

## 2021年度成果報告会

# 地熱発電技術研究開発／地熱エネルギーの高度利用化 に係る技術開発／地熱資源適正利用のためのAI-IoT温泉 モニタリングシステムの開発

(国研)産業技術総合研究所  
横河電機(株)  
地熱エンジニアリング(株)  
西日本技術開発(株)

問い合わせ先  
(国研)産業技術総合研究所  
浅沼 宏  
E-mail: h.asanuma@aist.go.jp  
TEL: 029-861-6204

# 事業概要

## 1. 期間

開始： 2018年7月

終了： 2021年2月

## 2. 最終目標

### I. 地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発

地熱開発（地熱発電所）が温泉に与える影響の定量評価が可能なシステムを開発し、温泉泉質（流量、温度等）の変動要因を60%以上判別可能なシステムを実現する。

### II. 温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発

温泉資源の適正な供給に資するデータを提供可能にするとともに、温泉資源適正利用により、温泉管理者の作業時間を現状に比して20%程度低減できるAI-IoTシステムを実現する。

## 3. 成果・進捗概要

### I. 地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発

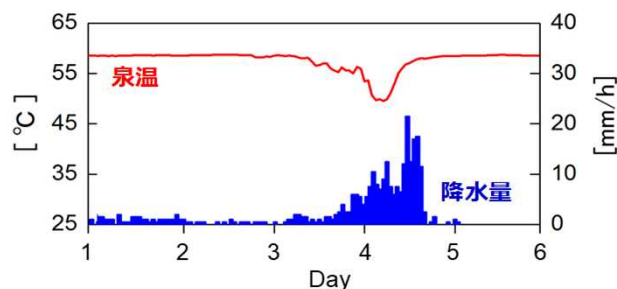
地熱開発（地熱発電所）が温泉に与える影響の定量評価が可能なシステムを開発し、温泉泉質（流量、温度等）の変動要因を60%以上判別可能なシステムを実現した。

### II. 温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発

温泉資源の適正な供給に資するデータを提供可能にするとともに、温泉資源適正利用により、温泉管理者の作業時間を現状に比して20%以上低減できるAI-IoTシステムを実現した。

## 事業の背景・課題

- \* 産総研，横河電機，Geo-Eは，NEDO「温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発」（FY2014～FY2017）を通じて温泉モニタリング装置を開発
- \* 本装置を用いた「地熱発電と温泉の共生」，および「温泉モニタリング装置の大量導入」のためには，ニーズに応じ，**取得した情報を高度に処理可能なシステムが不可欠**



受託者らが開発してきた温泉モニタリング装置と取得したデータの例

### 先行研究開発 (FY2014～2017)

- \* 装置の開発
- \* 実証試験
- \* 性能評価
- \* 実用モデルの開発

### 本事業

(FY2018～2020)

- \* AI情報処理による地熱発電所の影響評価法の開発
- \* AI-IoTによる温泉資源の適正管理システム

### 実用化

(FY2021～)

