

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究課題別中間評価報告書

1. 研究課題名

地中熱利用による脱炭素型熱エネルギー供給システムの構築
(2022 年 5 月 1 日～2027 年 4 月 30 日)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：稲垣 文昭（秋田大学 大学院国際資源学研究科 教授）
2. 2. 相手側研究代表者：Kodirov Anvar（科学アカデミー付属 科学・新技術革新開発センター 所長）

3. 研究概要

タジキスタンは、電力の 90%以上を水力に依存する水資源大国であるが、エネルギーアクセスに課題を抱えている。特に、暖房需要が伸びる冬季は電力供給がひっ迫し、地方では電力供給が制限される。代わりに旧ソ連時代より石炭が活用されているが、設備は老朽化しており、大気汚染及び地球温暖化の観点からもその利用拡大は望ましくない。そこで、省エネでクリーンな地中熱ヒートポンプ（GSHP）の乾燥地対応型を開発する。

これまで活用されてこなかった GSHP を、水資源が豊富で寒暖差の大きな中央アジア地域で開発すること（タジキスタンモデル）は、タジキスタンだけではなくアフガニスタンを含む周辺諸国の地球温暖化対策、エネルギーアクセスの問題解決に貢献する。

プロジェクトは下記の 3 つの研究題目で構成されている。

- （1）地中熱ポテンシャルマップの構築
- （2）地中熱デモプラントによる GSHP 長期冷暖房試験
- （3）資金調達を含めた普及の為の制度設計

4. 評価結果

総合評価：A

（所期の計画と同等の取組みが行われ、成果が期待できる。）

地質データの入手や機器の導入に多少遅れが見られるが、適切な研究計画の変更により挽回できる状況まで改善している。制度、設備、インフラ等に課題を抱え、技術基盤が弱いタジキスタンにおいて、研究代表者のリーダーシップにより、活発な人材交流・人材育成活動をはじめ、現場での地に足のついた着実な取り組みがなされており、相手国からの信頼も高い。

一方で、科学技術的に大きなインパクトをもたらすような学術的な取り組みについては、今後

の更なる成果の創出に期待したい。相手国のニーズや経済発展レベルに応じた GSHP の新たな利用方法があると考えられ、石炭による暖房を置き換えることができれば、CO₂ 排出量の削減と大気汚染の改善が期待できる。人材育成と併せ、技術的な優位性を実現して積極的に共著論文や特許出願に取り組まれることを期待する。

4－1．国際共同研究の進捗状況について

ロシアのウクライナ侵攻の影響やコロナ禍等の影響を受け、機器の導入や地質データの入手に遅れが生じたが、プロジェクト目標達成に支障のないよう適切に研究計画が変更され、今後の挽回は可能だと思われる。

本プロジェクトの第二デモサイトは、オープンループ方式¹のみを実施することへ変更し、当初併設を計画していたクローズドループ方式²についてはシミュレーションにより検証することとした。クローズドタイプ方式のノウハウを蓄積する機会を逸することにはなるが、オープンループ方式はより低コストであり、以前から井戸水を利用していた相手国ニーズとマッチすることから、大きく普及するポテンシャルがある。廃水の有効利用も含めたオープンループ方式の新たな展開につながる可能性があり、貴重な実証データが得られるものと期待する。第一デモサイトでは計画通りクローズドループ方式の実証の準備が進んでおり、第二デモサイトでのシミュレーション結果と合わせ、クローズドループ方式の技術進展も期待できる。

研究題目（１）～（３）は、いずれも技術支援、技術供与が主であり、両国研究者の共同研究によって地球規模課題の解決をもたらす学術的・科学的成果が得られるか否かについては、現時点では不透明といえる。一方で、相手国の地下水の成分分析や地中熱利用ポテンシャルをマッピング化し、それを利用して相手国特有のニーズに適合させて政策展開につなげていくことができれば、政策立案や経営マネジメントの事例として優れた価値を持つと考えられる。

4－2．国際共同研究の運営体制について

日本側研究者は相手国との交流を重視し、相手国のニーズに地道に対応していることから、相手国の信頼を得て良好な関係を構築するなど、プロジェクトの推進に当たって優れたリーダーシップを発揮している。また、多くの日本人学生を相手国に派遣し、シンポジウムへ参加する機会を与えるなど、国際的な視野を持つ若手人材の育成に力を入れている点も評価できる。

