

「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	--------------------------------------

目次

概要.....	概要-1
プロジェクト用語集.....	用語集-1
I. 事業の位置付け・必要性について.....	I-1
I.1 事業の背景・目的・位置付け.....	I-1
I.1.1 事業の背景.....	I-1
I.1.2 事業の目的、意義.....	I-1
I.1.3 事業の位置付け.....	I-1
I.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	I-1
I.2.1 NEDO が関与することの意義.....	I-1
I.2.2 実施の効果.....	I-2
II. 研究開発マネジメントについて.....	II-1
II.1 事業の目標.....	II-1
II.2 事業の計画内容.....	II-2
II.2.1 研究開発の内容.....	II-2
II.2.1.1 事業全体の研究開発の内容.....	II-2
II.2.1.2 研究開発テーマ毎の研究開発の内容.....	II-3
(1.1) 給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの 研究開発.....	II-3
(1.2) 直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減 技術の開発.....	II-6
(1.3) ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究 開発.....	II-11
(1.4) 寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプ システムの技術開発.....	II-14
(2.1) 天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・ 性能向上技術の開発.....	II-17
(2.2) 温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムの トータルコスト低減技術開発.....	II-19
(3.1) 見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの 開発・規格化.....	II-23
(3.2) オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究.....	II-28
II.2.2 研究開発の実施体制.....	II-31
II.2.3 研究開発の運営管理.....	II-36
II.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性.....	II-44
II.3 情勢変化への対応.....	II-44
II.4 評価に関する事項.....	II-44

Ⅲ. 研究開発成果について	Ⅲ-1
Ⅲ. 1 事業全体の成果.....	Ⅲ-1
Ⅲ. 1. 1 研究開発項目毎の成果 (2021. 7 現在)	Ⅲ-1
Ⅲ. 1. 2 知的財産等の取得、成果の普及	Ⅲ-3
Ⅲ. 1. 3 個別テーマ毎の成果(まとめ)	Ⅲ-4
Ⅲ. 2 個別テーマの成果の概要	Ⅲ-8
(1. 1) 給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究 開発.....	Ⅲ-8
(1. 2) 直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の 開発.....	Ⅲ-12
(1. 3) ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発.	Ⅲ-15
(1. 4) 寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステム の技術開発.....	Ⅲ-18
(2. 1) 天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・ 性能向上技術の開発.....	Ⅲ-20
(2. 2) 温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムの トータルコスト低減技術開発.....	Ⅲ-22
(3. 1) 見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・ 規格化.....	Ⅲ-25
(3. 2) オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究.....	Ⅲ-29
Ⅳ. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	Ⅳ-1
Ⅳ. 1 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	Ⅳ-1
Ⅳ. 1. 1 事業全体の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	Ⅳ-1
Ⅳ. 1. 2 研究開発テーマ毎の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	Ⅳ-2
(1. 1) 給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究 開発.....	Ⅳ-2
(1. 2) 直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減 技術の開発.....	Ⅳ-4
(1. 3) ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発	Ⅳ-5
(1. 4) 寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプ システムの技術開発.....	Ⅳ-6
(2. 1) 天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・ 性能向上技術の開発.....	Ⅳ-9
(2. 2) 温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムの トータルコスト低減技術開発.....	Ⅳ-10
(3. 1) 見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・ 規格化.....	Ⅳ-12
(3. 2) オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究.....	Ⅳ-14

(添付資料)

- 添付資料 1 プロジェクト基本計画
- 添付資料 2 事前評価結果
- 添付資料 3 特許論文リスト

概要

		最終更新日	2021年8月3日
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発	プロジェクト番号	P19006
担当推進部/ 担当者	新エネルギー部/ 統括主幹 (PM) 権藤 浩 (2019年4月～2019年6月) 統括主幹 阿部 一也 (2019年7月～2021年6月) 統括主幹 月舘 実 (2021年7月～2021年8月現在) 主査 (PM) 谷口 聡子 (2019年4月～2021年8月現在) 主査 永石 孝司 (2019年4月～2020年4月) 主査 藤田 敬一 (2019年4月～2020年3月) 主査 津留崎 一洋 (2020年5月～2021年8月現在) 主任 上本 雄也 (2019年4月～2021年3月) 主任 嵯峨山 巧 (2021年4月～2021年8月現在)		
0. 事業の概要	(1) 地域偏在性がなく安定した再生可能エネルギー熱源(地中熱、太陽熱等)について、コストダウンに資する高効率機器の開発や、蓄熱や複数熱源を組み合わせたシステムの実用化技術の確立、共通基盤技術(見かけ熱伝導率の推定・評価技術、設計ツール等)の開発、並びに、評価及び定量化技術の高機能化をZEB等への適用も視野において実現する。また、業界団体やユーザーとの連携による成果の普及方策に取り組むことで、低炭素社会、更には脱炭素社会の実現に資する再生可能エネルギー熱利用の普及拡大を目指す。(1/2 助成及び委託事業) (2) 事業期間：2019年度～2023年度(5年間)		
I. 事業の位置付け・必要性について	再生可能エネルギー熱利用技術は、熱を直接利用するためエネルギー供給の多様化を実現し、エネルギーセキュリティ確保に大きく寄与することが可能である。2018年7月に閣議決定した「第5次エネルギー基本計画」においては、“多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造”の実現を目指し、再生可能エネルギー熱については、より効果的に活用していくことでエネルギー需給構造をより効率化する上で効果的な取組と期待されている。 しかし、設備導入コストが高いこと、認知度が低いこと、熱エネルギーの供給を担う人材が十分に育っていないこと等の要因により、再生可能エネルギーの熱としての活用はそのポテンシャルに比べて十分に進んでいない状況である。 本事業では、コストダウンに資する高効率機器の開発や、蓄熱や複数熱源を組み合わせたシステムの実用化技術の確立、共通基盤技術(見かけ熱伝導率の推定・評価技術、設計ツール等)の開発、並びにZEB等への適用を視野に評価及び定量化技術の高機能化の研究開発に取り組む。さらなる再生可能エネルギー導入を実現するためには、本事業において提案する“再生可能エネルギー熱利用技術”にNEDOとして投資を行うことは極めて重要である。		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	中間目標(2021年度) 各テーマについては個別に中間目標を定めている。 (1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発 (2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発 2023年度までの可能な限り早期にトータルコストを20%以上低減(投資回収年数14年以下)させる可能性を実験等で示す。 (3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発 共通基盤技術開発における推定・評価技術、設計ツールについて事業者が設定する開発目標の妥当性を外部有識者にて審議し、妥当であるとの評価を得る。 最終目標(2023年度) 各テーマについては個別に最終目標を定めている。 (1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発 (2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発 本事業では、2030年までに地中熱、太陽熱等の再生可能エネルギー熱のシステム全体のトータルコストを30%以上低減すること(投資回収年数8年以下)を最終的なアウトカム目標とし、再エネ熱の導入に関わる上流から下流までの事業者等を集めたコンソーシアム体制により事業者間の役割分担を最適化しつつ、適切な進捗管理指標の下に各要素(設計、機器、施工等)の技術開発を進める。さらに、トータルコスト低減を達成するために必要な取組みを要素別に具体的に特定し、行動計画としてまとめる。本事業の直接的な成果として2023年度までに再生可能エネルギー熱システムのトータルコストを20%以上低減(投資回収年数14年以下)させるとともに、2030年までにトータルコストを30%以上低減(投資回収年数8年以下)するための道筋及び具体的な取り組み(普及方策)を行動計画としてまとめる。 (3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発 地中熱利用システムの設計時に利用する見かけ熱伝導率(λ)を0.5W/(m・K)以下の間隔で推定可能な評価技術を開発し、その有効性を地質水文環境の異なる3か所以上で検証する。		

	また、簡易 TRT 技術については、試験方法を簡易化し実用レベルに達していることを実証する。さらに、多様な熱負荷条件やオープンループ方式を含む熱源方式に対応した設計ツールを開発する。						
事業の計画内容	主な実施事項	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	
	地中熱利用システムの低コスト化技術開発	技術開発 試作機製作			実証試験 事業化検討		
	太陽熱等利用システムの高度化技術開発	技術開発 試作機製作			実証試験 事業化検討		
	高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発	技術開発 ツール設計・試作			検証試験 実用化検討		
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	総額
	特別会計(需給)	112	471				1,077
	総予算額	112	471				1,077
	(助成) ：負担率 1/2	71	258				602
	(委託)	41	213				475
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課					
	プロジェクトリーダー	—					
開発体制	助成・委託先	<p>(1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 「給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発」 株式会社ワイビーエム 昭和鉄工株式会社 「直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発」 株式会社藤島建設 株式会社ハギ・ボー 中外テクノス株式会社 伊田テクノス株式会社 「ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムの研究開発」 日本地下水開発株式会社 ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 「寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発」 国立大学法人北海道大学 エムズ・インダストリー株式会社 棟晶株式会社 北海道電力株式会社 株式会社イノアック住環境 サンポット株式会社 <p>(2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 「天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発」 鹿島建設株式会社 ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 「温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発」 株式会社総合設備コンサルタント 広沢電機工業株式会社 					

		<p>(3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化」 国立大学法人北海道大学 国立大学法人秋田大学 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ・「オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究」 国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学
情勢変化への対応	2019 年度に実施した調査委託業務「海外における再生可能エネルギー熱利用のロードマップおよび共通基盤技術に係る調査」により情報収集した結果、再生可能エネルギー熱の普及拡大に資する共通基盤技術の重要性を認識し、2020 年度に (3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発を追加し、公募を実施した。	
中間評価結果への対応	—	
評価に関する事項	事前評価	2018 年度実施 担当部 新エネルギー部 2018 年度、2019 年度 NEDO POST 実施
	中間評価	—
	事後評価	—
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発</p> <p>1. 全体の成果(2021 年度末)</p> <p>①地中熱利用システムの低コスト化技術開発 トータルコスト 20%以上低減（投資回収年数 14 年以下）になりうる可能性を実験等で達成見込みである。</p> <p>②太陽熱等利用システムの高度化技術開発 トータルコスト 20%以上低減（投資回収年数 14 年以下）になりうる可能性を実験等で達成見込みである。</p> <p>③高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発 共通基盤技術開発における推定・評価技術、設計ツールについて事業者が設定する開発目標の妥当性を外部有識者にて審議し、妥当であるとの評価を得ることにに関して達成見込みである。</p> <p>2. 個別テーマの成果</p> <p>(1)地中熱利用システムの低コスト化技術開発</p> <p>(1.1)給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発 掘削機の開発に関して、地中熱交換井を一人で施工することを目標に、掘削に係る操作およびデータをオペレータの基に集約するための開発を行った。具体的には、液面レベルセンサー、温度センサー、流量計を取りつけて掘削を行い、各種データのモニタリングが可能かを検証した。 ロッドチェンジャーに関して、セントライザの検討により掘削機械に新規クランプを配置し、作業者が手掛けレンチを使わずに作業できるようにした。</p> <p>(1.2)直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発 小口径ボアホールに関して、硬質地盤には自立孔を前提とした全断面のビットの改良、それ以外の地盤では従来のリング状ビットの改良を行うことで掘削径を従来のものより1サイズ小さくすることが可能となった。 本設鋼管利用工法の開発として、本設鋼管を地中熱交換器として有効利用するため接合金物（キャップ）の試作・試験を行い、評価として一般財団法人日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得した。</p> <p>(1.3)ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発 ZEB 実証施設に関して、562.5 m²の鉄骨 2 階建てで『ZEB』を達成し、ファイブスターのBELS 認証が得られており、ZEB リーディングオーナー登録と ZEB プランナー登録を完了した。 ZEB 実証施設における冷暖房・給湯・無散水融雪の3つの熱源に対応する高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを構築した。専用ヒートポンプのコンプレッサー、地下水を揚水する水中モーターポンプ、および実証施設へ不凍液を介して冷温水を供給するラインポンプは、すべてインバータ制御させることでシステムの高効率化と省電力を実現した。</p> <p>(1.4)寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発 H 型 PC 杭利用地中熱交換器、水平ユニット方式の導入試験を行い、導入技術を確立するとともにコスト削減効果を試算し、地中熱交換器設置コスト削減効果 20%以上の見通しを付けた。 CO₂ 冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機と、地中熱ヒートポンプ暖房機を試作し性能評価試験を行い、それぞれについて出力 6.0 kW、COP4.3 以上の目標値を達成した。</p>	

	<p>(2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発</p> <p>(2.1) 天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発</p> <p>再エネ熱利用システムの最適運転制御技術に関して、外乱、SSHP 運転パラメータを入力値とする AI モデル構築し、これを組み込んだモデル予測制御によりシステム COP 最大となるような SSHP 最適制御手法の概念構築を行った。</p> <p>鹿島西調布実験場で、SSHP 小型実証機の暖房時加熱試験を実施した結果、目標 COP7.0 を達成し、太陽熱における熱編水直接加熱により、システム COP が 20%程度向上することを確認した。</p> <p>SSHP 大府実証機を製作し工場検査を実施した結果、所定の性能目標値 (COP6.0) を達成していることを確認した。</p> <p>(2.2) 温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発</p> <p>温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査、国内外事例の動向調査を開始した。また、分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発、低コスト熱売買制御システムの開発に着手し、本提案システムの熱売買までを含めた導入評価のためのモデル構築を進めている。</p> <p>(3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発</p> <p>(3.1) 見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化</p> <p>水文地質学的・統計学的見かけ熱伝導率の推定手法に関する要素技術として、地質構造解析用地質試料採取 (京都市、オールコアサンプリング深度 100m)、数値 TRT (CFD による数値 TRT を 200 ケース以上)、地盤物性データベースの再構築 (新規ボアホールデータ入手、バリオグラム等再検討)、地形 AI 解析 (10 地域で地下水等高線の簡易予測実施) を実施した。</p> <p>(3.2) オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究</p> <p>LCEM 空調熱源トータルシステムのプロトタイプを作成するとともに、既設システムの井水配管に配管圧力計測装置を設置して、井水配管内における圧力分布を把握した。また、大阪平野を対象として、井戸情報を用いて広域的な透水係数推定手法の検討を行うとともに、地下水還元可能量予測手法の検討を行った。</p> <table border="1" data-bbox="400 1099 1463 1227"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>「査読付き」4 件、「その他」1 件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>「出願済」2 件、「登録」0 件、「実施」0 件</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td>「研究発表・講演」49 件、「新聞・雑誌等への掲載」24 件、「展示会への出展等」5 件</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」4 件、「その他」1 件	特許	「出願済」2 件、「登録」0 件、「実施」0 件	その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」49 件、「新聞・雑誌等への掲載」24 件、「展示会への出展等」5 件
投稿論文	「査読付き」4 件、「その他」1 件						
特許	「出願済」2 件、「登録」0 件、「実施」0 件						
その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」49 件、「新聞・雑誌等への掲載」24 件、「展示会への出展等」5 件						
<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>(1) 実用化と事業化の定義</p> <p>当該事業に係る「実用化」とは、当該事業で開発した再生可能エネルギー熱利用に係る技術 (製品、ポテンシャルマップ、設計ツール、工法、システム全体等) が市場に出る状態までに至った段階 (試作品が完成) を指す。</p> <p>「事業化」とは、再生可能エネルギー熱利用に係る商品、製品、工法、およびそれらを含むシステム等の販売や導入により、企業活動 (売り上げ等) に貢献することを指す。</p> <p>(2) 実用化・事業化の見通し及び取り組み</p> <p>① 地中熱利用システムの低コスト化技術開発</p> <p>② 太陽熱等利用システムの高度化技術開発</p> <p>要素技術を統合したシステムの研究開発やその実証試験によりトータルコスト低減を見込んだ上で、給湯負荷の高い施設や再生可能エネルギー熱が有効な ZEB 建物等を優先的なターゲットとして事業化を計画する予定。</p> <p>また、普及方策として自治体や業界団体が参加する会議を定期的で開催しており、自治体の実行計画等と関連付けた明確な事業化の道筋を議論することで再生可能エネルギー熱利用に関する普及拡大が期待される。</p> <p>③ 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発</p> <p>共通基盤技術の開発により地中熱利用システムの最適設計が可能となり、これに伴う低コスト化、市場拡大が期待される。</p>						
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<table border="1" data-bbox="400 1830 1463 1946"> <tr> <td>作成時期</td> <td>2019 年 2 月 作成</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">変更履歴</td> <td>2019 年 4 月 変更 プロジェクトマネージャーの変更</td> </tr> <tr> <td>2020 年 3 月 変更 研究開発項目の追加</td> </tr> </table>	作成時期	2019 年 2 月 作成	変更履歴	2019 年 4 月 変更 プロジェクトマネージャーの変更	2020 年 3 月 変更 研究開発項目の追加	
作成時期	2019 年 2 月 作成						
変更履歴	2019 年 4 月 変更 プロジェクトマネージャーの変更						
	2020 年 3 月 変更 研究開発項目の追加						

プロジェクト用語集

用語	説明
アキュムレータ	油圧系や空圧系の流体機器に使われる装置の一つで、流体の圧力を利用して仕事に供給する高圧流体を蓄えておく装置。
インバータ	直流電力から交流電力を電氣的に生成する(逆変換する)電源回路、またはその回路を持つ電力変換装置のこと。
エフレックス	「波付硬質ポリエチレン管 (FEP)」。 ケーブルを地中埋設する際の保護管として使用。
オイルセパレータ	オイルを補足するフィルターのようなもので、補足されたオイルはタンクに戻り、再度圧縮に使用される。
オープンループ型地中熱利用システム	揚水した地下水の熱を地表にあるヒートポンプで必要な温度領域の熱に変換するシステム。
オールコアボーリング	地表面から打ち止めに至るまでのコア(地質サンプル)を全て採取する方法
還元井	熱利用した地下水を地中に還元するための井戸
凝縮器	蒸気を冷却して液体にする装置
クローズドループ型地中熱利用システム	地中から熱を取り出すために地中熱交換器内に流体を循環させ、汲み上げた熱をヒートポンプで必要な温度領域の熱に変換するシステム。
コンクリートトラフ	電線ケーブルの敷設に当たり、これを防護するもの。
蒸発器	液体を加熱して蒸気を発生させる装置
スクロール型	一対のうず巻き形をした固定スクロールと可動スクロールとで構成されているもの。
帯水層	礫や砂からなる透水層で、地下水を含んでいる地層。
熱応答試験	地中熱交換井に地中熱交換器を挿入し、実際に熱媒を循環させ、熱媒の温度や地中温度の推移によって地盤の熱特性や熱交換能力を予測する試験。
熱交換器	温度差のある2つの流体間の熱を効率よく移動させる機器
見かけ熱伝導率	地層や岩石の空隙中の水が流動している状態における熱伝導率
セントラライザ	ケーシング外周と坑壁の接触を防止し、オフセット(芯の偏り)を減少する機器。
ヒートポンプ	熱(Heat)を汲み上げる(Pump)の通り、温度の低いところから温度の高いところへ熱を移動させる仕組み。
ビット	削岩機やボーリング機械の先端に取り付ける刃。
標準貫入試験	地盤の硬軟、締まり具合または土層の構成を判別するためのN値を得る試験
ブライン	熱を運搬する役割の冷媒を指す。
フリークーリング	夏期は冷凍機用冷却水の放熱に利用している冷却塔を用いて、中間期・冬期に直接冷水を製造しようとするシステムのことである
ベントナイト	モンモリロナイトという鉱物を主成分とする粘土の名称。清水とベントナイト等を混合しボーリング時の孔壁保護に用いられる。
ボアホール	地下数十～百m掘削された垂直孔の中に何らかの熱交換機構を持たせ採熱する地中熱利用システムの一つ。
ポテンシャルマップ	地中における熱交換の効率を地中熱ポテンシャルと呼び、地域ごとの地中熱ポテンシャルの違いを地図上に図示したものが地中熱ポテンシャルマップ。
水循環	地中と地表とをパイプで結ぶ単純な水循環システム、あるいは地下水をパイプに通し循環させるシステム。
揚水井	地下水などをくみ上げるための井戸
ロッド	ボアホール用等に地中に孔を掘削するための鋼管製の棒状パイプ。ロッドに回転、打撃あるいは振動を与えて掘削する。
APF	通年エネルギー消費効率(Annual Performance Factor)。実際の使用時に近い状態での評価を行うため、あるモデルケースを定め、年間を通じた総合負荷と総消費電力量を算出し、効率を求めた値。
BELS 認証	BELS (ベルス) とは、建築物省エネルギー性能表示制度「Building-Housing Energy-efficiency Labeling System」の略称で、建物における省エネ性能を第三者機関が評価し、認定する制度のこと。

CFD	数値流体力学(Computational Fluid Dynamics)。流体の運動に関する方程式をコンピュータで数値解析し流れを観察する。
COP	成績係数(Coefficient Of Performance)。冷房機器などのエネルギー消費効率の目安として使われる係数。消費電力 1kW あたりの冷却・加熱能力を表した値。
EHP	Electric Heat Pump の略。室外ユニット内の圧縮機を、電気モータで動かすヒートポンプシステムのこと。
GSHP	Ground Source Heat Pump の略。地中熱を熱源とするヒートポンプシステムのこと。
GHP	Gas Heat Pump の略。室外ユニット内の圧縮機を、ガスエンジンで動かすヒートポンプシステムのこと。
GUI	Graphical User Interface の略。コンピュータへ出す命令や指示等を、ユーザが画面上で視覚的に捉えて行動を指定できるもの。
HFC	ハイドロフルオロカーボン。フロン代替物質としてエアコンなどの冷却材などに用いられる。(hydrofluorocarbon)
LCEM	Life Cycle Energy Management の略。ライフサイクルを通して一貫した管理指標、管理目標を定め、共通したツールでその達成度を評価・検証する枠組
N 値	標準貫入試験(JIS A1219)によって求められる地盤の強度等を求める試験結果の数値。標準貫入試験値とも称する。
PC 杭	遠心力プレストレストコンクリート杭の略称。既製杭の一種。
PLC	プログラマブルロジックコントローラ(Programmable Logic Controller)機械装置を制御するもの。
TRT	Thermal Response Test の略。地盤の熱伝導率を求める熱応答試験。
U チューブ	先端を U 字状に接合した主に樹脂製の管。
ZEB	ネット・ゼロ・エネルギー・ビル (Net Zero Energy Building) の略。快適な室内環境を実現しながら、建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建物のこと。
ZEH	ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス (Net Zero Energy House) の略。住まいの断熱性能や省エネ性能を向上し、さらに太陽光発電などで生活に必要なエネルギーをつくり出すことにより、年間の一次消費エネルギー量(空調・給湯・照明・換気)をおおむねゼロ以下にする住宅のこと。

I.事業の位置付け・必要性について

I.1 事業の背景・目的・位置付け

I.1.1 事業の背景

2018年7月3日に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」においては、“多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造”の実現を目指し、再生可能エネルギー熱をより効果的に活用していくことも、エネルギー需給構造をより効率化する上で効果的な取組とされている。

I.1.2 事業の目的、意義

再生可能エネルギー熱の課題として設備導入コストが高いこと、認知度が低いこと、熱エネルギーの供給を担う人材が十分に育っていないこと等があり、これらの要因により、再生可能エネルギーの熱としての活用は、そのポテンシャルに比べて十分に進んでいない状況である。

本事業では、コストダウンに資する高効率機器の開発や、蓄熱や複数熱源を組み合わせたシステムの実用化技術の確立、共通基盤技術（見かけ熱伝導率の推定・評価技術、設計ツール等）の開発、並びに、ZEB 等への適用を視野に評価及び定量化技術の高機能化の研究開発に取り組み、低炭素社会、更には脱炭素社会の実現に資する再生可能エネルギー熱利用の普及拡大を目指す。

I.1.3 事業の位置付け

「エネルギー基本計画」の中で、我が国のエネルギー消費の現状においては、熱利用を中心とした非電力での用途が過半数を占めており、エネルギー利用効率を高めるためには、熱をより効果的に利用することが重要であり、そのための取組を強化することが必要であると位置付けられている。再生可能エネルギー熱については、コスト低減に資する取組を進めることで、コスト面でもバランスのとれた分散型エネルギーとして重要な役割を果たす可能性があるとして位置付けられている。

I.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性

I.2.1 NEDO が関与することの意義

再生可能エネルギー熱利用技術は、熱を直接利用するため、エネルギー供給の多様化を実現し、エネルギーセキュリティ確保に大きく寄与することが可能である。2018年7月に閣議決定した「第5次エネルギー基本計画」においては、“多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造”の実現を目指し、再生可能エネルギー熱については、より効果的に活用していくことで、エネルギー需給構造をより効率化する上で効果的な取組と期待されている。

しかしながら、再生可能エネルギーの熱利用を考えた場合、課題も多く、一般に、熱利用技術は、既存技術より導入コストが依然として高いこと、認知度が低く、熱エネルギーの供給を担う事業者が十分に育っていないこと等がある。そこで、NEDO では、「再生可能エネルギー熱利用技術開発」

(2014～2018 年度)において、地中熱利用技術および各種再生可能エネルギー熱の利用について、蓄熱利用等を含むシステムの高効率化・規格化、評価技術の高精度化等に取り組み、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に向けトータルコストの低減を進めてきた。

再生可能エネルギー熱利用システムの導入には多種多様なプレーヤーが関わることから、本事業では、上流から下流までのプレーヤーが一体となったコンソーシアム体制で推進し、ニーズ・実用化に重点を置いた研究開発を推進するとともに、業界団体やユーザーとも連携し開発成果の普及方策に取り組む。また、高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発については、高度な知識を要するため大学・研究機関を中心とした体制で実施し、規格化に資することを想定し業界団体等と連携する。

再生可能エネルギー熱の自立的な市場の形成には、更なるコストダウンが求められており、本事業において提案する“再生可能エネルギー熱利用技術”に NEDO として投資を行うことは極めて重要である。

(1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発について

大規模建築物、小規模建築物等、それぞれの建築物に導入することを想定した、我が国の利用に適合した高効率機器の開発、施工期間短縮に資する施工技術の開発、地中熱利用システムの最適化技術の開発、評価・定量化技術の高機能化開発等に取り組み、地中熱利用システムのトータルコスト低減に資する技術を開発する必要がある、NEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

(2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発について

高効率機器の開発や、年間を通じた太陽エネルギーの最大限の活用に資する太陽熱利用機器の開発、評価・定量化技術の高機能化開発、再生可能エネルギー熱を含む多様な熱源を組み合わせたシステムの最適化技術開発等に取り組み、太陽熱等利用システムのトータルコスト低減に資する技術を開発する必要がある、NEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