- \* 科学的データに基づく温泉影響評価と合意形成
- \* AI-IoT温泉モニタリングシステムの大量導入

ハード開発 + ソフト開発 → 当初目標の達成

## 事業の背景・課題

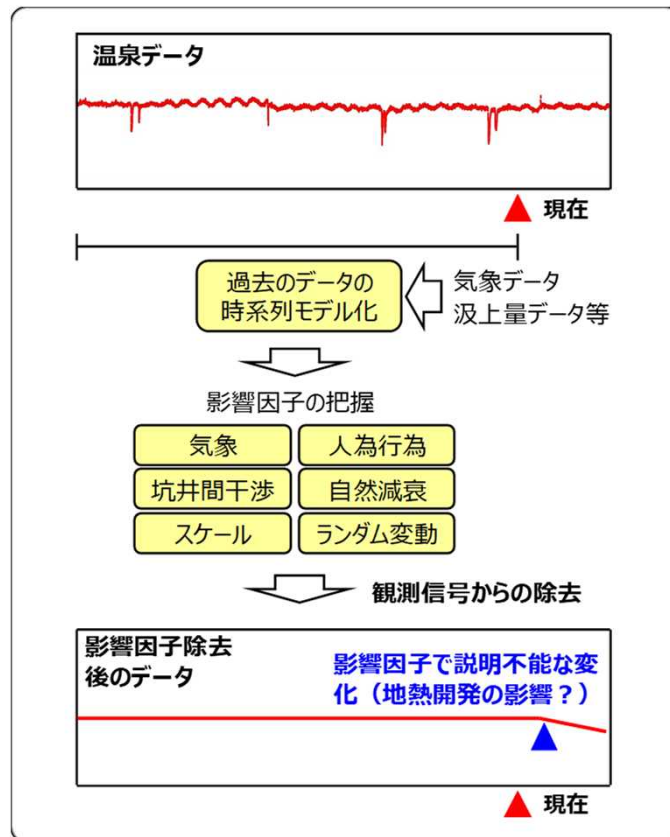
### \* 簡易遠隔温泉モニタリング装置



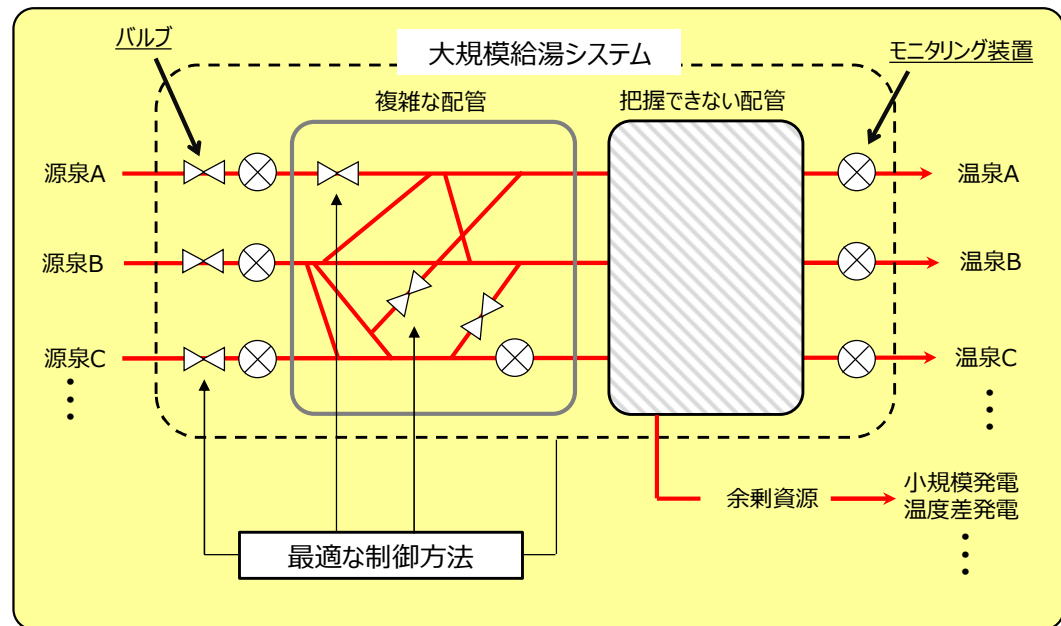
- 外形： 300mm(W)×200mm(H)  
×200mm(D)程度
- 重量： 4 kg以下（配管インターフェース25A）
- 流量測定能力： 範囲 10～100 L/min, 分解能 0.1 L/min.
- 温度測定能力： 範囲 0～100 °C, 分解能 0.1 °C
- 電気伝導度： 0.01 mS/cm
- プラグインセンサ： 水位計, Cl濃度センサ, 水温計, 圧力センサを接続可能
- サンプリングレート： 1 sample/min.
- データ通信： 3G回線, LTE回線, ISDN回線, NTT光回線, LPWA (LoRa) を使ったデータ転送が可能
- 配管インターフェース： 温泉地で用いられている代表的な複数種類の配管（25A, 50A, 80A）への接続が可能

# 事業の目標

受託者らがNEDOプロジェクトを通じて開発してきた簡易遠隔温泉モニタリング装置をベースに、**地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステム**、および**温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発**を行った。本事業により、①**地熱発電が温泉へ与える影響の定量的評価**、②**温泉地での地熱・温泉資源の適正利用**、の2点を実現可能にすることを目標とした。



地熱発電と温泉の共生のためのAI



温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステム

# 事業の目標

## 達成目標

### STG審査時（2019年2月末目標）

#### I．地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発

AI機能により、温泉泉質（流量、温度等）に地熱開発等の外的要因により5%程度の変動が生じた場合、それを検出可能なシステムを実現する

#### II．温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発

別府市を対象としたIoTシステムの一部（クラウドでのデータ閲覧機能）を開発する。

### 最終目標（2021年2月末）

#### I．地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発

地熱開発が温泉に与える影響の定量評価が可能なシステムを開発し、温泉泉質（流量、温度等）の変動要因を60%以上判別可能なシステムを実現する。

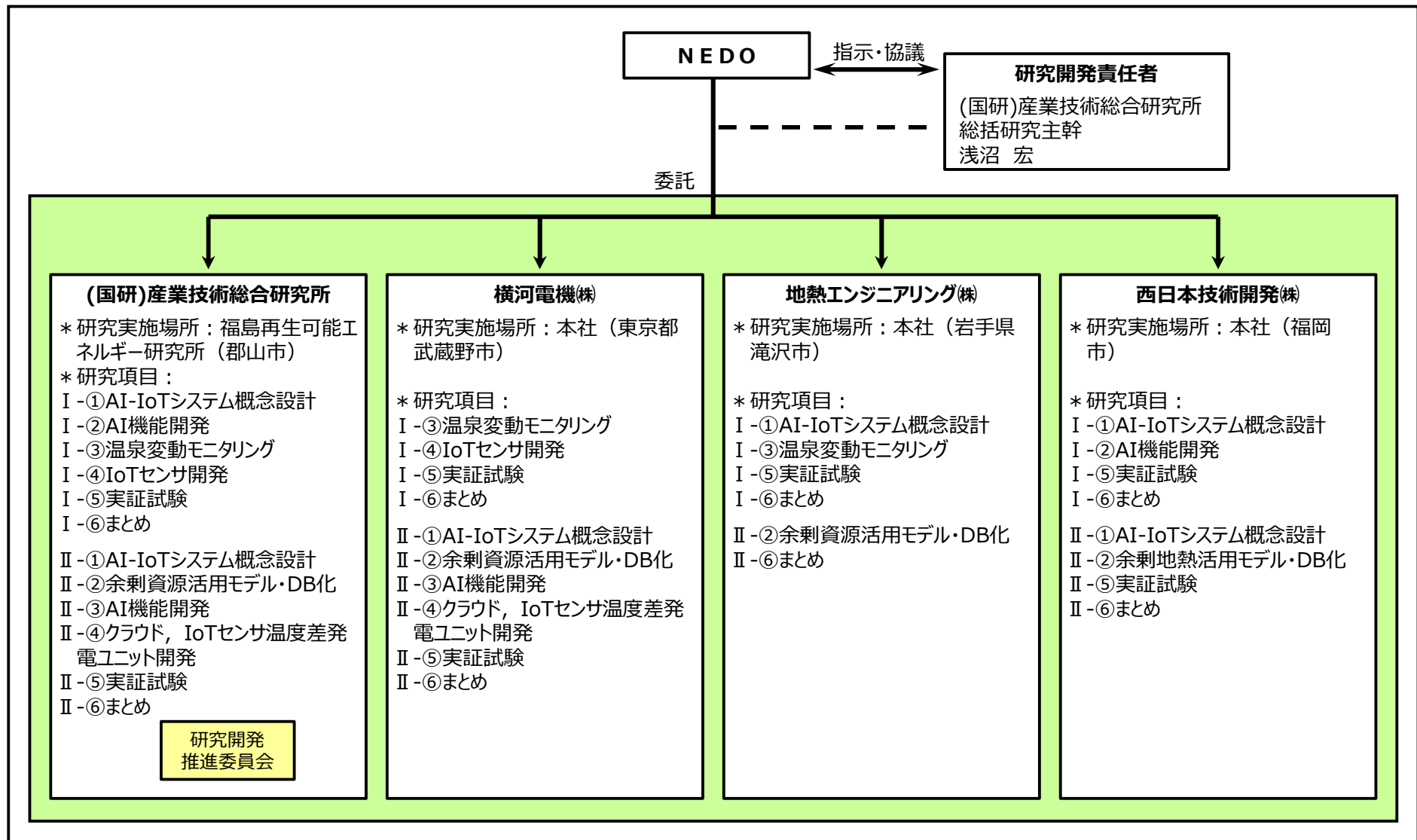
#### II．温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発

