

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層の深度、分布、広がりなどを明らかにする。

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。

北海道森での調査

2021北海道森町の濁川地区にある北海道電力の森地熱発電所の周辺で坑井内の光ファイバーを用いた地熱探査を行った。得られた光ファイバー分布型振動センサー（DAS）記録および地表地震計中の地震波記録から初動走時を読み取り、東西方向の2次元速度分布と地震波の反射の分布を求めた(Kasahara et al., 2022)。得られた結果はそれまでに得られている地熱構造(Hanano et al., 2005)と類似の地震波速度構造を示した。しかし震源の数が充分でなかったため2次元の結果となった。

その不十分さを補う目的で2024年度に濁川地区の3次元構造を求めるための調査を行った。今回は2021年とは異なった地熱坑井を用い、12か所でそれぞれ480回～500回の加振を行った。東西方向の測線に地上地震計も設置した。震源は30秒間に10-75Hzのスイープを行い、スパイクノイズなどに重みを付けたスタッキングを行い、地震波記録を求めた。DAS地震波記録と地上地震計地震波記録中のP波初動走時を用い、3次元走時解析を行い3次元Vp速度構造を求めた。これを用い理論DAS波形と理論地表地震計記録を作成し実際の観測記録満足する速度構造を求めた。盆地の中心部でカルデラ型の速度構造がみられルート状の形状を示した。この結果は以前に作成された地熱モデル（Hanano et al., 2005）や2021年の我々の結果(Kasahara et al., 2022)と整合的である。3次元速度構造から地熱坑井に相当するプロファイルを切りだし坑井地質データと比較し良い一致が得られた。DAS記録から反射波を取り出し、3次元速度構造を持ち反射点に戻すマイグレーション処理を実施した。反射波のイメージング結果と地震波速度構造を併合したものを作成した。

2021北海道森町の濁川地区にある北海道電力の森地熱発電所の周辺で坑井内の光ファイバーを用いた地熱探査を行った。得られた光ファイバー分布型振動センサー（DAS）記録および地表地震計中の地震波記録から初動走時を読み取り、東西方向の2次元速度分布と地震波の反射の分布を求めた(Kasahara et al., 2022)。得られた結果はそれまでに得られている地熱構造(Hanano et al., 2005)と類似の地震波速度構造を示した。

「DASによる断層系捕捉」が概念図

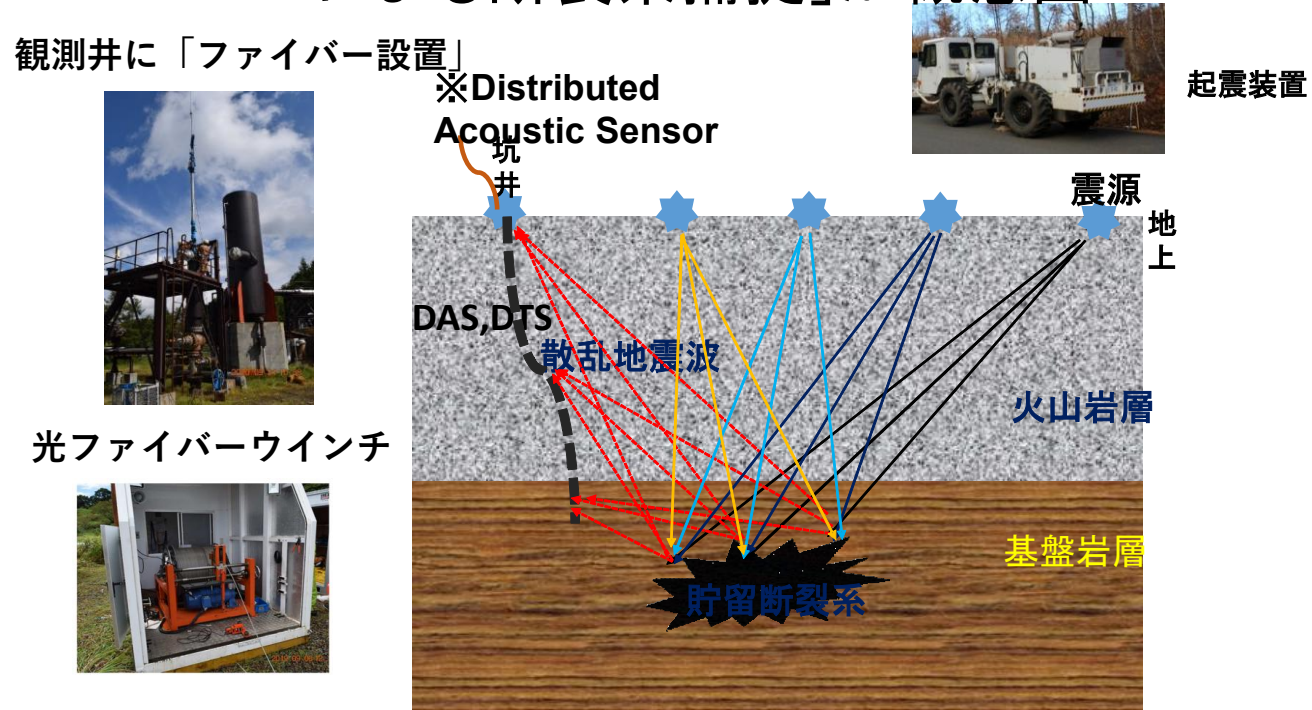


図1：DASによる地熱探査の概念

- 2018年 メディボ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 メディボ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 三菱マテリアル社濁川地熱フィールド
SE-4坑井での濁川の選定、生産ゾーンと反射ゾーンの相関
- 2022年5月～6月 出光興産濁川地熱フィールド
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山熱フィールド
KI-05坑井でのDTS,DAS測定
- 2023年10月 九州電力八丁原・大島地熱発電所
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山熱フィールド
KI-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

表1：2018年から実施した地熱調査地域

調査の概要

2021年の調査ではNF-01地熱坑井内に光ファイバーを入れ8か所での起震を行って東西方向のVp構造を求めた。その結果を図2に示した。
図1で示したカルデラ状の地熱・地質モデルと同じようなカルデラ構造をしていることが分かった。
しかし、震源の数が充分でなかったため2次元の結果となった。その不十分さを補う目的で2024年度に濁川地区の3次元構造を求めるための調査を行った。今回は2021年とは異なった地熱坑井を用いた。
2024年にはNF-10生産井とNC-6還元井を用い、前者に対して12か所の加振、後者に対して8か所の加振を行った。
解析で2021年DAS及び地表地震計のデータと2024年のDAS及び地表データを統合して解析を行った。

