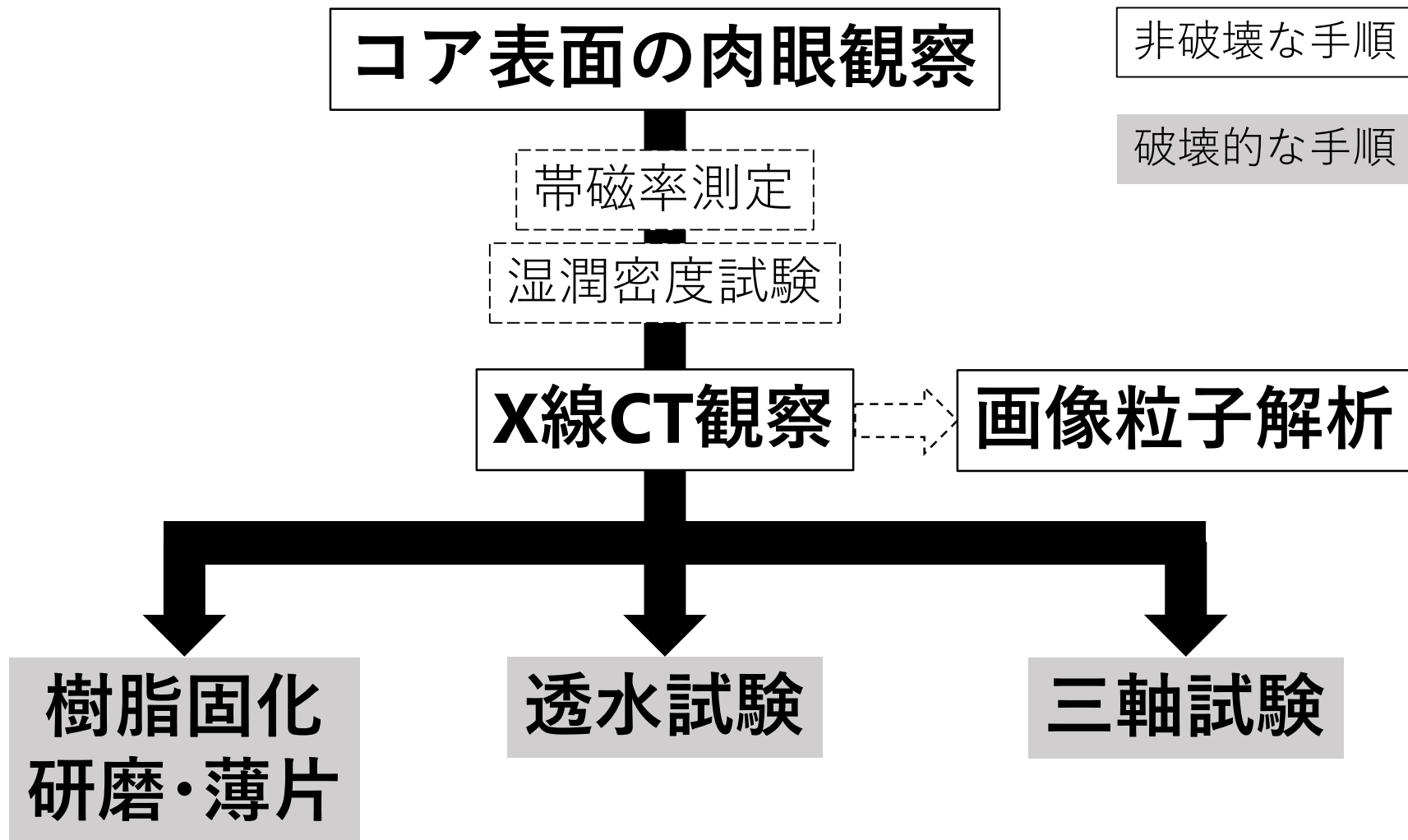
室内透水試験



三軸試験(CUbar)

# 高品質ボーリングコアの解析手順

乱さない試料を活かす解析フロー

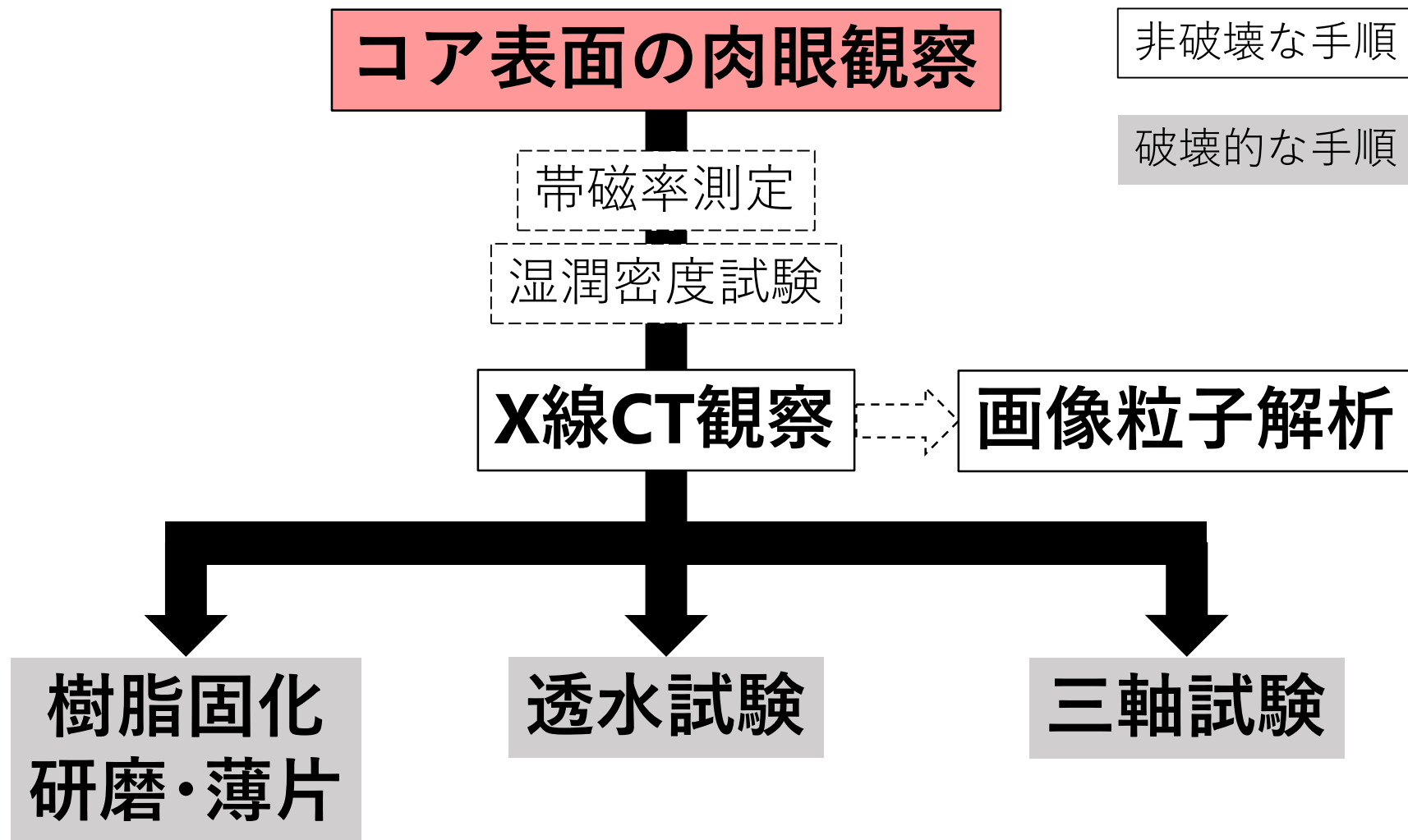




# 肉眼によるコア表面の観察



乱さない試料を活かす解析フロー



# 肉眼観察 ～コア表面のクリーニング～

クリーニング  
前のコア



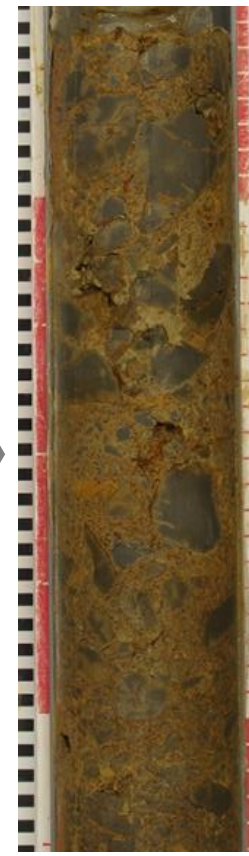
スクレイパー、ナイフ  
による被膜の除去



ハケ、霧吹きによる  
洗浄



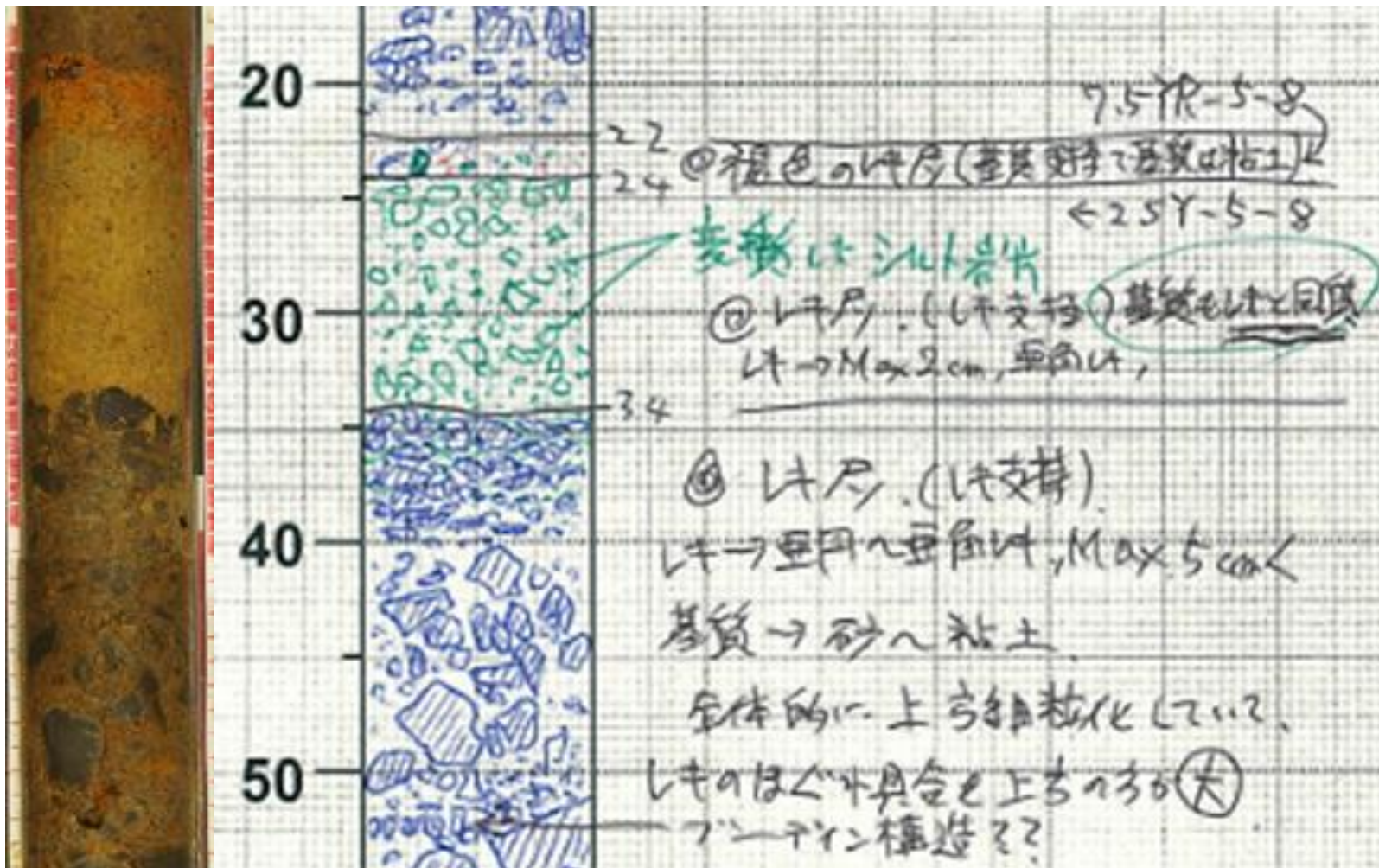
クリーニング  
を終えたコア



# 肉眼観察 ～コアの記載～



柱状図 記載：粒径・粒子形状・成層構造・色調など



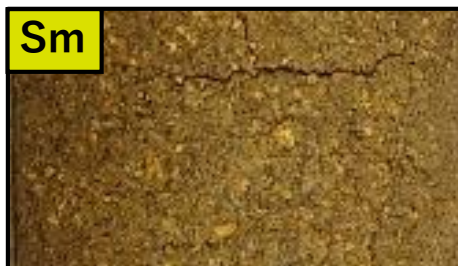
# 肉眼観察 ～層相区分～



粒径と成層構造の有無などにより細分



Mm  
礫質シルト(塊状)



Sm  
礫質砂(塊状)



Gm  
砂質礫



MI  
礫質シルト(成層)



SI  
礫質砂(成層)



Gc  
角礫

5 cm

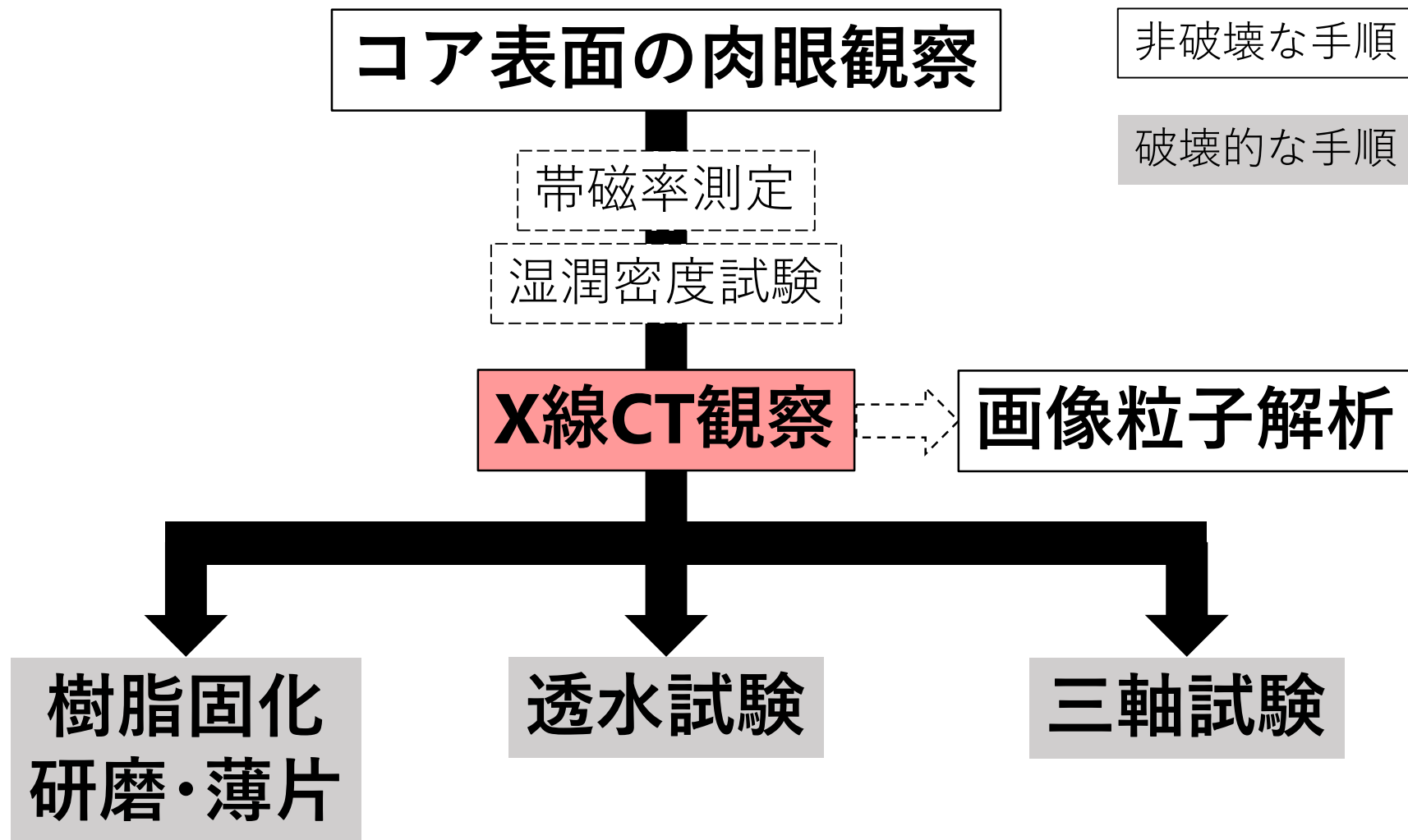


Gi  
角礫(孤立)

# X線CTによるコア内部の観察



乱さない試料を活かす解析フロー

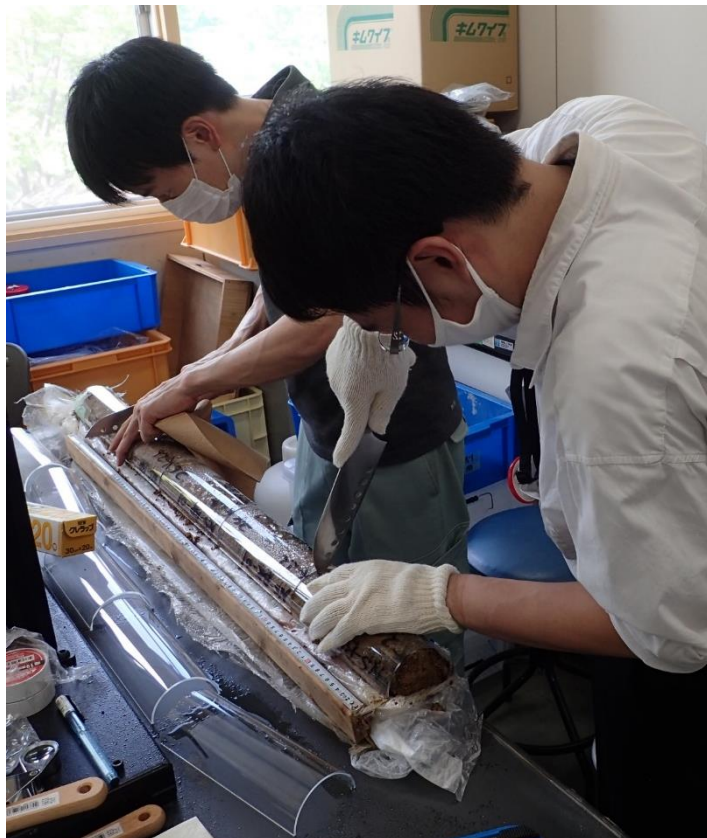


# X線CT ～供試体の調整～



## 試料の固定・保護と可搬性を考慮

コアを慎重に切断  
(～20 cm長にする)



半割した塩ビ管で挟み  
ラップで保護



※重量を測定(→湿潤密度の算出)

# X線CT ～撮影～



堆積構造を確認しやすいよう設定を調整して撮影

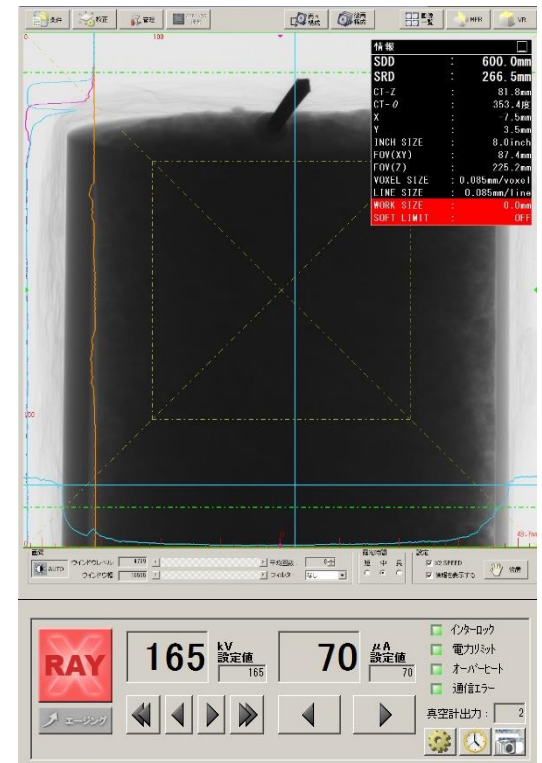
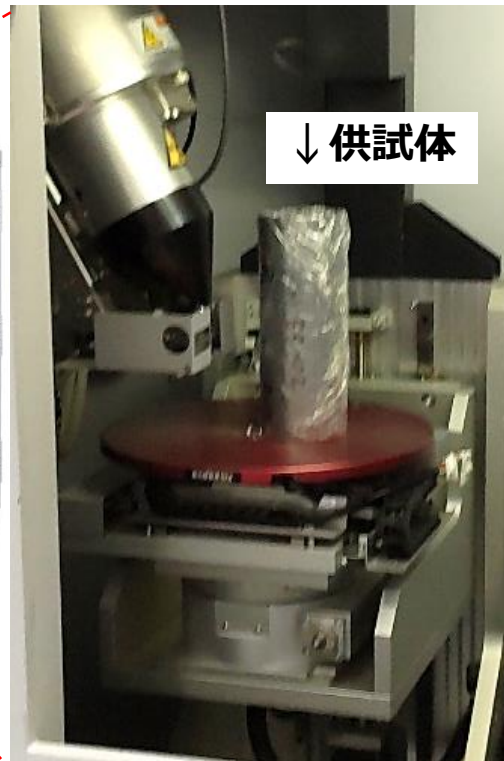
コア供試体を設置しX線を照射

透過像を確認し  
撮影条件を設定



inspeXio SMX-225CT  
(道総研所有 開放使用設備)

※道総研webサイトより



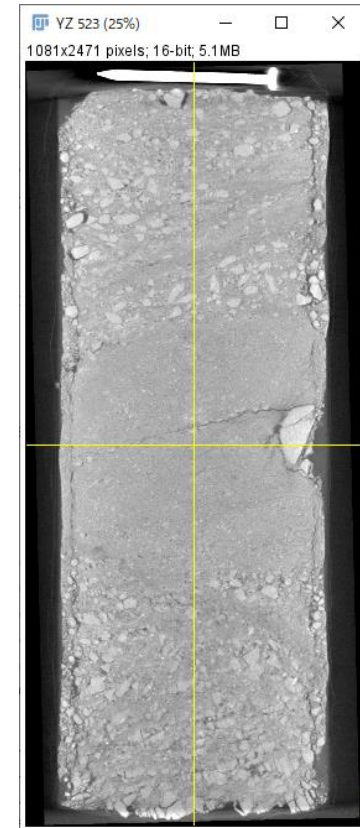
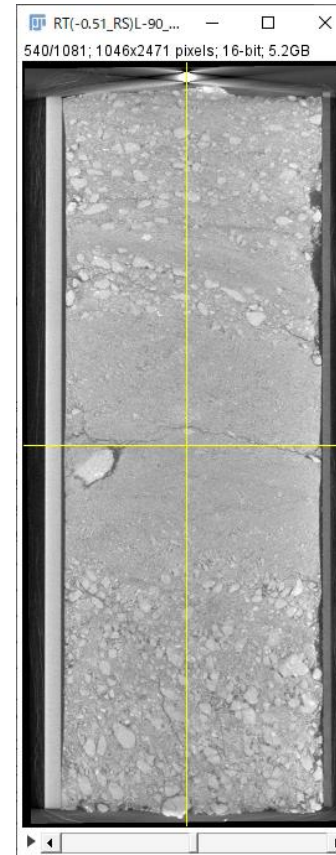
# X線CT ～撮影画像の処理～



内部構造を任意の断面、非破壊で観察

コントラスト・傾きの調整

任意方向で直交断面画像を作成



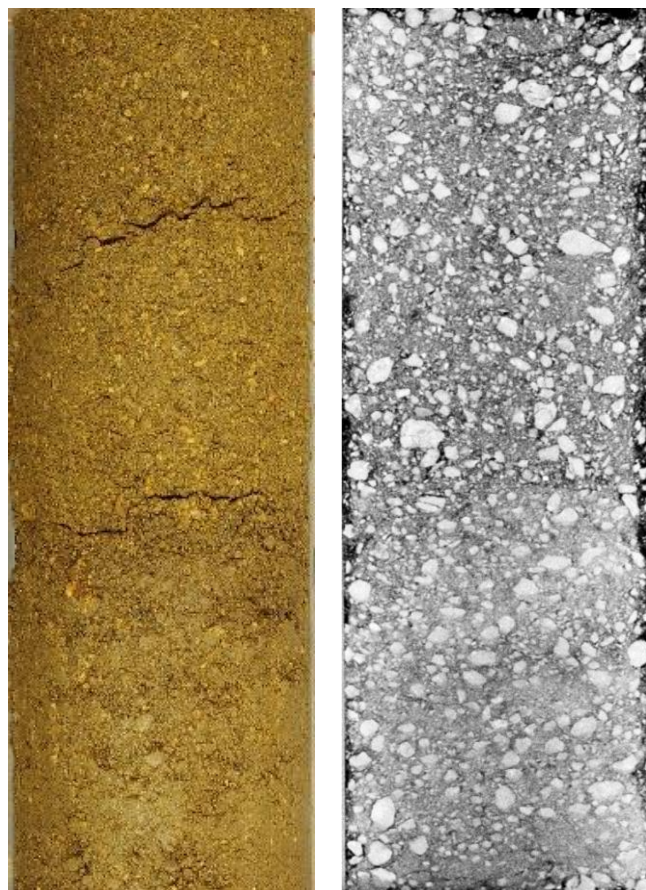


# X線CTを併用したコア観察

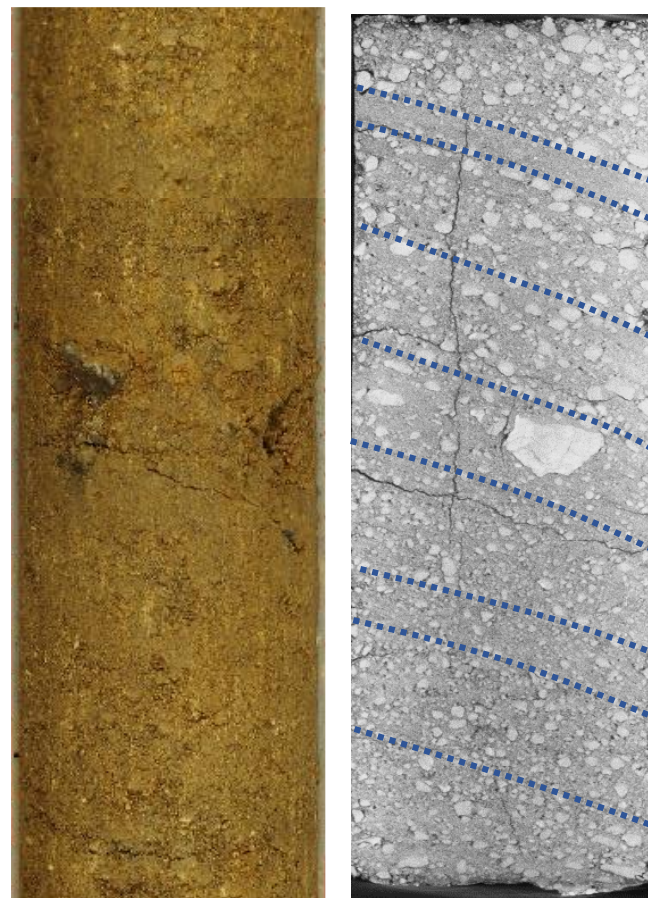


礫の含有率や配列，形状，成層構造がより明瞭に

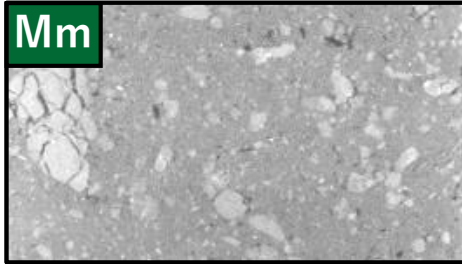
**Sm** 礫質砂(塊状)



**Sl** 礫質砂(成層)

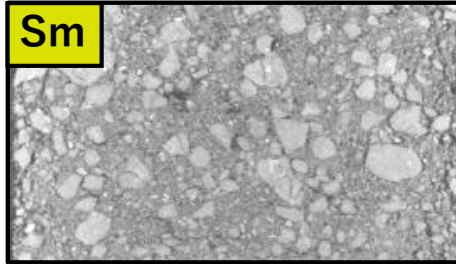


# X線CTによる層相区分の確認



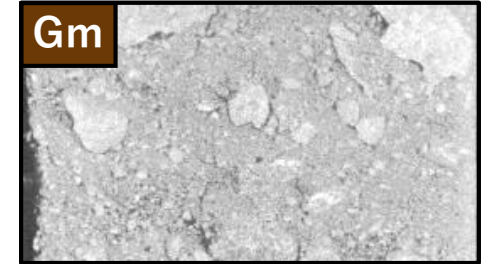
Mm

礫質シルト(塊状)



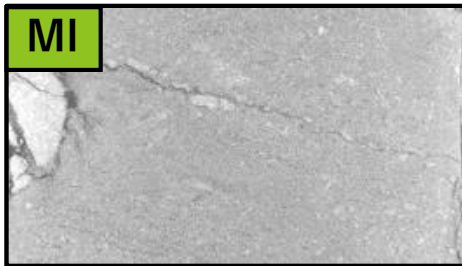
Sm

礫質砂(塊状)



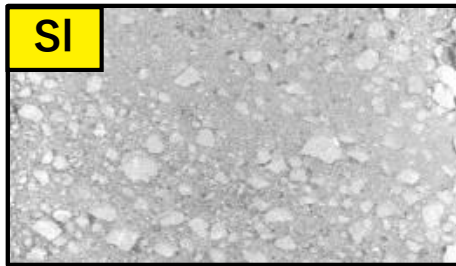
Gm

砂質礫



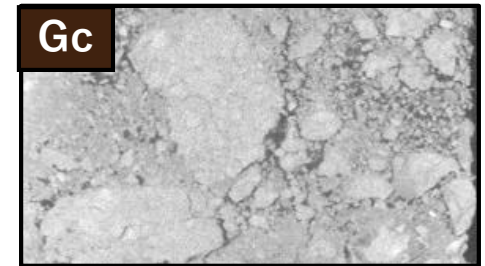
MI

礫質シルト(成層)



SI

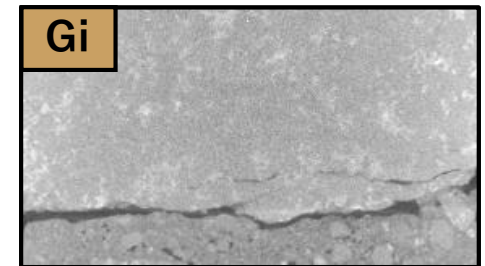
礫質砂(成層)



Gc

角礫

5 cm

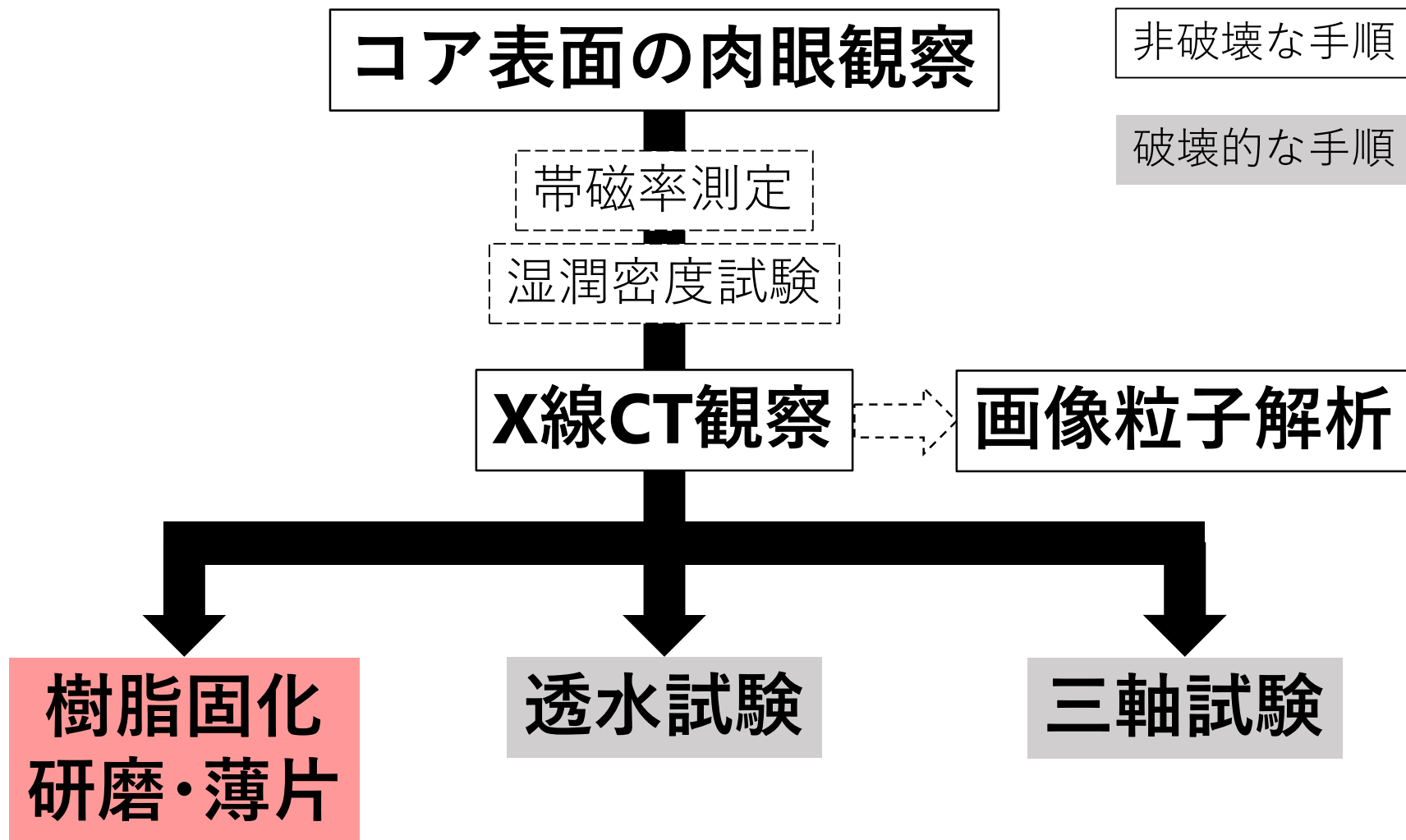


Gi

角礫(孤立)

# 樹脂固化による微細構造の観察

乱さない試料を活かす解析フロー



# 樹脂固化～微細構造の固定～

凍結乾燥



48時間以上乾燥

樹脂固化



低粘度樹脂で封入  
(E205を使用)