相手国側に技術的な蓄積がないことから、通常のマネジメントでは難しいと考えられるが、持続的な発展につなげようとしている点は評価でき、今後もこれを継続することが望まれる。

相手国における掘削工事や建設業の実情や、機材メンテナンスの方策等、現地で初めての対処

¹ オープンループ方式は、地下水を汲み上げて地上のヒートポンプで熱交換を行う。（環境省「地中熱利用にあたってのガイドライン（第４版）」）

² クローズドループ方式は、地中に埋設した熱交換器（地中熱交換器）に水や不凍液などを循環させ、地上のヒートポンプとの間で熱交換を行う。（環境省「地中熱利用にあたってのガイドライン（第４版）」）

を要する事案もあったものと思われるが、適切に予算を執行している。

4－3．科学技術の発展と今後の研究について

相手国の省庁とも既にコンタクトがなされており、地中熱利用の実用化・普及に向けた研究計画、社会実装への取り組みは優れている。また、通信負荷の少ないメタバース空間で GSHP を可視化するシステムは、相手国側の通信状況に対応したシステムであると考えられる。

相手国の技術レベルを踏まえ、本プロジェクトの実施期間内においては、現在実施している進め方が適切と考えられる。デモサイトでの実績により、相手国の関係者が強い関心を持ち始めた後は、企業への展開や、新規性の高い技術開発等にマネジメントの重点を移す必要もあるため、今後、タジキスタンに限らず成果を広く横展開できるよう、「科学技術としての新規性・革新性」を意識した研究開発を進めてほしい。

相手国の重要な課題であるゼロカーボンと併せて、水資源管理の課題に対してもインパクトをもたらす可能性がある。地中熱利用の可能性を定量的に示すことができるモデルケースになり得るため、日本及びタジキスタン以外にも、どのような社会的なインパクトが見込めるのか検証してほしい。

4－4．持続的研究活動等への貢献の見込みについて

相手国側の若手研究者は非常に熱意があり、現場に主体的に取り組む姿勢が強く感じられ、留学や研修を通して活発な交流も行われており、大いに期待できる。相手国側研究者がどの研究題目にどの程度関与しているか明確にした上で、彼らの自立性・自主性をさらに高める取り組みがあるとよい。

共著論文や特許などの成果物も増やし、また、地中熱利用だけでなく、広く地球規模課題の解決に向けた持続的・自立的な研究開発を行なっていけるよう検討してほしい。

5．今後の研究に向けての要改善点および要望事項

- 1) 地中熱ポテンシャルマップと地下水水質データベースは実用的で、極めて重要な成果となる。これらのデータから地質に関する新たな科学的知見が得られることも期待する。
- 2) タジキスタンの地下水環境や気候条件に最適化したヒートポンプ技術等、工学的な視点を含め、原著論文（特に相手国との共著）による成果の発信に努めてほしい。また、GSHP 長期冷暖房試験に限ることなく、プロジェクト推進の中で見出された新規性・革新性のある成果を学術論文に仕上げてほしい。

- 3) 本プロジェクトの技術を導入することで、どの程度 CO₂ 削減に貢献できるのか、目標と目的を明確化するとともに、地下水のカスケード利用の可能性などの副次的効果や波及効果についても検討いただきたい。
- 4) 地域全体での地下水熱利用と水資源管理の政策に展開するモデルケースとしても、広く世界に情報発信する価値がある。水資源管理と、現実的には廃止が難しい石炭暖房等の双方の制約条件を考慮した最適化には、更なる学術的な取り組みの余地があるのではないかと考えられる。Nature 誌に投稿した記事が効果を上げているが、引き続きアウトリーチ活動や、政策系・経営系ジャーナル等への投稿などができれば、波及効果が大きいのではないかと考えられる。
- 5) 費用面であまり高価とならず、井戸配管の詰まりが問題とならないような工法の提案ができれば、本プロジェクトの意義をさらに高められる。熱エネルギーの季節間貯蔵の効果も実証できれば、再生可能エネルギー出力の季節変動が大きい他地域においても、地中熱利用への関心を高められると考えられる。建物の省エネルギーの推進など、地中熱利用以外のエネルギー関連の施策も総合的に取り込むと、CO₂ 削減量も効果的に増やせるのではないかと考えられる。

