

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026 プログラムNo. B1-2-20

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／

蒸気生産データのAI処理による坑内および貯留層での早期異常検知技術の開発

発表：2026年7月22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 (公大)会津大学 石橋 史朗

団体名 (国研)産業技術総合研究所、(公大)会津大学、奥会津地熱(株)

問合せ先 E-mail: shiro-i@u-aizu.ac.jp TEL: 090-6936-8185

事業概要

1. 背景・目的

適切な貯留層管理により持続的な地熱発電が可能であることが実証されているが、国内の多くの地熱発電所では、「蒸気生産量が不安定な坑井への対応」が操業上の課題となっている。本事業では、生産異常の早期検知と原因および対策を提示可能なAIシステムを開発し、安定生産と管理コスト低減を実現可能にする。

2. 実施期間

開始： 2021年6月
終了： 2026年3月

3. 実施内容・目標（最終）

I. AIによる異常検出法の開発, II. 実証試験, III. 汎用化を通じて以下を達成する。

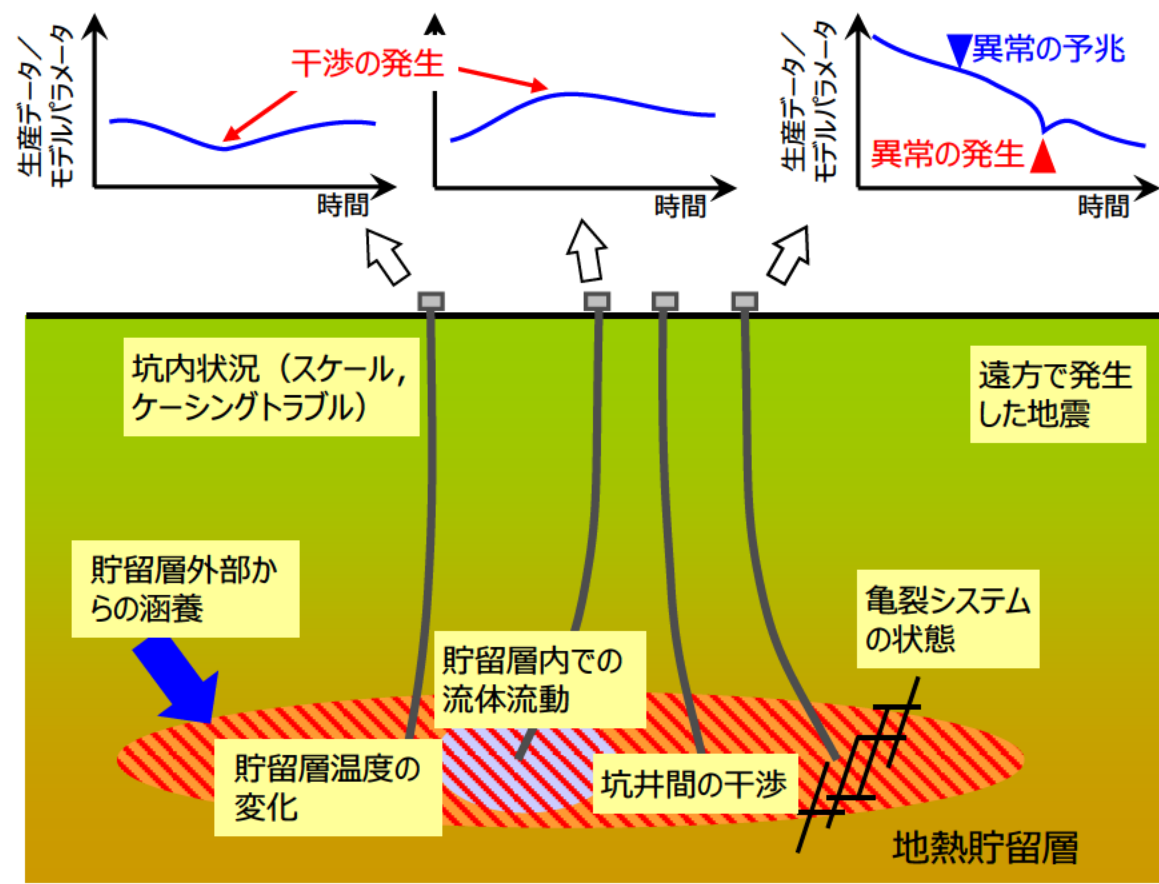
- (a) 過去の生産記録, トラブル記録, 貯留層データのDB化
- (b) 蒸気生産量異常検出, 原因推定AIの開発, 坑井データ監視・記録システムとの接続
- (c) 蒸気生産量増大, および坑井管理にかかる業務もしくは維持管理コストの削減
- (d) マニュアル化, コードの整備, PRコンテンツの作成

4. 成果・進捗概要

- (a)過去の生産記録, トラブル記録, 貯留層データをDB化し, AIで利用可能にした
- (b)蒸気生産量異常検出, 原因推定支援AI等を開発・機能向上した上で, AIに実装し実証試験を実施した
- (c)AIの汎用化、マニュアル化を行った

事業概要（背景）

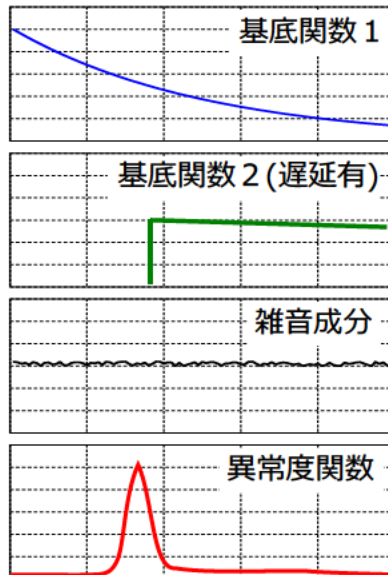
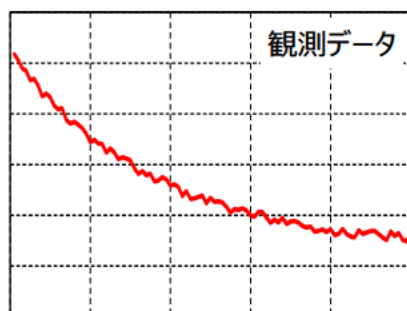
蒸気生産量は坑内や貯留層の状況等により変化する。生産データやそこから抽出したパラメータには異常の予兆・発生等に関する何らかの情報が含まれていると考えるのが妥当であり、それらを最新のAI技術・統計数理的手法により抽出可能にするとともに、安定した生産のために現場で広く使用可能にする