切断・研磨



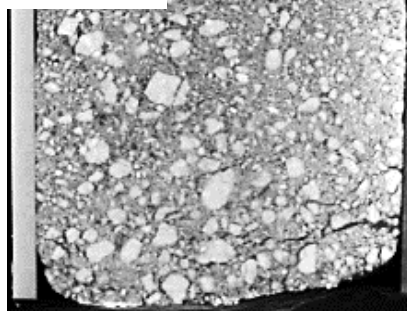
健岩と同様に  
処理可能

# 研磨片・薄片による観察

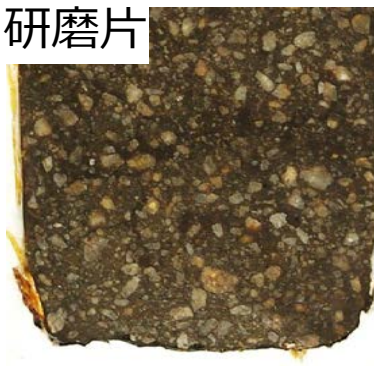


## Sm 礫質砂(塊状)

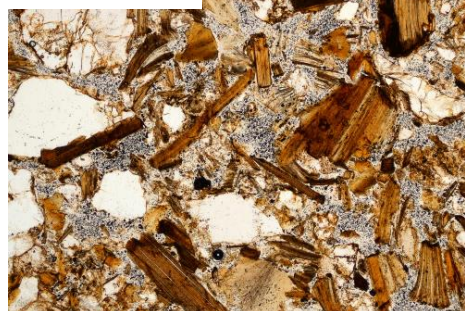
CT断面



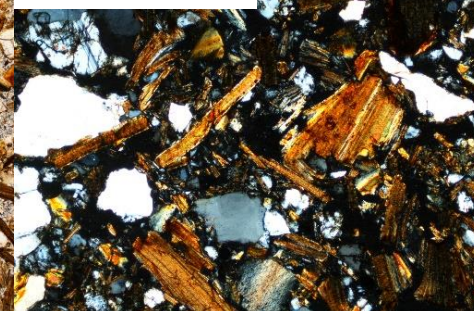
研磨片



単ポーラ

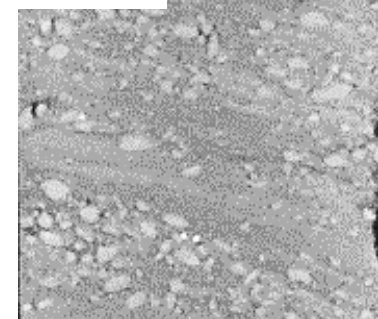


直交ポーラ

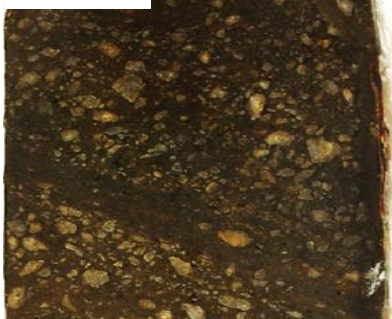


## SI 礫質砂(成層)

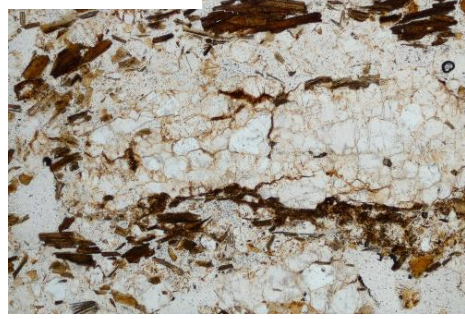
CT断面



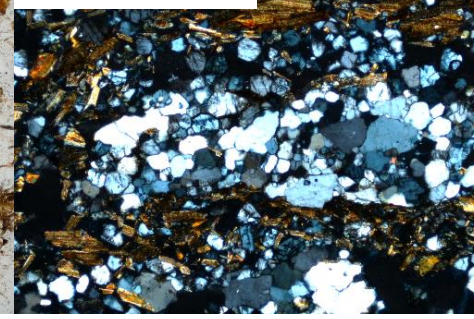
研磨片



単ポーラ



直交ポーラ

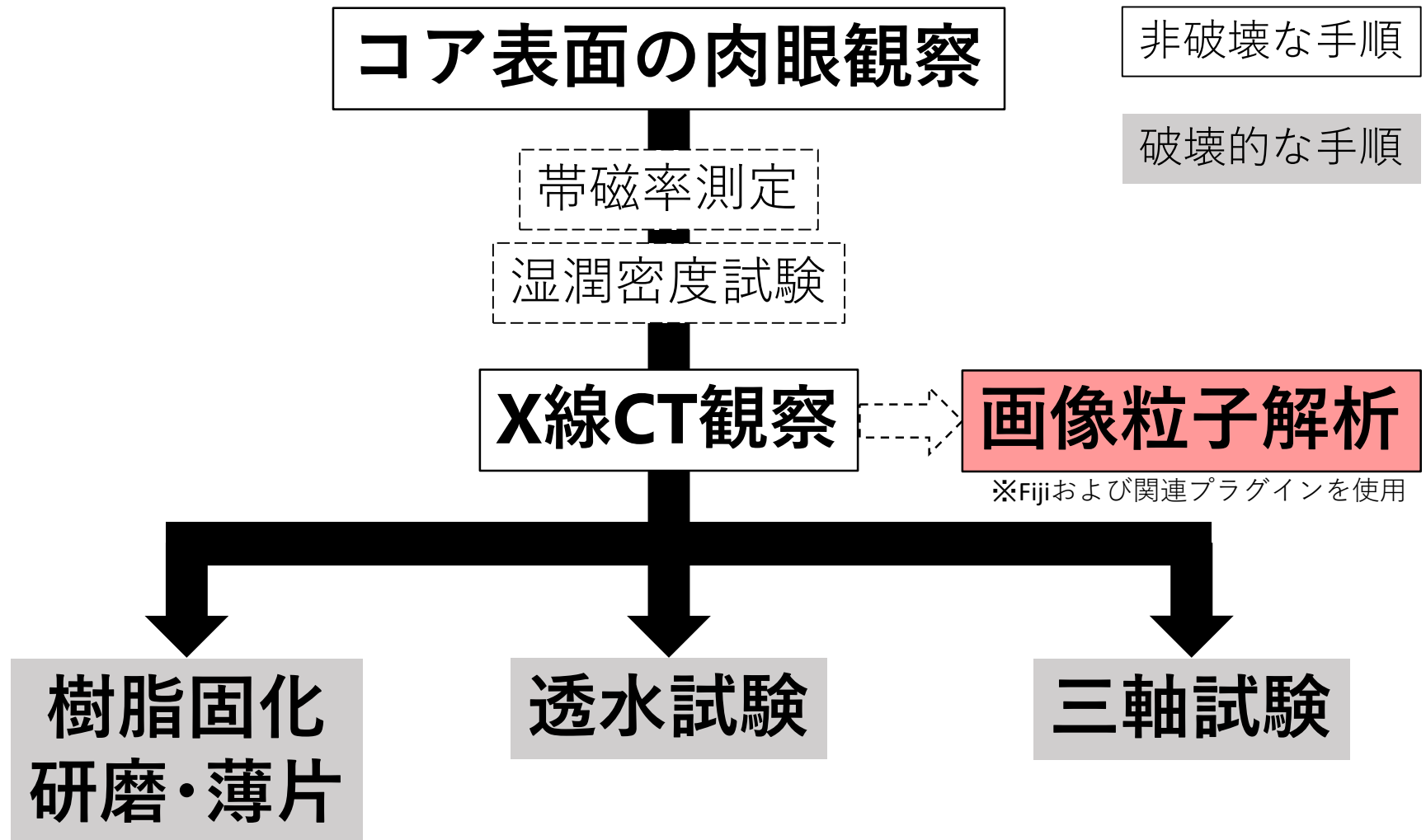


粒子の種別と微細構造の関係を観察

# CT断層画像の解析



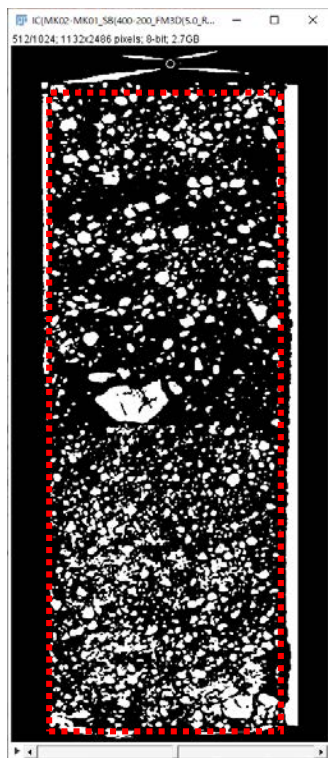
## 乱さない試料を活かす解析フロー



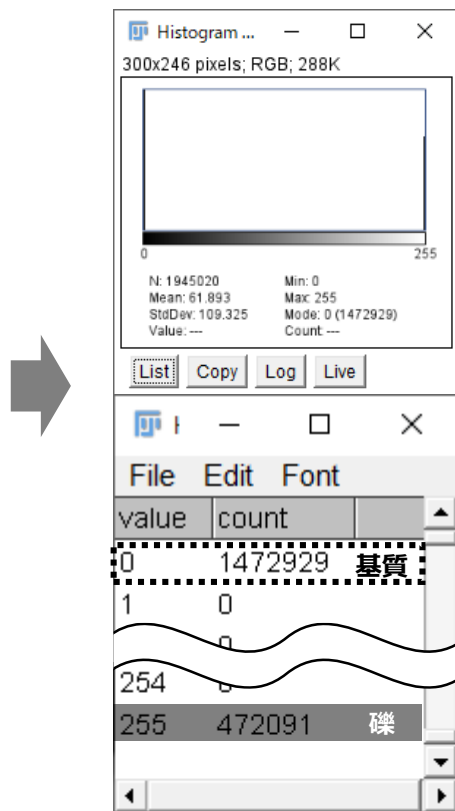
# 画像粒子解析 ～含礫率の解析～



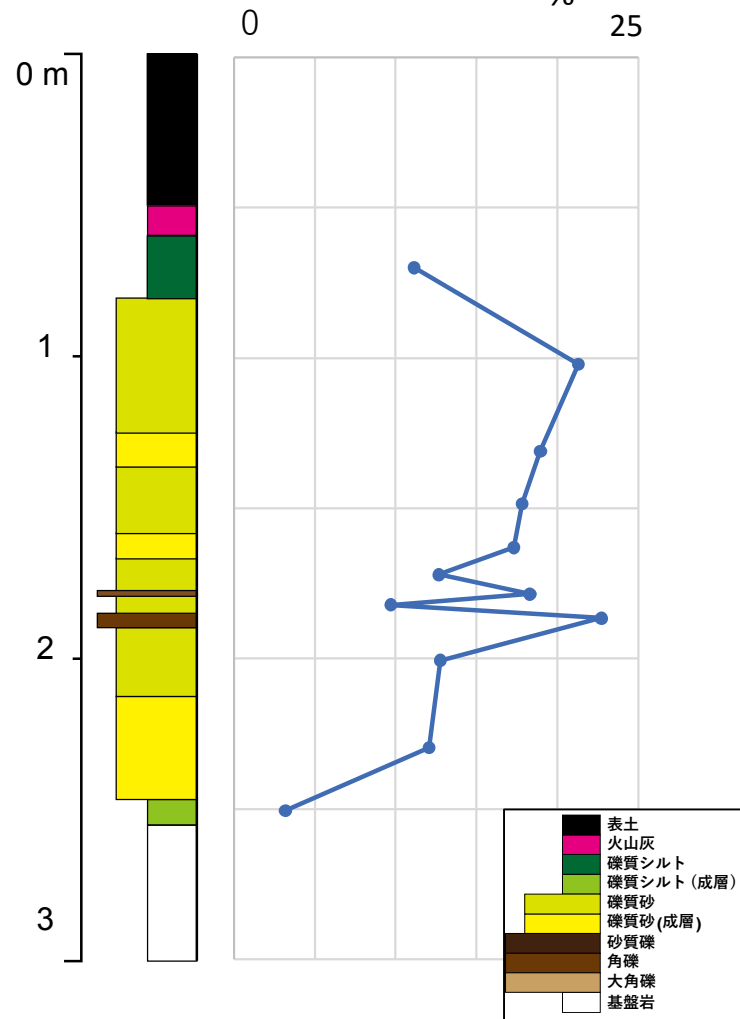
## 二値化



## 白/黒画素数の計数



## 体積含礫率%



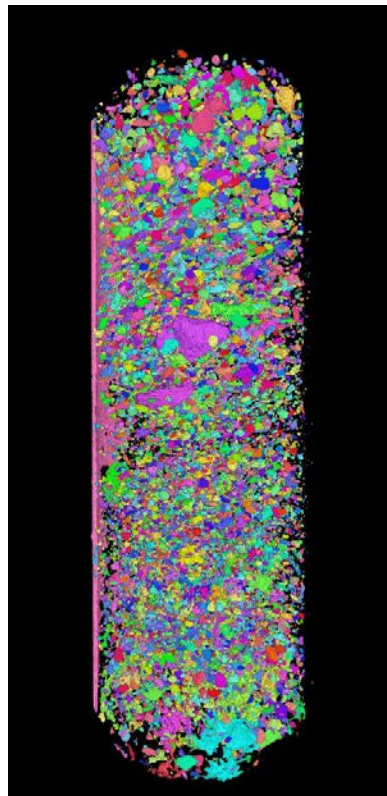
# 画像粒子解析 ～三次元解析～



つながり解析



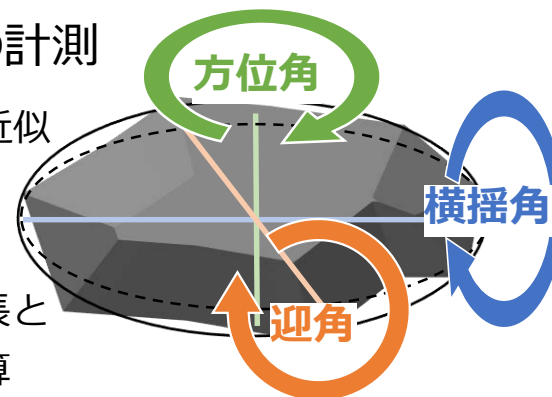
粒子の抽出



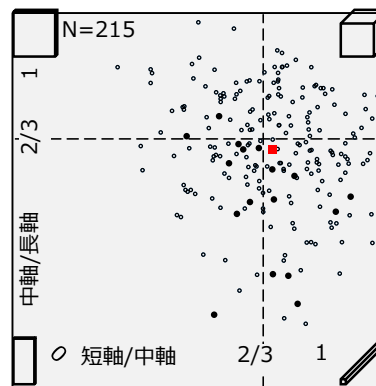
粒子形状の計測

粒子の楕円近似

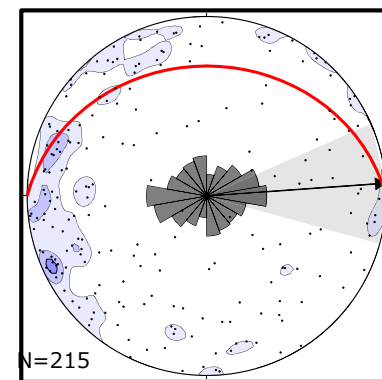
近似楕円の三軸長と  
回転角度を計算



粒子形状およびファブリックの解析



粒子形状の判別



ステレオプロット  
による粒子配列

礫粒子の形状や配列・配向を定量的に評価

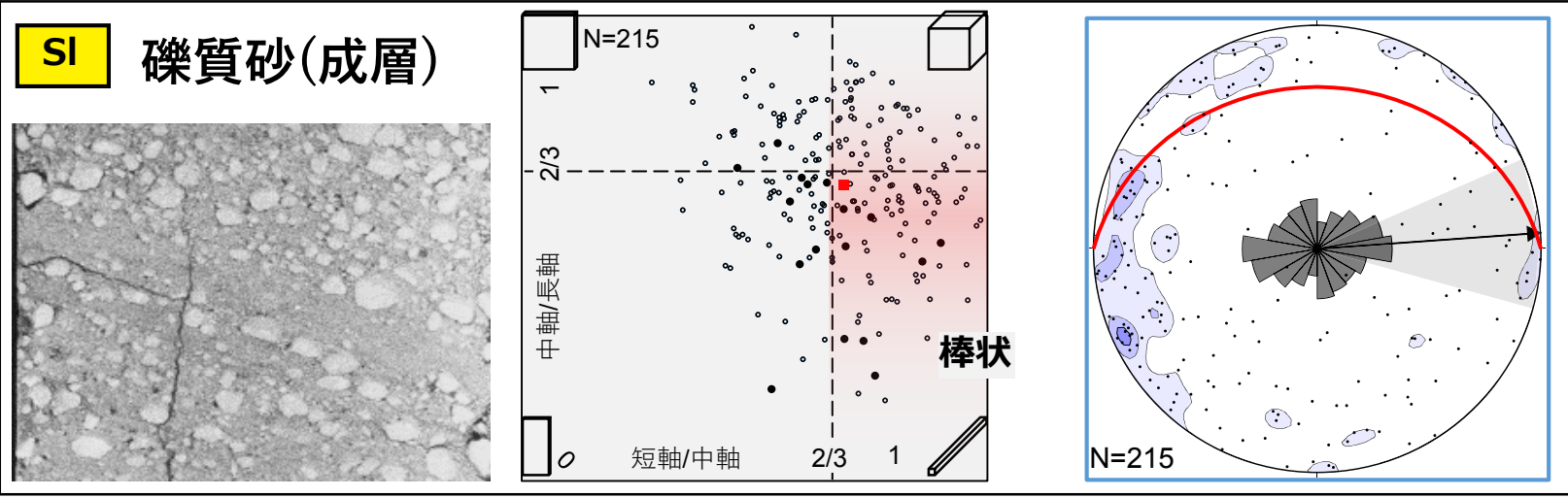
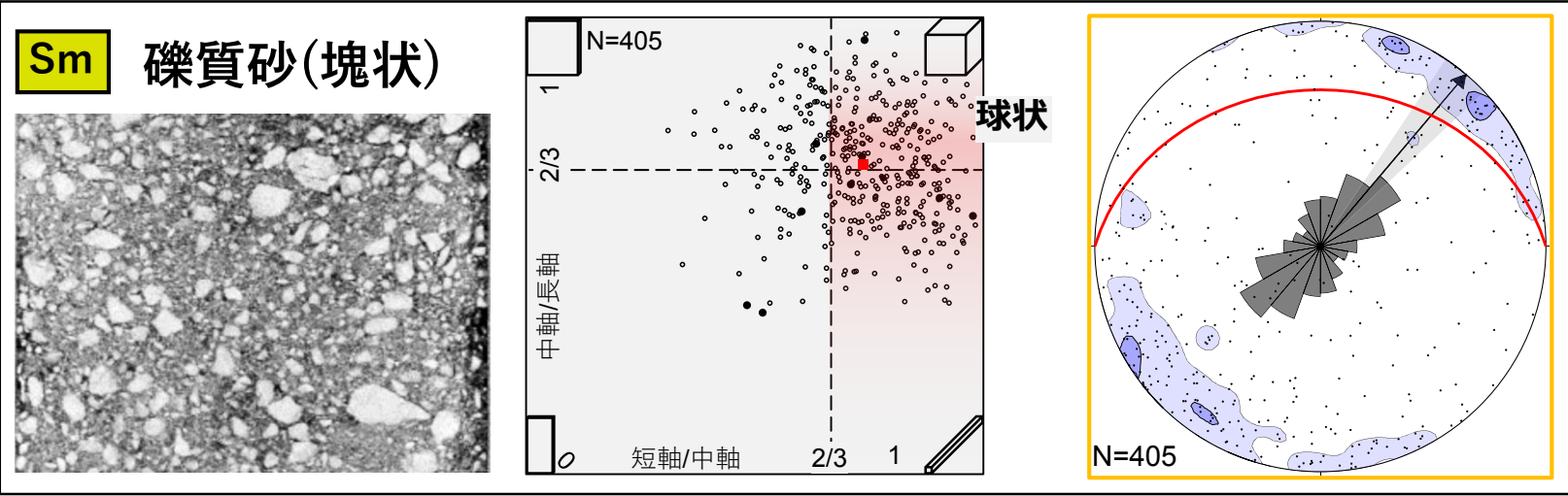


# 画像粒子解析の結果例



0 m  
1  
2  
3

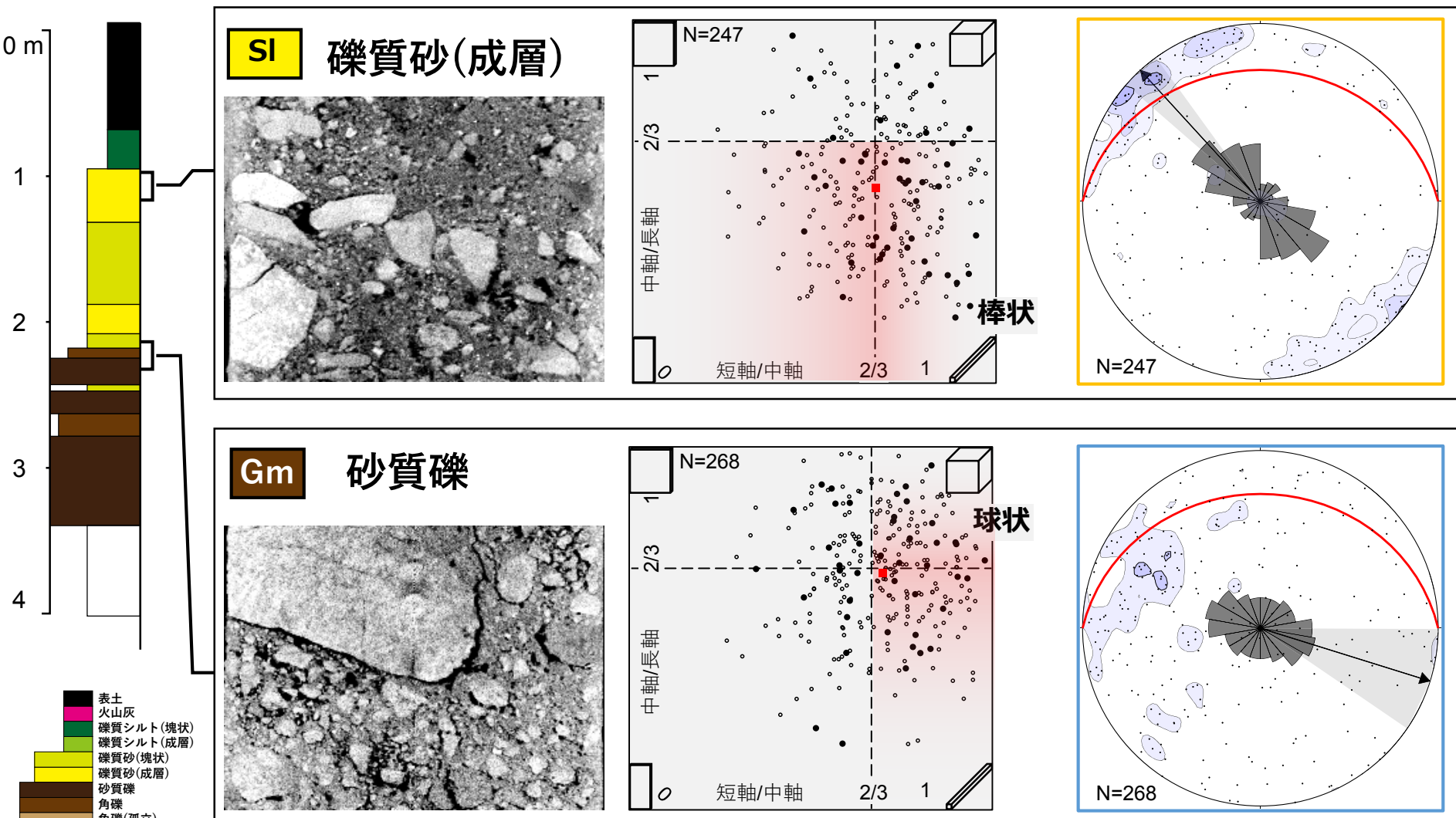
- 表土
- 火山灰
- 礫質シルト(塊状)
- 礫質シルト(成層)
- 礫質砂(塊状)
- 礫質砂(成層)
- 砂質礫
- 角礫(孤立)
- 角礫岩
- 基盤岩



堆積プロセスの差異を反映

下半球投影, 赤大円は堆積面  
(最大傾斜方向を上)に配置)

# 画像粒子解析の結果例

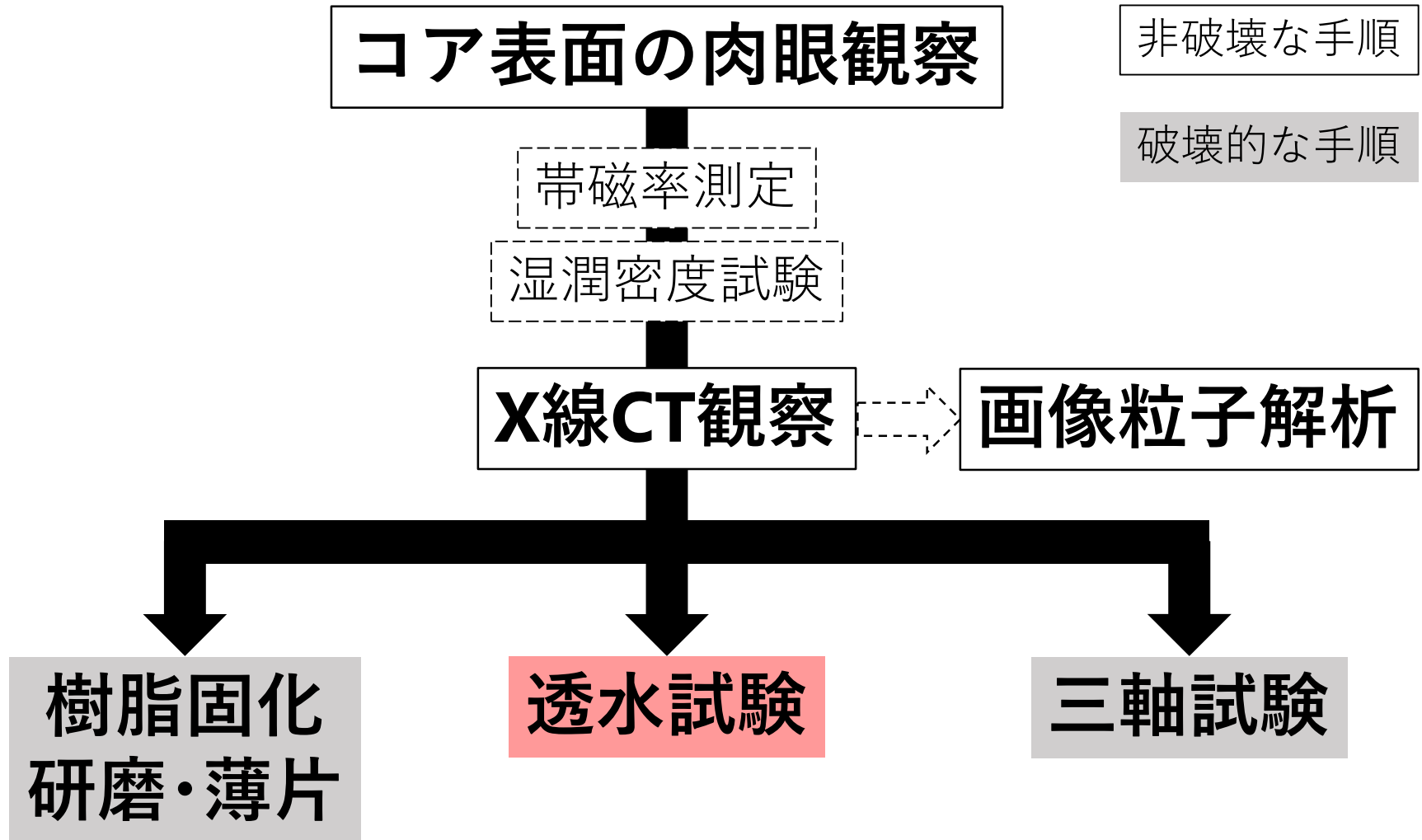


堆積プロセスの差異を反映

# 透水試験による透水性の解析



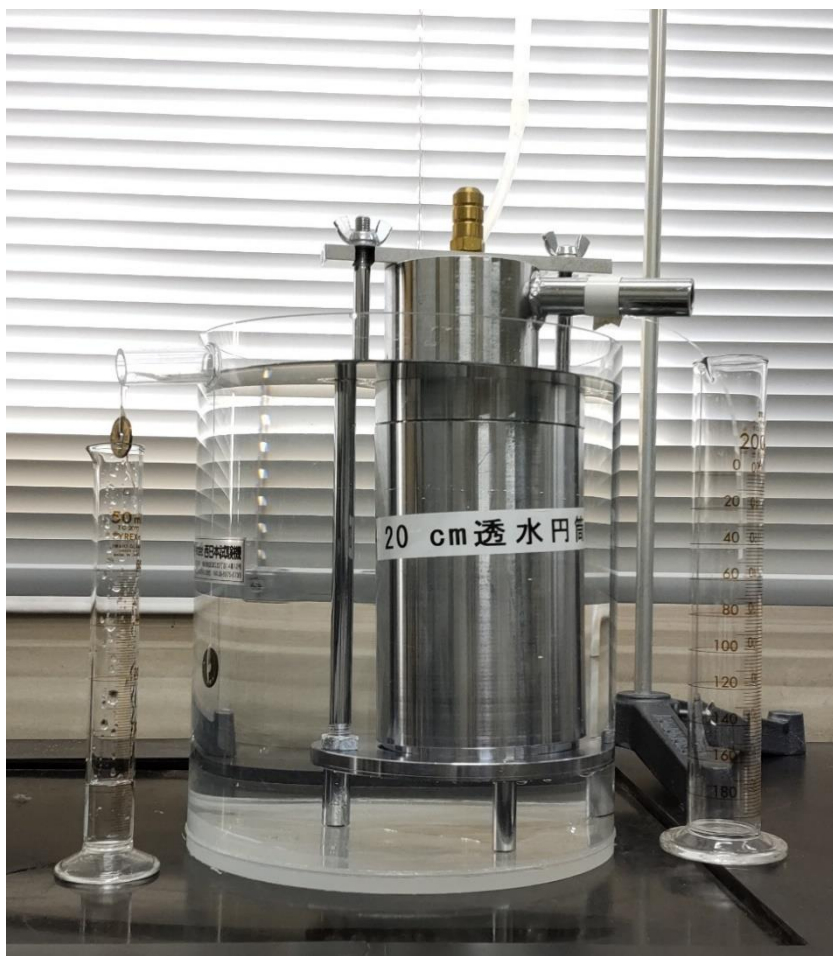
乱さない試料を活かす解析フロー



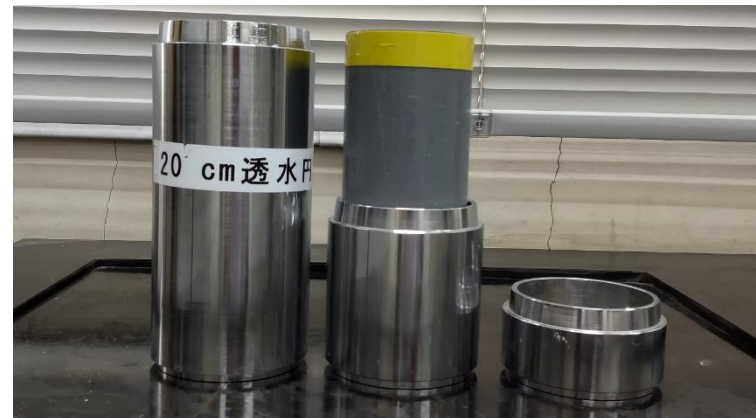
# 透水試験



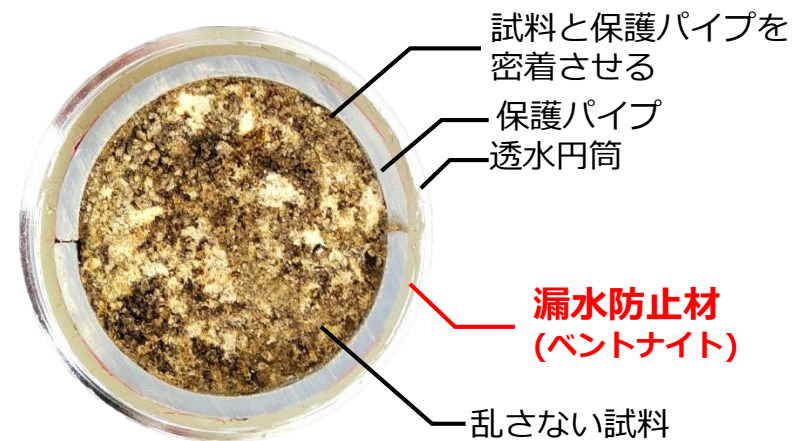
室内透水試験装置(定水位)



コア径に合わせた透水円筒 (特注品)



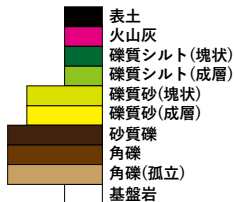
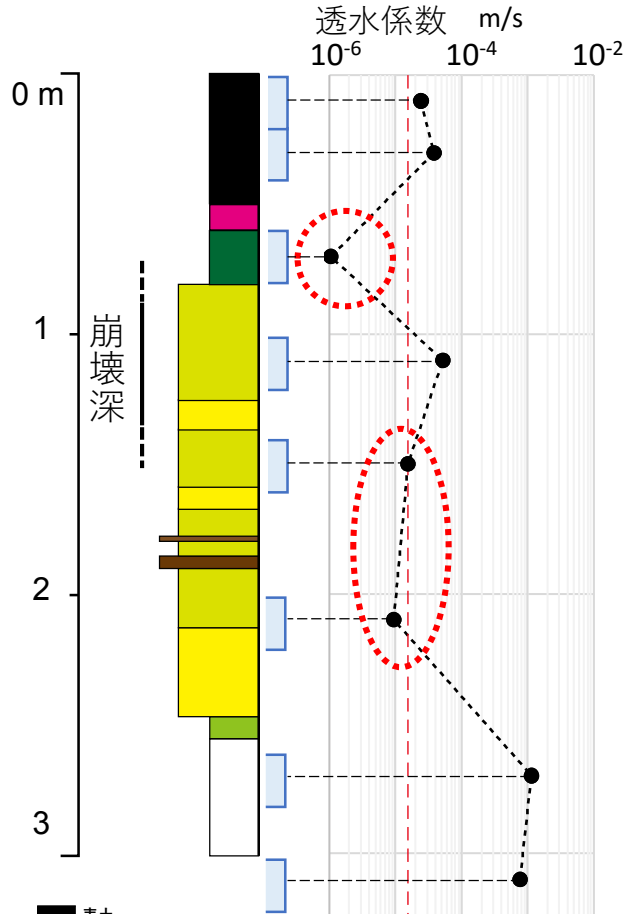
試料と透水円筒の隙間をふさぐ



