NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026（分野名：熱利用・地熱発電）
発表No.：k-05

地熱発電導入拡大研究開発／地熱発電高度利用化技術開発／

坑内異常自動検出AI 方式，耐熱坑内可視カメラ（BHS）開発

団体名：地熱エンジニアリング株式会社、三井金属資源開発株式会社、国立研究開発法人　産業技術総合研究所
発表日：2026年7月22日

【事業概要】[開始：2021年6月：終了：2026年3月]

【背景・目的】

地熱井の長寿命化・安定運用のためには、坑内のスケール付着やケーシング破損（圧潰・腐食等）の対策が重要であり、その検討において坑内状況の適切な把握を行なう必要がある。

本事業の成果により、地熱井の坑内で生じている異常箇所を効率的・視覚的に把握して、トラブル要因の一つであるスケール試料を採取し、最適な対策修繕計画の立案に資する情報提供を行えるようにすることで、地熱井の長寿命化・安定運用に寄与することを目的とする。

【実施内容・最終目標】

1）**200℃耐熱の坑内可視カメラ**（以下、 BHSと略記する）とスケール採取装置の開発

200℃、2,000m程度の環境下で4時間以上作業ができること。魚眼レンズを用いた全方位視認タイプ及びミラーを用いた側方視タイプのBHSが開発されていること。BHSで確認したスケールを採取する装置が開発されていること。

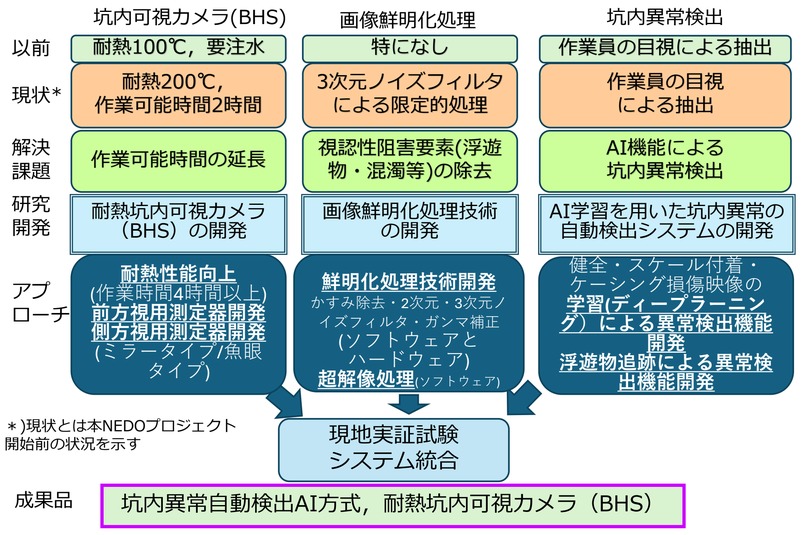
2）**画像鮮明化機能**開発

画像鮮明化処理システムのソフトウェアが完成するとともに、ハードウェアへの組み込みが完了し、 現場において、鮮明化した画像を視認できる状況になっていること。超解像によるシステムを用いることで、特定の区間の坑内画像をさらに鮮明化するシステムが完成していること。