(3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発について

地中熱利用システムの導入拡大に資するシステム設計の最適化に必要な見かけ熱伝導率の推定・評価技術、簡易TRT（熱応答試験）技術、設計ツールを共通基盤技術として開発し規格化を行う必要がある、NEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

1.2.2 実施の効果

- ・省人化による掘削コストの低減、設計の最適化、ヒートポンプシステムの技術開発等によるトータルコスト低減により市場拡大や認知度向上が見込まれる。
- ・システム全体としてZEB等の実建物への導入および実証により着実な成果が期待できる。
- ・コンソーシアム体制による技術開発により事業終了後の早急な社会実装が期待される。
- ・共通基盤技術の研究開発により地中熱利用システムの最適設計が可能となり、システム全体のトータルコスト低下に繋がり普及拡大が期待される。
- ・統合型設計ツールの活用により地中熱利用システムの適用範囲が広がり、地中熱利用の拡大が期待される。また、ツールの普及により人材育成が見込まれる。

II. 研究開発マネジメントについて

II.1 事業の目標

NEDO では、「再生可能エネルギー熱利用技術開発」事業（2014～2018年度）において、地中熱利用技術及び各種再生可能エネルギー熱の利用について、蓄熱利用等を含むシステムの高効率化、評価技術の高精度化等に取り組み、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に向けトータルコストの低減を進めてきた。

そこで、本事業では、低炭素社会、更には脱炭素社会の実現に資する再生可能エネルギー熱利用の普及拡大を目指す。具体的には、地域偏在性がなく安定した再生可能エネルギー熱源として地中熱、太陽熱等について、コストダウンに資する高効率機器の開発や、蓄熱や複数熱源を組み合わせたシステムの実用化技術の確立、共通基盤技術（見かけ熱伝導率の推定・評価技術、設計ツール等）の開発、並びに、評価及び定量化技術の高機能化をZEB 等への適用も視野において実現する。またNEDO、業界団体、研究開発実施者等で連携し、テーマ横断的に技術基準や評価技術の整備等の成果の普及方策に取り組む。下記目標を達成するため、プロジェクト毎に適正な目標を設定し、技術開発を推進している。

[助成事業（助成率：1/2）]

2030 年までに地中熱、太陽熱等の再生可能エネルギー熱のシステム全体のトータルコストを30%以上低減すること（投資回収年数8 年以下）を最終的なアウトカム目標とし、再エネ熱の導入に関わる上流から下流までの事業者等を集めたコンソーシアム体制により事業者間の役割分担を最適化しつつ、適切な進捗管理指標の下に各要素（設計、機器、施工等）の技術開発を進める。さらに、トータルコスト低減を達成するために必要な取組みを要素別に具体的に特定し、行動計画としてまとめる。本事業の直接的な成果として2023 年度までに再生可能エネルギー熱システムのトータルコストを20%以上低減（投資回収年数14 年以下）させるとともに、2030 年までにトータルコストを30%以上低減（投資回収年数8 年以下）するための道筋及び具体的取組み（普及方策）を行動計画としてまとめる。

(1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発

大規模建築物、小規模建築物等、それぞれの建築物に導入することを想定した、我が国の利用に適合した高効率機器の開発、施工期間短縮に資する施工技術の開発、地中熱利用システムの最適化技術の開発、評価・定量化技術の高機能化開発等に取り組み、地中熱利用システムのトータルシステム低減に資する技術を開発する。

(2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発

高効率機器の開発や、年間を通じた太陽エネルギーの最大限の活用に資する太陽熱利用機器の開発、評価・定量化技術の高機能化開発、再生可能エネルギー熱を含む多様な熱源を組み合わせたシステムの最適化技術開発等に取り組み、太陽熱等利用システムのトータルシステム低減に資する技術を開発する。

[委託事業]

地中熱利用システムの設計時に利用する見かけ熱伝導率(λ)を0.5 W/(m・K)以下の間隔で推定可能な評価技術を開発し、その有効性を地質水文環境の異なる3か所以上で検証する。また、簡易TRT 技術については、試験方法を簡易化し実用レベルに達していることを実証する。さらに、多様な熱負荷条件やオープンループ方式を含む熱源方式に対応した設計ツールを開発する。

(3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

地中熱利用システムの導入拡大に資するシステム設計の最適化に必要な見かけ熱伝導率の推定・評価技術、簡易TRT（熱応答試験）技術、設計ツールを共通基盤技術として開発し規格化を目指す。

II.2 事業の計画内容

II.2.1 研究開発の内容

II.2.1.1 事業全体の研究開発の内容

本事業は、2019年度から2023年度まで5年間を期間とし、自立的な再生可能エネルギー熱利用の普及に重点を置き、テーマ毎に上流から下流までのプレーヤーからなるコンソーシアムを基本とした体制で、企業の積極的な関与により要素技術開発から実用化開発及びその成果の普及方策の策定まで一貫した事業であり、助成事業（NEDO負担率：1/2）として実施する。また、高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発については、高度な知識を要するため大学・研究機関を中心とした体制で実施し、規格化に資することを想定し業界団体等と連携する事業であり、委託事業として実施する。

(1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発

[助成（NEDO負担率：1/2）]

- (i) 給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発
- (ii) 直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発
- (iii) ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムの研究開発
- (iv) 寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発

(2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発

[助成（NEDO負担率：1/2）]

- (i) 天空熱源ヒートポンプ（SSHP）システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発
- (ii) 温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発

(3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

[委託（NEDO負担率：1/1）]

- (i) 見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化
- (ii) オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究

II.2.1.2 研究開発テーマ毎の研究開発の内容

(1)地中熱利用システムの低コスト化技術開発

(1.1)給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発

(1.1.1)背景と目的

再生可能エネルギー熱の一つである地中熱利用ヒートポンプシステムは、エネルギー削減、CO₂削減に寄与するシステムであるが、導入コストが高い、認知度が低い、事業者が十分に育っていないことから、依然として導入が進んでいないシステムである。しかしながら、2018年に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」に「多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造」の実現を目指す意向が示されており、エネルギー需給構造を効率化する上で期待される取り組みである。また、昨今のエネルギー消費の推移をみると産業用部門は減少しているものの民生用(家庭用+業務用)部門は増加傾向にある。業務用部門におけるエネルギー消費量のうち空調用負荷が30%以上を占めており給湯負荷も19%を占めている。家庭用給湯ではZEHの普及拡大もあって家庭用自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯器の普及が目覚ましいが業務用自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機の普及は東日本震災以降、縮小傾向にある。

一方、2010年に閣議決定された「エネルギー基本計画」では2020年までに新築公共建築物等で2030年までに新築建築物等でZEB化の実現を計るとしている。また、2016年のモントリオール議定書第28回締約国会議においての本議定書の改正でHFCの生産・消費量削減スケジュールも提出され地球温暖化防止に向けた一層の取り組みが必要となる中、自然冷媒CO₂を使用したヒートポンプの普及も急がれる。

しかしながら現状は、水熱源業務用CO₂ヒートポンプ給湯機はメーカーが1社しかなく業務用給湯機としては水熱交換器の設計であるため地中熱の温度域での最適設計がなされていない。そのため、地中熱利用システムに組み込んだ場合、熱吸収が十分でなく、定格出力規模も大きく、高価なため普及が進んでいない。他方、空気熱源の業務用自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機の普及阻害要因としては、冷媒にCO₂を使用しているため、使用冷媒圧力が高圧で使用部品が高価となり、深夜蓄熱を利用するため蓄熱タンク容量も大きくなり製品価格が高価となっている。また、空気熱源自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機の弱点として給湯給水温度が低くなり給湯負荷が増える冬季は、外気温度が低下すると給湯定格出力が低下することに加え、空気条件次第では蒸発熱交換器への霜付きによる除霜の影響もあって定格出力低下と年間加熱COPが低下する。そのため、給湯負荷に対して定格出力が大きめの機器選定となり、蓄熱タンク容量も過大となるため、益々イニシャルコストが掛かる悪循環となっている。

一方、地中熱(水熱源)業務用自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機は霜付きによる除霜運転がないため、蓄熱タンクを小さくすることが可能で、開発を進めることで、地中熱利用システムの普及が進むと考えられる。また、従来、地中熱利用は空調用途が大部分を占めていたが、再生可能エネルギー熱利用普及拡大と給湯負荷への熱利用拡大に向け、地中熱業務用自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機の技術開発を行う必要があると考えられる。

ただし、給湯のみを地中熱で賄うと、地下の熱バランスが崩れ、永続的に使うことが出来ないと考える。そこで、給湯、冷暖房負荷のバランスを取ることを目的に、従来の空気熱源ヒートポンプなどで補うシステムを組む必要がある。このシステムを組むことにより、給湯需要を含む施設への地中熱利用ヒートポンプシステムの普及が進むと考えられる。

また、トータルコスト削減のために、掘削システムの開発、TRTの開発、地中熱交換器の開発を行うことで、エンドユーザーに対するコストも削減できると考えられる。それにより、地中熱のマーケット拡大への一助になると期待できる。

(1.1.2)研究開発の概要

研究開発目標を達成するために、以下①～⑥の開発項目を上げて研究開発を行う。

①掘削機の開発

本開発では、地中熱交換井を1人で施工することを目標に開発を行う。掘削を一人で行うためには、掘削に関わる操作およびデータをオペレータの基に集約する必要がある。そのため、無線リモコン・モニタリング装置が付いた掘削機を開発する。

②掘削機周辺機器の開発

本開発では、地中熱交換井を1人で施工することを目標に二重管ロッドのロッドチェンジャー

と地中熱交換器の挿入機の開発を行う。

③地中熱自然冷媒 (CO₂) ヒートポンプ給湯機の開発

空気熱源CO₂ヒートポンプ給湯機をベースに地中熱 CO₂ヒートポンプ給湯機を開発する。地中熱利用に適したガスクーラーや蒸発熱交換器、電子膨張弁の設計及び制御設計プログラムの開発などを行う。

④地中熱交換器の開発

掘削径φ165mmの坑井に設置可能な同軸型地中熱交換器の開発を行う。シミュレーションで最適なサイズ、流量を検討し、フィールドに設置して試験を行う。

⑤新規TRTの開発

全自動動的コーン貫入試験機(CRS)にて動的コーン貫入調査を実施した後の直径40mm程度の穴を用いて、TRTを行う方法を開発する。「鉄管や銅管などで製作した地中熱交換器を用いるTRT」、「電気ヒーター付ケーブルを挿入したTRT」の2種類を検討し、実証試験を行う。

⑥最適な地中熱システムの開発

本開発では、「地中熱交換井離隔距離の検討」と「最適な地中熱システムの導入検討」2項目の研究開発を行う。

⑥-A地中熱交換井離隔距離の検討

「地中熱交換井離隔距離の検討」では、従来常識とされていた地中熱交換井の4～5mの離隔距離を地層、地下との熱交換量に応じた離隔距離を検討する。具体的には、地下の温度変化の許容範囲を文献などで調査し、その後、既設の地中熱交換井の近くに調査井を掘削し、地下温度を計測する。その結果を基に、シミュレーションで再現した後に、熱負荷、地質に応じた地中熱交換井の離隔距離を検討する。

⑥-B最適な地中熱システムの導入検討

「最適な地中熱システムの導入検討」では、開発した地中熱自然冷媒 (CO₂) ヒートポンプ給湯機を用いた地中熱システムを検討する。本システムは地中熱自然冷媒 (CO₂) ヒートポンプ給湯機、太陽熱温水パネル、同軸型地中熱交換器、地中熱ヒートポンプ、制御ユニットなどで構成される。

表 II (1.1)-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標(2021年度末)	最終目標(2023年度末)	目標レベル設定の根拠
①掘削機の開発	一人で地中熱交換井を施工する用途を付ける。	一人で地中熱交換井を施工する。	2023年度に掘削にて従来比、46%の削減をするため。
②掘削機周辺機器の開発	一人で地中熱交換井を施工する用途を付ける。	一人で地中熱交換井を施工する。	2023年度に掘削にて従来比、46%の削減をするため。
③地中熱自然冷媒(CO ₂)ヒートポンプ給湯機の開発	空気熱源CO ₂ ヒートポンプ給湯機に比べてインシヤルコストが15%削減する用途を付ける。	空気熱源CO ₂ ヒートポンプ給湯機に比べてインシヤルコストが15%削減する。	2023年度に地中熱自然冷媒(CO ₂)ヒートポンプ給湯機にて従来比、46%の削減をするため。
④地中熱交換器の開発	従来の地中熱交換器(Uチューブ)に比べて、設置費用が33%削減する用途を付ける。	従来の地中熱交換器(Uチューブ)に比べて、設置費用が33%削減する。	2023年度に従来比で、掘削にて46%、地中熱交換器33%の削減をするため。
⑤新規TRTの開発	従来のTRTの解析結果と同様に、地中熱施設的设计で使えるようにする用途を付ける。	従来のTRTの解析結果と同様に、地中熱施設的设计で使える用途をつける。	従来の基準と比較して、使用できるレベルにするためには、多数の試験結果が必要であるため。
⑥最適な地中熱システムの開発	従来の地中熱ヒートポンプシステムを給湯需要がある福祉施設(2,000m ²)へ導入する場合に比べて、インシヤルコストを23%削減する用途を付ける。	従来の地中熱ヒートポンプシステムを給湯需要がある福祉施設(2,000m ²)へ導入する場合に比べて、インシヤルコストを23%削減する。	①～⑥の開発を進めることで、削減されると考えらえるため。

(1.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、2019年7月30日より2022年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(1.1)-1に示す。

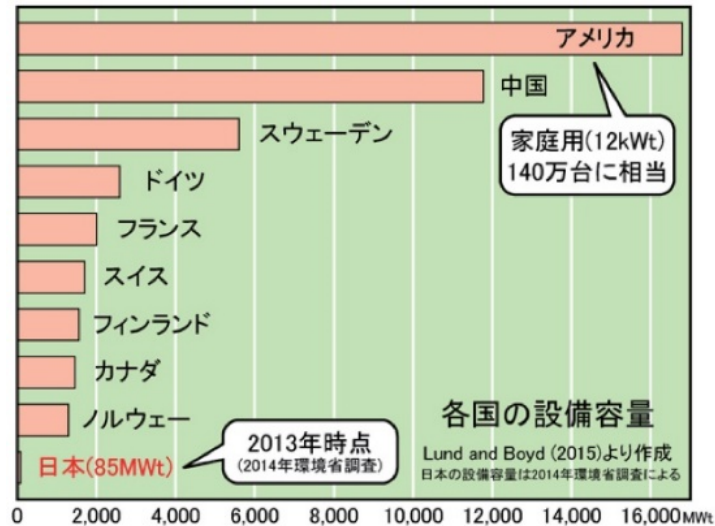
事業項目	2019年度				2020年度				2021年度				2022年度(予定)				2023年度(予定)				
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
①掘削機の開発																					
	2021年度開発完了予定																				
②掘削機周辺機器の開発																					
												検討	製作・試験								
③地中熱自然冷媒(CO2)ヒートポンプ給湯機の開発																					
	2021年度量産プロトモデル試作開発完了												実用化に向けた量産機の試作試験								
④地中熱交換器の研究開発																					
												実証試験	実証試験・試験解析								
⑤新規TRTの開発																					
												実証試験	実証試験・試験解析								
⑥最適な地中熱システムの開発																					
												シミュレーション・検討	シミュレーション・システム検討								

図Ⅱ(1.1)-1 研究開発スケジュール

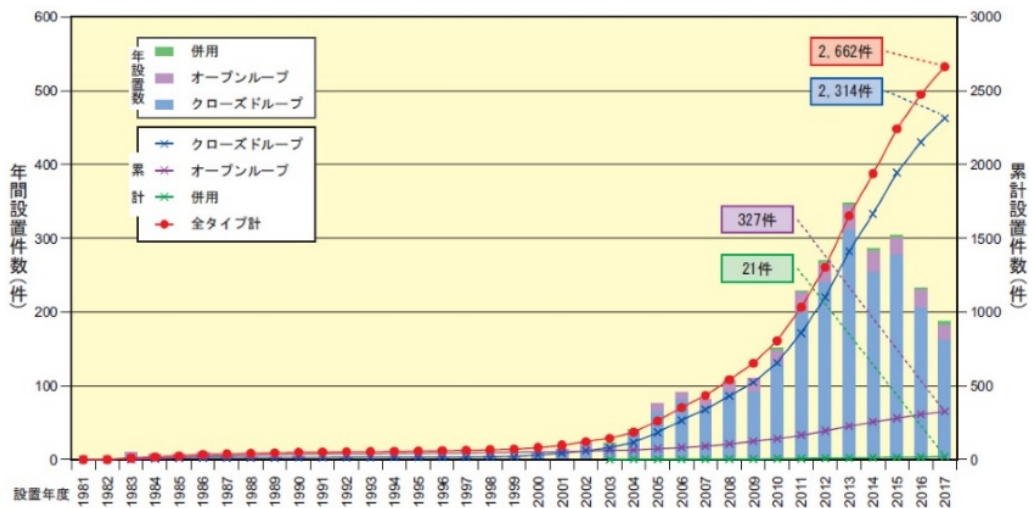
(1.2)直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発

(1.2.1)背景と目的

地中熱ヒートポンプシステムは、再生可能エネルギー熱を活用することで、エネルギーの地産地消を進めることや、地中熱を熱源とすることで省エネルギー性能が高く、地球温暖化抑制の効果が高いことで注目され、海外では高い導入実績（下図）があり、アメリカでは16,000MWt以上、中国でも12,000MWt近くまでの導入実績がある。しかし、日本における導入実績は85MWtにとどまっている。また、この導入実績は地中熱先進国と言われる欧米各国の設備容量の1/20にも及ばず、人口当たりの普及率では、1/70程度にとどまっている。



図Ⅱ (1.2)-1 各国設備容量 (2016年 Lund AND Boyd)



図Ⅱ (1.2)-2 国内設置件数 (2018年環境省)

本事業の目的は地中熱を活用することで、国内でのCO₂の排出量を削減することやエネルギーの地産地消を促進することにある。しかし、最近の技術開発にもかかわらず、国内での設置件数は2014年以降減少の傾向にあり、伸び悩んでいるのが現状である。既存の地中熱ヒートポンプシステム（間接式）での技術開発の可能性が減少してきているのではないかとも思われる。

我々は既存のシステムに比較し機構が単純なことで、高効率な運転が可能な上、安価なコストで設置が可能な直接膨張式地中熱ヒートポンプシステム（直膨式）を開発し、これまでにその所期の性能を確認することで直膨式地中熱ヒートポンプシステムの有効性を確認した。

本事業においては、直膨式システムのインシヤルコストおよびランニングコストのこれまで以上の削減技術を開発することで、直膨式地中熱ヒートポンプシステムの普及を推し進め、もって地中熱利用の普及拡大によりCO₂排出量削減を目指す。

(1.2.2)研究開発の概要

本事業では、地中熱交換器に冷媒を直接循環することで、冷媒と地中熱を直接交換できるよう開発した直接膨張式（直膨式）地中熱ヒートポンプシステムを用いて、このシステムの施工・設置及び運転に係るコストの削減技術を開発する。

この直接膨張方式による地中熱ヒートポンプシステムはこれまでの一般的な地中熱ヒートポンプシステム（間接式）と比較し、多くの優位性を有している。以下に直膨式地中熱ヒートポンプシステムの長所を列挙する。

- ・「ブラインー冷媒熱交換器」、「ブライン循環ポンプ等」が不要で製造コストが削減できる。
- ・「ブラインー冷媒熱交換器等」が不要で熱交換のロスが少なくなる。
- ・「ブライン循環ポンプ」が不要で消費電力が削減できる。
- ・冷媒の「凝縮・蒸発過程」が地中の熱交換器内で行われるため、地中での熱交換効率が高く地中熱交換器の埋設深を浅くすることが可能になることで、「熱交換器埋設」のための掘削コストを圧縮することができる。
- ・地中熱交換器を構成する銅管は細径であるため、地中熱交換器としての仕上がりも細く、この熱交換器を挿入するボアホールや銅管は小口径でも済むため、挿入孔設置コストが少なく済む。

以上のような特長を有する直膨式地中熱ヒートポンプシステムではあるが、未だ多くの課題も有している。

ヒートポンプユニット本体では既製品の改造から、部品供給による製造へ向けての開発を行う。直接膨張式地中熱交換器本体では、空調用地中熱交換器の見直しや給湯専用ヒートポンプ地中熱交換器の開発を行う。

地中熱交換器とこれを挿入する孔で構成される採熱部では、地中熱交換器挿入用ボアホール掘削機・工法の開発や本設鋼管杭利用工法の開発およびそれぞれの施工法に最適な施工技術の開発や地上部施工法の開発を行う。

設計・評価ツールの開発では、直接膨張型地中熱交換器の解析をもとに設計法の確立を目指す。また、これまでに蓄積された地中熱情報を元に地中熱交換器の仕様を決められる地中熱ポテンシャルマップの作製を目指す。

事業終了時点（2023年）では現状のイニシャルコストの20%減（投資回収年数14年以下）、その後の2030年には現状のイニシャルコストの30%減（投資回収年数8年以下）を目指し、エアコン市場に地中熱エアコンの市場を開拓することを目指す。

以上、これらの課題を解決することで直膨式地中熱ヒートポンプシステムの更なるコストダウンについては地中熱（再生可能エネルギー熱）の普及拡大に繋がると考えられる。以下、課題ごとに実施内容について記す。

<低コスト機器の開発>

①地中熱ヒートポンプの開発（担当：株式会社ハギ・ポー、株式会社トーレイ）

これまでの直膨式地中熱ヒートポンプシステムのユニット本体の製造は、既存の空冷式ヒートポンプユニットの改造で進めてきた。今後、量産によるコストダウンを目指し、改造による生産体制から部品供給による生産体制へ移行すべく、プロトタイプを製造し、性能の検証と品質確保について検討を進める。

給湯用ヒートポンプユニットでは空調に比較し制御も単純な（1サイクルでの給湯動作の中で給水温度に大幅な変動が少ない。）ことから、これまでの直膨式と比較し、より高効率な専用ユニットの開発、および中規模施設など産業利用型ヒートポンプ給湯機の市場投入を意識した連台運転が可能な制御法も開発し検証する。

今後の部品供給体制の構築や販売体制の確立、維持メンテナンス体制の整備・展開については試作品の評価完了（2021年頃）を目途にコンソーシアムとして協議を進め、方針を決定する。

②地中熱交換器の開発（担当：株式会社ハギ・ポー、株式会社トーレイ）

直接膨張式の地中熱交換器は凝縮時と蒸発時では冷媒の流れが逆になる。従って、直膨式地中熱ヒートポンプエアコンの地中熱交換器では冷房時と暖房時で冷媒の流れ方向が逆転する。そのため、熱交換器内での気相/液相変換点がどのように変化するかを考慮する必要があり、3次元

数値解析による冷媒情報も検討した上で最適な空調用地下熱交換器の仕様を検討し開発に繋げる。一方、給湯用の熱交換器は蒸発器に特化した構造とすることでこれまで実験してきた熱交換器（空調用と兼用）に比較し更なる効率の向上が望める。地下熱交換器に施工する断熱材の材質や施工箇所などの最適化を進める。

<低コスト施工法の開発>

③掘削先端工具・工法の開発（担当：株式会社ハギ・ボー）

直接膨張式地下熱交換器は浅層で小口径（80A以下）のボアホールで設置が可能となる。そのような小口径ボアホール掘削に適合する切削ビット・工具の開発と工期を短縮する施工法等の開発を行う。

④ボアホール型施工方法の改良・開発（担当：株式会社ハギ・ボー）

小口径のビットを使用した掘削工法に適する地上配管方の標準化を進める。

⑤本設鋼管杭利用工法の開発（担当：伊田テクノス株式会社、富士商事株式会社、株式会社藤島建設）

直接膨張式地下熱交換器を地中に埋設した鋼管に挿入する鋼管埋設型の採熱管に使用する鋼管は、建築物を支持する杭（構造用鋼管）とは別途に施工する必要があり、採熱管設置コストを押し上げる要因の一つとなっていた。

構造用の杭を熱交換器挿入用鋼管として流用できることはコスト削減に大きな効果をもたらす。構造用の杭の特性を妨げずに地下熱交換器を挿入できるキャップ等の開発を目指す。

⑥鋼管埋設型施工方法の改良・開発（株式会社藤島建設、国立大学法人山梨大学）

鋼管埋設型の地下熱交換器は地上部の配管が比較的長くなるため、最適化が必要である。さらに硬質地盤でのコストを抑制する施工法の検討を進める。

<低コスト設計法の開発>

⑦設計コードの開発（中外テクノス株式会社、国立大学法人山梨大学、株式会社藤島建設）

直膨式地下熱ヒートポンプシステムの最適設計法の確立について、設計開発コードの作成を目指す。ヒートポンプ出力や冷媒の特性および地中情報を入力値として、地下熱交換器の形状や本数などの設計値を出力できる解析手法を構築する。

⑧直膨式専用地中熱ポテンシャルマップの構築（株式会社ハギ・ボー、国立大学法人山梨大学）

地下熱ポテンシャルマップの作成ではこれまでに蓄積された地盤情報を地下熱情報として整理し直膨式地下熱ヒートポンプの出力から基準となる直膨式地下熱交換器の仕様を決められる設計手法を構築する。