温泉資源の適正な供給に資するデータを提供可能にするとともに、温泉資源適正利用により、温泉管理者の作業時間を現状に比して20%程度低減できるAI-IoTシステムを実現する。

# 研究開発スケジュール

| 研究開発項目                        | 主担当            | FY2018 |    |    |    | FY2019 |    |    |    | FY2020 |    |    |    |
|-------------------------------|----------------|--------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|
|                               |                | 1Q     | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q     | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q     | 2Q | 3Q | 4Q |
| Ⅰ．地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発 |                |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -① 概念設計・仕様策定                | 産総研            |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -② AI機能開発                   | 産総研            |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -③ 温泉変動モニタリング               | 産総研            |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -④ IoT, センサ開発               | 産総研, 横河電機      |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -⑤ 実証試験                     | Geo-E, 産総研, 西技 |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -⑥ まとめ                      | 全社             |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    | →  |
| Ⅱ．温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発   |                |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -① 概念設計・仕様策定                | 横河電機           |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -② 余剰資源活用モデル・DB化            | 横河電機           |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -③ AI機能開発                   | 横河電機           |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -④ IoT, クラウド, 温度差発電開発       | 横河電機           |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -⑤ 実証試験                     | 横河電機, 西技       |        | →  |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -⑥ まとめ                      | 全社             |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    | →  |
| 研究開発推進委員会                     |                |        | ○  | ○  |    | ○      | ○  |    |    | ○      | ○  | ○  |    |

# 実施体制





## 事業の成果

### I . 地熱発電と温泉の共生のための AI-IoTシステムの開発

# 事業の成果 (I. 地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発)

## ソフトウェアパッケージ開発

モニタリングデータと理論的に計算可能なデータを、右の標準処理フローにしたがって処理するために、前処理パッケージと解析パッケージを新たに開発した。

### モニタリングデータ

#### 10項目

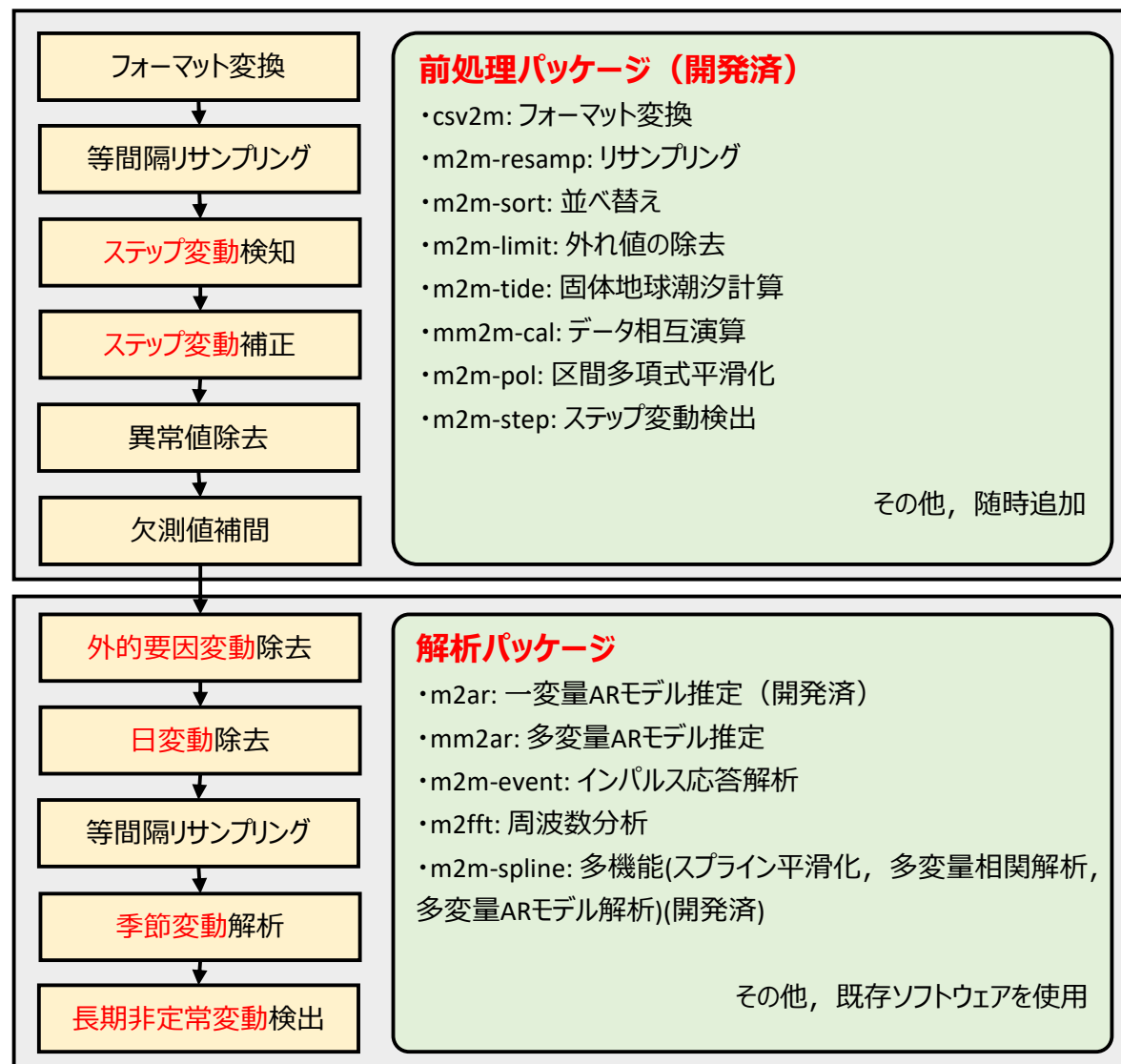
(流量, 泉温, 導電率, 圧力, 水位, 気温, 降雨量, 気圧, 硫化水素, 現地気温)

