

# 2023年度成果報告会 プログラムNo.10

## 「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」

発表日：2024年1月31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 地熱エンジニアリング(株) 梶原 竜哉

団体名 地熱エンジニアリング(株),三井金属資源開発(株),(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, <http://www.geothermal.co.jp/> TEL:019-691-9300

## 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）：2026年3月

## 3. 実施内容・目標（最終）

1) **200°C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°C、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

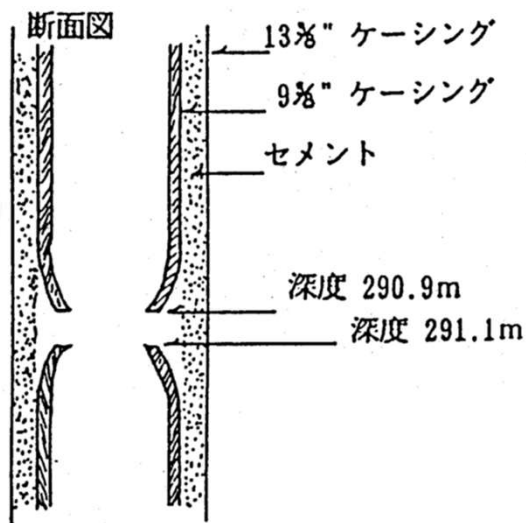
坑内を直接視  
覚的に確認し  
たい

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℃)  
200℃耐熱はモノクロ・コマ送り

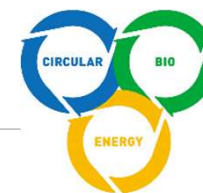
耐熱以下とするために注水すると、  
スケール剥離による詰まりやケー  
シング損傷を助長するリスクあり



ケーシング損傷  
⇒低温熱水の流入  
による生産流量の  
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



# 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

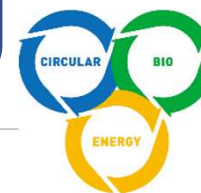
- 1) 200℃程度の耐熱性能を持つボアホール光学カメラ検層器 ( BHS ) の開発
- 2) 画像鮮明化機能の開発
- 3) 画像から坑内異常を自動検出するAI機能からなるシステムの開発

