

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

# 光ファイバマルチセンシング・AIによる 長期貯留層モニタリング技術の開発

伊藤 喜則

(株)物理計測コンサルタント

2023年2月2日

【委託先】

(株)物理計測コンサルタント

(国)東北大学

(株)地球科学総合研究所

【再委託先】

(国研)産業技術総合研究所

(株)レーザック

地熱エンジニアリング(株)

問い合わせ先

株式会社物理計測コンサルタント

E-mail: yoshinori.itoh@gsct.jp

TEL: 03-5294-6711

# 事業概要

## 1. 背景・課題・目的

### 【背景】

- 蒸気・熱水の過剰摂取
  - 過度な還元量
  - 不適切な坑井配置
- 発電量の低下  
坑井管理コスト増加

坑内・貯留層の特性変化を連続的にモニタリングすることが重要

### 【課題】

- 現状では温度・圧力のポイントモニタリングが主流で、貯留層全体の時間・空間的変化を詳細に把握できていない
- 高温高圧環境下で高精度なセンサや複雑な電子部品を長期安定的に使用することが困難

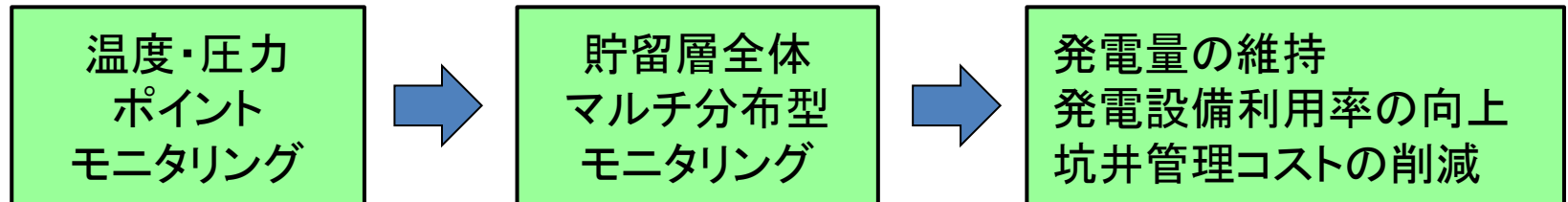
電子部品等がなく、様々な物性値を計測できる  
光ファイバを坑内センサ(分布型・ポイント型)として利用

# 事業概要

## 1. 背景・課題・目的

### 【目的】

- 最新の光ファイバセンシング技術を駆使し、高温高压環境下でも使用できるマルチセンシングシステムを開発する
- 光ファイバの利用例  
微小振動・自然地震観測、坑内温度計測、坑内圧力計測・・・



## 2. 実施期間

開始 : 2021年6月

終了(予定): 2024年3月(計画: 2026年3月)

