

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

研究開発責任者：梶原 竜哉

地熱エンジニアリング（株）

2023年2月2日

【委託先】

地熱エンジニアリング（株）
三井金属資源開発（株）

【再委託先】

（国研）産業技術総合研究所
松永ジオサーベイ（株）

問い合わせ先
地熱エンジニアリング株式会社
梶原 竜哉
E-mail:
kaji@geothermal.co.jp
TEL: 019-691-9300

事業概要

1. 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。

2. 実施期間

開始： 2021年6月

終了（予定）： 2024年3月

3. 実施内容および最終目標

1) **200℃耐熱の坑内可視カメラ**（以下、ボアホールスキャナーと呼び、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。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。

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。

研究開発概要

地熱発電所の課題

地熱井(生産井・還元井)の
長寿命化と安定運用

地熱井のトラブル

ケーシング破損(腐食・圧潰)
スケール付着による坑内閉塞
による**生産還元流量の減衰**

事業者ニーズ

トラブル原因の
究明

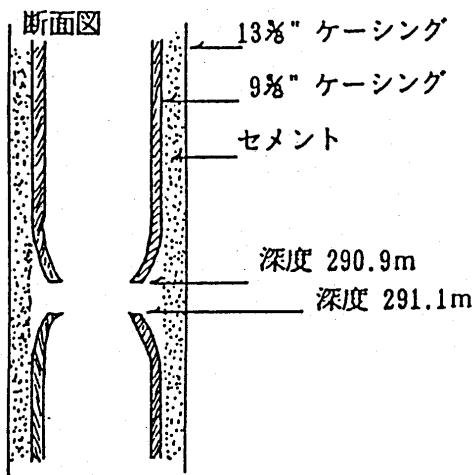
坑内を直接
視覚的に確認
したい

原因物質を
特定したい

課題

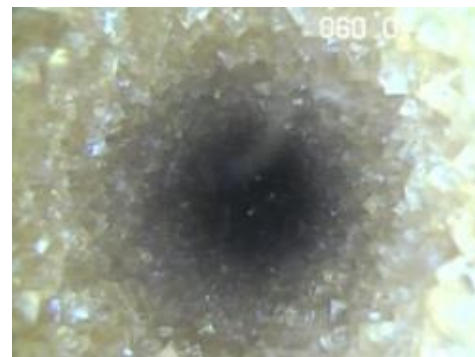
カラー画像の耐熱高い坑内カメラ
測定器がない(現状100°C)
200°C耐熱はモノクロ・コマ送り

耐熱以下とするために注水すると、
**スケール剥離による詰まりやケーシ
ング損傷を助長するリスク**あり



低温熱水の流入
による生産流量の
低下につながる

ケーシング損傷



スケールによる坑
内閉塞
⇒生産・還元流量
の減衰

研究開発概要

事業課題

測定器関係

できる限り注水させない
手法・測定器の開発
(測定機器の耐熱向上)

画像関係

スケール等の浮遊物による視認性障害の除去

データ処理関係

作業員による損傷等の目視確認
⇒
異常の見逃し・長時間にわたる作業時間

事業内容

- 1) 200°C程度の耐熱性能を持つボアホール光学カメラ検層器(BHS)の開発
- 2) 画像鮮明化機能の開発
- 3) 画像から坑内異常を自動検出するAI機能からなるシステムの開発