事業概要（研究開発の概念）

AI・統計数理学的手法による時
系列データの分解・特徴抽出

AIによる変動原因
推定・将来予測



- * 生産量変動の事前・早期検知・将来予測
- * 生産量変動原因の把握



- * 過去の生産データ・トラブルDB
- * 貯留層に関するデータ（トレーサー試験, シミュレーション, 微小地震等）

AI用基礎データ



- * 早期かつ適切なトラブル対応による蒸気生産量低下防止, 維持管理コストの低減
- * 貯留層に関する理解の深化
- * 持続的・安定な発電所の運用

主な研究開発項目

I. AIによる異常検出法の開発

- * 回帰学習型AI・統計数理学的手法によるデータの分解・異常検出・将来変動予測手法の開発
- * AI・統計数理学的手法による変動原因推定技術の開発

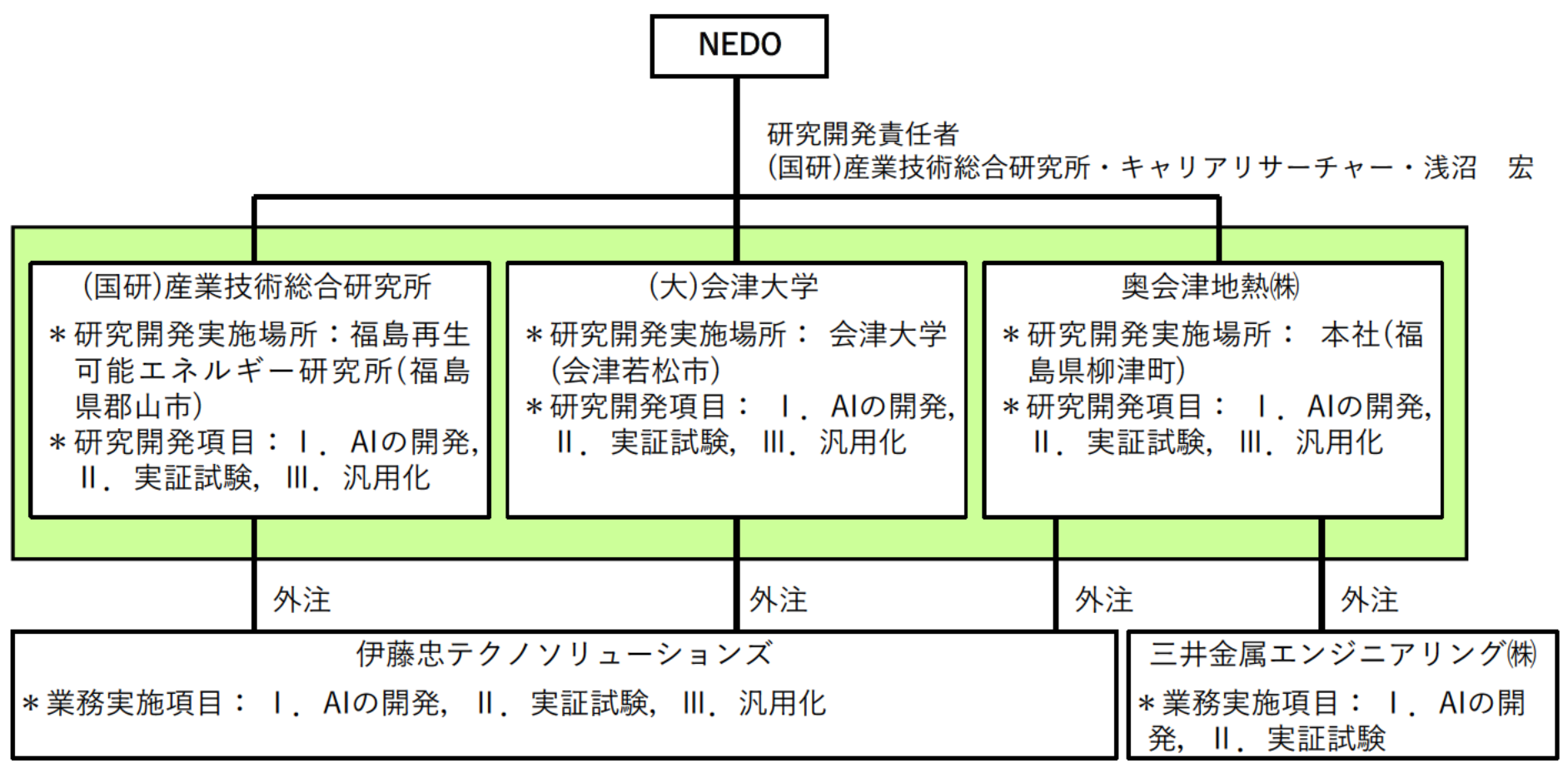
II. 実証試験

- * 実用上の課題抽出とブラッシュアップ

III. 汎用化