#### 15地点

(葛根田, 二岐, 蒸気家, ゆのか, 蔵王, 柳津, 箱根, 裏磐梯, つなぎ, 東山, 高湯, 熱川, 柴石, 浜田, 鉄輪)

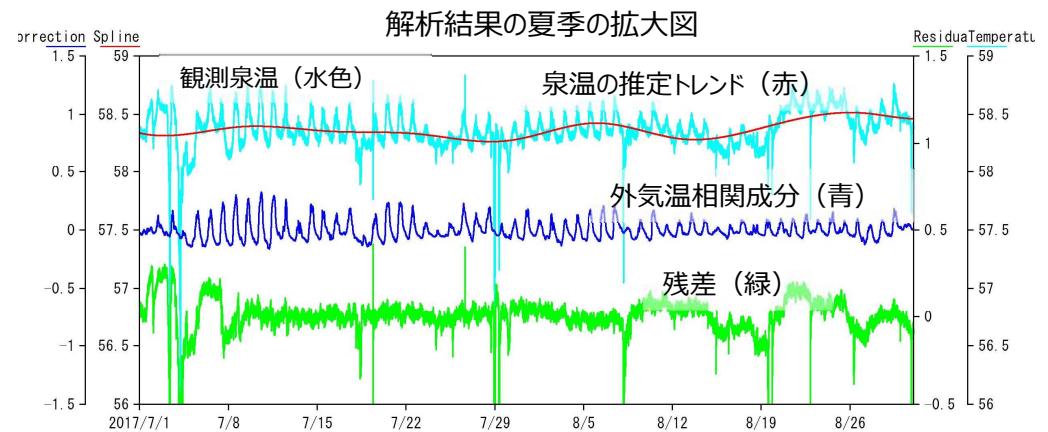
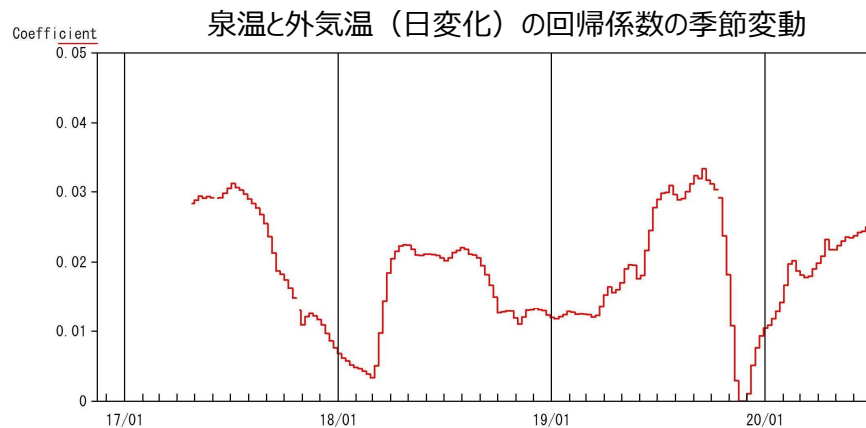
### 理論計算データ

(固体地球潮汐, 海洋潮汐)



# 事業の成果（Ⅰ．地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発）

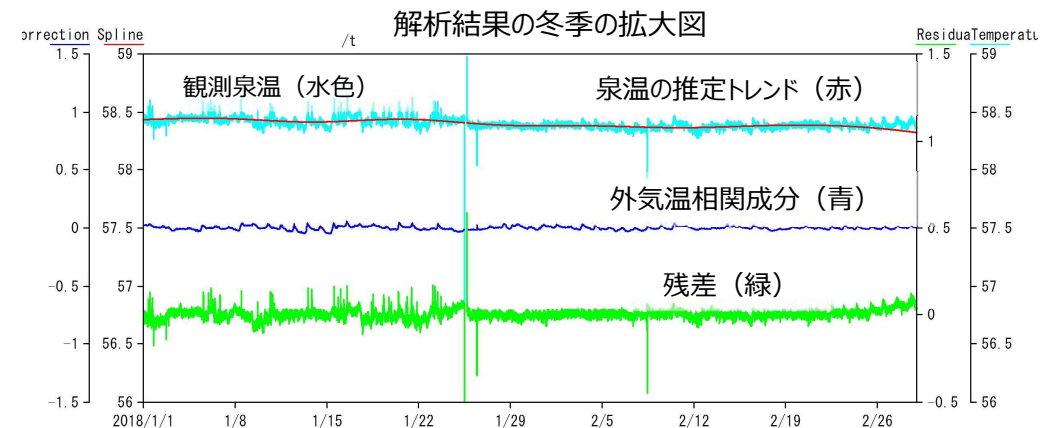
## 解析手法開発：時変定数変動解析(結果)