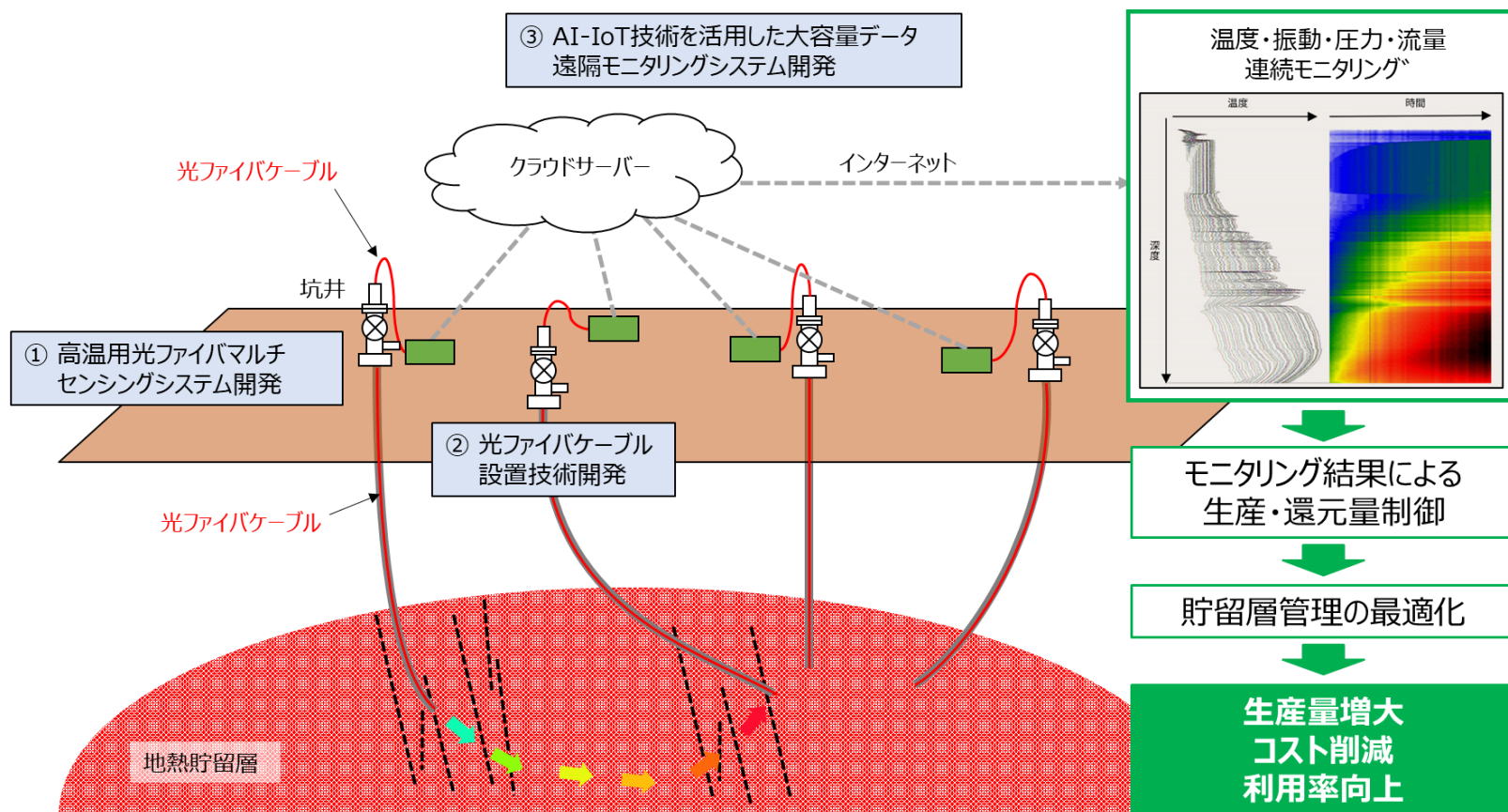
# 事業概要

## 3. 実施内容

テーマ① 高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発

テーマ② 光ファイバケーブル設置技術開発

テーマ③ AI-IoT技術を活用した大容量データ遠隔モニタリングシステム開発



# 事業概要

研究開発項目	担当	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度 (参考)	2025年度 (参考)
テーマ① 高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発	物理計測 東北大  再委託先 産総研 レーザック 地熱エンジ	OFケーブル調査・選定 短尺ケーブル製作		長尺ケーブル製作	実証試験	
		圧力計測手法検討 室内試験等(2手法)		圧力および流量計測システム 試作・評価	課題抽出・改良	
		流量計測手法検討 室内試験等(2手法)				
		次世代型OFセンシング 研究調査				
テーマ② 光ファイバケーブル設置技術開発	物理計測	OFケーブル 降下・設置 手法調査	設置器具 坑口装置 製作 模擬坑井試験 評価	設置器具 坑口装置 坑井実証試験 評価	実証試験	
		坑口装置 調査・検討			課題抽出・改良	
テーマ③ AI-IoT技術を活用した 大容量データ遠隔モニタリングシステム開発	地科研	手法調査	性能評価	改良	実証試験	
		AI機能 基本設計	試作	試験	課題抽出・改良	
		システム 概念設計		性能確認		

# 事業概要

## 3. 最終目標

研究開発項目	最終目標
テーマ① 高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発	<ul style="list-style-type: none"><li>坑内の温度・圧力・振動・流量を光ファイバによってマルチセンシングできるモニタリングシステムを確立する。</li><li>坑内機器に関して、深度3,000m、400°Cの坑内で2年以上の耐久性があることを確認する。</li></ul>
テーマ② 光ファイバケーブル設置技術開発	<ul style="list-style-type: none"><li>光ファイバケーブルに損傷・断線・変形等を与えることなく、確実に降下・設置が可能なことを実証する。</li><li>坑内装置に関しては、坑口圧力20MPa、温度260°Cで10日間、坑口圧力20MPa、温度125°Cで1年間以上の耐久性があることを確認する。</li></ul>
テーマ③ AI-IoT技術を活用した大容量データ遠隔モニタリングシステム開発	<ul style="list-style-type: none"><li>開発したAI-IoT技術を活用したモニタリングシステムにより、得られたデータから有益な情報を抽出するために掛かる人的コストを90%削減できることを確認する。</li></ul>