- * 汎用コード化
- * マニュアル作成
- * サポート体制構築

事業概要（研究開発体制）



事業概要（研究開発スケジュール）

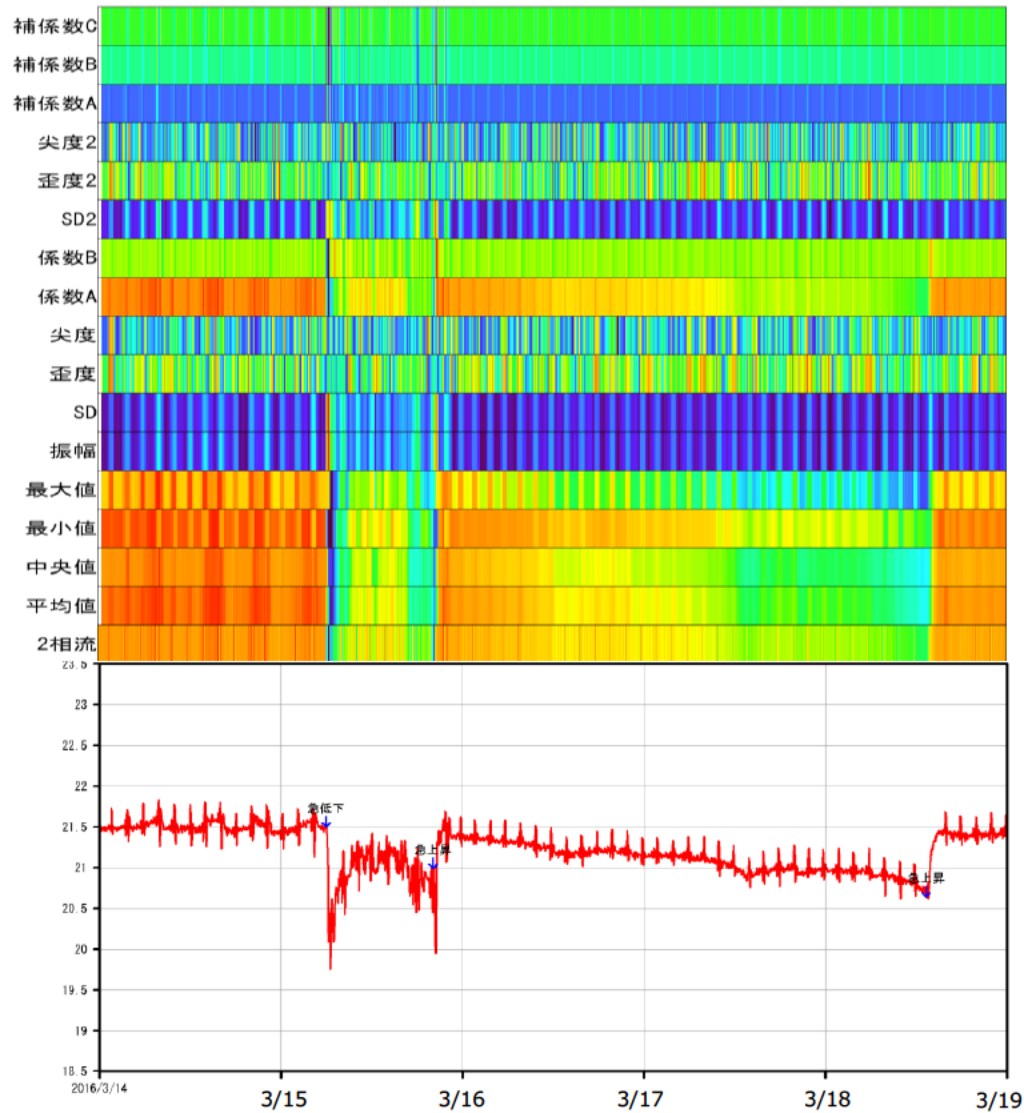
研究開発項目	担当 (○：責任者)	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
I. AIによる異常 検出法の開発 (a)基礎データ収 集	○奥会津地 熱，産総研， 会津大	生産データ・ トラブル記録収集				
		検層・微小地震データ等収集				
(b)AIの開発	○産総研， 会津大，奥 会津地熱	仕様 策定	単一坑井データ用AIの開発			
			多変量データ用AIの開発			
II. 実証試験	○産総研， ○奥会津地 熱，会津大			実証試験用ソフト・ハード 開発		
					実証試験	
III. 汎用化	○産総研， 会津大，奥 会津地熱					マニュアル化・ コード整備