## 結果

泉温と外気温（日変化）の相関は連続的に、夏季に強く、冬季に弱くなる。

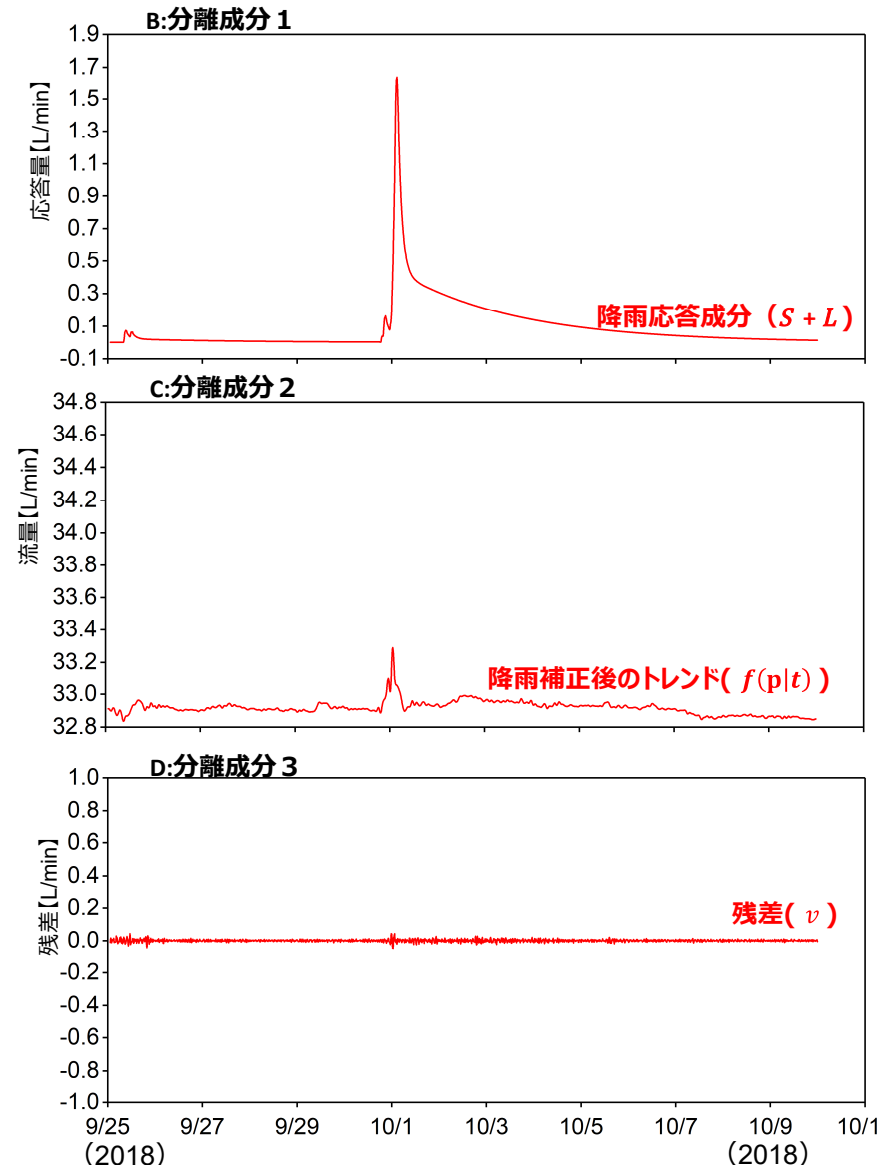
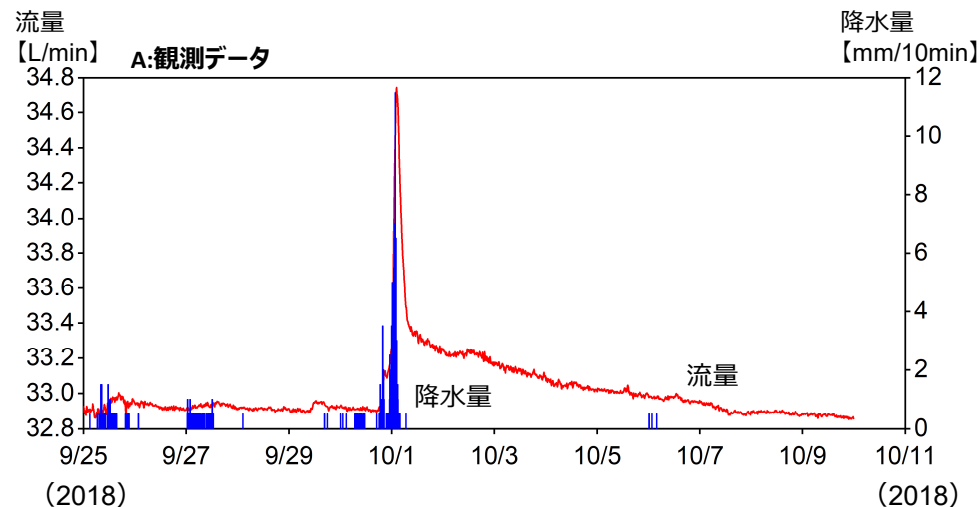
時変定数解析により、全期間において、外気温の影響を除去できた。



# 事業の成果 (I. 地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発)

解析手法開発：降雨応答解析(結果)

- 降雨応答の半減時間は、短期が80分、長期が42時間が最適となった。
- 短期変動のMR次数は8(80分)が最適となったが、長期変動は、過去の値を使用せず同時刻の値のみを使用するのが最適と推定された。
- 温泉の流量(A)を、降雨応答成分(B)と、トレンド成分(C)、残差(D)の3つに分類できた。



# 事業の成果（Ⅰ．地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発）

温泉モニタリングデータの変動要因と解析手法開発のまとめ

| 変動要因                    | 変動形態            | 解析手法                     |
|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 日変化, 季節変化（外部環境に起因しない変動） | 定常変動            | 自己回帰モデル                  |
| 外部環境（外気温, 気圧, 潮汐）の定常的变化 | 線形応答（1 定数）      | 多変量相関・回帰モデル              |
| 外部環境（外気温, 気圧, 潮汐）の季節変化  | 線形応答（時変定数）      | 時変定数多変量相関・回帰モデル          |
| 外部環境（降雨）の突発的变化          | 非線形応答           | インパルス応答解析, クロスプロット解析     |
| スケール詰まり                 | 中長期線形・非線形減衰変動   | ベイズ統計モデルによるトレンド推定        |
| バルブ操作, 清掃, 機器の入れ替え      | 単純ステップ変動        | AICによる位置の検出とABICによる変動量推定 |
| ポンプ稼働                   | イベント後からの短期非線形変動 | 多変量相関解析                  |
| 発電所の影響など                | 長期・非定常・非線形変動    | ベイズ統計モデルによるトレンド推定        |