## 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

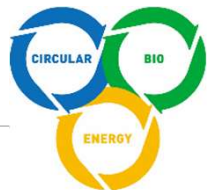
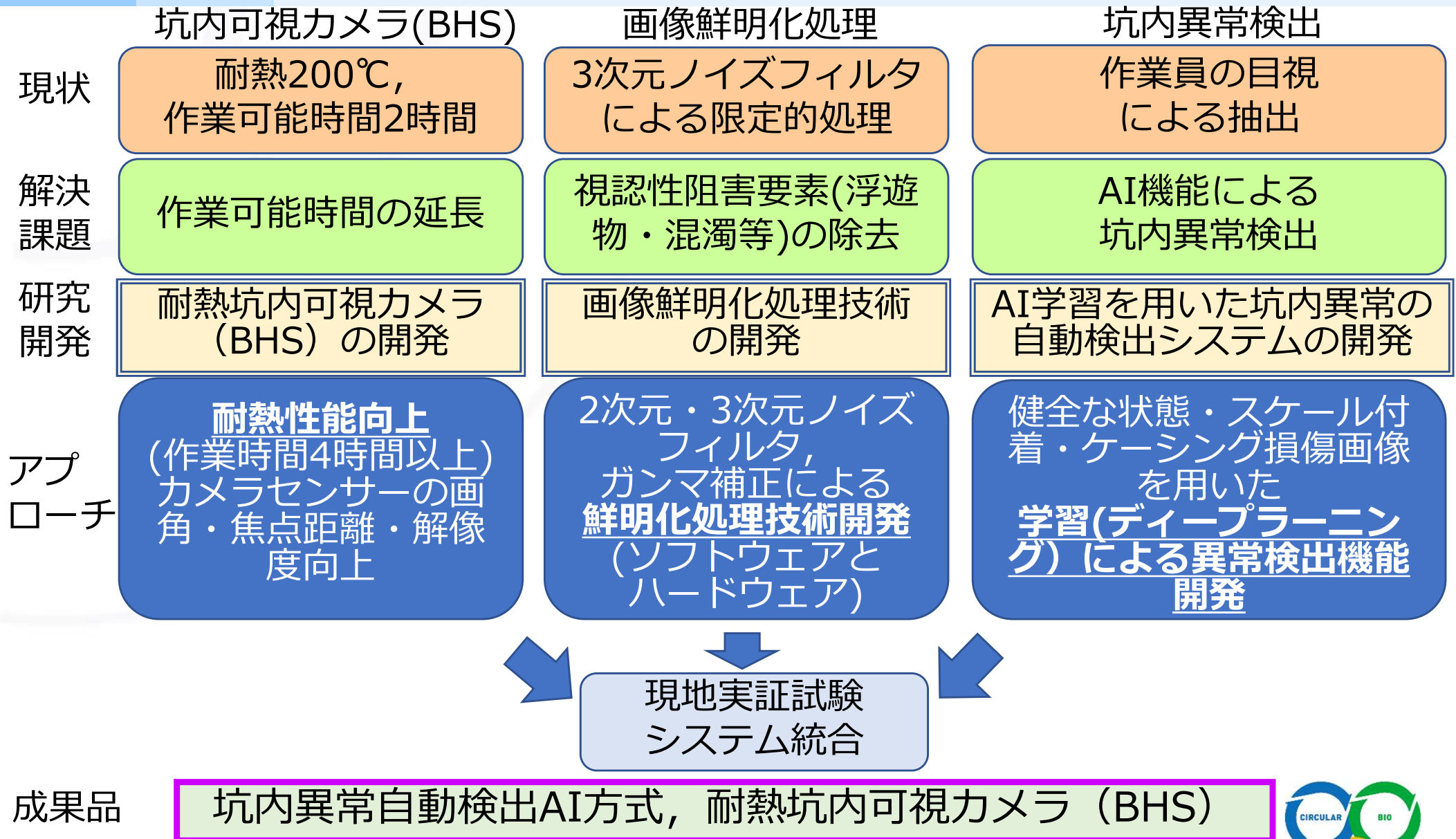
最適な改修  
工法検討・  
対策実施