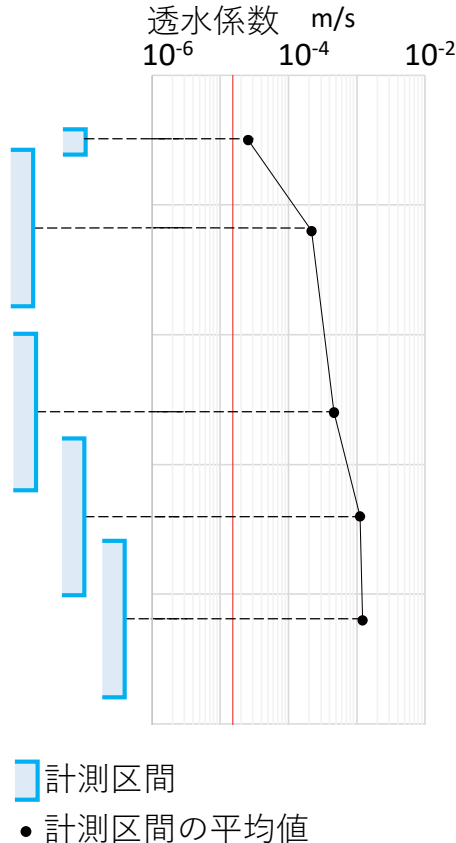
# 室内透水試験のメリット



## 室内透水試験



## 原位置透水試験



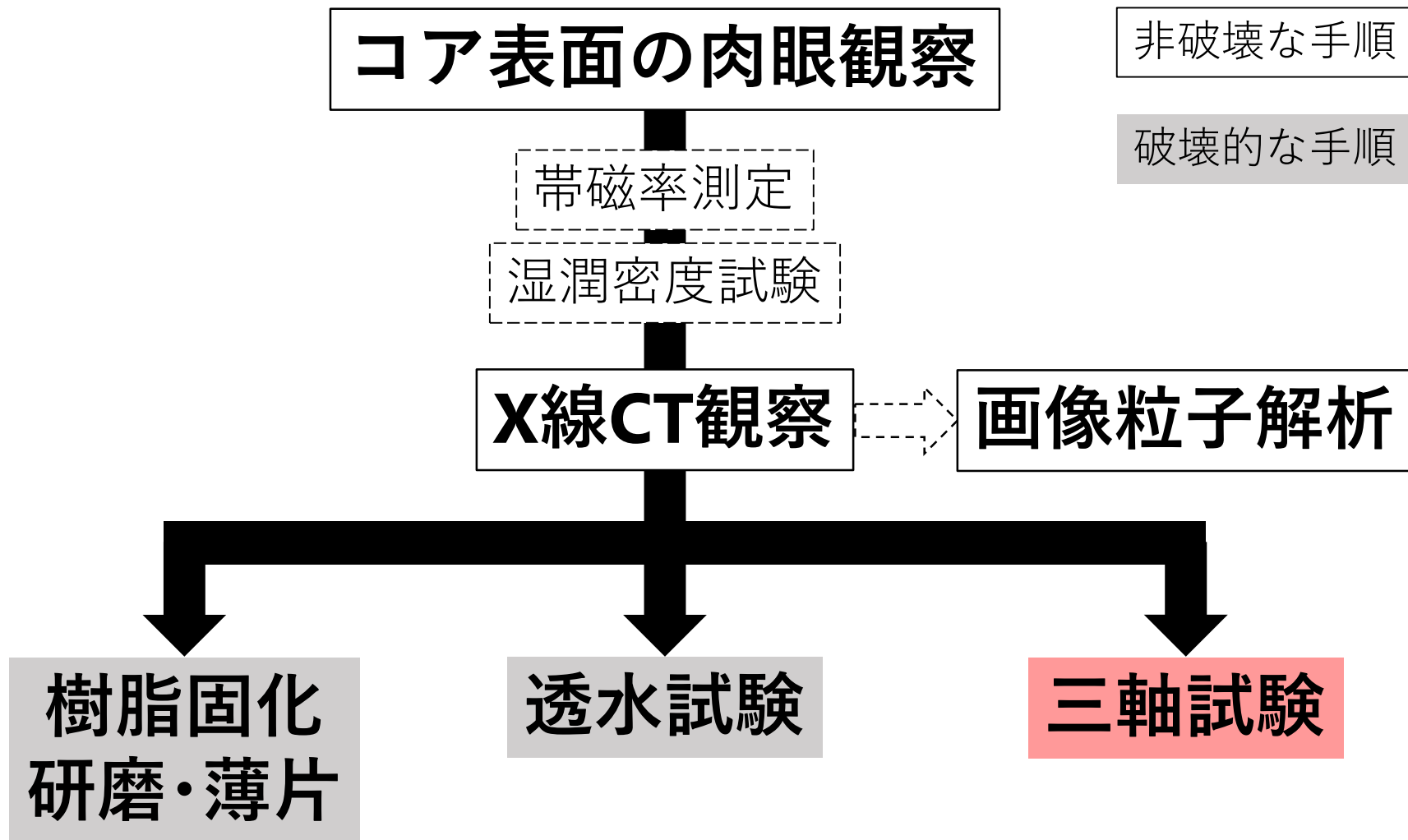
室内透水試験は  
原位置透水試験に比べて

- 測定区間を細かくできる  
(=高分解能)
- 層相との対応をふまえて  
測定区間を設定

## 透水性が低い層準を確認

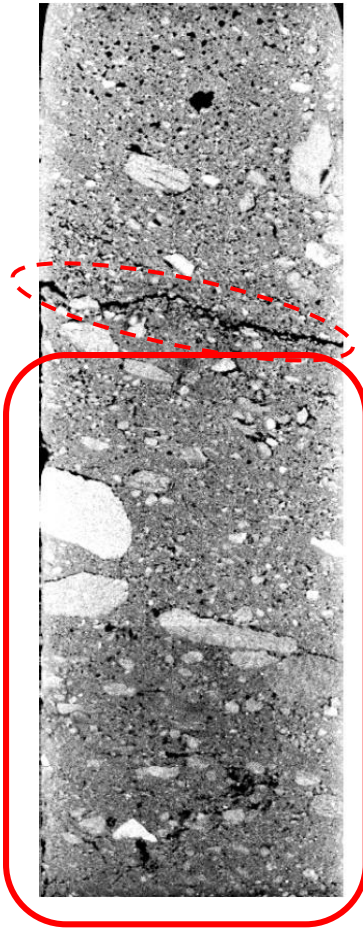
# 三軸試験によるせん断強度の解析

乱さない試料を活かす解析フロー



# 三軸試験(CUbar)

※試験の実施は  
寒地土木研究所による

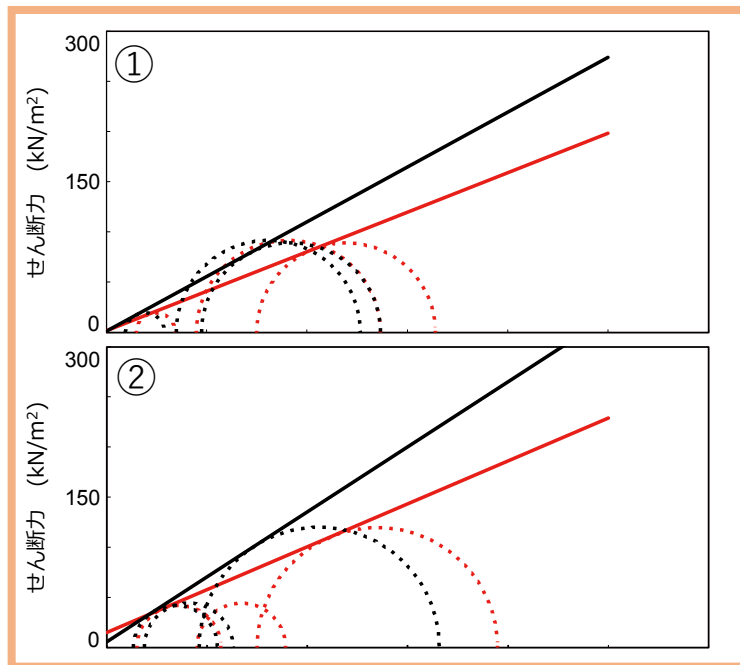
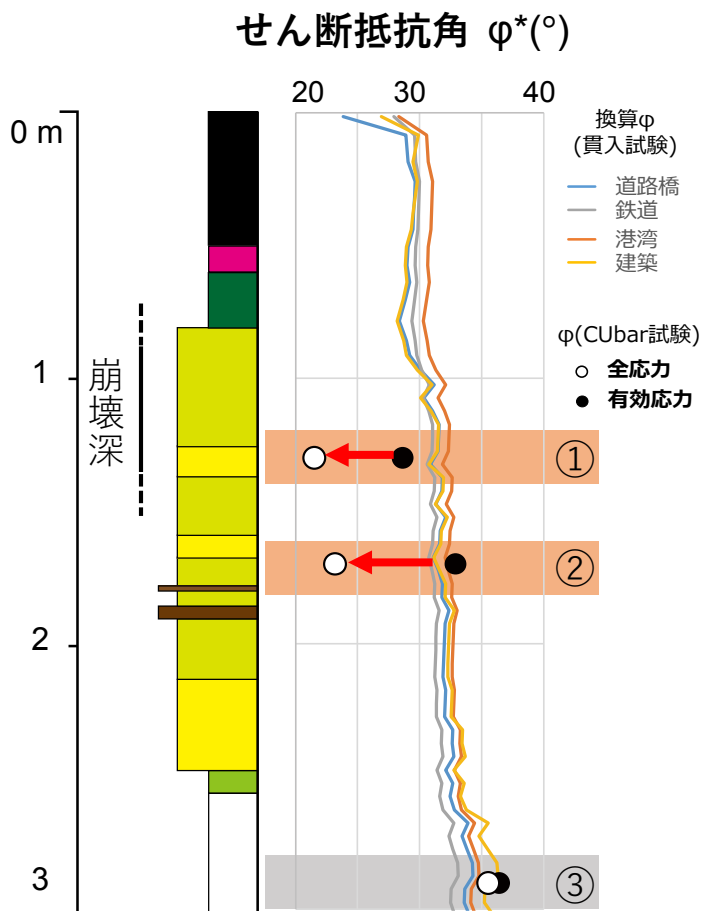


クラック等が極力少ない  
箇所を選別

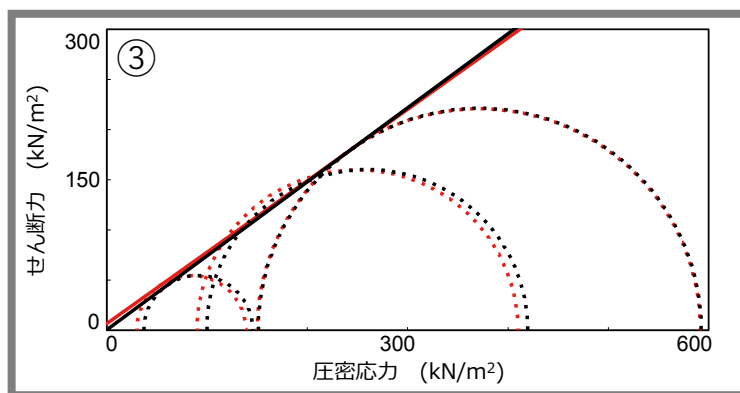


間隙水圧と全応力を実測

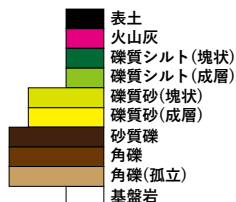
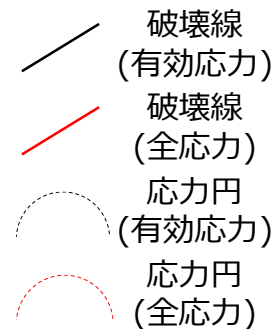
# 試験結果の例 ～有効応力・全応力～



周水河堆積物



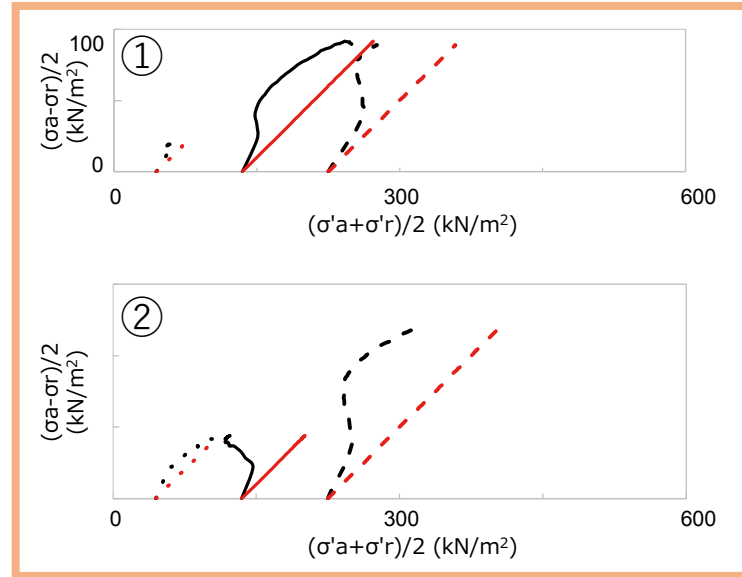
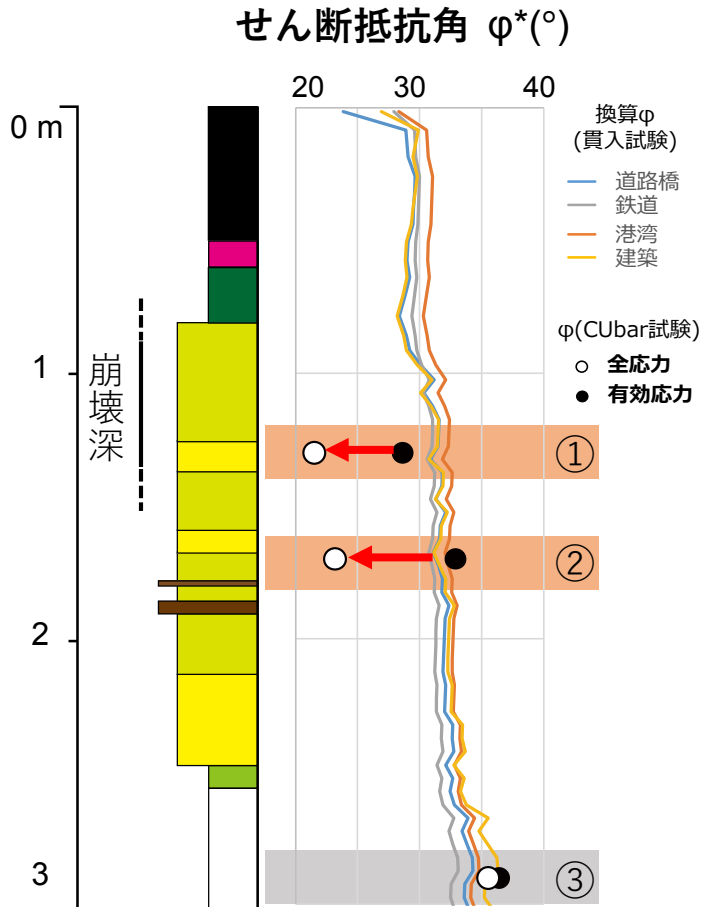
基盤岩



間隙水圧による有効応力の大幅な低下を確認



# 試験結果の例 ～応力経路～



有効応力経路

初期応力

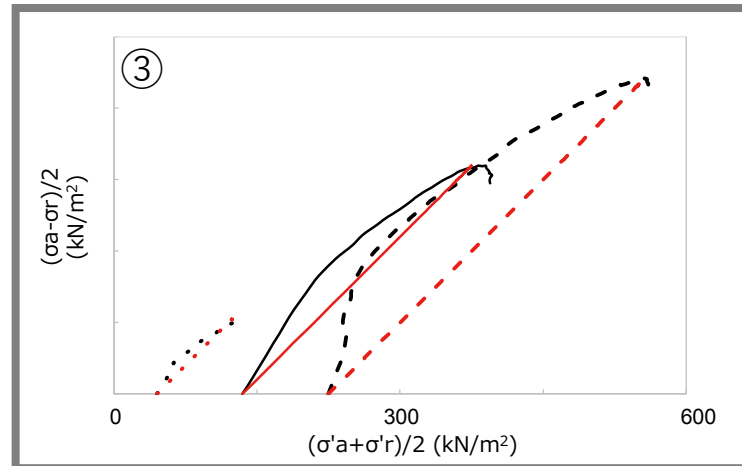
- 30 kPa
- 90 kPa
- - - 150 kPa

全応力経路

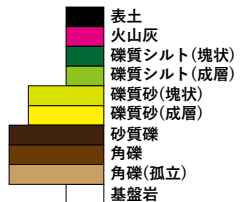
初期応力

- 30 kPa
- 90 kPa
- - - 150 kPa

周水河堆積物



基盤岩



緩詰砂や粘性土などと類似した挙動

# まとめ



高品質ボーリングコアを用いる利点

**本来の状態を保った試料を解析可能**

- X線CTを用いて，断面を非破壊で観察
  - ✓ 画像解析により粒子を三次元的に定量化
- 樹脂固化により，未固結・脆弱な試料を固定
  - ✓ 微細構造の検鏡が可能
- 土質試験により，原位置の土質特性を詳細に把握



## 周氷河堆積物の特徴を把握

- 層相の細分化・細粒相の確認
- 層相とファブリックの関係を確認
- 透水性の低い層準を確認
- 間隙水圧上昇による強度低下を確認

# おわりに



本講演では下記研究成果の一部を発表した

## ■ 道総研 重点研究(R1-4年度)

豪雨による緩斜面災害を軽減するための研究

—寒冷地に特有な斜面堆積物の判定手法の開発—

### 共同研究機関

■ 寒地土木研究所 (国立研究開発法人土木研究所)

■ 北見工業大学 (国立大学法人北海道国立大学機構)

### 協力機関

■ 北海道開発局 (国土交通省)

■ 北海道建設部 (北海道庁)

■ 北海道水産林務部 (北海道庁)

**関係した方々に記して御礼申し上げます**





# 高品質・定方位ボーリングについて

---

有限会社エーシーイー試錐工業 福間 哲

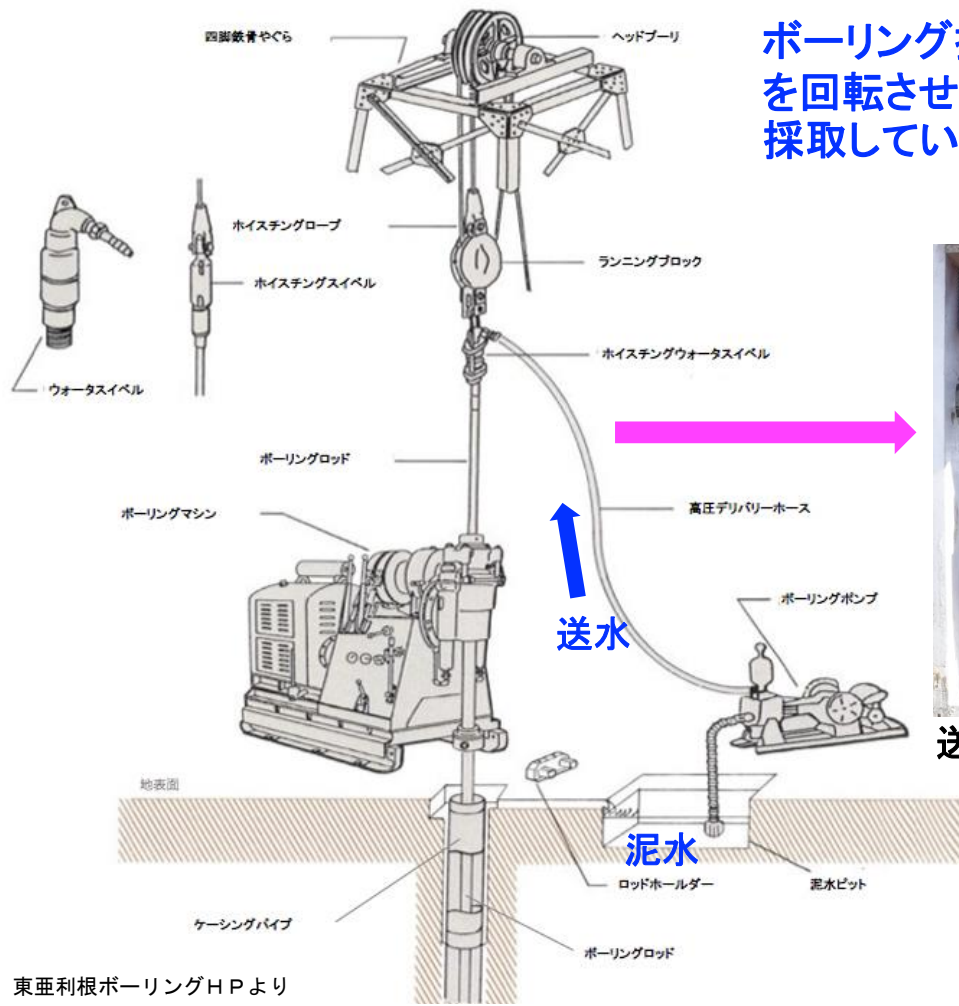
# 発表内容

---

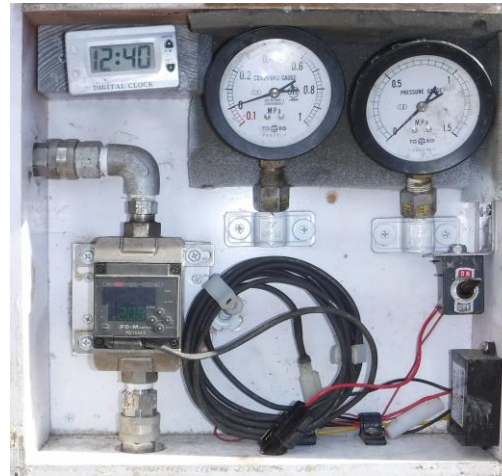
- 調査ボーリングの概要
- ACEが考える高品質ボーリングの定義
- ACEボーリングコア方位確認システムの原理と工法
- ACEボーリングコア方位確認システムの利点と効果
- ACEボーリングコア方位確認システムの実績と成果
- ACEボーリングコア方位確認システムのご活用



# 調査ボーリングの概要



ボーリング掘削は、コアチューブの外管だけを回転させ、内管に地盤(ボーリングコア)を採取していく技術



送水量を管理するための計器類

コアチューブ



- 1: ヘッド
- 2(内): 内管
- 2(外): 外管
- 3: リーマ
- 4: ビッドチューブ
- 5: ビッド
- a: アウター  
エクステンション
- b: インナー  
エクステンション,  
ビニール
- c: コアリフター
- d: リフターケース



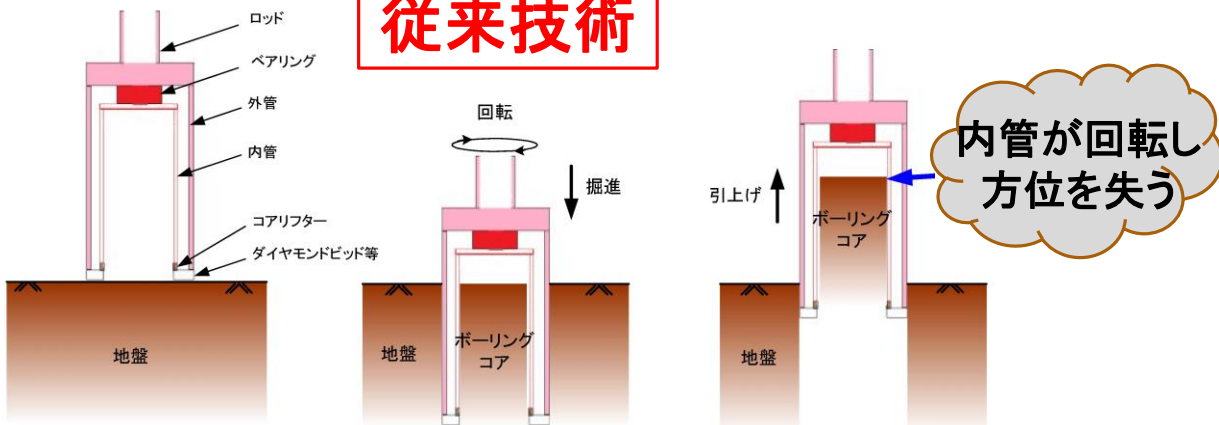
出典: (株) 東亜利根ボーリングHPより

# ACEが考える高品質ボーリングの定義

- ◆ 気体を含まない掘削流体を使用する工法、ビット、送水量・水圧・ビット荷重・回転数・掘削速度を厳密に管理して掘削
- ◆ ボーリングコアにダメージを与えない不攪乱な採取、基本的に採取率100%
- ◆ 岩盤においては、破碎度を正確に区分することができる
- ◆ 礫混じり土や砂礫層の採取コアは、水の通った痕跡 又は飽和時の水みちも目視にて観察できる
- ◆ 所定の掘削長終了時に コアチューブ内のコアとそれ以深の地盤が繋がっており、その時点でコアチューブ内のコアは方位を有する(定方位確認システムの前提)

# ACEボーリングコア方位確認システムの原理と工法

## 従来技術



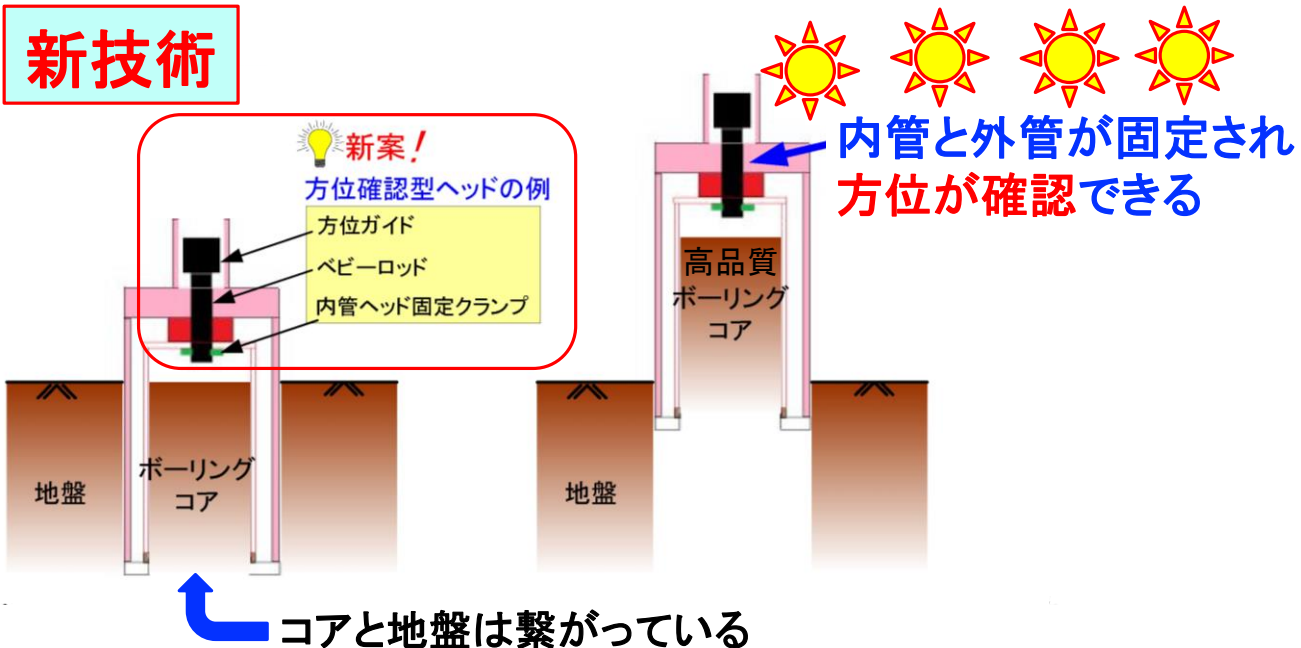
## 方位確認ヘッド

### ベビーロッド型 特許 第4926295号



内管に繋がっている方位確認ヘッドに方位がついたベビーロッドを挿入し、内管(ボーリングコア)の方位を確認する方法

## 新技術



### 内管外管固定型 特許 第5025034号



掘削終了後に内管と外管を固定させ、外管の方位から内管(ボーリングコア)の方位を確認する方法

# ACEボーリングコア方位確認システムの利点と効果

- ◆ **高品質ボーリングコア**である
- ◆ ボーリングコアから、**層理面、亀裂、断層破碎帯、地すべり面**などの地盤情報を**直接観察および計測**することができる
- ◆ ボーリングコアからの情報であるため、**ボアホールスキャナー**で観測困難だった**地質の脆弱部や未固結部**でも**詳細な地盤情報を取得**することができる
- ◆ **通常のボーリング工法**で施工できるため、特殊な資機材の搬入や大型足場などの特別な施工の段取りは**必要ない**
- ◆ 目的の地質や深度を狙って**特定の区間**だけを**定方位コア**にすることができ、**効率的かつ効果的なボーリング調査**ができる

# ACEボーリングコア方位確認システムの実績と成果

## もし定方位ボーリングコアだったら

ある蛇紋岩地すべり調査におけるボーリング調査



明瞭な地すべり面が判明



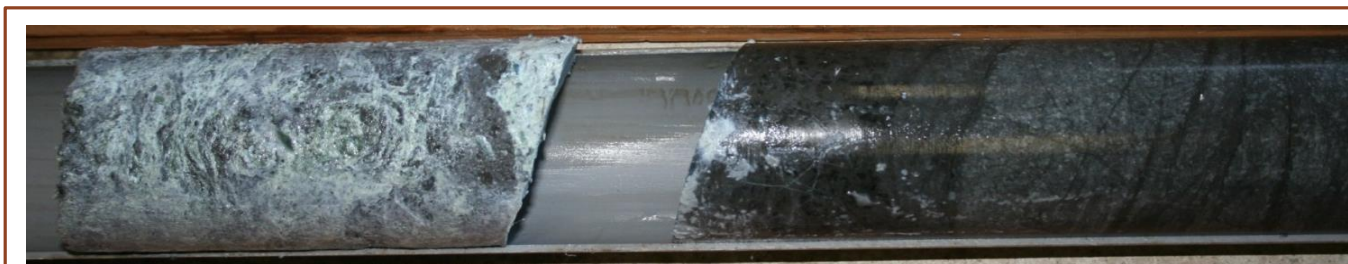
残念ながら定方位ボーリングではなかった



地すべり面の構造を把握するために  
更に数本のボーリング調査が必要

## 定方位ボーリングなら

- ◆ すべり面など面構造の走向・傾斜がわかる
- ◆ 条線など線構造の沈下方向・沈下角がわかる



粘土化した蛇紋岩と硬質な岩盤の境界(明瞭な地すべり面)



完全に粘土化した地すべり面の**上盤**



鏡肌となっている地すべり面の**下盤**



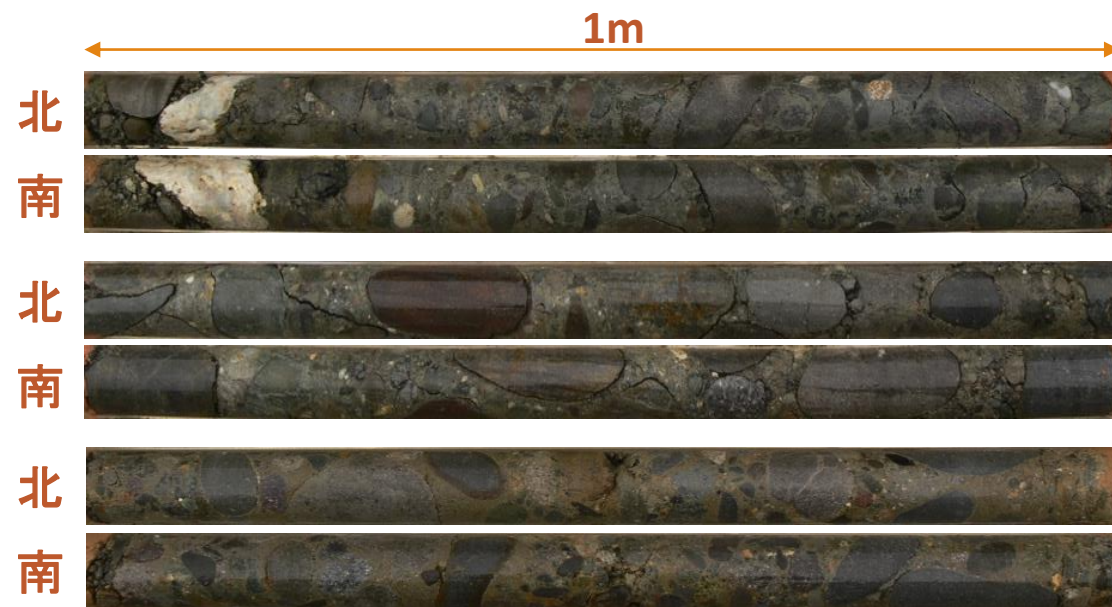
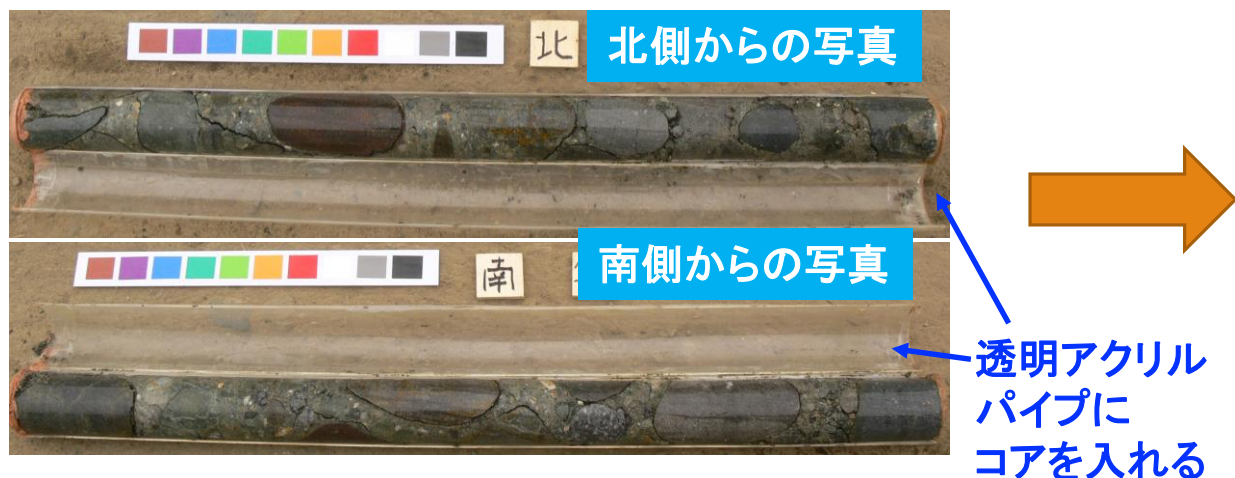
角度しか測定できない

# ACEボーリングコア方位確認システムの実績と成果

## 施工実績

調査(工事)名	施工場所(対象地質)	発注者
平成23年度施行 堰堤維持の内忠別ダム貯水池右岸法面調査検討業務 日吉端野線(交840)防雪工事(法面調査設計)	北海道 東川町(砂礫)	日本工営(株) 札幌支店(開発局旭川開建)
令和2年度施行 南富良野町 落合地区地質ボーリング調査	北海道 北見市(角礫凝灰岩)	北海道土木設計(株)(北海道)
令和3年度施行 礼文町高山地区地質ボーリング調査委託業務	北海道 南富良野町(混在岩)	(株)ドーコン(道総研)
	北海道 礼文町(玄武岩)	(株)ドーコン(道総研)

## 定方位ボーリングコアの採取例



# ACEボーリングコア方位確認システムのご活用

## 北海道でのご利用

- ◆北海道(札幌)を拠点とする会社が開発した技術のため、道内の現場では**地の利**を生かし、迅速で効率の良い作業を実施できる
- ◆冬季間の施工など、北海道特有の現場環境にも精通している
- ◆通常のボーリング工法と同じ資機材で作業ができるため、現場への**資材搬入出費用**は従来工法と同じ

よろしければ、本技術の活用をご検討ください

ご静聴、ありがとうございました





# 第62回試錐研究会

## 地下水熱（オープンループ方式） 利用の現状と課題

2024年 2月19日

株式会社 アクアジオテクノ  
技術部 資源開発グループ 岩佐 大  
地盤環境グループ 若狭 靖之

# 本日の話題

1. はじめに
2. 再生可能エネルギーである地中熱利用のメリット
3. オープンループ方式のメリットを最大限に活用
4. オープンループ方式導入計画の留意点
5. アクアジオテクノの地下水熱利用システム
6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術
7. 旧社屋の地下水熱利用
8. おわりに

