

持続可能開発目標達成支援事業 (aXis)
課題終了評価報告書

1. 研究課題名 :

地熱生産井掘削地点特定用の蒸気スポット検出技術の高精度化とボーリングによる実証

2. 相手国 :

インドネシア共和国

3. 実施期間 :

2020年4月～2022年3月

4. 研究代表者及び国際コーディネーター :

研究代表者

小池 克明 (京都大学 大学院工学研究科 都市社会工学専攻 教授)

国際コーディネーター

上潟口 徳次郎 (京都大学 大学院工学研究科 特定職員 (2020/7-2021/5))

小池 克明 教授

5. 共同研究者 :

後藤 忠徳 (兵庫県立大学 大学院生命理学研究科 教授)

柏谷 公希 (京都大学 大学院工学研究科 准教授)

久保 大樹 (京都大学 大学院工学研究科 助教)

麻植 久史 (京都大学 大学院工学研究科 特定准教授)

多田 洋平 (京都大学 大学院工学研究科 特定研究員)

6. 相手国協力機関 :

バンドン工科大学 (ITB)

インドネシアエネルギー鉱物資源省、鉱物・石炭・地熱資源センター (CMCGR)

Geo Dipa Energi 社

7. 研究概要

本プロジェクトは、SATREPSの先行プロジェクト(2015年4月～2020年4月)で開発されたりモートセンシング、地球化学、鉱物学および数値シミュレーションの技術を組み合わせ、地熱発電用のボーリング適地を地表から正確に見つけるための手法を高精度化するとともに500m級の複数本のボーリングによりそれを実証することを目的とする。

具体的には、ドローンによる地形データから地熱流体パスとなる亀裂の3次元分布解析、多数の表層ボーリングでのラドン濃度測定、流体地化学分析による貯留層温度と流体起源

の推定、シミュレーションによる熱水流動の解明と蒸気卓越部の特定を行い、これらを統合し、高い空間分解能で蒸気スポット存在評価マップを作成する。さらに、その中で評価の高い地域について電磁探査を行い、探査ボーリングの位置 2 地点を選び、深度 500mほどのボーリングを実施し、得られた温度・圧力・鉱物情報から蒸気スポット存在評価精度を検証、実証する。これらの成果により、地熱資源探査コストを大幅に削減し、地熱発電を促進する。プロジェクトは下記の研究題目で構成されている。

研究題目 1：蒸気スポット検出技術

- 1-1 亀裂分布の精緻化
- 1-2 Rn 濃度分布解明
- 1-3 熱水・ガス分析
- 1-4 熱水流動系の推定
- 1-5 評価マップの作成研究題目

研究題目 2：比抵抗分布の解明

- 2-1 MT, TEM 探査（当初の AMT 探査から変更）
- 2-2 比抵抗モデリング

研究題目 3：探査試錐調査と評価

- 3-1 ボーリングの実施
- 3-2 鉱物・化学組成分析
- 3-3 温度圧力データ解析

8. 総合評価

コロナ禍のため、研究者の渡航をはじめ研究活動は大幅に制約されたが SATREPS の先行プロジェクトで築いてきた協力体制により、現地ではインドネシア側が中心となりボーリング候補地とその周辺での野外調査、試料サンプリング、試料分析を実施したほか、機材が持ち込めなかった AMT 探査をインドネシア側の MT 探査と TEM 探査で代替し、ドローン測量を LiDAR に切り替えるなど、状況の変化に柔軟に対応してきた。

これらの活動により、様々な探索データの取得、地球統計学的手法による解析、シミュレーション等を行い、蒸気スポット検出技術の高精度化を図り、それによる蒸気スポットのポテンシャルマップを作成し、ボーリング地点を絞り込んだ。深度 500m級のボーリング工事がコロナ禍その他の制約により大幅に遅延し、ボーリングは途中で終わることとなった。コア試料の詳細な分析は期限ぎりぎりまで継続され、初期データからは地熱流体上昇などが示唆されている。また、本技術を新規の地熱資源探査に適用する 2 か所がほぼ決まっている。