地熱井(生産井・  
還元井)の長寿命  
化・安定運用



# 研究開発概要

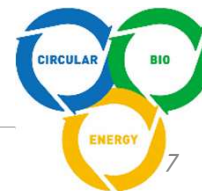
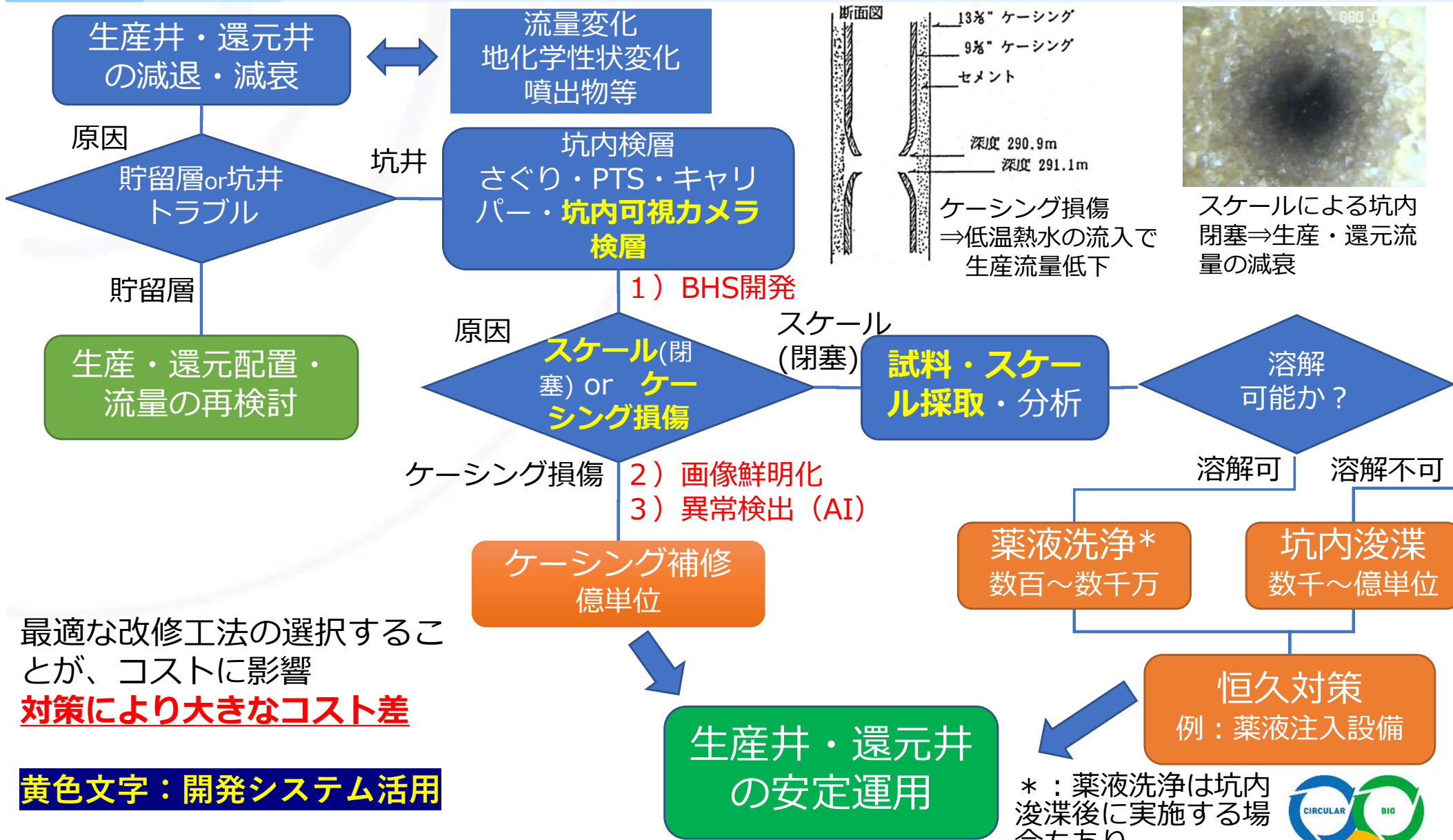
耐熱坑内可視カメラ (BHS)  
課題および取組・成果品イメージ