実施計画書
から変更

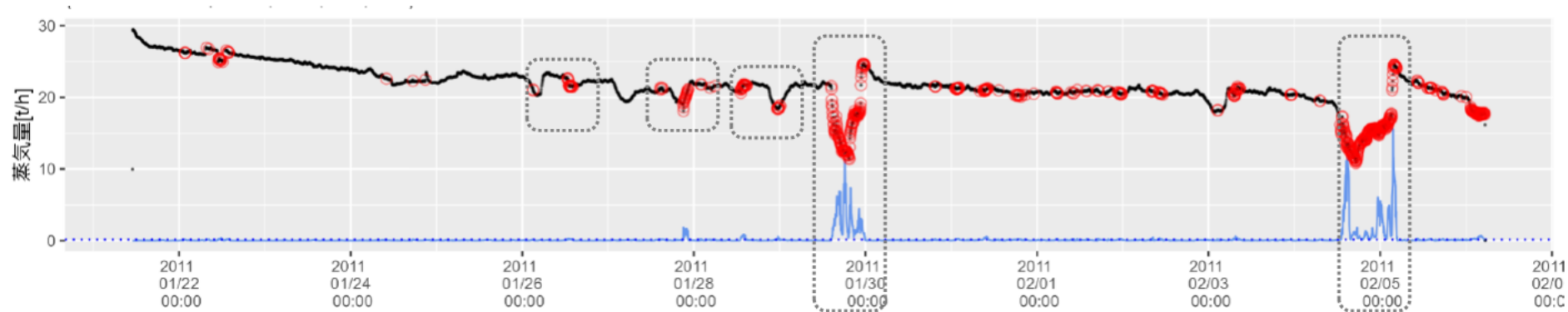
実施計画書
通りに実施



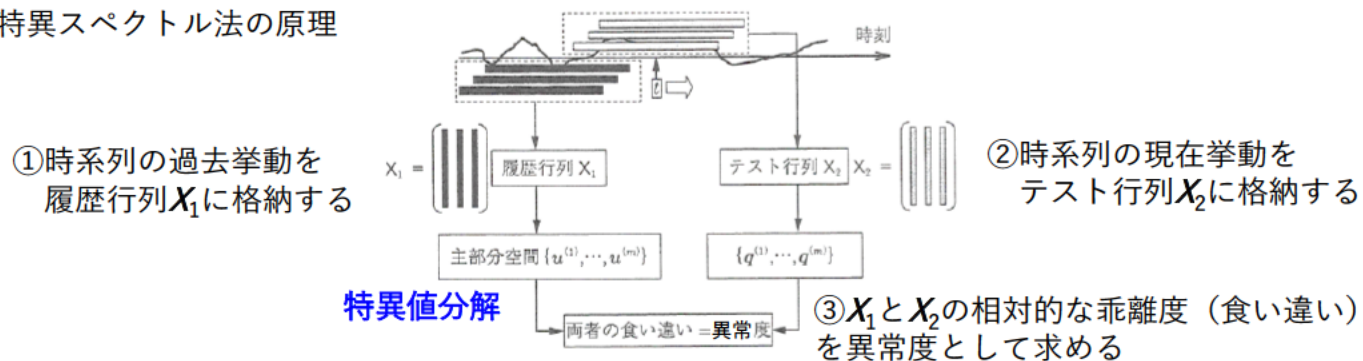
研究成果 (基本統計量のヒートマップ)



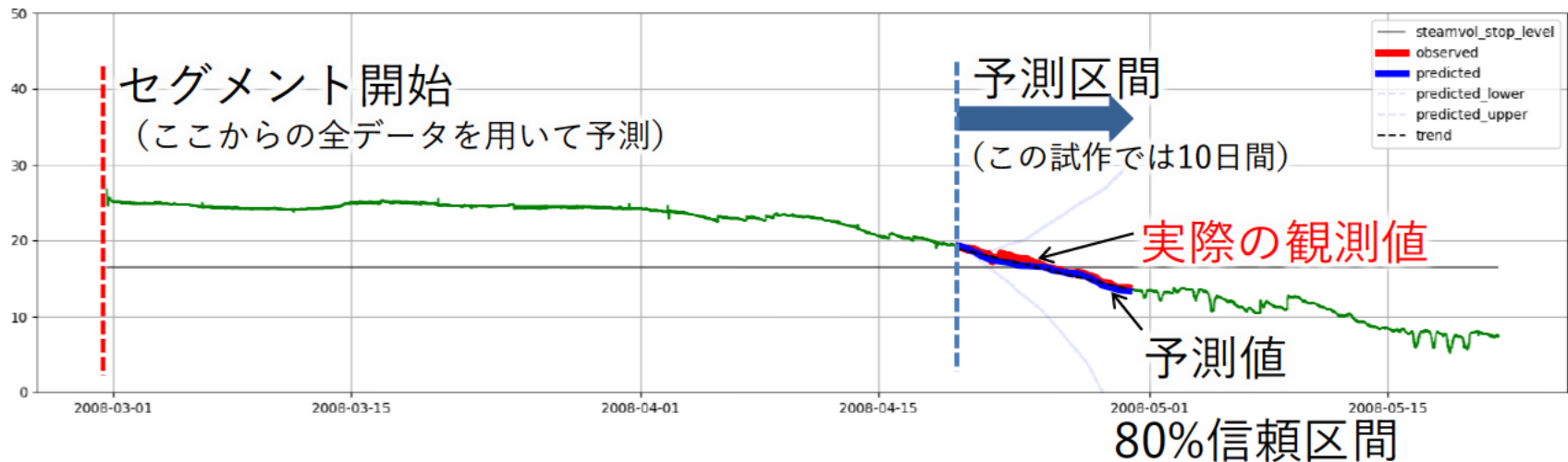
研究成果 (特異スペクトル法による短期異常検出)



特異スペクトル法の原理

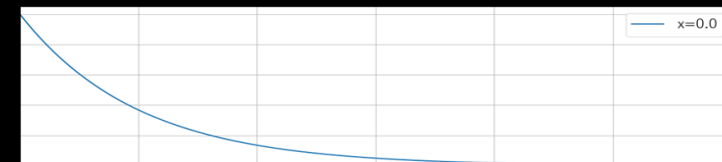
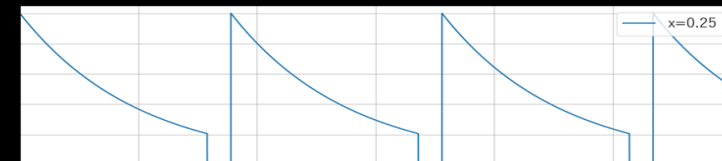
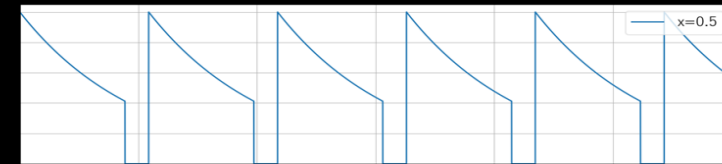
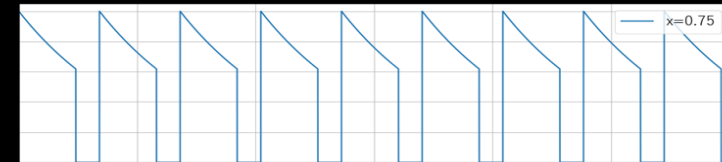
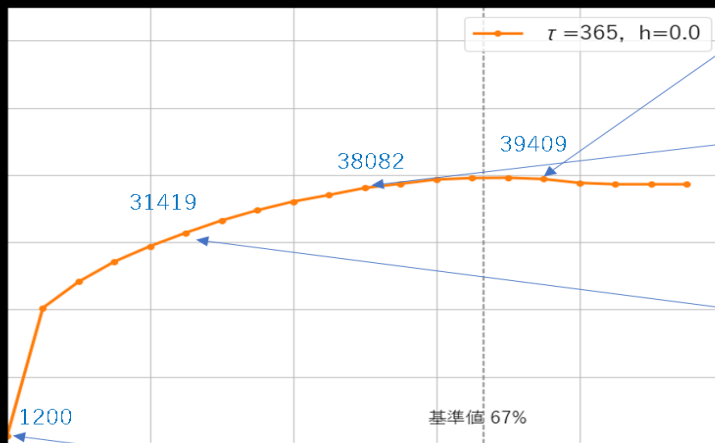