以上のように、ボーリング工事とその分析に未達の部分があるが、「地熱発電の適地の探索技術の高度化と実証を行い、事業への活用を推進する」というプロジェクトの目的はほぼ達成したと言える。

9. 評価内容

9-1. 研究課題の目標の達成度（実証試験）、社会実装の見通し

①研究計画の実施状況および目標の達成状況

本プロジェクトでは蒸気スポット検出技術の精緻化を目指し、様々な探索データの取得と地球統計学的手法による解析、シミュレーション等を基に、精緻なマップを作成しボーリング候補地点を絞り込むなど、研究題目 1, 2 については当初の目標を十分に達成した。実証用のボーリング工事はコロナ禍その他の制約により契約と現地での作業が遅れ、コアサンプルの取得とそれを基にした精微な分析と実証作業は現在も継続中であり終了時にも未完の部分が残る。

②プロジェクト推進体制の構築、人的交流も含めた相手国協力機関との交流状況

先行 SATREPS プロジェクトで構築された協力体制は良好で、日本側研究者の渡航が全くなかったが、相手国の ITB 研究者が主体的に野外調査、試料サンプリング、試料分析を実施した。またインドネシア国営企業である Geo Dipa Energi 社（以下 Geo 社）およびインドネシアの国立研究機関 CMGR との協働も行われており良好な協力関係を維持している。これら社会実装の当事者となり得る機関が参画していることも評価できる。SATREPS のプロジェクト期間を含め ITB から 7 名の留学生を受け入れ、熱水流動の分析と数値シミュレーションなどで本プロジェクトに貢献したほか、帰国者はインドネシアで同分野の研究に従事している。

③プロジェクトの管理および状況変化への対処

コロナ禍による遅延を最小限にするため、ほぼ月次でオンライン会議を行うなど研究協力を進めた。また、渡航ができなくなったことを受け、AMT 探査をインドネシア側の MT 探査と TEM 探査で代替したほか、ドローン測量を LiDAR に切り替えたことも含め、状況の変化に対し柔軟に対応してきた。ボーリング工事が未達に終わった主因はコロナ禍ではあるが、インドネシア側の認可を含む調整の複雑さ、予算の見積もり、契約形態などについての事前調査不足が影響したことも否めない。

④実証試験等の成果を基とした社会実装に向けた継続的発展の見通し

Geo 社と密接に協働しており、本プロジェクトの成果は JICA 支援による同社の「インドネシア国国営地熱発電事業者の新規開発地点に関する情報収集・確認調査」に繋がり、対象フィールドである Patuha 地区のほか Dieng 地区（ジャワ島中部）の生産井の位置設定にも活用される予定である。

9-2. 科学技術的価値

①課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト

様々な探索データと地球統計学を駆使し、蒸気スポット検出技術の精度が向上した。相手国の地熱資源は豊富で、地熱発電の一層の導入が求められており、高精度化された蒸気スポット検出技術により、ボーリング掘削費を大幅に低減でき、地熱発電の導入が一層進むことが期待される。具体的な活用の見通しもあり、本課題の成果のインパクトは大きいと評価する。

②科学技術的価値向上に資する成果物・情報発信

World Geothermal Congress で SATREPS と aXis 両プロジェクトの成果を計 8 件論文発表し、インパクトファクターが大きい国際誌に掲載されるなど、着実に学術的成果をあげている。せっかくの成果であるので探査技術全体についての書籍などでの発信も望まれる。

9-3. SDGs への貢献

インドネシア及び他の地熱資源国において、SDGs 7(エネルギーをみんなに そしてクリーンに)と同 13(気候変動に具体的な対策を)に貢献することが期待できる。

9-4. その他の特記すべき事項

相手国側に地熱発電を行う国営の Geo 社が参加しており、すでに活用地点があげられるなど社会実装化が明確に見通せるプロジェクトであり、かつ学術研究としても顕著な成果をあげている。また、本プロジェクトの成果を基に JSPS の科研費・国際共同研究加速基金にも採択されている。

以上