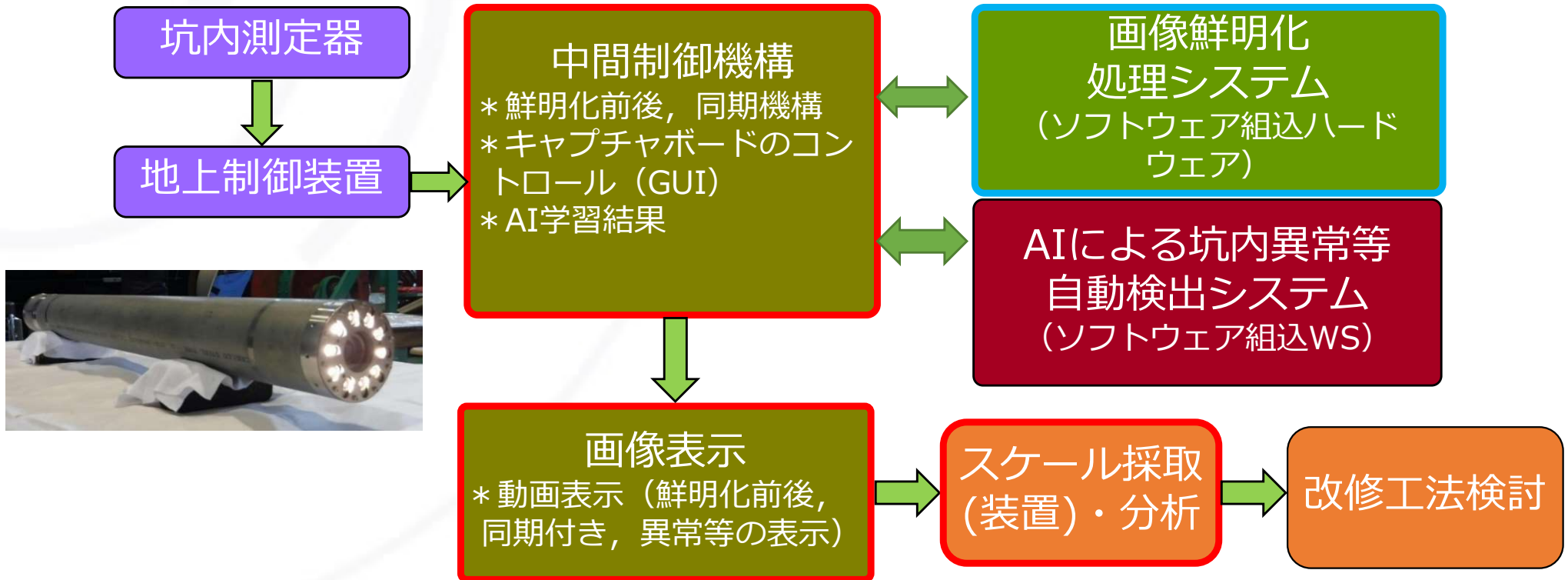
# 研究開発概要

開発システムの活用方法・安定運用/コスト削減への貢献



# 研究開発概要

## 耐熱坑内可視カメラ (BHS)システム構成



スケール採取装置



異なる深度で採取したスケール





## 技術開発スケジュール(当初)

研究開発項目	担当	2021年度	2022年度	2023年度
①高耐熱ボアホールスキャナの開発	○Geo-E, MINDECO, AIST	高耐熱ボアホールスキャナの開発		スケール採取 装置開発
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

# 研究成果

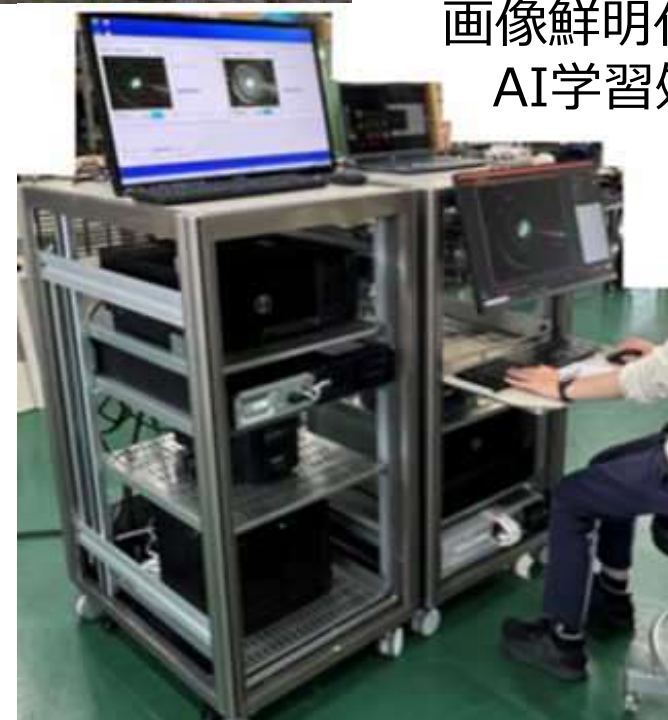
試作品2号機→  
φ101.6mm:長さ2,805mm:  
重量約60kg[ケーブルヘッド除く]  
耐熱200℃、耐圧：20MPa  
測定可能時間：3.5時間(200℃環境下)  
セントライザー未装着状態で実施  
装着可