**想定している変動要因を除去する解析手法はほぼ整備された。**

# 事業の成果（Ⅰ．地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発）

モニタリング項目と変動要因解析一覧表

青字：動力揚湯 赤字：自然湧出

|          |   | 測定項目 | 変動要因 |     |    |    |    |      |        |     |
|----------|---|------|------|-----|----|----|----|------|--------|-----|
|          |   |      | 日変化  | 外気温 | 気圧 | 潮汐 | 降雨 | スケール | バルブ/清掃 | ポンプ |
| モニタリング地点 | A | 泉温   | ○    | ○   | —  | —  | —  | —    | —      | ○   |
|          |   | 水位   | —    | —   | —  | —  | —  | —    | —      | ○   |
|          | B | 流量   | —    | —   | —  | —  | —  | ○    | —      | —   |
|          |   | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | ○    | —      | —   |
|          | C | 流量   | —    | —   | —  | —  | ○  | ○    | —      | —   |
|          |   | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | ○  | —    | —      | —   |
|          |   | 導電率  | —    | —   | —  | —  | ○  | —    | —      | —   |
|          | D | 流量   | —    | —   | ○  | ○  | ○  | —    | —      | —   |
|          |   | 泉温   | —    | ○   | —  | ○  | ○  | —    | —      | —   |
|          |   | 導電率  | —    | —   | —  | —  | ○  | —    | —      | —   |
|          | E | 流量   | —    | —   | —  | —  | —  | —    | —      | ○   |
|          |   | 泉温   | —    | —   | —  | —  | —  | —    | —      | ○   |
|          | F | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | —    | —      | —   |
|          |   | 圧力   | —    | —   | ○  | —  | —  | ○    | —      | —   |
|          |   | 導電率  | —    | —   | —  | —  | —  | ○    | —      | —   |
|          | G | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | —    | —      | ○   |
|          |   | 圧力   | —    | —   | —  | —  | —  | ○    | —      | —   |
|          | H | 流量   | —    | —   | —  | —  | —  | ○    | ○      | —   |
|          |   | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | —    | —      | —   |
|          | I | 流量   | —    | —   | —  | —  | —  | ○    | ○      | —   |
|          |   | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | —    | —      | —   |
|          | J | 流量   | —    | —   | —  | —  | —  | —    | —      | ○   |
|          |   | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | —    | —      | ○   |
|          | K | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | —    | —      | —   |
|          | L | 流量   | —    | —   | —  | —  | —  | —    | —      | ○   |
|          |   | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | —    | ○      | —   |
|          | M | 泉温   | —    | ○   | —  | —  | —  | —    | —      | —   |

## 事業の成果

### Ⅱ． 温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの 開発

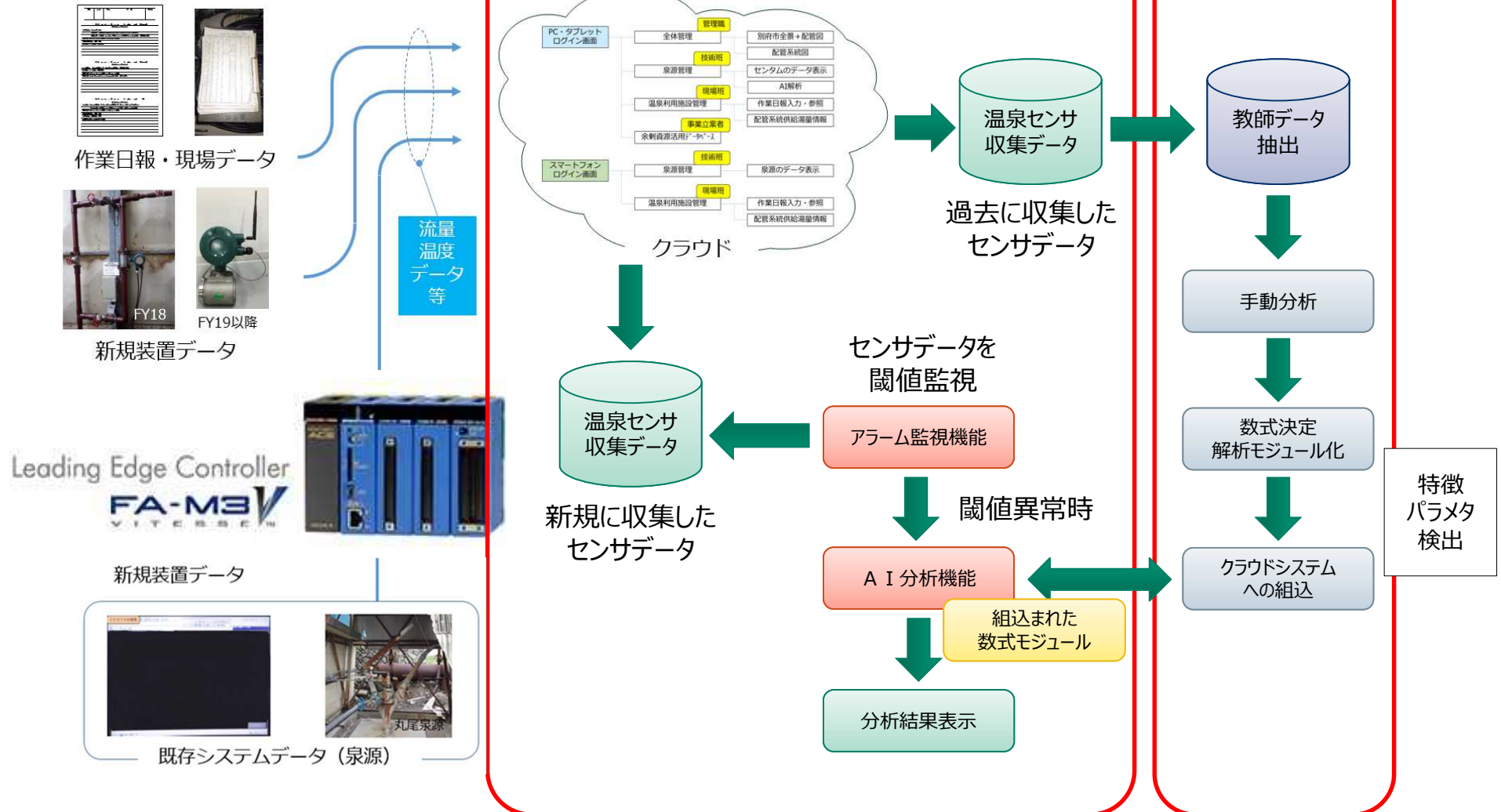
| 目標達成時期         | 目標  |
|----------------|---|
| 最終目標（2021年2月末） | 温泉資源の適正な供給に資するデータを提供可能にするとともに、温泉資源適正利用により、温泉管理者の作業時間を現状に比して20%程度低減できるAI-IoTシステムを実現する。 |