以上

成果目標シート

研究課題名	地中熱・地下水熱利用による脱炭素型熱エネルギー供給システムの構築
研究代表者名 (所属機関)	稲垣 文昭 (秋田大学 国際資源学研究所 教授)
研究期間	2021採択 (2021年6月1日～2027年3月31日)
相手国名/主要 相手国研究機関	タジキスタン共和国/タジキスタン共和国科学アカデミー科学新技術革新発展センター
関連するSDGs	目標7.すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する 目標13.気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる 目標6.すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する

成果の波及効果

日本政府、社会、 産業への貢献	・タジキスタン周辺地域 (含むアフガニスタン) の安定化への寄与 ・日本企業による高効率型地中熱システムの国外事業化
科学技術の発展	・地盤の熱伝導性が低い乾燥地帯における地中熱ヒートポンプ技術の確立 ・人工知能による最適地中熱冷暖房システムの構築
知財の獲得、国際標準化の推進、 遠伝資源へのアクセス等	・地下水水流モデル、地下水水質を含めた地下水開発評価の国際標準化 ・乾燥地帯における地中熱ヒートポンプ活用への推進
世界で活躍できる 日本人人材の育成	・途上国で活躍する高効率型地中熱システム設計エキスパートの育成 ・国際的に活躍可能な日本側若手研究者の育成
技術及び人的 ネットワークの構築	・中央アジア、乾燥地帯における地中熱利用に関する技術者ネットワーク ・地中熱の利用に関する中央アジアの研究機関との連携
成果物 (提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・資金調達スキームや関連法を含む高効率型地中熱利用システム実用化プラン提案 ・乾燥地域における地中熱利用に関する論文 ・人工知能を利用した地中熱ポテンシャルマップ・データの構築

公開資料

上位目標

高性能な乾燥地帯対応型地中熱システム (タジキスタンモデル) が実用化・普及する

タジキスタンによるポテンシャルマップの構築と、GSHPシステム導入のための資金スキームが確立し、公的施設への導入が進む

プロジェクト目標

乾燥地帯対応型地中熱ヒートポンプの普及のためのタジキスタンモデルが確立する。

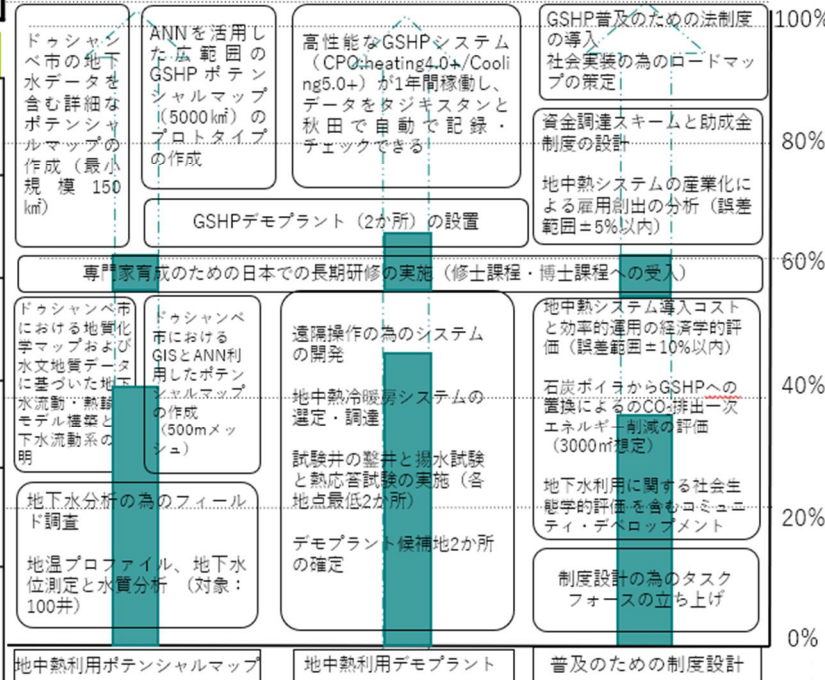


図1 成果目標シートと達成状況 (2024年11月時点)