表Ⅱ(1.2)-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	最終目標(2021年度末)	目標レベル設定の根拠
＜低コスト機器の開発＞		
① 地中熱ヒートポンプの開発	空冷型 HPU (ヒートポンプユニット) の改造(解体と廃棄)から地中熱 HPU を新規に製造する体制へ移行することで、無駄のない製造体制を確立し、大きなコスト低減(15%程度)が可能になると考えている。	直膨式地中熱 HPU は通常の空冷式エアコンと構造がほとんど変わらず、通常のエアコン部品の活用や製造ラインの活用が可能であり、比較的大きなコストダウンが望める。 今後メーカーとのタイアップを模索する。
② 地中熱交換器の開発	実証により性能の確認を行うと共に施工技術の習熟と改良を進め、20%程度のコスト低減を目指す。	小口径化型は直膨式地中熱交換器の本体が細い銅管を使用しているため、掘削技術の改良により可能と考える。 総長さについては、設計モードの開発などの技術開発を活用する。
＜低コスト施工法の開発＞		
③ 掘削先端工具・工法の開発	小口径ボアホールを見越した刃先の開発と従来型刃先の改良によりボアホール構築の全体のコストの引き下げを図る。	システム全体で掘削の占めるコストは大きく、掘削口径を小さくできることは施工ボリュームと施工速度の両方からコスト低減を可能とする。
④ ボアホール型施工方法の改良・開発	主に横引き配管工事の規格化を図り施工品質の向上と低コストを達成する。	冷媒配管の物理的強度を補いながら、標準施工方法の必要性を重視した。
⑤ 本設鋼管杭利用工法の開発	本設鋼管利用工法を開発し本設鋼管を熱交換器として有効利用する構工法の技術証明を取得し、掘削・設置費の25%を低減する。	構造用の杭を熱交換器挿入用鋼管として流用できることは地中熱交換器の設置コストを大幅に削減する可能性が大きく、掘削・設置費の25%以上の低減を実現する。
⑥ 鋼管埋設型施工方法の改良・開発	施工法の標準化により地中熱交換器の組立てが誰でも施工できることを目指し、直膨式地中熱システムの展開を促進しコストダウンにつなげる。	地中熱交換器の組立ては一般的なエアコン施工業者であれば難しい技術ではないため、マニュアル化による展開が可能。
＜低コスト設計法の開発＞		
⑦ 設計コードの開発	試験データ、実証データを用いて計算精度を検証し改善することで設計コードの実用化を図る。	直膨式地中熱交換器の設計ツールは既存せず設計手法の確立が必要である。
⑧ 直膨式専用地中熱ポテンシャルマップの構築	直膨式専用の地中熱データベースの活用により、精度の高い設計が短時間で可能となり設計コストの低減に効果が望める。	ボーリングデータは浅層の地層状況が詳細に記録されているため、地質ごとの熱データを活用することで、直膨用 HPU 用の地中熱データベースとして十分に活用できる。

(1.2.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、2019年7月30日より2022年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(1.2)-3に示す。

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
①地中熱HPUの開発			考案・設計・試作・試験・評価				設計・試作・試験					まとめ
②地中熱交換器の開発			情報収集				考案・設計・試作・試験					まとめ
③掘削ビット・工法の開発			考案・設計・試作・試験・評価・検討						実地対応			まとめ
④ボアホール型施工法開発				仕様検討・評価・設計						実地対応		まとめ
⑤本設杭利用工法の開発			考案・設計・試作・試験				まとめ				実地対応	
⑥鋼管埋設型施工法の開発				情報収集						仕様検討		まとめ
⑦設計コードの開発			既存データのシミュレーション						設計コードの開発			まとめ
⑧直膨式ポテンシャルマップ				情報収集・データ化							評価	まとめ

図Ⅱ(1.2)-3 研究開発スケジュール

(1.3)ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発

(1.3.1)背景と目的

日本国内における業務他部門で、エネルギー消費量に占める熱需要割合は冷暖房空調と給湯が43%を占めている。一方、エネルギー源は、電気が約半分を占めるほか、石油やガス・石炭といった化石エネルギーが40%以上を占めており、再生可能エネルギーの割合は極めて少ないのが現状である。

2016年発効のパリ協定以降、日本では、その目標達成に向けて地球温暖化対策を加速する必要性が生じており、その方策としてZEBが注目されている。ZEBは建物のエネルギー消費量を見直した上で、化石エネルギーに代えて再生可能エネルギーを使用することで正味一年間を通じてゼロエネルギーを実現させるものである。経済産業省が作成したロードマップでは2030年度までに新築建築物の施工数の平均値でZEBを実現することを目標としている。

本研究開発では、2014年度～2018年度のNEDO事業「再生可能エネルギー熱利用技術開発」で実用化に至った高効率帯水層蓄熱システムを利活用して、建物の冷暖房と給湯の熱需要に無散水融雪施設を加えた3つの熱需要に対し、1つのシステムで対応できるトータル熱供給システムを開発して建物のエネルギー消費量を大幅削減し、建物のZEB化に有効であることを実証する。これまで建物の熱需要を賅ってきた化石エネルギーを含めた複数以上のエネルギー源を、高効率帯水層蓄熱を活かした地下水熱エネルギーに統一することによって、建物の熱需要に対するエネルギー消費量を大幅削減させてトータルコストの低減を実現するものである。

本研究開発で、高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムが建物のZEB化に極めて効果的であることを実証することにより、今後、経済産業省の示したロードマップに従って普及が加速される見込みのZEBに本システムを広く普及させることが目的である。

(1.3.2)研究開発の概要

日本地下水開発株式会社は、2014年度～2018年度のNEDO事業「再生可能エネルギー熱利用技術開発」において、国立大学法人秋田大学及び国立研究開発法人産業技術総合研究所の3事業者でチーム東北を構成し、再委託先であるゼネラルヒートポンプ工業株式会社と中外テクノス株式会社を加えて「高効率帯水層蓄熱システム」の開発に取り組んだ。その結果、従来型オープンループ冷暖房システムと比較して、イニシャルコストで21%のコストダウン、ランニングコストで31%のコストダウンを実現することができた。ただし、このコストダウンの達成値は、この事業で開発した井戸設置技術を駆使し、地下水と冷媒が直接熱交換する専用ヒートポンプを開発するなど、現時点ではまだ一般的な工法や市場価格となっているとは言えない状態である。このため、設定する目標コストは、現時点の一般的な井戸設置工法やヒートポンプを使用した場合の市場価格を使用して算定した。

本研究開発における比較対象は、一般的な仕様で同規模（562.5 m²）の事務所建物を想定し、冷暖房には従来型オープンループ冷暖房システム（揚水井1本と注入井1本を使用）、事務所内計4箇所で業務用ガス湯沸かし器による給湯を行うほか、面積約70 m²の駐車場には冷暖房システムとは別に設置した井戸1本を使用した無散水融雪システムが導入されているものとした。

本研究開発では、ZEB建物を対象とし、従来型建物では用途によって異なる3つの熱源を1つに統一することにより、イニシャルコストの大幅低減を実現することを目標としている。熱源を統一することにより、2023年のイニシャルコストの低減目標は21%を想定し、2030年の目標としては30%までの低減を目標とする。ランニングコストに関しては、開発する冷暖房給湯対応型専用ヒートポンプとインバーター制御を中心とした高効率稼働により2023年度の目標値で20%低減を見込み、2030年度までには30%低減を目標とする。

ZEBは、建物の断熱性能等により従来型建物と比較して冷暖房負荷を半減させることが可能である。また、高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを導入して高効率稼働することによりイニシャルコストとランニングコストを低減するほか、本研究開発で取り組む井戸メンテナンス方法の低コスト実用化を加えることによりトータルコストの30%以上低減を達成する見込みである。

ゼネラルヒートポンプ工業株式会社は、高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの研究開発に取り組み、給湯と冷暖房両方に対応可能で部分負荷特性が高いという特長を有する高効率ヒートポンプを完成させる。本研究開発では、ZEBにおいて冷暖房稼

働時には稼働時間の大部分を占めると考えられる部分負荷時でも高効率を維持できる制御方法を確立すると共に、本方式専用ヒートポンプの商品化を進め、日本地下水開発株式会社と連携して積雪寒冷地域を中心に ZEB の普及に合わせて展開・普及を図る。高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを組み込んだ ZEB の普及促進により、本方式専用ヒートポンプの量産化を進め、2030 年までに専用ヒートポンプの低コスト化を実現するものとする。

表 II (1.3)-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標 (2021 年度末)	最終目標 (2023 年度末)	目標レベル設定の根拠
ZEB 実証建物	ZEB 実証建物の完成	ZEB 適応性の検証	
(1)高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発 1)ZEB 実証建物と本システムの適応性評価 2)システム構築とモニタリング 3)フリークーリングによる冷房高効率化 4)給湯システムの高効率化 5)井戸洗浄方法の開発 6)システムの技術評価手法確立	1)ZEB 建物と本システム構築完了させて適応性評価を開始 2)モニタリングと観測データ集積 3)フリークーリングの実施と効果検証開始 4)給湯システム稼働・チェック・改良 5)システム稼働時に井戸洗浄実施 6)ZEB 適応性検証着手	1)データに基づく適応性評価の完了 2)トータル熱供給システム稼働データから最適稼働設定確立 3)フリークーリングの最適稼働設定確立 4)太陽熱利用による最適稼働設定の確立 5)密閉構造を生かした低コスト井戸洗浄方法の確立 6)ZEB 適応性評価手法の概略確立	高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの ZEB 適応性を実証し、イニシャルコスト・ランニングコストともに 30%低減を実現させて、普及に向けた技術評価手法を確立
(2)高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発 1)設計 2)製作・性能試験 3)山形フィールドへ設置・調整 4)モニタリング 5)スケール防止機構有効性検証	1)設計の完了 2)製作・性能試験の完了 3)山形フィールドへ設置・調整の完了 4)ヒートポンプ稼働とモニタリング・データ集積 5)スケール防止機構有効性検証開始	1)～4)給湯 COP : 4.3 冷房 + 給湯の総合 COP : 7.1 専用ヒートポンプの性能評価と最適稼働設定の確立 5)有効性検証結果に基づきスケール防止機構の確立	高効率な専用ヒートポンプを完成させて、最適稼働設定を確立し、イニシャルコスト・ランニングコストともに 30%低減に資する

(1.3.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、2020年1月9日より2022年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(1.3)-1に示す。

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度				2022年度(予定)				2023年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
ZEB実証施設 設計・準備 建築工事																				
(1)高効率帯水層蓄熱を 利活用したトータル熱供 給システムの開発 1)実証建物とシステムの適 応性評価 2)システム構築とモニタリ ング 3)フリークーリングによる冷 房高効率化 4)給湯システム高効率化 5)井戸洗浄方法の開発 6)システムの技術評価手 法確立																				
(2)高効率帯水層蓄熱を 利活用したトータル熱供 給システム専用ヒートポン プの開発 1)設計 2)製作・性能試験 3)山形フィルドへ設置・ 調整 4)モニタリ ング 5)スケール防止機構有効 性検証																				

図Ⅱ(1.3)-1 研究開発のスケジュール

(1.4)寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開

(1.4.1)背景と目的

地中熱ヒートポンプ(GSHP)システムは省エネルギー性能に優れた再生可能エネルギー熱利用技術の一つであるが、冷房と比較して特に暖房・給湯での省エネルギー性能が高いことから、北米や欧州の寒冷地では既に200万台を超える導入実績がある。我が国においてもGSHPシステムの導入件数のうち約半数が北海道・東北地方となっており、今後も最もGSHPシステムの導入拡大が期待できる地域であるといえる。しかしながら、北海道・東北地方のGSHPシステムの導入については、ヒートポンプの容量で換算して数十kWを超える中～大規模の事例が多くなっており、特に住宅等の小規模建物については業務用と同等のマーケットを有しているにも関わらず、導入件数がやや伸び悩んでいる傾向にある。

一方で、近年では政府目標が掲げられているように建築物におけるネット・ゼロ・エネルギー・ビル(ZEB)化やネット・ゼロ・エネルギー・ハウス(ZEH)化が進められており、特に暖房のエネルギー消費量の大きい寒冷地において、ZEB化やZEH化を進めるためには、GSHPシステムの導入が最も効果的な手段であると考えられている。また、ZEB化・ZEH化を行う建物については、高断熱化技術・遮熱技術の適用が必要不可欠であり、熱負荷が小さくなることで、GSHPシステムの設置規模を小さくすることも可能である。従って、寒冷地においてZEB やZEHを目標とする建築物に低コストで導入でき、かつ高効率なGSHPシステムを開発することが今後のGSHPシステムの導入拡大に最も寄与できると考えられる。

以上のことから、本研究開発では、寒冷地においてZEB やZEHを目標とする建築物に採用できる低コスト・高効率な間接型GSHPシステムの技術開発を行うことを目的とする。

(1.4.2)研究開発の概要

上述のように地中熱ヒートポンプシステムの導入効果が大きく、導入が最も必要である寒冷地の ZEB 化・ZEH 化建物に導入可能な低コスト・高効率な地中熱ヒートポンプシステムを開発し、市場を拡大することが、トータルコスト低減達成のための有効な手段であると考えられる。

これらの要求を実現するために、以下に示す研究開発を実施することを計画する。

(1) ZEB・ZEH 建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立
事務所ビル、戸建住宅もしくはそれに準ずる小規模建物(以下戸建住宅)の 2 つの種類の建物を対象に ZEB 化・ZEH 化を実施した上で、高断熱化による暖房負荷削減を考慮した地中熱ヒートポンプシステムの設計を行うことで低コスト化を図り、導入後に建物の熱負荷(ヒートポンプの出力)や地中採熱量、熱源水温度の計測を行い、設計と低コスト化の検証を行う。また、建物全体のエネルギー消費量と地中熱ヒートポンプシステムのエネルギー消費量の計測を行い、普及型 ZEB に対する地中熱ヒートポンプシステムの導入効果(エネルギー消費量削減効果)を定量化し、ZEB 建物に対する地中熱ヒートポンプシステムの寄与を示すことで ZEB 建物の地中熱ヒートポンプシステムの導入を促進できるようにする。

(2) 新築業務用建物および小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

新築事務所ビルに対して基礎杭兼用地中熱交換器を導入し、地中熱交換器の導入技術を確立してイニシャルコストの削減効果を検証するとともに、建設後採熱量と熱源温度の計測を行い、地中熱交換器の性能評価を行う。また、小規模建物に導入可能な PC 杭利用地中熱交換器、水平ユニット方式の 2 種類の地中熱交換器を提案し、地中熱交換器パイプの試作を行うとともに、既存事務所ビル、戸建住宅の導入試験を実施して低コスト化への課題の抽出と改善を実施する。また、異なる複数の地盤条件で試験を実施することで、地盤条件に対する優位性と劣位性を明らかにしておく。最終的には小規模建物に対し、小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器を実現させる。

(3) 高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発

事務所ビル(既存・新築)に対してヒートポンプの高効率化に寄与する低温水の送水が可能な天井空調システムの導入を行い、実際に暖房・冷房運転を行いつつ、省エネ性(ヒートポンプおよびシステム性能の向上)と快適性を両立させることが可能な最適運用技術を確立させる。さらに、既存事務所ビルの一部や戸建住宅では二次側が直接膨張方式で、ダクトで送風を行う空調システムを導入し、こちらについても省エネ性と快適性を両立させることを試みる。また、ヒートポンプの機器単体については、将来の冷媒の規制を見据えて、CO₂冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ

給湯機の開発と暖房機の高効率化の研究開発を実施する。CO₂冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機については実際の建物への導入を行い、地中熱ヒートポンプの消費電力、一次側・二次側出入口温度、流量などの計測を実施し、従来の空気熱源ヒートポンプ給湯機(エコキュート)と比較した省エネルギー効果についても検証する。

(4) 地中熱ヒートポンプシステムトータルコスト削減効果の評価

新型地中熱交換器の開発、二次側運用技術の確立、ヒートポンプ機器の高効率化などによる各要素技術によるインシヤルコスト、ランニングコスト削減効果の評価を行うとともに、これら要素技術と設計手法を組み合わせた地中熱ヒートポンプシステムのインシヤルコスト・ランニングコストを合わせたトータルコスト削減効果の評価を行う。

表Ⅱ(1.4)-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標(2021年度末)	最終目標(2023年度末)	目標レベル設定の根拠
(1)ZEB・ZEH 建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立	<ul style="list-style-type: none"> ・(2)、(3)との組み合わせによるトータルコスト20%以上の削減を可能とする設計手法の確立の道筋をつける ・GSHP システムの普及型 ZEB・ZEH への省エネ寄与率定量化のための実測データを収取する 	<ul style="list-style-type: none"> ・(2)、(3)との組み合わせによるトータルコスト 20%以上の削減を可能とする設計手法の確立 ・GSHP システムの普及型 ZEB・ZEH への省エネ寄与率定量化 	<ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーション結果から ZEB・ZEH 化建物を考慮した設計により、従来と比較して地中熱交換器規模やヒートポンプの容量を20%以上削減可能となることが示されたため ・ZEB・ZEH 化建物に導入された GSHP システムの実測により省エネ寄与率の定量化が可能
(2)小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・小規模建物導入時において従来地中熱交換器との比較で設置コスト20%以上の削減の見通しをつける 	<ul style="list-style-type: none"> ・小規模建物導入時において従来地中熱交換器との比較で設置コスト20%以上の削減 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的な戸建住宅の1件あたりの地中熱交換器設置コストの試算結果から、現状150万円程度に対して、H型PC杭方式は90万円以下となる見通しが示されたため
(3)高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・実測データをもとにエネルギー消費量を削減する二次側運用技術について見通しをつける ・ヒートポンプ給湯機:出力6.0kW、COP4.3 ・ヒートポンプ暖房機①:出力6.0kW、COP4.3 ・ヒートポンプ暖房機②:出力4.0kW、COP4.5 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来のGSHPシステムからのランニングコスト20%以上の削減を実証(以下の内容は中間目標と同じ) ・ヒートポンプ給湯機:出力6.0kW、COP4.3 ・ヒートポンプ暖房機①:出力6.0kW、COP4.3 ・ヒートポンプ暖房機②:出力4.0kW、COP4.5 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来の温水暖房方式に対して、低温温水送水が可能な放射空調方式などの適用とヒートポンプの高効率化で20%以上のランニングコスト削減できるという試算結果による
(4) 地中熱ヒートポンプシステムトータルコスト削減効果の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・設定なし(最終年度実施内容のため) 	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱ヒートポンプシステムのトータルコスト20%以上削減の達成 	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業の最終目標として設定

(1.4.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、2020年1月24日より2022年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(1.4)-1に示す。

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度				2022年度(予定)				2023年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
(1)GSHPシステムの設計・評価手法の確立	新築事務所																			
					設計				施工				実測による設計の検証							
	既設事務所				設計	施工			実測による設計の検証											
	住宅												設計・施工・実測による設計の検証							
(2)低コスト地中熱交換器の開発	新築事務所																			
					設計				施工				実測による設計の検証							
	既設事務所				設計	施工			実測による設計の検証											
	住宅												設計・施工・実測による設計の検証							
(3)高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発	HP給湯機																			
					試作・性能評価				実証機導入											
	HP暖房				試作・性能評価				実証機導入											
	二次側運用技術												計測・最適運転方法の検討・評価							

図Ⅱ(1.4)-1 研究開発のスケジュール

(2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発(2.1)地下水循環型地中採熱システムの研究開発

(2.1.1)事業の目的と目標

第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）で採択されたパリ協定が発効されたのを機に、世界的に低炭素化社会実現に向けた動きが活発化している。日本は、2030年度までに、2013年度比で、温室効果ガス排出量を26%削減する（2005年度比では、25.4%削減）目標を掲げている。日本の全産業で排出するCO₂量のうち、建設活動に関連する部分は42.7%と最も割合が大きく、建築分野における低炭素化は喫緊の課題である。脱炭素技術の切札として期待される再生可能エネルギーは、現状、太陽光発電や風力発電など電気利用が主体である。一方、再生可能エネルギーのうち太陽熱や地中熱などの熱利用はその大きな賦存量にも拘わらず、その利用が進んでいないのが現状である。建築分野で必要とされる熱はとりたてて高温である必要はないため、現在未利用である再生可能エネルギー熱を十分に活用できれば、大幅な省エネルギー化が期待できる。設備導入に係る初期コストが大きい太陽熱・地中熱などの熱利用の普及促進を目的に、再生可能熱エネルギー利用システムの適切な設計手法を確立するとともに、ライフサイクルに亘りコスト低減・性能向上に資する要素技術・システム化技術開発を実施する。

(2.1.2)研究開発の概要

- 1) 再エネ熱利用システム設計手法の開発（鹿島建設、日建総研）
 - ・地中熱・太陽熱利用を組み込んだシステムシミュレーションツールを開発。
 - ・作成したツールを活用して、システム導入予定の建物モデルを対象に、適正な運転方法や省エネ性能、さらに実建物での年間運転実績データの分析に基づく開発システムの運転性能を検証。
- 2) 低コスト・高効率ユニット型SSHPシステムの開発（鹿島建設、ゼネラルヒートポンプ工業）
 - ・SSHP、空気-水熱交などをユニット化した統合型SSHPを実用化し、実建物で実証する。
 - ・給湯機能付きビル用マルチ空調システムの実用機を完成し、実建物で実証する。
- 3) 実建物における運転性能の実態検証（鹿島建設、名古屋大学、日建総研）
 - ・早期の市場投入を図るため、実建物運用での変動負荷時の性能検証を行う。
- 4) 再エネ熱利用システムの最適運転制御技術（鹿島、東京大学）
 - ・機械学習などのAI等を活用した、太陽熱+地中熱を活用する最適制御アルゴリズムを構築し、実用的な運転制御手法を開発する。

表Ⅱ(2.1)-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標(2021年度末)	最終目標(2023年度末)	目標レベル設定の根拠
①再エネ熱利用システム設計手法の開発	LCEM ベースの設計用シミュレーションツールのプロトタイプを完成。実建物及びモデル建物を対象にSSHP 導入効果を検討。	2021年度～2023年度に実建物（豊田自動織機大府工場）を対象にSSHP 導入効果を検討。	これまで順調に推移している開発の達成状況に基づく。
②低コスト・高効率ユニット型SSHPシステムの開発	構成機器をコンパクトに集約した「ユニット型SSHP」を開発する。夏期・冬期条件での目標単体COP6以上を達成する。	構成機器をコンパクトに集約した「ユニット型SSHP」を開発する。夏期・冬期条件での目標単体COP6以上を達成する。	2019年度～2020年度に達成。
③実建物における運転性能の実態検証	2021年度8月めどにSSHP 実証システム完成。	2020年度～2023年度にかけて年間発生頻度の高い、低負荷運転下でのSSHP 運転性能を検証	SSHP 大府実証システムの設置工事計画に基づく。
④再エネ熱利用システムの最適運転制御技術	2019年度～2020年度に、最適制御制御アルゴリズムを完成。シミュレーションツール上でSSHP システム実験結果を高い精度で再現。	ランニングコスト圧縮のため、再生可能熱エネルギーを複合的に利用する最適制御手法を開発。	2019年度～2020年度に達成。

(2.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、2019年7月25日より2022年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.1)-1に示す。

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度				2022年度(予定)				2023年度(予定)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
再エネ熱利用システムの設計手法の開発			導入効果算定		モデル建物での効果検証				実運転データを用いた導入検討ツールの検証											
低コスト・高効率ユニット型SSHPシステムの開発			試作機製作		実証実験				工場試験											
実建物における運転性能の実態検証							実証装置設置工事				実運転データに基づく導入効果の検証									
再エネ熱利用システムの最適運転制御技術		最適制御アルゴリズムの構築																		

図Ⅱ(2.1)-1 研究開発のスケジュール

(2.2)温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発

(2.2.1)背景と目的

温泉大国である我が国の源泉数が27,000か所以上、温泉地数が2,900か所以上あり、温泉熱の賦存量が多く熱エネルギーとしてのポテンシャルは高い。温泉街では、源泉を保有し熱量が余っている温泉事業者と、購入した源泉を加温している温泉事業者が混在し、熱源と熱需要者が分散して存在していることがある。温泉街全体では大きなポテンシャルを有していても、化石燃料による個別システムが導入された状態が多い。温泉街への適用を想定した、温泉熱を面的に活用する熱利用システムとして、シングルループ方式の分散熱源による熱源水ネットワークシステムの研究開発を、先のNEDO委託事業（以降、「過年度プロジェクト」）にて実施した。

しかしながら、実際の施設に適用して運用する際は、設計段階で想定する特定の運転状況とは異なり、動作確認実験のような単に施設から熱源水ネットワークへ熱回収または、熱源水ネットワークから各施設へ熱供給を行うだけでは済まない。また、温泉熱等の分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入に際し、実現可能性検討等が必要であり、検討段階でもコストと時間が掛かる。そのため、普及に向けたトータルコスト低減には、イニシャルコストのみならず、導入検討、運用の各段階におけるコスト低減が必須である。

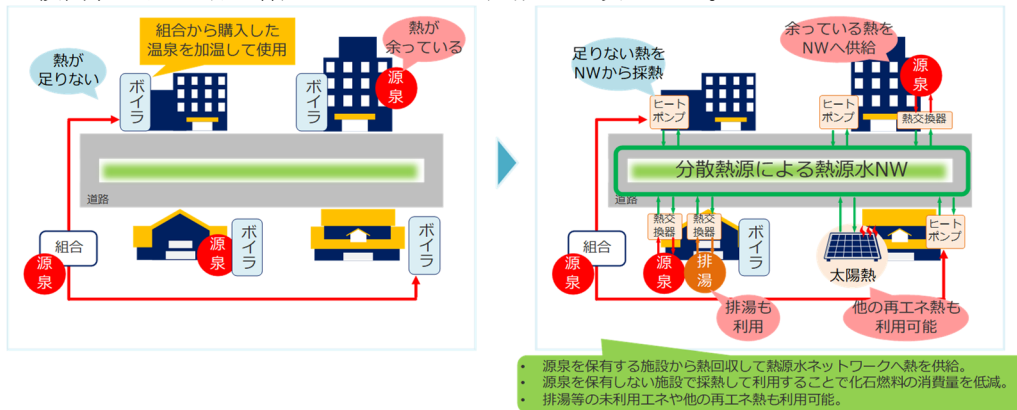


図 II (2.2)-1 一般的な温泉街への開発成果の適用概念図

(2.2.2)研究開発の概要

本事業では、熱源水ネットワーク全体の熱バランスを制御し、熱売買までを管理できる「熱売買制御システム」の開発と、分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討・判断の容易化を図るため、ソフト的な支援として「導入検討支援ツール」を開発することを目的とし、研究開発を行う。