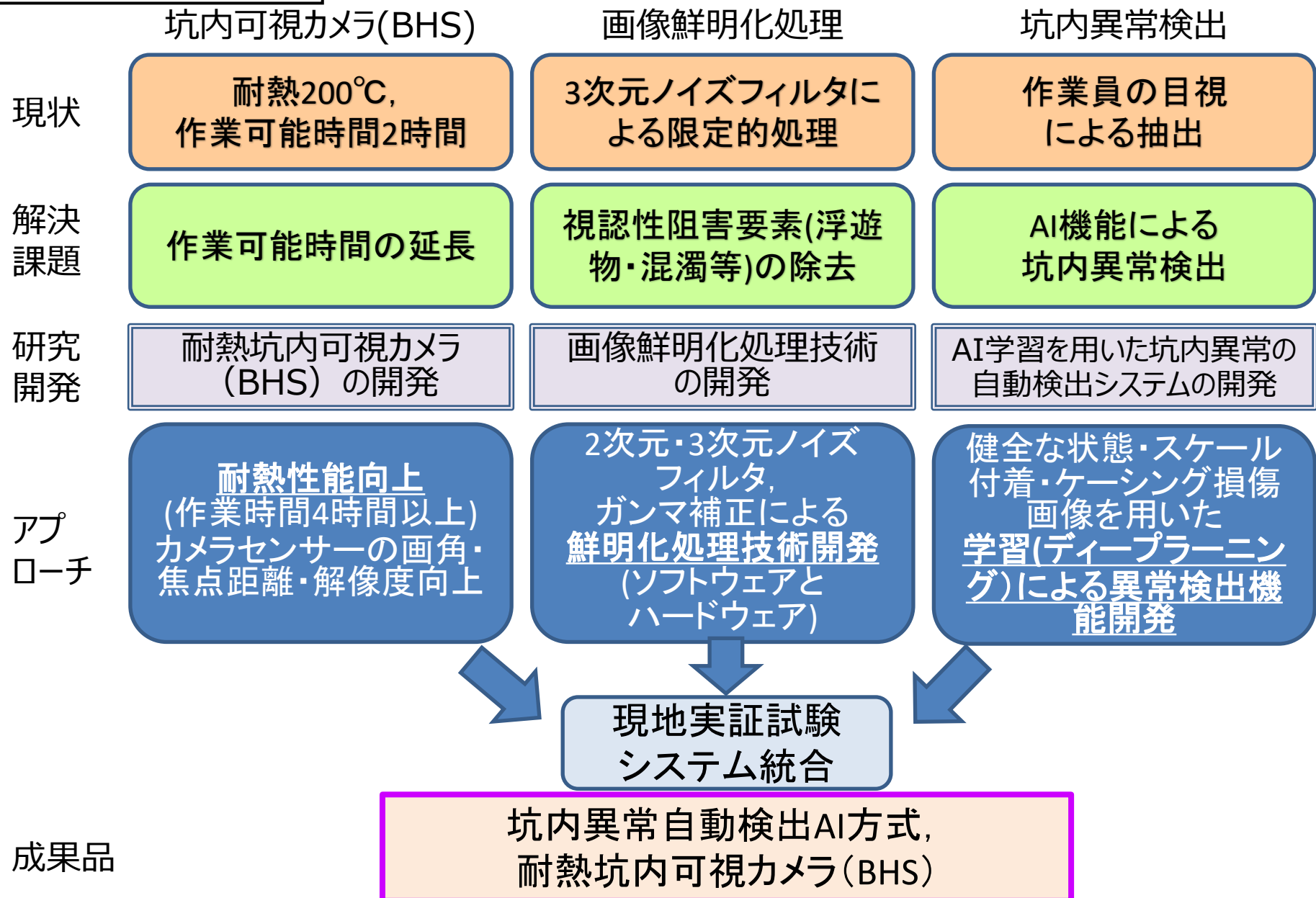
事業の効果

クリアな画像による坑内トラブルの視覚的な把握の迅速化・作業効率化

最適な改修
工法検討・対策実施

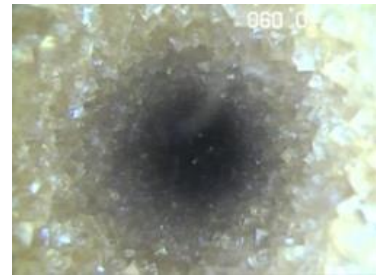