テーマ③：DAS用光ファイバーの信頼性向上技術開発

～超臨界地熱環境下で適用可能なDAS用光ファイバーシステム構造の検討～

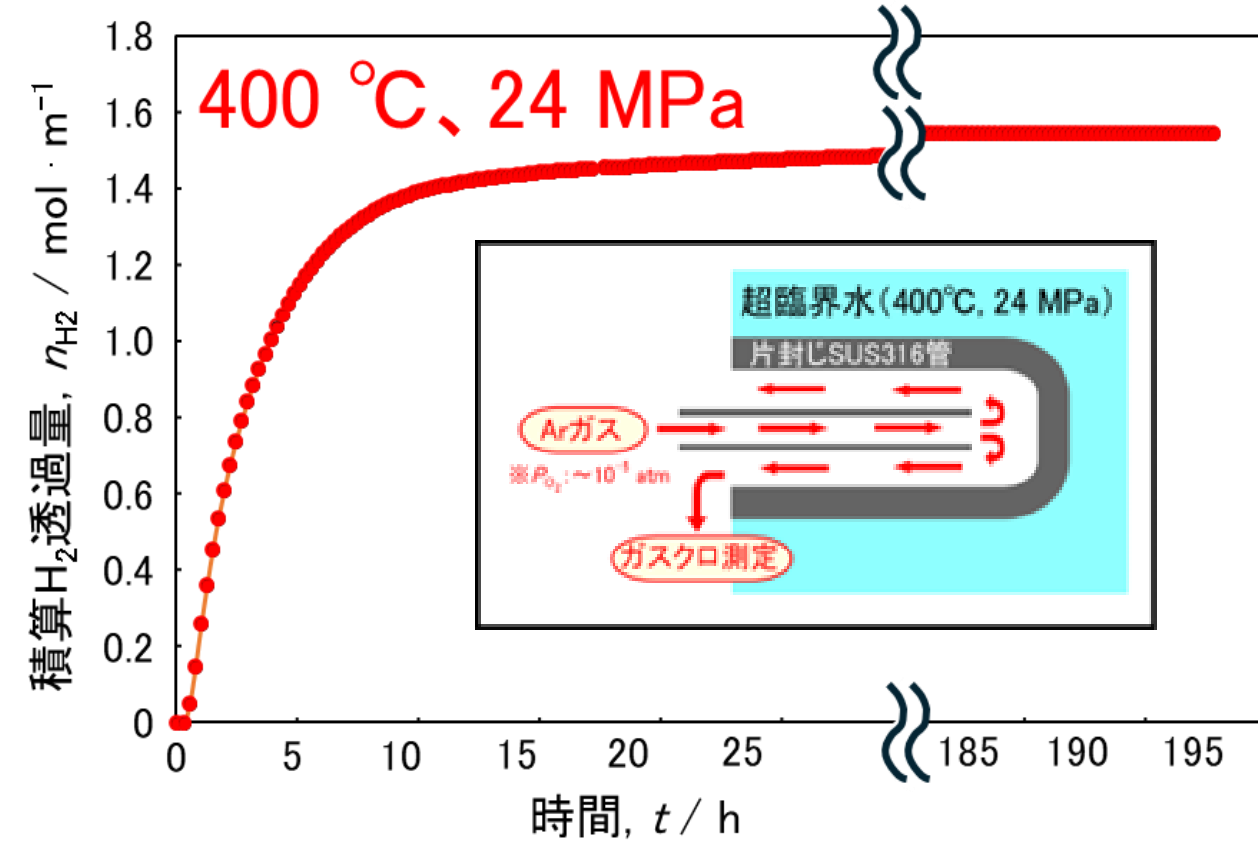


図3-1 SUS316管を介した水素透過挙動の定量評価

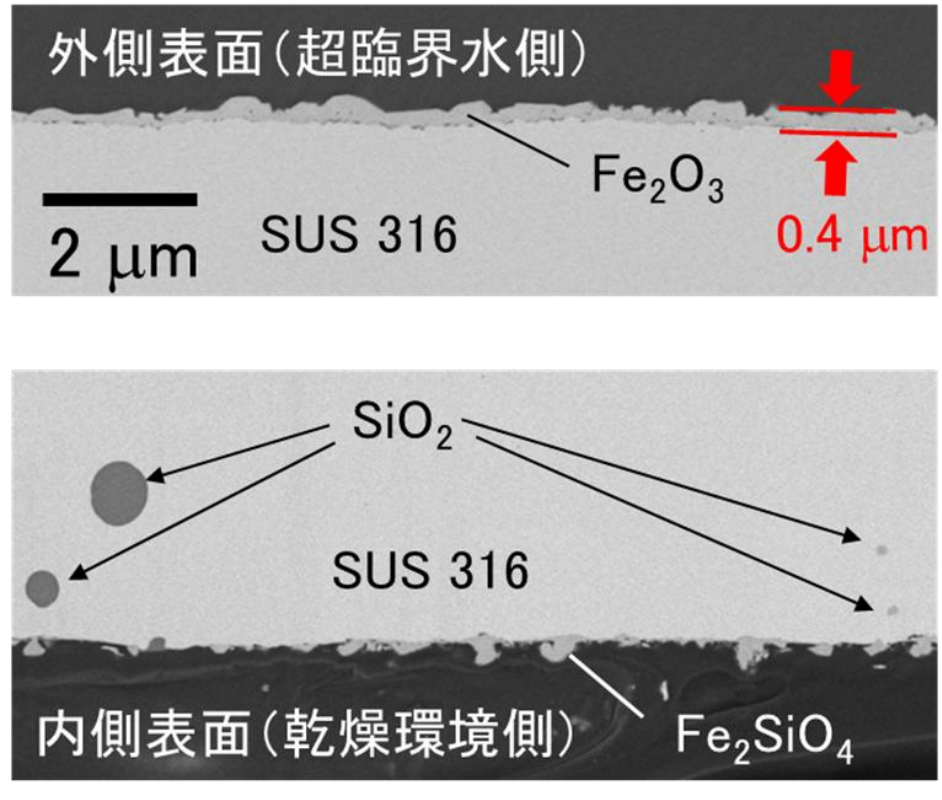


図3-2試験後SUS316管断面分析結果

超臨界水側ではFe₂O₃が形成
乾燥環境側ではFe₂SiO₄の形成と内部酸化SiO₂が形成

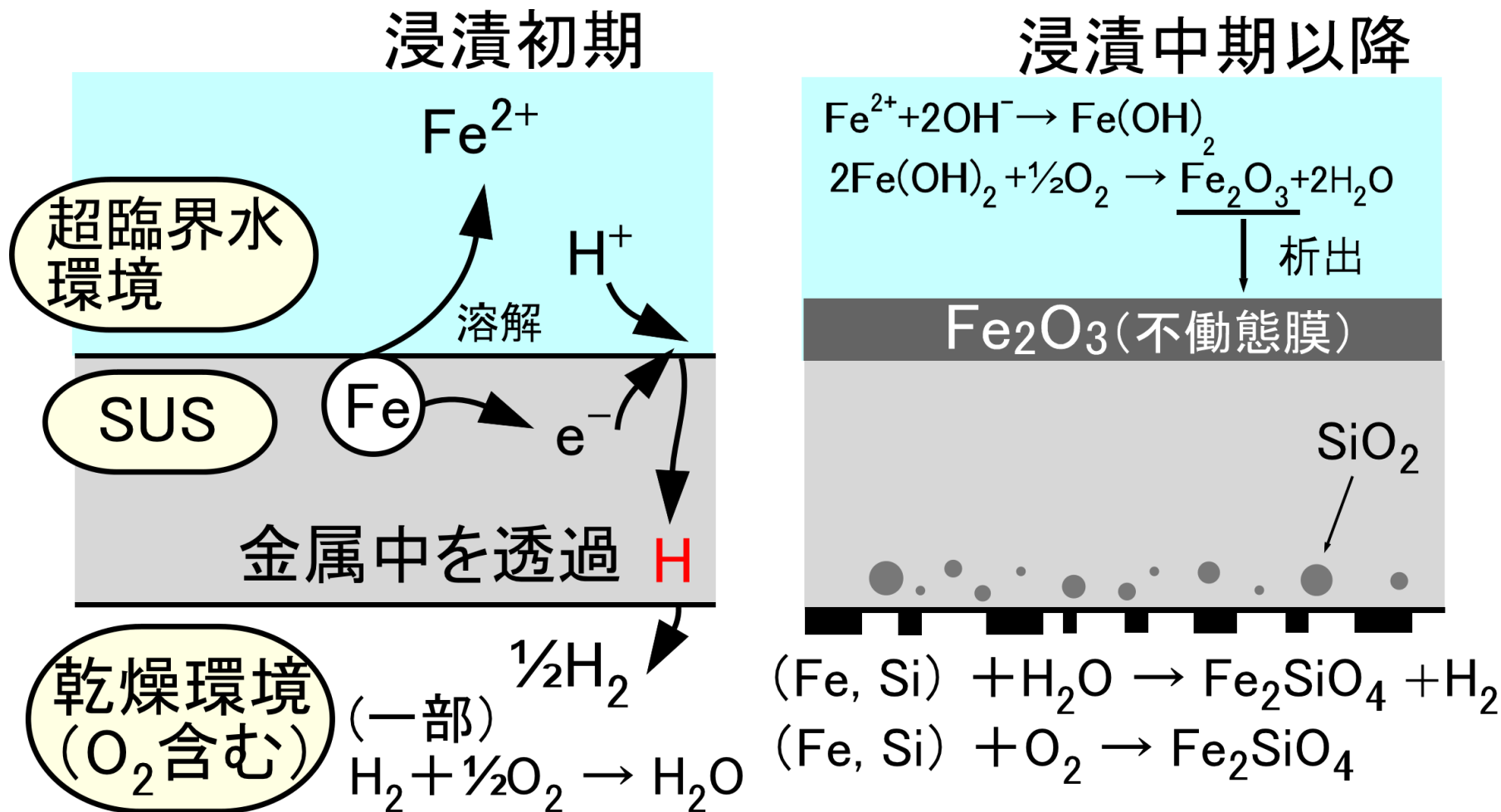


図3-3 二相環境下での溶解・析出による水素透過機構

Feの溶解によってHが形成、乾燥環境側へ透過し、その後Fe₂O₃（不動態）析出によってH形成が抑制

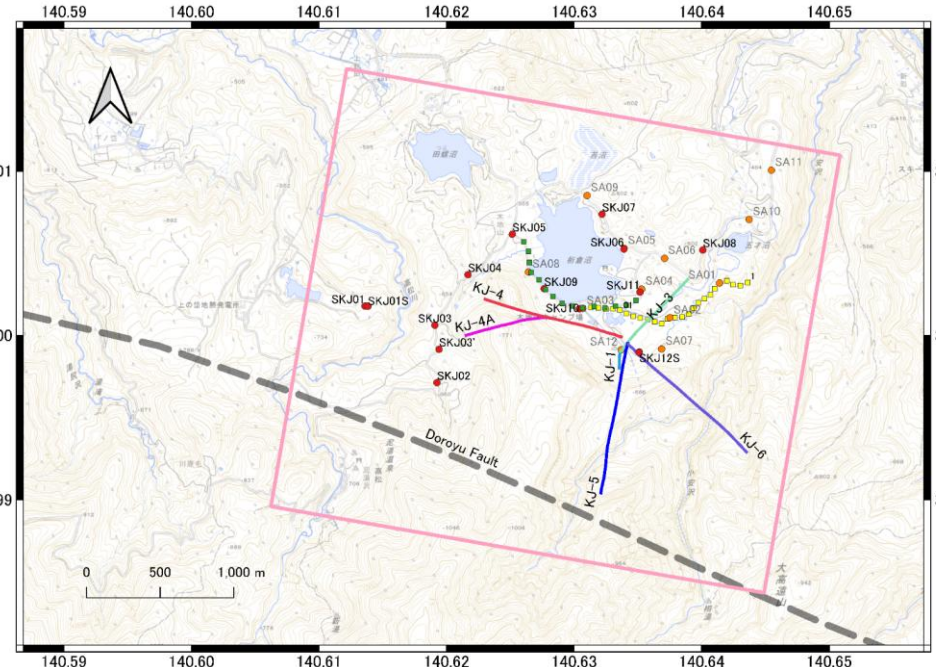


図8：木地山での調査位置図

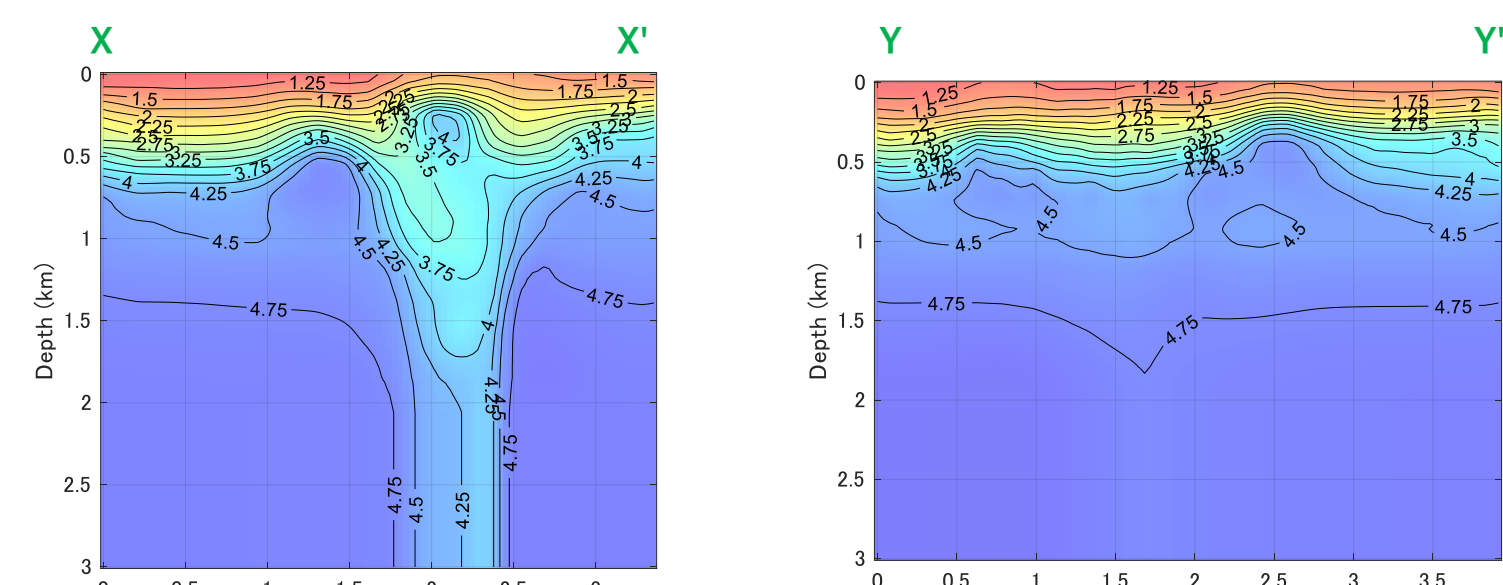


図3：2024年の森の調査場所。測線は断面の位置を示す。

Figure Vp structure along the X-X' line (left) and Y-Y' line (right). Color and contours show Vp values