# 研究成果

## 1. テーマ① 高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発

### 【高温用光ファイバの調査】

- 坑内で使用できる光ファイバメーカーを調査し、耐熱500°Cの金属コート光ファイバケーブルのサンプルを入手した。
- サンプルケーブルを用いて導通検査、損失検査、光ファイバによる振動検知確認を実施し、良好な結果を得た。

### 【光ファイバケーブルの仕様検討】

- 坑内で使用できる光ファイバケーブルの仕様(構造、強度、形状等)を検討した。
- 光ファイバが金属管に入ったタイプ(FIMT: Fiber in Metal Tube)を候補とした。

### 【振動計測のフィールド試験】

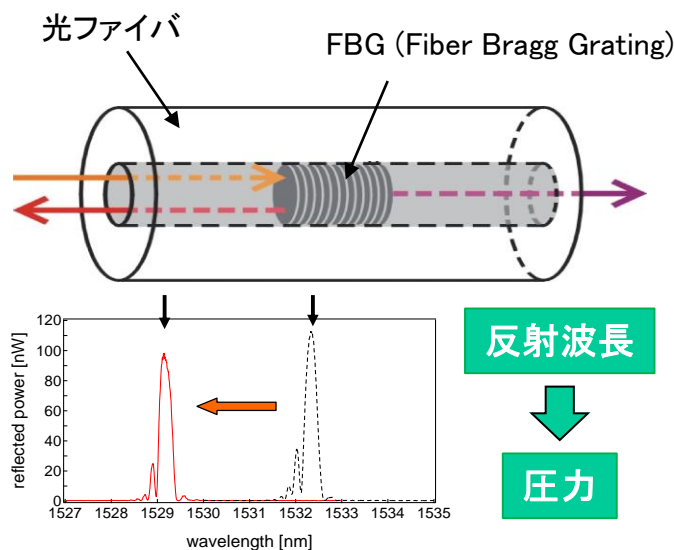
- 深度1,700mの坑井で振動計測(DAS: Distributed Acoustic Sensing)のフィールド試験を約3ヶ月間実施した。
- 地上装置の安定稼働を確認した。
- 地震発生時にケーシングの振動を検知した。

# 研究成果

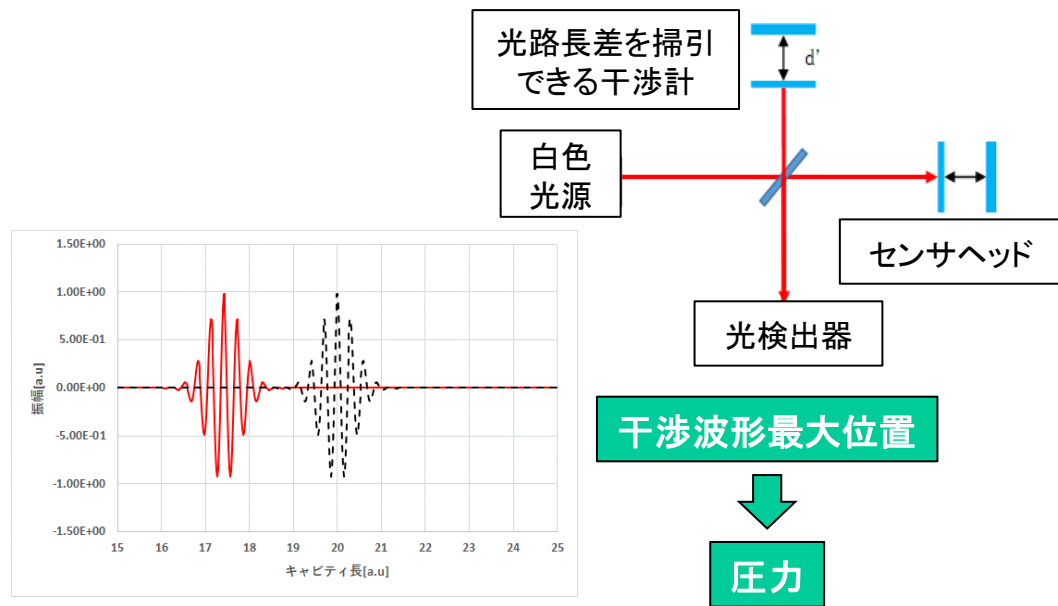
## 1. テーマ① 高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発