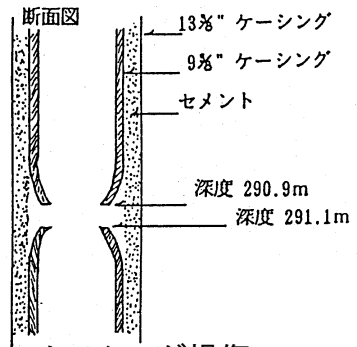
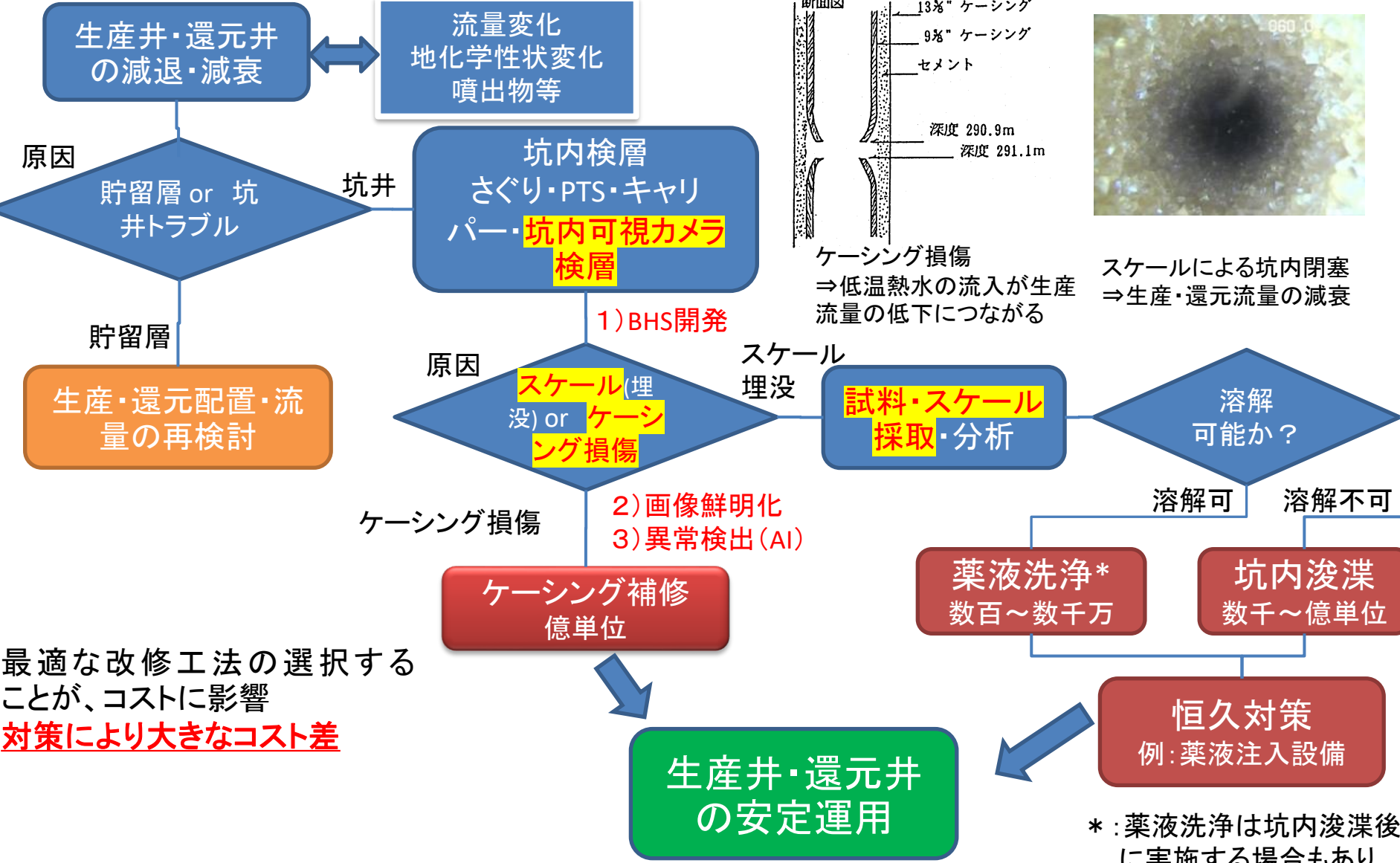
地熱井(生産井・還元井)の長寿命化・安定運用