図4：図3の測線に沿ったVpの深さ分布。

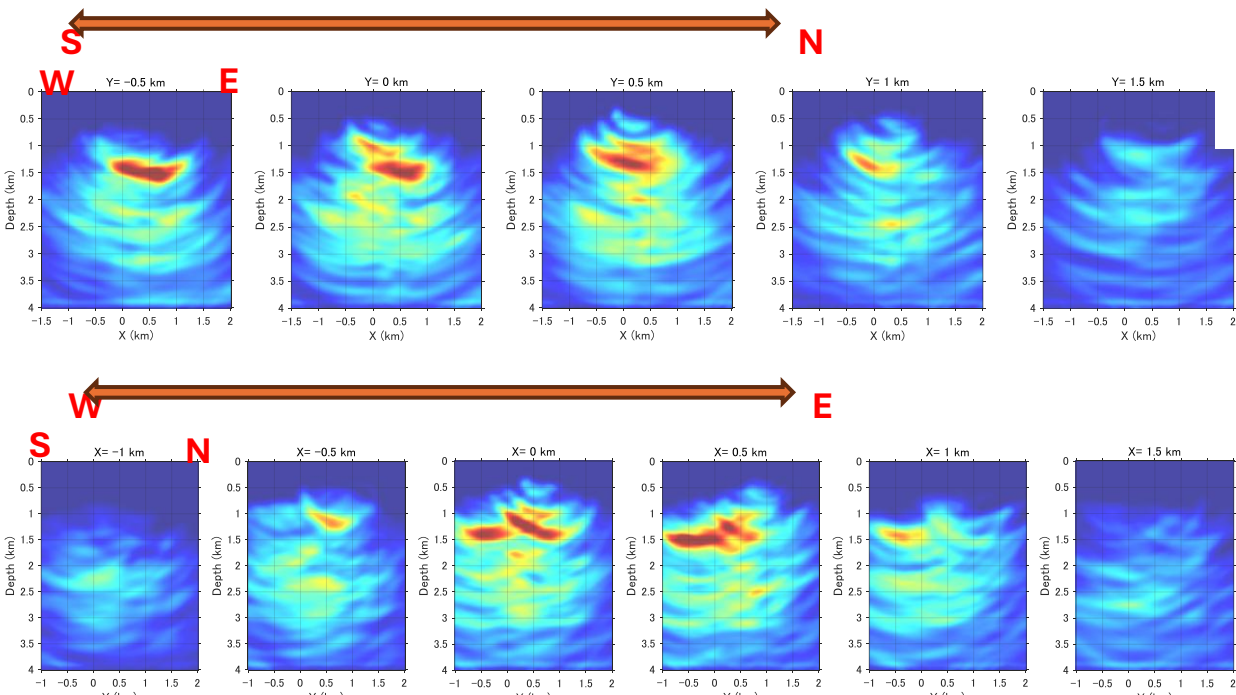


図5：森での速度分布と地震波反射強度の深さ断面

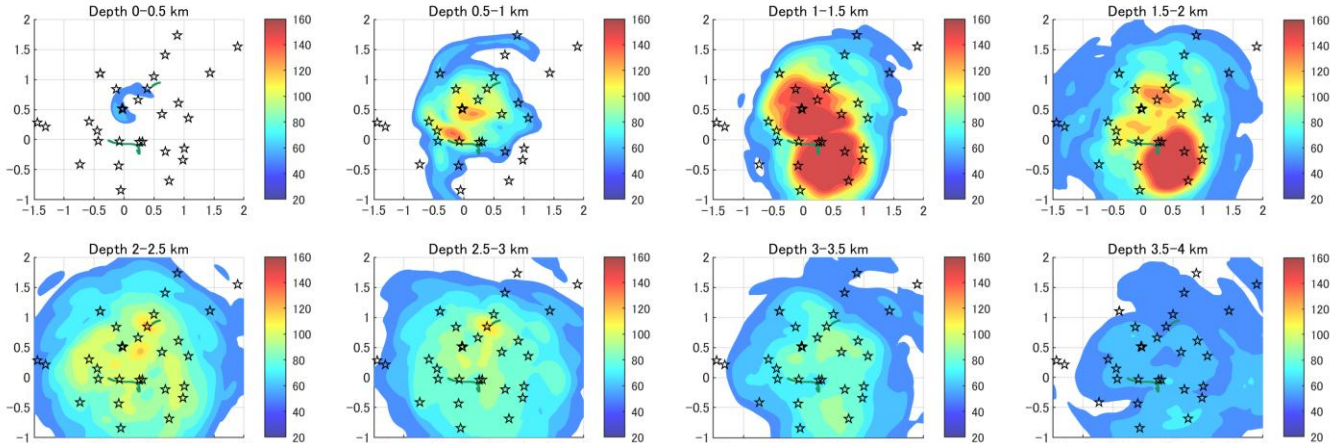


図6：森での反射強度の深さスライス。

- 森でのDAS調査のまとめ
- 2021年、2024年に北海道釧路町濁川地区でNF-1、NF-10、NC-6の三か所の地熱坑井と28か所での起震をしてDAS記録を得た。
- 統合データを用いて3DのVp構造を得た。中心部はカルデラの形状、NC基地はカルデラの外側に位置した。
- この速度構造は20か所の地熱坑井の地質と調和的であった。
- DAS記録中の反射波のマイグレーションを実施した。その結果、深さ1000 mから3000 mに及び反射ゾーンがあることが分かった。