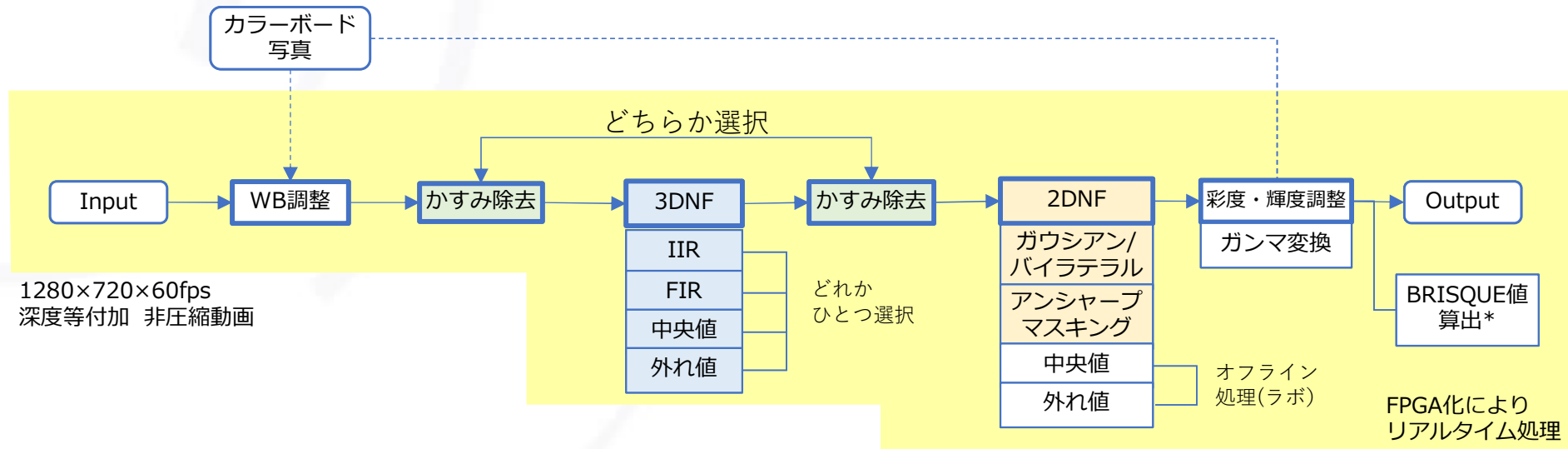
ウィンチ



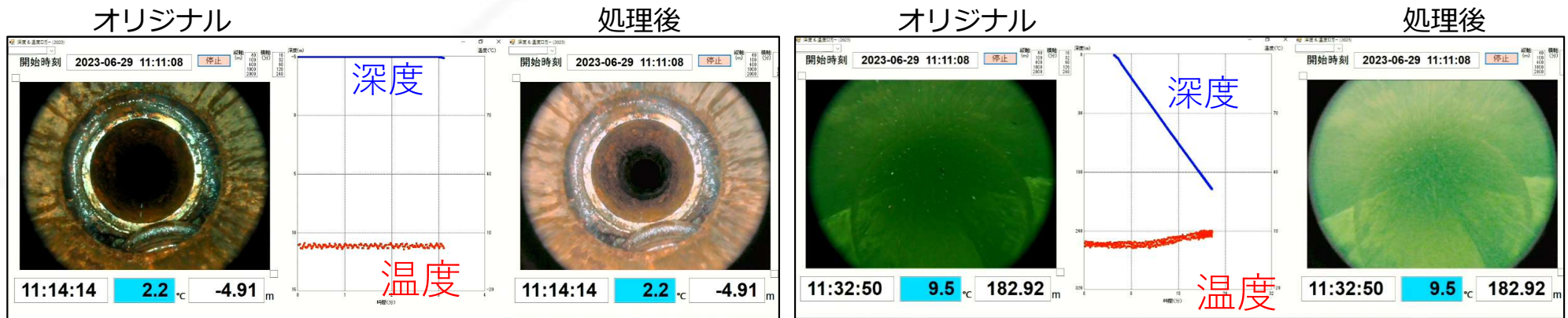
統合ユニット  
画像鮮明化処理  
AI学習処理



BHS測定システム全体写真



### 画像鮮明化処理技術ワークフロー



### 取得画像及び画像鮮明化処理結果

### AI学習の設定

ResNetの層数：ResNet34

Augmentation：学習画像の上下反転／左右反転／明度変更／彩度変更

PretrainedModel：デフォルト

入力サイズ：縦480×横640

学習率：1e-4

データセット：学習／検証／評価データのいずれにも鮮明化前後の画像を含む

### AIによる判定結果

枚数 (枚)		判定したクラス			正解クラスの合計
		正常	スケール付着	視界不良	
正解	正常	196	0	0	196
	スケール付着	0	1266	0	1266
	視界不良	0	245	1027	1272
判定したクラスの合計		196	1511	1027	2734

**正解率((TP+TN)/N)=91.0%**

# まとめ



開発項目	目標達成状況	課題	解決策・予定等
測定機器開発	耐熱200℃は達成	測定可能時間が目標である4時間以上に対して3.5時間程度	LEDの配置変更・保冷機構容量増大・光コンバータのヒートシンクと保冷機構を直結することで目標達成見込み 現場実証で最終確認
画像鮮明化処理	ソフトウェア・ハードウェアともに完成し、目標達成	特になし	現場実証試験時の最終確認
AI 学習を用いた坑内異常の自動検出システムの開発	前方視AIについて正常・スケール付着について正答率約89% 異常箇所が抽出され、動画にチャプターが入ること で、作業時間は低減	側方視におけるケーシング損傷の判別(学習データ数が少ない) 再学習機能開発	現場実証試験時の最終確認 再学習機能開発の実装