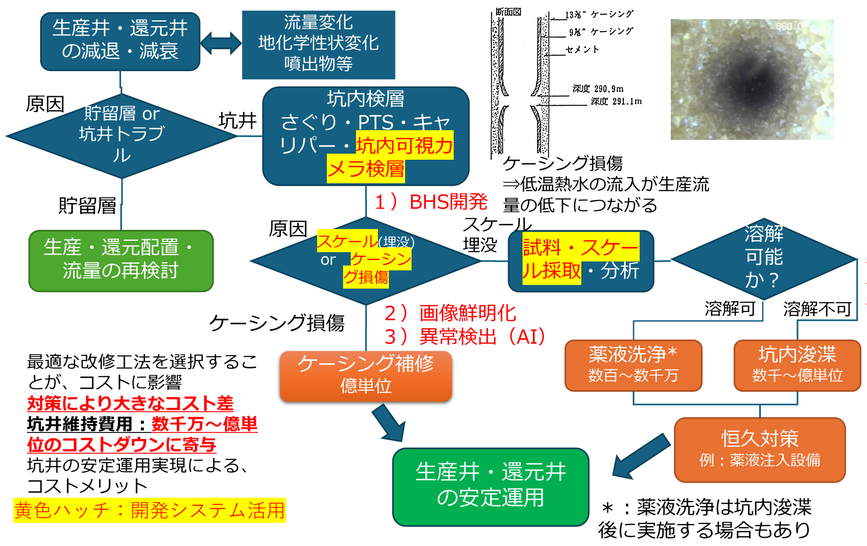
3)画像から**坑内異常を自動検出するAI機能**開発

生画像および鮮明化処理後の画像からスケール付着・ケーシング損傷部を自動検出できるシステムが完成し、現地で画像鮮明化処理結果及びAIによる異常検出結果が確認できるシステムとなっていること。解析時のデータ処理時間が従前の1/3程度となること。全方位視認タイプ・ミラータイプの画像に対する画像についてAI学習(再学習含む)機能を用いて異常検出できるシステムが構築されていること。浮遊物検出システムにより、坑内浮遊物を自動検出・追跡することで坑内外間の流体の流入出を検出し、画像で認識できない微細な損傷検知ができるシステムが構築されていること。