- 速度構造、反射構造と20か所の坑井トラジェクトリーを重ね逸泥、出水、入水面所を重ね、地熱貯留層の位置と反射ゾーンの位置関係が明らかになった。

2024年の木地山野での調査

湯沢市木地山では2022年にも南北の地熱坑井を用いDAS地熱調査を行ったが2024年には東西坑井を用い、2回で得たデータを統合して解析を行った。

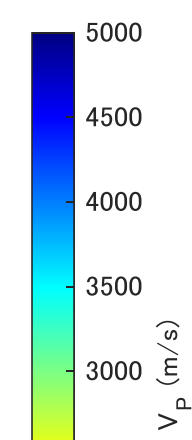


図2：2021年の森の結果（右）とそれまでの地熱モデル

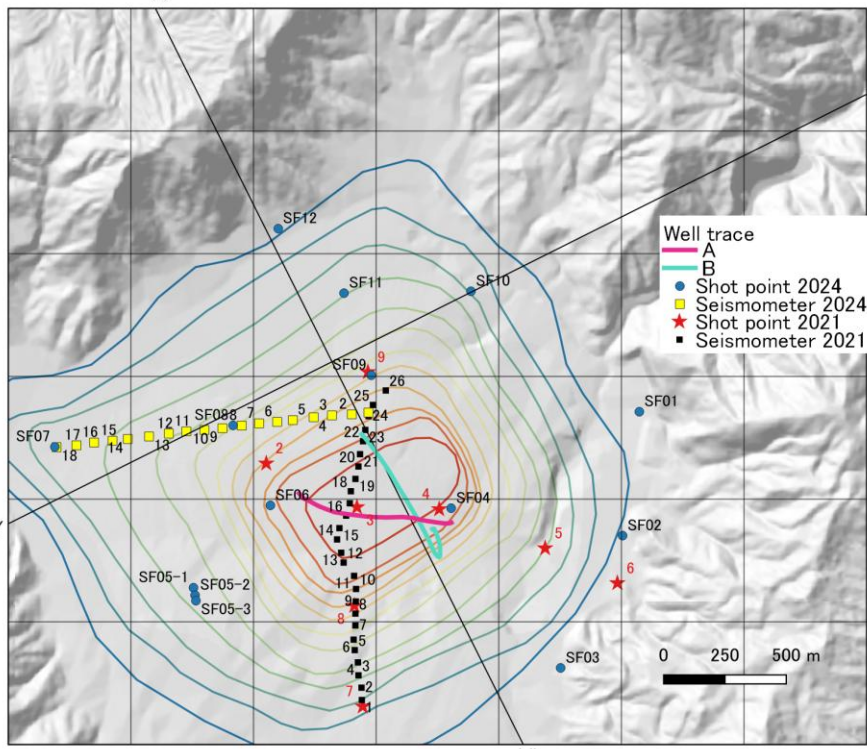


図3：2024年の森の調査場所。測線は断面の位置を示す。

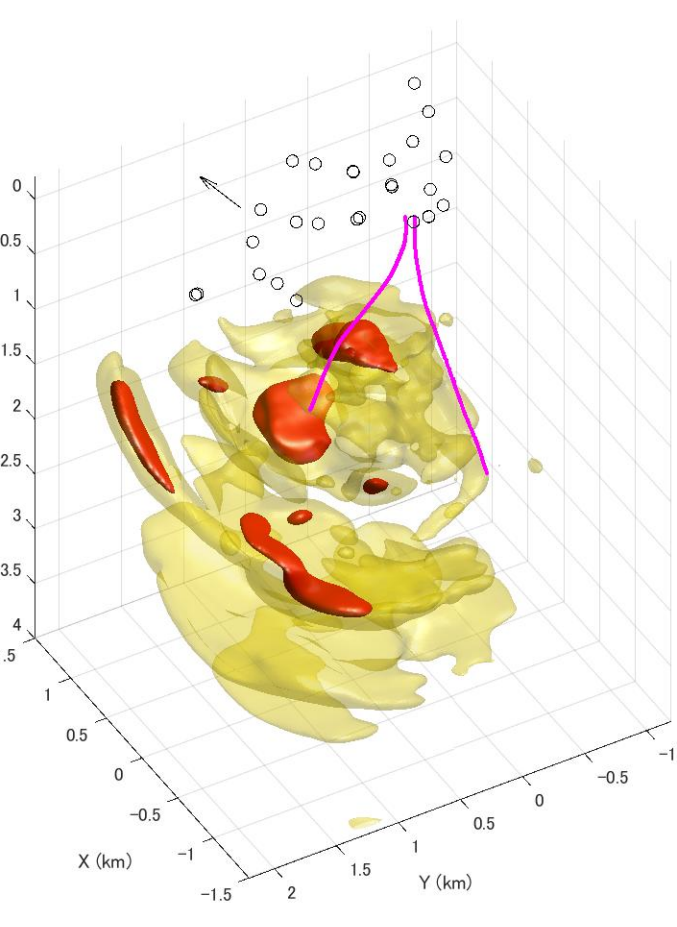


Figure Vp structure along the X-X' line (left) and Y-Y' line (right). Color and contours show Vp values

