

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.2-2

地熱発電導入拡大研究開発／超臨界地熱資源技術開発／

光ファイバーDASによる超臨界地熱資源探査 技術開発

発表：2025年07月17日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 笠原順三

*団体名（企業・大学名など） エンジニアリング協会(一財)

問い合わせ先 エンジニアリング協会 E-mail: Kasahara.junzo@shizuoka.ac.jp

TEL: 080-5055-487

事業概要

1. 背景・目的

地熱開発の探査の精度の向上が求められているので、地熱フィールドにおいて**定量的に地熱貯留層を求められる汎用的手法を開発**する。

それを用いた地熱モデル構築法も一般化する。特に超臨界地熱系フィールドにおける地熱断裂系の深度、分布、広がりなどを求める手法を開発する

2. 実施期間

開始：2020年7月 終了：2025年3月

3. 実施内容・目標（最終）

(1) 既存地熱井を利用した高精度実証試験

(2) 解析・イメージング技術の開発

【最終目標】 DASデータから地下構造を推定する理論的手法の確立
(推定誤差：深さ方向200m、水平方向500m)

(3) DAS用光ファイバーの信頼性向上技術開発

【最終目標】 超臨界水環境下（**目標400℃**）において適用可能なDAS用**光ファイバーシステム**構造の有効性を示す。

(4) 超臨界水候補地での高精度比較実証試験

【最終目標】 **1.5km程度の範囲で深さ4km程度**の地震波反射面の存在の有無を明らかにする。

研究成果

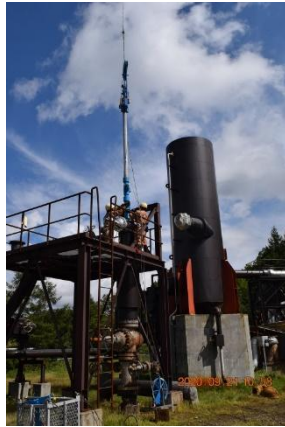
テーマ①、④：既存地熱井を利用した高精度実証試験と超臨界水候補地での高精度比較実証試験

- ・ 2024年6月東北自然エネルギー社木地山地熱フィールドにおいて光ファイバーを用いた地震・温度観測を行った。
 - ① KJ-4A 地熱坑井を用い、温度と振動を計測する。
 - ② DTSによる坑井内の温度の計測をする。
 - ③ 2022年と2024年度観測結果を総合し木地山の3次元地震波速度構造を求め既存地熱坑井の地質データと比較した。
 - ④ 2年分のDASの観測記録から反射波を抽出し、3次元反射波のイメージングをう。
 - ⑥ 水平加振を行い、断裂の方向が東西方向であるとの結果を得る。
 - ⑦ 逸水、入水、出水、と坑井位置を含めた3次元地震波構造図を作り、地熱データの解釈に使える図を作成する。
- ・ 2024年7月北海道電力の森地熱発電所の地熱坑井を用いた調査を行った。
 - ① NF-10とNC-6の坑井を用い光ファイバーを挿入する。。
 - ② 20か所の震源を用い、DASデータを取得する。
 - ③ 2021年と2024年に取得した3本の地熱坑井のデータを総合し解析する。。
 - ④ 3次元の縦波速度構造をもとめる。
 - ⑤ 3次元の反射波のイメージングを得る。
 - ⑥ 既設20地熱坑井の地質データを比較し整合性を確かめる。
 - ⑦ 逸水、入水、出水、と坑井位置を含めた3次元地震波構造図を作り、地熱データの解釈に貢献できるデータが得る。

- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

「DASによる断裂系捕捉」が概念図

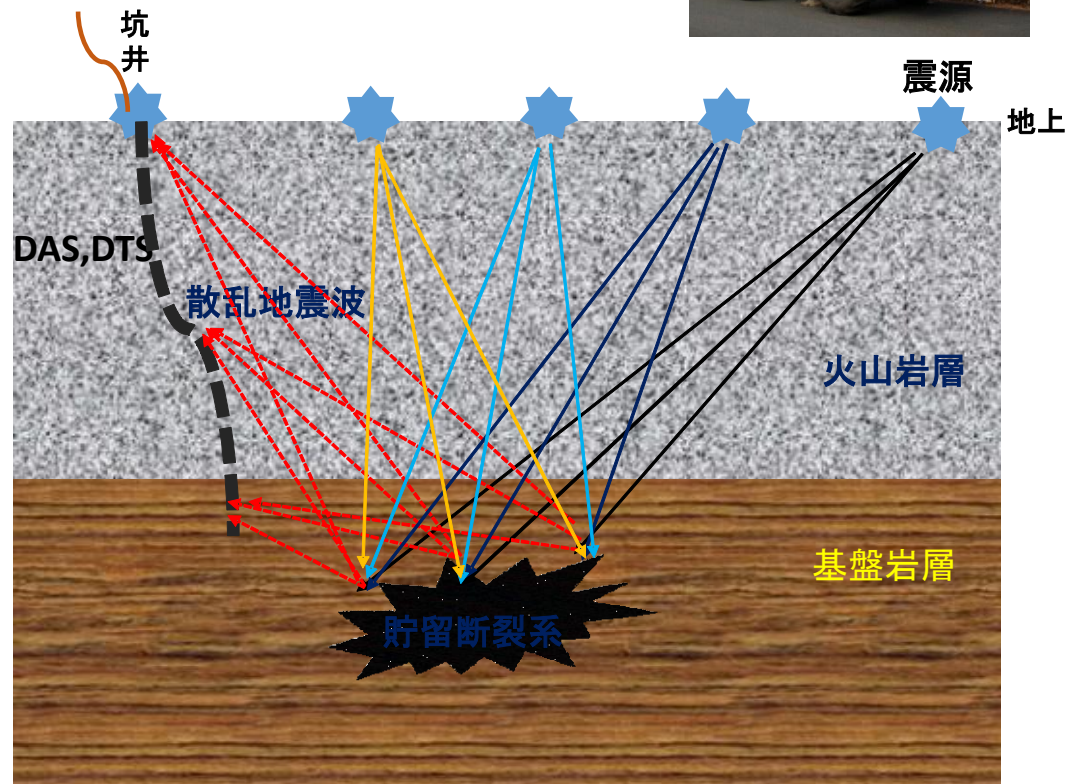
観測井に「ファイバー設置」



光ファイバーウインチ



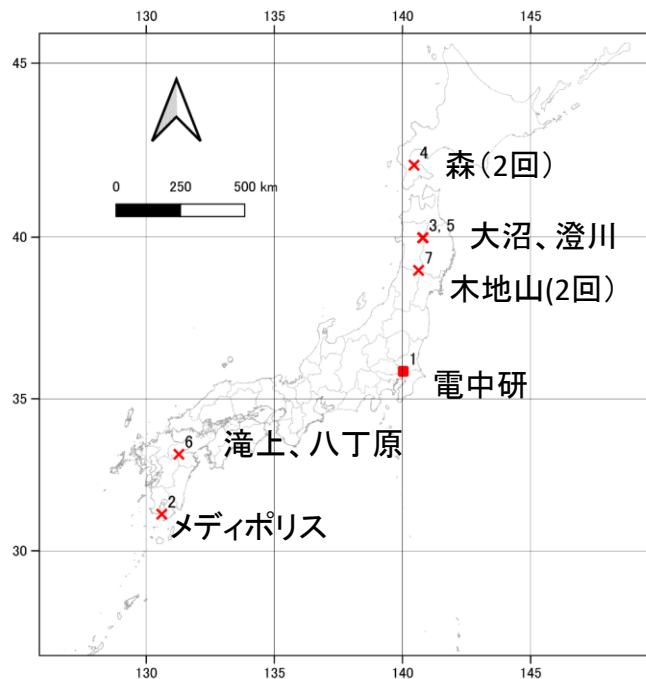
※Distributed Acoustic Sensor



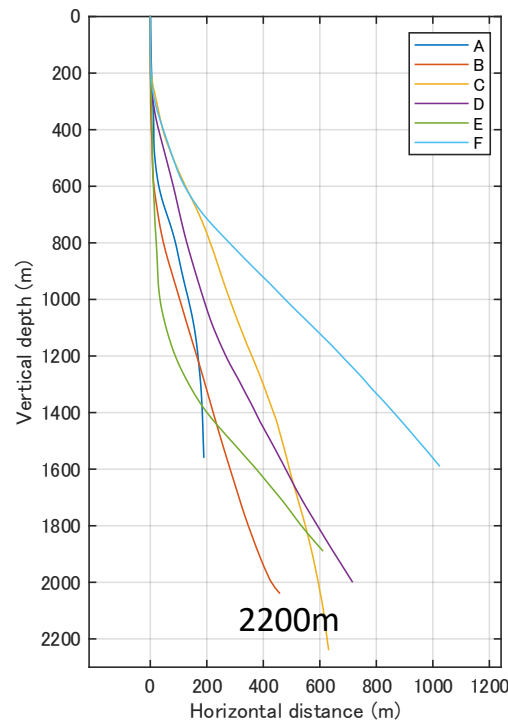
起震装置

①既存地熱井を利用した高精度実証試験と④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

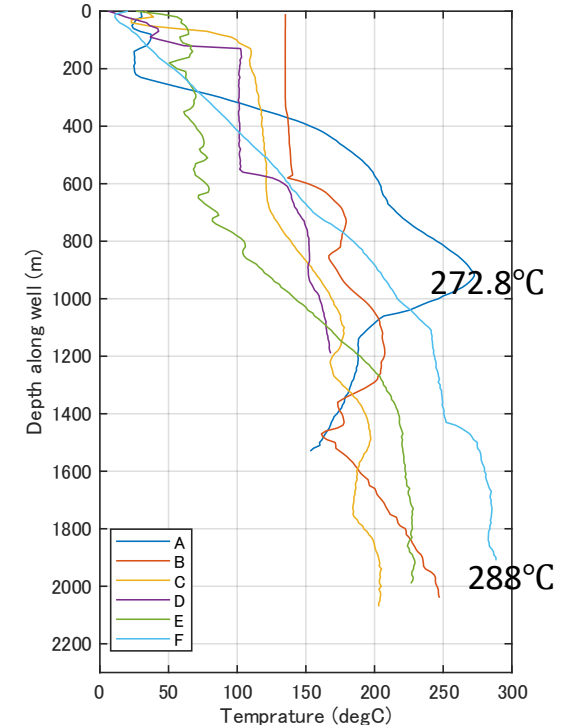
DASによる調査6地点の坑井水平偏移と温度分布結果



坑井水平偏距



坑井内温度分布



最高計測温度は288℃であった。温度分布は地質、地下構造によって変化するので一様な地熱温度勾配を示さない。

- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

今まで実施した地熱構造探査

2018年 メディポリス社地熱フィールド

IK-4坑井でのDTS,DAS測定:坑内温度計測と自然地震

2019年 メディポリス社地熱フィールド

IK-4坑井でのDTS,DAS:坑内温度計測と人工震源

深さ3.6 kmに反射面がある