# 1. はじめに

わが国には各地に豊富な地下水が賦存しています。地下水の温度が年間を通じて安定していることに着目し、地下水を水資源としてだけでなく、冷暖房や給湯など熱資源としても利用することで、省エネによる燃料代・電気代の削減、さらにはCO<sub>2</sub>排出量抑制による地球環境保全に繋げることができます。

ここでは、弊社の地下水熱利用システムについて、ご紹介いたします。



# 参考資料

## 資料1

『地中熱利用にあたってのガイドライン(第4版)』令和5年3月(2023)

：環境省 水・大気環境局 水環境課 地下水・地盤環境室

上記ガイドラインの中で、「オープンループ方式の詳細については、下記をご参照下さい。」と記載されている。

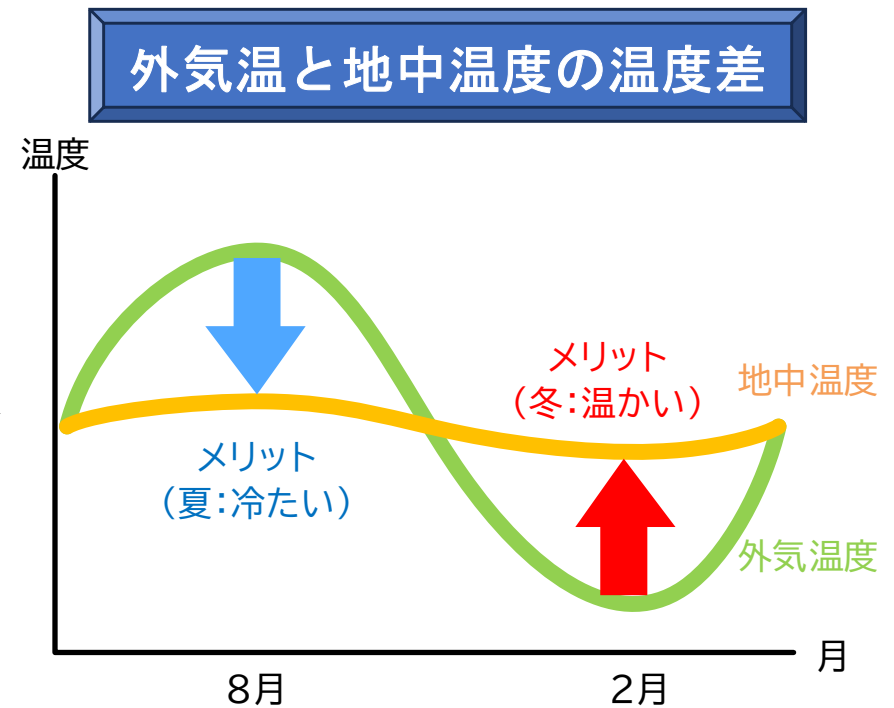
## 資料2

『地中熱ヒートポンプシステムオープンループ導入ガイドライン 第1版』(2017)

：特定非営利活動法人地中熱利用促進協会、一般社団法人全国さく井協会

## 2. 再生可能エネルギーである地中熱のメリット

- 再生可能エネルギー (Renewable Energy) とは、石油や石炭、天然ガスなどの有限な資源である化石エネルギーとは違い、太陽光や地熱、バイオマスなどの自然界に常に存在するエネルギーのことです。
- 「温室効果ガスを排出しない」、「枯渇しない」、「どこにでも存在する」といった特徴があります。
- 多くのエネルギーを輸入に頼る日本において、再生可能エネルギーは、国内で生産可能なエネルギーでもあります。
- 再生可能エネルギーの一つである地中熱は、地中温度が外気温度に比べ年間を通して温度変化が小さい特性から、夏は冷熱源、冬は温熱源として、空気を熱源とするエアコンなどよりも効率的 (10~25%程度) なエネルギー利用が可能です。

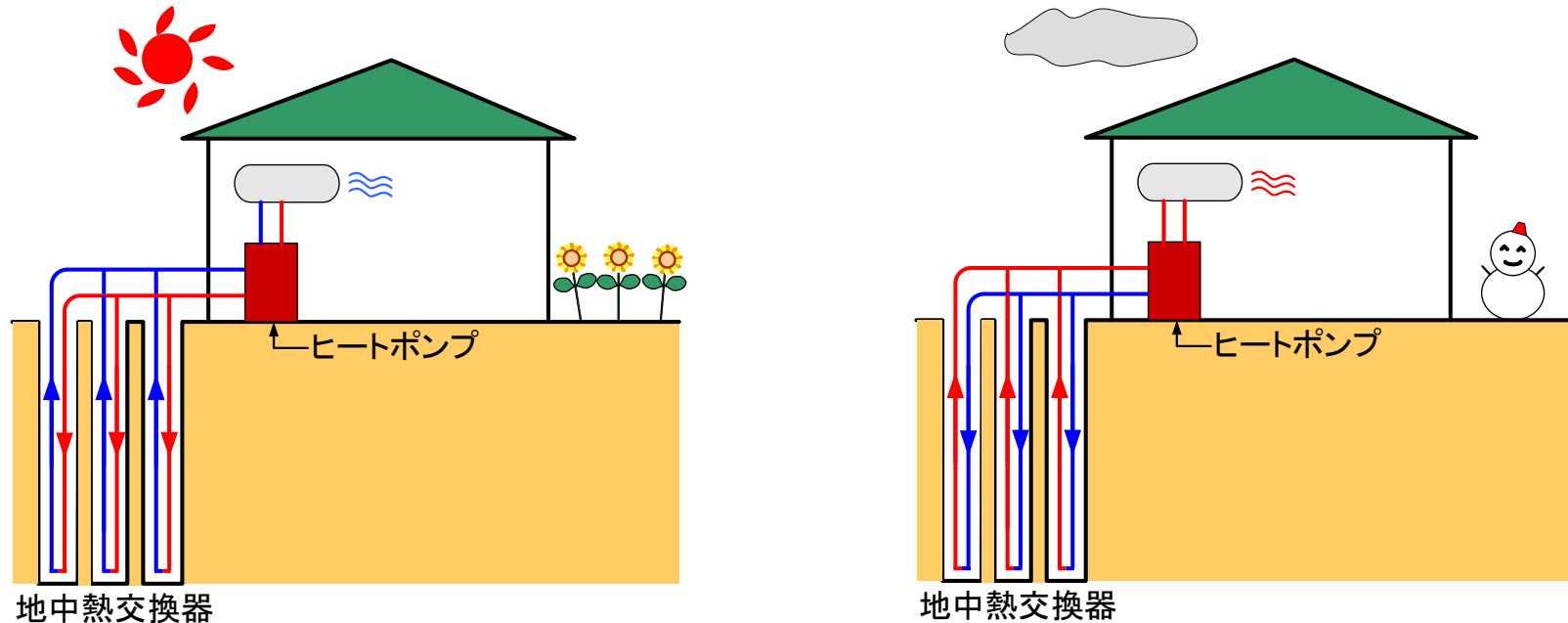


# 3. オープンループ方式のメリットを最大限に活用

## クローズドループ方式

- 熱媒体を地中に循環させて地下水や地盤と熱のやり取りを行います。
- オープンループ方式に比べて熱交換の効率は低いものの、地下水を揚水しないため、揚水規制のある地域でも導入可能で、場所を問わず利用できます。

### ヒートポンプシステム



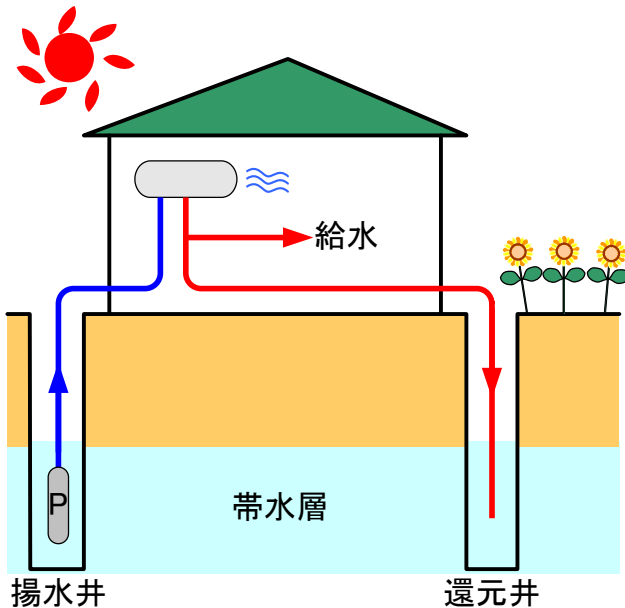
- この方式は、冷暖房の排熱を循環させるので運転時間により熱源温度が変動し、冷暖房の熱収支バランスの崩れが発生すると、その効率が低下することが懸念されます。

# 3. オープンループ方式のメリットを最大限に活用

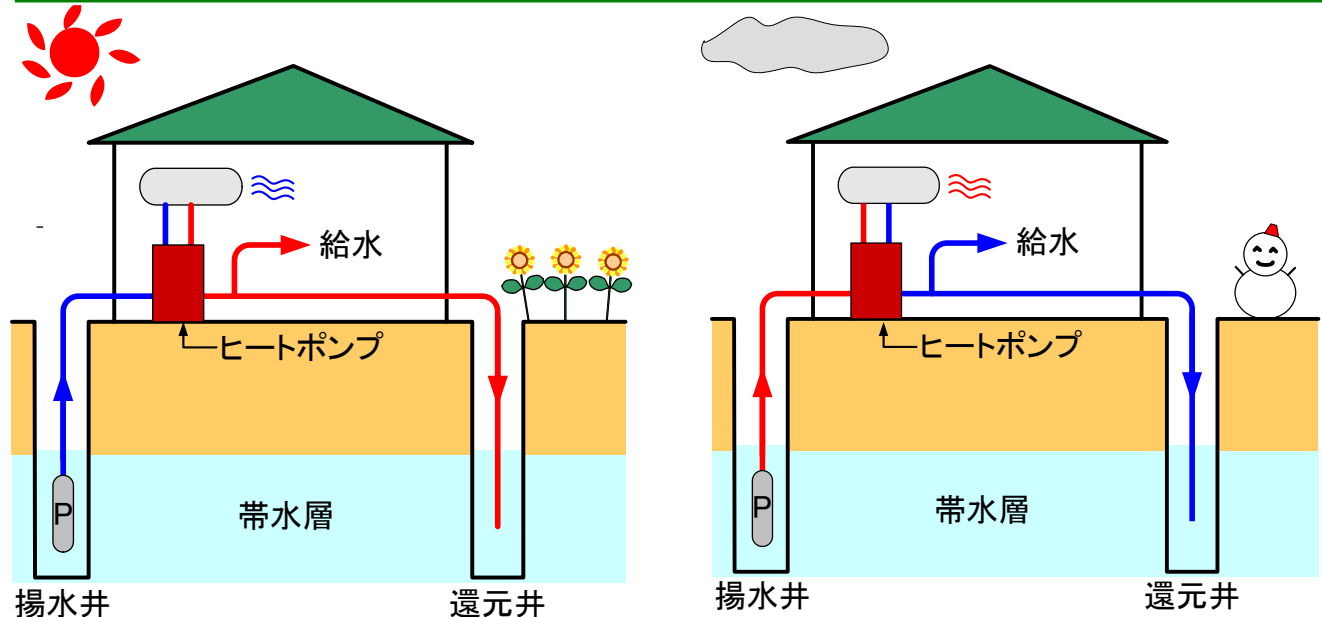
## オープンループ方式

- ▶ 既存・新規井戸で揚水した地下水と熱をやり取りし、その後水源として利用、余った地下水は地中に戻す(還元する)または地上で放流します。
- ▶ 地下水の温度は年間ほぼ一定であり、揚水量の調整により熱負荷に対応した採熱量のコントロールが可能であり、熱利用システムのイニシャルコスト低減や大規模化に適したシステムです。

### 地下水直接利用



### ヒートポンプシステム



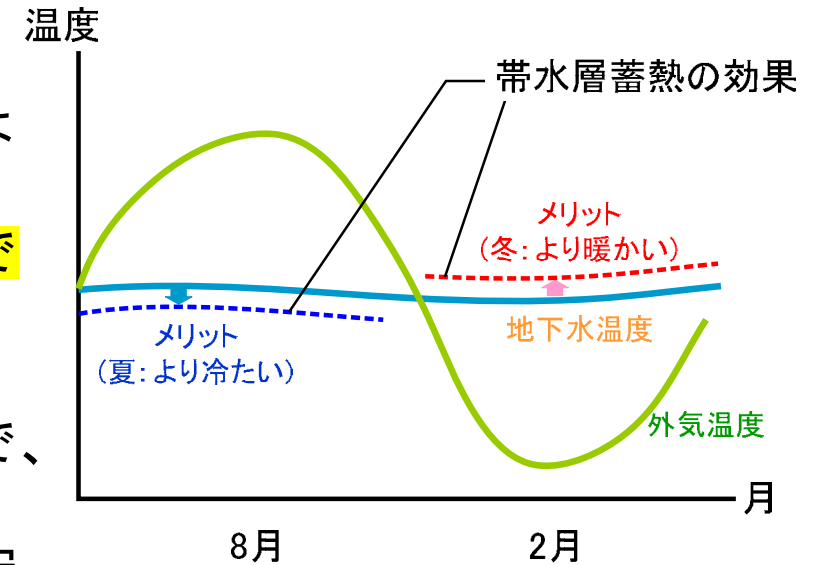
- ▶ オープンループ方式は、水温がほぼ一定である地下水を直接利用するため、熱収支バランスの崩れによる効率低下の心配はありません。
- ▶ 熱利用した地下水を還元する帯水層蓄熱方式を採用すれば、効率のさらなる向上が期待できます。
- ▶ また、災害時には防災用水源としても活用できます。

# 3. オープンループ方式のメリットを最大限に活用

## 帯水層蓄熱 (Aquifer Thermal Energy Storage) のシステム概要

ATESには下記のような特長があります。

- 夏季と冬季で揚水井・還元井を入れ替えることにより、熱源としての熱交換効率が向上
- 夏季はより冷たい地下水をフリークーリング回路で利用
- 井戸の逆洗効果により目詰まりを抑制
- 熱のみを取り、直接空気に触れないシステムなので、地下水の水質等への環境影響を最小化
- システム全体でブライン利用を必要とせず、高い安全性と高いメンテナンス性を確保





# 3. オープンループ方式のメリットを最大限に活用

## オープンループ方式利用に最適な水質

オープンループ方式では良質な水質の地下水を使用することが井戸及び設備の長寿命化にもつながります。

弊社ビルシステムでは、水質・水温ともに良好な地下水を利用しています。

原水の水質をモニタリングすることで、万が一の状況にも素早く対応できます。

水質項目	水質基準	水質検査結果
鉄及びその化合物	0.3 mg/L以下	0.03 mg/L未満
マンガン及びその化合物	0.05 mg/L以下	0.016 mg/L
色度	5 度以下	0.3 度
濁度	2 度以下	0.2 度

## 熱源の性能評価(速報)

熱源の性能評価：SPF(期間成績係数)を使います。

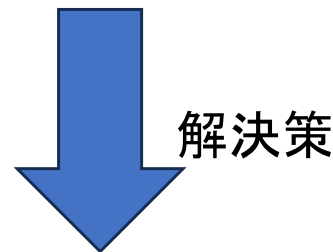
既存のエアコン(システムSPF<sub>c</sub> 3程度)と比較して、アクア新社屋は7月実績でSPF<sub>c</sub>(フリークーリング)で『7.3』と2.4倍となっており、高効率であることを示しています。

冬の評価はまだですが、帯水層蓄熱によりさらに高い性能評価を期待しています。

# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

『地中熱ヒートポンプシステムオープンループ方式導入ガイドライン 第1版』(2017)によるとオープンループ方式は地下水を揚水して利用するシステムなので、下記に示す障害に対し多面的な検討が求められている。

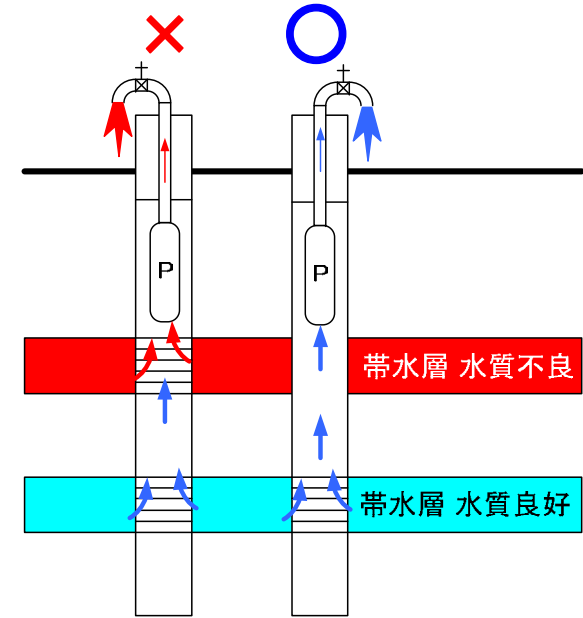
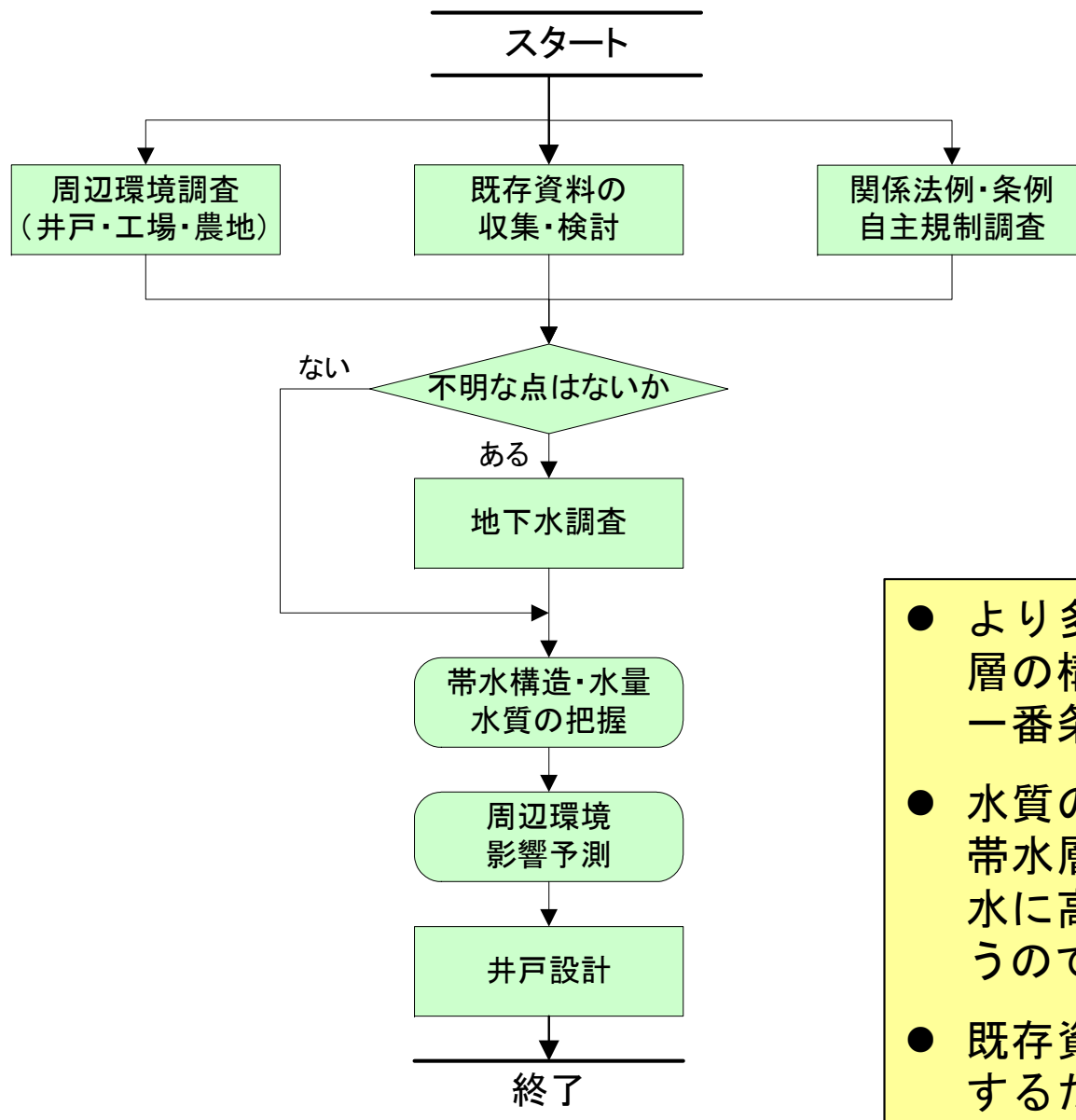
- 地下水障害(地下水位低下、地盤沈下、地下水塩水化など)  
⇒主に過剰揚水が原因
- 機械設備障害(スクリーンの目詰まりによる揚水・還元能力低下、熱交換器及び配管内のスケール付着による流量・熱交換能力低下など)  
⇒主に水質に起因する



- 地下水障害⇒障害を発生させない解析技術が確立されている(安全揚水量)
- 機械設備障害⇒水質が良好であれば心配はいらない

# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

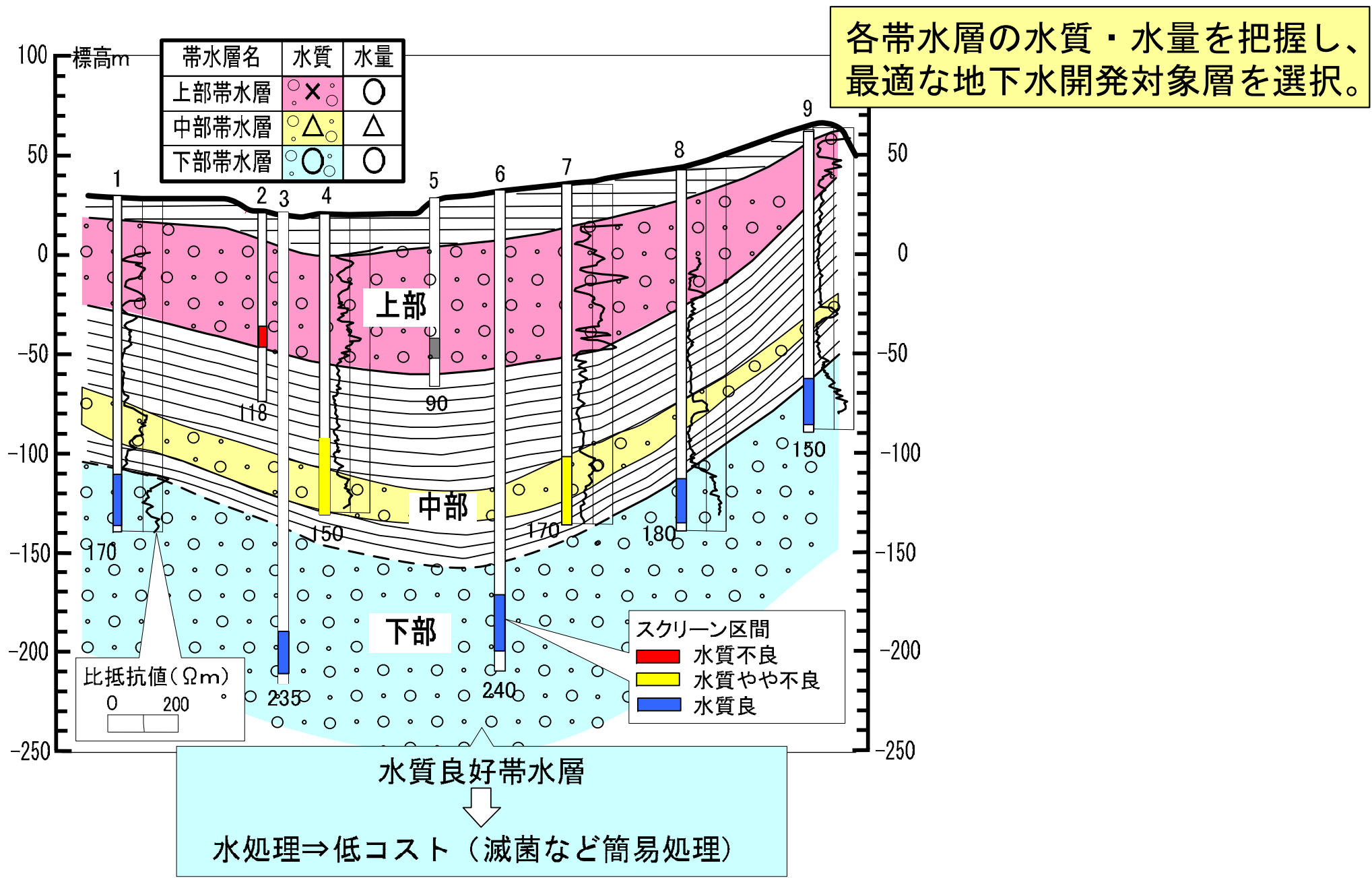
## 解決策⇒井戸設計の手順



- より多くの既存資料を収集・検討して、帯水層の構造や水質・揚水能力を的確に把握し、一番条件の良い地下水開発対象層を選択する。
- 水質の良好な帯水層があっても、水質不良な帯水層も選択してしまうと、水質不良な地下水に高額な処理費を要することになってしまうので注意が必要。
- 既存資料が不足な場合、不明な点を明らかにするための地下水調査を実施し、本井戸の設計に臨む必要がある。

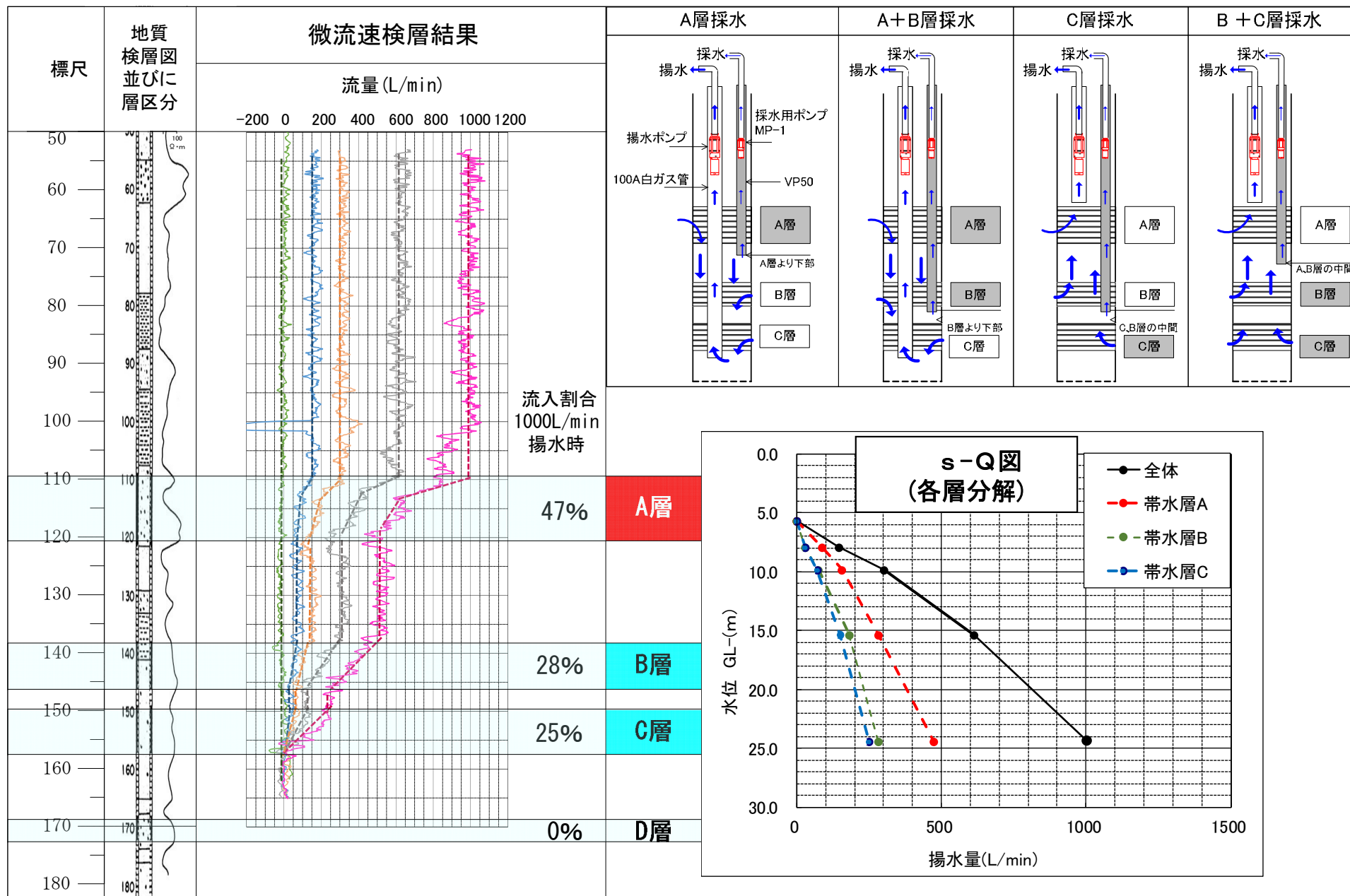
# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

解決策⇒既存資料の収集・検討(井戸データベース活用事例)



# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

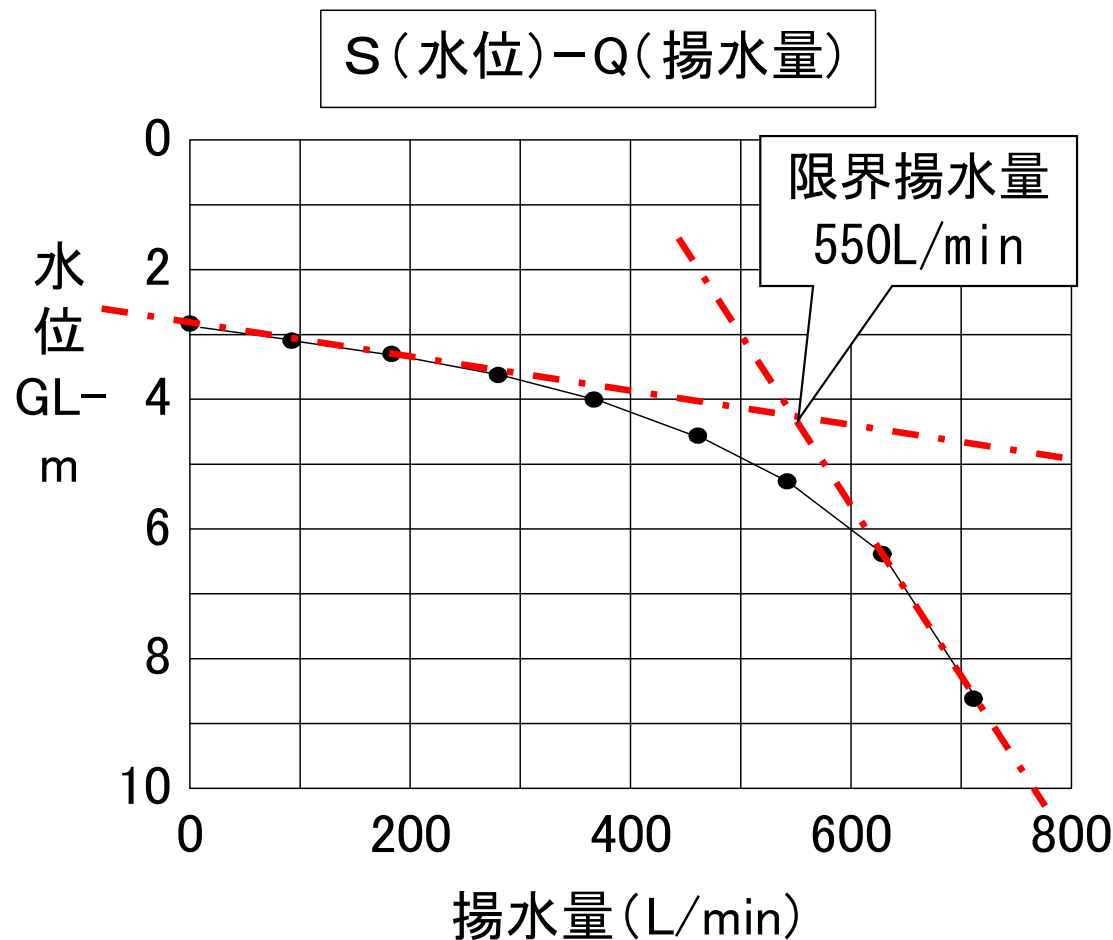
## 帯水層調査の事例 (微流速検層・深度別サンプリング)



# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

解決策⇒健全な地下水資源活用のための井戸能力評価方法の確立

限界揚水量の70% → **適正揚水量** → 長期的安定的に揚水可能な量とは限らない



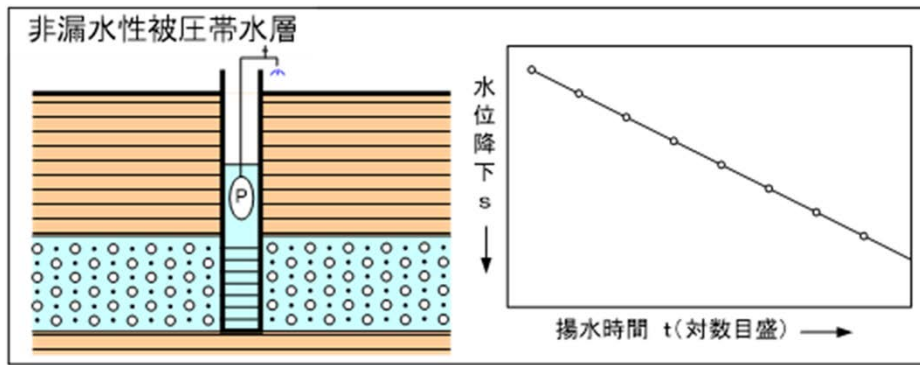
長期揚水においても  
許容低下水位を超えない

↓  
長期的水位低下予測

↓  
安全揚水量の決定

# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

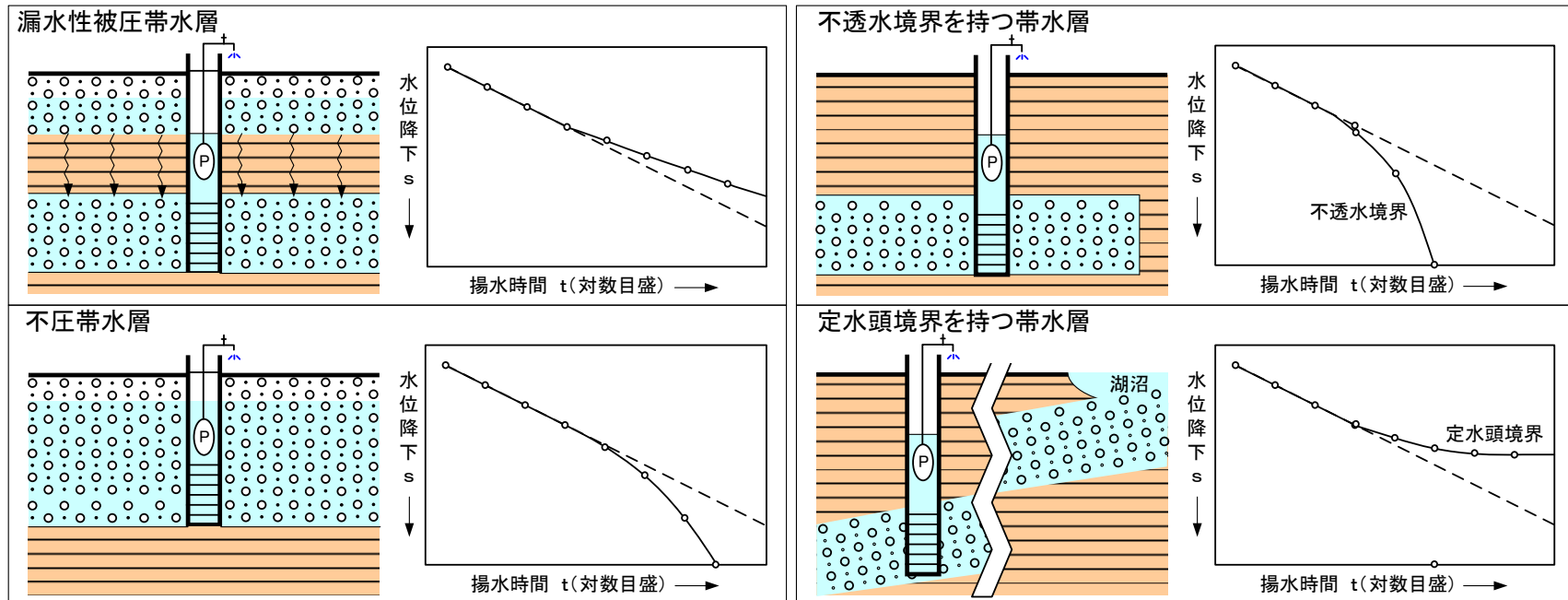
## 長期的水位低下予測の方法



ヤコブ (Jacob) の直線解析法の理論は、左図に示すように同一帯水層が連続・無限の広がりを持ち、他層からの漏水はないという条件下で成り立っており、水位低下と揚水時間の関係は直線で近似される。