研究成果 (Prophetによる将来予測)

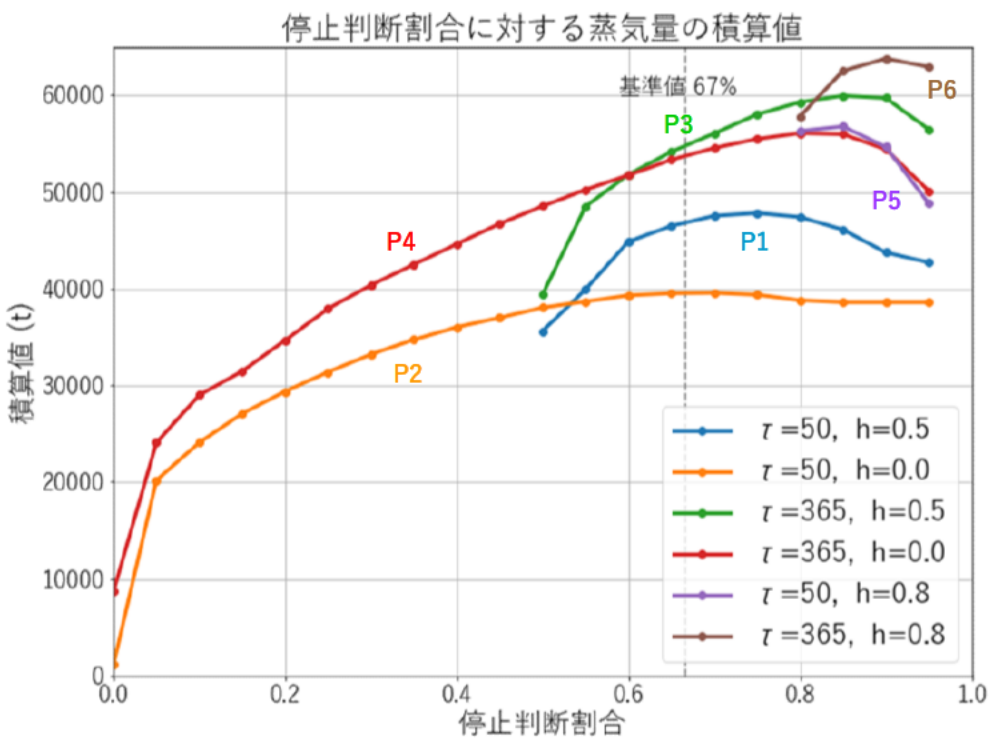


- Prophet 内のパラメータ調整を行うことで、予測性能は平均約25%改善された
- A井の場合、10日間先までの80%信頼区間内に、約88%のデータが予測できた
- Prophet パラメータの個別最適化・汎用化については Optuna も活用

研究成果 (停止判断支援機能)



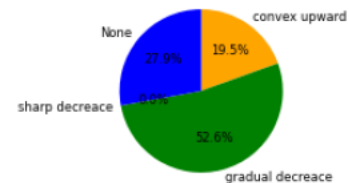
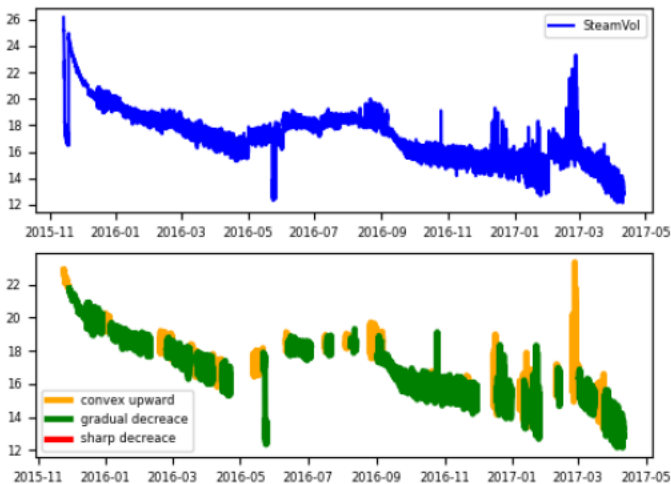
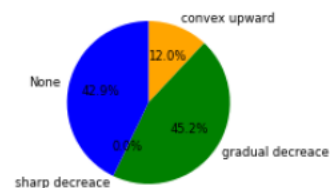
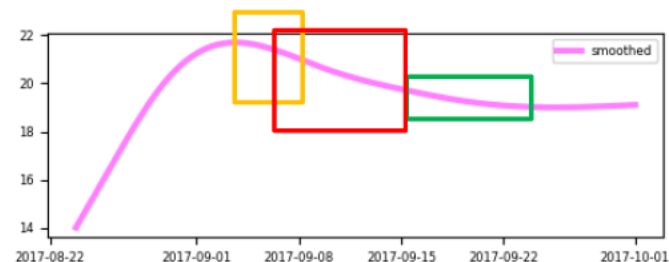
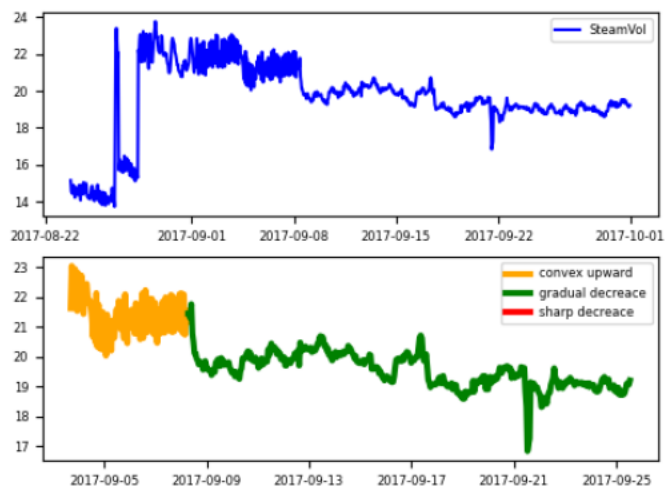
研究成果（停止判断支援機能）