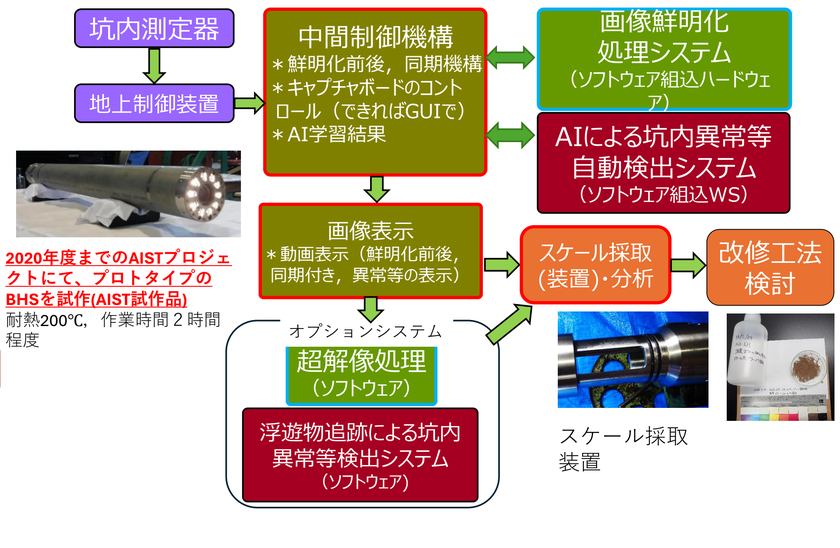
【研究開発概要】



耐熱坑内可視カメラ(BHS)課題及び取組・成果品



開発システムの活用方法・安定運用/コスト削減への貢献

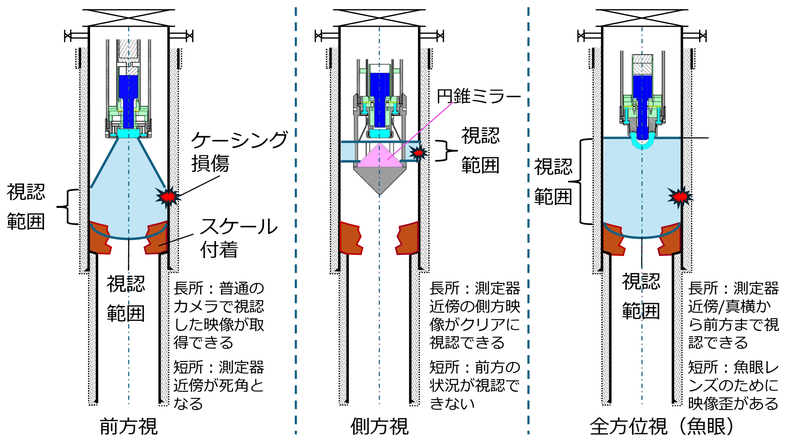


耐熱坑内可視カメラ(BHS)システム構成図

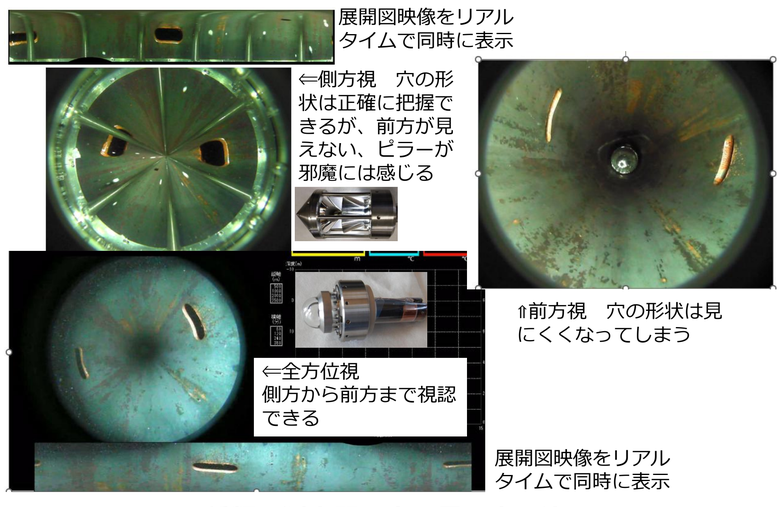
【2025年度の主な研究成果】

a)耐熱BHS測定器開発

- 耐熱BHS測定器開発は、2023年度までに前方視用の測定器の開発完了、耐熱200℃、動作4時間以上の目標を達成
- 2024年度に側方視用測定器の開発を、2025年度には全方位視(魚眼)用測定器開発を行い、実証試験を行った。



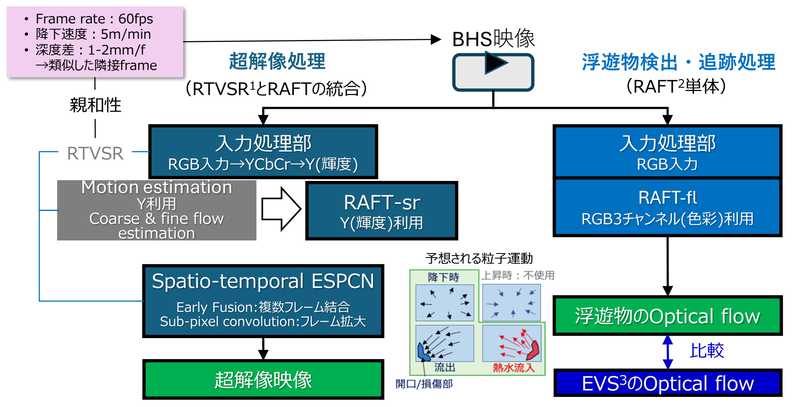
開発した測定器の種類と視認範囲のイメージ



3種類の測定器による見え方の違い

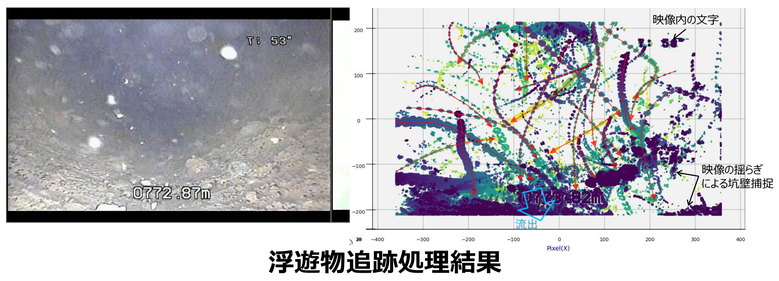
b)画像鮮明化処理/超解像/浮遊物追跡

- 画像鮮明化処理システムは、取得した坑内映像をリアルタイムで鮮明化するソフト・ハードウェアの開発を2023年度までに完了した。
- 2024年度・2025年度は、注目したい箇所の映像をさらに鮮明化する超解像システムの開発と浮遊物追跡によるケーシング損傷等の検出システムの開発を実施した。



超解像と浮遊物検出のためのAIモデルのアーキテクチャ

超解像処理結果(左：オリジナル、右：超解像処理後)



浮遊物追跡処理結果

c)坑内異常自動検出システム開発

- 坑内異常検出システム開発は、2023年度までに前方視映像に対するシステム開発を完了した。【正解率：93.6%】
- 2024年度・2025年度は、側方視と全方位視タイプの映像について、既存映像/取得映像で学習によるシステムの開発を実施した。

側方視･全方位視　BHS用AI

ResNet

層数：	ResNet34
損失関数：	CrossEntropyLoss
Optimizer：	Adam
学習率：	1e-4
Augmentation：	学習画像の上下反転／左右反転／拡大・縮小／明度変更／彩度変更
PretrainedModel：	デフォルト
入力サイズ：	縦182×横1696（展開）／縦224×横224（生）

VisionTransformer

層数：	ViT-L/16
Augmentation：	学習画像の上下反転／左右反転／拡大・縮小／明度変更／彩度変更
損失関数：	CrossEntropyLoss
Optimizer：	Adam
学習率：	1e-4
入力サイズ：	縦224×横224（展開＆分割）
パッチサイズ：	32
エポック数：	15エポック学習した中でval_lossが最も小さくなった5エポック目のモデルを使用

側方視型の正解率　正解率=((TP+TN)／N)