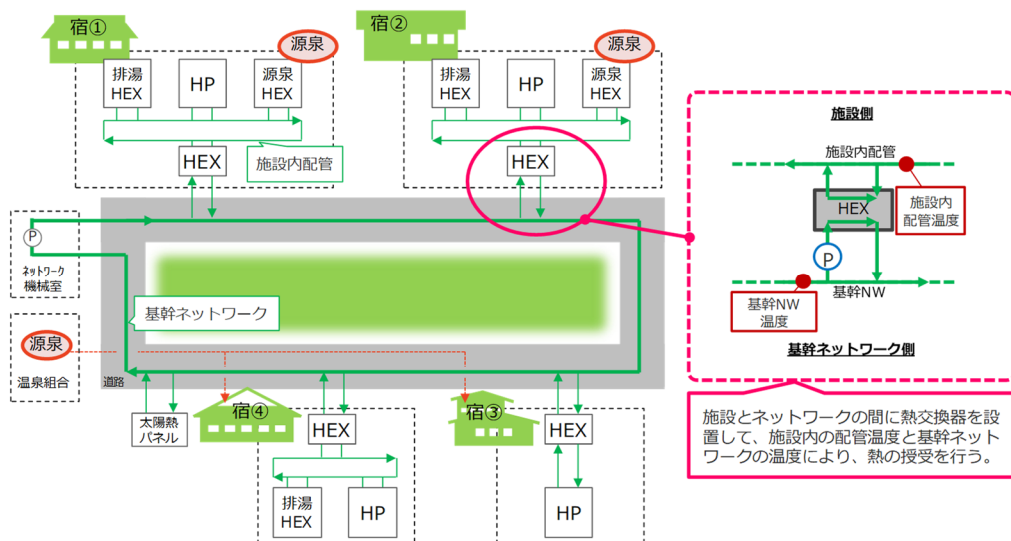
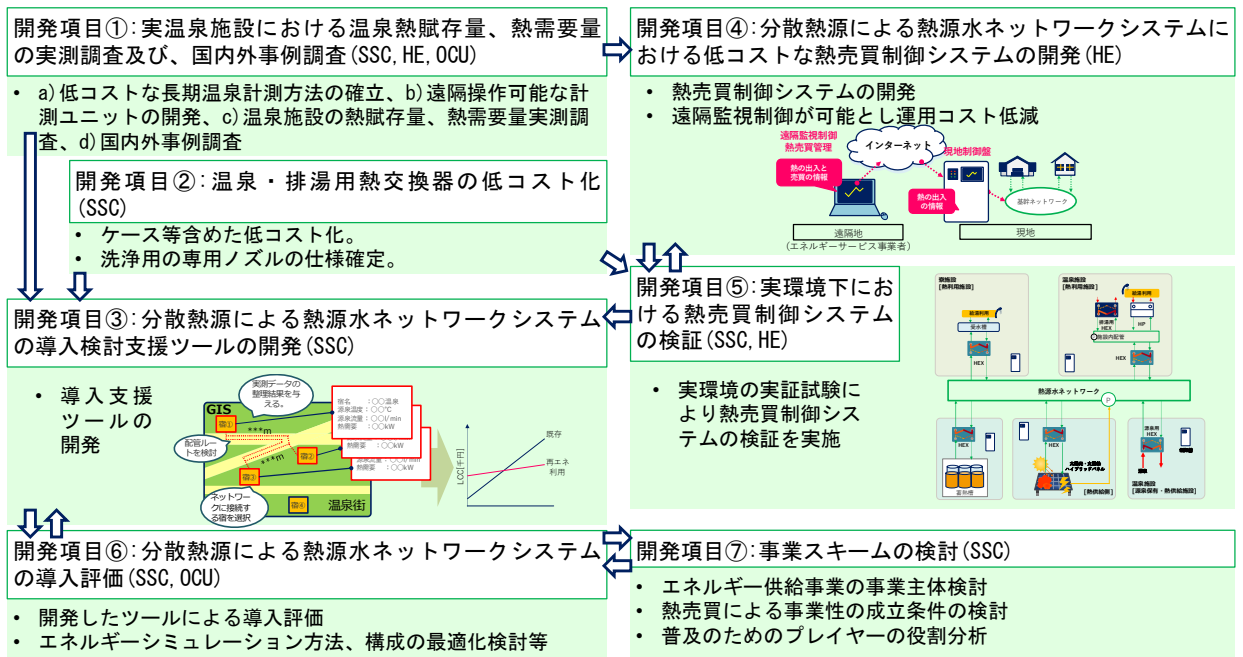


図 II (2.2)-2 温泉街における分散熱源による熱源水ネットワークシステムと熱授受の制御の概念図



図Ⅱ(2.2)-3 研究開発概要

表Ⅱ(2.2)-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標(2021年度末)	最終目標(2023年度末)	目標レベル設定の根拠	
(1) 実温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査及び、国内外事例調査	a) 低コストな長期温泉計測方法の確立	温泉計測、熱量計測に使用可能な計測器条件を調査、整理する。	5カ所以上の温泉施設での実測により、低コストかつ安定して温泉流量等の長期計測方法を確立する。	
	b) 遠隔操作可能な通信機能を持つ計測ユニットの開発	幅広い計測機器に対応した遠隔操作可能な通信機能を持つ計測ユニットを試作し、施設での実測に活用する。	幅広い計測機器に対応した遠隔操作可能な通信機能を持つ計測ユニットを開発し、5件以上の施設で実測に活用する。	
	c) 温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査	5カ所以上の温泉施設での実測を開始する。	5件以上の温泉事業者において温泉熱賦存量、熱需要量の実測を行い検討データとして整理する。	また、データ収集と回収等に多くの費用と時間を要する。そこで、温泉施設についてエネルギー消費量等の傾向を掴み、基礎データとして整備するため。
	d) 国内外事例調査	動向調査を実施し、事例調査先を決定する。	2件以上の事例を調査する。	熱源水NWの国内事例が殆どない。動向調査により情報アップデートするため。
(2) 温泉・排湯用熱交換器の低コスト化	液膜形成部、筐体を含む流下液膜式熱交換器の製品仕様を検討する。	流下液膜式熱交換器の製品仕様の決定。低コスト化により筐体等含めて20%以上の低価格化を目指す。	過年度プロジェクトで開発した流下液膜式熱交換器から、ケーシング等も含め低コスト化し熱源水NWのトータルコスト低減に寄与するため。	

(3)分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発	熱源水ネットワークシステムの簡易な導入検討ができるツールの仕様検討、試作を行う。	実測調査結果の入力により、検討に利用する基礎データとして熱需要量、熱賦存量等を整備、コストまで含めた簡易な導入検討ができるツールを開発する。	導入に際し、対象地域での情報収集、実測調査、FS検討が必要となり時間、費用が掛かるため導入のハードルとなる。これらの構想企画段階、設計段階で掛かるコストを低減するため。
(4)分散熱源による熱源水ネットワークシステムにおける低コストな熱売買制御システムの開発	省エネのために最適な売買を自動で行う制御を行うための遠隔監視および操作が可能な制御システムの低コスト化検討を行う。	省エネのために最適な売買を自動で行う制御を行うための遠隔監視および操作が可能な制御システムを開発する。従来技術の一品生産システムに対し、20%以上の低コスト化を行う。	分散熱源による熱源水NWの熱融通確認は過年度プロジェクトにて確認できたが、実運用では、熱売買を含んだ制御システムが必要となる。現状では一品生産システムとなり非常に高価なためコスト低減によりトータルコスト低減に寄与するため。
(5)実環境下における熱売買制御システムの検証	なし。(2022年度以降に実証試験を実施)	実証試験により制御と熱売買システムが正常に動作する事を確認する。	
(6)分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入評価	熱売買も含めた熱源水ネットワークの導入可能性検討を行うためのモデル構築をする。	2条件以上の具体的事例について導入可能性を検討し、有用性を示す。	分散熱源による熱源水ネットワークシステムの実用化、普及に向けて先行検討事例、導入事例が少ない。具体的事例について導入可能性、導入条件、事業スキームを検討し分散熱源による熱源水ネットワークシステムの有効性を示すため。
(7)事業スキームの検討	関係団体へのヒアリングと事業スキームの検討、整理を行う。	熱源水ネットワークシステムの構成や、熱需給バランス等を変化させ、事業性が成り立つ条件を明確化し、導入可能条件を整理する。	

(2.2.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、2020年11月30日より2022年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.2)-4に示す。

研究開発項目		2020年度				2021年度				2022年度 (予定)				2023年度 (予定)			
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
(1)実温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査及び、国内外事例調査	a)低コストな長期温泉計測方法の確立	長期温泉計測が可能な計測方法の把握				計測方法の見直し				計測方法の確立							
	b)遠隔操作可能な通信機能を持つ計測ユニットの開発	遠隔通信機能を持つ計測ユニットの設計・製造															
	c)温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査					実測調査											
	d)国内外事例調査	動向調査				事例調査				事例調査							
(2)温泉・排湯用熱交換器の低コスト化		低コスト化に向けた仕様の検討				試作・性能試験				(5)の試験設備に組込							
(3)分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発		導入可能性検討ツールの開発				導入可能性検討ツールの開発				実測地での導入可能性を検討				熱売買も考慮したツールに発展			
(4)分散熱源による熱源水ネットワークシステムにおける低コストな熱売買制御システムの開発		熱売買に係る検定付き計測機器の選定				熱売買制御システムの構想検討				熱売買制御システムの構築							
(5)実環境下における熱売買制御システムの検証						設計				構築				実環境下での実証試験			
(6)分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入評価		導入評価、その他の再エネ熱を含めた熱源水NWの検討など				熱源水NWでの熱売買の考え方の整理				熱売買が成立する条件における設備構成最適化検討							
(7)事業スキームの検討		スキームの検討 事業者ヒアリング				事業主体、事業形態等の検討				事業性成立条件の検討							

図Ⅱ(2.2)-4 研究開発のスケジュール

(3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

(3.1)見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化

(3.1.1)背景と目的

これまで再生可能エネルギー熱（地中熱、太陽熱等）が十分に利用されてこなかった要因として、設備導入コストが高いこと、認知度が低いこと、熱エネルギーの供給を担う人材が十分育っていないこと等があり、2019年度より再生可能エネルギー熱利用システムのトータルコスト低減に資する研究開発の推進、及び普及拡大に取り組んでいる。特に、地中熱利用システムの設計フェーズにおいては、適正な導入・運用コストのための最適設計や多様性を考慮した精緻な設計ツールの開発等に課題がある。そこで、本事業では、地中熱利用システムの導入拡大に資するシステム設計の最適化に必要な見かけ熱伝導率の推定・評価技術、簡易熱応答試験（Thermal Response Test : TRT）技術、設計ツールを共通基盤技術として開発し規格化を目指す。

(3.1.2)研究開発の概要

地中熱システム設計の低コスト化に寄与する、見かけ熱伝導率の精度 $0.5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 以下での推定・評価技術、既設井戸、垂直型地中熱交換器に適用可能な簡易熱応答試験法およびクローズド・オープンループシステム双方に対応可能な世界初の統合型設計ツールの開発、規格化を目指す。

①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化

1)地質構造解析と地下水流動解析を用いる水文地質学的推定手法の開発

水文地質学の専門知見に基づいた地質構造解析と広域地下水流動解析を行い地質情報から見かけ熱伝導率を高精度に推定する手法を開発する。

2)地質情報に基づく統計学的推定手法の開発

見かけ熱伝導率を地質情報に基づき統計学的に推定する手法を開発する。

3)地下水情報の簡易評価技術の開発

簡便に地下水面等高線やダルシー流速等を推定する手法として地形情報を用いたAI解析に基づく評価技術を確立する。

4)開発した手法の検証・評価

上記1)、2)にて開発した手法の検証を目的に複数のモデル地域でオールコアサンプリングおよびTRTを実施する。

5)見かけ熱伝導率の推定手法の規格化

上記1)、2)にて開発した手法について規格化を踏まえた技術書を作成する。

②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化（担当：国立大学法人秋田大学・国立大学法人北海道大学）

地中熱利用ヒートポンプシステムの設計における一般的なTRTは、従来の方法の場合、地中熱交換井として仕上げられた井戸でしか実施できず、高額であることが課題となっていることから、コストを縮減するための簡易TRTを開発し、数値解析および実証試験を通じた検証を踏まえ、基盤技術として確立することを目指す。

1)大口径水井戸に適用可能なTRT装置の開発

あらゆる口径の既存井戸で計測可能な簡易TRT装置の開発を行う。装置は、ケーブルヒーターと光ファイバー温度計を組み合わせたものを、電磁石でケーシング内壁に密着させる構造とする。従来型TRTによるデータと比較して装置の優位性を検証した後、大口径井戸への適用性を確認する。

2)垂直ボアホール型地中熱交換器（Borehole Heat Exchanger : BHE）に対応可能な簡易TRTの開発

a. 軽量・コンパクト・小作業による低コストで大深度BHEまで対応可能な簡易TRT技術の開発

深度数百メートルまで対応可能な発熱ワイヤーと光ファイバー温度計を組み合わせた試験装置を開発し、これを用いたTRT装置を作製する。従来型TRTと比較することで本装置の有効性を検証し、大深度でも有効であることを確認する。

b. 周期加熱法による迅速TRT技術の開発

従来のTRTよりも短時間で周囲地盤の熱物性を推定可能な周期加熱法による迅速TRT技術を開発し、装置を設計・製作する。従来のTRTによる推定物性値と比較することで本装置の有効性を検証し、大深度でも有効であることを確認する。

3) 簡易熱応答試験の規格化

上記1)、2)の試験方法について規格化を踏まえた技術書を作成する。

③統合型設計ツールの開発（担当：国立大学法人北海道大学・国立研究開発法人産業技術総合研究所）

現在主流となっているクローズドループシステムの設計ツールに①で開発した地盤物性データベースを加え、多種の地中熱交換器に対応可能とし、さらには建物・空調設備との連成を図る等、より精緻化すると共に、オープンループシステムの設計機能を加えた統合型設計ツールを開発する。

1) 設計に必要な地盤・帯水層データベースの規格化

クローズドループシステムおよびオープンループシステムの設計に必要な地盤・帯水層情報等を規格化する。

2) オープンループシステムの実証実験に基づく最適な地中熱利用形態の判定技術開発

地下水流動シミュレーションと実証実験を踏まえて、水理水頭に着目したオープンループシステム導入判断のための判定技術を開発する。なお、本判定技術により試行的に作成・整備した適地マップ情報は、別途作成する地盤・帯水層データベースに統合する。

3) 地下水流れおよび多種の地中熱交換器に対応した設計ツールの開発

従来の設計ツールに対して地盤モデル、地中熱交換器モデルの拡充を行う。具体的には、地層ごとの地下水流速を考慮した地中温度計算機能および現存する多種の地中熱交換器に対応する設計ツールを開発する。

4) 建物・空調設備との連成シミュレーションの作成

建物内の温度、空調機、他の熱源システムと併用を含めた、建物・空調設備・ヒートポンプ・熱交換器の連成シミュレーションの作成を行う。

5) 設計ツールと他のツール、プログラムとの連携方法の確立

開発した設計ツールの計算手法や計算結果を他のツール（Webプログラム、LCEM等）に反映できる連携方法を確立する。

6) オープンループシステムの設計ツールの開発

オープンループの導入を阻害している課題（システム性能評価手法が未確立であること等）を解決可能な設備・設計技術者のためのオープンループシステム数値計算ツールを開発する。

7) 計算精度検証のためのGSHPシステム運転データの収集と分析

既存の地中熱利用システムに後付け可能なデータ収集・転送装置を作製し、運転データを取得、分析することで開発した設計ツールの精度検証を行う。

8) 統合型設計ツールの開発

上記1)～7)を踏まえ統合型設計ツールを開発する。

④共通基盤ワーキングへの参加（担当：国立大学法人北海道大学・国立大学秋田大学・国立研究開発法人産業技術総合研究所）

表Ⅱ(3.1)-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標(2021年度末)	最終目標(2023年度末)	目標レベル設定の根拠
①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化	<ul style="list-style-type: none"> ・水文地質学のおよび統計学的な見かけ熱伝導率推定手法のスキーム確立、数値 TRT 等による推定手法の検証 ・地下水情報の簡易推定手法を確立、モデル地域以外の地域への適用性確認 ・TRT 実施 (3 地点) ・オールコアサンプリング実施 (2 地点) 	<ul style="list-style-type: none"> ・水文地質学のおよび統計学的な見かけ熱伝導率推定手法の開発 ・全国見かけ熱伝導率データベース(テスト版)の構築 ・見かけ熱伝導率の水文地質学的推定手法の技術移転(マニュアル化含む) 	<ul style="list-style-type: none"> ・共通基盤技術開発の一環として、地中熱利用システムの最適設計ならびに低コスト化に資する見かけ熱伝導率の推定技術を開発 ・開発技術の普及・展開を推進するにはデータベース作成や技術移転が有効
②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化	<ul style="list-style-type: none"> ・大口径水井戸に適用可能な簡易試験装置を製作し、現地試験と数値シミュレーションにより精度を確認 ・発熱ワイヤー付き光ファイバー温度計、周期加熱法のための試験装置を製作し、全国 4 箇所の大深度(深度 300m) 地中熱交換機と数値シミュレーションにより精度を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・井戸口径や水文環境の異なる複数の箇所における試験、数値シミュレーションを踏まえ、従来法と同程度の推定精度を得る試験法を開発 ・全国 5 箇所の大深度地中熱交換器を用いた実証試験と、数値シミュレーションにより試験法を確立し、工数の分析からコスト削減効果を評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・実用化には、従来法と同程度の推定精度を確保しながら TRT にかかるコストや時間を削減すべく、地質構造等が異なる複数現場にて試験データを取得するとともに、数値シミュレーションと併せて、試験法を検証
③統合型設計ツールの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・統合型設計ツールに必要な地盤情報の規格化 ・地下水流れおよび多種地中熱交換器への対応 ・建物・空調設備との連成シミュレーションの基本アルゴリズムの開発 ・オープンループシステムの計算手法および数値シミュレータの開発 ・ツールの検証に必要なシステム運転データの収集と分析 (8 地点) ・統合型設計ツールの基本レイアウト・デザインを決定 	<ul style="list-style-type: none"> ・統合型設計ツールに必要な地盤情報をデータベース規格化し、全国を対象とするリファレンスを作成 ・複層地盤・地下水流れ・多種地中熱交換器の計算アルゴリズムの完成 ・建物・空調設備との連成シミュレーション計算のアルゴリズムの開発 ・LCEM 等他のツール、プログラムとの連携方法の確立 ・統合型設計ツールに実装するオープンループシステムの設計性能予測手法の開発 ・システム運転データの収集と分析に基づくツールの有効性の検証 ・クローズド・オープンループ方式双方に対応する設計ツールを実用化レベルで完成 	<ul style="list-style-type: none"> ・クローズドループ方式の更なる普及のため、わが国の複雑な地盤条件に対応すべく、複層地盤・地下水流れ・多種地中熱交換器への計算機能、建物・空調設備との連成シミュレーション、他ツール、プログラムとの連携などの、設計手法の高度化が必要 ・オープンループ方式は、これまで設計手法が確立しておらず、設計に必要な地盤情報の規格化、サイクルシミュレーションおよび蓄熱(ATES) 計算のシミュレータの開発が必要 ・上記を統合し、クローズド・オープンループ方式双方を同時に扱える設計ツールが必要

(3.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、2020年6月23日より2022年3月31日までで、主な事業スケジュールの概要を図II(3.1)-1に示す。

事業項目	2020年度				2021年度				2022年度(予定)				2023年度(予定)			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1)地質構造解析と地下水流動解析を用いる水文地質学的推定手法の開発																
2)地質情報に基づく統計学的推定手法の開発																
3)地下水情報の簡易評価技術の開発																
4)開発した手法の検証・評価																
5)見かけ熱伝導率の推定手法の規格化																
1)大口径水井戸に適用可能なTRT装置の開発																
2)垂直ボアホール型地中熱交換器(Borehole Heat Exchanger:BHE)に対応可能な簡易TRTの開発																
a.軽量・コンパクト・小作業による低コストで大深度BHEまで対応可能な簡易TRT技術の開発																
b.周期加熱法による迅速TRT技術の開発																
3)簡易熱応答試験の規格化																

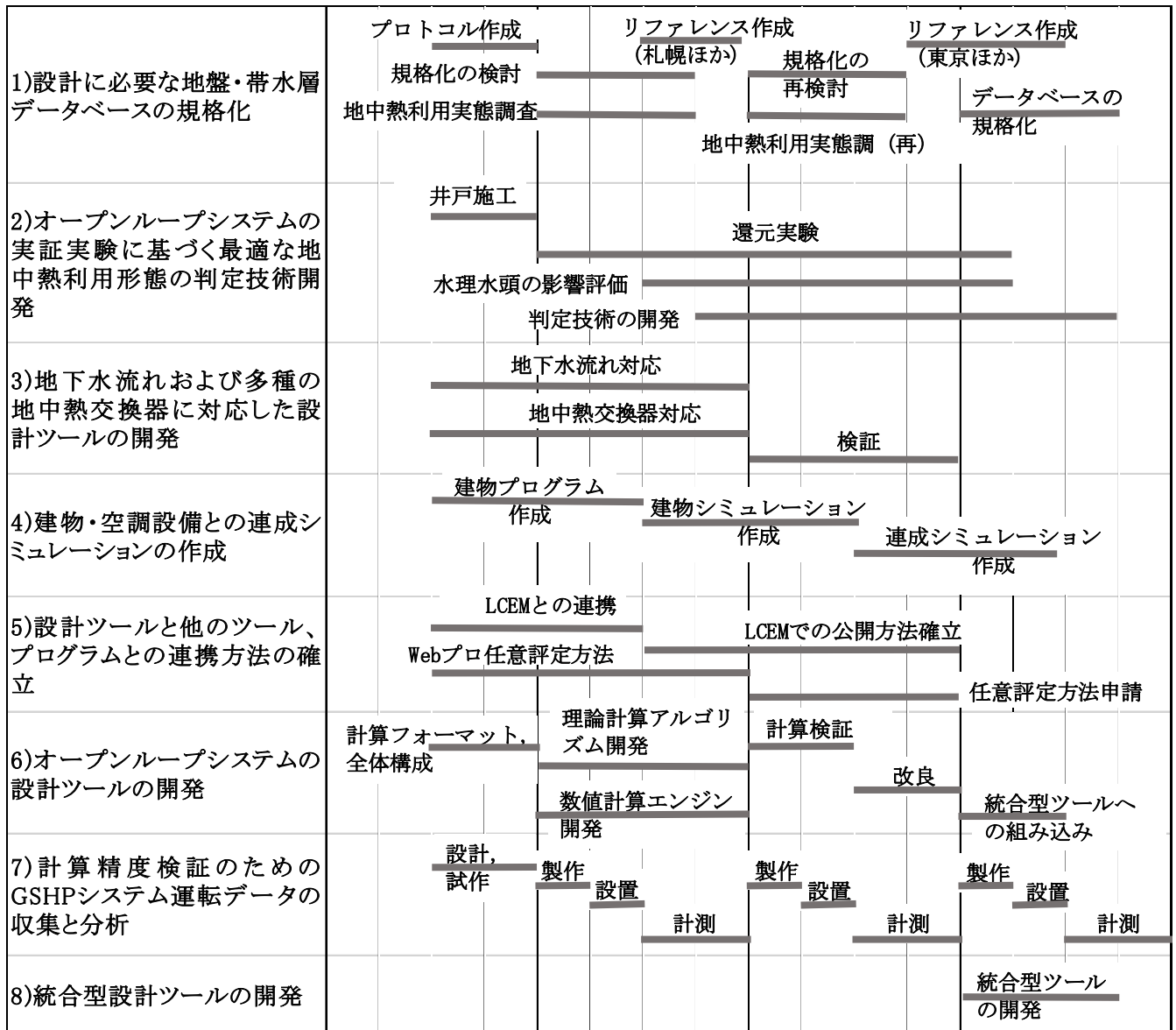


図 II (3.1)-1 研究開発のスケジュール

(3.2)オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究

(3.2.1)背景と目的

これまで地中熱利用に関するさまざまなポテンシャルマップが作成され、公開されている。しかしながら、オープンループ方式を対象とする現状のポテンシャルマップは、地下の地質・地下水情報から帯水層深度や地下水位、地下水温度、地下水水質等の分布を提示し、そこからシステム設計における注意点を提供することはできるものの、オープンループ方式における機種選定、他の熱源システムを含むトータル熱源システムとして検討することができる設計ツールがないのが現状である。また、オープンループ方式の場合には、設置する熱源システムの空調能力に応じて必要とされる量の地下水を揚水・還元するものの、現状では地下水揚水可能量は揚水井を掘削し揚水試験を行うことにより知ることができ、また地下水還元可能量は一般的に還元井の経年劣化により減少することから、いずれも設計段階では明確ではない。よってシステム設計は、現状では安全率を大きくすることによって不確定要素に対応せざるを得ず、揚水井・還元井に加えて揚水ポンプの仕様が過大となりやすい状況にある。

そこで本研究開発では、①「システムシミュレーションツールの研究開発」、②「地下水揚水可能量予測手法の研究開発」、③「地下水還元可能量予測手法の研究開発」を実施することにより、オープンループ方式のためのシステムシミュレーションツールの開発を行うとともに、地下水揚水可能量と地下水還元可能量の設計段階における予測を可能とする手法の開発を行うことが本研究の目的である。

(3.2.2)研究開発の概要

オープンループ方式の地中熱利用に必要な設計ツールの研究開発として、①システムシミュレーションツールの研究開発、②地下水揚水可能量予測手法の研究開発、③地下水還元可能量予測手法の研究開発を実施する。①システムシミュレーションツールの研究開発では、オープンループ方式のトータル熱源システムの適正な運転方法やエネルギー消費量を算出できるツールを開発する。②地下水揚水可能量予測手法の研究開発では、1)広域的な透水係数推定手法の研究開発と2)地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発を実施する。前者では、大阪平野・濃尾平野など既存のボーリング情報が数多く蓄積されている地域において、一般的なボーリングデータや物性値、ボーリング柱状図に記載されている記事等を利用して透水係数を推定する手法を開発する。後者では、小口径の地盤調査ボーリング孔を透水試験や揚水試験用の揚水井に転用して、原地盤の透水性（透水係数）を高精度に求める手法を開発する。③地下水還元可能量予測手法の研究開発では、海外で開発された予測式の精査、既存システムの還元井における還元能力の推移、それに影響を与える地質・地下水条件の把握、還元井と帯水層地盤を模した室内浸透実験を通して、わが国に適用可能な地下水還元量の予測手法を提案する。

表 II (3.2)-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標 (2021 年度末)	最終目標 (2023 年度末)	目標レベル設定の根拠
①システムシミュレーションツールの研究開発	オープンループ方式地中熱利用システムの年間エネルギー消費量を実測値に対して誤差 25 % 以内で予測可能な技術を開発する。	設計者が簡易に地中熱ヒートポンプ導入時のエネルギー消費量の計算を行うことができ、設計建物に採用される地中熱ヒートポンプやその他の熱源を含む全ての空調熱源のトータルシステムシミュレーションを行うツールを開発する。	本研究開発項目の目標値は、先行プロジェクトで開発されたクローズドループ方式のシステムシミュレーションツールを参考にして設定する。先行プロジェクトでは熱源機器モジュールは誤差 2.2%であったのに対して、地中熱交換器モジュールは誤差 1.7～30.7%であった。後者の誤差が大きくなった要因は、1) 地中熱交換器と熱源機器の間の横引き配管における熱損失と 2) 地盤の熱物性値の入力値と真の値とのずれである。オープンループ方式でも、横引き配管が長ければそこで熱損失が生じるとともに、揚水井における地下水温度がシステムの稼働に伴って想定外の変化を生じ