生産量 = $(1-h)\exp(-t/\tau) + h$ を仮定

減衰パターン	τ	h	積算値最大の停止判断割合
パターン1 (定常値：中，減衰：大)	50	0.5	0.75
パターン2 (定常値：無，減衰：大)	50	0.0	0.70
パターン3 (定常値：中，減衰：小)	365	0.5	0.85
パターン4 (定常値：中，減衰：小)	365	0.0	0.8
パターン5 (定常値：大，減衰：大)	50	0.8	0.85
パターン6 (定常値：大，減衰：小)	365	0.8	0.9

研究成果 (変動原因推定支援機能)



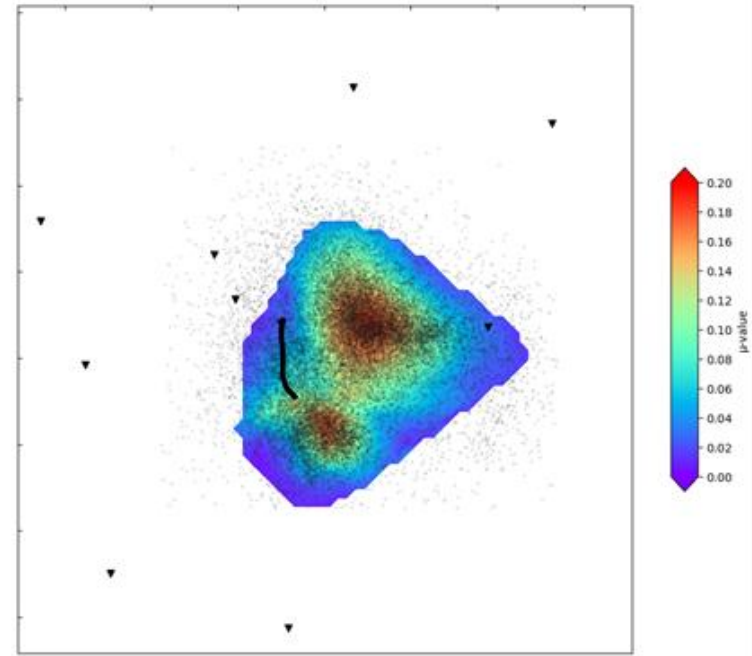
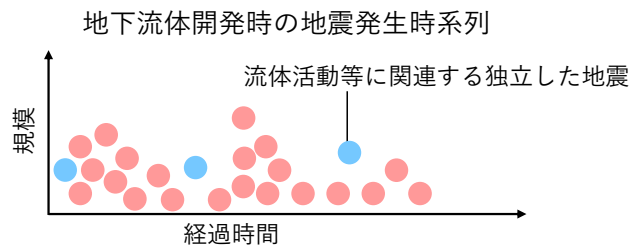
研究成果 (微小地震の統計モデル化)

ETAS: Epidemic Type Aftershock Sequence model (Ogata 1988)

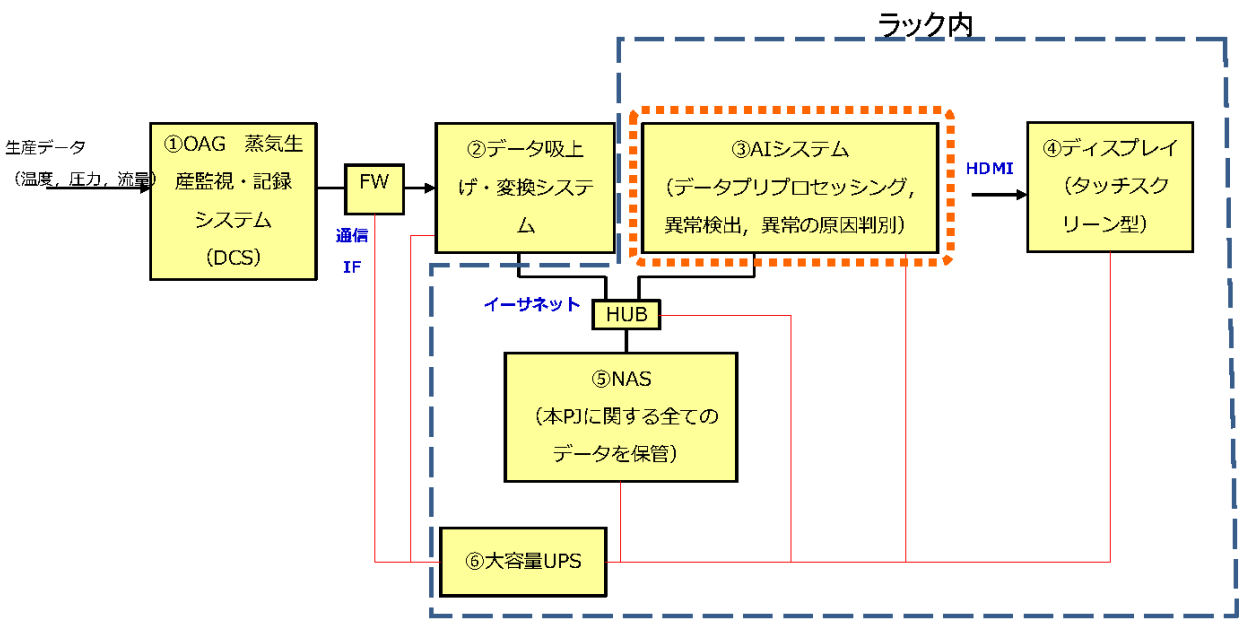
ある時間帯の
地震発生数

独立した地震数

$$\lambda_{\theta}(t \mid \mu, K, c, \alpha, p) = \underbrace{\mu}_{\text{自然地震の数}} + \sum_{t_i < t} \underbrace{\frac{Ke^{\alpha(M_i - M_z)}}{(t - t_i + c)^p}}_{\text{余震の生産性} \quad \text{地震活動の減衰}}$$