| 実施項目                            | 達成目標（FY2020末）   |
|---------------------------------|---|
| Ⅱ-①AI-IoT温泉モニタリングシステムの概念設計・仕様策定 | 別府市所有温泉配管・施設を対象としたAI-IoTシステムの構成、機能、性能等を策定   |
| Ⅱ-②余剰資源活用モデル・DB構築               | 温泉資源利活用モデル、データベース等を構築し、クラウド上へ組込可能にする  |
| Ⅱ-③AI機能開発                       | 給湯システムの管理を半自動で行えるAI-IoTシステムを開発し、温泉管理者の作業時間を現状に比して20%程度低減できるAI-IoTシステムを実現                  |
| Ⅱ-④IoT、クラウド、センサ、温度差発電ユニット開発     | 別府市での温泉モニタリングシステムの実証試験に必要な構成要素であるモニタリング装置、IoTクラウド等を開発。温度差発電による年間20kWh以上の発電を実現             |
| Ⅱ-⑤実証試験                         | 別府市が所有する温泉配管に温泉モニタリング装置を10台以上設置し、クラウドを介してAI-IoT温泉モニタリングシステムを構築し、システム実証試験を実施。温度差発電実証試験を実施。 |
| Ⅱ-⑥まとめ                          | 「温泉資源の適正管理・利用AI-IoTシステム」のシステム構成、ビジネスモデル、運用法を策定  |



# 事業の成果（Ⅱ．温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発）

## Ⅱ-①AI-IoT温泉モニタリングシステムの概念設計・仕様策定



# 事業の成果（Ⅱ. 温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発）



- 「良い状態」と「悪い状態」の判別可能
  - 自動判定可能なアルゴリズム
  - 要因表示

実装および運用完了



- 実証試験での課題の抽出
- 別府市の要望と指摘の整理

## 事業の成果（Ⅱ．温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発）

| 改善  | 概要   |  |
|-----|--|--|
| 例 1 | 2020年9月の大型台風。事務所にデータを見に来るのは台風時には難しい。これがタブレットを利用して自宅で見ることができると効果がある<br>→事務所への移動が0になる  | 前)往復2時間の移動<br>後)なくなる<br>効率化) <b>100%減</b>                    |
| 例 2 | 石垣線 向原温泉調整バルブ交換工事により、下流の1 3 給湯箇所に影響有。<br>→モニタリングにより現地確認・調整作業回数減。<br>モニタリング装置を設置した石垣線末端の南石垣温泉の流量が、本来の数値に戻るまでの影響期間を把握することで、現地確認回数が減り、調整作業がしやすくなった。                 | 前)現場 4 人 4 時間× 3 回<br>後)現場 4 人 4 時間× 1 回<br>効率化) <b>66%減</b> |
| 例 3 | 浜脇線全体流量と給湯箇所の相互調整<br>→現地モニタリングにより、確認・調整作業回数減。<br>浜脇線全体量調整の際、流出元の湯量調整をモニタリング機器で確認しながら下流の給湯箇所の調整をリアルタイムで行うことができるようになった。流出元の調整による給湯箇所流量変動を把握できるようになり、確認・調整作業回数が減った。 | 前)調整作業4回<br>後)調整作業2回<br>効率化) <b>50%減</b>                     |
|     | ....   |  |

# 事業の成果(達成度)

| 研究開発項目                        | 主担当<br>(○：実施責任者) | 達成度<br>(%) | FY2018 |         |    |    | FY2019 |    |    |    | FY2020 |    |    |    |
|-------------------------------|------------------|------------|--------|---------|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|
|                               |                  |            | 1Q     | 2Q      | 3Q | 4Q | 1Q     | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q     | 2Q | 3Q | 4Q |
| Ⅰ．地熱発電と温泉の共生のためのAI-IoTシステムの開発 |                  |            |        |         |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -① 概念設計・仕様策定                | ○産総研             | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -② AI機能開発                   | ○産総研             | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -③ 温泉変動モニタリング               | ○産総研             | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -④ IoT, センサ開発               | ○産総研, 横河電機       | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -⑤ 実証試験                     | Geo-E, ○産総研, 西技  | 100        |        | - - - → |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| I -⑥ まとめ                      | 全社 (○：産総研)       | 100        |        |         |    |    |        |    |    |    |        |    |    | →  |
| Ⅱ．温泉資源適正利用のためのAI-IoTシステムの開発   |                  |            |        |         |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -① 概念設計・仕様策定                | ○横河電機            | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -② 余剰資源活用モデル・DB化            | ○横河電機            | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -③ AI機能開発                   | ○横河電機            | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -④ IoT, クラウド, 温度差発電開発       | ○横河電機            | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -⑤ 実証試験                     | ○横河電機, 西技        | 100        |        | →       |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |
| Ⅱ -⑥ まとめ                      | 全社 (○：横河電機)      | 100        |        |         |    |    |        |    |    |    |        |    |    | →  |
| 研究開発推進委員会                     |                  |            |        |         | ○  | ○  |        | ○  | ○  |    |        | ○  | ○  | ○  |