			ると設計ツールの入力値からずれを生じる可能性がある。よって、単にオープンループ方式の熱源機器モジュールのみを作成するだけであれば、クローズドループ方式と同様の誤差が生じる恐れがある。本技術開発では、横引き配管における井水の熱損失や揚水井近傍の地下水温度の変化を考慮することにより、誤差の低減を試みる予定であり、システム全体としての目標値を誤差25%と設定する。
②地下水揚水可能量予測手法の研究開発	<p>1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発 広域的な透水係数推定手法を開発する。また、推定した透水係数より求めた地下水揚水可能量が実測値に対して誤差 25%以内となる目途をつける。</p> <p>2) 地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発 小口径の調査井構築手法および小口径調査井を用いた透水係数推定手法を開発する。また、推定した透水係数より求めた地下水揚水可能量が実測値に対して誤差 25%以内となる目途をつける。</p>	設計時点で地下水揚水可能量の予測を行うことができる手法を開発する。	オープンループ方式の井水出入口温度差の最大値は、オーストリアでは±6℃に規制され、ドイツでも±6℃が推奨されている (Haehnlein et al., 2010)。そこで、井水出入口温度差の最大値を若干の余裕をみて±5℃が最大値となるようにして、その上で予測値の誤差により井水出入口温度差が小さくなりすぎることがないように最小値は±3℃となるように設定した。これにより、基準値は±4℃となり、温度差を±3℃から±5℃の間に抑えるために誤差25%以内の目標を設定する。
③地下水還元可能量予測手法の研究開発	複数の既存システムモニタリングデータを収集し、地下水還元能力の推移、その要因を明らかにする。また、帯水層地盤を模した室内透水実験装置を構築し透水性の変化を明らかにする。以上の結果を整理し、推定する地下水還元可能量が実測値に対して誤差 25%以内となる目途をつける。	設計時点で地下水還元可能量の予測を行うことができる手法を開発する。	②地下水揚水可能量予測手法の研究開発と同様の根拠に基づいて、誤差 25% 以内を目標として設定する。

(3.2.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成 2020 年 6 月 23 日より 2022 年 3 月 31 日までで、主な事業スケジュールの概要を図 II (3.2)-1 に示す。

事業項目	2020年度				2021年度				2022年度(参考)				2023年度(参考)			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①システムシミュレーションツールの研究開発					ツール開発								UI作成・精度検証			
	→															
②地下水揚水可能量予測手法の研究開発 1)広域的な透水係数推定手法の研究開発 2)地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発					大阪平野で開発								濃尾平野で検証			
					フィールドAで開発								フィールドBで検証			
	→															
③地下水還元可能量予測手法の研究開発					大阪平野で開発								濃尾平野で検証			
									室内浸透実験							
	→															

図 II (3.2)-1 研究開発のスケジュール

II.2.2. 研究開発の実施体制

本研究開発において、(1) および (2) については 2 者以上の企業、大学等の研究機関で構成されたコンソーシアムにて実施することを条件に、NEDO が公募によって研究開発実施者を選定し、助成事業として実施する。また、(3) は高度な知識を要するため、大学または研究機関を中心とした研究開発実施者を NEDO が公募によって選定し、委託事業として実施する。本事業の実施体制を図 II.2.2-1 に示す。

※原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。

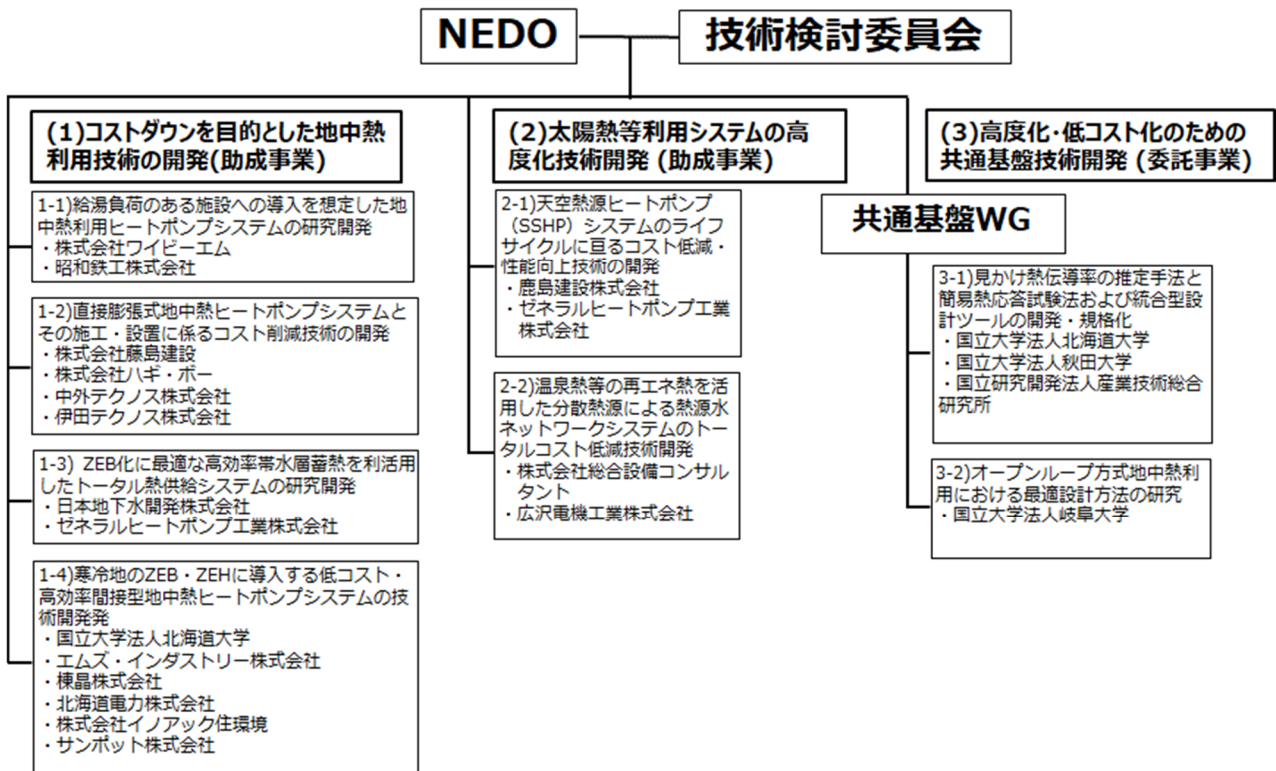


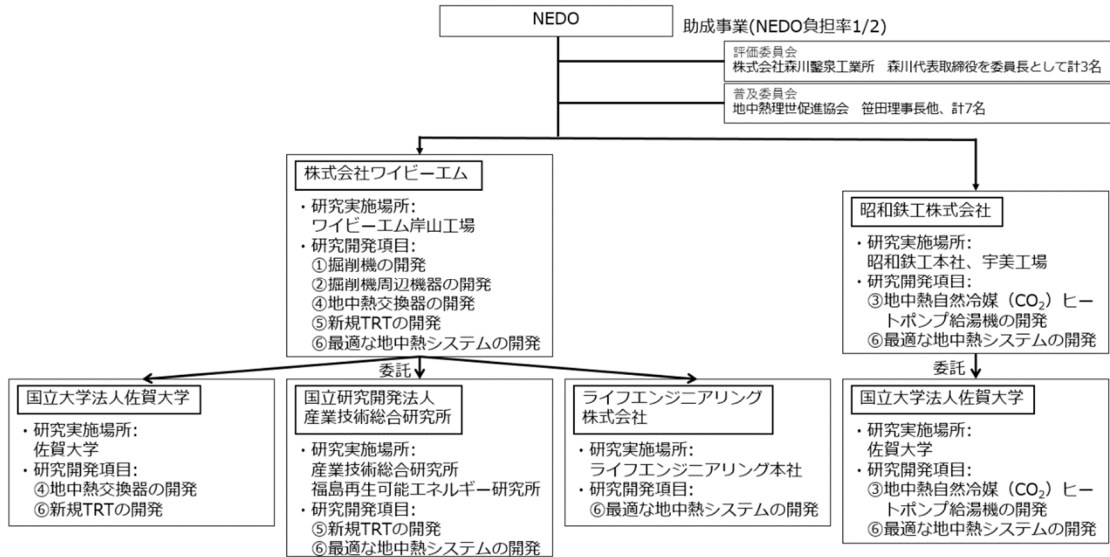
図 II.2.2-1 事業全体の実施体制

各研究開発項目における実施テーマ名と実施機関及び具体的な研究項目について本ページ以降に実施体制図として纏める。

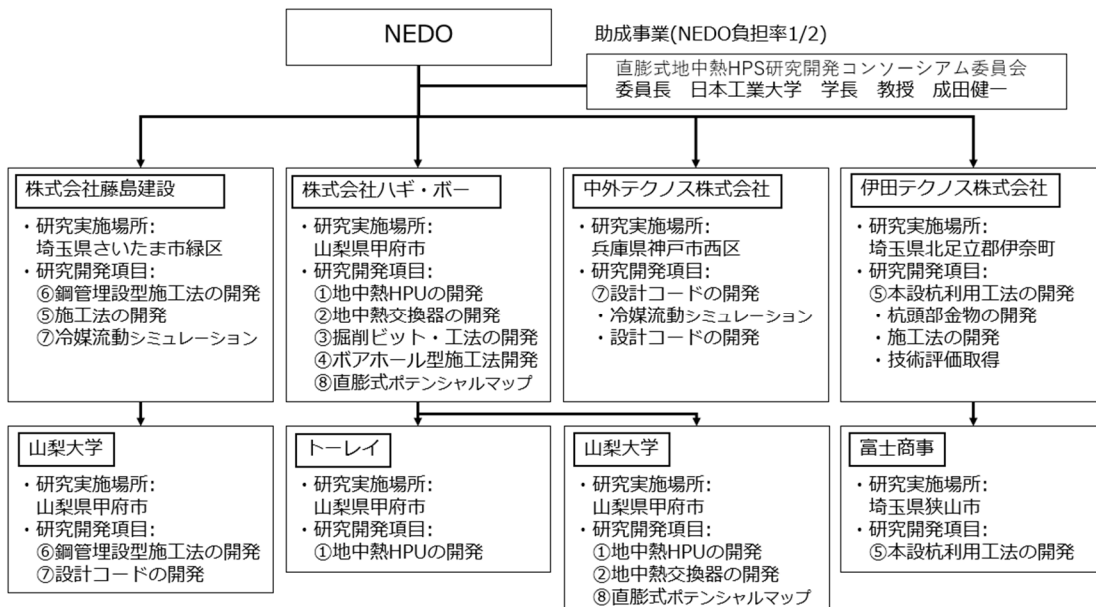
事業実施体制図

(1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発

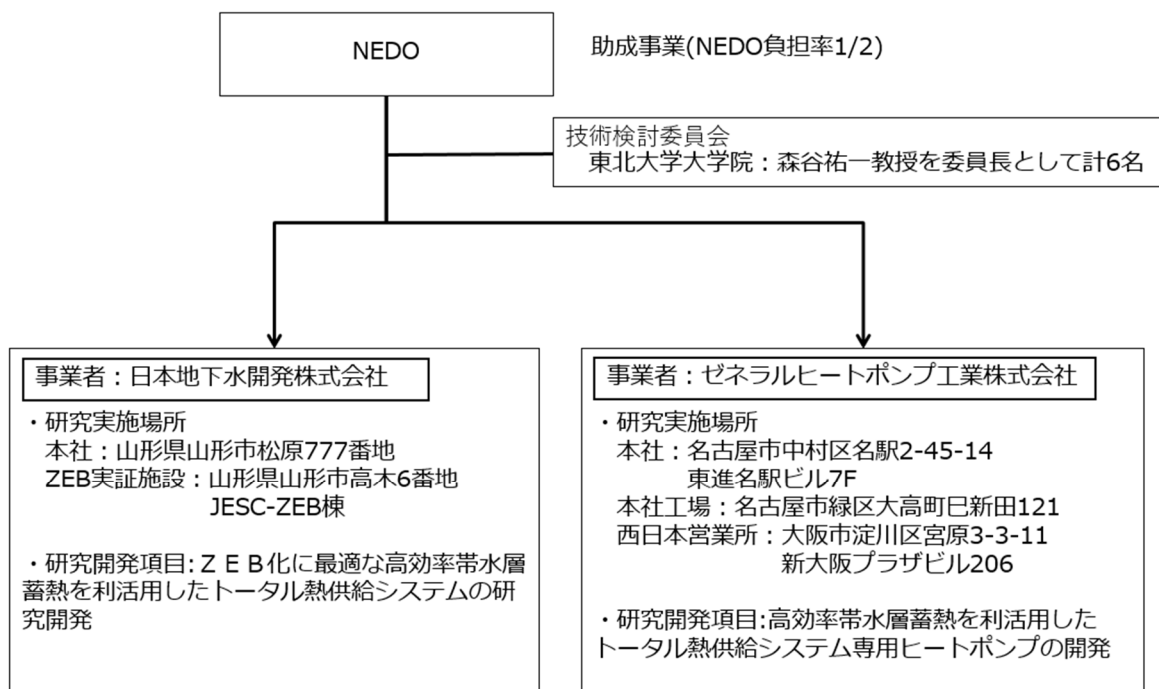
(1.1) 給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発



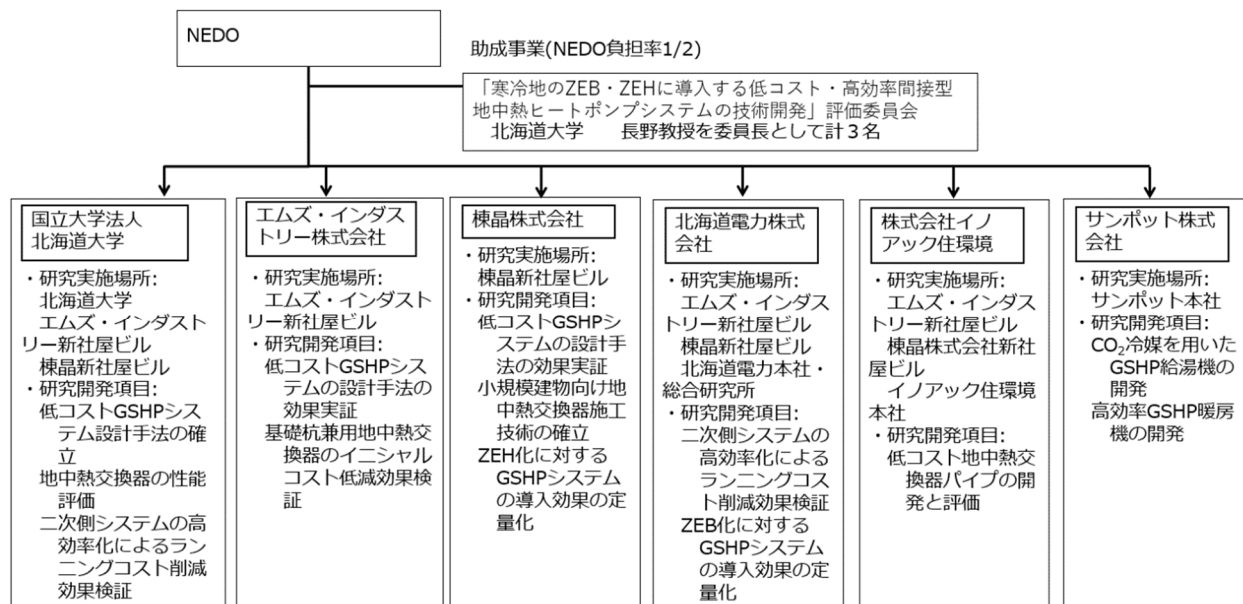
(1.2) 直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発



(1.3) ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発

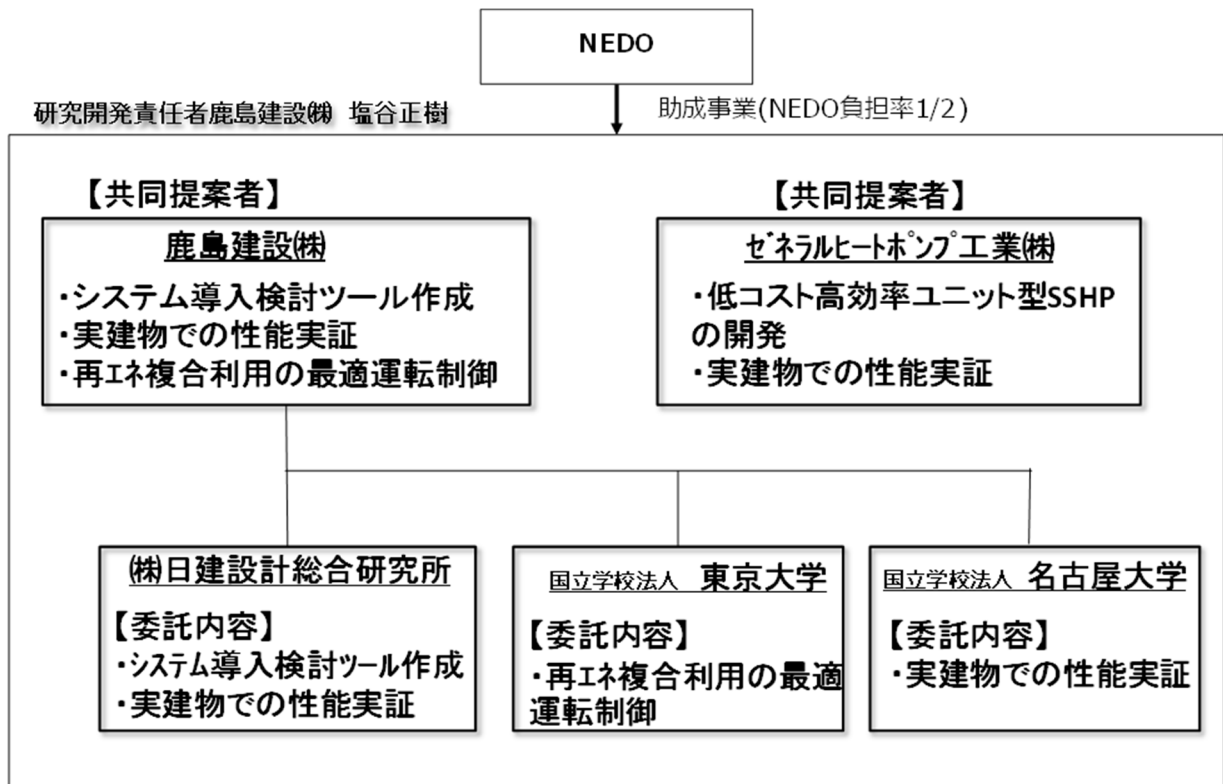


(1.4) 寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発

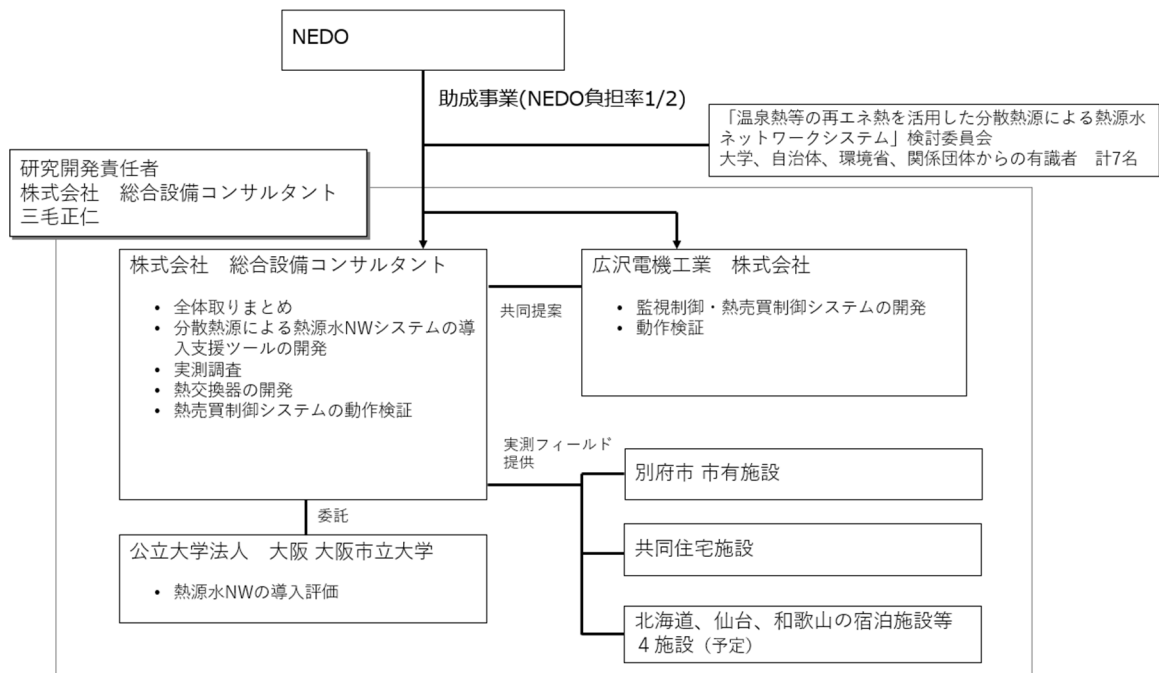


(2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発

(2.1) 天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発

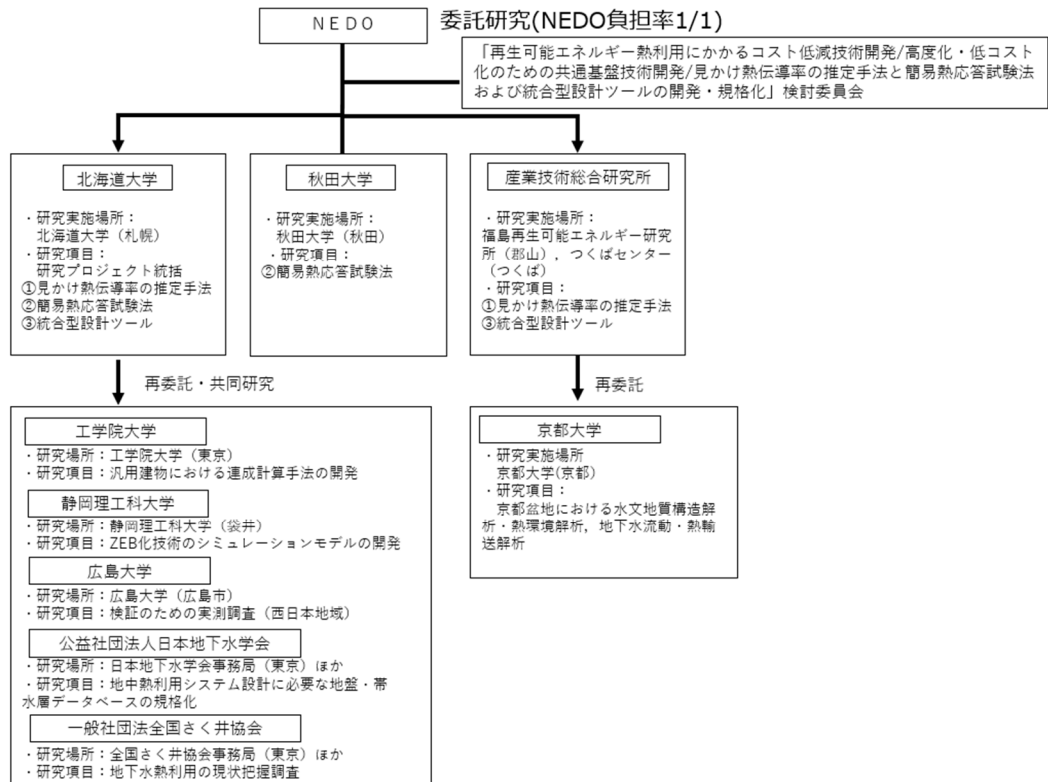


(2.2) 温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発

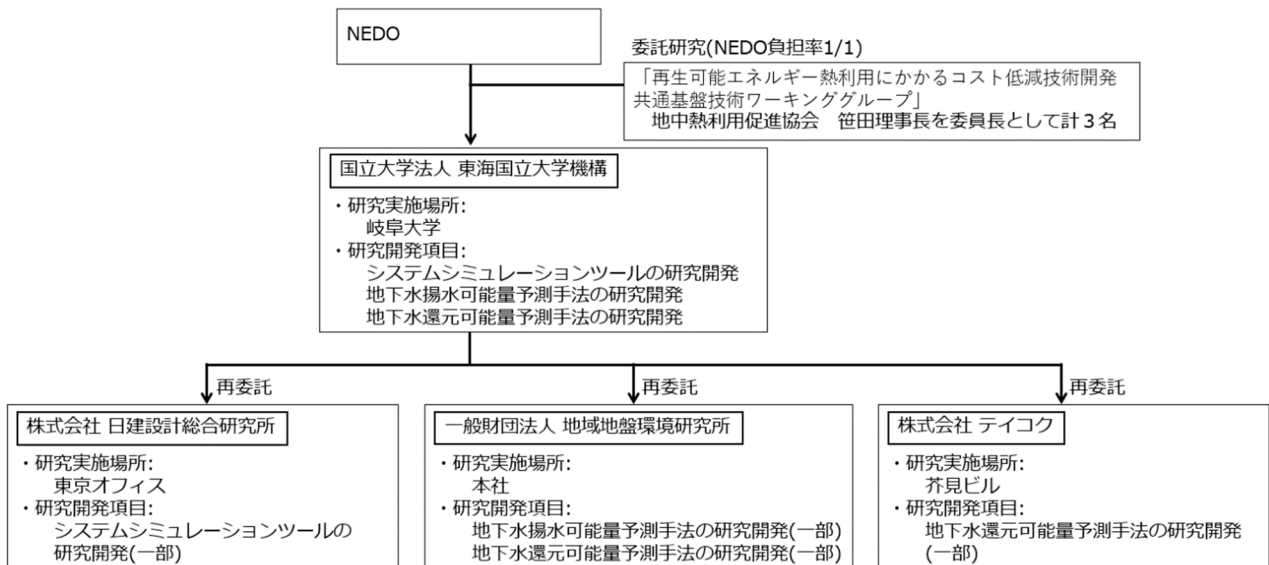


(3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

(3.1) 見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化



(3.2) オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究



II.2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる。NEDOは、研究開発全体の管理・執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な対策を講じるものとする。運営管理にあたっては、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