図4：図3の測線に沿ったVpの深さ分布。

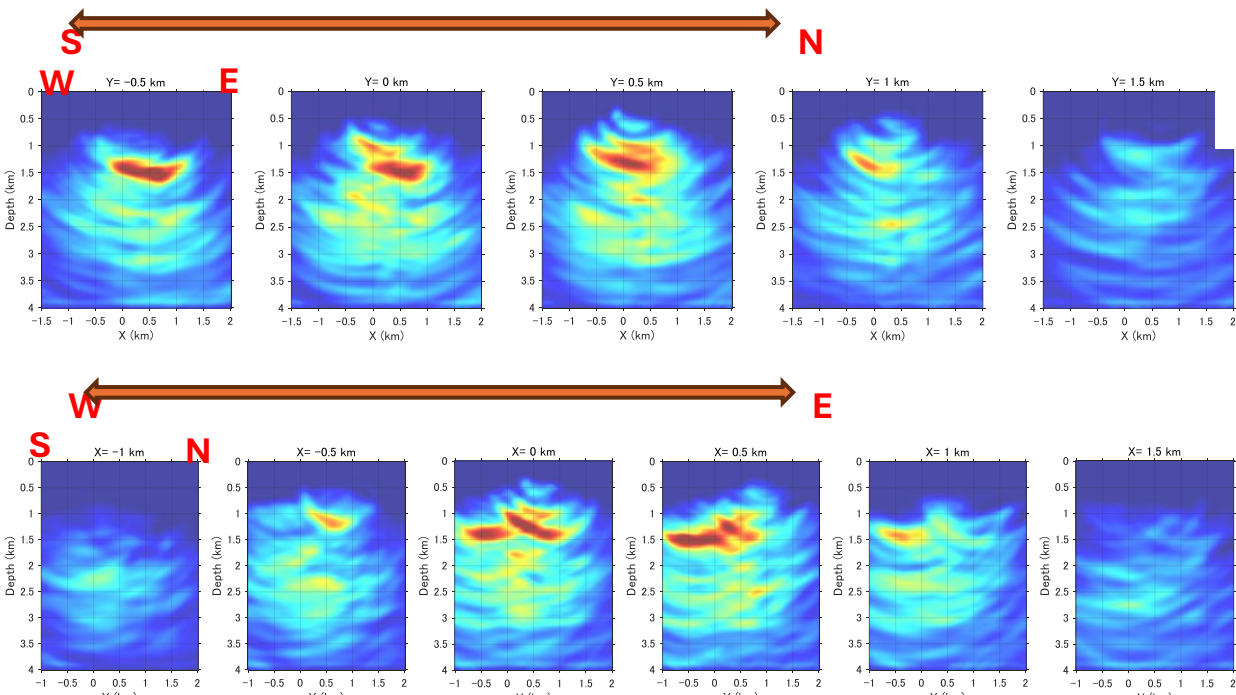


図5：森での速度分布と地震波反射強度の深さ断面

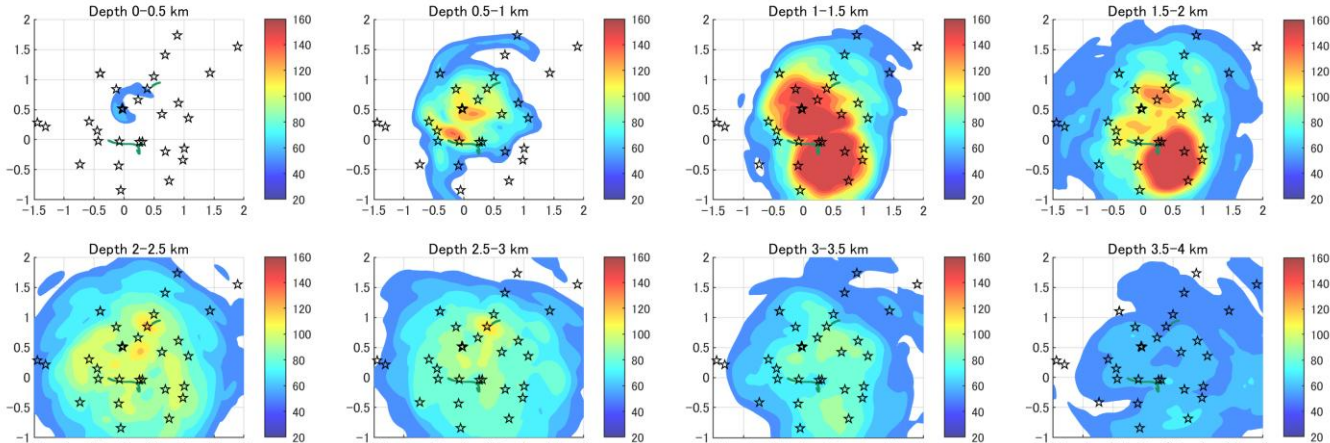


図6：森での反射強度の深さスライス。

- 森でのDAS調査のまとめ
- 2021年、2024年に北海道釧路町濁川地区でNF-1、NF-10、NC-6の三か所の地熱坑井と28か所での起震をしてDAS記録を得た。
- 統合データを用いて3DのVp構造を得た。中心部はカルデラの形状、NC基地はカルデラの外側に位置した。
- この速度構造は20か所の地熱坑井の地質と調和的であった。
- DAS記録中の反射波のマイグレーションを実施した。その結果、深さ1000 mから3000 mに及び反射ゾーンがあることが分かった。
- 速度構造、反射構造と20か所の坑井トラジェクトリーを重ね逸泥、出水、入水面所を重ね、地熱貯留層の位置と反射ゾーンの位置関係が明らかになった。