展開処理画像：画像を分割してクラス分類（ResNet）

枚数（枚）		判定したクラス 正常	スケール付着	ケーシング損傷	視界不良	正解クラスの合計	正解率
正解	正常	113	0	1	15	129	90.8%
	スケール付着	0	110	2	0	112	
	ケーシング損傷	0	0	114	25	139	
	視界不良	6	0	0	148	154	
判定したクラスの合計		119	110	117	188	534	

展開処理画像：画像を分割してクラス分類（VisionTransformer）

枚数（枚）		判定したクラス 正常	スケール付着	ケーシング損傷	視界不良	正解クラスの合計	正解率
正解	正常	91	0	5	33	129	92.3%
	スケール付着	0	111	1	0	112	
	ケーシング損傷	0	0	138	1	139	
	視界不良	1	0	0	153	154	
判定したクラスの合計		92	111	144	187	534	

全方位視型の正解率

展開処理全方位視画像（分割、ResNet）

枚数（枚）		判定したクラス 正常	スケール付着	ケーシング損傷	視界不良	正解クラスの合計	正解率
正解	正常	128	0	0	3	131	96.6%
	スケール付着	0	0	0	0	0	
	ケーシング損傷	2	0	41	1	44	
	視界不良	0	0	0	0	0	
判定したクラスの合計		130	0	41	0	175	

展開処理全方位視画像（分割、VT）

枚数（枚）		判定したクラス 正常	スケール付着	ケーシング損傷	視界不良	正解クラスの合計	正解率
正解	正常	130	0	0	1	131	98.3%
	スケール付着	0	0	0	0	0	
	ケーシング損傷	9	0	35	0	44	
	視界不良	0	0	0	0	0	
判定したクラスの合計		139	0	35	1	175	

【まとめ・課題】

開発項目	目標(計画時)		達成状況	改良点
測定機器開発	200℃，2,000m程度の環境下で4時間以上作業ができるBHSが開発されていること。 BHSで確認したスケールを採取する装置が開発されていること。 魚眼レンズを用いた全方位視認タイプ及びミラーを用いた側方視タイプのBHSが開発されていること。		すべて達成	組立作業効率アップ(内部構造改良) 耐熱性能(センサー耐熱向上)
画像鮮明化処理	浮遊物等のノイズを除去できる画像鮮明化処理が可能な3次元フィルタをはじめとするシステムのプロトタイプが完成し、浮遊物ノイズ等が除去されて、坑壁画像が視認できる状況に改善されていること。 ソフトウェアで処理している画像処理システムのハードウェアへの組み込みが完了し、現場において、鮮明化した画像を視認できる状況になっていること。 開発した画像鮮明化処理システムで処理した画像に対して、さらに超解像によるシステムを用いることで、特定の区間の坑内画像をさらに鮮明化するシステムが完成していること。		すべて達成	画像処理における最適パラメータ設定のノウハウ向上 全方位視映像を用いた3次元可視化技術の確立
AI 学習を用いた坑内異常の自動検出システムの開発	映像判別	生画像および鮮明化処理後の画像からスケール付着・ケーシング損傷部を自動検出できるシステムが完成し，現地で画像鮮明化処理結果及びAI による異常検出結果が確認できるシステムとなっていること 解析時のデータ処理時間が従前の1/3 程度となること 全方位視認タイプ・ミラータイプの画像に対する画像についてAI 学習(再学習含む)機能を用いて異常検出できるシステムが構築されていること	すべて達成 前方視正答率：93.8% 全方位視正答率：98.3%	データ取得する毎に再学習機能を用いて再学習させ、AI判別性能を向上させる
	浮遊物検出	浮遊物検出システムにより、坑内浮遊物を自動検出・追跡することで坑内外間の流体の流入出を検出し、画像で認識できない微細な損傷検知ができるシステムが構築されていること。	達成	抽出したオプティカルフローの軽量化

【今後の取り組み】

- 左記の改良点についての改善に向けた取り組みとともに、事業者[顧客]からの要望が大きかった事項であるより深い深度まで対応できるシステムの開発と、坑内の不具合・トラブル状況をより詳細に把握できるように、魚眼センサーによる映像歪を補正して、坑内状況を３次元モデル化できるシステムの開発に取り組む予定である。

【実用化・事業化の見通し】

- 今後の取り組みに記載した課題を解決した後に(目処として３カ年)、研究開発時における実証試験結果を検証し、坑内温度状況による試作測定器の使い分けなどの指針を設けた後に、開発者共同で、検層業務としてのサービスを開始する予定である。

地熱エンジニアリング株式会社　　梶原　竜哉
連絡先：https://www.geothermal.co.jp/　TEL：019-691-9300