プロジェクトマネージャー（PM）は、経済産業省及び研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努めている。

② 技術分野における動向の把握・分析（調査委託）

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等は効率的に実施する観点から委託事業として実施している。

外部有識者で構成する技術検討委員会は年に1回実施することとし、全テーマの進捗報告のもと技術評価、助言を行い、目標達成の見通しを常に把握することに努めている。

表II.2.3-1 技術検討委員会

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	長野克則	国立大学法人北海道大学大学院 工学研究院 空間性能システム部門 環境システム工学研究室 教授/工学研究院国際交流室長
委員	秋元孝之	学校法人芝浦工業大学 建築学部 建築学科 教授
委員	大谷具幸	国立大学法人岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 教授
委員	福田 桂	株式会社三菱総合研究所 未来構想センター 兼 環境・エネルギー事業本部 脱炭素ソリューショングループ
委員	横山計三	学校法人工学院大学 建築学部 まちづくり学科 教授

所属は、委員会組織時点のもの

開発項目の着実な実施と確実な達成に向けては、事業者が主体的に構成する委員会を設け、内・外有識者からの指導、助言により実施内容や目標設定を修正しつつ進めている。また、普及方策・行動計画策定のための委員会は、併用または新規に構成し、自治体や業界団体との意見交換や課題抽出を実施している。なお、NEDOはオブザーバーとして参加し、進捗の管理を行っている(表II.2.3-1.1~3.1)。

(1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発

表Ⅱ.2.3-1.1 給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発「給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発」検討委員会
株式会社ワイビーエム
昭和鉄工株式会社

評価委員会

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	森川 俊英	株式会社森川鑿泉工業所 代表取締役
外部検討委員	藤井 光	国立大学法人秋田大学 大学院国際資源学研究科 国際資源学部長、国際資源学研究科長、教授
外部検討委員	宮崎 隆彦	国立大学法人九州大学 大学院総合理工学研究院 教授
内部検討委員	平田 清	昭和鉄工株式会社 事業統括部 新規事業・新商品開発本部 本部長
内部検討委員	鬼木 和則	昭和鉄工株式会社 事業統括部 新規事業・新商品開発本部 次長
内部検討委員	松本 翔馬	昭和鉄工株式会社 事業統括部 新規事業・新商品開発本部 主任
内部検討委員	宮良 明男	国立大学法人佐賀大学 大学院工学系研究科 教授
内部検討委員	仮屋 圭史	国立大学法人佐賀大学 大学院工学系研究科 准教授
内部検討委員	内田 洋平	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム チーム長
内部検討委員	富樫 聡	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム 主任研究員
内部検討委員	持留 雄一郎	ライフエンジニアリング株式会社 代表取締役
内部検討委員	永野 詳二	ライフエンジニアリング株式会社 技術顧問
内部検討委員	吉田 力雄	株式会社ワイビーエム 代表取締役社長
内部検討委員	川崎 賢一郎	株式会社ワイビーエム 技術開発部 部長
内部検討委員	松尾 秀幸	株式会社ワイビーエム 技術開発部 副部長
内部検討委員	大久保 博晃	株式会社ワイビーエム 技術開発部 G長
内部検討委員	石丸 秀和	株式会社ワイビーエム 総務部 課長代理
内部検討委員	藤竹 雅	株式会社ワイビーエム 技術開発部

所属は、委員会組織時点のもの

普及委員会

担当	氏名 (敬称略)	所属
普及委員	大野 伸寛	佐賀県 新エネルギー産業課 参事
普及委員	本多 公明	鹿児島県 エネルギー政策課 課長
普及委員	笹田 政克	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会 理事長
普及委員	原田 烈	一般社団法人 有明未利用熱利用促進研究会
普及委員	永野 詳二	鹿児島県地中熱利用促進協議会
普及委員	三島 伸雄	公益社団法人日本建築家協会
普及委員	承山 孝吉	佐賀県設備設計事務所協会
内部委員	平田 清	昭和鉄工株式会社 事業統括部 新規事業・新商品開発本部 本部長
内部委員	鬼木 和則	昭和鉄工株式会社 事業統括部 新規事業・新商品開発本部 次長
内部委員	松本 翔馬	昭和鉄工株式会社 事業統括部 新規事業・新商品開発本部 主任
内部委員	宮良 明男	国立大学法人佐賀大学 大学院工学系研究科 教授
内部委員	仮屋 圭史	国立大学法人佐賀大学 大学院工学系研究科 准教授
内部委員	持留 雄一郎	ライフエンジニアリング株式会社 代表取締役
内部委員	吉田 力雄	株式会社ワイビーエム 代表取締役社長
内部委員	川崎 賢一郎	株式会社ワイビーエム 技術開発部 部長
内部委員	松尾 秀幸	株式会社ワイビーエム 技術開発部 副部長
内部委員	大久保 博晃	株式会社ワイビーエム 技術開発部 G長
内部委員	石丸 秀和	株式会社ワイビーエム 総務部 課長代理
内部委員	藤竹 雅	株式会社ワイビーエム 技術開発部

所属は、委員会組織時点のもの

表 II 2.3-1.2 直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発 「直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発」検討委員会

株式会社藤島建設
株式会社ハギ・ポー
中外テクノス株式会社
伊田テクノス株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長 (外部委員)	成田 健一	日本工業大学 学長 教授
内部委員 (事業者担当)	萩原 利男	株式会社ハギ・ポー 代表取締役
内部委員 (事業者担当)	小野 俊夫	株式会社ハギ・ポー 環境事業部 取締役
内部委員 (事業者担当)	中澤 俊也	株式会社ハギ・ポー 環境事業部 部長
内部委員 (事業者担当)	森廣 琢之	中外テクノス株式会社 工業技術事業本部 本部長
内部委員 (事業者担当)	柳生 達哉	中外テクノス株式会社 工業技術事業本部 次長
内部委員 (事業者担当)	及川 直哉	伊田テクノス株式会社 基礎技術本部 本部長
内部委員 (事業者担当)	宮下 隆志	伊田テクノス株式会社 基礎技術本部 課長
内部委員 (事業者担当)	武田 哲明	国立大学法人山梨大学 大学院 総合研究部 教授
内部委員 (事業者担当)	横谷 哲郎	株式会社トーレイ 技術部 部長
内部委員 (事業者担当)	板垣 淳	富士商事株式会社 代表取締役
内部委員 (事業者担当)	渡邊 弘美	株式会社藤島建設 取締役会長
内部委員 (事業者担当)	依田 修	株式会社藤島建設 技術開発部 部長

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-1.3 ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発「ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発」検討委員会

日本地下水開発株式会社
ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	森谷祐一	国立大学法人東北大学大学院工学研究科
委員	内田洋平	国立研究開発法人産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム
委員	高橋 徹	山形県環境エネルギー部エネルギー政策推進課
委員	笹田政克	NPO 法人地中熱利用促進協会
外部有識者	藤井 光	国立大学法人秋田大学大学院国際資源学研究科
外部有識者	吉岡真弓	国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター研究戦略部研究企画室

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-1.4 寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発「寒冷地の ZEB・ZEH に導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発」検討委員会

国立大学法人北海道大学
エムズ・インダストリー株式会社
棟晶株式会社
北海道電力株式会社
株式会社イノアック住環境
サンポット株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	長野 克則	北海道大学
委員	笹田 政克	地中熱利用促進協会
委員	山崎 量平	北海道経済産業局

所属は、委員会組織時点のもの

(2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発

表 II 2.3-2.1 天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発「天空熱源ヒートポンプ (SSHP) システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発」検討委員会

鹿島建設株式会社
ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	大岡 龍三	国立大学法人 東京大学 生産技術研究所 教授
委員	笹田 政克	地中熱利用促進協会 理事長
委員	田中 英紀	国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 施設・環境計画推進室 教授

所属は、開発会議組織時点のもの

表 II 2.3-2.2 温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発「温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発」検討委員会

株式会社総合設備コンサルタント
広沢電機工業株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員	中村 賢一郎	別府市 観光戦略部 温泉課 温泉政策係
委員	河瀬 貴広	環境省 自然環境局自然環境整備課 温泉地保護利用推進室
委員	井上 聡	一般財団法人ヒートポンプ蓄熱センター
委員	水野 稔	大阪大学
委員	鎌田 元康	東京大学
委員	赤井 仁志	福島大学 理工学群 共生システム理工学類
委員	長井 達夫	東京理科大学 工学部 建築学科

所属は、委員会組織時点のもの

(3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

「高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発」に関しては、NEDO マネジメントのもと共通基盤技術ワーキンググループを実施し、共通基盤技術開発者からの報告、専門家からの技術的アドバイス、調査結果の報告を踏まえて、2つのコンソーシアム体制の研究開発成果の統一を目的としている。

表 II 2.3-3.1 共通基盤技術ワーキンググループ

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	笹田 政克	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会 理事長
委員	濱元 栄起	埼玉県環境科学国際センター 土壌・地下水・地盤担当 専門 研究員
委員	星野 聡基	株式会社日本設計 環境・設備設計群 グループ長

所属は、ワーキンググループ組織時点のもの

(知的財産権等の取り扱い)

開発成果に対する取り扱いとして、助成事業の成果に関わる知的財産権等はすべて実施機関に帰属させることとし、委託事業においても原則として、すべて実施機関に帰属させることとする。

実施機関においては、我が国産業の国際競争力の強化を図るべく、開発した技術や成果の特徴を踏まえた知的財産マネジメントを実施する。

知的財産マネジメントとして、例えば、技術成果の公開や権利化を通して、再生可能エネルギー熱利用技術を普及させるためのマネジメントや、開発技術や研究成果をオープンソースとして公開し技術の普及や浸透を目指すマネジメントなど、各実施機関のマネジメント戦略に基づく取り扱いを行う。

II.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び各研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施している。

特に「高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発」に関しては、再生可能エネルギー熱利用の共通基盤を確立する観点から、事業開始より該当する2つのテーマを対象に共通基盤技術ワーキンググループを実施し、実施者からの定期的な報告を受け、実施者間の共有認識や有識者からの技術的助言等により共通基盤技術の統一的方向性を整理している。なお、初年度となる2020年度は調査結果の報告を踏まえて、共通基盤技術をユーザーが活用しやすくするために必要な事項の整理を実施し、規格化に向けたマネジメントを行った。なお、本研究開発はフィールド試験による検証を行うことから、現地確認も含め今後も定期的に開催を予定している。

2021年度からは、より効率的な研究開発を実施する観点から、事業者間検討会を実施している。各テーマが所有するフィールドデータの共有や、さらなる協議の活性化を目的として研究開発成果の統一に向けた具体的な取り組みの整理等により、両者の進捗状況を共有しつつ着実に実用化に向けたマネジメントを行っている。今後も事業者の進捗に応じて開催予定としている。

表 II.2.4-1 共通基盤技術ワーキンググループと事業者間検討会

開催日	会議	場所	内容
2020年7月27日	共通基盤技術WG	Web会議	・共通基盤技術ワーキングについて ・共通基盤技術の開発計画について ・今年度実施予定の実態調査について
2020年10月21日	共通基盤技術WG	Web会議	・共通基盤技術開発の進捗について ・共通基盤技術の目指すべき方向性について
2021年2月17日	共通基盤技術WG	Web会議	・共通基盤技術開発の進捗について ・実態調査結果について
2021年6月15日	事業者間検討会	Web会議	・成果の報告について ・研究開発成果の統一に向けた具体的な取り組みについて
2021年9月1日（予定）	共通基盤技術WG	現地確認 (北海道)	・共通基盤技術の成果統一について ・研究開発成果の現地確認

II.3 情勢変化への対応

2019年度に実施した調査委託業務「海外における再生可能エネルギー熱利用のロードマップおよび共通基盤技術に係る調査」により情報収集を行った結果、再生可能エネルギー熱の普及拡大に資する共通基盤技術の重要性を認識し、2020年度に(3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発を追加し、公募を実施した。

II.4 評価に関する事項

技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を2024年度に実施する。

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅲ.1 事業全体の成果

Ⅲ.1.1 研究開発項目毎の成果(2021.7 現在)

(1)地中熱利用システムの低コスト化技術開発

研究開発項目①地中熱利用システムの低コスト化技術開発の中間目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-1に示す。

表Ⅲ.1.1-1 中間目標の達成度

FY2021 末目標	成果	達成見込
2023 年度までの可能な限り早期にトータルコストを 20%以上低減(投資回収年数 14 年以下)させる可能性を実験等で示す。	<ul style="list-style-type: none"> ・ZEB・ZEH 設計手法の確立 ・実証施設への設備導入完了、試験開始 ・実証試験によりトータルコスト 20%以上の削減の見通しを付けた。 	○

最終目標達成の見通しを表Ⅲ. 1. 1-2に示す。

表Ⅲ. 1. 1-2 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
<ul style="list-style-type: none"> ・2023 年度までにシステムのトータルコストを 20%以上低減(投資回収年数 14 年以下) ・2030 年までにトータルコストを 30%以上低減(投資回収年数 8 年以下)するための道筋及び具体的取り組み(普及方策)を行動計画としてまとめる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・想定値と実測結果との比較検証が必要。導入済の実証設備での運転データを解析する。 ・地盤条件や地域条件の異なる地点での設置コスト削減効果の検証が必要。更なる施工試験を実施。 ・ヒートポンプ等、要素技術実用化のための課題抽出が必要。実証試験により課題抽出。 	導入設備での実測を行い、運転データの検証が完了すれば目的は達成できる見通し。

(2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発

研究開発項目②太陽熱等利用システムの高度化技術開発の中間目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-3に示す。

表Ⅲ.1.1-3 中間目標の達成度

FY2021 末目標	成果	達成見込
2023 年度までの可能な限り早期にトータルコストを 20%以上低減(投資回収年数 14 年以下)させる可能性を実験等で示す。	<ul style="list-style-type: none"> ・熱応答試験により設計完了し実証施設への導入完了。 ・最適運転制御はシミュレーションにて高精度で再現済。 ・複数地点にて開発する計測ユニットを用い計測を実施。低コスト温泉排湯用熱交換器の設計完了。 	○

最終目標達成の見通しを表Ⅲ.1.1-4に示す。

表Ⅲ.1.1-4 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
<ul style="list-style-type: none"> ・2023年度までにシステムのトータルコストを20%以上低減(投資回収年数14年以下) ・2030年までにトータルコストを30%以上低減(投資回収年数8年以下)するための道筋及び具体的な取り組み(普及方策)を行動計画としてまとめる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・開発したシミュレーションツールを活用してシステム導入の建物を対象に、適正な運転方法や省エネ性能を算出。 ・実建物での年間運転実績データの分析に基づく開発システムの運転性能を検証。 ・熱売買制御システムのシミュレーションモデル構築後、検証を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒートポンプを中心とした構成機器の低コスト化に目途がついており、今後実建物の運転データの収集・検証により達成可能。 ・実測対象施設の現場調査の検証を行い、計測ユニットの改良により達成見込み。

(3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

研究開発項目③高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発の中間目標に対する成果と達成度を表Ⅲ.1.1-5に示す。

表Ⅲ.1.1-5 中間目標の達成度

FY2021 末目標	成果	達成見込
共通基盤技術開発における推定・評価技術、設計ツールについては、事業者が設定する開発目標の妥当性を外部有識者にて審議し、妥当であるとの評価を得る。	<ul style="list-style-type: none"> ・見かけ熱伝導率の推定値の検証 ・簡易 TRT 手法の数値シミュレーションによる検証 ・設計ツールにかかるオープンループ方式の計算手法完成 ・オープンループ方式に対応した LCEM モジュールのプロトタイプを作成完了。 	△

最終目標達成の見通しを表Ⅲ.1.1-6に示す。

表Ⅲ.1.1-6 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
<ul style="list-style-type: none"> ・設計時に利用する見かけ熱伝導率(λ)を$0.5W/(m \cdot K)$以下の間隔で推定可能な評価技術を開発し、有効性を地質水文環境の異なる3か所以上で検証する。 ・簡易 TRT 技術は、試験方法を簡易化し実用レベルに達していることを実証する。 ・多様な熱負荷条件やオープンループ方式を含む熱源方式に対応した設計ツールを開発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・各推定手法の適用条件の整理、実用化可能性(長期の導入効果予測等)の検討。 ・数値 TRT とフィールド試験の比較により、試験の有効性及びコスト削減効果について分析。 ・更なる地中熱交換器の計算法、LCEM 等他ツールの連携方法、蓄熱を計算するシミュレータを順次開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・各推定手法の要素技術開発(数値 TRT、地形 AI 解析等)や検証データ取得が計画通り進捗しており、目標達成見込み。実証データとの検証を踏まえ、ツールとして完成見込み。 ・抽出した課題に対し、今後実測データを用いた検証を行う。

Ⅲ.1.2 知的財産等の取得、成果の普及

成果の普及については、NEDOは、技術情報流出に配慮しつつ、実用化・事業化を推進するため、情報発信を行うように指導している。事業全体の特許、論文、外部発表等の件数を表Ⅲ.1.2-1に示す。

NEDO自身も、学会・シンポジウムでの講演、専門誌への寄稿等を行っており表Ⅲ.1.2-2に示す。

表Ⅲ.1.2-1 事業全体の特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	6件	4件	1件
2020FY	2件	0件	0件	3件	1件	22件	14件	3件
2021FY	0件	0件	0件	1件	0件	21件	6件	1件
計	2件	0件	0件	4件	1件	49件	24件	5件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

表Ⅲ.1.2-2 NEDO 自身による本事業に関する特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	7件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	7件	4件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件
計	0件	0件	0件	0件	0件	14件	7件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

Ⅲ.1.3 個別テーマ毎の成果(まとめ)

(1)中間目標(2021年度)に対する成果

本事業は、多岐にわたる技術領域を要していることから、個別テーマごとに中間目標を設け、各開発項目の成果を組み合わせることにより最終目標のコスト低減目標の可能性を示すこととする。個々のテーマについて、2021年度末中間目標に対して順調に成果を得ている(表Ⅲ. 1. 3-1)。

表Ⅲ.1.3-1 個別テーマの目標と成果(中間目標)

研究開発テーマ	2021年度末目標	現状成果	課題と解決方針
(1.1) 給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 一人で地中熱交換井を施工する目途を付ける。 空気熱源 CO₂ヒートポンプ給湯器に比べてイニシャルコストを15%削減する目途を付ける。 従来の地中熱交換器(Uチューブ)に比べて、設置費用を33%削減する目途を付ける。 	<ul style="list-style-type: none"> 一人で施工するための掘削機に関しては、掘削データをオペレータのもとに集約するためのモニタリングシステムの開発を行った。 熱交換器の発揮能力実証と複数仕様で設計した各圧力容器の比較検討のために、基礎試験装置の設計・製作と一部試験を実施した。 数値シミュレーションで地中熱交換器の検討を行った。 	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験にて、種々な仕様の地中熱交換器を設置しシミュレーションモデルを検証する予定。 タンクユニットを含めたシステムを試験検証する必要がある。
(1.2) 直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置にかかるコスト低減技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> コスト低減のための技術的な課題の確立。 HPU等のプロトタイプ完成。構工法の確立。 設計に活用するための基礎データの収集と分析。 	<ul style="list-style-type: none"> HPUの部分では空調用のプロトタイプを完成し、地中熱交換器の開発では小口径ボアホールへの適用を確認。 施工法の削減では、口径掘削技術や本設鋼管の熱交換器利用技術の確立。 設計法では基礎的な技術情報の収集と分析が完了。 	<ul style="list-style-type: none"> HPUにつき、メーカー等との調整や販売体制の整備・確立を考慮する必要有り。 施工法では技術の改良と習熟度の向上が必要。設計法では、設計精度の向上と設計範囲の拡大を目指す。
(1.3) 高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムと専用ヒートポンプの開発	<ul style="list-style-type: none"> 実証施設とトータル熱供給システム構築を完了、モニタリングデータ収集開始 フリークーリングの開始 太陽熱を併用して高効率システムを構築 ZEB実証施設に専用ヒートポンプを設置して稼働開始 効率等モニタリングデータ集積開始 スケール防止機構有効性検証 	<ul style="list-style-type: none"> ZEB実証施設とトータル熱供給システム構築完了 フリークーリング冷房を実施 太陽熱併用システム構築 冷暖房切り換え時に井戸洗浄実施 専用ヒートポンプ設置を完了し稼働開始 効率等モニタリングデータ集積開始 ストレナを使用しての検証を開始 	<ul style="list-style-type: none"> 適応性評価を実行 フリークーリング向け冷温地下水の増強は次期暖房時の実現 給湯用途増加のため追加工事を実施予定 高効率を持続できる最適稼働設定を検討予定 スケール付着進行度推定にも取り組む予定
(1.4) 寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> トータルコスト20%以上の削減を可能とする設計手法の確立 新型地中熱交換器の開発で設置コスト20%以上の削減 出力6.0kW、COP4.3を達成できるヒートポンプ給湯機、ヒートポンプ暖房機①を開発する。 出力4.0kW、COP4.5を達成できるヒートポンプ暖房機②を開発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 設計手法を確立し、トータルコスト20%以上の削減の見通しを付けた 新型地中熱交換器の施工試験の結果から設置コスト20%以上の削減の見通しを付けた ヒートポンプ給湯機、ヒートポンプ暖房機①を試作し、評価試験により目標達成見込みを示した。 ヒートポンプ暖房機②を設計した。 	<ul style="list-style-type: none"> 実測データとの比較による検証が必要。施工試験を実施した現場にて実測を行う 地盤条件や地域条件の異なる地点での設置コスト削減効果の検証必要。更なる施工試験の実施で最終目標を達成できる見込み ヒートポンプの実用化のための課題抽出が

			必要。実証試験により課題抽出
(2.1) 天空熱源ヒートポンプシステム(SSHP)システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発	SSHP 大府実証システムⅡ期工事を2021年8月めどに完成させ、運転データに基づく年間性能評価を実施。SSHPシステムのCO ₂ 削減効果、省エネ効果の検証を行う。	実証建物における既存空調機のエネルギー消費量を計測。2021年8月めどに実証システムⅡ期工事(地中熱敷設、空調機更新、給湯ヒートポンプの追加設置)を実施。	SSHP 実証システムⅡ期工事は順調に進捗し8月中に完成。今後の運転データ収集と性能評価を通じて中間目標を達成できる見込み。
(2.2) 実温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査及び、国内外事例調査	低コストな長期温泉計測方法の確立	温泉計測、熱量計測に使用可能な計測器条件を調査、整理する。	計測ユニットモジュールの検証のため、宮城県内の宿泊施設、新潟県内の日帰り温浴施設、大分県内の温浴施設、集合住宅の4施設に設置し、現在計測中。 今後、北海道、仙台、和歌山等の異なる条件下でも実施、検証を行い、計測方法の確立を目指す。
(3.1) 見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化	<ul style="list-style-type: none"> ・水文地質学的小および統計学的な見かけ熱伝導率推定手法のスキーム確立 ・簡易 TRT 装置の開発と、現場試験、数値シミュレーションによる検証 ・統合型設計ツールの基本計算ロジックの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・考案した各推定手法による推定値の検証を実施(検証データ取得も含む) ・簡易 TRT 装置の製作に着手するとともに、数値シミュレーションによる検証を実施 ・建物・空調設備の連成シミュレーション、オープンループ方式のサイクル計算手法が完成 	<ul style="list-style-type: none"> ・各推定手法の適用条件の整理、実用化可能性(長期の導入効果予測等)の検討 ・数値 TRT と実試験を組み合わせ、試験の有効性及びコスト削減効果について分析 ・更なる地中熱交換器の計算法、LCEM 等他ツールの連携方法、蓄熱を計算するシミュレータを順次開発
(3.2) システムシミュレーションツールの研究開発	オープンループ方式地中熱利用システムの年間エネルギー消費量を実測値に対して誤差 25 % 以内で予測可能な技術を開発する。	オープンループ方式に対応した LCEM モジュールのプロトタイプ作成完了	実測データを用いた検証を通して課題を抽出し、問題点の解決を図る

(2)最終目標の達成見通し

表Ⅲ.1.3-2 個別テーマの最終目標と達成見通し

研究開発テーマ	最終目標[目標年度]	達成見通し
(1.1) 給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発	従来の地中熱ヒートポンプシステムを給湯需要がある福祉施設(2,000m ²)へ導入する場合に比べて、インシャルコストを23%削減する。	地中熱交換井を一人で施工する等の開発を行うことで、目標達成見込み。
(1.2) 直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置にかかるコスト低減技術の開発	【2021年度終了予定】 低コスト機器の開発、低コスト施工法の開発、低コスト設計法の開発などの総合的な見直しにより、地中熱HPシステムの設置コストを従来に比較し20%削減。	【2021年度終了予定】 ・低コスト機器と低コスト施工法のコスト試算と実証を進める。 低コスト設計法ではシミュレーション技術が確立。ポテンシャルマップの活用と設計モードの確立による設計コストの削減により目標達成見込み。
(1.3) 高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムと専用ヒートポンプの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・本システムのZEB適応性実証 ・本システムのインシャルコスト・ランニングコスト共に30%低減 ・普及に向けた技術評価手法を確立 ・専用ヒートポンプの性能評価と最適稼働設定の確立 ・スケール防止機構の概略確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・フリークーリングによる冷房が省電力に大きく貢献することを確認し、ランニングコストの30%低減見込み ・インシャルコストの項目毎に検討を進め30%低減見込み ・技術評価手法について検討を進め、評価手法確立の見込み ・冷暖房、給湯時のCOPデータ収集を開始し、最適稼働設定の検討を進めており、目標COPを達成見込み ・ストレナ使用によるスケール防止効果検証を開始し、モニタリングデータと併せてスケール防止機構を確立できる見込み
(1.4) 寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・新型地中熱交換器の導入により熱交換器設置コスト20%以上の削減 ・新型地中熱交換器、ヒートポンプ、二次側運用技術、設計手法を組み合わせトータルコスト20%以上の削減 	<ul style="list-style-type: none"> ・新型地中熱交換器の施工方法確立の目途がつき、地盤条件や地域条件の異なる地点での施工試験を実施して、設置コスト削減目標を達成できる見込み ・ヒートポンプ、二次側運用技術、設計手法の各要素について実測データとの比較による検証を行い、それぞれの要素の目標の達成を示すことで、トータルコスト削減の目標達成見込み。
(2.1) 天空熱源ヒートポンプシステム(SSHP)システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・実建物での運転データ解析により、既存空調機(GHP)、一般的なEHPに対するCO₂、エネルギー消費量の削減効果を定量的に示す。 ・過年度(2014年度～2018年度)に開発したSSHPシステムに対し、トータルコスト20%以上減、投資回収年数14年以下にめどをつける。 	<ul style="list-style-type: none"> ・計画通り進捗しており目標は達成見込み。 ・構成機器の低コスト化にめどが立っており、コスト目標も達成見込み。
(2.2) 実温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査及び、国内外事例調査	<ul style="list-style-type: none"> ・低コストな長期温泉計測方法の確立 	5カ所以上の温泉施設での実測により、低コストかつ安定して温泉流量等の長期計測方法を確立する。