ヤコブの直線解析法の理論における水位低下と揚水時間(対数目盛)模式図

他層から漏水がある帯水層や不圧帯水層、境界を持つ帯水層など帯水層系に違いがある場合には、直線で近似されない場合がある。その例を下図の模式図に示す。

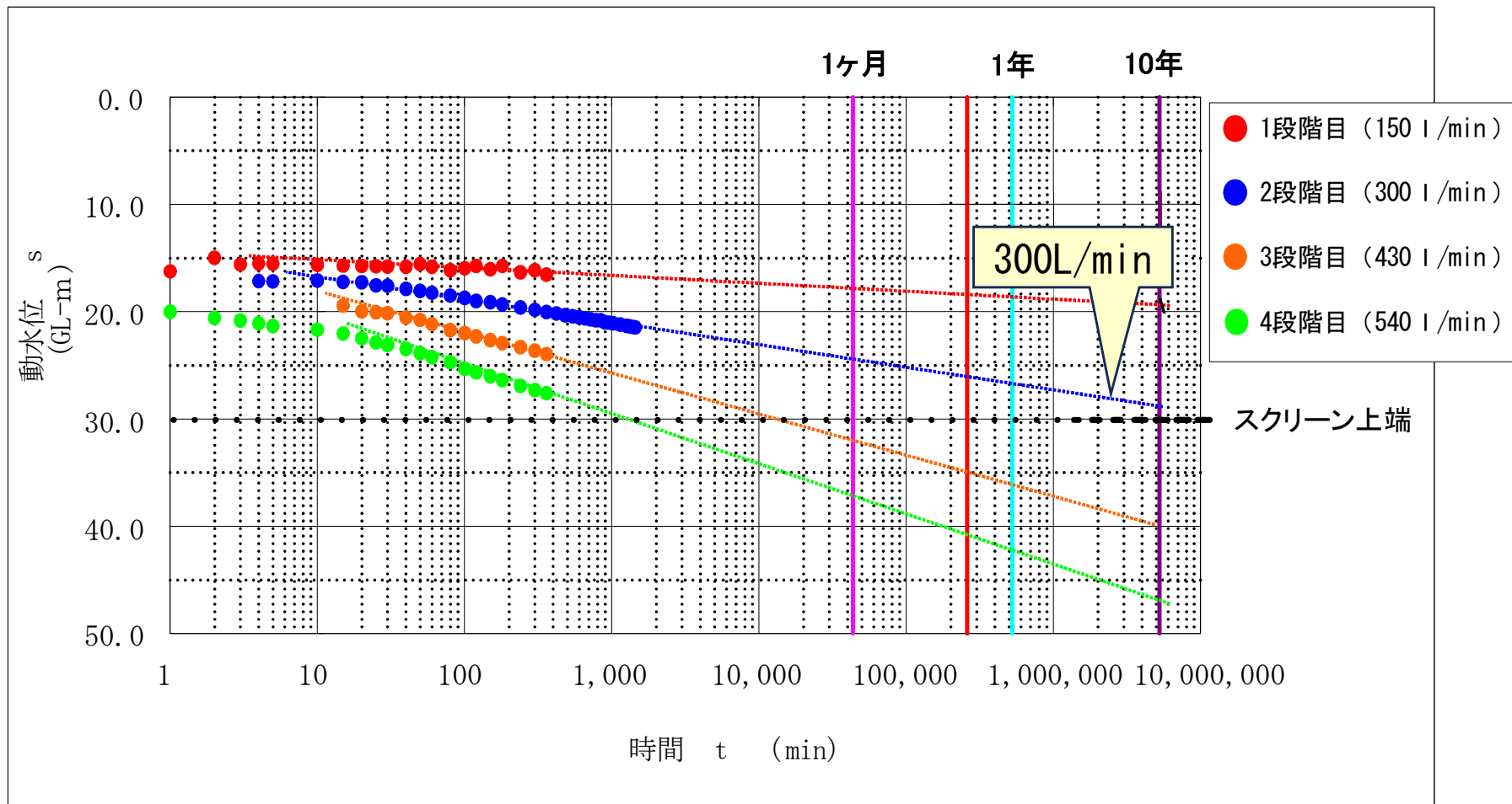


帯水層系の違いによる水位低下と揚水時間(対数目盛)模式図

# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

## 安全揚水量の検討(長期的水位低下予測の事例)

段階式揚水試験を6時間揚水と18時間回復の1日1段階として4段階実施。  
許容低下水位をスクリーン上端のGL-30mとすると、10年後も安定して揚水できる量として300 L/minを安全揚水量とした。

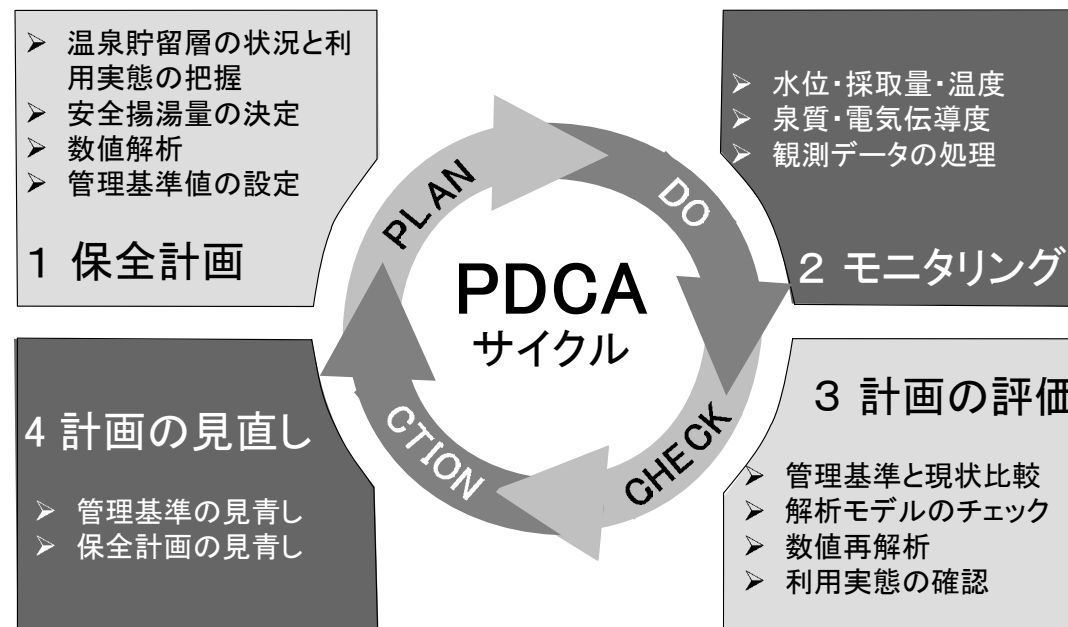




# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

## 健全な地下水資源活用の手順(案)

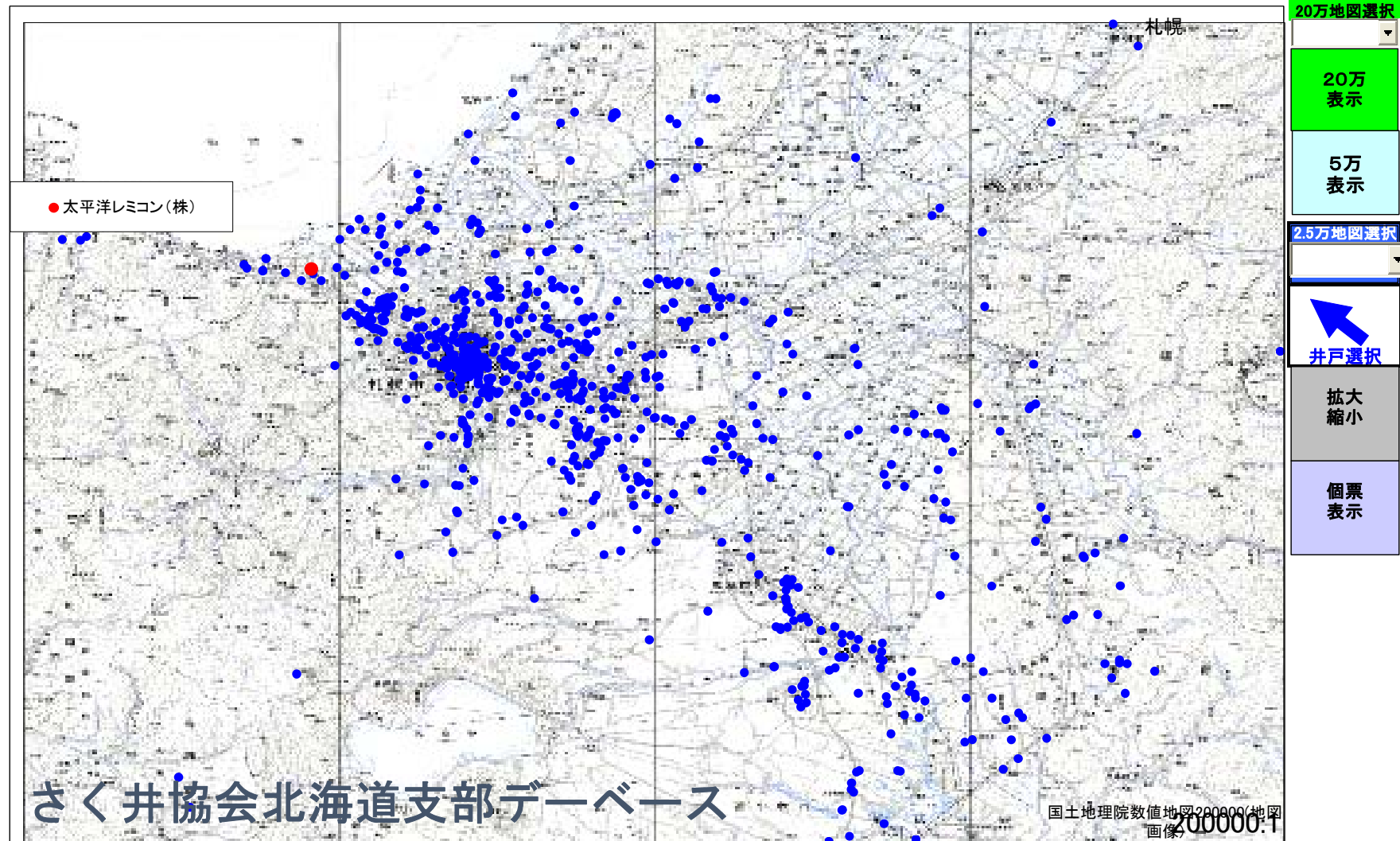
- 一般に、地下水に関するデータ整備や利用実態の把握は十分進んでいるとは言えない。また、健全な水収支を保つための管理基準値(水位・利用可能量等)を設定するための数値シミュレーションモデルを活用した実践例も限られており、当初から精度の高い将来予測は困難である。
- このため、適切な地下水の利用・保全に当たっては、最初は過去の地下水障害を教訓として実測値や経験則に基づいて計画を立案し、実際に運用しながら評価・見直しを重ねていくPDCAサイクル(下図)を継続的に行うことで、精度を高めていくことが重要である。



適切な地下水の利用・保全のためのPDCAサイクル

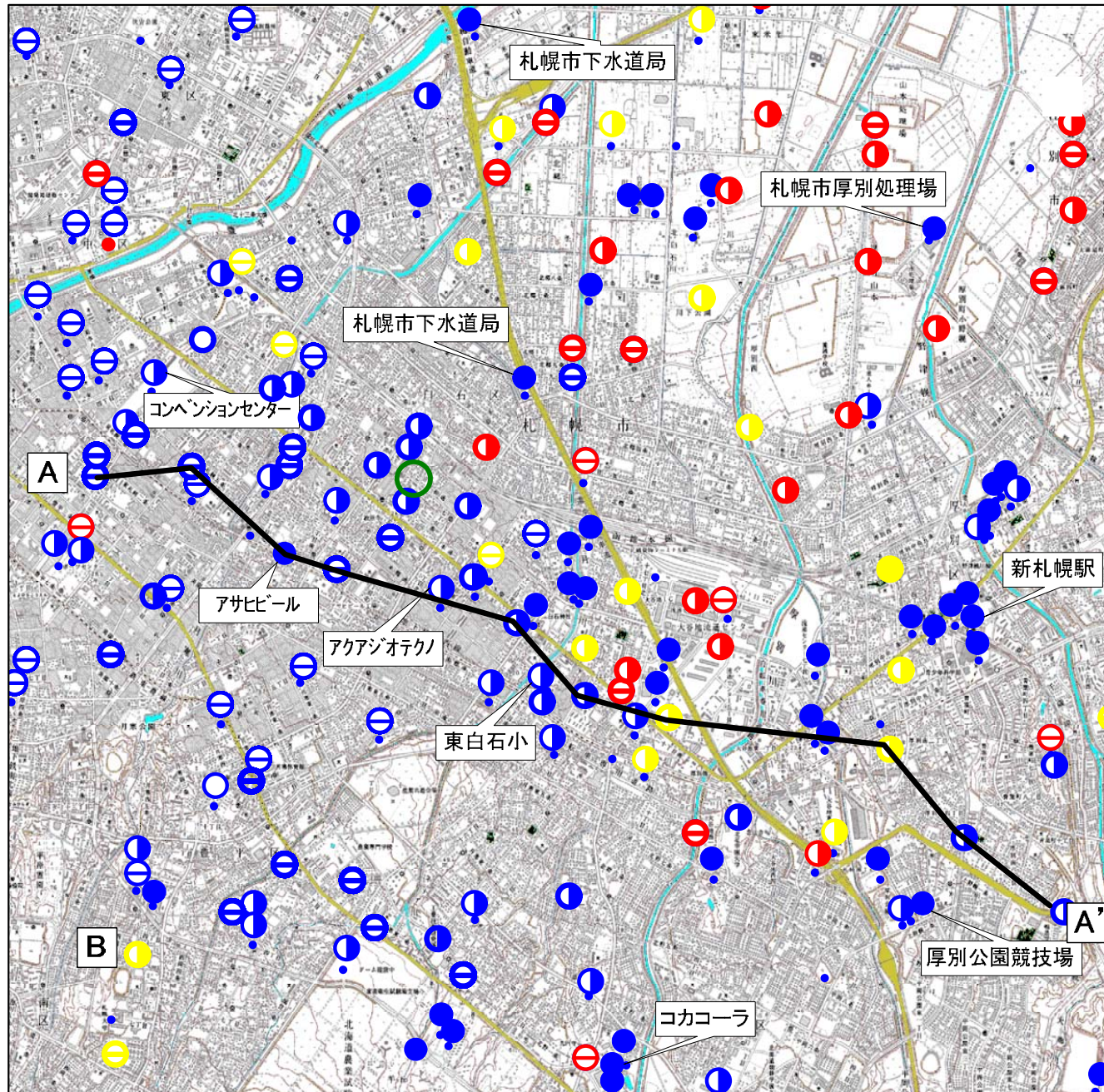
# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

## アクアジオテクノの取水・還元帯水層の検討



# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

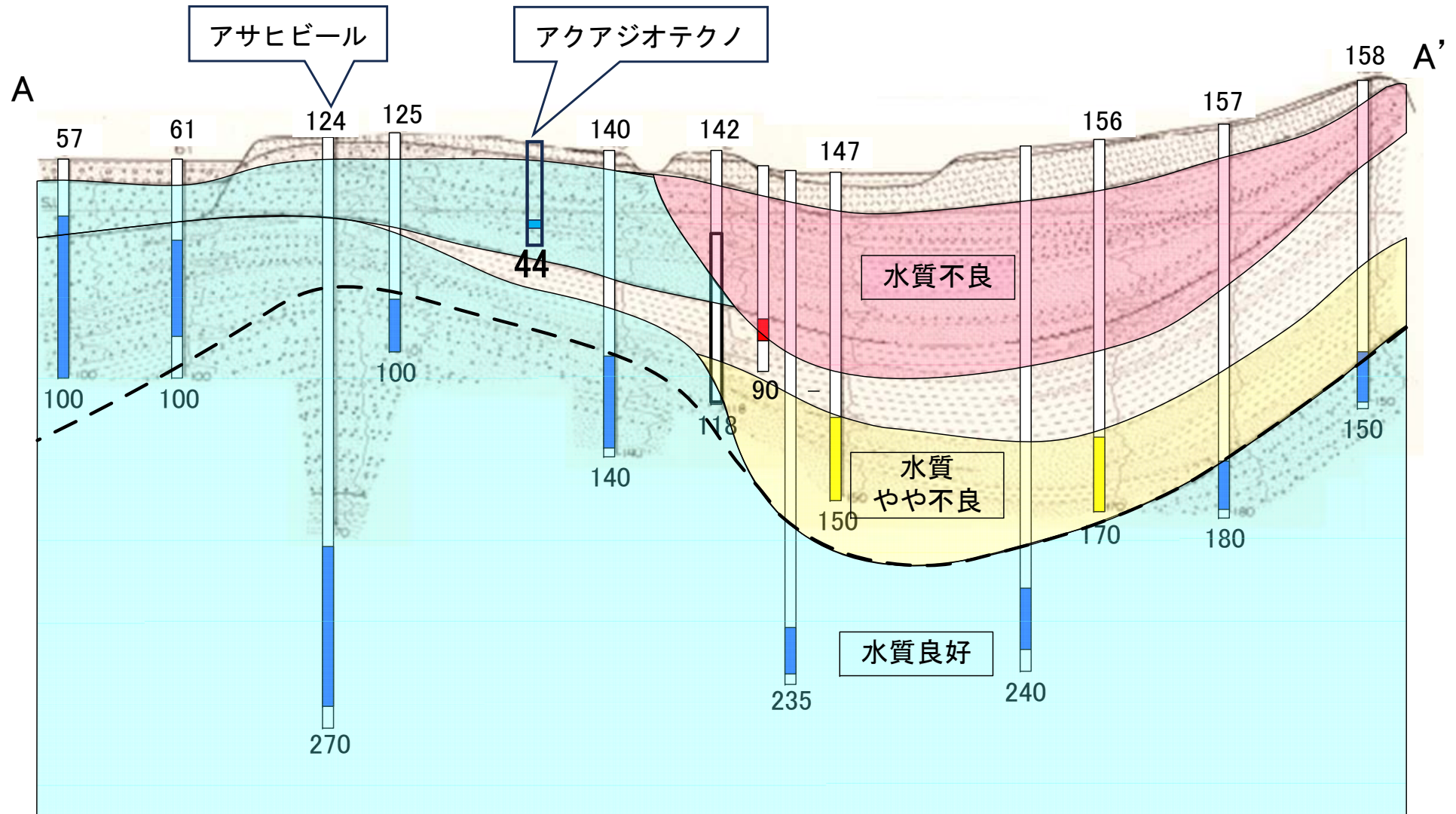
## アクアジオテクノの取水・還元帯水層の検討



	成分	良好	やや不良	不良
水質	Cl (mg/l)	~200	201~500	501~
	Fe (mg/l)	~0.30	0.31~1.00	1.01~
	KMnO4消費量(mg/l)	~10.0	10.1~30.0	30.1~
	色度 (度)	~5	6~20	21~
井戸深度 (m)	~30	○	○	○
	31~100	⊖	⊖	⊖
	101~200	⊖	⊖	⊖
	201~	●	●	●

# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

## アクアジオテクノの取水・還元帯水層の検討

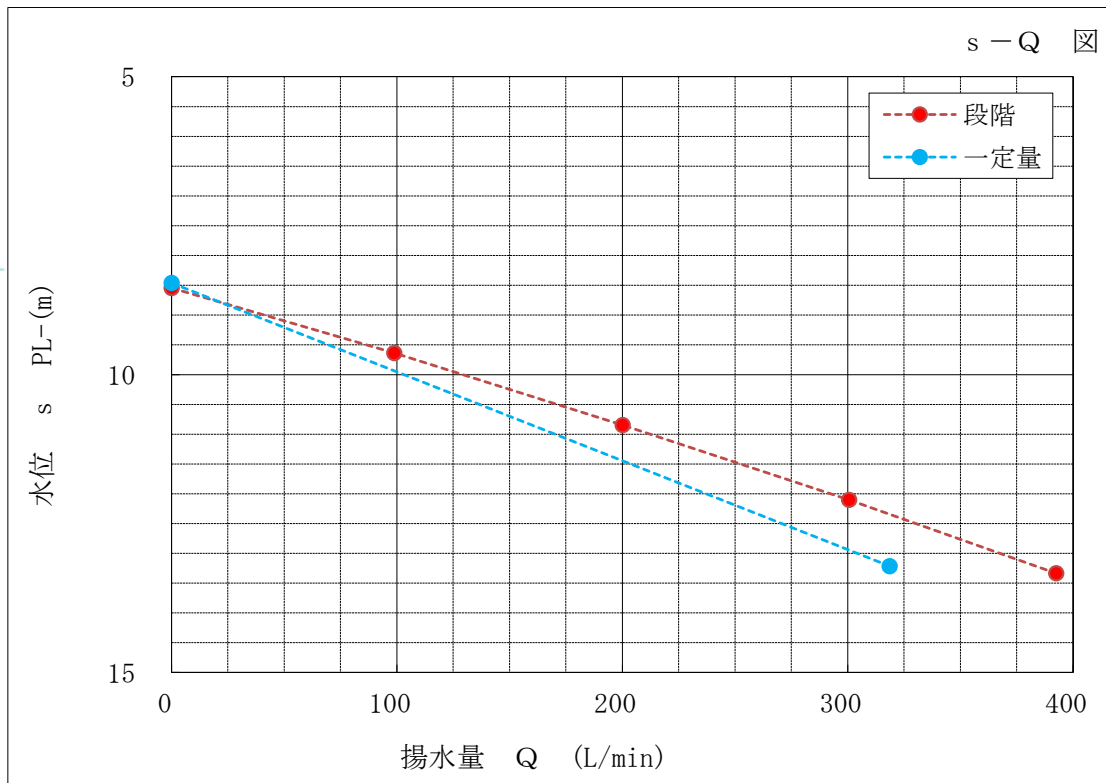
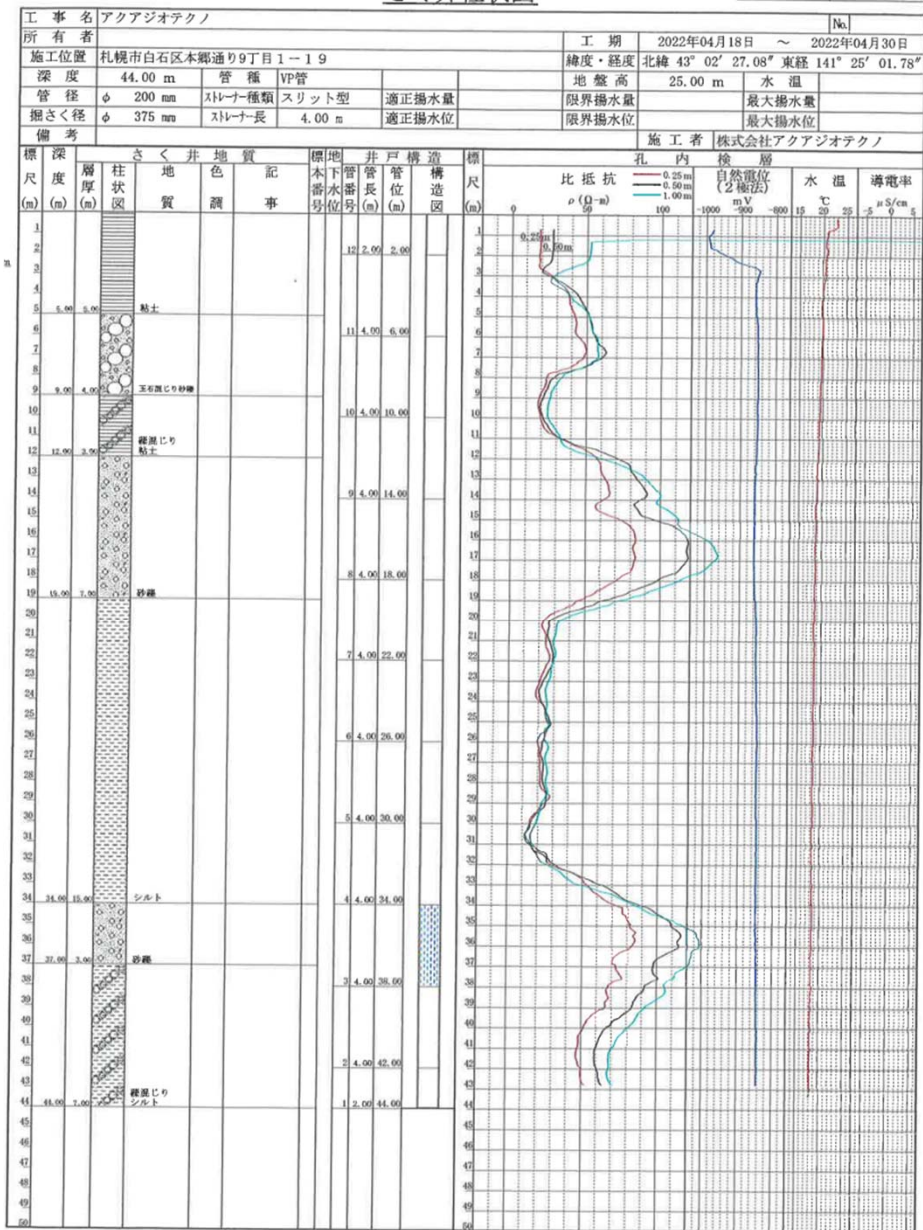


# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

## アクアジオテクノ本社ビル 井戸柱状図・水位s-揚水量Q特性

さく井柱状図

ボーリングNo. 0000000#029



試験名	揚水量 (L/min)	動水位 PL-(m)	水位標高 (m)	水位変動量 (m)	比湧出量 (L/min/m)	温度 (°C)	電導度 (mS/m)	時間 (min)
初期水位	-	8.545	-	-	-	-	-	-
1段階目	98.9	9.634	-	1.089	90.8	11.2	15.3	120
2段階目	200.2	10.847	-	2.302	87.0	11.1	14.3	120
3段階目	300.6	12.103	-	3.558	84.5	11.0	13.9	120
4段階目	392.5	13.336	-	4.791	81.9	0.0	0.0	120
初期水位	-	8.464	-	-	-	-	-	-
一定量	318.6	13.213	-	4.749	67.1	11.1	13.88	360
回復	-	9.092	-	0.628	-	-	-	60

# 4. オープンループ方式導入計画の留意点

## アクアジオテクノ本社ビル 水質分析結果

件名	新設井戸No.2さく井工事				
採水場所	No.2井戸	(住所) 札幌市白石区本郷通9丁目北4-5			
採水者	高橋昂甫	(所属) (株) アクアジオテクノ			
採水日時	2023年3月17日 14時45分	天候	晴れ	水温	11.3 °C
種別	地下水	遊離残留塩素	— mg/L	気温	3 °C

2023年3月17日 依頼された上記試料の検査結果は下記のとおりです。

No.	項目	基準値	検査結果
1	一般細菌	1mL中100個以下	0 個/mL
2	大腸菌	検出されないこと	不検出
3	カドミウム及びその化合物	0.003 mg/L以下	0.0003 mg/L 未満
4	水銀及びその化合物	0.0005 mg/L以下	0.00005 mg/L 未満
5	セレン及びその化合物	0.01 mg/L以下	0.001 mg/L 未満
6	鉛及びその化合物	0.01 mg/L以下	0.001 mg/L 未満
7	ヒ素及びその化合物	0.01 mg/L以下	0.004 mg/L
8	六価クロム化合物	0.02 mg/L以下	0.002 mg/L 未満
9	シアン化物イオン及び塩化シアン	0.01 mg/L以下	0.001 mg/L 未満
10	硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10 mg/L以下	0.48 mg/L
11	亜硝酸態窒素	0.04 mg/L以下	0.004 mg/L 未満
12	フッ素及びその化合物	0.8 mg/L以下	0.11 mg/L
13	ほう素及びその化合物	1.0 mg/L以下	0.1 mg/L 未満
14	四塩化炭素	0.002 mg/L以下	0.0002 mg/L 未満
15	1,4-ジオキサン	0.05 mg/L以下	0.005 mg/L 未満
16	シス,トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.04 mg/L以下	0.001 mg/L 未満
17	ジクロロメタン	0.02 mg/L以下	0.001 mg/L 未満
18	テトラクロロエチレン	0.01 mg/L以下	0.001 mg/L 未満
19	トリクロロエチレン	0.01 mg/L以下	0.001 mg/L 未満
20	ベンゼン	0.01 mg/L以下	0.001 mg/L 未満
21	塩素酸	0.6 mg/L以下	— mg/L
22	クロロ酢酸	0.02 mg/L以下	— mg/L
23	クロロホルム	0.06 mg/L以下	— mg/L
24	ジクロロ酢酸	0.03 mg/L以下	— mg/L
25	ジブロモクロロメタン	0.1 mg/L以下	— mg/L
26	臭素酸	0.01 mg/L以下	— mg/L
27	トリクロロ酢酸	0.03 mg/L以下	— mg/L
28	ブロモジクロロメタン	0.03 mg/L以下	— mg/L
29	ブロモホルム	0.09 mg/L以下	— mg/L
30	総トリハロメタン	0.1 mg/L以下	— mg/L

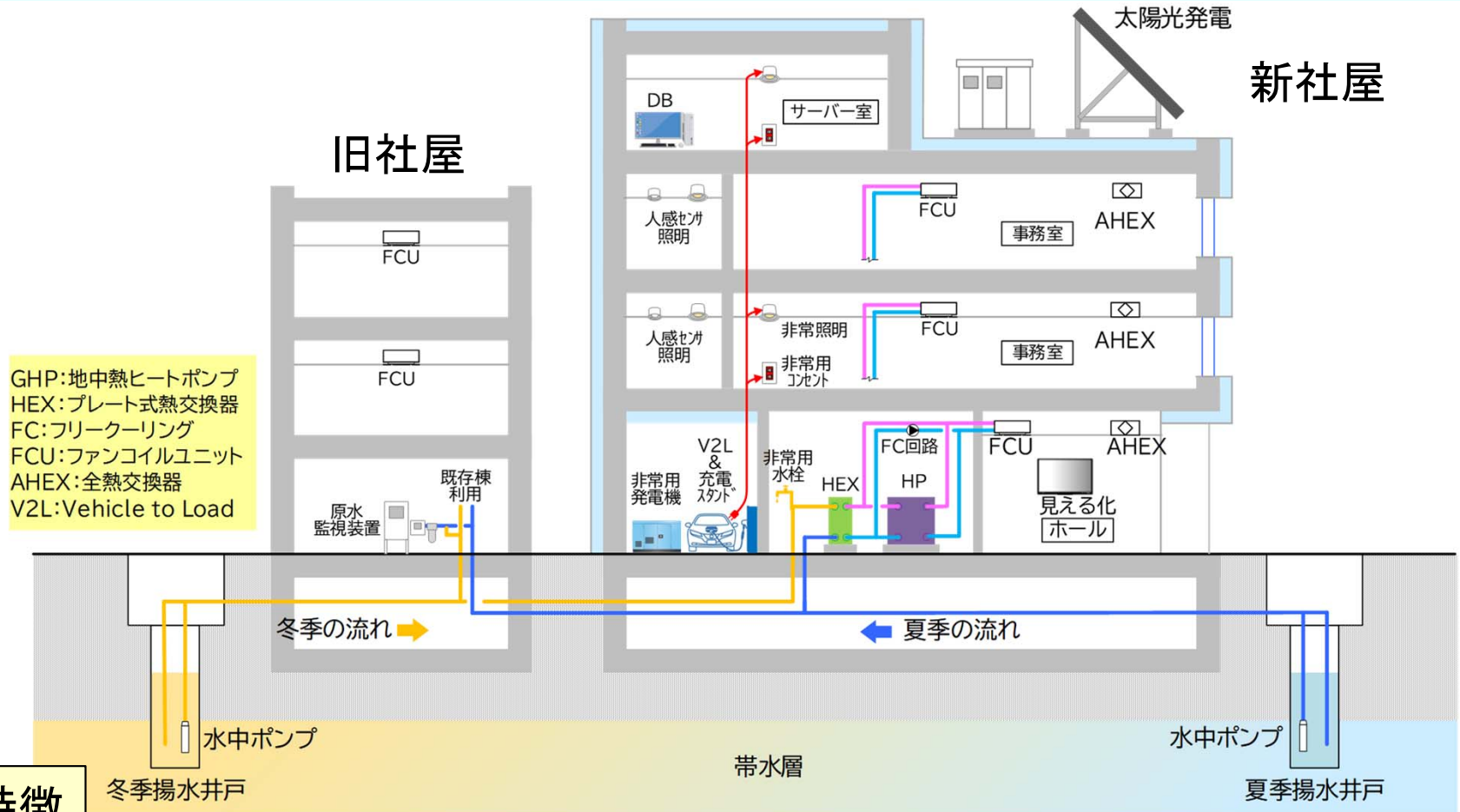
判定：検査項目については水質基準に適合しています。

検査担当者 理化学担当：扇谷 学 細菌担当：青井 慎二郎

No.	項目	基準値	検査結果
31	ホルムアルデヒド	0.08 mg/L以下	— mg/L
32	亜鉛及びその化合物	1.0 mg/L以下	0.01 mg/L 未満
33	アルミニウム及びその化合物	0.2 mg/L以下	0.02 mg/L 未満
34	鉄及びその化合物	0.3 mg/L以下	0.04 mg/L
35	銅及びその化合物	1.0 mg/L以下	0.01 mg/L 未満
36	ナトリウム及びその化合物	200 mg/L以下	7.6 mg/L
37	マンガン及びその化合物	0.05 mg/L以下	0.024 mg/L
38	塩化物イオン	200 mg/L以下	10 mg/L
39	カルシウム・マグネシウム等(硬度)	300 mg/L以下	48 mg/L
40	蒸発残留物	500 mg/L以下	130 mg/L
41	陰イオン界面活性剤	0.2 mg/L以下	0.02 mg/L 未満
42	ジオスミン	0.00001 mg/L以下	0.000001 mg/L 未満
43	2-メチルイソボルネオール	0.00001 mg/L以下	0.000001 mg/L 未満
44	非イオン界面活性剤	0.02 mg/L以下	0.005 mg/L 未満
45	フェノール類	0.005 mg/L以下	0.0005 mg/L 未満
46	有機物(TOC)	3 mg/L以下	0.3 mg/L 未満
47	pH値	5.8以上8.6以下	7.2
48	味	異常でないこと	異常なし
49	臭気	異常でないこと	異常なし
50	色度	5 度以下	0.3 度
51	濁度	2 度以下	0.1 度 未満
52	アンモニア態窒素	— mg/L以下	0.02 mg/L 未満
	以下余白		