2020年 三菱マテリアル社大沼地熱フィールド

O-13R坑井でのDTS,DAS測定

深さ2.8 km～3.0 kmに強い反射ゾーンを発見

2021年7月 北電 森(濁川)地熱フィールド

F-01坑井でのカルデラ構造と深さ1 kmの流体層

2021年10月 三菱マテリアル社澄川地熱フィールド

SE-4坑井での澄川の還元、生産ゾーンと反射ゾーンの相関

2022年5月～6月 出光興産滝上地熱フィールド

TP-02 坑井でのDTS,DAS測定

2022年8月～9月 東北自然エネルギー木地山地地熱フィールド

KJ-05坑井でのDTS,DAS測定

2023年10月 九州電力八丁原・大岳地熱発電所

H-26坑井でのDAS測

2024年6月東北自然エネルギー社木地山地地熱フィールド

KJ-04でのDTS,DAS調査

2024年7月北海道電力森地熱発電所周辺でのと熱構造調査

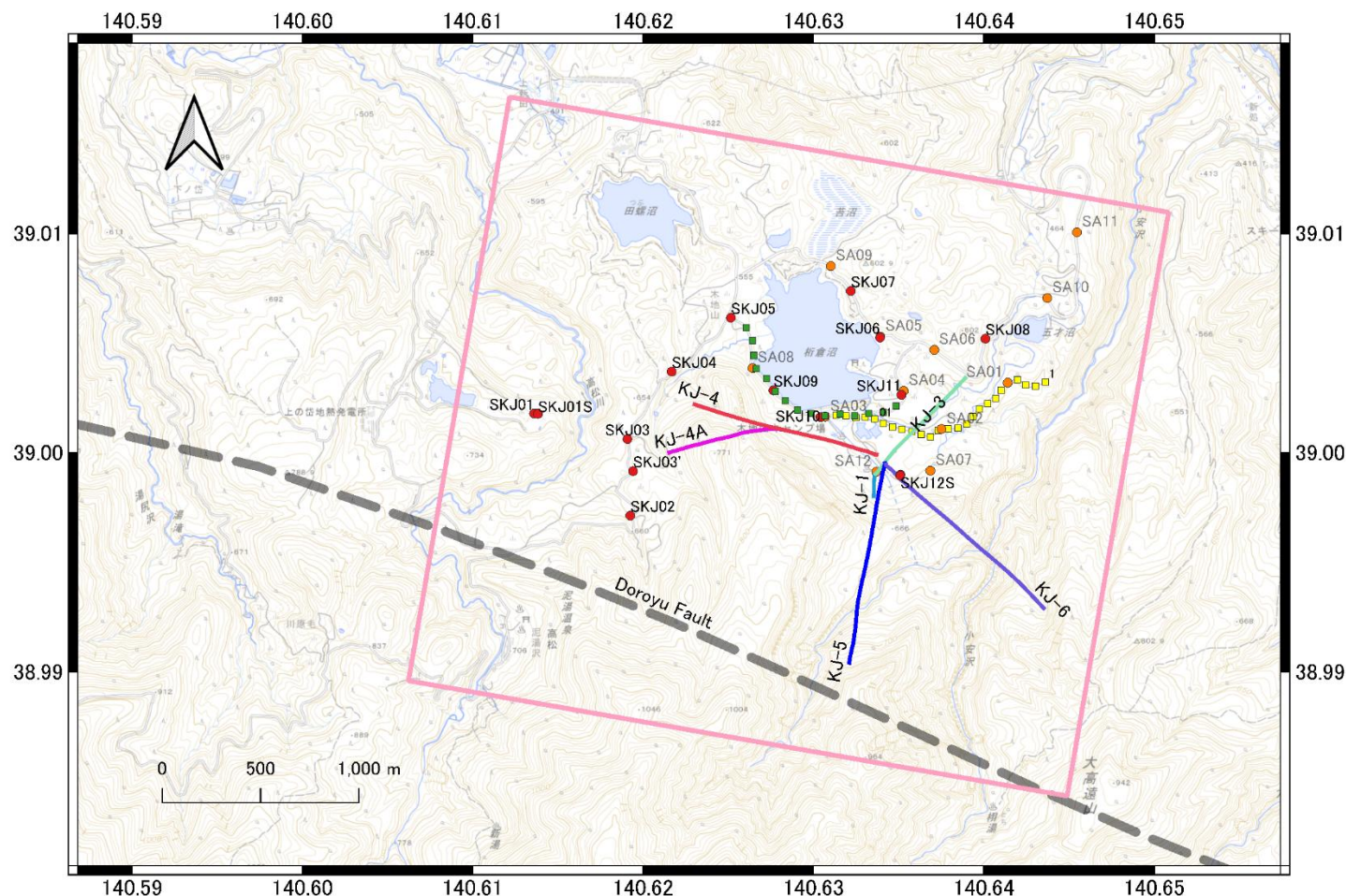
F10 生産井使用

C-06還元井使用

- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

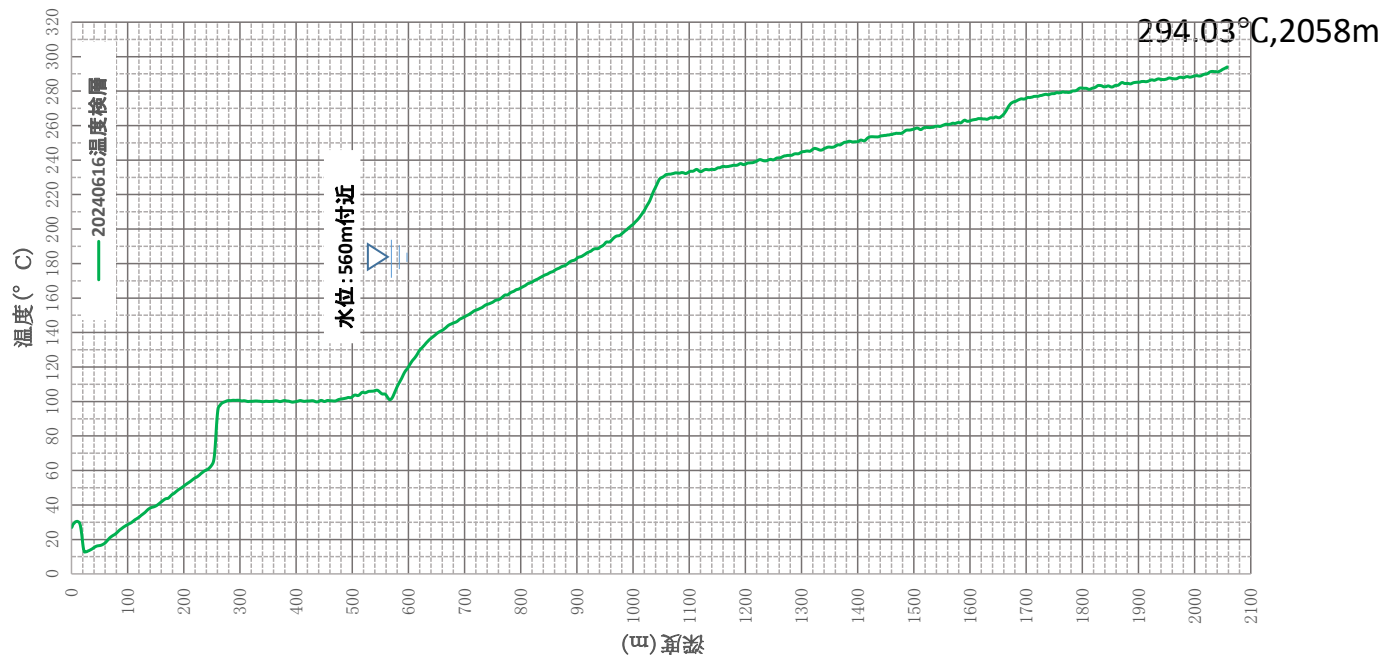
観測点
と坑跡

秋田県湯沢市木地山での調査図



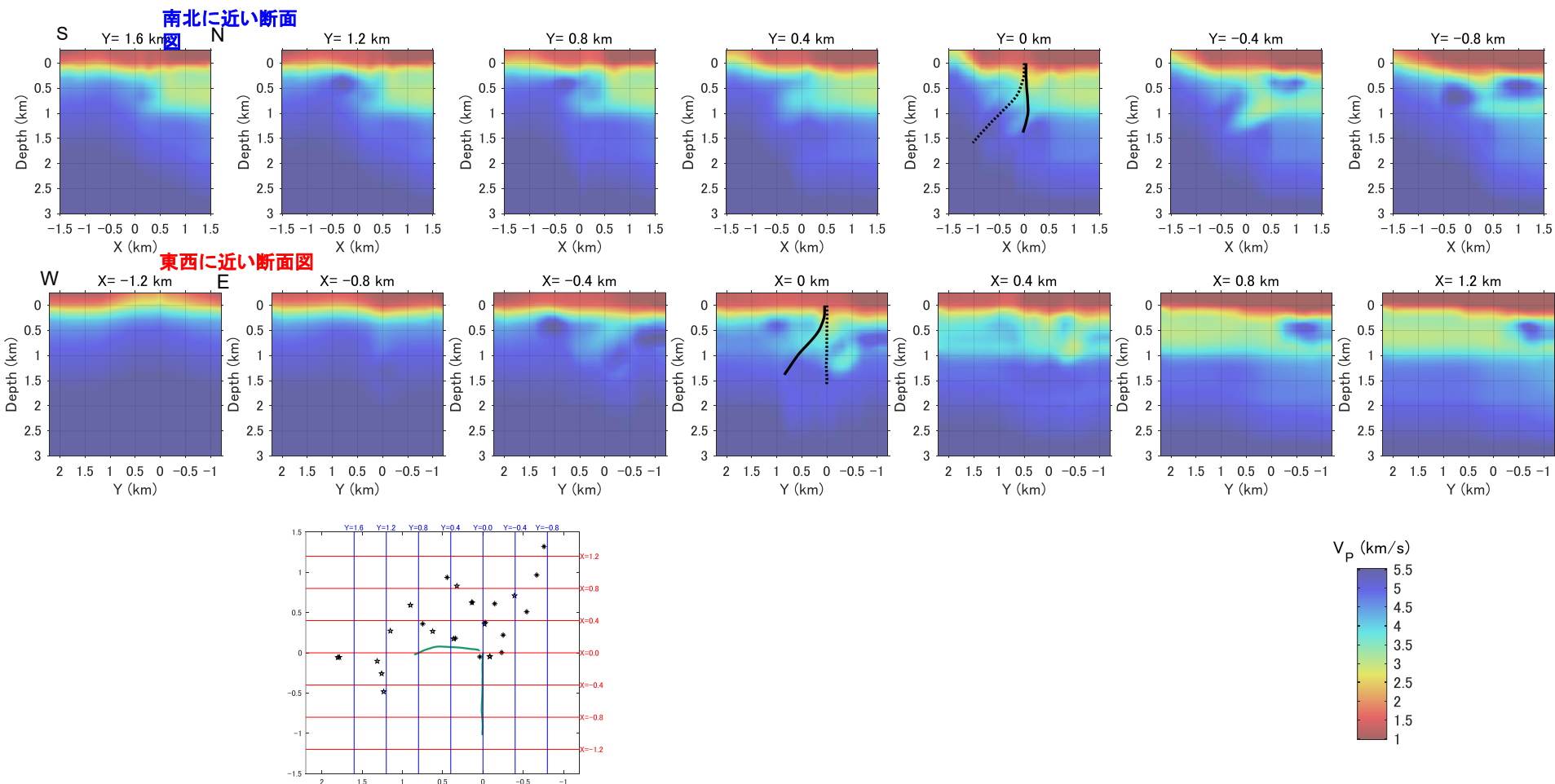
- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