### 【高温型光ファイバ圧力センサの検討】

- FBG (Fiber Bragg Grating) 圧力センサとファブリ・ペロー (FP) 干渉型圧力センサの2手法について検討した。
- FBG 圧力センサについては、フェムト秒レーザーによる光ファイバ加工技術で高温化を図れることを確認した。
- FP 干渉型圧力センサについては、概念設計と仕様について検討した。



FBG 圧力センサの概念図



ファブリ・ペロー干渉型圧力センサの概念図

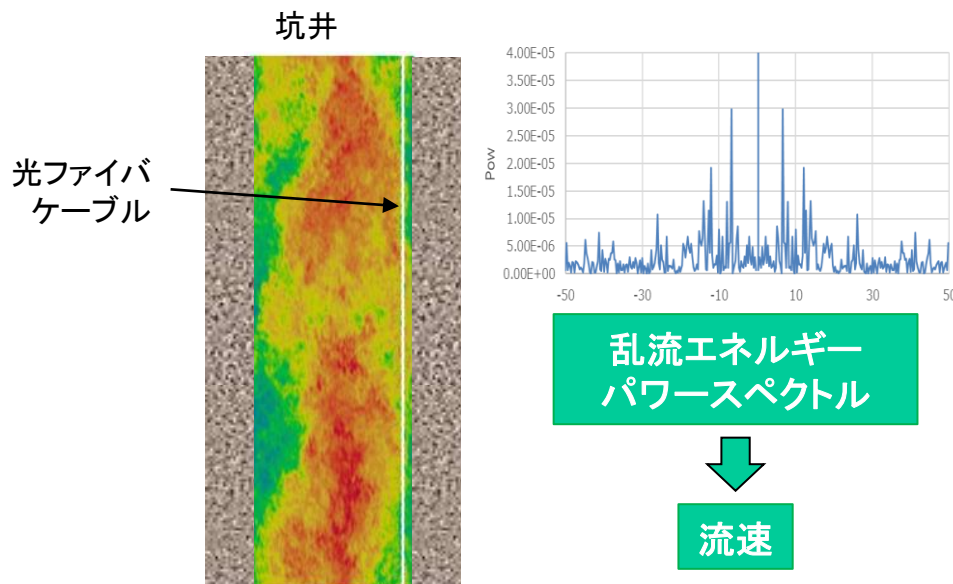


# 研究成果

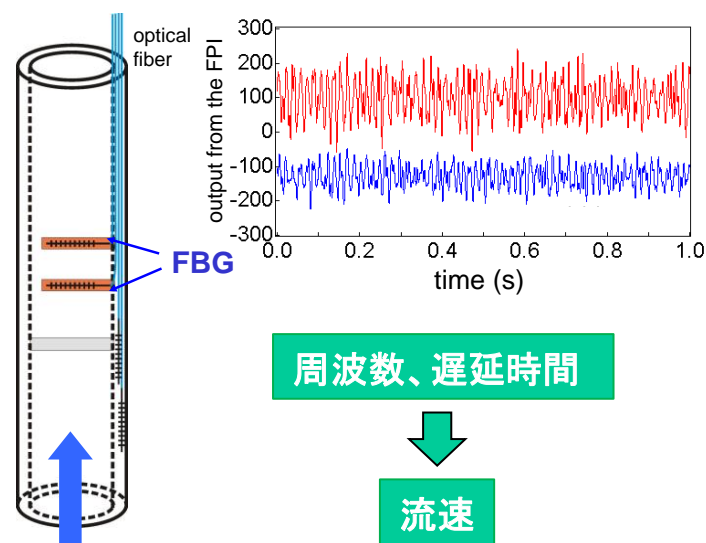
## 1. テーマ① 高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発

### 【光ファイバ流量計測手法の検討】

- 乱流振動法とカルマン渦式FBG法の2手法について検討した。
- 乱流振動法については、坑内流動により生じた光ファイバ周辺の乱流振動をスペクトル解析し、流速に換算する手法で、光ファイバケーブルの表面形状に対する乱流振動解析を行った。
- カルマン渦式FBG法については、カルマン渦の発生周波数と流速の比例関係性を利用する手法で、文献等で手法の調査を行った。



乱流振動法の概念図



カルマン渦FGB法の概念図

# 研究成果

## 2. テーマ② 光ファイバケーブル設置技術開発

### 【光ファイバケーブル降下手法の調査】

- ビハインド・ケーシング方式、アロング・チュービング方式、ワイヤーライン方式、インサイドCT(コイルドチュービング)方式の4つの手法があることを確認した。
- そのなかで、ワイヤーライン方式が最も簡便な手法である。