No.1～No.51の基準値は、平成15年厚生労働省令第101号による(水道法)。

# 5. アクアジオテクノの地下水熱利用システム



## 本システムの特徴

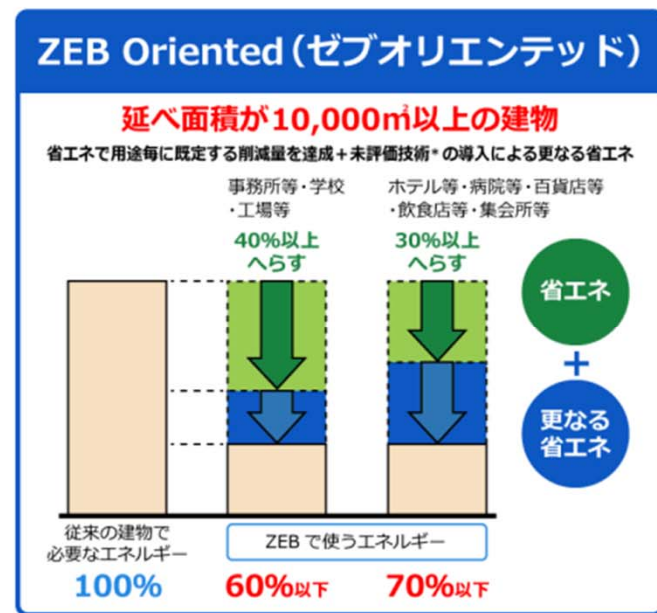
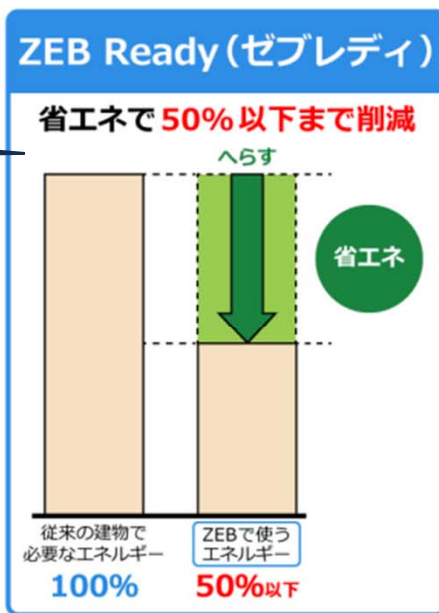
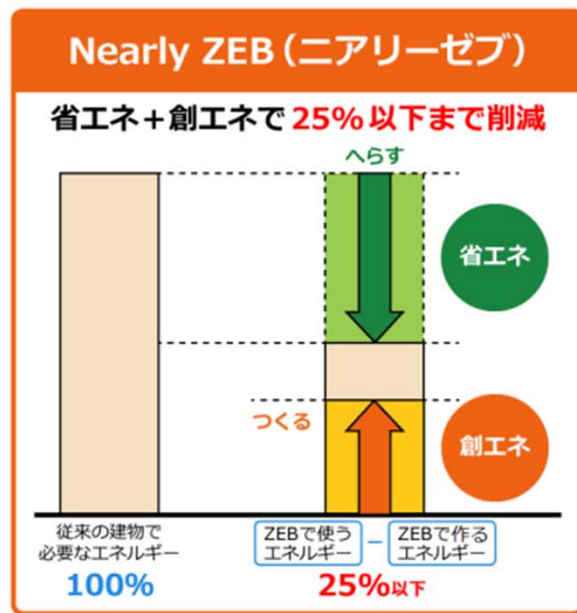
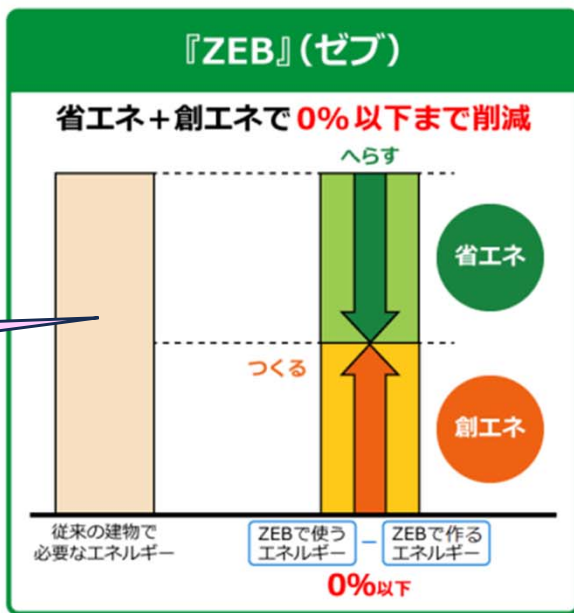
- オープンループ方式なので熱収支バランスの崩れによる効率低下の懸念がない
- 帯水層蓄熱 (Aquifer Thermal Energy Storage) による熱利用効率向上
- 浅井戸 (口径200mm × 深度42m) を熱源とすることによる初期コストの低減
- 災害時の防災井戸としての機能確保 (外部接続発電機の給電による)
- フロア別小型ヒートポンプによる省エネ運転
- 夏季のフリークーリングによる超省エネ運転
- システム省エネ効果及び井戸 (水位・水量・水温・水質) の「見える化」の導入による最適運用
- ゼロエネルギービルディング (ZEB) による熱負荷抑制

# 6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術

## ZEBの定量的な定義

従来の建物で必要なエネルギー

ZEBは ZEB Ready



名称	定義
『ZEB』	年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物のこと。
Nearly ZEB	『ZEB』に限りなく近い建築物として、ZEB Readyの要件を満たしつつ、再生可能エネルギーにより年間の一次エネルギー消費量をゼロに近付けた建築物のこと。
ZEB Ready	『ZEB』を見据えた先進建築物として、外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備えた建築物のこと。
ZEB Oriented	ZEB Readyを見据えた建築物として、外皮の高性能化及び高効率な省エネルギー設備に加え、更なる省エネルギーの実現に向けた措置を講じた建築物のこと。

\*WEBPROにおいて現時点で評価されていない技術



# 6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術

## 建物概要とZEB導入技術



### 建物概要

構造：鉄筋コンクリート造  
階数：地上4階  
延床面積：597m<sup>2</sup>  
竣工：2023年4月  
認証：建築物省エネルギー性能表示制度 (BELS)  
最高ランク☆☆☆☆☆獲得  
ZEB認証 (ZEB Ready)



### ZEB導入技術

#### 再生可能エネルギー活用

- ・地下水熱利用熱源システム (ATES)
- ・太陽光発電システム

#### アクティブ手法

- ・人感センサ照明制御

#### パッシブ手法

- ・RC外断熱
- ・Low-e複層ガラス (空気層12mm)

#### その他機能

- ・V2L、外部発電機による災害時機能確保



太陽光発電



人感センサ照明



外断熱



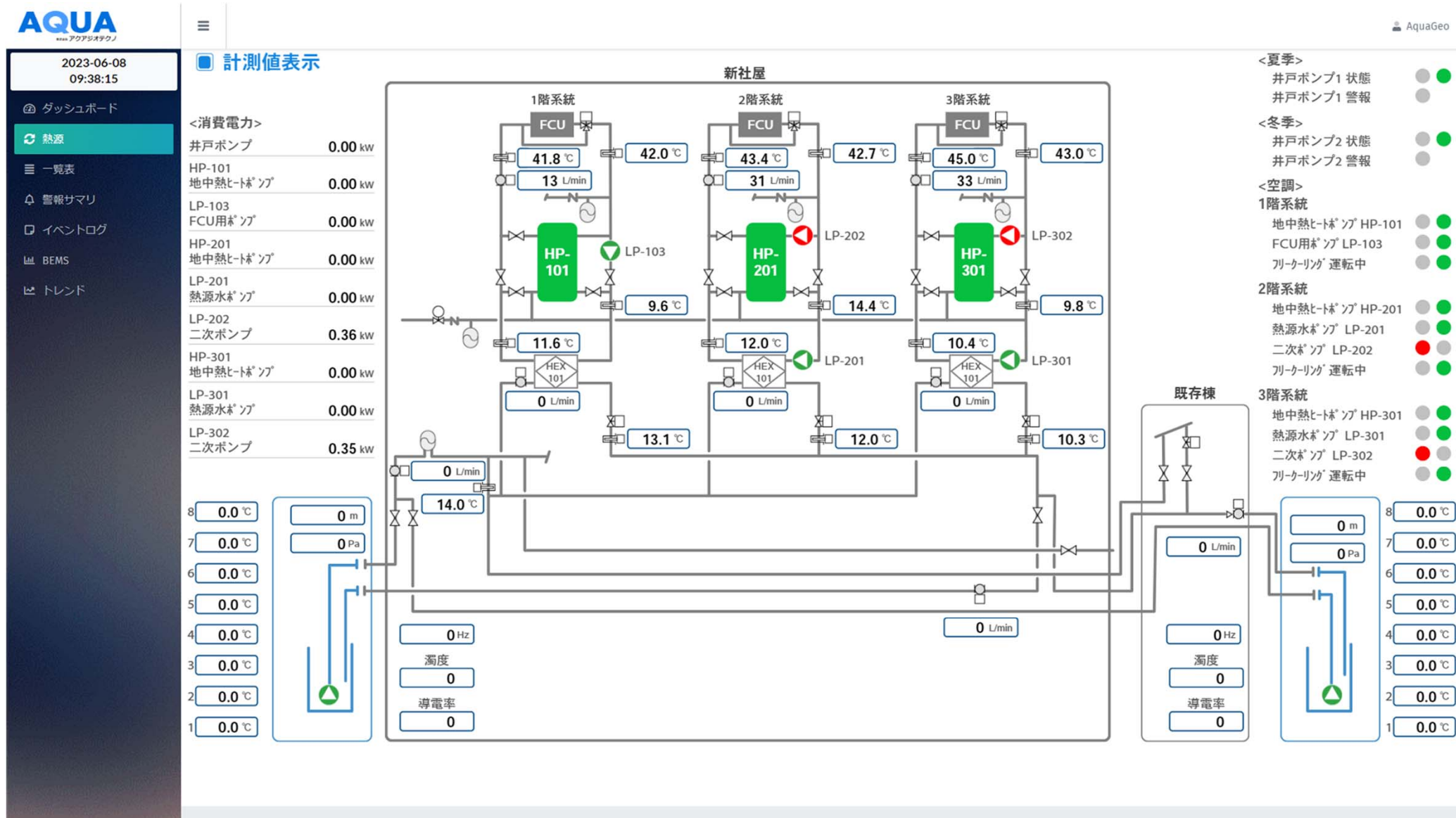
Low-e複層ガラス



EVスタンド

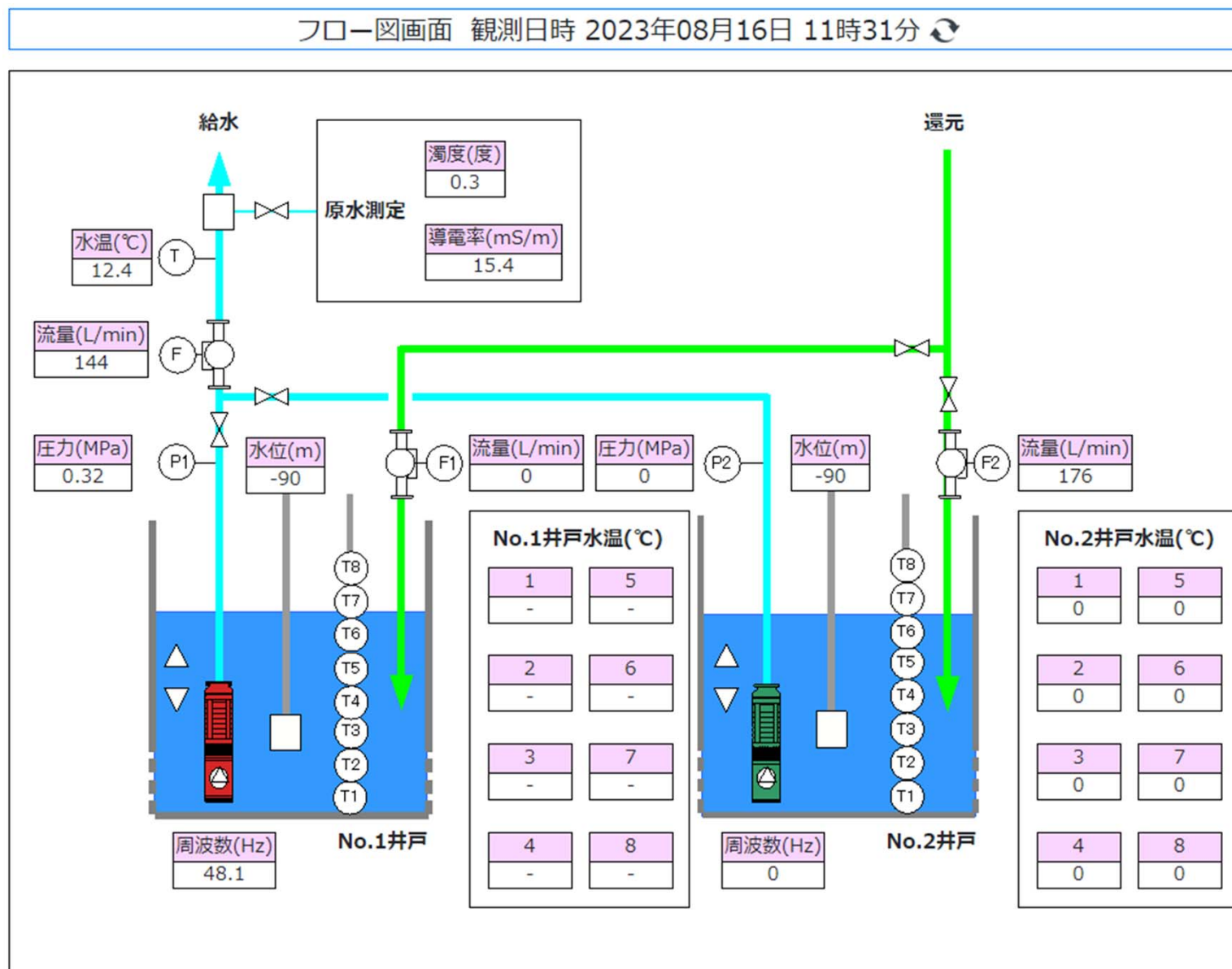
# 6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術

## システム省エネ効果の見える化



# 6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術

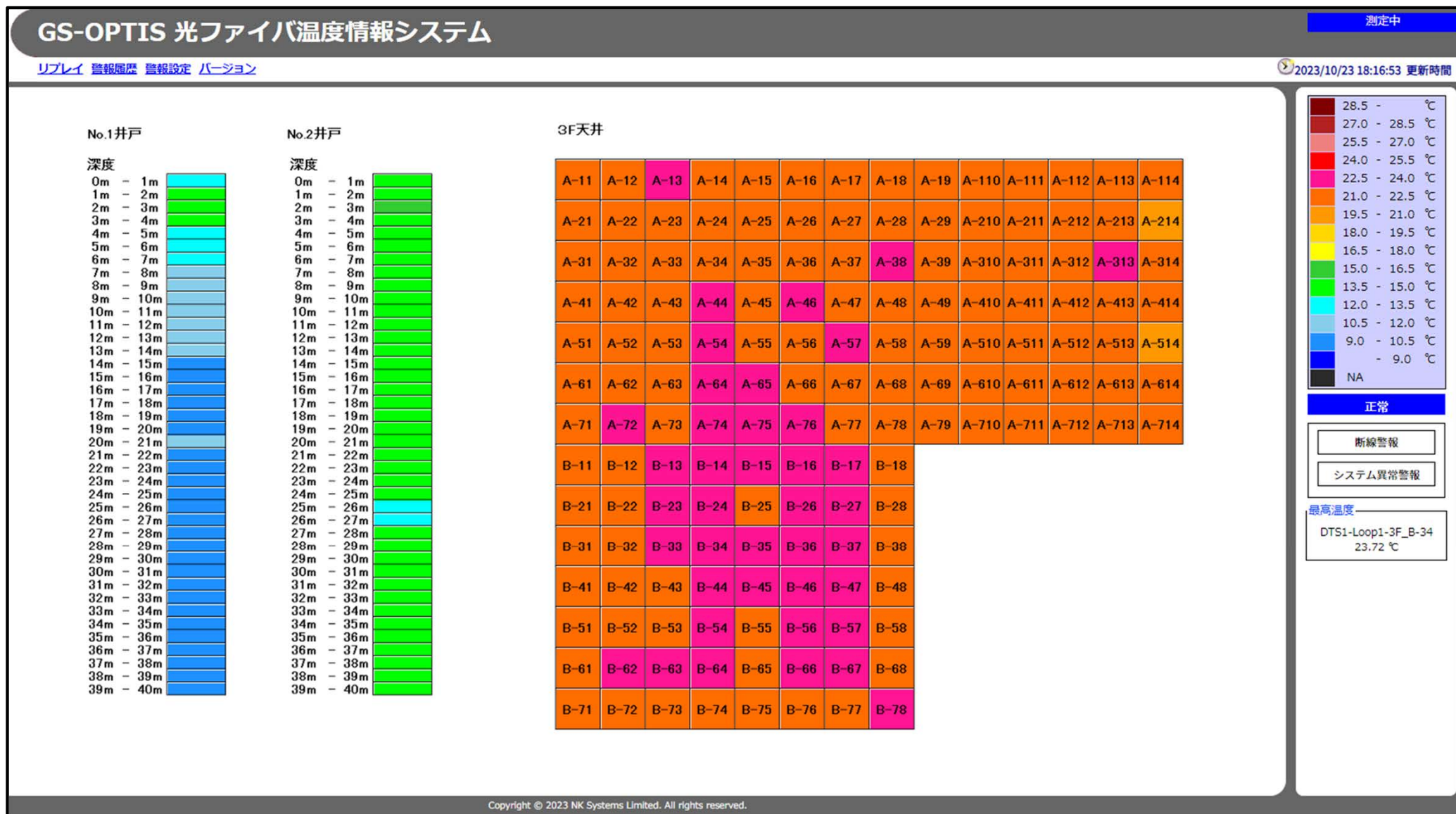
## 地下水の水位・水量・水質・水温の見える化



井戸内の温度は光ファイバーできめ細かく測定

# 6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術

## 井戸内・室内温度の見える化

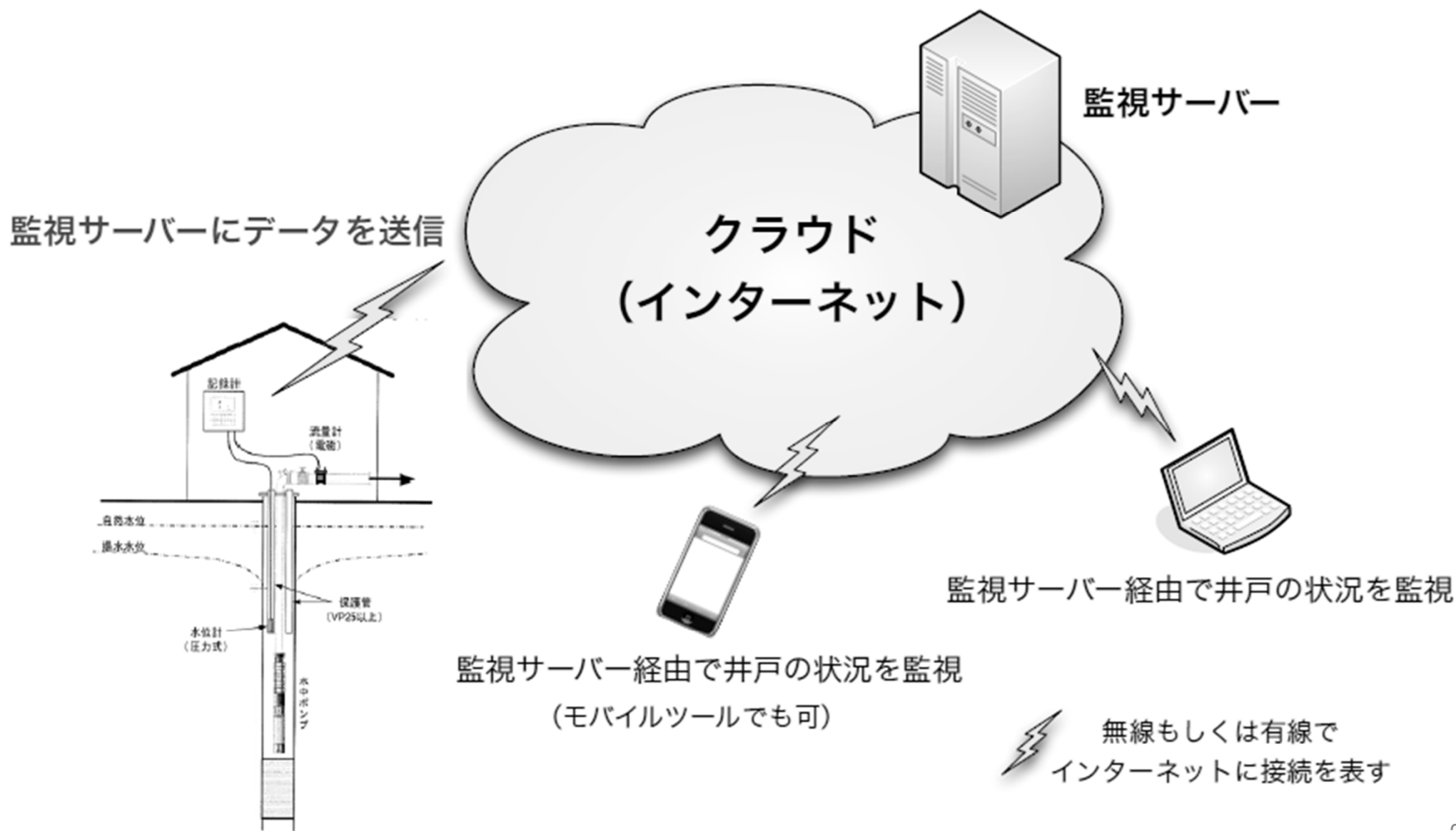


室内の温度も光ファイバーできめ細かく測定

# 6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術

地下水の水位・水量・水質・水温の見える化

※参考資料 井戸監視システム



# 6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術

地下水の水位・水量・水質・水温の見える化

※参考資料 井戸維持管理の委託について

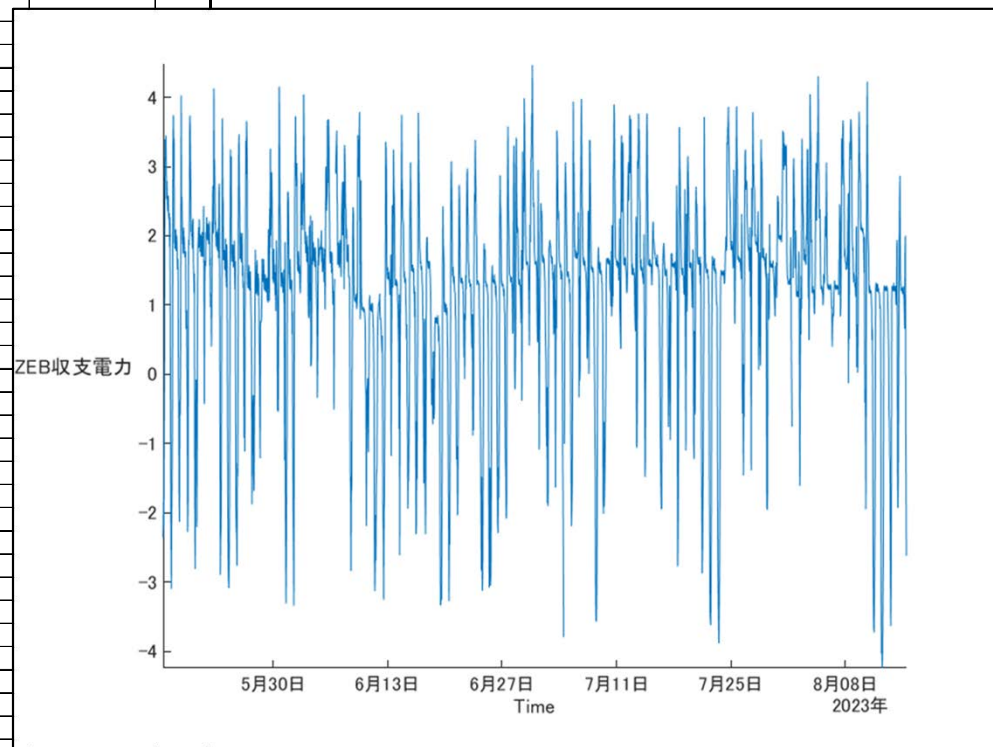
## 井戸維持管理委託契約の内容(事例)

項目	内容
日常点検	井戸稼働記録をインターネットに接続し、監視サーバーにて常時監視。
緊急対応	緊急対応体制の確立
現地 定期点検 (4回/年)	1.水中ポンプの絶縁抵抗測定・電流値・電圧値・ポンプ圧・締切圧・地上部目視・INV周波数 2.井戸の静水位・動水位・揚水量・揚水時間 3.計装設備の動作点検・調整
報告書	現況報告4回/年、報告書1回/年

# 6. ZEB (Zero Energy Building) を構成する要素技術

## 測定データ

HYD_AC_195	HYD_PV_1953	Ido_PV_1961	OutSide_1950	PM_AC_1935	PM_PV_1932	ZEB_AC_1967	ZEB_PV_1964	
1階系統2次側積算熱量	熱源水往温度(1階系統)	井戸濁度	外気温度	受電電力量(新+既)	受電電力量	1階熱源電力量	1階熱源電力量	
2階系統2次側積算熱量	熱源水往温度(2階系統)	井戸導電率	日射量	電灯盤電力量(新+既)	受電電圧	二次ポンプ電力量	二次ポンプ電力量	
3階系統2次側積算熱量	熱源水往温度(3階系統)	井戸No. 1濁度		動力盤電力量(新+既)	受電電流	1階熱源全体電力量	1階熱源全体電力量	
井水積算流量(全体)	熱源水還温度(1階系統)	井戸No. 1導電率		新棟電灯盤電力量	受電電率	1階空調全体電力量	1階空調全体電力量	
井水積算流量(新棟空調用)	熱源水還温度(2階系統)	井戸No. 1ポンプ1NV周波数		既存棟電灯盤電力量	電灯盤電力量	全館空調電力量	全館空調電力量	
井戸空調利用積算熱量	熱源水還温度(3階系統)	井戸No. 1水位		新棟動力盤電力量	電灯盤電圧	全館換気電力量	全館換気電力量	
1階系統1次側積算熱量	冷温水往温度(1階系統)	井戸No. 1還元瞬時流量		既存棟動力盤電力量	電灯盤電流	全館照明電力量	全館照明電力量	
2階系統1次側積算熱量	冷温水往温度(2階系統)	井戸No. 1圧力		4階系統電力量	電灯盤力率	全館給湯電力量	全館給湯電力量	
3階系統1次側積算熱量	冷温水往温度(3階系統)	井戸No. 1温度1(GL-35m)		4階非常用装置類電力量	動力版電力量	全館コンセント電力量	全館コンセント電力量	
	冷温水還温度(1階系統)	井戸No. 1温度2(GL-30m)		4階誘導灯電力量	動力版電圧	全館その他電力量	全館その他電力量	
	冷温水還温度(2階系統)	井戸No. 1温度3(GL-25m)		4階照明電力量	動力版電流	ZEB収支電力量	ZEB収支電力量	
	冷温水還温度(3階系統)	井戸No. 1温度4(GL-20m)		4階コンセント電力量	動力版力率	建物全体収支電力量	建物全体収支電力量	
	冷温水流量(1階系統)	井戸No. 1温度5(GL-15m)		4階換気電力量	新棟電灯盤電力量	太陽光発電電力量	太陽光発電電力量	
	冷温水流量(2階系統)	井戸No. 1温度6(GL-10m)		4階パワコン電力量	既存棟電灯盤電力量	1階衛生電力量	1階衛生電力量	
	冷温水流量(3階系統)	井戸No. 1温度7(GL-5m)		3階非常用装置類電力量	新棟動力盤電力量			
	1階系統2次側瞬時熱量	井戸No. 1温度8(井戸ビット内)		3階照明電力量	既存棟動力盤電力量			
	2階系統2次側瞬時熱量	井戸No. 2濁度		3階衛生電力量	4階系統電力量			
	3階系統2次側瞬時熱量	井戸No. 2導電率		3階コンセント電力量	4階非常用装置類電力量			
	井水往温度	井戸No. 2ポンプ1NV周波数		3階空調電力量	4階誘導灯電力量			
	井水還温度(1階系統)	井戸No. 2水位		3階換気電力量	4階照明電力量			
	井水還温度(2階系統)	井戸No. 2還元瞬時流量		2階非常用装置類電力量	4階コンセント電力量			
	井水還温度(3階系統)	井戸No. 2圧力		2階照明電力量	4階換気電力量			
	井水還温度(新棟空調系統)	井戸No. 2温度1(GL-35m)		2階衛生電力量	4階パワコン電力量			
a		井戸No. 2温度2(GL-30m)		2階コンセント電力量	3階非常用装置類電力量			
b		井戸No. 2温度3(GL-25m)		2階空調電力量	3階照明2電力量			
c		井戸No. 2温度4(GL-20m)		2階換気電力量	3階衛生電力量			
d		井戸No. 2温度5(GL-15m)		2階その他電力量	3階コンセント電力量			
	井水流量(新棟空調用)	井戸No. 2温度6(GL-10m)		1階非常用装置類電力量	3階空調電力量			
	井戸空調利用瞬時熱量	井戸No. 2温度7(GL-5m)		1階照明1電力量	3階換気電力量			
	1階系統1次側瞬時熱量	井戸No. 2温度8(井戸ビット内)		1階照明2電力量	2階非常用装置類電力量			
	2階系統1次側瞬時熱量			1階コンセント電力量	2階照明電力量			
	3階系統1次側瞬時熱量			1階空調電力量	2階衛生電力量			
	HP-101 COP			1階換気電力量	2階コンセント電力量			
	HP-201 COP			1階その他電力量	2階空調電力量			
	HP-301 COP			1階換気(有圧扇)電力量	2階換気電力量			
	1階系統システムCOP			HP-101電力量	2階その他電力量			
	2階系統システムCOP			HP-201電力量	1階非常用装置類電力量			
	3階系統システムCOP			HP-301電力量	1階照明1電力量			
	全系統システムCOP			LP-103電力量	1階照明2電力量			
	井水流量(1階空調系統)			LP-201電力量	1階コンセント電力量			
	井水流量(2階空調系統)			LP-202電力量	1階空調電力量			
	井水流量(3階空調系統)			LP-301電力量	1階換気電力量			
	井水流量(全体)			LP-302電力量	1階その他電力量			
				井戸ポンプ1NV制御盤電力量	1階換気(有圧扇)電力量			
				塩素注入装置電力量	HP-101電力量			
					HP-201電力量			
					HP-301電力量			
					LP-103電力量			
					LP-201電力量			
					LP-202電力量			
					LP-301電力量			
					LP-302電力量			
					井戸ポンプ1NV制御盤電力量			
					塩素注入装置電力量			
9	43	30	2	45	54	14	14	211



ZEB収支電力

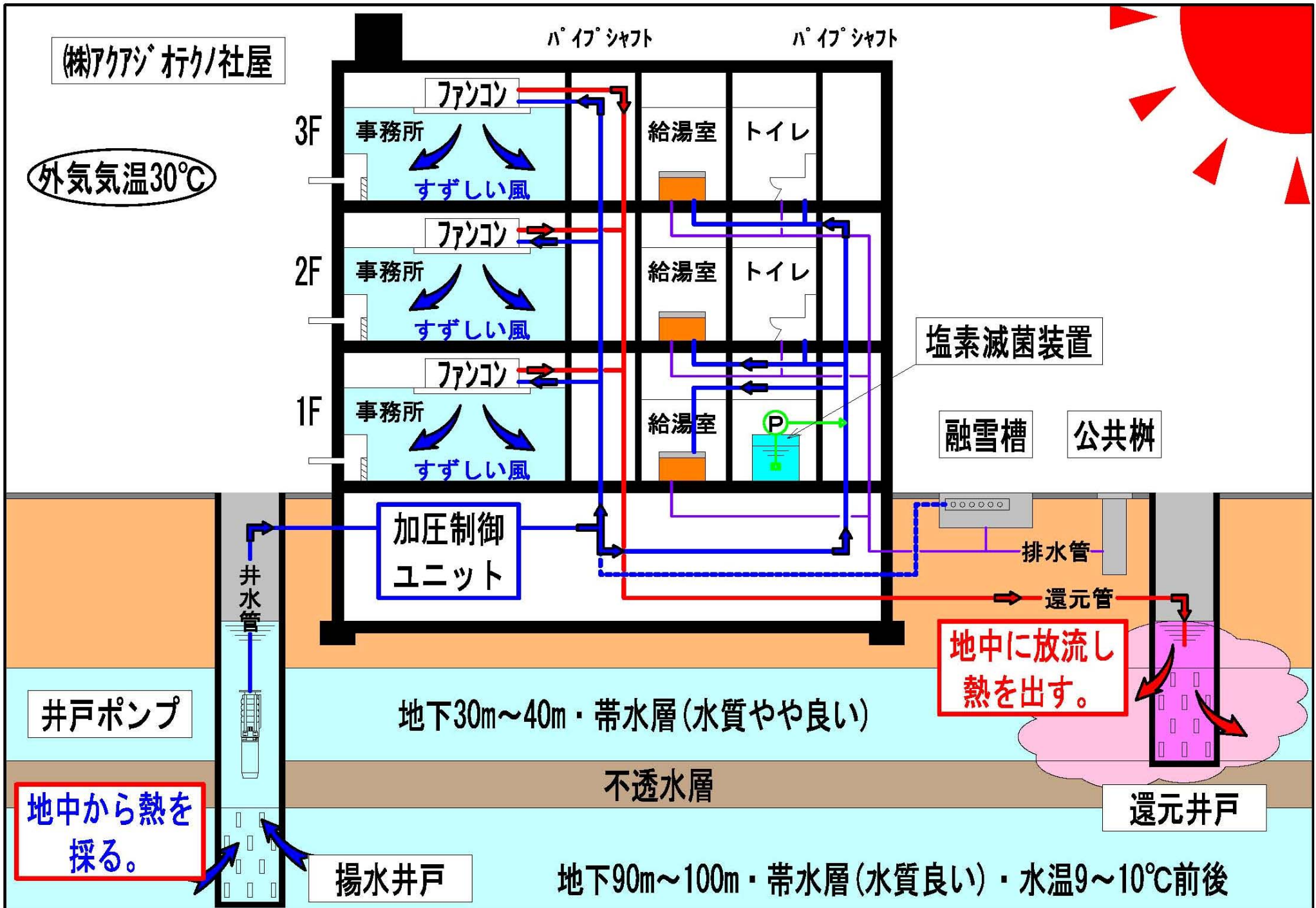
# 7. 旧社屋地下水利用システム(平成14年施工)