<p>(3.1) 見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・水文地質学のおよび統計学的な見かけ熱伝導率推定手法の開発・規格化 ・低コストに寄与する簡易 TRT 法を開発, 規格化 ・クローズドループ・オープンループ方式統合型設計性能予測ツールを開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・各推定手法の要素技術開発(数値 TRT、地形 AI 解析等)や検証データ取得が計画通り進捗しており、目標達成見込み ・推定式が得られることから、地盤データベースとの組み合わせることで目標達成可能。 ・開発する TRT により、今後整理する適切な条件に応じて低コスト化が実現可能 ・熱負荷連成や多種熱交換器, 複雑な地盤条件対応, オープンループ方式は理論計算, 数値シミュレータを開発し, それらを統合
<p>(3.2) システムシミュレーションツールの研究開発</p>	<p>設計者が簡易に地中熱ヒートポンプ導入時のエネルギー消費量の計算を行うことができ、設計建物に採用される地中熱ヒートポンプやその他の熱源を含む全ての空調熱源のトータルシステムシミュレーションを行うツールを開発する。</p>	<p>今後の実測データを用いた検証を待つ必要があるものの、前回プロジェクトでクローズドループ方式で大きな誤差を生じた要因が長い横引き配管と少ない一次側流量であることがつかめており、オープンループ方式では極端な少流量となりにくいために目標達成見込み。</p>

Ⅲ.2 個別テーマの成果の概要

(1)地中熱利用システムの低コスト化技術開発

(1.1)給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発

【成果概要】

- ① 掘削機の開発に関しては、掘削に係る操作およびデータをオペレータに集約するために、無線リモコンの検討やモニタリングシステムの開発を行った。
- ② 掘削機周辺機器の開発に関しては、ロッドチェンジャーに関してセントラライザの検討やロッドストッカーの検討を行った。
- ③ 地中熱自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機の開発に関しては、ガスクーラー・蒸発器・アキュムレータ等の主要構成部品の試験機設計を終了し、基礎試験機を製作し、量産プロトモデルの試作機的设计に着手した。
- ④ 地中熱交換器の開発に関しては、同軸型地中熱交換器の数値シミュレーションモデルを作成し、仕様の検討を行った。
- ⑤ 新規 TRT に関しては、2021 年度中に実証試験予定である。
- ⑥ 最適な地中熱システムの導入に関しては、地中熱交換井離隔距離の検討のためのシミュレーションで使用する地中熱交換井周りの地下温度の計測を行った。

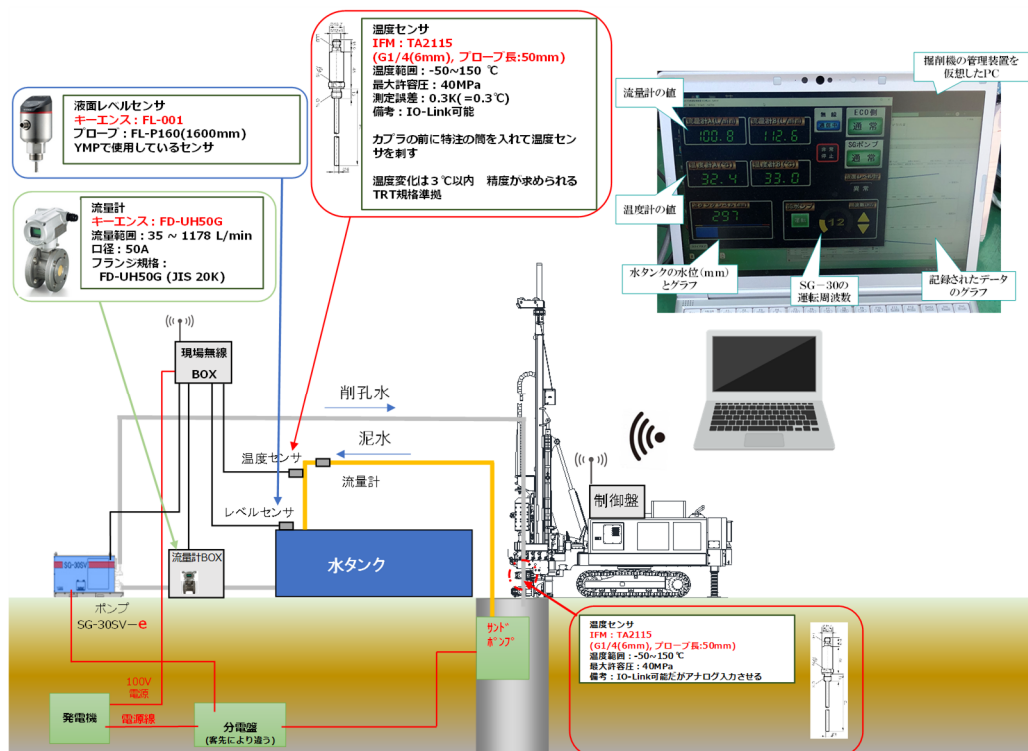
【項目別成果】

①掘削機の開発

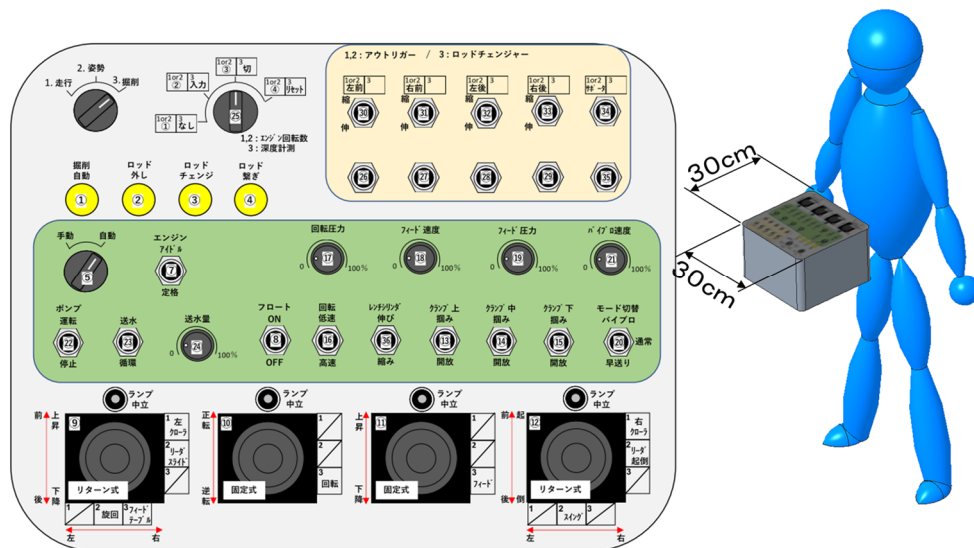
掘削機の開発に関しては、地中熱交換井を一人で施工することを目標に、掘削に係る操作およびデータをオペレータの基に集約するための開発を行った。具体的には、液面レベルセンサー、温度センサー、流量計を取りつけて掘削を行い、各種データのモニタリングが可能かを検証した。

また、無線リモコンで操作するため、電磁操作バルブの検討や無線操作盤の検討を行った。

2021 年度中には、掘削機の製作を完了予定である。



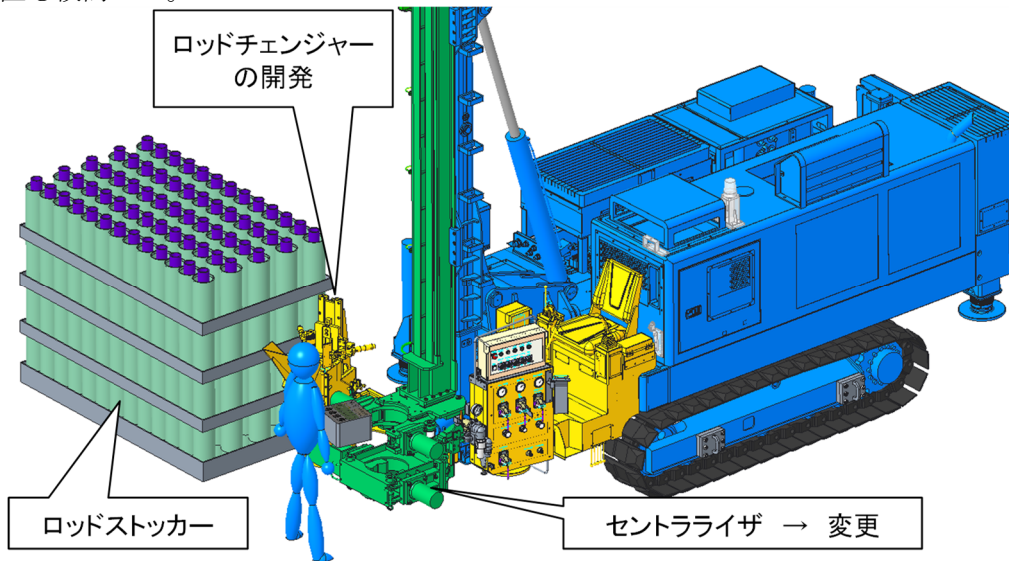
図Ⅲ(1.1)-1 モニタリング試験時の計測器の配置



図Ⅲ(1.1)-2 無線操作盤の検討図

②掘削機周辺機器の開発

ロッドチェンジャーについて検討を行った。セントライザの検討では、過年度の掘削機械に新規クランプを配置し、作業者が手掛けレンチを使わずに、作業できるようにした。また、ロッドストッカーの配置も検討した。



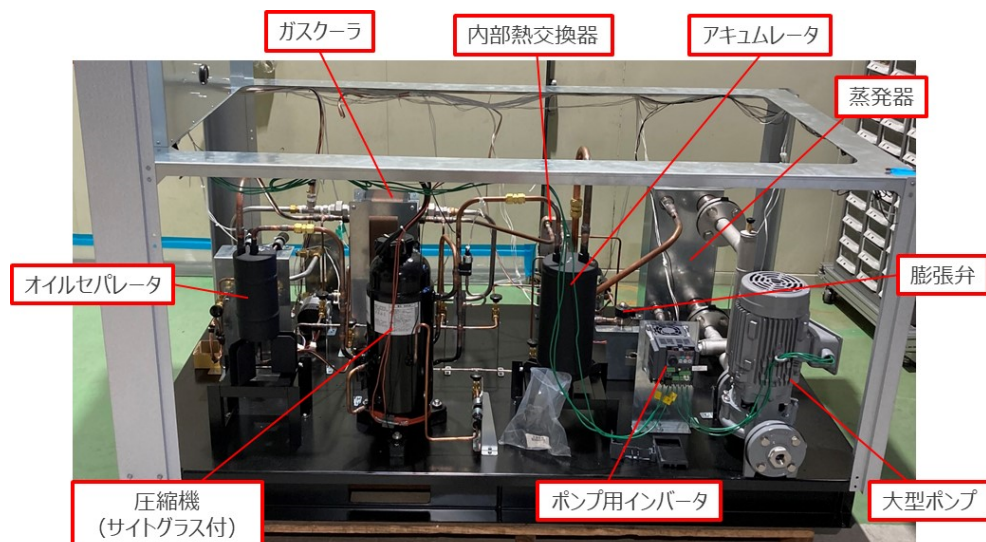
図Ⅲ(1.1)-3 掘削機周辺機器の概要図

③地中熱自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機の開発

最終仕様機を見据えて再設計した熱交換器の発揮能力実証と複数仕様で設計した各圧力容器の比較検討のために、基礎試験装置の設計・製作と一部試験を実施した。

蒸発器は 90℃出湯を条件とした給湯サイクルを加熱能力 30kW、目標年間 COP3.6 以上の想定でシミュレーションにより仮定して設計した。定格条件としては蒸発器入口ブライン温度 10℃⇒蒸発器出口ブライン温度 5℃で 20～23kW の熱交換量を確保するようにした。ブライン濃度はエチレングリコール 40%を想定している。

オイルセパレータおよびアキュムレータは構造の異なるものをそれぞれ 4 種と 2 種設計し、以下の写真のように基礎試験装置を製作した。試験ではオイルセパレータおよびアキュムレータを取り換えられるようにしている。



図Ⅲ(1.1)-4 基礎試験装置写真

試験においてはオイルセパレータ、アキュムレータにおける圧力脈動の減衰効果が確認され、その効果は容器内容積への依存度が大きいことが分かり、オイルセパレータのオイル捕縛効率はフィルター式の方がよいことが分かった。また圧力容器の種類による配管振動への影響はないことが分かった。

現在までの目標達成状況は概ね目標通りであり、今後、基礎試験装置による構成要素の評価を継続、最終仕様を定めて装置を設計製作予定である。今回の成果は最終仕様を定める指標として意義があり、2021年度中には装置性能評価を実施予定である。

④地中熱交換器の開発

掘削径 165mm へ設置可能な同軸型地中熱交換器の検討を行った。具体的には、ポリエチレンパイプを用いた同軸型地中熱交換器を 2 種類検討し、一つの地中熱交換井の中に複数設置出来るかを検討した。また、過去に佐賀大学内に設置した同タイプの同軸型地中熱交換器の実験結果を再現する数値シミュレーションモデルを作成した。また、複数設置の場合のシミュレーションを行った。

2021年度は、検討した地中熱交換器を設置し、実証試験を行う予定である。

⑤新規 TRT の開発

使用する地中熱交換器の検討・製作を行い、地質調査後の穴に設置した。また、板状熱伝導測定セルを側壁に押し当てて測定する方法の検討・製作を行い、さまざまな条件で熱伝導率測定を行った。

⑥最適な地中熱システムの開発

地中熱交換井離隔距離の検討に関しては、佐賀大学内の実験場に温度計を設置した。温度計は、地中熱交換井から 1m 離れた 2 か所とそれぞれ 2m、3m 離れた位置の計 4 か所に、深度 10m、20m、30m の位置に設置した。設置後に地下温度計測を行い、得られたデータを纏めている。また、2021年度に地中熱交換井離隔距離の検討のためのシミュレーションを行う予定である。

表Ⅲ(1.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(1.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①掘削機の開発	掘削機の開発中である。	一人で地中熱交換井を施工する。	現在までに所定の開発がなされ、掘削を一人で施工可能になると考えられるので、達成可能。
②掘削機周辺機器の開発	掘削機周辺機器(ロッドチェンジャー、地中熱交換器挿入機)の開発中である。	一人で地中熱交換井を施工する。	現在までに所定の開発がなされ、掘削を一人で施工可能になると考えられるので、達成可能。
③自然冷媒(CO ₂)ヒートポンプ給湯機の開発	CO ₂ ヒートポンプ基礎試験の設計製作試験が終了した。	空気熱源 CO ₂ ヒートポンプ給湯機に比べてイニシャルコストが 15%削減する。	空気熱源 HP に比べ 15%削減は達成可能。
④地中熱交換器の開発	地中熱交換機のシミュレーションを実施し、実証試験予定である。	従来の地中熱交換器(Uチューブ)に比べて、設置費用が 33%削減する。	シミュレーションの結果、Uチューブに比べて地中熱性能が良いと考えられるので、達成可能。
⑤新規 TRT の開発	実証試験中である。	従来の TRT の解析結果と同様に、地中熱施設的设计で使える目途をつける。	TRT の実施方法、解析方法などが確立すれば達成可能。
⑥最適な地中熱システムの開発	地中熱交換井離隔距離の検討のために、シミュレーションを実施予定である。	従来の地中熱ヒートポンプシステムを給湯需要がある福祉施設(2,000m ²)へ導入する場合に比べて、イニシャルコストを 23%削減する。	上記の開発状況などから達成可能。

(1.2)直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発

【成果概要】

機器のコスト低減技術開発では空調用 HPU のプロトタイプの開発を完了し、地中熱交換器の開発では小口径ボアホールへの適用を確認した。

施工法のコスト削減では、現場施工の工数削減を目指し分岐部ユニットを HPU 内に内装する改良を施した。また小口径掘削技術や本設鋼管の熱交換器利用技術の確立を見た。ボアホール工法の開発では工期短縮を図る施工ユニットの開発などの考案を行った。

設計法では基礎的な技術情報の収集と分析が完了した。冷媒のシミュレーションでは蒸発および凝縮過程のシミュレーションと熱量算出が可能となった (R410A)。今後は R32 のシミュレーションを追加することと、シミュレーション精度の向上を目指す。

ポテンシャルマップの構築では山梨県、埼玉県のデータベースの構築が完了した。地中熱データとしての活用が期待できる。今後、データベース収録範囲の拡大を模索する。

【項目別成果】

①低コスト機器の開発

1) 地中熱ヒートポンプの開発

プロトタイプ of HPU の開発が完了。

2) 地中熱交換器の開発

小口径掘削による 65A の鋼管を用いた地中熱交換器 (鋼管+銅管製地中熱交換器) の設置が完了。

②低コスト施工法の開発

1) 掘削ビット・工法の確立

小口径ボアホールとすることで掘削径を従来の径より 1 サイズ小さくすることが出来るため、これを前提とした刃先として硬質地盤には自立孔を前提とした全断面のビットを開発。それ以外では従来のリング状ビットの改良を行い、ボアホール構築全体でのコストの抑制を図る技術の開発を完了。

2) ボアホール型施工方法の改良・開発

従来のコンクリートトラフを設ける方式から、エフレックスと塩ビ製溜枿を用いる工法として、材料費及び施工時間の短縮に繋げた。また、分岐配管はその一部をヒートポンプの筐体内に納め、現場施工工程数を減じた。

3) 本設鋼管杭利用工法の開発

本設鋼管利用工法の開発として、本設鋼管を地中熱交換器として有効利用するため接合金物 (キャップ) の試作、試験を行い評価として一般財団法人日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得し開発を完了した。

③低コスト設計法の開発

1) 設計コードの確立

直膨式地中熱ヒートポンプシステムの最適設計法の確立について、設計コードの開発を目指す。ヒートポンプ出力や冷媒の特性および地中情報を入力値として、地中熱交換器の深さや本数などの設計値を計算できる解析手法の完成を見込む。

これまで直膨式地中熱ヒートポンプシステムの地中熱交換器の仕様は設計ツールが存在しないため、経験と実績を基に仕様を決定していた。そのため熱交換器の仕様は過剰となる傾向にありコスト増加の要因となっていた。

冷媒の流動シミュレーションを基に地中熱交換器の設計手法を確立し、設計コードを開発することで、適切な仕様設計が可能となり設備、施工コストの削減が可能な設計コードの完成を見込む。

2) 直膨式専用地中熱ポテンシャルマップの構築

山梨・埼玉のホーリングデータのデータベース化が完了、地層データを活用し地中熱データベースとして設計に活用できる状態までの構築を見込んでいる。

今後データベース範囲の拡大を目指す。

表Ⅲ(1.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
2020FY	1件	0件	0件	2件	0件	4件	0件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	11件	5件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(1.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①地中熱ヒートポンプの開発	プロトタイプ of HPU の開発が完了した。	今後生産体制を改造から部品供給型やメーカーによる体制へと移行することで15%程度のコストダウン。	生産体制の移行のためにメーカー等との折衝が必要でそこが今後の焦点となる。 備品供給等 or OEM の目途をつけることで目標達成が見込める。
②地中熱交換器の開発	地中熱交換器の小口径化技術の開発が完了した。	地中熱交換器の総延長の縮減など設計法との関連もあるが、最終的に20%のコストダウン。	小口径化によりかなりのコストダウンが進んだ。 今後、設計コードの活用等により地中熱交換器の短縮化等による相乗効果により目標達成が可能。
③掘削ビット・工法の確立	小口径掘削ビットは従来の1サイズ小さなものの開発が完了した	掘削量の半減(6吋→4吋)等により掘削費用の40%削減。	小口径掘削ビットの開発は完了。大幅な費用削減が望める。今後削減率を確定する。
④ボアホール型施工方法の改良・開発	鋼管の小口径化により材料が削減された。	材料の削減と構工法の改善により10%程度のコスト低減。	掘削ビットの開発により材料費の削減は確定となった。今後構工法の見直し(現場プラントのユニット化)や施工の習熟度向上などにより目標のコスト低減が見込める。
⑤本設鋼管杭利用工法の開発	本設鋼管利用工法を開発を完了した。	本設鋼管利用工法を開発を完了し、掘削・設置費25%低減を達成する。	「地中熱キャップ工法」として建築技術性能証明を取得した。 何処でも誰でも、本設鋼管を地中熱交換器として有効利用することが可能となり、技術的にはほぼ達成し、費用削減の達成も見込む。
⑥鋼管埋設型施工方法の改良・開発	鋼管埋設型施工法に関する情報収集を行った。	施工法の標準仕様としてまとめることでどこでも使える施工マニュアルの作成。	これまでの施工法の手引きと併せ地中熱交換器施工のマニュアルとしてまとめることで、施工費用の低減が見込める。
⑦設計コードの開発	地中熱交換器内の冷媒熱流動シミュレーションコードを開発した。	地中熱交換器の設計手法を確立し、設計コードを開発する。	シミュレーションの精度の向上と範囲の拡大を進めることで、設計コードの開発を完了し、設計でのコスト低減を実現する。

<p>⑧直膨式専用 地中熱ポテン シャルマップ の構築</p>	<p>山梨・埼玉のボーリン グデータのデータベース 化が完了。</p>	<p>ボーリングデータ ベースを地中熱データ ベースとして設計に活 用し設計コストの低減 に寄与する。</p>	<p>ボーリングデータは浅層の地 層状況が詳細に記録されてい るため、直膨用地中熱活用データ ベースとして十分に活用でき、 設計コードの開発と合わせ設計 でのコスト低減を見込む。</p>
---------------------------------------------	---------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(1.3)ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発

【成果概要】

ZEB 実証施設および高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを構築して実際に冷暖房・給湯稼働させて、モニタリングデータの集積を開始した。密閉式井戸構造を生かした井戸洗浄方法は、試験結果から従来型洗浄方法と同等の効果が得られると判断されたほか、井戸メンテナンスコストは半減以下となる見込みとなった。本システム専用ヒートポンプは冷暖房と給湯両方に対応可能なタイプで製作し、ZEB 実証施設における冷暖房・給湯稼働を開始した。電磁処理装置によるスケール防止機構の有効性検証は、配管内にストレーナを複数設置して検証に向けたデータ集積を開始した。

【項目別成果】

①高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発

1)ZEB への高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの適応性評価

山形県山形市内に ZEB 実証施設および高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを構築し、実際に冷暖房・給湯稼働をさせてモニタリングデータの集積を開始した。ZEB 実証施設は、562.5 m²の鉄骨 2 階建て『ZEB』を達成しており、ファイブスターの BELS 認証が得られているほか、ZEB リーディングオーナー登録と ZEB プランナー登録も完了している。

ZEB 実証施設には、NEDO の加速資金を活用して南西側壁面の全ての窓に外付ブラインドを設置した。2021 年度の夏期稼働ではフリークーリングで行っているが、外付ブラインドによる太陽輻射熱の遮断によって冷房効果の向上につながっていると評価される。

2)高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの構築とモニタリング

ZEB 実証施設における冷暖房・給湯・無散水融雪の 3 つの熱源に対応する高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを構築した。専用ヒートポンプのコンプレッサー、地下水を揚水する水中モーターポンプ、および実証施設へ不凍液を介して冷温水を供給するラインポンプは、すべてインバーター制御させてシステムの高効率化と省電力を実現できるようにした。モニタリング装置は機器室内に設置された専用ヒートポンプの機側操作盤内に組込む PLC で使用するデータをそのまま記録させる方式とした。インバーター設定や温度トリガーの変更を随時行って最も高効率稼働となる最適稼働設定を見出す予定である。実証施設の正面玄関内には見える化装置を設置し、施設来訪者へ ZEB 達成状況のほか本トータル熱供給システムの ZEB 適応性についてアピールする予定である。

3)フリークーリングによる夏期冷房の高効率化

ZEB 実証施設における高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの実稼働は 2021 年 2 月に開始しており、2 月 1 日～5 月 10 日の暖房期間中、帯水層へ冷熱を蓄熱させることができている。このため 2021 年度の冷房稼働は、帯水層蓄熱した冷たい地下水を直接ファンコイルユニットに送って室内を冷房するフリークーリングで行っている。6 月末時点で、通常の地下水温度 (16.0℃) よりも 2℃程度低い地下水を使用することで十分な冷房効果が得られていると評価しており、ヒートポンプレス冷房の実現により冷房稼働にかかる消費電力量を半分以下にできる見込みである。今後は、帯水層蓄熱された冷熱が冷房稼働期間のどこまで継続されるか、モニタリングデータに基づいて判断する予定である。

帯水層内における冷熱の形成・消費の状況については、随時、三次元地下水流動熱輸送解析モデルを用いたシミュレーションを行って推定できるようにしている。

4)太陽熱集熱器の併用による給湯システムの高効率化

ZEB 実証施設に導入した高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの給湯回路に 500L の貯湯タンクを組み込み、このタンク内に屋上に設置した真空管式太陽熱集熱器が集めた太陽熱を不凍液を介して熱交換できる回路を組込んで構築した。

2021 年 2 月以降の冬期稼働時のモニタリングデータからは、冬期でも直射日光があたれば太陽熱だけで 500L の水道水を 50℃以上に昇温できる能力を有していることを確認している。夏期稼働期間は貯湯タンクの給湯需要が少なくなることもあり、太陽熱を必ずしも有効利用できていない状況も出てきているため、給湯先を増加させる追加工事の施工を予定している。

5) 密閉構造を有効利用した井戸洗浄方法の開発

井戸密閉構造を有効活用して、コンプレッサーの圧搾空気によって密閉構造井戸内の水位を上下に変動させてアニュラス部に圧力変動を与える方式による井戸洗浄法を開発し、試験施工を実施した。試験施工は、ZEB 実証施設に導入する高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムで観測孔として利用する 1 号井と 2 号井で実施した。密閉井戸内圧力を 3.0MPa まで急上昇させて 3 分程度保持、その後急減圧させた直後に井戸内の地下水揚水ポンプを稼働させて地下水を排水させた。この操作を 4 回繰り返して実施したところ、排水した地下水の濁りが 3 回目まで継続するが、4 回目では排出量が少なくなったことから、本方法による井戸洗浄は一度に 3 回繰り返せば効果を出すことができる見込みが得られた。2021 年度は、井戸洗浄時に排水した地下水について 4 回分水質分析を実施して、井戸洗浄中の水質の変化等のチェックも行っている。