### 【光ファイバケーブル固定器具の調査】

- メーカーや既存製品について整理した。
- 石油・天然ガス開発分野での使用例が多い。

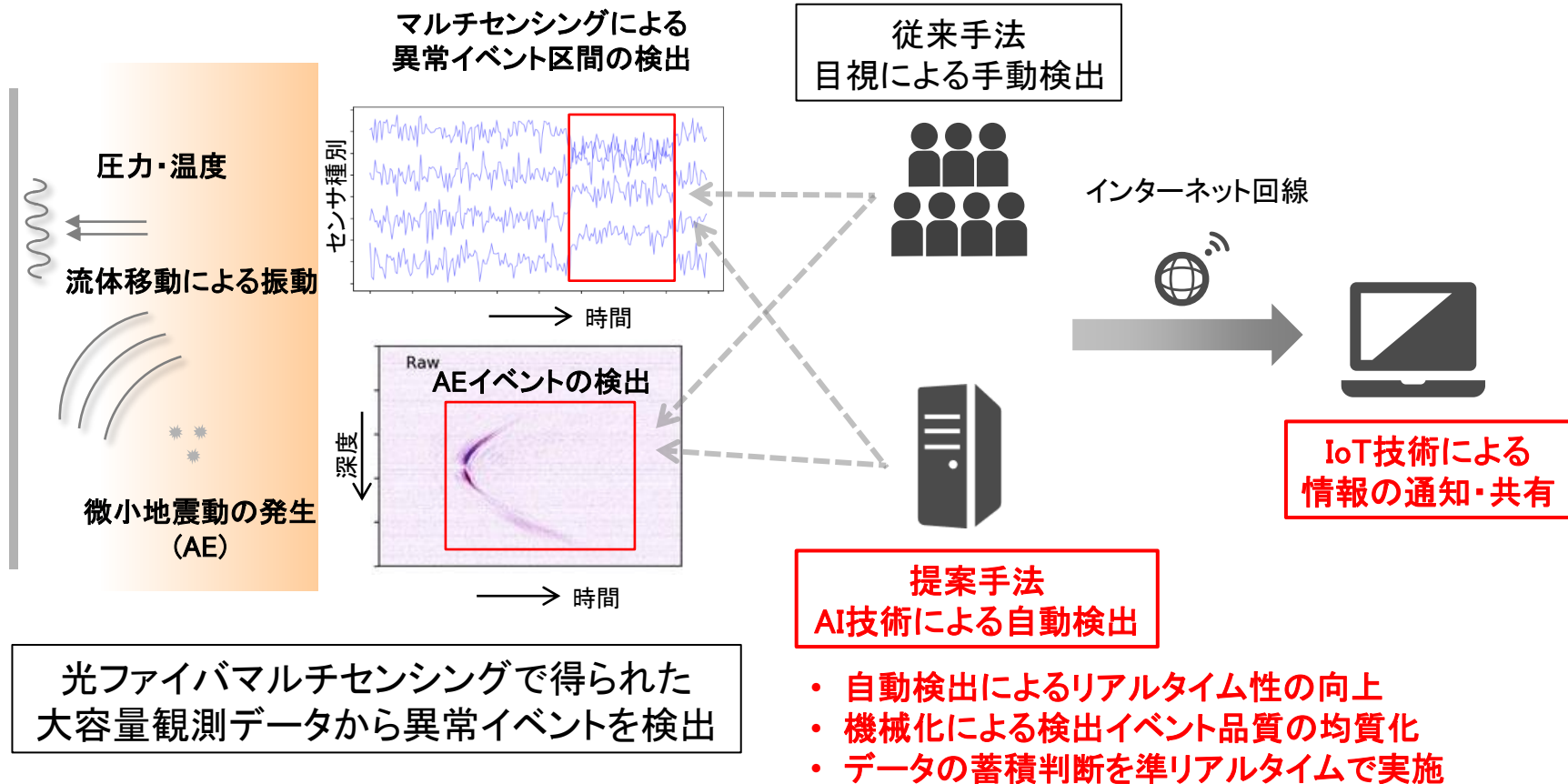
### 【坑口装置の調査】

- メーカーや既存製品について整理した。
- 高温環境下での光ファイバケーブルのシール機構の材料の検討が課題である。

# 研究成果

## 3. テーマ③ AI-IoT技術を活用した大容量データ遠隔モニタリングシステム開発

- 長期観測における人的コストの増大
- 習熟度に依存した品質のばらつき、検出漏れ
- 手動検出における作業速度の限界



- 自動検出によるリアルタイム性の向上
- 機械化による検出イベント品質の均質化
- データの蓄積判断を準リアルタイムで実施

# 研究成果

## 3. テーマ③ AI-IoT技術を活用した大容量データ遠隔モニタリングシステム開発

### 【潜在的トレンド抽出手法の調査】

- 検討すべき技術課題に関するリストを作成した。
- DASデータの出力形式を適切に扱う手法を調査し、Python言語を用いて表示・加工ができることを確認した。
- インターネットが整備されていない実環境におけるIoT現実の可能性について調査した。

### 【AI機能の基本設計】

- 既存アーキテクチャの転用を図り、訓練用データで再学習する方針とした。
- 既存アーキテクチャの候補として、YOLOv5とPhaseNetに関して実行コードを入手・作成し、サンプルデータでの実行を確認した。
- 訓練用データ作成のために、DAS記録の実データに対して正解となり得る地震動を目視で確認し、データを収集した。
- 地震動シミュレーションによる人工的な訓練データ作成手法について検討した。

# 研究成果

## 3. テーマ③ AI-IoT技術を活用した大容量データ遠隔モニタリングシステム開発

### 【システム概念設計】

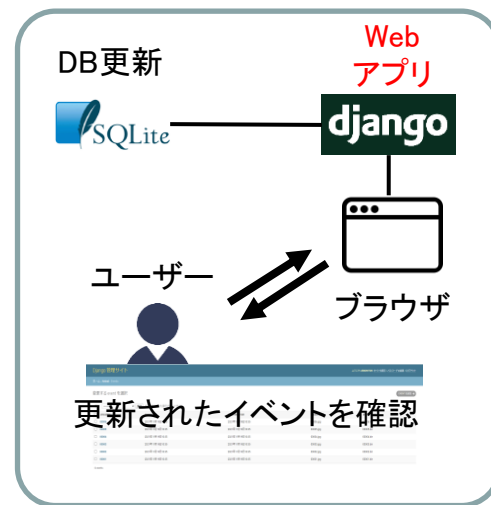
- 地熱開発サイト(現場)側の処理システムについて基本設計を行った。
- 処理サーバの仕様検討のために評価用ワークステーションを導入した。