研究開発概要



研究開発概要

開発システムの活用方法・安定運用/コスト削減への貢献



ケーシング損傷
⇒低温熱水の流入が生産
流量の低下につながる

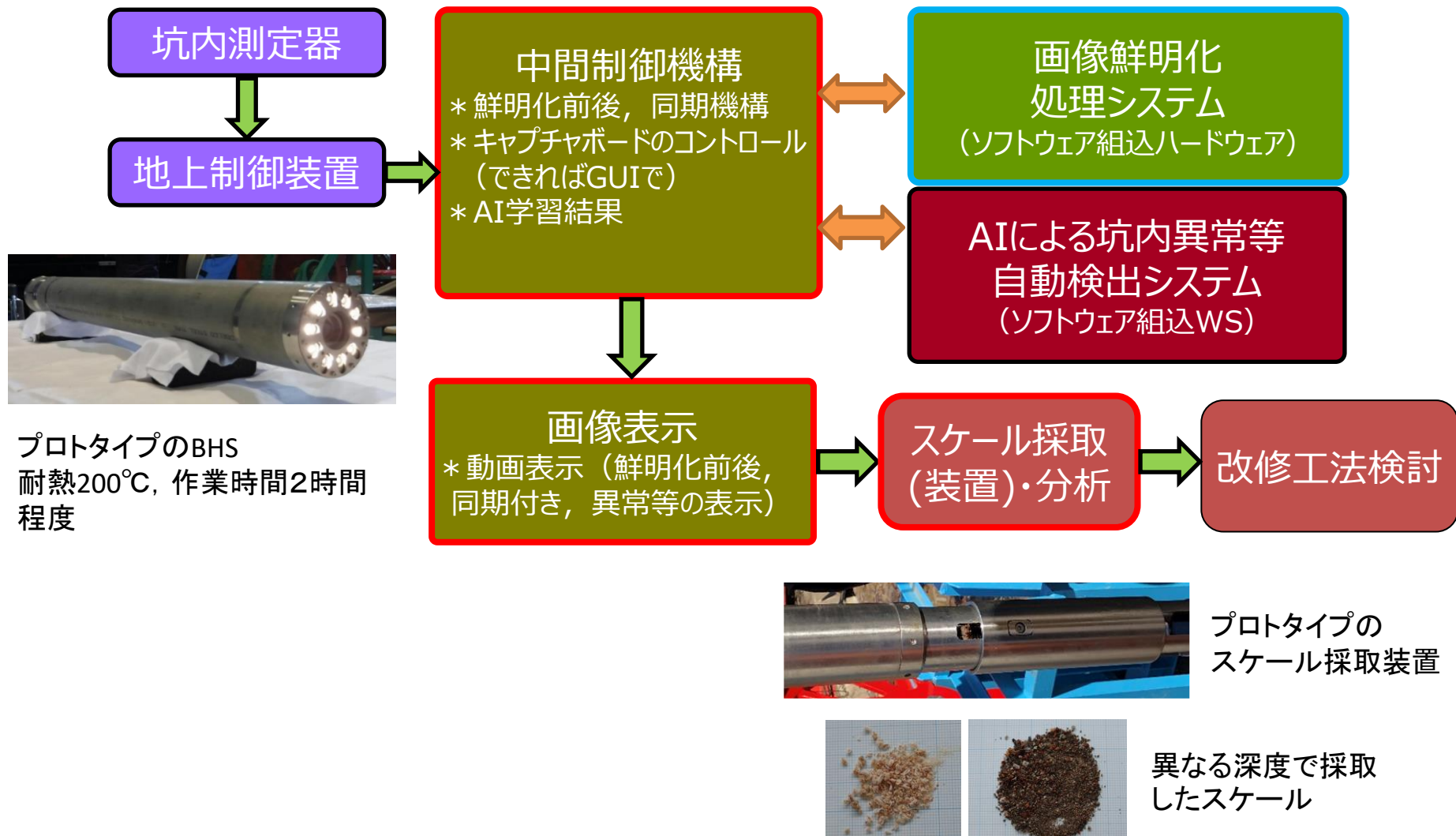
スケールによる坑内閉塞
⇒生産・還元流量の減衰

最適な改修工法の選択することが、コストに影響
対策により大きなコスト差

黄色ハッチ: 開発システム活用

*: 薬液洗浄は坑内浚渫後に実施する場合もあり

耐熱坑内可視カメラ(BHS)システム構成図



研究開発概要

技術開発スケジュール

研究開発項目	担当	2021年度	2022年度	2023年度
①高耐熱ポアホールスキャナの開発	○Geo-E, MINDECO, AIST	高耐熱ポアホールスキャナの開発		
②画像鮮明化処理技術の開発	Geo-E, ○MINDECO, AIST	画像鮮明化処理技術の開発		ハードウェアの開発
③AI学習を用いた坑内異常の自動検出システムの開発	Geo-E, MINDECO, ○AIST	AI学習を用いた坑内異常の自動検出システムの開発		
		坑内画像データの学習	坑内異常検出システムの開発	
④現地実証試験	○Geo-E, MINDECO AIST,MGS	現地実証試験		
⑤システム統合	○Geo-E, MINDECO, AIST,MGS	システム統合		