研究成果 (AIのハードウェア構成図)



AIシステム サーバスペック	
CPU	3.9GHz 16core=8core×2cpu
Memory	512GB
ストレージ	HDD64TB SSD8TB
OS	Windows 11 Pro for Workstations Ubuntu 22.04 LTS (デュアルブートまたはHyper-V)

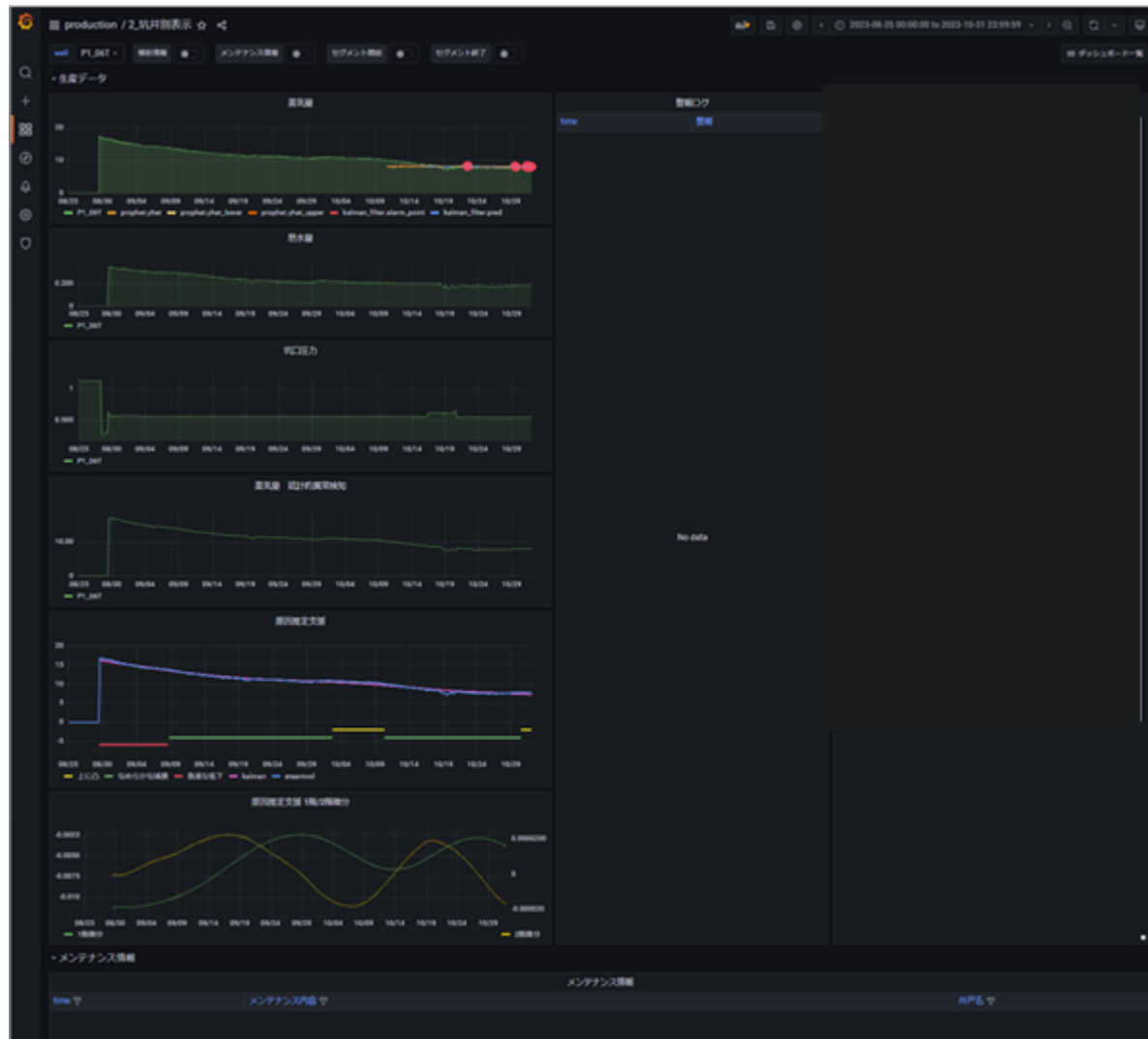
AIシステム ソフトウェア	
時系列データベース	InfluxDB v1.8.10
リレーショナルデータベース	PostgreSQL 14.x
Webアプリケーション	Grafana v8.4.6
Webサーバ	Apache 2.4.x
ブラウザ	Chrome
開発言語	Fortran90 R 4.1.x~4.2.x Python 3.9.x~3.10.x