2024年度のDTSによる温度測定の結果



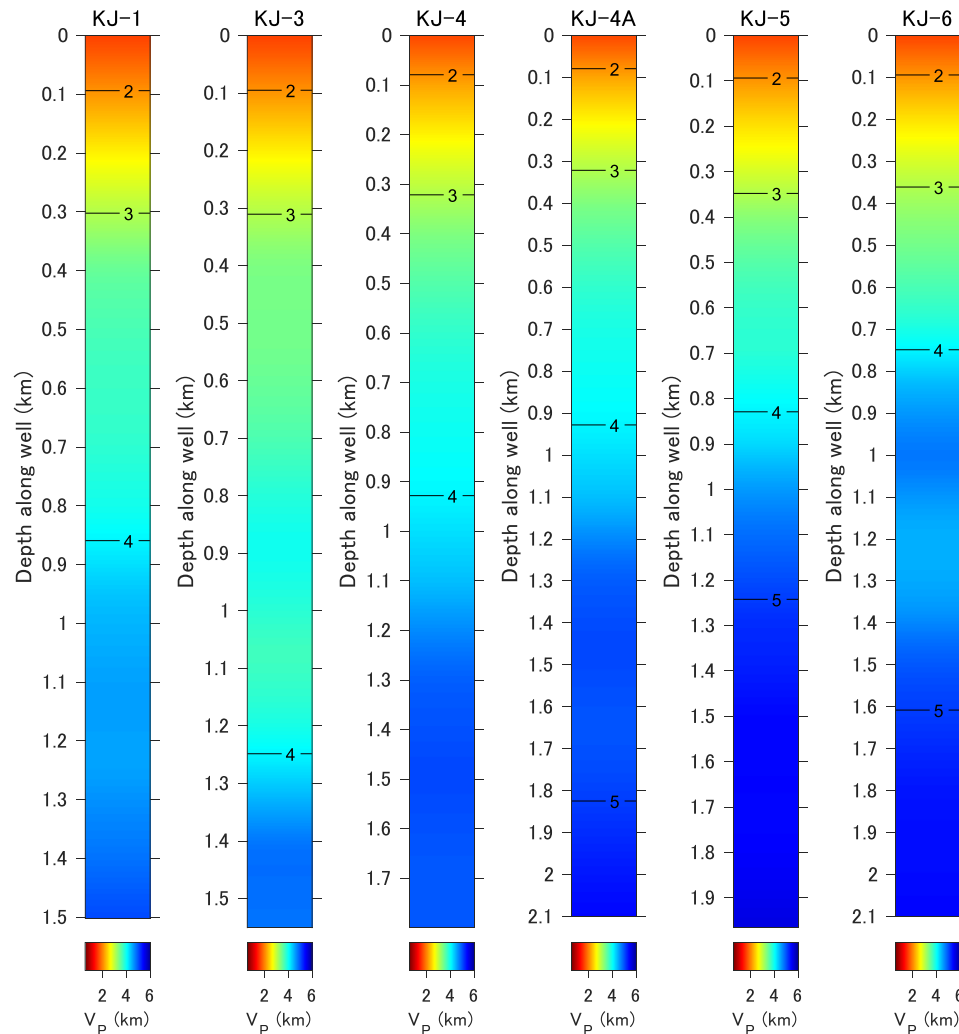
- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

木地山Model328 V_p の鉛直断面



- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

木地山モデル地熱抗井に沿った速度構造

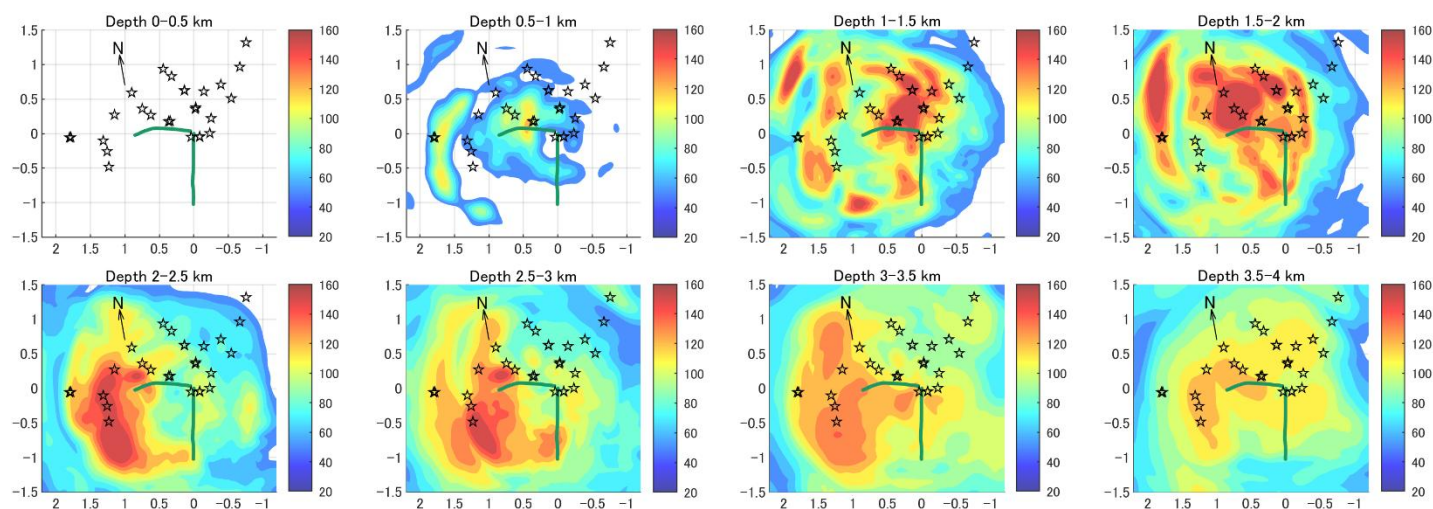


- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

角度重み震源側のみ

浅部振幅強調

木地山のマイグレーション結果の深さスライス(速度はモデル328)

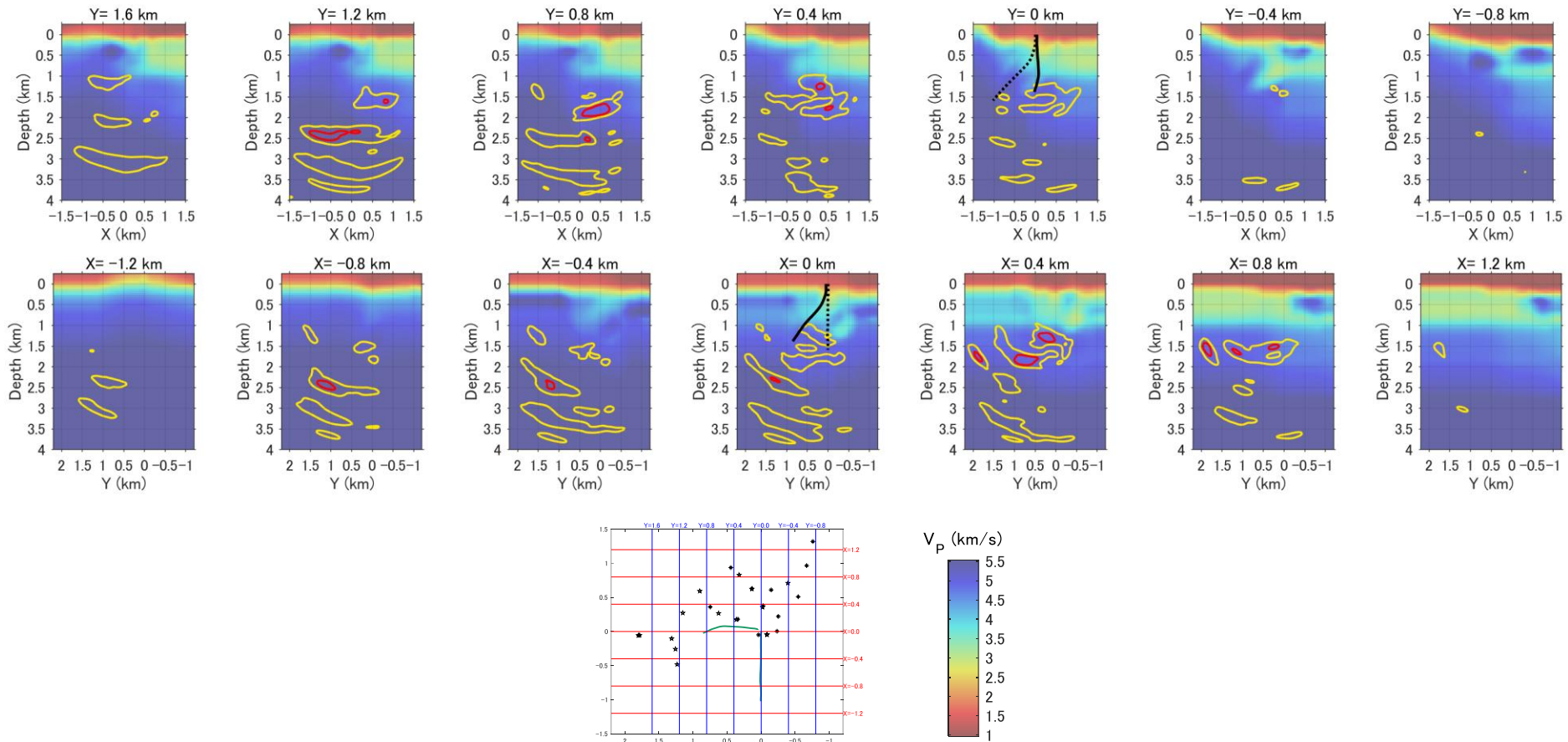


- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

角度重み震源側のみ

浅部振幅強調

木地山のマイグレーション結果(速度はモデル328)