▲
中間評価

研究成果

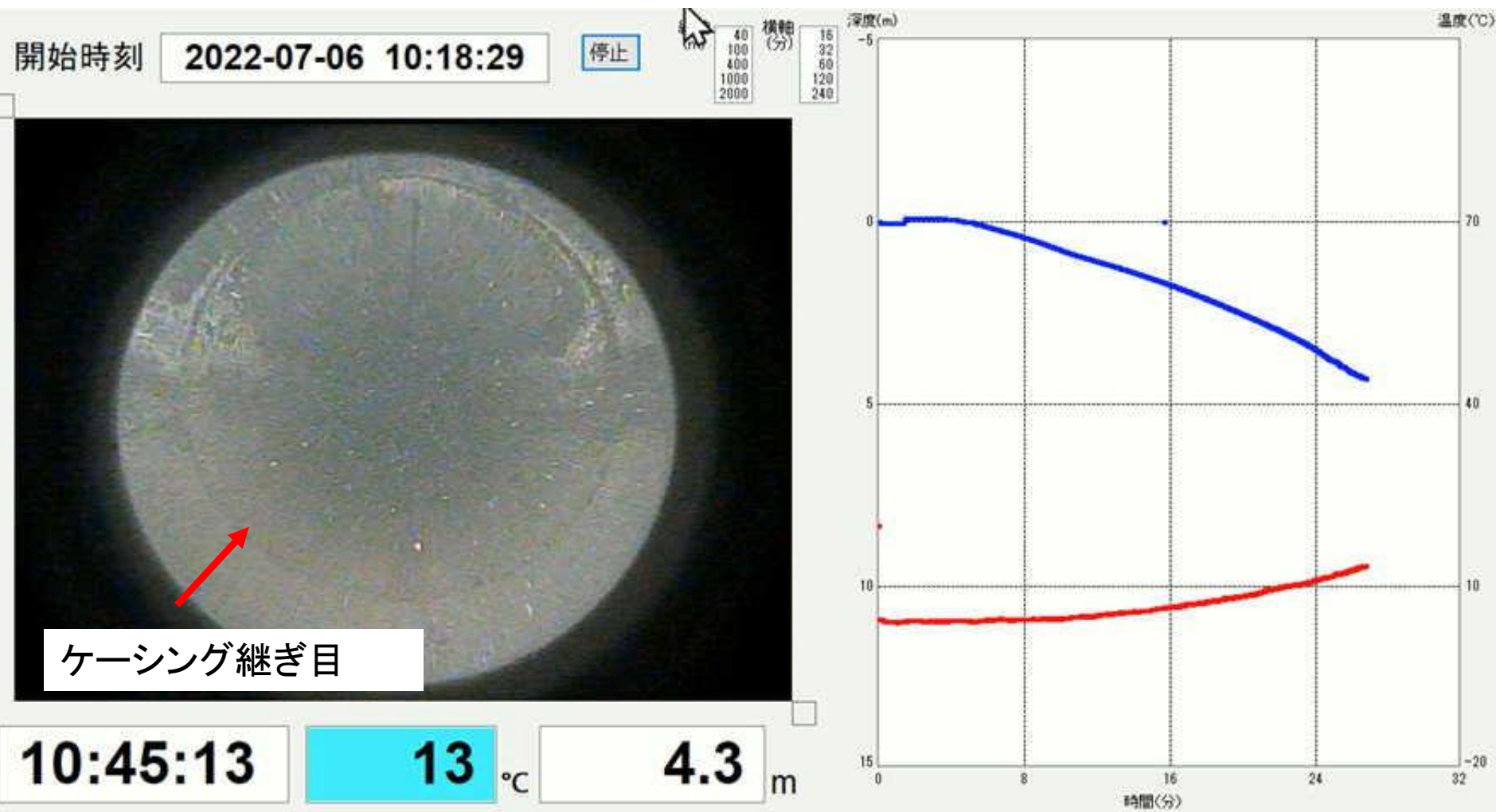
1)高耐熱ボアホールスキャナーの開発



測定器 組立完成全体図(耐熱200°C、 ϕ :101.6mm、L:1,320mm)

研究成果

坑内温度200°Cの坑井での実証試験



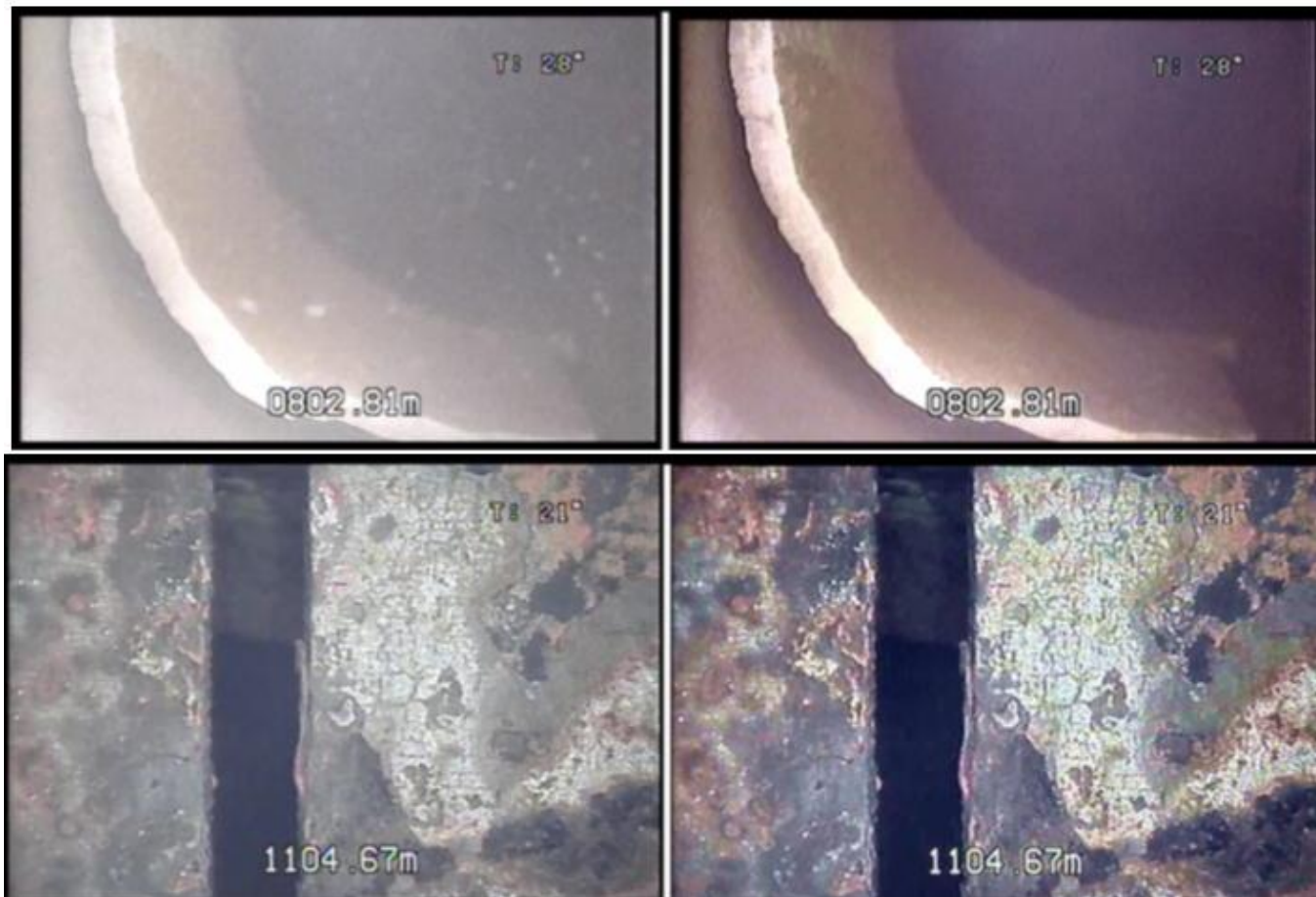
パソコン画面上の画像(例)