システム統合	システム完成 地上テストにおいて動作確認完了	ソフトウェアの細部修正(使いやすさ等)	現場実証試験時の最終確認





# 今後の技術課題・開発計画



## 【今後の開発方針】

前方視タイプの耐熱BHSについて、顧客である複数の発電事業者からの要望/ニーズの高い側方視（カメラセンサー近傍）の画像を取得できるように、全方位や側方視タイプの新たな測定器を開発する。

画像鮮明化処理について超解像による画像処理を実現して、複数の画像から特徴点を用いて画角を合わせることで、坑内損傷等について画像の視認性を高める。

浮遊物の検出・追跡システムを構築し、画像で認識できない微細な損傷検知をするとともに、坑内水の流入箇所を検出して貯留構造の理解増進に寄与するシステムを構築する。

AI学習について、全方位/側方画像に対応し、機能向上をはかる。

研究項目	FY2025末までの目標
① 耐熱BHS測定器(側方視・全方位)開発	耐熱200℃、深度2,000mまで測定可能なボアホールスキャナーについて、全方位・側方視タイプの測定器を開発する。
② 画像鮮明化処理技術開発(超解像等による深化)	超解像手法による画像鮮明化処理を実現する。
③ 浮遊物の検出・追跡による坑内異常箇所の抽出	浮遊物の検出・追跡機能を実現し、坑内水の流入出箇所の推定から坑内異常・損傷箇所の抽出が可能となっている。
④ 全方位対応型AI機能開発	全方位画像・超解像含む画像鮮明化処理後の画像をAI学習させ、坑内損傷抽出機能が完成できている。

## ○最終的な目標

前方視・全方位・側方視カメラを駆使した耐熱BHSシステムを用いて、画像鮮明化処理システムと、AI学習による異常抽出機能を活用した検層サービスが実行できる体制を整える。