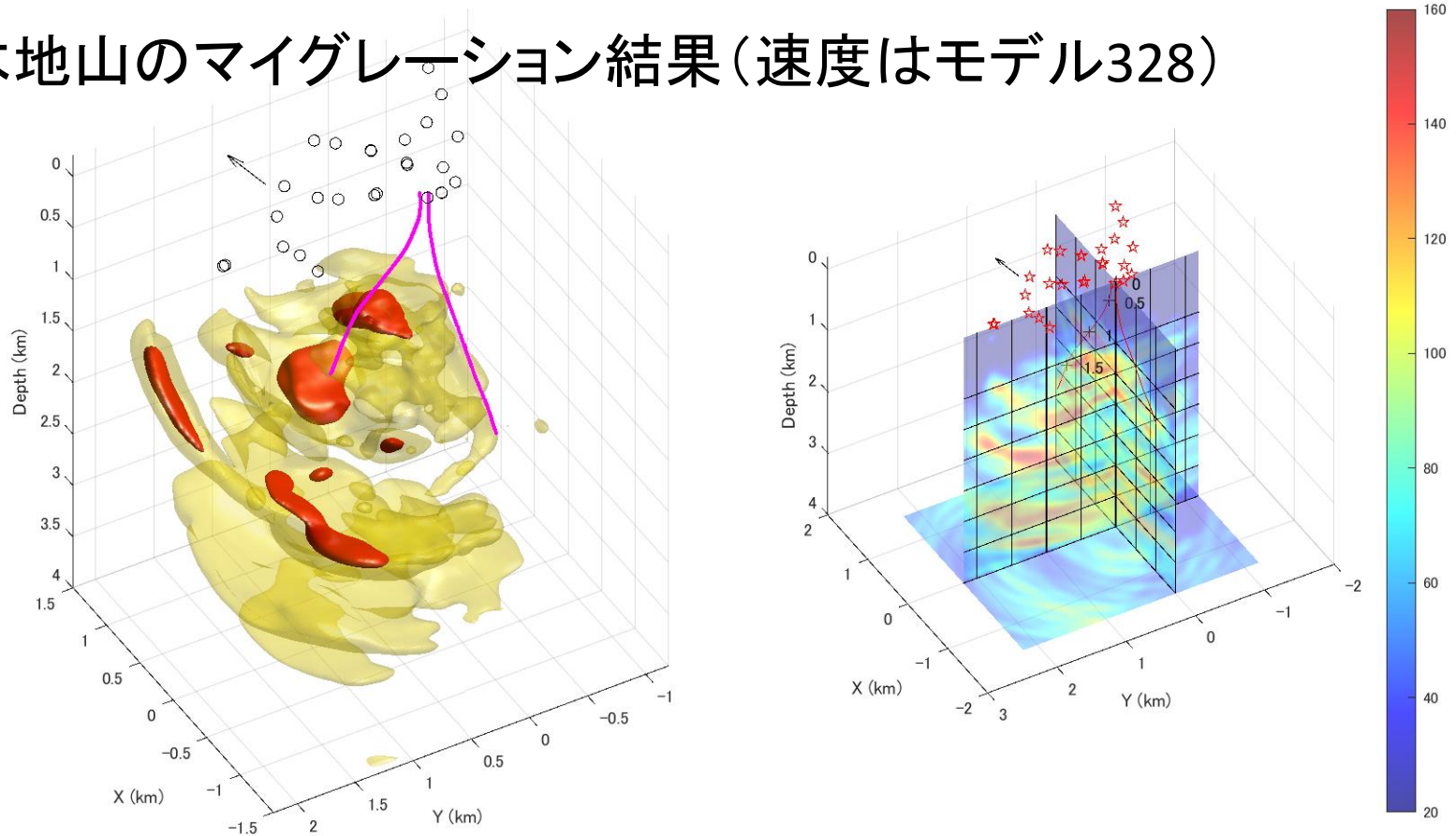


- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

角度重み震源側のみ

浅部振幅強調

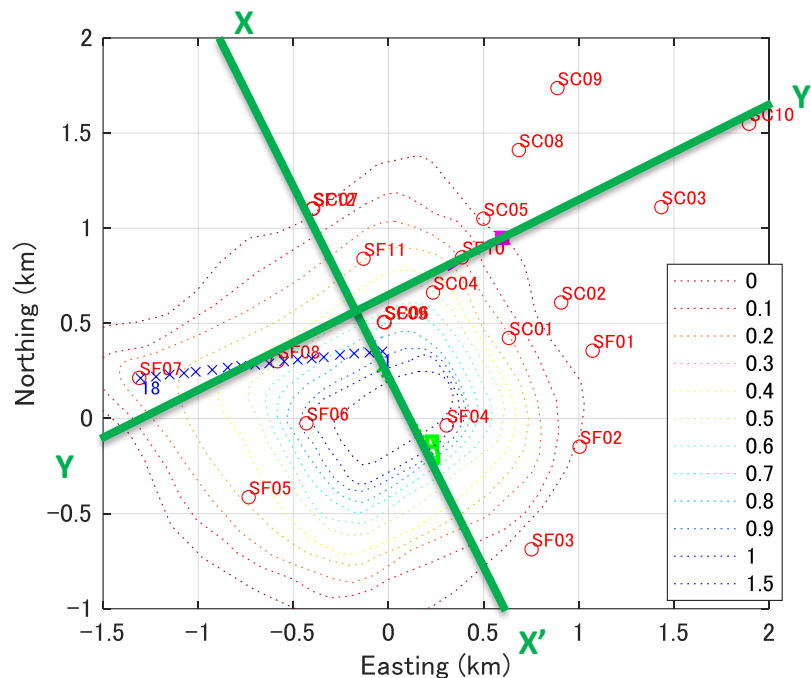
木地山のマイグレーション結果(速度はモデル328)



①既存地熱井を利用した高精度実証試験と④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

3次元速度モデルが坑井の地質と合っているかの検証 方位を修正した坑跡で断面を切ってみる

2024年度の調査位置図



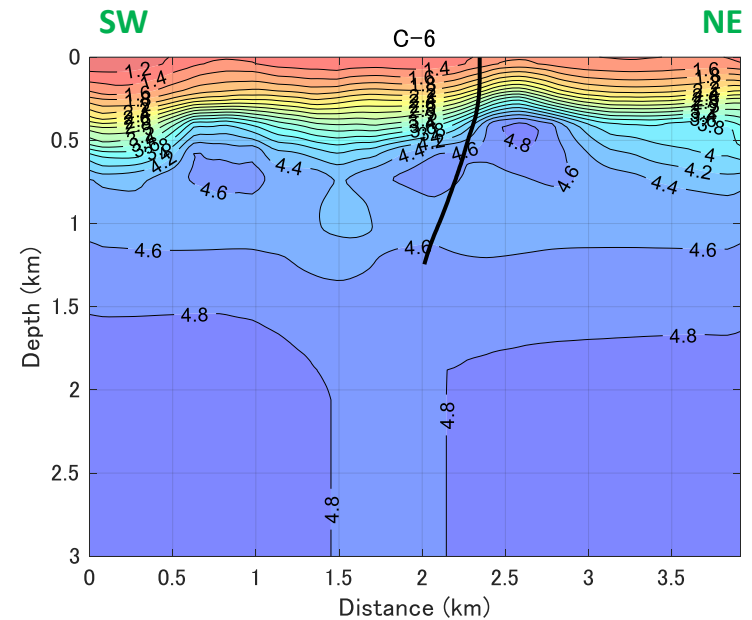
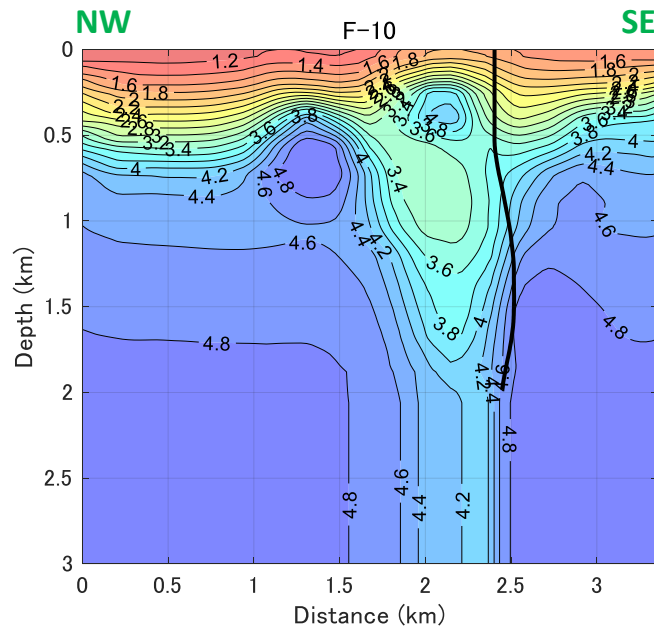
Regents