坑内温度200°Cで問題なく動作したが、測定可能時間が2時間強であった

研究成果

2)画像鮮明化処理技術の開発

複数のノイズフィルター(かすみ除去・3次元ノイズフィルター・2次元ノイズフィルター等)を組み合わせて画像鮮明化処理を行うシステムを開発



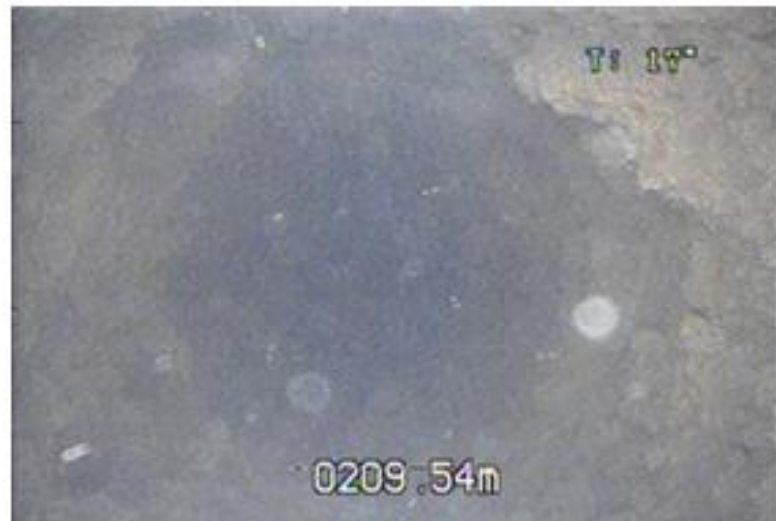
画像鮮明化処理システム 左(処理前)右(処理後)
処理後は細かな浮遊物の影響が除去され、色彩が鮮明となっている

研究成果

3) AI学習を用いた坑内異常の自動検出システムの開発



「正常」の例



「スケール付着」の例



「視界不良」の例

入力画像を「正常」「スケール付着」に分類することに加えて、「視界不良」かどうかを分類するAI手法の検討を行った(ResNet)。

ResNet+FFT(Fast Fourier Transform)+Gaussian-ADで「正常」「スケール付着」「視界不良」を判定させた場合、Accuracyは77%程度となっている。

今後の技術課題

- BHS測定器の動作可能時間の延長(目標作業時間:4時間以上)
- 画像鮮明化処理に係わるハードウェア・ソフトウェアの性能評価(現地でのオンライン処理、画像取得後のオフライン処理)
- AI学習機能の『正常』『スケール付着』『視界不良』の3クラス分類機能の実現・実用性能評価と再学習機能の付加による正答率の改善

現状まとめ

- BHSの試作品1号機を製作し、坑内温度200°Cの坑井での実証試験を行った。200°C環境下でカメラ検層器が動作することは確認できたが、最終的な動作目標時間(4時間)に対して2時間強の動作時間となった
- 画像鮮明化処理において、複数のノイズフィルターを組みあわせるシステムを構築した。画像に適用することで、ノイズ低減・画面の鮮明化を図ることができた。その成果をベースにハードウェアに係わる設計を進めている。
- 坑内異常検出に関して、前方視について、ResNetLFFT+Gaussian-ADで「正常」「スケール付着」「視界不良」の判定を行った。現在の正答率は77%程度である。