# 事業化計画

## ①実用化・事業化を行う製品・サービス

【産業技術総合研究所】**中立的な立場で「地熱発電と温泉の共生」のための正確な科学的データを提供**するために本事業の成果を使用する。また、同時に温泉を含む広義の地熱資源の最適利用システム設計にも利用する。**（環境省がFS開始。JOGMECと協議中）**

【横河電機(株)】地熱発電企業，蒸気生産管理企業，温泉関連業者，温泉管理を行う自治体等を対象として，**温泉モニタリングシステムの販売・サービス**を行う。

【地熱エンジニアリング(株)，西日本技術開発(株)】個人温泉業者（権利者），温泉事業団体，温泉事業を管轄する地方自治体，地熱開発ディベロッパーを対象に**温泉モニタリング装置のインストールに関するコンサルティング業務，メンテナンス業務**を実現する。

## ②実用化・事業化への取組

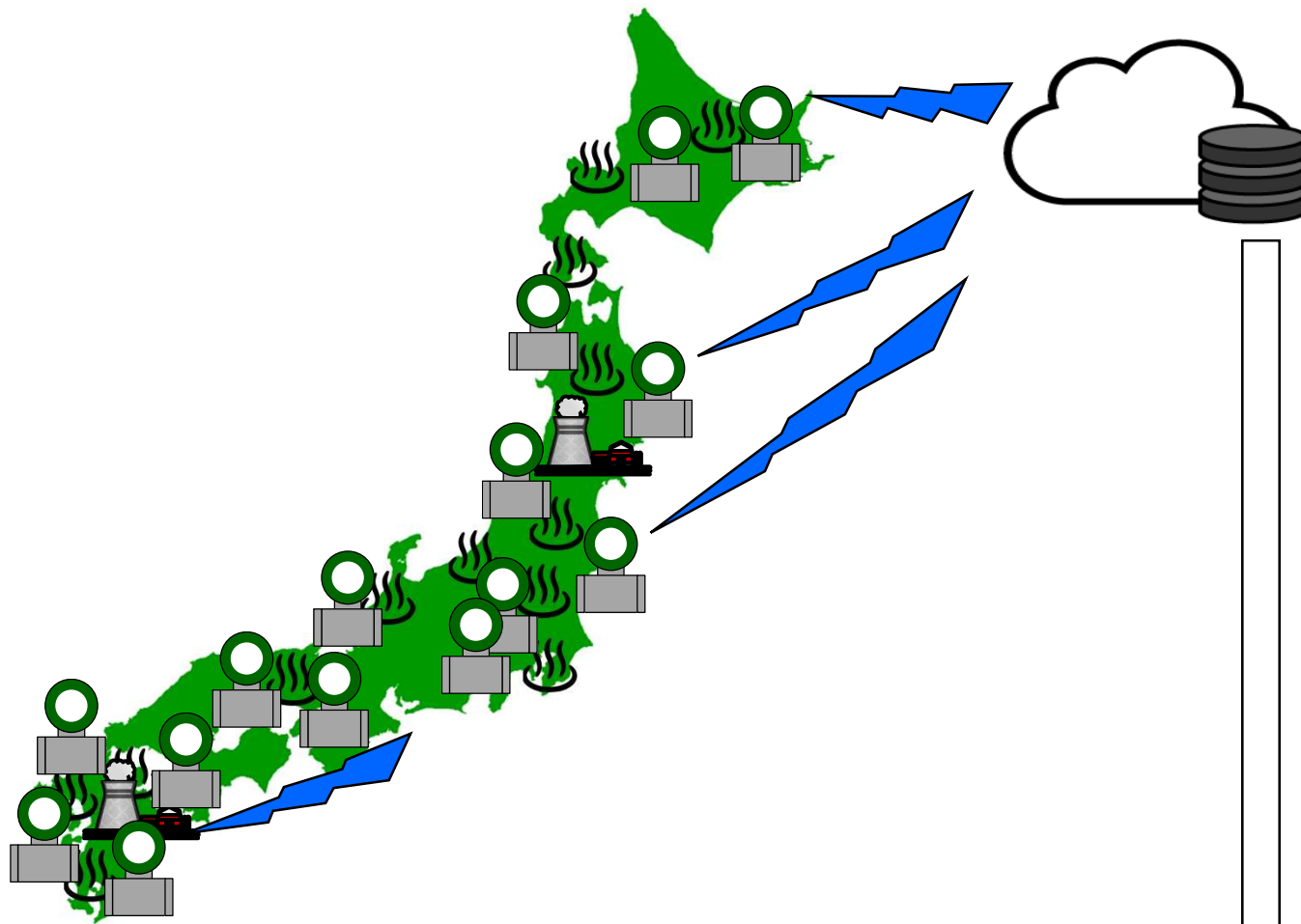
【産業技術総合研究所】「地熱発電と温泉の共生」のためAIシステムのブラッシュアップを行うとともに，本システムのアウトプットをベースにした**発電事業者と源泉所有者の合意形成法，温泉への影響判断のための枠組み，補償体制等**を検討する。**（環境省がPJ化検討中）**

【横河電機(株)】AI-IoT温泉モニタリングシステムの機能向上を図るとともに**他分野への展開や海外市場の開拓**を行う。**（事業化検討中）**

【地熱エンジニアリング(株)，西日本技術開発(株)】システムとモニタリングデータの価値を高めるためのインストール法，メンテナンス法を開発する。



# 事業化計画(将来像)



データの一元管理  
冗長性・セキュリティの向上  
可視化・解析サービスの提供  
システム運用・管理業務量の減少

**源泉所有・管理者**  
源泉変動の把握  
最適給湯の実現  
地熱発電受容性の向上

**発電事業者**  
温泉への影響把握  
広域地熱系の理解

**メーカー・コンサル等**  
ビジネスの創出

**市民**  
意識・社会受容性の向上

**政府・自治体**  
温泉と発電の共生  
脱炭素化の促進  
防災への寄与

**科学者**  
広域地熱系・水理系の理解深化  
新技術の創出