- : Source locations
- × : Surface geophones
- : A & B wellhead
- ... : A trajectory
- ... : B trajectory
- ... : Caldera

- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

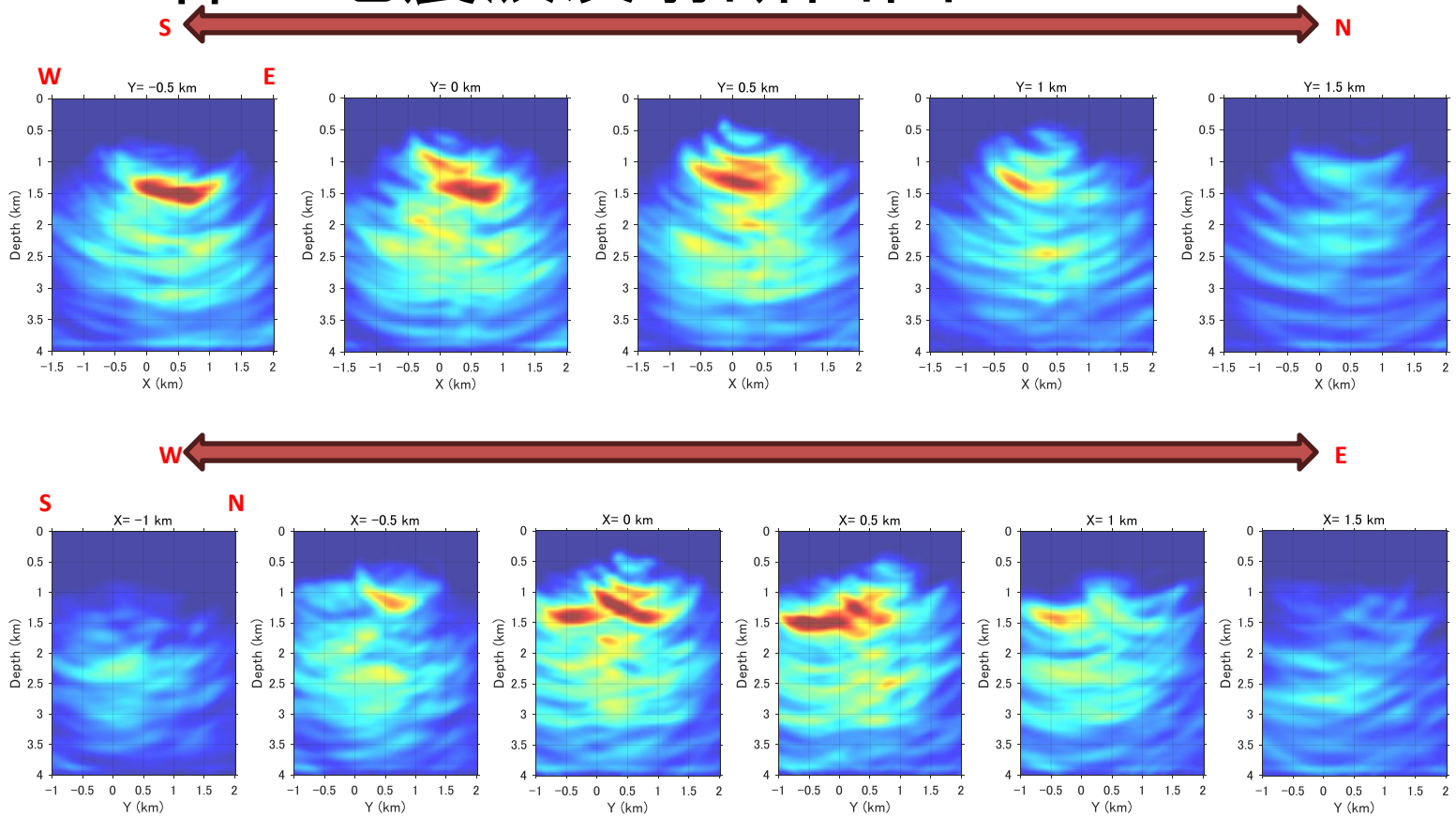
004

森の地震波速度の深さ断面図



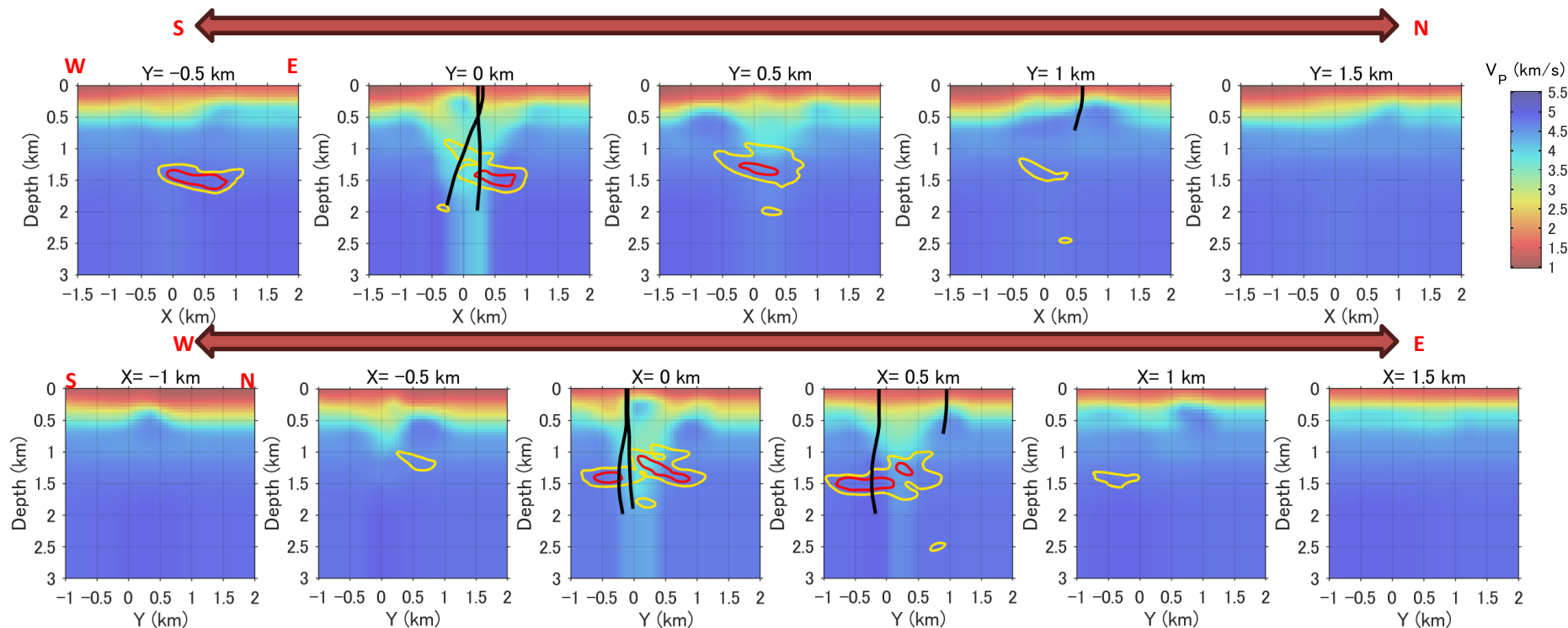
- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