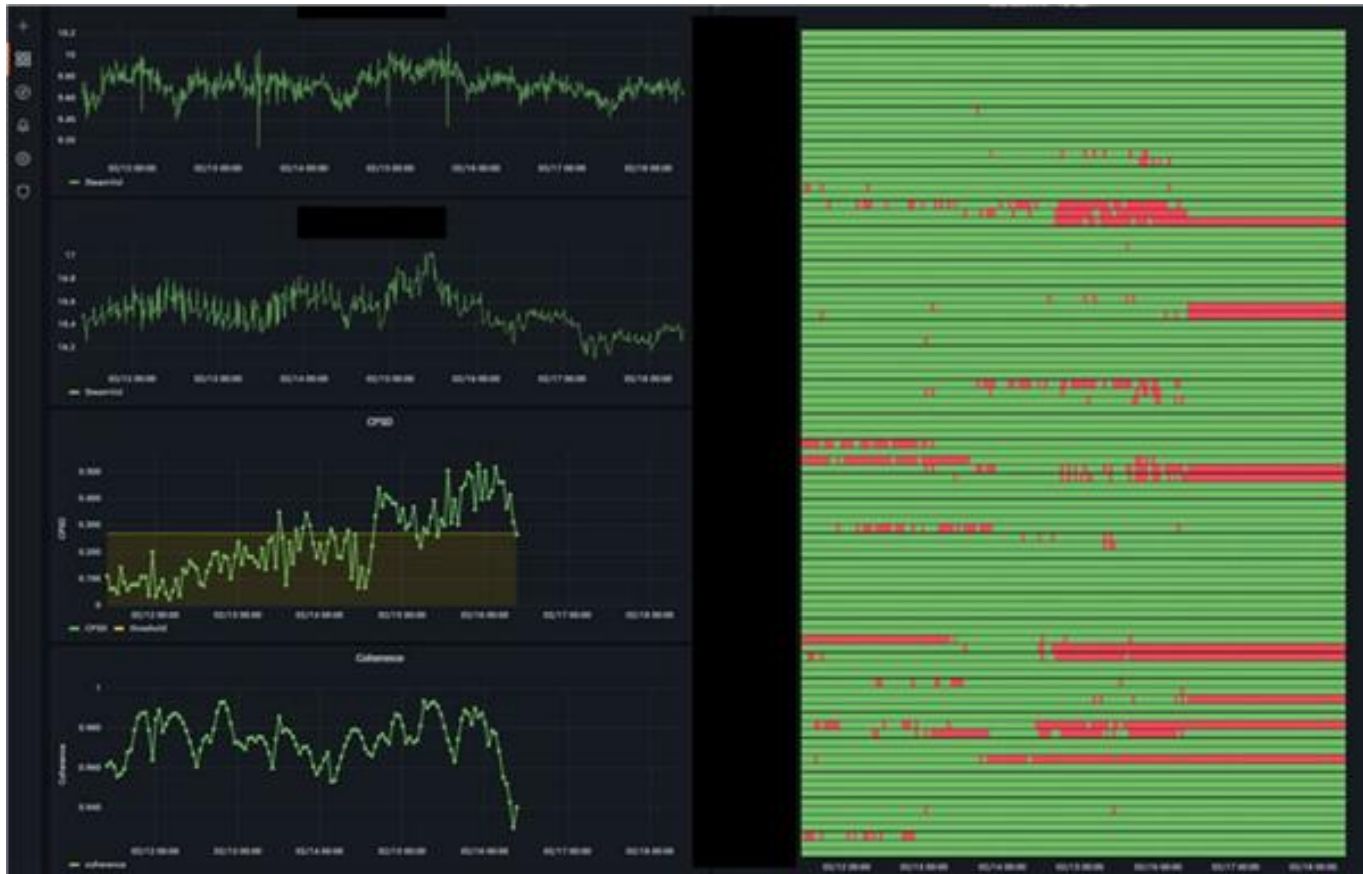
研究成果 (AIの画面例, 全坑井一覧)



研究成果 (AIの画面例, 坑井別表示)



研究成果 (AIの画面例, 坑井間干渉検出)



まとめ（全期間の成果）

【Ⅰ. AIによる異常検出法の開発（a）基礎データ収集】

- * 過去から現在までの生産記録，トラブル記録等をAIサーバに登録可能なデータベース形式に変換しAIへ導入

【Ⅰ. AIによる異常検出法の開発（b）AIの開発】

- * ノイズ等不要情報除去ソフトウェア，および特異スペクトル法による異常検知機能を開発し，シミュレーションでは急上昇・急降下等の異常についてF1値0.7以上での異常検出を達成。
- * 相関関数による坑井間干渉検出AIを開発。シミュレーションでは干渉をほぼ100%検出可能。
- * Prophetによる将来予測AIを開発。シミュレーションでは約88%のデータが80%信頼区間内に予測
- * 蒸気生産量の1階／2階微分値をもとにしたスケール付着検出AIを開発。オペレータの判断とほぼ合致する原因推定を実現
- * 蒸気生産量減衰時の停止判断支援AIを開発。最大10%以上の長期積算生産量増大が可能。
- * 地震統計学データと注水・生産データとの関連性があることを示唆するデータを取得

【Ⅱ. 実証試験】

- * 奥会津地熱(株)蒸気生産監視システムを用いて，約2年半AIを運用。自動メンテナンス機能組込み等により安定した運用を実現

【Ⅲ. 汎用化】

- * 原理，アルゴリズム，汎用ソフトを用いたソースコード等を作成，受託者以外の蒸気生産事業者・地熱発電事業者への提供可能

事業化計画

①実用化・事業化を行う製品・サービス

実用化・事業化の対象：蒸気生産早期異常検出・原因判別AIシステム

②実用化・事業化への取組

奥会津地熱(株)：本事業終了直後から同社蒸気生産設備に組み込んだシステムを稼働させ、蒸気生産量の10%増大と坑井・貯留層維持管理費用の20%以上削減を目指す。

蒸気生産事業者：日本地熱協会等を通じてPRを行い、導入希望する企業へAIシステムのコア部分を無償提供し、利用拡大を図る。本事業の成果物が国内の地熱発電所の50%に導入され、各発電所の出力が10%増大すれば、約130GWh/年の発電量増大（約34 億円程度の売電収入に相当）が見込める。

産総研、会津大：システムのブラッシュアップによる機能性の向上、解析技術・ノウハウが十分でない事業者への支援等により導入促進へ寄与する。

実施項目	FY2026～2030	FY2031～FY2040
奥会津地熱(株)での導入	システム運用・ブラッシュアップ	
蒸気生産事業者での導入	システム導入・ブラッシュアップ	
奥会津地熱(株)、産総研、会津大によるPR	協会・学会等でのPR活動	
産総研・会津大による導入支援	蒸気生産事業者・発電事業者等への技術指導	各社で実施
	定期的バージョンアップ	各社で実施