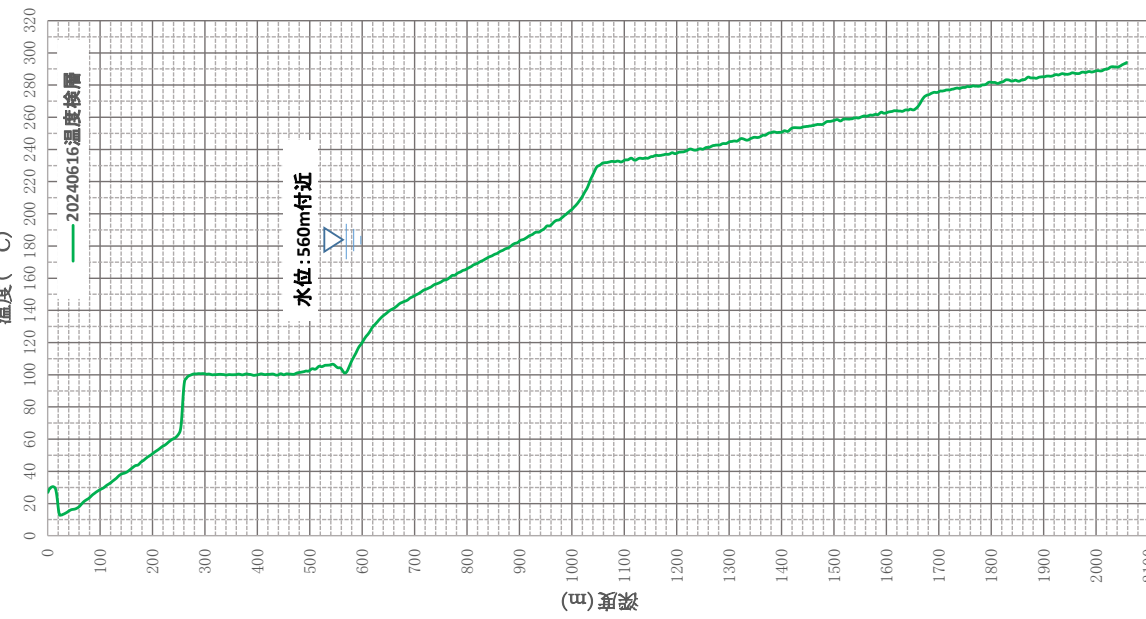


図9：DTSによって得た温度分布。坑底で294℃だった。

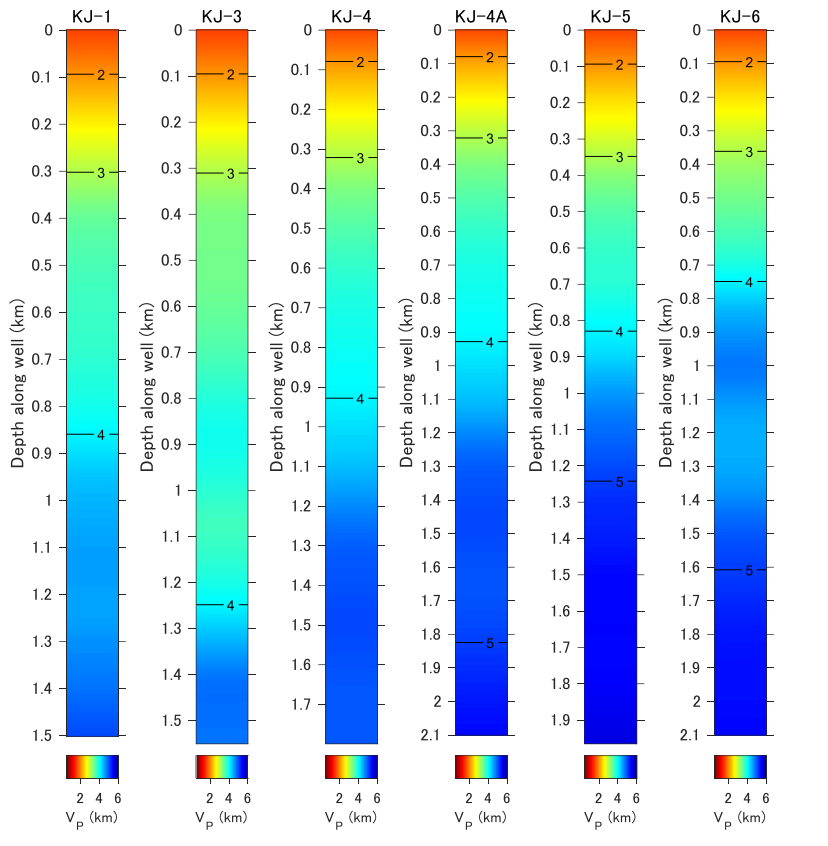


図10:木地山の坑井トラジェクトリーに沿ったVpの結果。

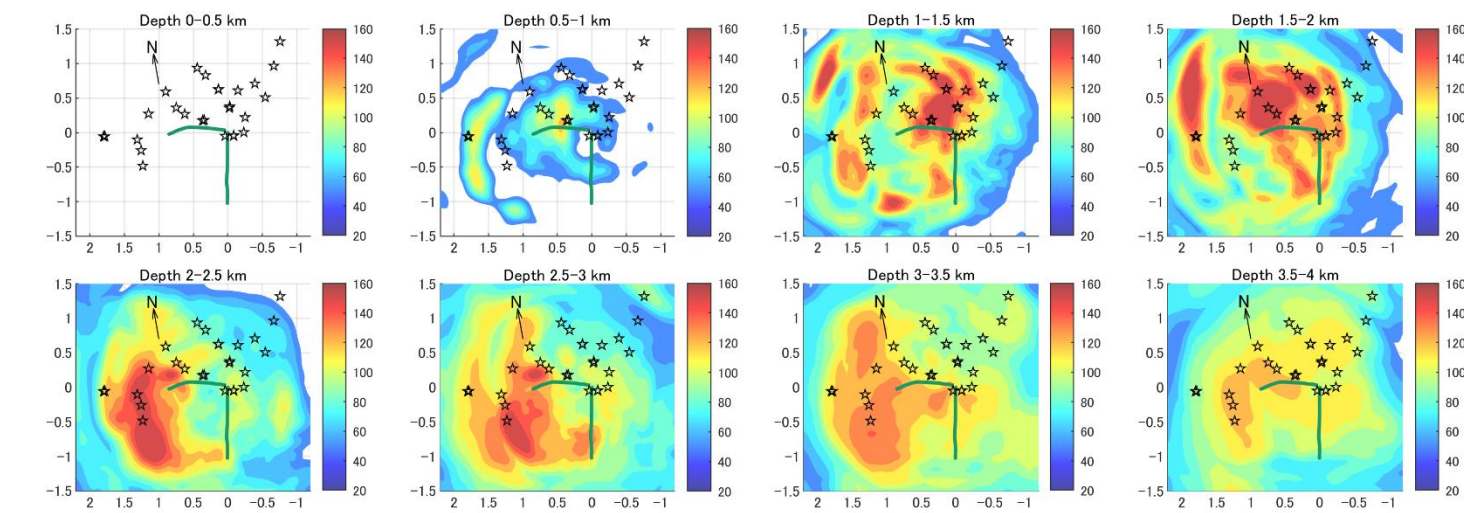


図11：木地山の反射強度尾深さスライス。

図12：木地山での地震波反射強度の3次元分布。

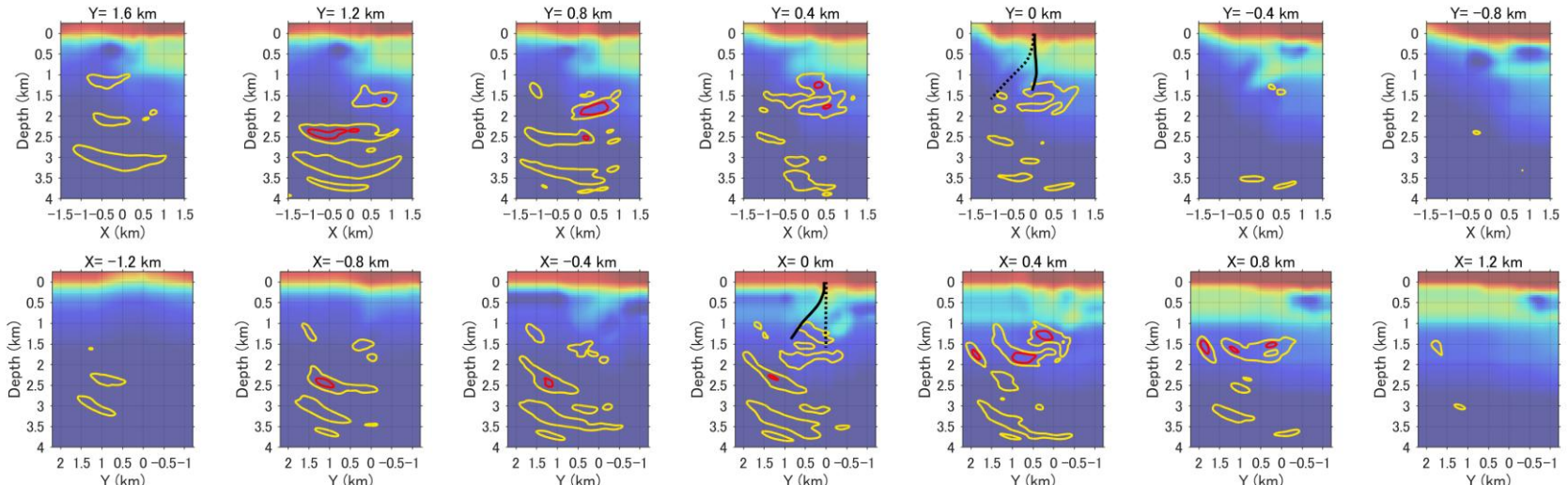


図13：木地山での地震波反射強度とVpの深さ分布。

テーマ④①：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山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、断層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認した。