## システム概要

- 施設規模  
鉄骨造 3階建 延床面積 270m<sup>2</sup>
- 井戸方式  
揚水井 : 口径150A × 104m  
還元井 : 口径150A × 40m
- 利用期間  
通年(飲料、生活用水利用)  
別紙システム図参照
- 夏季の冷房利用(ファンコイルユニットによる直接利用)
- 冬季の融雪利用



# 7. 旧社屋地下水利用システム(平成14年施工)



# 7. 旧社屋地下水利用システム(平成14年施工)

## 揚水システム

- 揚水システムは配管圧力制御方式で、配管内の圧力の増減によって水中ポンプが運転停止する。
- インバーターを併用した、圧力一定の回転制御システムであるので、揚水量に見合った電気代となるので、省エネ効果が高い。



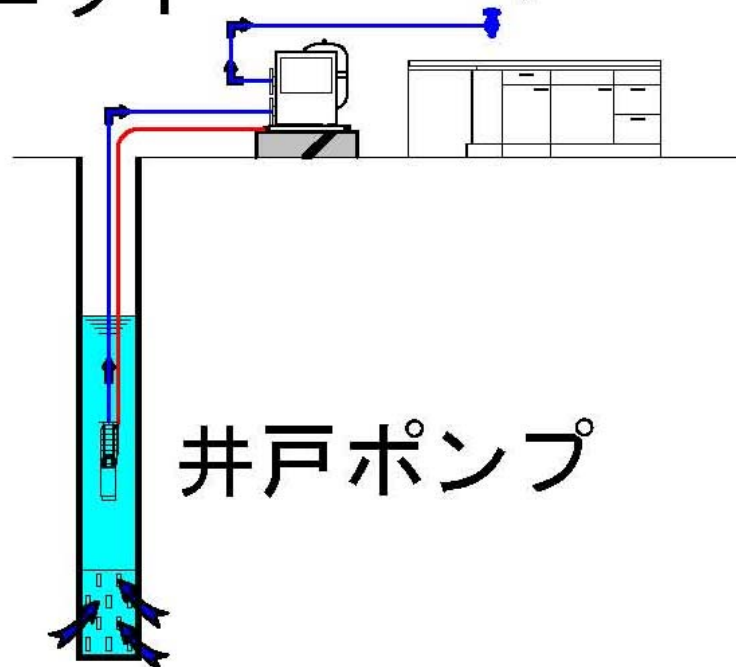
圧カタンク



電磁流量計

加圧制御  
ユニット

カラン

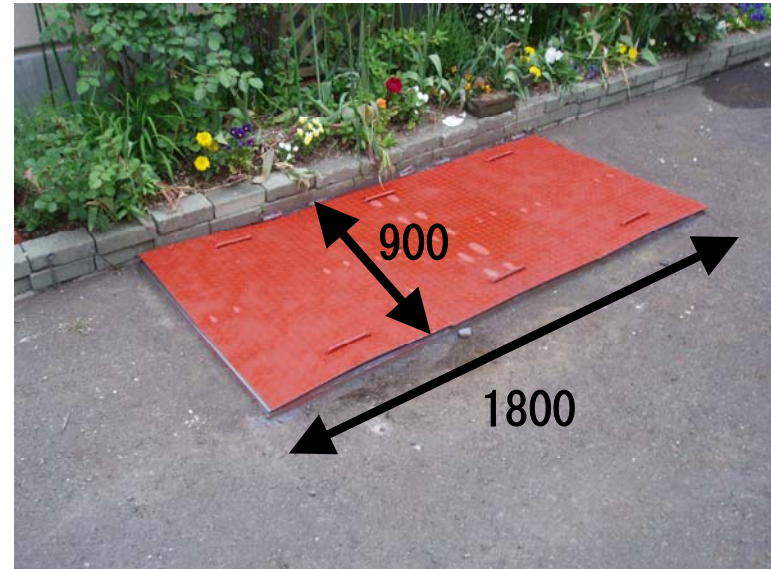


インバーター盤

# 7. 旧社屋地下水利用システム(平成14年施工)

## 融雪槽

- 札幌市は、融雪のための下水道排水は無料



# 7. 旧社屋地下水利用システム(平成14年施工)

## 導入の効果(平成15年試算)

### ・飲雑用水利用比較一覧表

※平均1ヶ月使用量を23.3m<sup>3</sup>/月とした。(下水道料金は除く)

項目	井戸水		上水道	
	内容	金額	内容	金額
水道基本料金		0 円/月	25mm	4,300 円/月
水道使用料金		0 円/月	13.3 m <sup>3</sup> × 265 円/m <sup>3</sup>	3,525 円/月
薬品(塩素滅菌)	0 本/月 × 2000 円	0 円/月		0 円/月
電気基本料金	冷房・融雪に含む	0 円/月		0 円/月
電気使用料金	101.4 kwh × 11.6 円/kwh	1,176 円/月		0 円/月
小計		1,176 円/月		7,825 円/月
年間(1)	使用期間 12 ヶ月	14,115 円/年	使用期間 12 ヶ月	93,894 円/年

100%

15%

### ・冷房用利用比較一覧

※エアコンの想定については、同等の能力機種で選定した。

( エアコン 13.6 kw × 日稼動時間 9 時間/日 × 日数 25 日/月 × 力率 80%

項目	井戸水		空冷式パッケージ	
	内容	金額	内容	金額
電気基本料金	5 kw × 1228.5 円/月	6,143 円/月	18 kw × 1228.5 円/月	22,113 円/月
電気使用料金	350 kwh × 11.6 円/kwh	4,060 円/月	2448 kwh × 11.6 円/kwh	28,397 円/月
小計		10,203 円/月		50,510 円/月
年間(2)	使用期間 3 ヶ月	30,608 円/年	使用期間 3 ヶ月	151,529 円/年

100%

20%

### ・融雪用利用比較一覧

項目	井戸水		外注	
	内容	金額	内容	金額
電気基本料金	5 kw × 1228.5 円/月	6,143 円/月		0 円/月
電気使用料金	57.5 kwh × 11.6 円/kwh	667 円/月		0 円/月
除雪作業費		0 円/月	1 ヶ月 × 30000 円/月	30,000 円/月
小計		6,810 円/月		30,000 円/月
年間(3)	使用期間 3 ヶ月	20,429 円/年	使用期間 3 ヶ月	90,000 円/年

100%

23%

ランニングコスト合計(年間(1)+年間(2)+年間(3))	65,151 円/年	335,423 円/年
-------------------------------	------------	-------------

19%

100%

差額  
270,273 円/年

## 8. おわりに

- オープンループ方式導入計画の留意点として、地下水を揚水して利用するシステムなので、地下水障害および機械設備障害について多面的に検討することが求められています。
- 現在地下水の保全技術は進歩しており、更に弊社水源の水質は極めて良好なので、障害の発生の可能性は極めて低いと判断されます。
- 今後は、弊社の見える化観測システムで、省エネ効果(省エネルギーやCO<sub>2</sub>排出量削減効果)、地下水・地盤環境への負荷(環境負荷の発生)や地下水障害および機械設備障害の発生状況を確認することを目的として、モニタリングを継続していく所存です。
- 結果は、改善点を加えて定期的にご報告させて頂きたいと考えております。
- 最後に、弊社地下水熱利用システム構築に当たり、多大なるご指導を頂きました金沢大学地盤工学研究室の 阪田義隆 准教授、三建設備工業株式会社技術統括本部 開発G ZEBチーム リーダー 佐藤英樹 様に、深く感謝申し上げます。

ご清聴、ありがとうございました。







## 道民の暮らしと産業振興を支えてきた 掘削の歴史とその技術

～道総研・エネ環地研の掘削の歴史、  
掘削技術に関わった調査研究と地域・産業振興～

(地独) 北海道立総合研究機構 (道総研) 産業技術環境研究本部  
エネルギー・環境・地質研究所 (エネ環地研)

専門研究員 高橋 徹哉

# 本日の講演内容

- 道総研・工ネ環地研（旧・地下資源調査所）の沿革
- 掘削技術の黎明期
- 掘削業界団体の設立と試すい研究会
- 掘削技術の発展・応用期
- 掘削技術が貢献した施策
- 調査研究事例と地域・産業振興
- 掘削技術のトピック
- おわりに　～絶やしてはいけない技術～

～道総研・工ネ環地研の沿革～

地方独立行政法人北海道立総合研究機構（略称：道総研）

2010年（平成22年）4月1日設立

■ 農業研究本部

■ 水産研究本部

■ 森林研究本部

■ ~~産業技術研究本部~~

**産業技術環境研究本部**

■ ~~環境・地質研究本部~~

■ 建築研究本部

— 食品加工研究センター

└ 工業試験場 ─ 環境エネルギー部以外

└ 環境エネルギー部

— 環境科学研究センター

└ 地質研究所

2020年（令和2年）4月1日組織改編

**エネルギー・環境・地質研究所**

Research Institute of **E**nergy, **E**nvironment and **G**eology

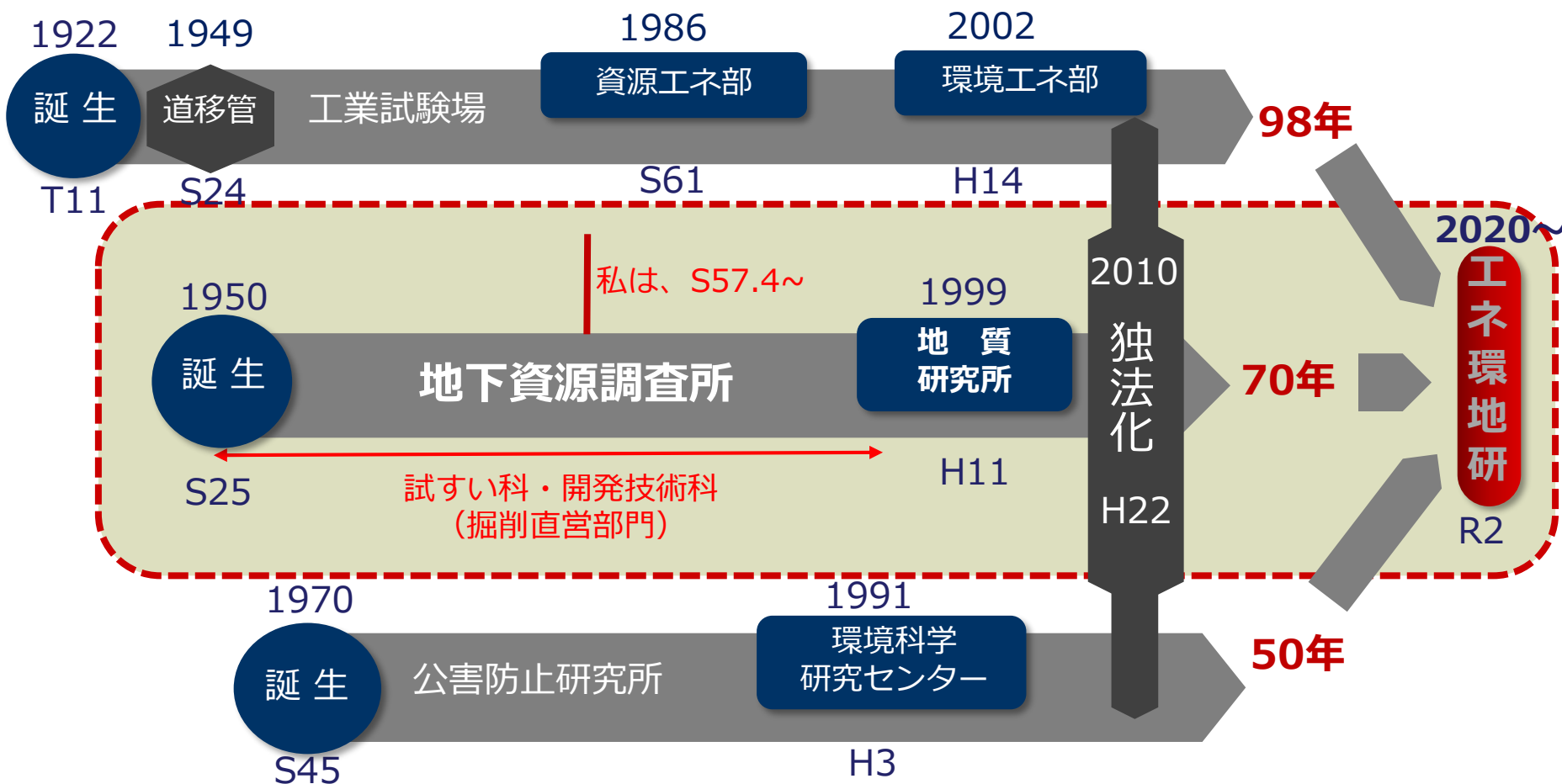
<http://www.hro.or.jp/eeg.html>

工ネ環地研と  
呼んで下さい

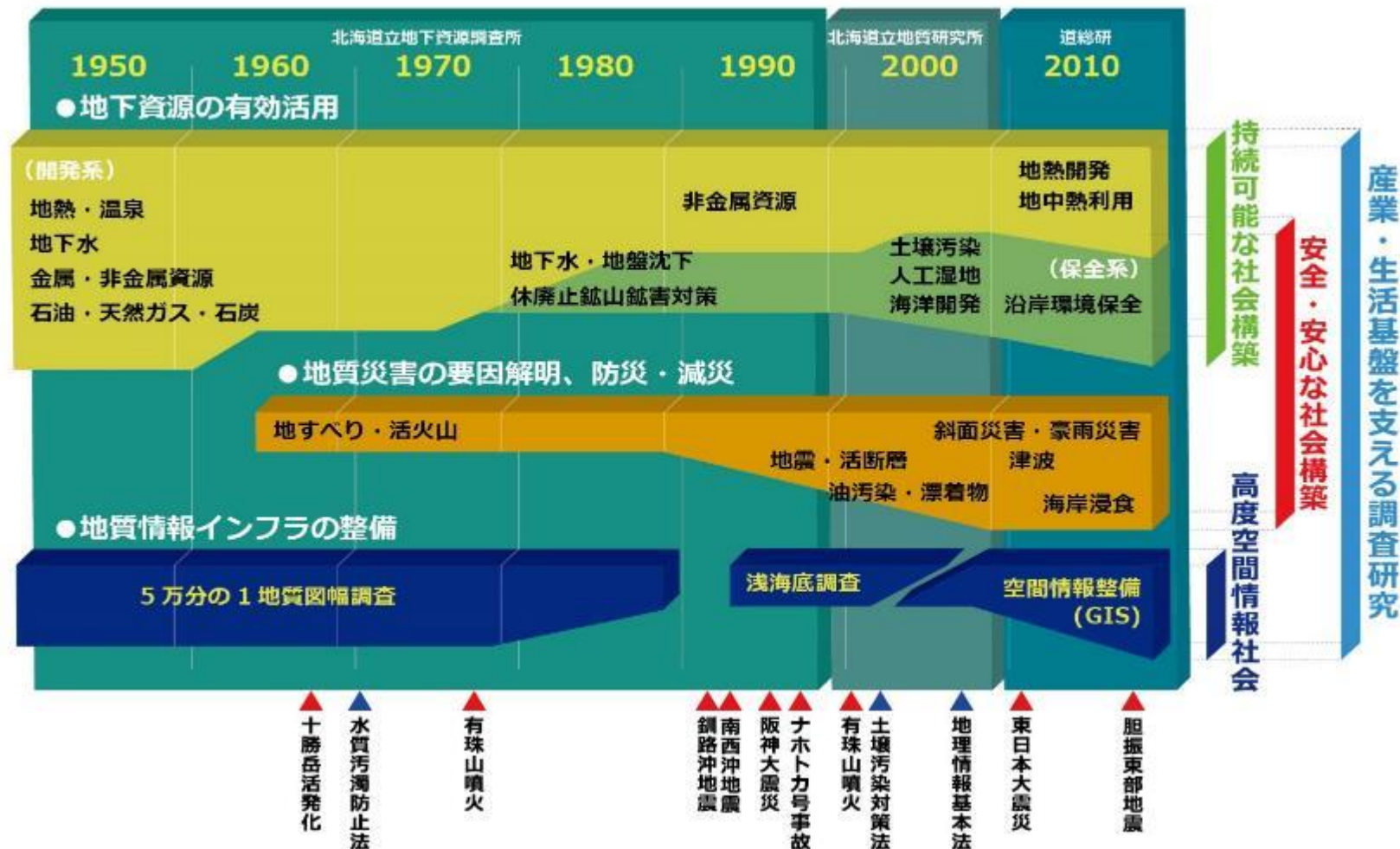


# 工ネ環地研の沿革

- 統合となった3組織は、各々が時代の要請に応じた役割の歴史を刻む
- 道総研における掘削技術の歴史は、道立地下資源調査所の誕生時から
- 北海道の掘削技術の発展は、1950年からといっても過言ではない



戦後の北海道は、広大な土地利用をはじめ、日本経済復興のために必要な地下資源開発の有望地として注目され、地質および地下資源開発を担う調査研究機関として、旧・道立地下資源調査所は誕生



- 地質を調べ、地下資源を開発・利用・保全していくためには掘削技術が必要
- 環境保全、地質防災などの研究課題対応にも、様々な掘削技術の応用が必要

# ～掘削技術の黎明期～

掘削はいつの時代から始まった？

現在の機械掘削はいつから始まった？

# 井戸の歴史と掘削技術

- ◆ 浄水目的の最古の井戸は。新石器時代の遺跡のものといわれている。
- ◆ 日本の最古の井戸は、御井神社（出雲市）の井戸、法輪寺（奈良県斑鳩町）、<sup>いかるが</sup>鹿児島県の玉の井が挙げられている。
- ◆ 空海（弘法大使）が日本で始めて井戸を作ったとも言われているが、中国（唐）で習得した井戸掘り技術を人々が広げていったのが、井戸の始まりのようです。
- 井戸の掘削技術は、手掘りの掘り抜き井戸（掘り井戸）は、紀元前1122年には中国で利用されており、日本・関東では、1720年以前から存在していた。

## 掘削井戸の登場

江戸時代中期～明治時代中期：金棒掘り工法

明治時代後期～：上総掘り

大正時代～：打ち抜き、**機械掘り**

## 掘削工法の進化

現在のボーリング機械掘り工法

（ロータリー、スピンドル、パーカッション、エアハンマーなど）



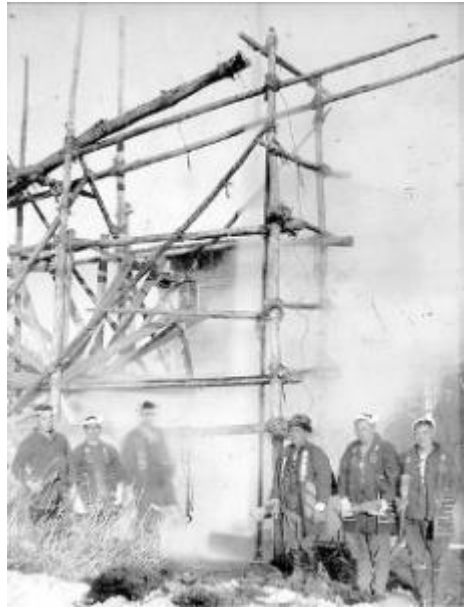
上総掘り



# 100年前の北海道では・

## しかべ間歇泉

(北海道遺産認定H30)



鹿部町および鹿部温泉観光協会ホームページより

しかべ間歇泉は大正13年(1924)、温泉を掘っているときに偶然発見されて以降、今も変わらず温泉を噴き上げ続けています。

間歇泉は約10～15分間隔で1回500リットルの温泉が15メートルほどの高さまで噴き上がります。噴き上がった温泉を利用した足湯も整備されています。

## 豊富温泉

(全国で唯一の泉質・奇跡の湯)



豊富町および豊富町観光協会ホームページより

豊富温泉は大正14年より石油の試掘を行っており、翌年大正15年(1926)5月地下約960mの地点から高圧の天然ガスと共に温泉が湧き出た、「日本最北の温泉」となりました。昭和2年頃、草葺小屋を建てて地元の人達が温泉として利用されるようになり、まもなくして、8つの旅館が開業し、豊富町に温泉街が誕生しました。当時47L/分だった湯量は、令和2年には273L/分まで増加し、泉温30℃の温泉が、ふれあいセンターや川島旅館など、ホテル・旅館等各施設に配湯され利用されています。

## 水資源（地下水）調査

～新たな生活用水、上水道の水源確保を目指して～



- 水源の確保では、安価・恒温・良質な地下水が必要となっており、
- 地下水の賦存状況の解明を求める要望が増加
- さけます孵化場、防火用水、圃場等での地下水利用の要望も増加

## 温泉調査 ～新たな温泉資源の確保を目指して～



- ✓ 憩いの場（温泉保養地等）の二一ズの高まり
- ✓ 自治体等で温泉開発の動き
- ✓ 温泉資源の調査要望の増加

- 地下資源調査所が全道各地で掘削調査を実施
- その成果により、道内では多くの温泉地が誕生  
(遠軽町瀬戸瀬温泉、壮瞥町壮瞥温泉など多数)

## 天然ガス（水溶性）調査

～新たな燃料資源の開発・利用を求めて～



- 当時は燃料資源（石油・天然ガス）の不足しており、
- 新たな水溶性天然ガスを開発・利用のニーズの高まり
- 石狩低地帯などで資源調査を実施

（岩見沢市・札幌市・長沼町・千歳市・苫小牧市）

# 試錐研究会の発足（1964年～）～掘削技術者の交流の場～

- 試錐（ボーリング）に携わる企業や技術者のレベルアップを図るとともに、技術者相互の情報交換の場として発足
- 現在は、試錐技術だけではなく、地質関連に関わるホットな話題や先進なテーマを取り上げで開催
- 例年、参加人数は200名程度、産学官が集うユニークな研究会として認知
- 協賛団体：（一社）北海道地質業協会、（一社）全国さく井協会北海道支部
- 歴史のある研究会、今年度は第62回目の節目の年を迎える
- 第60回には特別企画「これまでの10年、これからの10年」をテーマにオンラインで開催された

第59回



第50回



第30回



研究会後の交流会



# 試錐研究会の歩み（1964年～）～講演資料集の刊行～

地方独立行政法人  
北海道立総合研究機構

産業技術環境研究本部へ

エネルギー・環境・地質研究所

ホーム 基本情報 組織 研究開発 技術支援 広報 入札情報

ホーム > 研究開発 > 刊行物 > 【刊行物9】試錐研究会講演資料集

刊行物 9 (北海道立地下資源調査所・北海道立地質研究所・道総研)

## 試錐研究会講演資料集

- 書誌情報: <https://opac.std.cloud.iliswave.jp/iwjs0007opc/BB11130736>
- 発行機関
  - 第1回～第38回: 北海道立地下資源調査所
  - 第39回～第48回: 北海道立地質研究所
  - 第49回～第59回: 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 地質研究所
  - 第60回～: 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所
- 第21回以前の資料集のPDFはありません (エネ環地研図書室で閲覧できます)。

タイトル	演者	頁

[【刊行物9】試錐研究会講演資料集 | エネルギー・環境・地質研究所 | 北海道立総合研究機構 \(hro.or.jp\)](#)

講演資料集を通じて、試錐研究会の歩み、開催当時のホットな掘削関連技術を知ることができます

# ～掘削技術の発展・応用期～

# 地下資源を求めて

～掘削技術の発展・応用期～

## 地熱調査（鹿部地域）

～道内で初めて本格的な地熱資源調査を実施～

(1966～1967)

地熱エネルギーの開発・利用を通じて、地場産業の振興を目指した調査

地下に高温熱水の存在を確認

この成果を受けて、民間が地熱利用による野菜類の冬期栽培の事業化し、高温の温泉開発に成功（温度86℃・600L/min）



鹿部町内で実施されていた農業ハウス促成栽培施設（1967～）

熱水生産井：深度400m，口径200mm，1本，温度86℃，最大揚湯量600L/min  
ビニールハウス：屋根型，鉄骨，基礎コンクリート造，100～165m<sup>3</sup>を14棟 延べ1,850m<sup>2</sup>  
栽培品目：トマト，キウリ，ハクサイ，メロン，スイカ，三つ葉，ニラ，ホーレン草，小カブ，レタス他

鹿部町での地熱調査1号井の掘削（1966）  
（道立地下資源調査所）

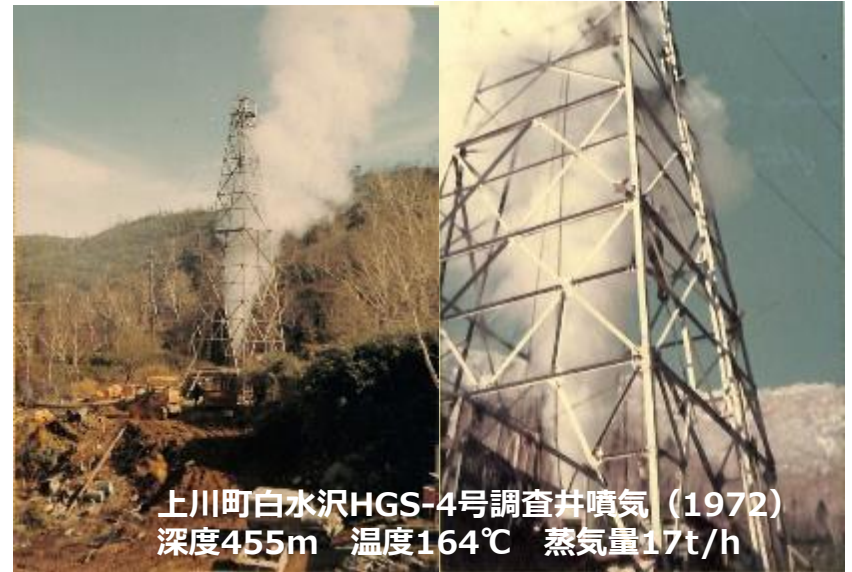
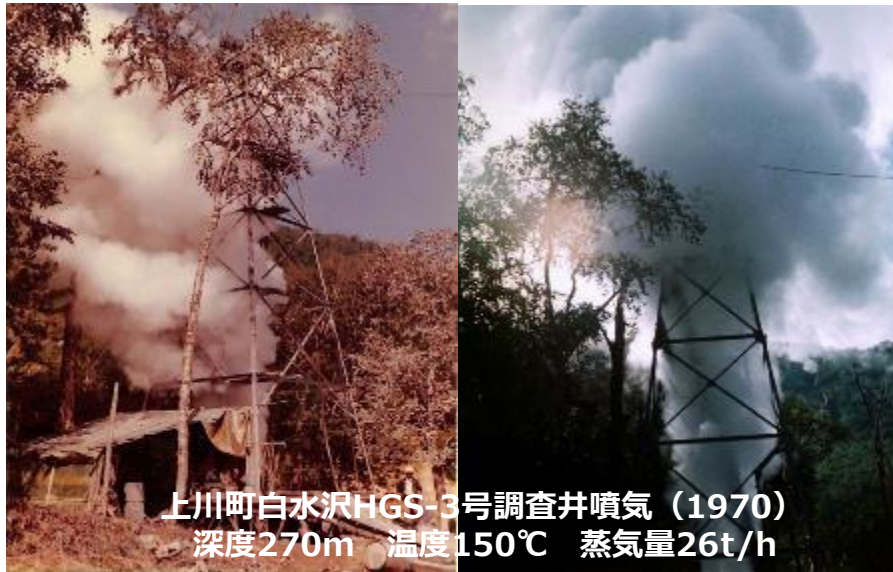
- 北海道における地熱エネルギーを利用した農業利用の先駆け
- 鹿部町における地熱・温泉熱利用の促進へ発展  
（漁組鮭孵化場・プール・老人福祉など）



## 地熱調査（上川町層雲峡白水沢地区 1968～1972）

### 地熱発電を目指した総合的な地熱資源調査

- ✓ 地質調査、物理探査、地化学探査、試錐探査、環境調査を含めた総合的調査研究を展開
- ✓ 5本の地熱調査井を掘削、道内で初めて大量の蒸気を確認、地熱発電への大きな期待
- ✓ 3号では、温度150℃、約26t/h 4号井では、温度164℃、約17t/hの蒸気量を確認
- ✓ 5号井（深度1000m）→噴気には至らず、坑底温度200℃以上を確認



- 1972年、国の方針（環境庁と通産省との覚書）
- 国立公園第1種特別地域内での地熱開発が認められず、北海道で初めての地熱発電は実現に至らず

# 地下資源を求めて ～掘削技術の発展・応用期～

## 天然ガス調査（遠別町歌越別背斜ガス田地域 1972～1975）

### 地域の天然ガス資源の開発・利用を目指した総合的な資源調査

- ✓ 掘削上の課題が多く、対策が必要な地域（異常高圧ガス・水層の存在等）
- ✓ 4坑井を掘削し、様々な課題へチャレンジ（掘削設備、掘削泥水、坑井仕上げ方法など）
- ✓ E-3号井（深度301m）、E-6号井（深度370m）でガス量、付随水（食塩泉）を確認
- ✓ ガス産出量（1,800～2,800m<sup>3</sup>/day）



➤ 遠別町旭温泉地区で地域資源（ガス&温泉）として活用

# 地下資源を求めて ～掘削技術の発展・応用期～

## 地熱調査（羅臼地域 1976～1983）

### 地熱エネルギーの多目的利用を目指した地熱資源調査

- ✓ 地質調査、物理探査、地化学探査、試錐探査、環境調査を含めた総合的調査研究を展開
- ✓ 羅臼地域の地熱構造モデルを構築し、地熱資源を評価、地熱資源の存在を確認
- ✓ 浅層部の異常高圧層での掘削技術、初めての傾斜掘削、スケール抑制技術など
- ✓ 8本の地熱調査井を掘削（掘削深度：58m～781m） → 7本の調査井で蒸気・熱水の噴出を確認
- ✓ S54井（1979） 掘削深度58.5m／蒸気温度106℃／蒸気量13.5t/h／熱水98℃・42t/h



地熱井・熱水造成設備  
(約90℃・1200～1300L/min)

熱水は引湯管により市街地まで熱水供給

### 浴用・暖房・給湯・プール・融雪に多目的活用

- |            |            |            |              |
|------------|------------|------------|--------------|
| ◆ 役場庁舎・消防署 | ◆ 幼稚園・小中学校 | ◆ 老人福祉センター | ◆ 羅臼ビジターセンター |
| ◆ 温泉旅館・ホテル | ◆ 温水プール    | ◆ 診療所      | ◆ 銀行 ◆ 融雪    |

- 羅臼町の貴重なエネルギー資源、施策展開へ
- 羅臼町は地熱エネルギー利用の先進地

# ～掘削技術が貢献した 施策事例～

- ✓ 二度にわたるオイルショックを契機に、（石油依存の軽減・脱却、省エネ）
- ✓ 公共施設や産業施設等での地熱・温泉熱の多目的利用を目的とした、
- ✓ **北海道市町村振興補助金（地域エネルギー開発利用施設整備事業 S54～）**を開始
- ✓ 市町村等による地熱・温泉掘削事業が急増
- ✓ 旧・地下資源調査所が道庁・市町村・掘削事業者を技術支援
- ✓ 全道域で、合計163本の地熱・温泉井・ガス井の掘削／利用施設整備（約70%）

成果・効果

1979～1999の約20年間

- ◆ 掘削会社の設備投資と技術力の向上（設備大型化、泥水管理技術、検層、セメンチングなど要素技術）
- ◆ 全道域での地下情報の取得とデータ整備（地質・資源・地下温度・泉質など）
- ◆ 自治体主導による民生・産業部門での有効活用の推進

暖房



農業



水産



プール



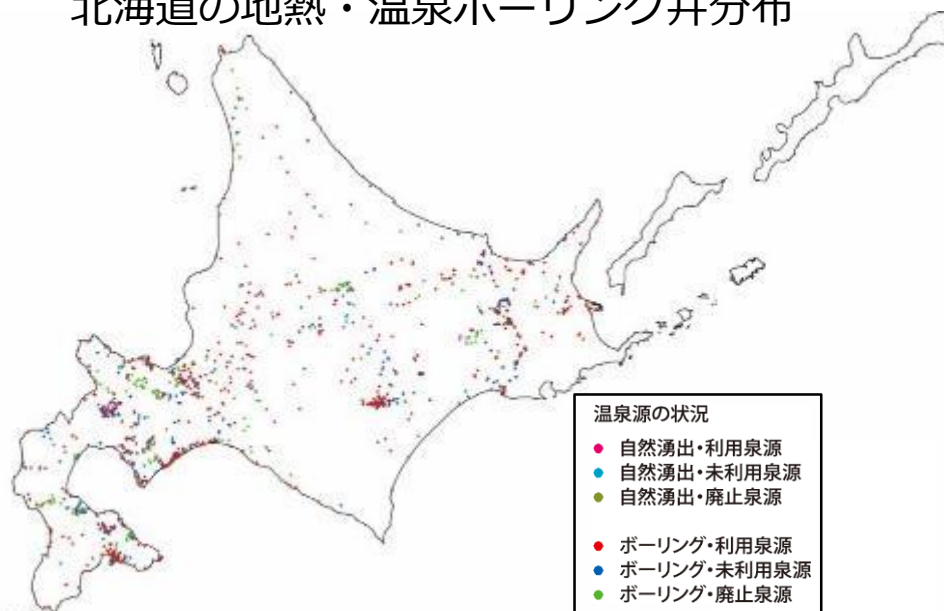
融雪



➤ 北海道は地熱・温泉熱エネルギー利用の先進地となった

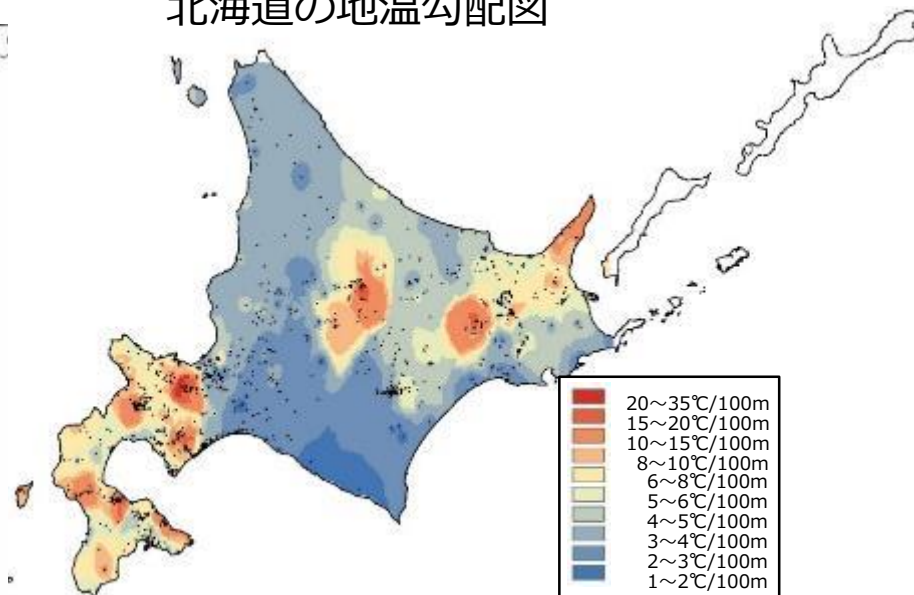
# 研究成果事例

北海道の地熱・温泉ボーリング井分布

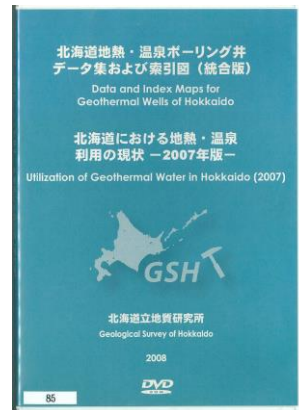


全道域の約240源泉分布 (2008)