- 取得データを保存するNAS上のファイルに対して監視システムを構築し、社内環境内で試運転を行った。
- 遠隔地(事務所)側の情報共有システムについて基本設計を行った。
- Webアプリによる情報共有システムを構築し、社内環境内で試運転を行った。



評価用ワークステーション



現場側処理システム概念図



情報共有システム概念図

# 今後の技術課題

1. テーマ① 高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発
  - 高温高圧環境下における光ファイバケーブルの長期耐久性能の確立
  - 光ファイバの劣化に対する対策
  - 最適な圧力計測および流量計測手法の選択
2. テーマ② 光ファイバケーブル設置技術開発
  - 最適・安全な光ファイバケーブル降下手法の確立
  - 坑口装置の長期耐久性能の確立
3. テーマ③ AI-IoT技術を活用した大容量データ遠隔モニタリングシステム開発
  - AI機能開発のための教師データの収集
  - 大容量データから有益なデータを抽出する機能開発
  - 遠隔モニタリングシステムの確立

# まとめ

## 【背景と課題】

- 地熱発電所の操業において、適切な運用がなされていないことが原因で持続性の低下を招くケースが報告されているが、坑内および地熱貯留層の特性変化を連続的にモニタリングすることで、それらを未然に防ぐことができる場合もある。
- 現状でもモニタリングは実施されているが、ポイントモニタリングによる手法が一般的であり、貯留層全体の変化を詳細に把握しきれていない。
- モニタリングのために必要な機器類の多くは電子部品を使用しているため、高温高压環境下で長期間安定的に使用することが困難である。

## 【本研究開発の目的】

- 高温環境下における坑内で電子部品を使用しない光ファイバ自体をセンサとするセンシング技術を活用したモニタリングシステムにより、地熱貯留層全体をマルチ分布型モニタリングすることによって、適切な坑井管理が可能となることが期待される。
- 発電量の維持、設備利用率の向上、坑井維持管理コストの削減につながり、地熱発電の高度利用化に寄与するものと考え、本研究開発を進めており、成果を得つつある。
- 中間目標および最終目標を達成するため、より一層本研究開発に取り組む。