森の地震波反射断面図



- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

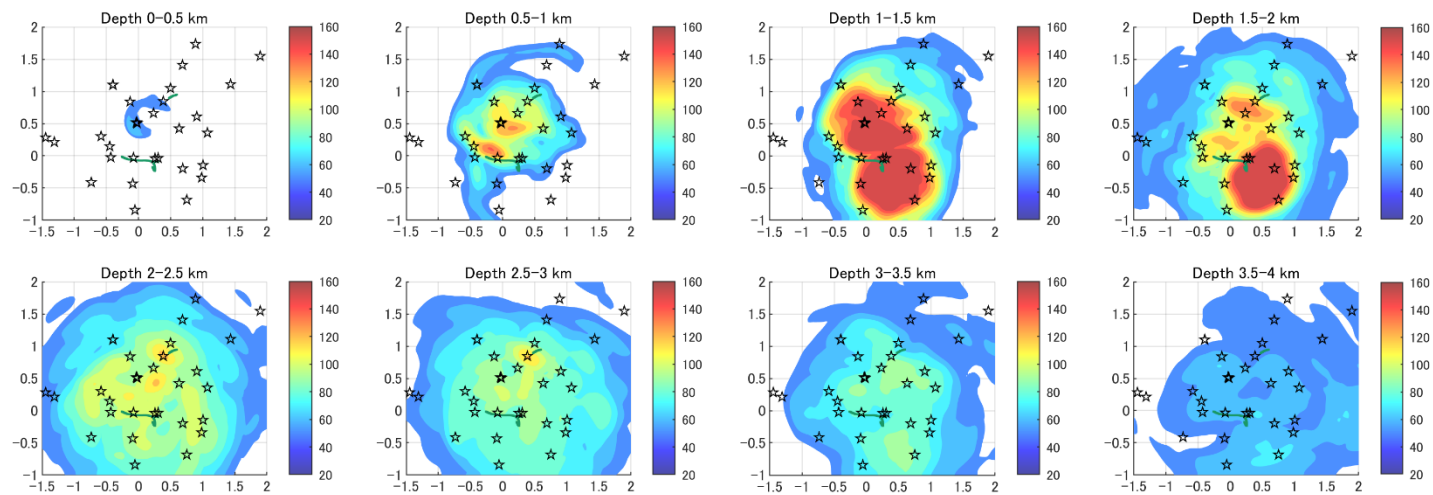
森の地震波速度構造と地震波反射構造を総合した深さ断面



- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

F-10, C-6, F-1統合マイグレーション結果

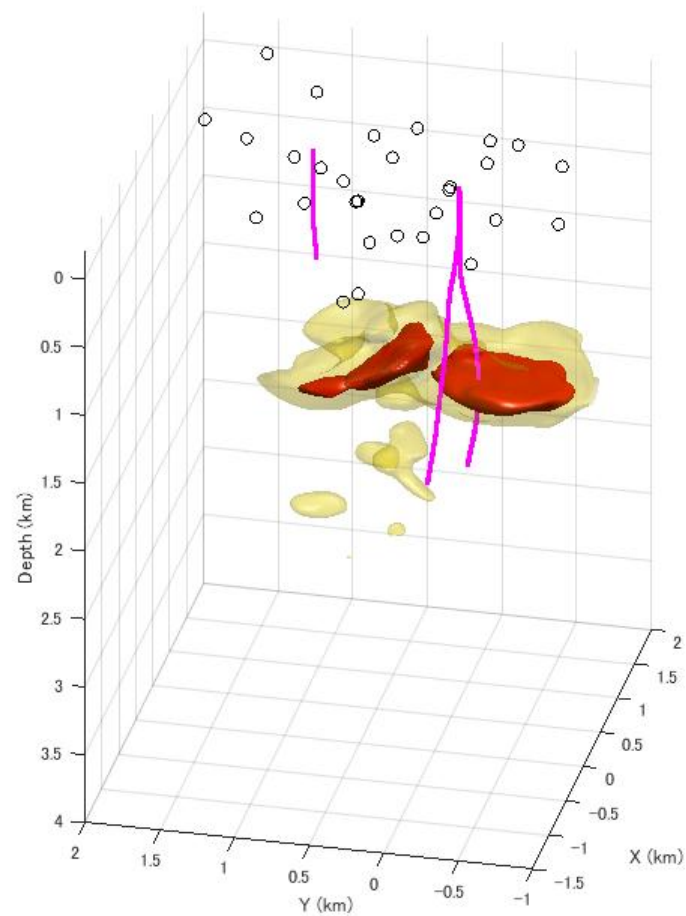
地震波反射強度の500mごとの深さスライス



- ①既存地熱井を利用した高精度実証試験と
- ④超臨界水候補地での高精度比較実証試験

F-10, C-6, F-1統合マイグレーション結果

森における地震波反射波の3次元分布



研究成果 まとめ

テーマ①,④：既存地熱井を利用した高精度実証試験と超臨界水候補地での高精度比較実証試験

- ・ 2024年6月東北自然エネルギー社木地山地熱フィールドにおいて光ファイバーを用いた地震・温度観測を行った。
 - ① KJ-4A 地熱坑井を用い、深度1.6kmまでの温度と振動を計測した
 - ② DTSによる坑井内の温度は294℃であった。
 - ③ 2022年と2024年度観測結果を総合し木地山の3次元地震波速度構造を求め既存地熱坑井の地質データとの一致を確認した。
 - ④ 2年分のDASの観測記録から反射波を抽出し、3次元反射波のイメージングを行った。
 - ⑤ その結果、深さ1,5 kmと2-3 kmに分布する反射ゾーンがあることが分かった。
 - ⑥ 水平加振を行い、断裂の方向が東西方向であるとの結果を得た。
 - ⑦ 逸水、入水、出水、と坑井位置を含めた3次元地震波構造図を作り、地熱データの解釈に貢献できるデータが得られた。
- ・ 2024年7月北海道電力の森地熱発電所の地熱坑井を用いた。
 - ① 深度2,000mまで光ファイバーを挿入した。。
 - ② 12か所の震源を用い、DASデータを取得した。
 - ③ 2021年と2024年に取得した3本の地熱坑井のデータを総合し解析した。。
 - ④ 3次元の縦波速度構造をもとめた。
 - ⑤ 3次元の反射波のイメージングを得た。
 - ⑥ 既設20地熱坑井の地質データを比較し整合性を確かめた。
 - ⑦ 逸水、入水、出水、と坑井位置を含めた3次元地震波構造図を作り、地熱データの解釈に貢献できるデータが得られた。