 - 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。

■課題と今後の取組
400℃までの測定できることを確認した。
後は広報が必要である。

■実用化・事業化の見通し
方法が確立し、地熱貯留層と地震波速度、地震波反射波の分布の関係を明らかにすることができる見通しができてきた。
実用化への段階になったと考える。
数社と事業化を進めている。

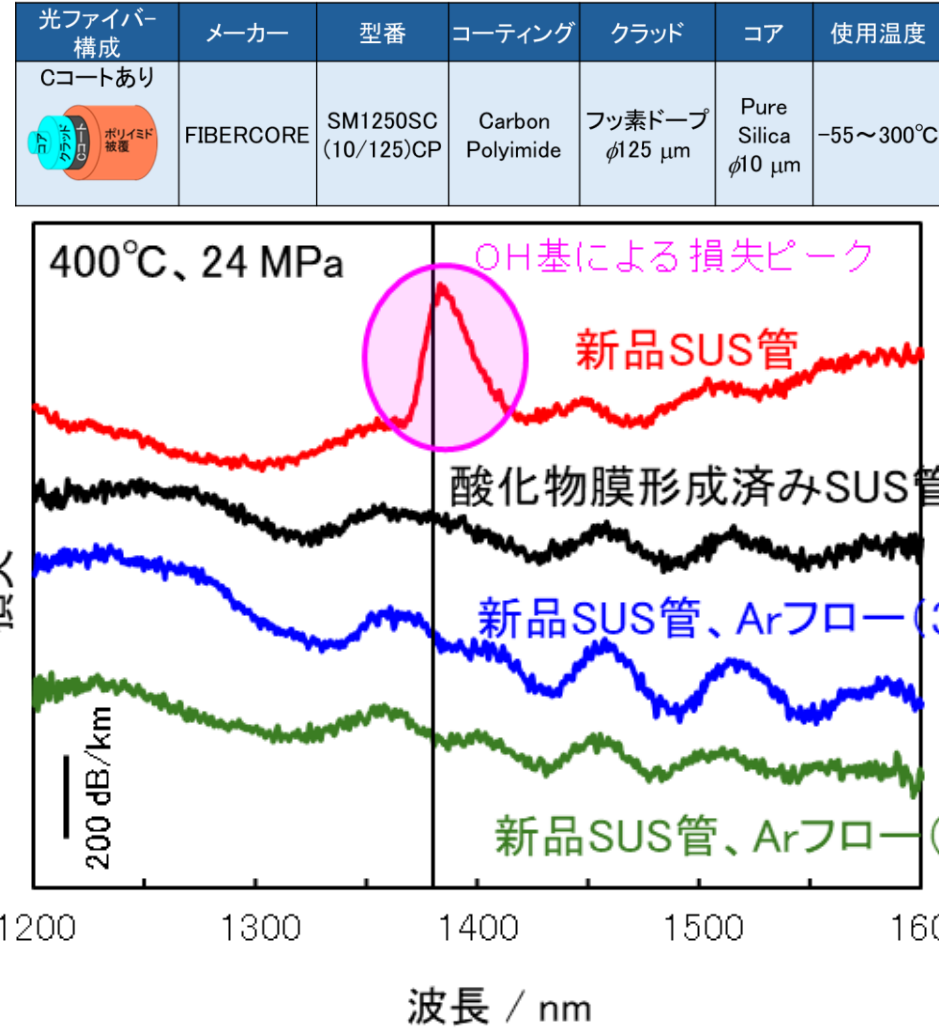


図3-4 光ファイバー特性に及ぼす透過水素の影響評価

SUS316管表面にFe₂O₃層を形成し、SUS管内にArガスを流すことによって**400℃、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**