北海道の地温勾配図



北海道の地下温度状況の推定が可能  
地熱・温泉開発の検討資料



➤ 掘削データの多くは、報告書やデータ集としてまとめられ、新たな地熱・温泉開発や地熱ポテンシャルマップ作成等に活用されてきました。

- ✓ 地表水の利用が困難な畑作地帯において営農用水の開発・利用による畑作振興
- ✓ 北海道（農政部）が国費補助事業として実施（1972～2004）
- ✓ 33年間に全道域で、延べ141地区で水井戸掘削（50～200m）調査
- ✓ 旧・地下資源調査所が水理地質調査を実施、道庁・掘削事業者を技術支援

### 成果・効果

- ◆ 水井戸掘削の技術力の向上
- ◆ 全道域での水理地質・水量・水質などの様々な情報取得・データ整備
- ◆ 農業分野（畑作地域）での地下水の利活用



➤ 新たな地下水開発・利用や保全等へ繋がっている

～調査研究事例と  
地域・産業振興～



# 掘削技術を活用した調査研究事例（1）

- 地下水位・地盤沈下観測井（札幌市～石狩北部地域）  
札幌市北部～石狩湾岸地域地域の地下保全対策
- 水資源開発調査 調査井（釧路地域・函館平野北部）  
全道各地の水理地質構造を解明し、水資源開発・利用の推進に貢献  
塩水化などの地下水障害に関する調査研究
- セラミックス資源調査 調査井（名寄盆地南部）  
粘土鉱物の資源分布や品質変化を解明するため掘削調査
- 鉱床調査井（粘土・温泉型金鉱床）（十勝地域）  
カオリンおよび温泉型金鉱床の構造と石英脈の存在を確認するため
- 活断層調査 調査井（樺戸断層・函館平野西縁断層）  
踏査地点の地質構造から断層帯を検討・推定しトレンチ調査につなげる



鉱床調査現場



水資源調査現場



# 掘削技術を活用した調査研究事例（2）

## 温泉資源調査 ～入所以降（S57-H10）～ 道条例に基づく試錐探查事業

S57：旧熊石町／S58：旧阿寒町阿寒温泉／S59：旧浜益村・壮瞥町／S60：旧虻田町洞爺湖温泉  
S61：旧瀬棚町／S62：洞爺湖温泉／S63：弟子屈町本町／H1：清里町／H2：真狩村／H3：剣淵町  
H4：美幌町／H5：羅臼町／H6：知内町／H7：壮瞥町仲洞爺／H9：興部町／H10：弟子屈町川湯

✓ 市町村の要望で、全道域14市町村で17地区で掘削調査



➤ 公営温泉施設などが誕生（地域振興に貢献）

### ◆ S-32-1500m級の掘削設備の導入 (1984)

- ・カンチレバー掘削檣
- ・TSLボーリングマシン
- ・泥水ポンプ更新 (D-100型)
- ・掘削ツールス類

### ◆ スーパーアームロボの導入 (1995)

- ・パイプ等のネジ締め・戻し油圧機械
- ・作業効率と安全性の向上

### ◆ デジタル検層機の導入・更新 (1995・2010)

- ・多種目検層 (TCDS・ELTG・FWSS)
- ・1500m級ウインチ

### ◆ ホールテレビカメラ検層機の導入・更新 (2001・2010)

- ・坑井内直視／側方 (500m・1200m)
- ・温泉用高温使用 (耐熱60℃・90℃)



石狩管内旧・浜益村  
(1984)



胆振管内 旧・虻田町  
(1985)



胆振管内・壮瞥町  
(1995)



Micrologger-2 & PC (株)ジオファイブHPより



2,000m巻



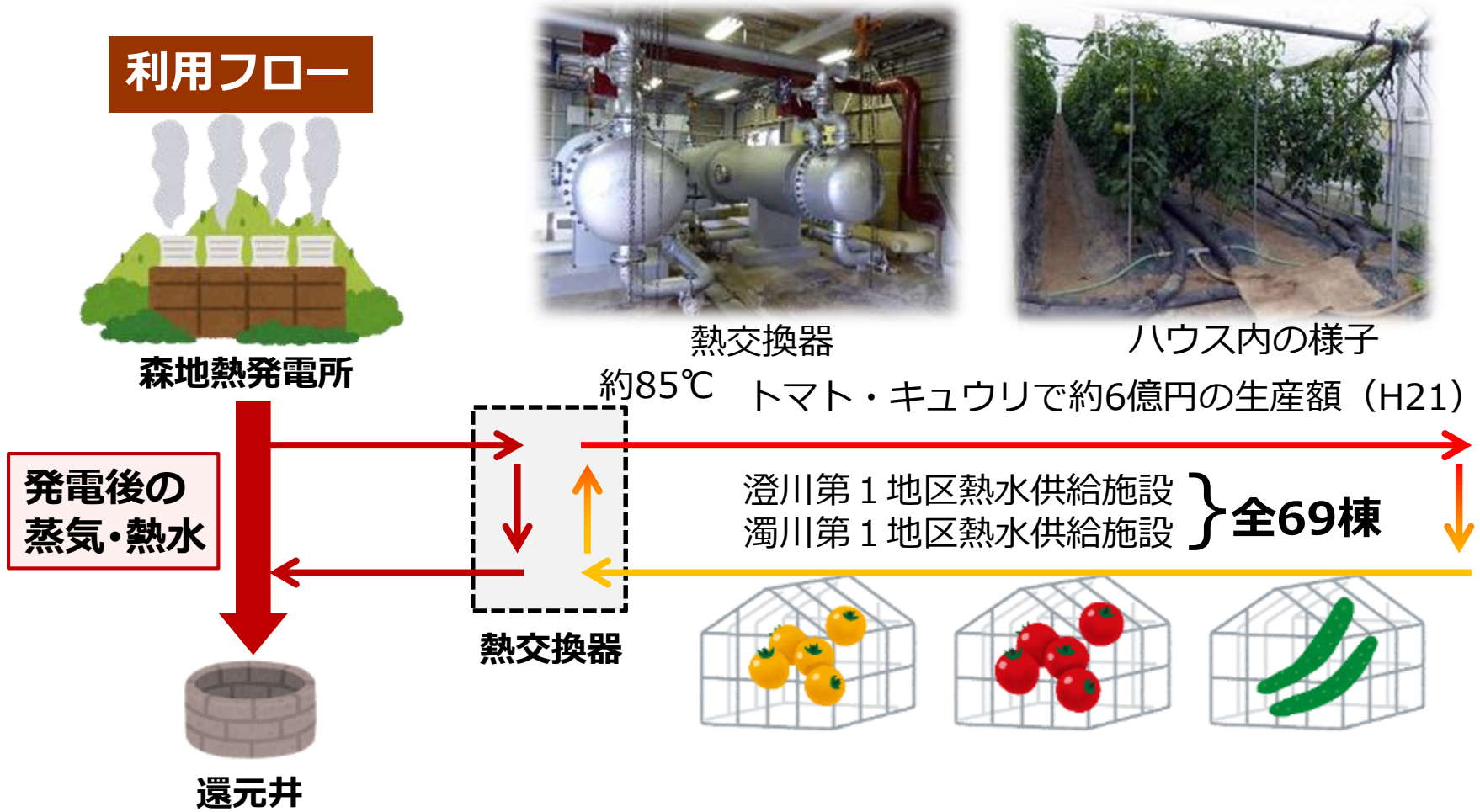
(株)村田製作所HPより



(株)リアックスHPより

# 産業振興（地熱） ～北海道に適應した農業利用モデル～

## 農業利用：森町濁川地区・澄川地区熱水供給施設



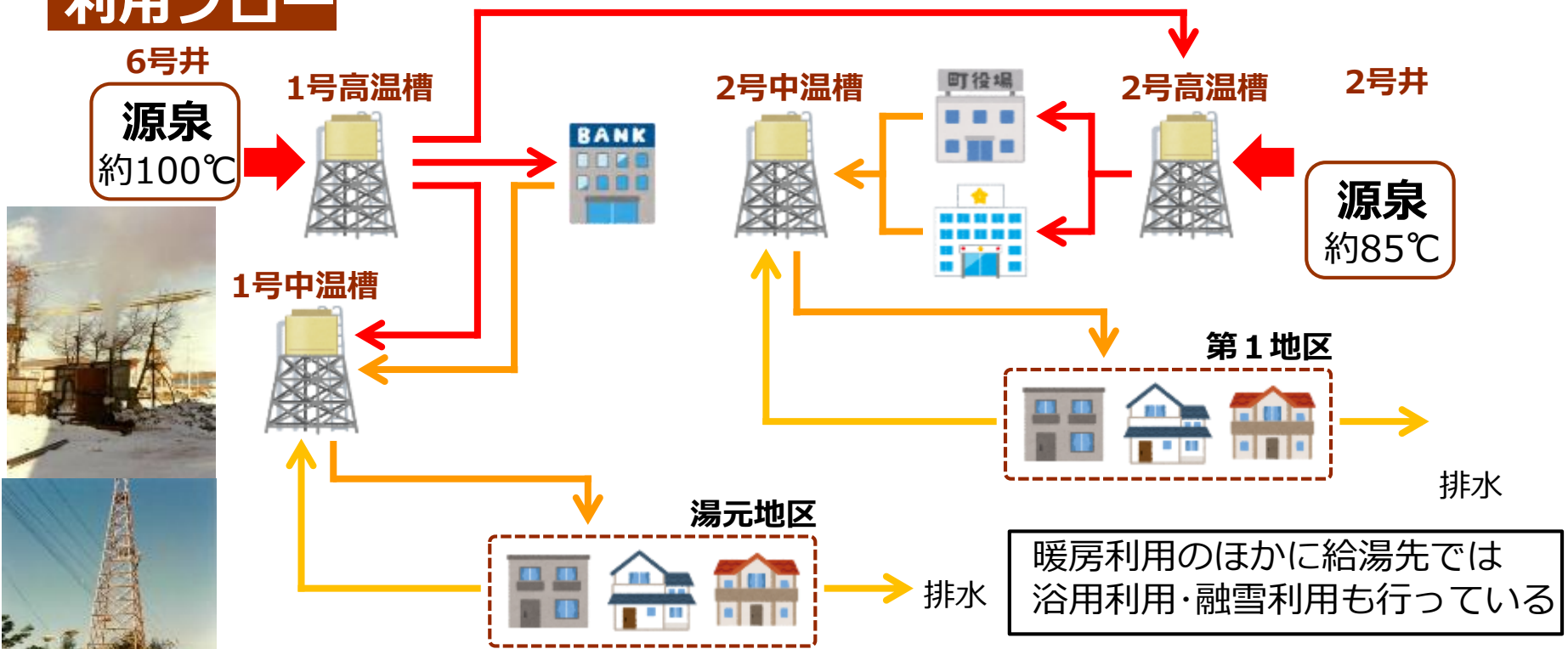
森町は地熱活用モデル地区の認定（R1.8）を受け、地域の産業振興活動・情報発信を展開中

➤ 農業における地熱エネルギー利用の先進地・優良事例

# 地域振興-1～自治体主導の温泉供給事業と省エネ推進～

## 温泉熱多目的利用：弟子屈町役場庁舎（温泉暖房）ほか

### 利用フロー



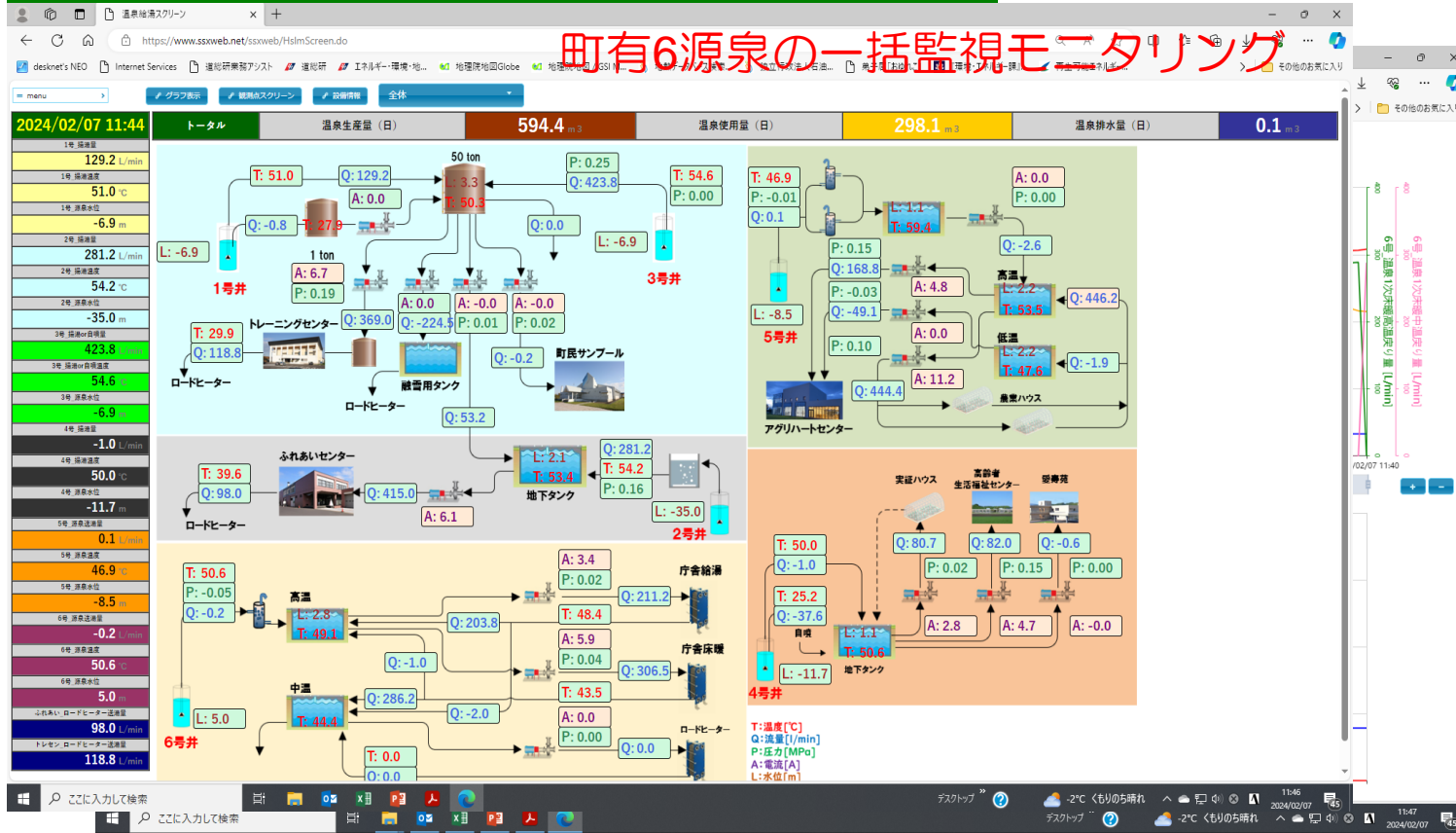
現在、温泉モニタリングシステム「おゆれこ」を導入し、6号井の代替で掘削した地熱井（TS井）を活用し、小規模温泉発電、新たな複合施設や小学校の暖房利用を検討・展開中

- 自治体における地熱エネルギー利用の優良事例

## 温泉熱多目的利用：小清水町 (S55～H4 6源泉を開発)

小清水町源泉管理利用モニタリングシステム

(株)物理計測コンサルタント「おゆれこ」



豊富な温泉を暖房・給湯・浴用・融雪・プールなどで多目的にカスケード利用

- ・役場新庁舎
- ・公営温泉宿泊施設
- ・老健福祉施設
- ・体育館
- ・プール
- ・農業ハウス
- ・公道融雪

➤ 自治体における温泉熱エネルギー利用の優良事例

# 技術支援 (1) ～道総研と洞爺湖温泉利用共同組合の歩み～

## 洞爺湖温泉 ～洞爺湖温泉利用協同組合による温泉供給事業～

- ✓ 明治43年有珠山の火山活動により誕生した北海道を代表する温泉地
- ✓ 数多くの源泉を掘削して温泉を供給を展開 (1960年：温泉供給集中管理のための組合発足)
- ✓ 温泉資源の衰退化 (温度低下・泉質変化等) が顕在化し、維持管理コスト増が大きな問題
- ✓ 1976年、温泉保護地域 (北海道) にも指定され、温泉資源の保護も課題
- ✓ 1977年、有珠山噴火
- ✓ 2000年、有珠山噴火以降、問題がさらに深刻化、対策が急務



- ◆ 自分が入所 (1982) 前から、持続的に調査研究が行われていた
- ◆ S60 (1985) 試錐探査事業 (深度1200m) を実施 (四十三山山麓)  
→期待した高温の温泉胚胎は確認されず
- ◆ S62 (1987) 試錐探査事業 (深度200mヒートホール×5本) を実施  
(全日空の沢他) →浅部高温層の存在を確認
- ◆ 2000年噴火に伴う源泉被害調査&災害復旧代替掘削井への技術支援



温泉組合では・・・

ヒートポンプを活用した温泉排湯熱回収事業を展開するなどして泉温低下へ対策を講じていた。しかし、電気&燃料代の高騰に伴いで窮地に・・・

# 技術支援 (2) ～温泉地の窮地を救った地熱井掘削～

- ✓ 2011.3.11東日本大震災後、エネルギー施策の大転換 地熱関連予算の復活
- ✓ 2013年度 地熱資源開発調査事業費助成金 (JOGMEC) へ応募・採択 (定額100%助成)
- ✓ 2013年度 候補地選定・地熱系概念モデルの提示など、JOGMEC申請を支援

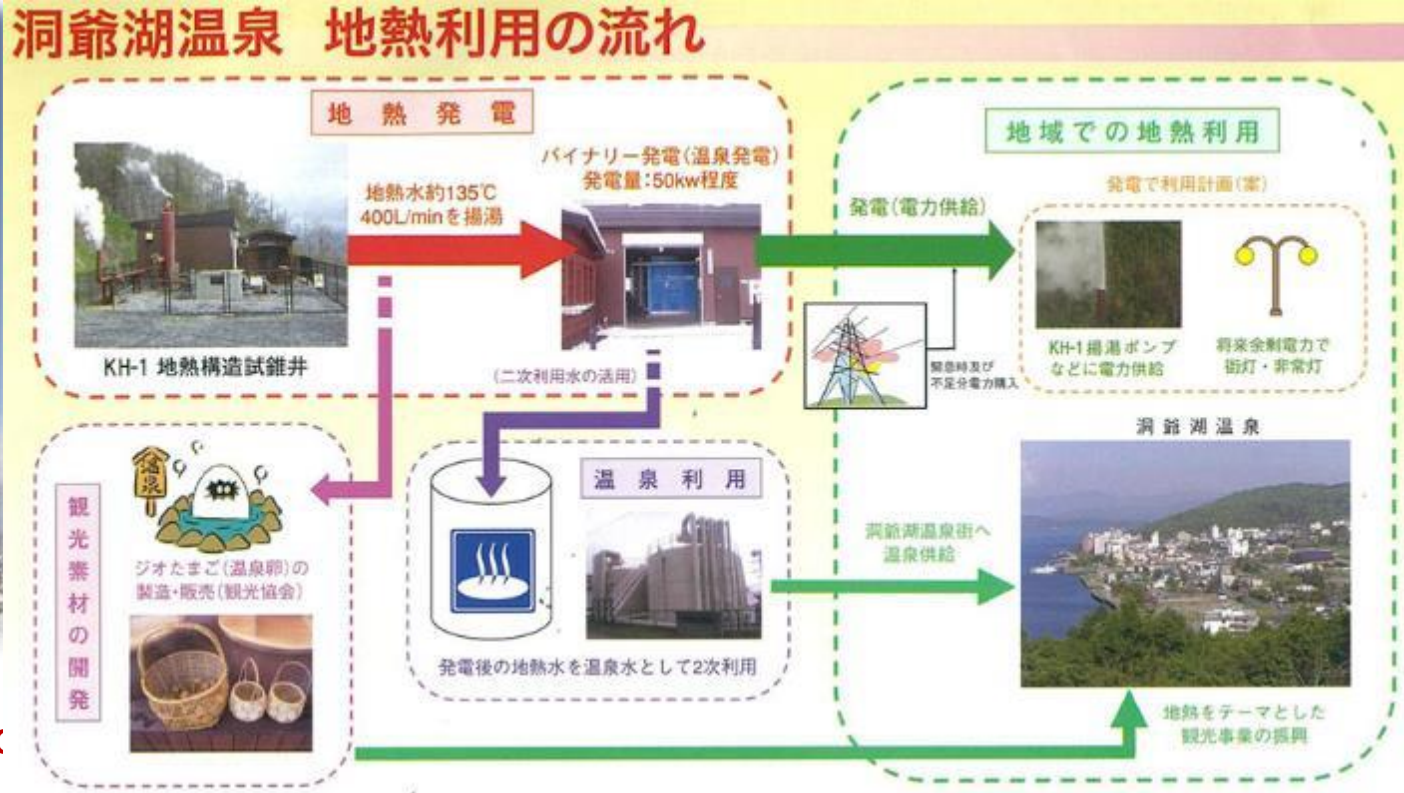
\*JOGMEC:エネルギー・金属鉱物資源機構



## ◆ 2013年度 地熱構造試錐井 (KH-1) ～2000年有珠山噴火で誕生した金比羅火口近傍～



高温熱水の存在を確認 (H26.1)  
深度800m付近で最高温度172℃



## ➤ 地熱資源の活用で地域を豊かに～洞爺湖温泉「宝の山」プロジェクト始動～

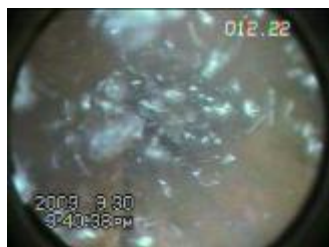


### 函館湯川温泉地区 ～函館市企業局～

- ✓ 源泉開発に伴い、1970年代以降、過剰揚湯による資源の衰退化（水位低下）が進行
- ✓ 源泉の多くを市企業局が所有管理し、ホテル旅館、浴場等への温泉供給事業を実施
- ✓ 小口径源泉の老朽化が著しく、浚渫工事等の繰り返し、管理運営上の課題
- ✓ 1976年、温泉保護地域（北海道）に指定され、温泉資源の保護も課題
- ✓ 温泉資源の安定確保、適正利用と資源保護の取り組みが急務

調査研究 (2003～2006)

- ◆ 源泉および温泉資源の実態解明と評価
- ◆ 源泉集約化と資源保護対策への提言
- ◆ 源泉管理運用のための計測システム導入提言



対策事業



### 源泉の集約化と管理システムの構築

私が深く印象に残っている出来事

～掘削技術トピックス～

## 石油資源開発株式会社 (JAPEX)

- ✓ **1989年に発見**、1996年に生産開始。資源は苫小牧市の東部から石狩平野部に広がり、地下3840～4850mの深い地層から油ガスを産出。
- ✓ 勇払油ガス田で生産された天然ガスは、勇払LNG（液化天然ガス）受入基地のLNGを気化したガスとあわせてパイプライン網で札幌へも供給されている。
- ✓ 2020.6月から地下約1400mの地層「滝ノ上層」からの粘性の高い重質油を採掘し、加熱処理して供給を開始。年産7～8万KLを計画。



国道沿いに見えた国内最大級のリグ1625-DE  
(2013.12)



【貯留層コア】

地下に埋蔵している  
天然資源です。

苫小牧市勇払地区で産出される天然ガスは、深度3,900～4,800mの新生代古第三紀石狩層群礫岩層（約4,500万年前）と中生代白亜紀花崗岩類（約1億年前）から発見されました。この礫岩と花崗岩の割れ目（フラクチャー）の中に、天然ガスが約560気圧の高圧で圧縮されています。これは、世界的にも珍しい貯留層です。

JAPEXパンフレットより

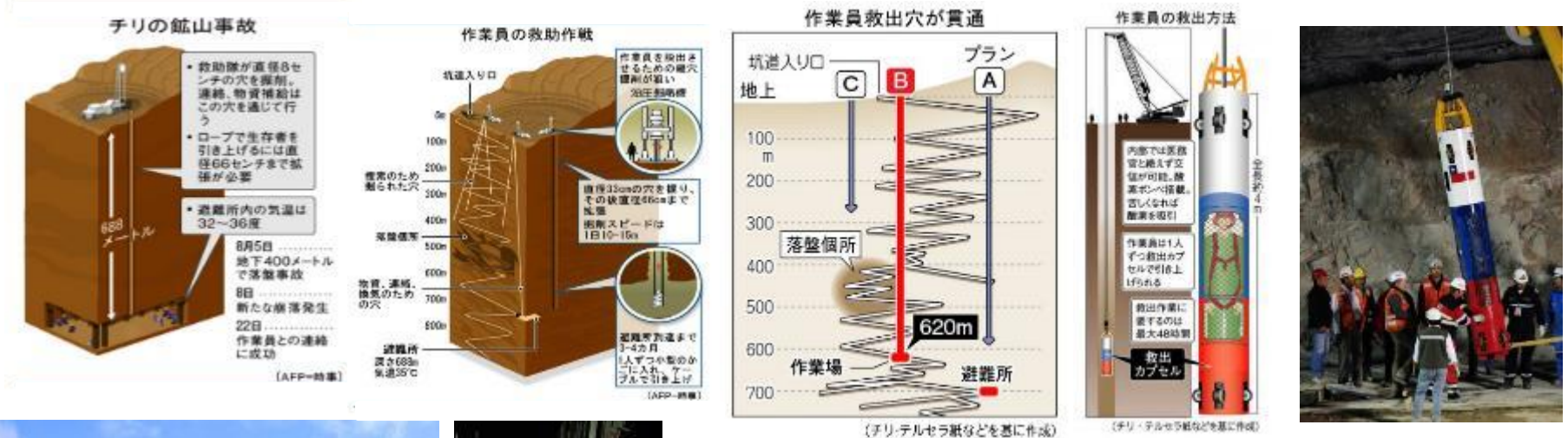


- 資源発見時、掘削深度は約5000mに達し、最先端の掘削技術が用いられていた
- 掘削技術の進歩が、道産天然ガス資源の導入に大きく貢献

# 人命を救助した掘削技術 ～チリ サンホセ鉱山～

## 南米チリの金銅鉱山で落盤事故発生 (2010.8.5)

- ✓ 作業員33人が落盤事後で坑道内に取り残され
- ✓ 5ヶ月以上かかると見られた救出が、69日後には全員救出
- ✓ スピード救出劇、立役者は米国掘削技術者
- ✓ 救出用の2本の先進ボーリング、ボーリング孔から食料品・医薬品類を補給
- ✓ 救助用ボーリング孔を3つのプランで掘削計画 (Bプランで救出成功 70cmクラスタードリル)

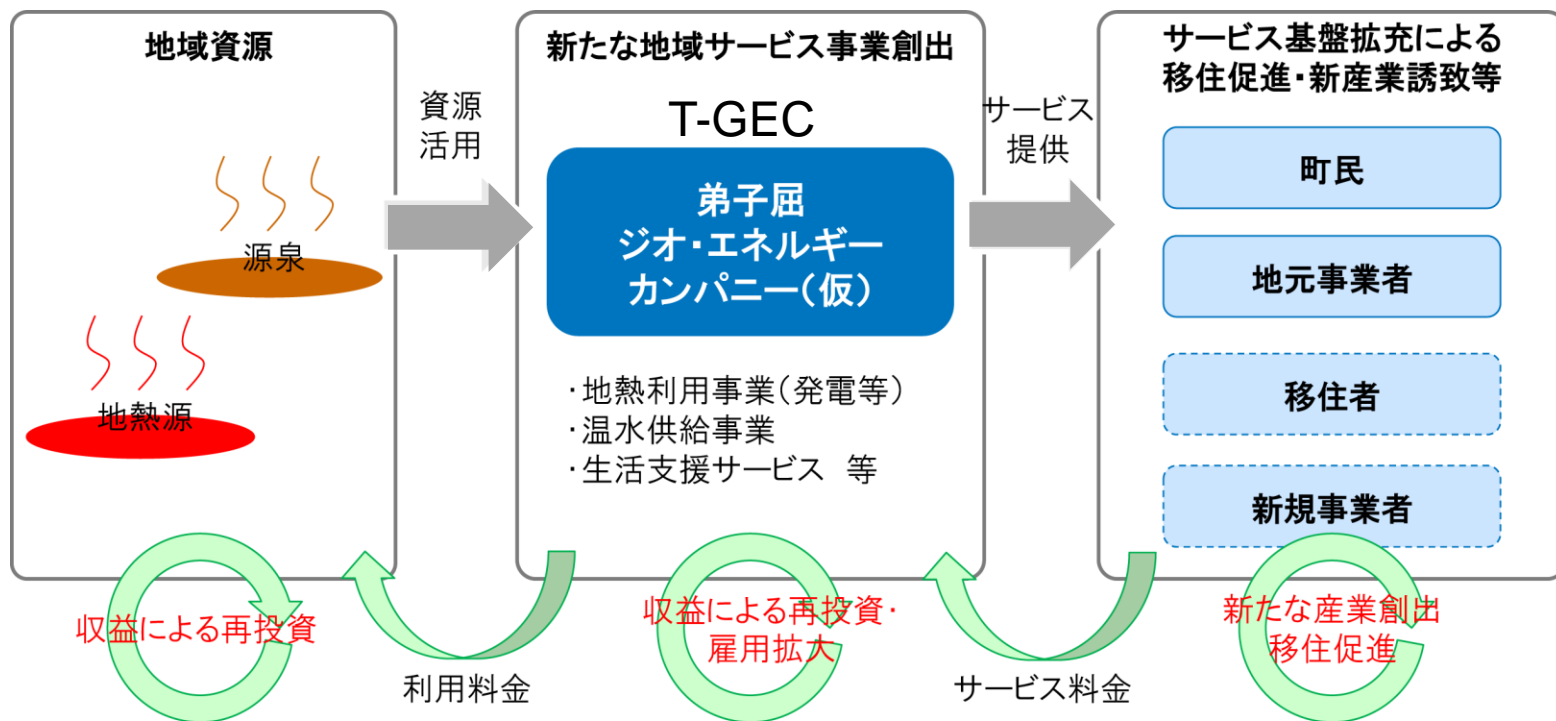


➤ 救出用ボーリング孔を迅速かつ正確に掘削する技術が、多くの人命救助につながった

チリ鉱山落盤事故、取材体験記：時事ドットコム (jiji.com)より

## 地熱資源を活用した「弟子屈・ジオ・エネルギー事業」

H28総務省マスタープラン策定事業



新たな産業創出  
移住促進

弟子屈町役場資料より引用加筆

- ✓ H28年度～ 湯沼-アトサヌプリ地域（硫黄山の裏側）で地熱資源調査を開始  
～約7年間を要したが・・・
- ✓ R4年度 構造試錐井YA-4（2700m傾斜井）で高温高压の地熱資源を確認

## ➤ 地熱発電所建設への期待感の高まり

# 進化を遂げる最近の掘削技術

## ◆ トップドライブシステム (TDS)

- 作業効率と安全性の向上 (3本継ぎDPの掘削が可能)

## ◆ 地熱井用PDCビット (多結晶ダイヤモンド焼結体のビット)

- 高い掘進率と耐久性、ビット交換の頻度軽減

## ◆ MWD (Measurement While Drilling)

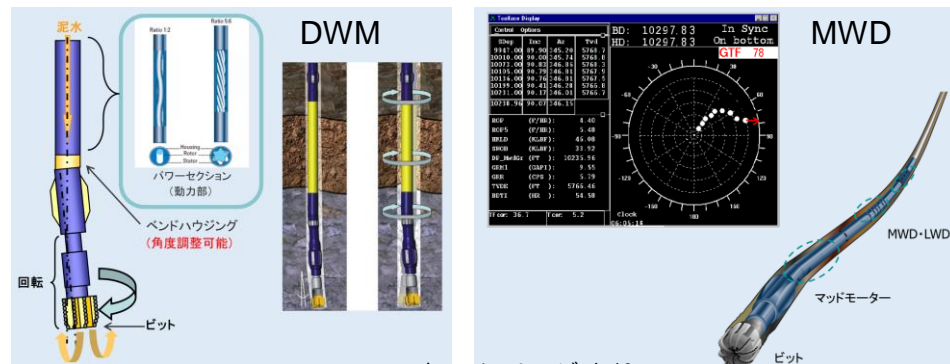
- 指向方向と坑井の方位・傾斜データをリアルタイムに計測表示



コスモス商事(株)ホームページより JOGMECホームページより

## ◆ DHM (Down Hole Motor)

- 坑跡の方位・傾斜をコントロール掘削
- 水平掘削 (大偏距掘削)



JOGMECホームページより

## ◆ マッドロギング

- 深度・掘進率など掘削情報をリアルタイムでモニタリング (遠隔地監視も可能)



地球温暖化対策・脱炭素政策の貢献へ

- CCS : 二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を分離・回収し、地中に貯留する技術
- CCUS : 回収したCO<sub>2</sub>をの貯留に加えて利用する技術 (資源循環利用技術)

# 私が思う今後の掘削関連技術の展開

## ◆地熱分野

- 掘削コストの軽減（TDS/PDCビット/MWDなど）

## ◆温泉分野

- 温泉資源の適正開発（特に井戸構造）

近年、資材高騰等に伴う掘削費の増大もあり、小口径化の傾向が表れてきているが、井戸ポンプのメンテナンスや井戸延命対策の観点からも、適正な温泉井戸構造の検討は重要

- 適正利用と源泉管理運用

温泉資源の有効利用を推進する上で資源管理と保護の観点も重要。デジタル技術を活用した資源や源泉の見える化（温泉管理運用モニタリングシステム）を図り、次世代に継承できる体制の構築も必要

## ◆地下水分野

- 地下水の適正開発と利用の推進（特に、防災井戸の整備）

能登半島地震でも大きな課題となっている水供給インフラの再構築は喫緊の課題。災害に強い防災井戸の整備、地域分散型の水需給システムの検討整備も今後は重要。

## ◆地質調査分野

- 高品質ボーリング技術の発展と応用技術の推進

# おわりに ～絶やしてはいけない技術～

## 掘削技術は、・・・

- ✓ 産業・生活を支えている重要な基盤技術
- ✓ 地下の状況（地質・資源・温度など）を直接探ることができる技術
- ✓ 地下に眠る有用な様々な資源を取り出し、利用する技術

## 今後、掘削技術に求められることは？どんな分野？

- ◆ 再生可能エネルギーである地熱・温泉資源の開発と熱利用
- ◆ エネルギー・産業に必要な地下資源の資源開発・確保
- ◆ 21世紀は「水の世紀」と言われ、水資源開発利用
- ◆ 安全・安心のための社会インフラ整備（道路・鉄道・ダム・橋・建物など）

## これからを担う掘削技術者 ～社会に不可欠な技術との自負～

- 今、掘削技術者がとても少なくなり、
- 掘削技術者の人材確保・育成と技術の伝承が急務

**掘削関連技術の益々の発展を期待します**





微かな噴気しか見えず

ご清聴有り難うございました

(美幌峠より、湯沼-アトサヌブリの地熱井噴気試験を望む)

---

第 62 回試錐研究会講演資料集

---

令和 6 年（2024 年）2 月 19 日 発行

編集 試錐研究会  
電子出版 地方独立行政法人北海道立総合研究機構  
産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所  
〒060-0819 北海道札幌市北区北 19 条西 12 丁目  
TEL 011-747-2420  
FAX 011-737-9071  
URL <https://www.hro.or.jp/eeg.html>

---