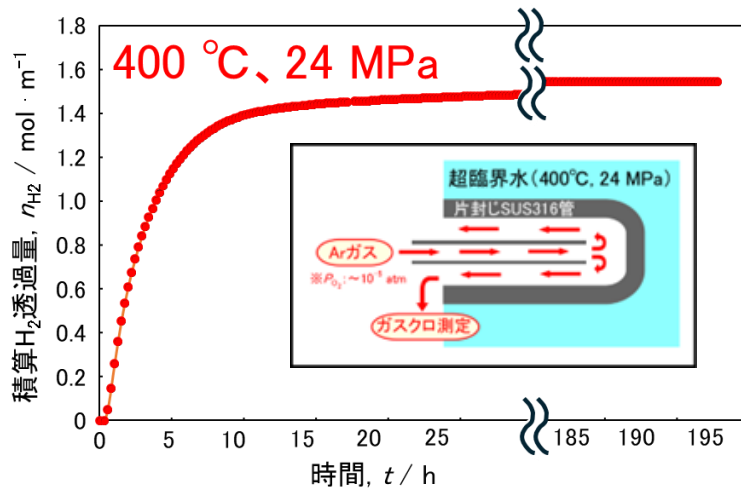
研究成果

テーマ③：DAS用光ファイバーの信頼性向上技術開発

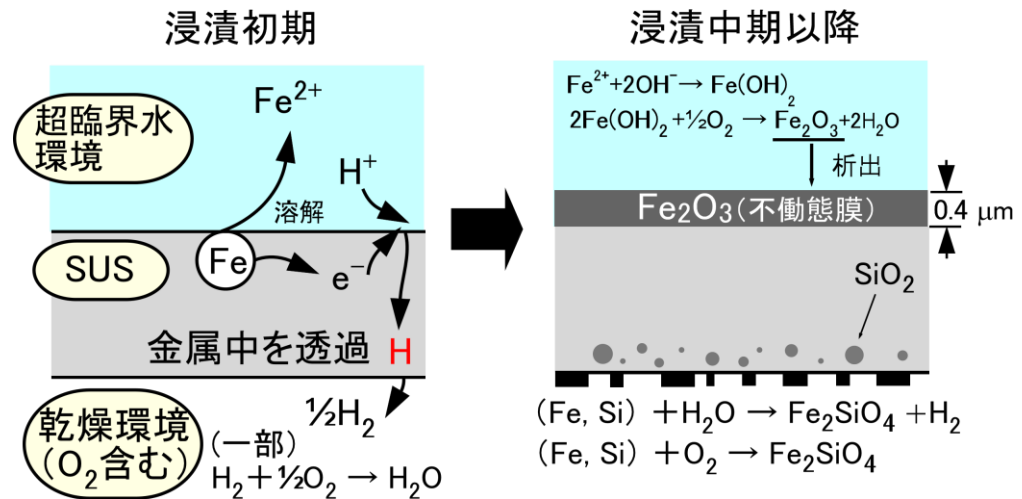
2021年度 実施	亜臨界から最高500℃までの超臨界水環境下に曝された光ファイバーの光透過損失の経時変化を連続的にその場で計測する装置を開発。
2022年度 実施	損傷度モニタリング技術の開発 <u>C/ポリイミド被覆ファイバー</u> 350℃までの高圧水環境で熱処理し光透過スペクトルのその場観察。 <u>C/Cu被覆ファイバー</u> 500℃までの高圧水環境で熱処理し光透過スペクトルのその場観察。 DAS用センシングシステムの構成要素の最適構成検討
2023年度 実施	損傷度モニタリング技術の開発 <u>C/ポリイミド被覆ファイバー、C/Cu被覆ファイバー：劣化メカニズムの詳細解析</u> DAS用センシングシステムの構成要素の最適構成検討 センサーデバイス構成材料の水素透過挙動の評価。
2024年度 実施	SUS管を介した水素透過挙動評価 超臨界水/SUS316/乾燥環境（二相環境）での水素透過の定量評価とメカニズム解析 透過水素の影響評価とセンサーデバイス構造の提案 SUS管を介した透過水素の光ファイバー特性への影響評価と その回避方法を検討

SUS管を介した水素透過挙動評価

- 超臨界水/SUS316/乾燥環境の二相環境下におけるSUS316管を介した水素透過挙動の直接評価と水素透過機構



二相環境下におけるH₂透過量

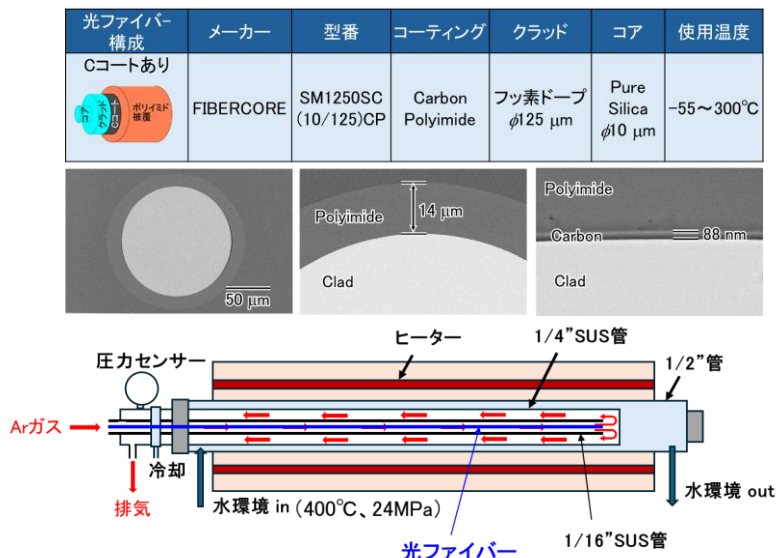


二相環境下に浸漬したSUS管の腐食機構

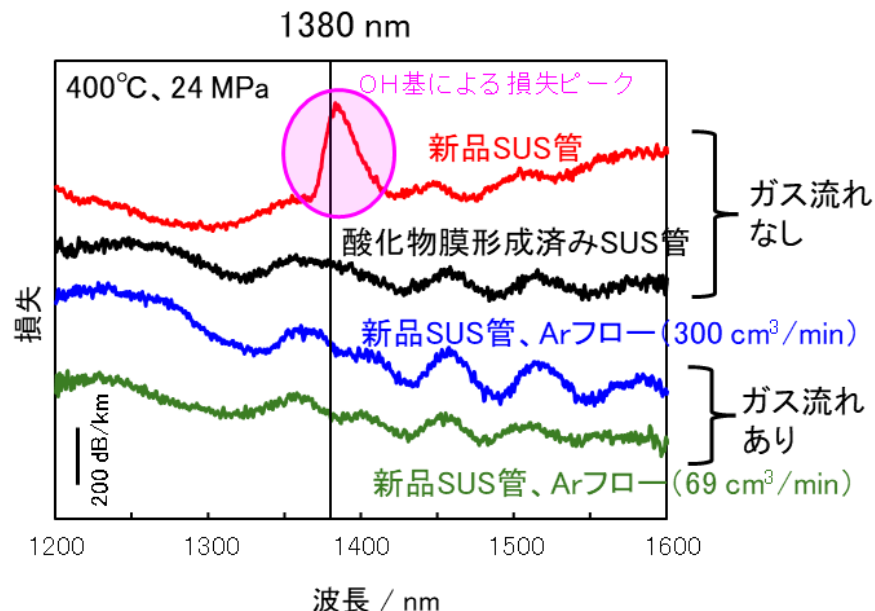
- 水素透過速度は初期が最も高く、その後急激に透過速度が減少
- 超臨界水環境側では、SUS管表面での溶解・析出により不動態膜のFe₂O₃層が時間経過に伴い形成するため、Feの溶解に伴うHの生成が抑制 (H₂透過速度が低下)
- 乾燥環境側では、管内に存在する極微量の酸素により形成した酸素ポテンシャル勾配下においてSUS管表面が酸化し、Fe₂SiO₄/内部酸化 (SiO₂) からなる多層スケールを形成
- 水素透過を抑制するためには超臨界水環境側に不動態膜のFe₂O₃層を形成することが重要

透過水素の影響評価とセンサーデバイス構造の提案

- SUS316管を介した透過水素が光ファイバー特性に与える影響評価とその回避策の検討



SUS316管を介した透過水素が光ファイバー特性に及ぼす影響評価法



400°C、24 MPa（超臨界水）、8日間浸漬後の光ファイバー特性評価結果

- カーボン/ポリイミド被覆光ファイバーを片封じSUS316管内に装填し400°C、24 MPa（超臨界水）で8日間の試験
- 試験前後の光伝送損失の差分から、光ファイバー特性に及ぼす透過水素の影響を評価
- SUS316管表面に予め酸化物膜（ Fe_2O_3 層）を形成し、SUS管内にArガスを流すことによって400°C、24 MPa、8日間の試験後でもOH基に起因する損失ピークなし