6) 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの技術評価手法の確立

ZEB 実証施設および冷暖房・給湯・無散水融雪の 3 つの熱源に対応する高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを構築してモニタリングデータの集積を開始している。今後は、更なる高効率化を達成するためのシステム改良を加えながら最適稼働設定の確立に取り組み、最終的には ZEB への高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの適応性評価結果に基づき、本システムの技術的評価手法を確立する予定である。コストに関しても、2023 年度にはイニシャルコスト、ランニングコストともに 30%のコストダウンが実現できるよう、実証試験結果と合わせて評価検証する予定である。

② 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発

1) 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発

2014 年度～2018 年度の NEDO 事業で開発した地下水と冷媒が直接熱交換できる冷暖房ヒートポンプに、給湯機能を追加する形で、冷暖房機能と給湯機能を併せ持つ地下水と冷媒が直接熱交換できるモジュール型冷暖房給湯ヒートポンプを製作し、ZEB 実証施設に設置した。工場性能試験結果から、給湯 COP の目標値 4.3 に対して 4.04 (93%達成) が得られたほか、冷房+給湯運転時の総合 COP の目標値 7.1 に対して 6.86 (96%達成) が得られた。今後は、ZEB 実証施設におけるモニタリングデータに基づいて、より高効率となる調整を行うほか、システムの改良も随時行う予定にしている。

2) 熱交換器内へのスケール付着防止機構の有効性検証

電磁処理装置は、2014 年度～2018 年度の NEDO 事業でスケール付着防止効果が一定程度はありと評価された機器である。

ZEB 実証施設に構築した高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの専用ヒートポンプの地下水入口前の配管に電磁処理装置を組み込み、モニタリングデータに基づいて、その有効性検証を開始した。専用ヒートポンプの前後の地下水配管にストレーナを組み込み、一定期間経過後のストレーナ内部の状況によりスケール付着防止効果を検証することにした。各種モニタリングデータのスケール付着により変化する可能性のあるデータを解析し、時間経過とともに変化するスケール付着状況の予測指標としての使用する可能性についても検討を進める予定である。

表Ⅲ(1.3)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	4件	1件
2020FY	0件	0件	0件	0件	1件	4件	7件	2件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(1.3)-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発 1) ZEB 実証建物と本システムの適応性評価 2) システム構築とモニタリング 3) フリークーリングによる冷房高効率化 4) 給湯システムの高効率化 5) 井戸洗浄方法の開発 6) システムの技術評価手法確立	1) ZEB 建物と本システム構築完了させて適応性評価を開始 2) システム稼働モニタリングと観測データ集積を開始 3) フリークーリング実施して大幅省電力可能を確認 4) 給湯システムを稼働とチェックを進め太陽熱の有効利用に向けて改良工事を進める 5) システム稼働時の目詰まり発生時に井戸洗浄予定 6) モニタリングデータに基いた ZEB 適応性検証に着手	・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの ZEB 適応性実証 ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムのインシヤルコスト・ランニングコスト共に 30%低減を実現 ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの普及に向けた技術評価手法を確立	・トータル熱供給システムでは給湯での太陽熱利用で追加工事を進め更なる高効率稼働となるよう改良 ・開発中の井戸洗浄方法により井戸メンテナンスコストは半減以下が可能を見込む ・本システムのモニタリングデータに基いて最適稼働設定を見出すことは可能 ・モニタリングデータに基いて技術的評価手法を確立する予定
②高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発 1) 設計 2) 製作・性能試験 3) 山形フィールドへ設置・調整 4) モニタリング 5) スケール防止機構有効性検証	1) 設計の完了 2) 製作・性能試験の完了 3) 山形フィールドへ設置・調整の完了 4) 冷暖房・給湯においてヒートポンプ稼働開始しモニタリングデータを集積 5) スケール防止機構有効性検証開始	1)～4) ・給湯 COP : 4.3 ・冷房+給湯の総合 COP : 7.1 ・専用ヒートポンプの性能評価と最適稼働設定の確立 5)有効性検証結果に基づきスケール防止機構の確立	高効率な専用ヒートポンプを完成させて、最適稼働設定を確立し、インシヤルコスト・ランニングコストともに 30%低減に資する

(1.4) 寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発

【成果概要】

新築事務所、既存事務所、住宅に対し、ZEB・ZEH化を考慮した地中熱ヒートポンプシステム導入の設計を行い、その設計に基づいて地中熱ヒートポンプシステムの導入を行った。それら建物について地中熱ヒートポンプシステムの暖冷房出力、採放熱量、一次側温度変化の実測を行い、地中熱ヒートポンプシステム導入の設計の検証を行った。

また、新築事務所において基礎杭兼用地中熱交換器の導入試験を行い、導入技術を確立した。更には、既存事務所においてH型PC杭利用地中熱交換器、水平ユニット方式、住宅においてH型PC杭利用地中熱交換器の導入試験を行い、導入技術を確立するとともにコスト削減効果を試算し、地中熱交換器設置コスト削減効果20%以上の見通しを付けた。また、各地中熱交換器について採放熱量、一次側温度変化の実測を実施し、地中熱交換器の性能を定量化した。

新築事務所、既存事務所に地中熱ヒートポンプシステムの高効率化に寄与する放射空調システムを導入し、暖冷房出力やヒートポンプなどの消費電力を実測し、放射空調システムの基本性能を確認した。CO₂冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機と、地中熱ヒートポンプ暖房機①を試作し性能評価試験を行い、それぞれについて出力6.0kW、COP4.3以上の目標値を達成した。

【項目別成果】

- ①ZEB・ZEH建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立
 - 1)新築事務所1件、既存事務所1件、住宅1件に対し、ZEB・ZEH化を考慮した地中熱ヒートポンプシステム導入の設計を行い、その設計に基づいて地中熱ヒートポンプシステムの導入を行った。
 - 2)上記建物について地中熱ヒートポンプシステムの暖冷房出力、採放熱量、一次側温度変化の実測を行い、地中熱ヒートポンプシステム導入の設計の検証を行った。そのうち住宅については実測が完了し、ZEH化を考慮し導入した地中熱ヒートポンプシステムが運転できることを確認した。
 - 3)ZEB・ZEH建物における地中熱ヒートポンプシステム導入効果(エネルギー消費量削減効果)を評価するため、上記建物について建物全体および地中熱ヒートポンプシステムの実測を実施している。
- ②小規模建物に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発
 - 1)新築事務所において基礎杭兼用地中熱交換器の導入試験を行い、導入技術を確立するとともにコスト削減効果を試算している。また、地中熱交換器の性能評価を行うための採放熱量、一次側温度変化の実測を実施。
 - 2)既存事務所においてH型PC杭利用地中熱交換器、水平ユニット方式、住宅においてH型PC杭利用地中熱交換器の導入試験を行い、導入技術を確立するとともにコスト削減効果を試算し、地中熱交換器設置コスト削減効果20%以上の見通しを付けた。また、各地中熱交換器について採放熱量、一次側温度変化の実測を実施し、地中熱交換器の性能を定量化した。
- ③高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発
 - 1)新築事務所、既存事務所に地中熱ヒートポンプシステムの高効率化に寄与する放射空調システムを導入し、暖冷房出力やヒートポンプなどの消費電力を実測し、放射空調システムの基本性能を確認するとともに、システムが高効率となる運用方法について検討している。
 - 2)CO₂冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機と、地中熱ヒートポンプ暖房機①を試作し性能評価試験を行い、それぞれについて出力6.0kW、COP4.3以上の目標値を達成し、ヒートポンプ暖房機②の設計を完了した。また、地中熱ヒートポンプ給湯機を試験住宅に導入し、実用化に必要な課題抽出を行っている。

表Ⅲ(1.4)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	1件	0件	9件	4件	1件
2021FY	0件	0件	0件	1件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(1.4)-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①ZEB・ZEH建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立	1) ZEB・ZEH建物を考慮した地中熱ヒートポンプシステムの導入を行い、トータルコスト20%以上の削減の見通しを付けた 2) 省エネ寄与率の定量化のための実測を実施中	・②、③との組み合わせによるトータルコスト20%以上の削減を可能とする設計手法の確立 ・GSHPシステムの普及型ZEB・ZEHへの省エネ寄与率定量化	・導入物件の地中熱ヒートポンプシステムの実測を行い、運転の検証が完了すれば目的は達成できる ・最終年度までに実測データの分析を行うことで省エネ寄与率の定量化の目標は達成できる
②小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発	新型地中熱交換器の施工試験をもとにコスト試算を行い、20%以上の削減の見通しを付けた	・小規模建物導入時において従来地中熱交換器との比較で設置コスト20%以上の削減	・計画通りに更なる施工試験を着実に実施することで目標は達成できる
③高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発	1) 実測データをもとにエネルギー消費量を削減する、放射空調や直膨方式を採用した二次側運用技術について見通しを付けた 2) ヒートポンプ給湯機、ヒートポンプ暖房機Ⅰを試作し、評価試験により目標達成見込みを示した	・従来のGSHPシステムからのランニングコスト20%以上の削減を実証 ・ヒートポンプ給湯機：出力6.0kW、COP4.3 ・ヒートポンプ暖房機Ⅰ：出力6.0kW、COP4.3 ・ヒートポンプ暖房機Ⅱ：出力4.0kW、COP4.5	・二次側運用技術を実際に導入し実証試験を行うことで目標は達成できる ・試作したヒートポンプの課題を実証試験により解消することで目標は達成できる
(4) 地中熱ヒートポンプシステムトータルコスト削減効果の評価	①で述べた通りトータルコスト20%以上の削減の見通しを付けた	・地中熱ヒートポンプシステムのトータルコスト20%以上削減の達成	・要素技術開発を着実に進めることで目標は達成できる。

(2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発

(2.1)天空熱源ヒートポンプ(SSHP)システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発

【成果概要】

LCEM ベースの設計用シミュレーションツールのプロトタイプを完成。実建物及びモデル建物を対象に SSHP 導入効果を検討。また、2019 年度に小型実証機を完成、2020 年度にシステム実験により熱源水加熱・冷却性能を評価。2020 年度に大府実証機を製作、工場試験を実施。さらに、2020 年度に SSHP 実証システム I 期工事完成。現在、2021 年度 8 月の完成を目指して II 期工事を実施中。2019 年～2020 年に、最適制御制御アルゴリズムを完成。シミュレーションツール上で SSHP システム実験結果を高い精度で再現した。

【項目別成果】

① 再エネ熱利用システム設計手法の開発

実建物および一般的な事務所建物での SSHP システム導入時の省エネ性能確認のために、SSHP システムの運転性能、エネルギー消費量計算の年間シミュレーションを実施し、EHP システムとの比較を実施した結果、SSHP システムの省エネ性能を確認した。

② 低コスト・高効率ユニット型 SSHP システムの開発

1)鹿島西調布実験場で、SSHP 小型実証機の暖房時加熱試験を実施。目標 COP7.0 を達成し、太陽熱における熱編水直接加熱により、システム COP が 20%程度向上することを確認した。

2)SSHP 大府実証機を製作し、豊田自動織機と交えた工場検査を実施。所定の性能目標値 (COP6.0) を達成していることを確認した。

③ 実建物における運転性能の実態検証

1) II 期工事 (2021 年度) に実施する地中熱交換器敷設に向けて、設置場所の豊田自動織機大府工場での熱応答試験 (TRT) を実施し地盤の有効熱伝導率を算出し、これを元に地中熱交換器仕様・設置本数を決定した。

2)2021 年度から開始する SSHP の導入効果算定のため、豊田自動織機大府工場食堂のペリメータ系既存 GHP の空調性能、エネルギー消費量の実測を行った。

④ 再エネ熱利用システムの最適運転制御技術

1)鹿島西調布実証システムの運転データを対象にモデル化を行い、高い精度で再現できた。

2)外乱、SSHP 運転パラメータを入力値とする AI モデル (ニューラルネットワーク) を構築。これを組み込んだモデル予測制御によりシステム COP 最大となるような SSHP 最適制御手法の概念構築を行った。

III (2.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	3 件	0 件	0 件
2020FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件	0 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021 年 7 月 31 日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①再エネ熱利用システム設計手法の開発	2019年度に LCEM ベースの設計用シミュレーションツールのプロトタイプを完成。実建物及びモデル建物を対象に SSHP 導入効果を検討。	2021年度～2023年度に実建物（豊田自動織機大府工場）を対象に SSHP 導入効果を検討。	設計用シミュレーションツールのプロトタイプは完成。実建物の運転データの収集により達成可能。
②低コスト・高効率ユニット型 SSHP システムの開発	2019年度に小型実証機を完成、2020年度にシステム実験により熱源水加熱・冷却性能を評価。2020年度に大府実証機を製作、工場試験を実施。	構成機器をコンパクトに集約した「ユニット型 SSHP」を開発する。夏期・冬期条件での目標単体 COP6 以上を達成する。	夏期・冬期条件での目標単体 COP6 以上を達成。
③実建物における運転性能の実態検証	2020年度に SSHP 実証システム I 期工事完成。現在、2021年度8月の完成を目指して II 期工事を実施中。	2020年度～2023年度にかけて年間発生頻度の高い、低負荷運転下での SSHP 運転性能を検証。	実証システムの運転データに基づいた性能評価結果によるが、達成可能と判断している。
④再エネ熱利用システムの最適運転制御技術	2019年～2020年に、最適制御アルゴリズム完成。シミュレーションで SSHP システム実験結果を高い精度で再現。	ランニングコスト圧縮のため、再生可能熱エネルギーを複合的に利用する最適制御手法を開発。	目標を達成。

(2.2)温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発

【成果概要】

実温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査、国内外事例の動向調査を開始した。また、分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発、低コストな熱売買制御システムの開発に着手し、本提案システムの熱売買までを含めた導入評価のためのモデル構築を進めている。

【項目別成果】

① 実温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査及び、国内外事例調査

実測対象施設の現場調査、計測ユニットの試作を行い、計測ユニットモジュールの検証のため、宮城県内の宿泊施設、新潟県内の日帰り温浴施設、大分県内の温浴施設、集合住宅の4施設に設置し、現在計測中である。今後、北海道、仙台、和歌山等の異なる条件下でも実施、検証を行い、計測方法の確立を目指す。また海外の類似事例の動向調査を実施中である。動向調査結果から2事例程度選定し事例調査を実施する予定である。

② 温泉・排湯用熱交換器の低コスト化

伝熱パネルの最適なピッチを流体シミュレーションにより同定し、液膜形成部の設計が完了した。今後は筐体を含め試作を行い製品仕様の決定を目指す。

③ 分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発

ツールの仕様を検討し、試作を実施中である。試作完了後、具体事例条件を用いたツールでの検討を実施予定である。

④ 分散熱源による熱源水ネットワークシステムにおける低コストな熱売買制御システムの開発

計量法関係と検定付センサーの調査を実施。制御システムモデルを作成し、制御対象の洗出し、制御ポイントの設定のうえ低コスト化検討を進めている。

⑤ 分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入評価

過年度プロジェクトでのシミュレーションにおける実規模モデルをベースに熱売買も含めた評価のモデルを構築中である。モデル構築後、具体的事例について検討予定である。

表Ⅲ(2.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目		現状成果	最終目標[目標年度]	達成見通し
①実温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査及び、国内外事例調査	1) 低コストな長期温泉計測方法の確立	計測ユニットモジュールの検証のため、宮城県内の宿泊施設、新潟県内の日帰り温浴施設、大分県内の温浴施設、集合住宅の4施設に設置し、現在計測中。今後、北海道、仙台、和歌山等の異なる条件下でも実施、検証を行い、計測方法の確立を目指す。	5カ所以上の温泉施設での実測により、低コストかつ安定して温泉流量等の長期計測方法を確立する。	<ul style="list-style-type: none"> ・実測対象施設の現場調査、計測ユニットの試作を行い、実測を開始しており、さらに3施設での実測を予定しており達成見込み。 ・計測ユニットの改良により達成見込み。
	2) 遠隔操作可能な通信機能を持つ計測ユニットの開発		幅広い計測機器に対応した遠隔操作可能な通信機能を持つ計測ユニットを開発し、5件以上の施設で実測に活用する。	
	3) 温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査		5件以上の温泉事業者において温泉熱賦存量、熱需要量の実測を行い検討データとして整理する。	
	4) 国内外事例調査	海外の類似事例を調査中。	2件以上の事例を調査する。	
② 温泉・排湯用熱交換器の低コスト化	伝熱パネルの最適なピッチを流体シミュレーションにより同定し、流下部の設計は終了。今後は筐体を含め試作を行い製品仕様の決定を目指す。	伝熱パネルの最適なピッチを流体シミュレーションにより同定し、流下部の設計は終了。今後は筐体を含め試作を行い製品仕様の決定を目指す。	流下液膜式熱交換器の製品仕様の決定。低コスト化により筐体等含めて20%以上の低価格化。	<ul style="list-style-type: none"> ・液膜形成部の設計は完了しており、試作によるコスト検討を実施予定であり、液膜形成部と筐体のコンパクト化により達成見込み。
③ 分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発	ツールの仕様を検討し、試作を実施中。	実測調査結果の入力により、検討に利用する基礎データとして熱需要量、熱賦存量等を整備、コストまで含めた簡易な導入検討ができるツールを開発する。	実測調査結果の入力により、検討に利用する基礎データとして熱需要量、熱賦存量等を整備、コストまで含めた簡易な導入検討ができるツールを開発する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ツール仕様検討、試作に着手しており、試作完了後、具体事例条件を用いたツールでの検討を実施することにより達成することが可能。
④ 分散熱源による熱源水ネットワークシステムにおける低コストな熱売買制御システムの開発	計量法関係と検定付センサーの調査を実施。制御システムモデルを作成し、制御対象の洗出し、制御ポイントの設定のうえ低コスト化を検討中。	計量法関係と検定付センサーの調査を実施。制御システムモデルを作成し、制御対象の洗出し、制御ポイントの設定のうえ低コスト化を検討中。	省エネのために最適な売買を自動で行う制御を行うための遠隔監視および操作が可能な制御システムを開発する。従来技術の一品生産システムに対し、20%以上の低コスト化。	<ul style="list-style-type: none"> ・低コスト化検討に着手しており、具体的モデルにより低コスト化した機器の仕様条件を決定後、コスト試算を行うことで達成する見込み。

⑤ 実環境下における熱売買制御システムの検証	-	実証試験により制御と熱売買システムが正常に動作する事を確認する。	・次年度以降実施予定。実証フィールドにて検証を行うことで達成することができる。
⑥ 分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入評価	過年度プロジェクトでのシミュレーションにおける実規模モデルをベースに熱売買も含めた評価のモデルを構築中。	2条件以上の具体的事例について導入可能性を検討し、有用性を示す。	・熱売買を含めたシミュレーションモデルを構築中。モデル構築後、具体的事例について検討を実施し達成する見込み。
⑦ 事業スキームの検討	アンケートヒアリングを実施。	熱源水ネットワークシステムの構成や、熱需給バランス等を変化させ、事業性が成り立つ条件を明確化し、導入可能条件を整理する。	・次年度以降実施予定。導入可能条件の洗出し、整理を行うことで達成することができる。

(3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

(3.1)見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格

【成果概要】

① 見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化

水文地質学的・統計学的見かけ熱伝導率の推定手法に関する要素技術として、地質構造解析用地質試料採取（京都市、オールコアサンプリング深度 100m）、数値 TRT（CFD による数値 TRT を 200 ケース以上）、地盤物性データベースの再構築（新規ボアホールデータ入手、バリオグラム等再検討）、地形 AI 解析（10 地域で地下水等高線の簡易予測実施）等を実施した。2021 年度中に唐津地域の地質試料採取、数値 TRT の検証、地形 AI 解析の高度化等を実施する。

② 簡易熱応答試験法の開発・規格化

大口径井戸に対応する簡易 TRT 装置の設計を完了し、製作を進めている。また、同装置を模擬した室内実験を実施し、CFD ソフトを用いた解析手法の検討を行った。発熱ワイヤー付き光ファイバー温度計および、周期加熱法のための試験装置（20kW）を製作した。また、全国 3 箇所（北海道札幌市、山梨県甲斐市、広島県三次市）に、試験検証を目的とした深度 300m の大深度地中熱交換器を設置した。併せて、CFD ソフトを用いた数値シミュレーションにより試験法の検討を行った。

③ 統合型設計ツールの開発

熱負荷連成や多種熱交換器、複雑な地盤条件対応、理論計算によるオープンループ方式設計性能手法について、それぞれ開発を行った。

【項目別成果】

① 見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化

1) 地質構造解析の基準試料として京都大学宇治キャンパスでオールコアサンプリング（深度 100m）実施した。

・見かけ熱伝導率推定手法の検証に用いるため、京都盆地コア試料の有効熱伝導率・体積熱容量を測定した。

2) モデル地域（京都盆地、佐賀地域、沖縄本島）の地質調査情報、ボーリングデータ等を収集・整理した。

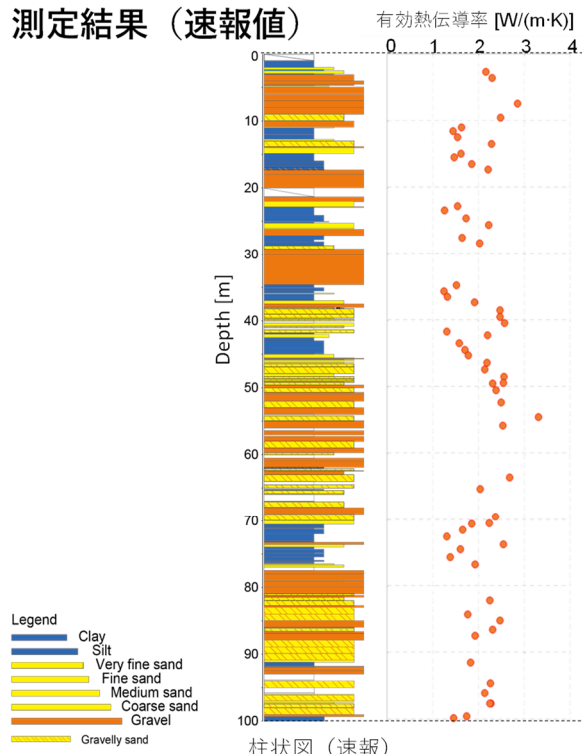
3) 国土交通省から 2018 年度・2019 年度の 2 か年分における新規ボアホールデータを入手し、バリオグラムなど条件を再検討し、地盤物性データベースを再構築した。

4) CFD による数値 TRT を 200 ケース以上実施し、有効熱伝導率、地下水流速に対する見かけ熱伝導率の関係を応答局面としてモデル化した。

5) 地下水情報の簡易評価技術開発として、全国 10 地域において地下水面等高線の一次推定を実施した。

- ・唐津地域でオールコアサンプリング（予定深度 50m）を実施する。
- ・唐津地域コア試料の熱物性測定を行う。
- ・2 地点（京都大学宇治キャンパス、唐津地域）で熱応答試験を実施する。
- ・継続して関連データの収集を進め、地質構造解析や広域地下水流動モデル構築に反映する。
- ・数値 TRT の結果を踏まえて、地下水流速範囲等を推定する際の適用限界を整理すると共に、推定した見かけ熱伝導率を用いた長期予測に基づくシステム導入効果を示す。
- ・地下水情報の簡易評価技術開発として、一次推定結果の高度化、3 次元情報への拡張を検討する。

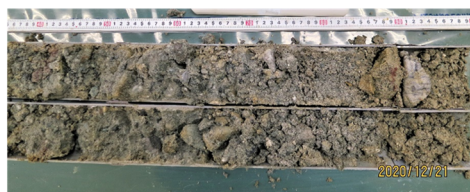
測定結果（速報値）



有効熱伝導率の平均値：2.09W/(mK)
体積熱容量の平均値：2.74MJ/(m³K)

※層厚による加重平均

- コアの7割以上が「粗粒砂～礫層」（例：写真）であり、測定できた層に関しては、高い熱伝導率を有する傾向が見られた。
- 粘土・シルト層でも熱伝導率が1W/(mK)以上と、全体的にやや高い熱伝導率を示した。
- 厚い砂礫層が含まれていることから、本調査地は地下水の透水性が高いことが予想される。
⇒地下水流動が生じている可能性有



礫層コアの例（深度78～79m）

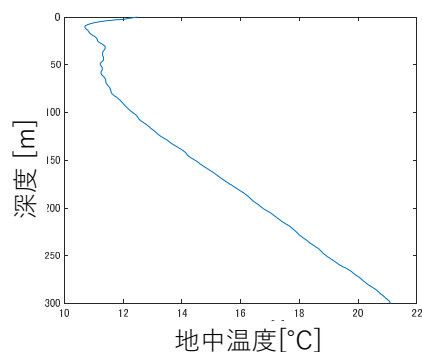
図Ⅲ(3.1)-1 京都盆地オールコアボーリングおよびコア試料の熱物性測定の結果（速報値）

② 簡易熱応答試験法の開発・規格化

- 1) 大口径水井戸に対応する簡易型試験装置の製作に着手した。装置はケーブルヒーター、光ファイバー温度計、電磁石等で構成される。将来的な装置の最大計測区間延長を100mとし、それに耐えるケーブル等の強度および防水性を有する。
- 2) 簡易型 TRT 装置および水井戸を模擬した室内実験を実施し、CFD ソフトを用いて同装置の数値モデルを構築した。室内実験の結果を用いたヒストリーマッチングを通じて、水井戸内に発生する自然対流の影響を再現した。
- 3) 発熱ワイヤー付き光ファイバー温度計は、融雪用ヒーターケーブル（延長233m、抵抗9.6Ω）に、光ファイバーセンサー（延長300m）を融着チューブで一体化し、Uチューブに挿入できるようΦ20mmの仕上げにて作成した。
- 4) 全国3箇所（北海道札幌市、山梨県甲斐市、広島県三次市）に、試験法検証のための深度300mの大深度地中熱交換器を設置した。Uチューブには、大深度用のHAKA社の高強度Uチューブを挿入するとともに、大深度用の挿入リールも新たに製作した。
- 5) 周期加熱法のための試験装置（20kW）を製作した。また、CFDソフトを用いた数値シミュレーションを実施し、24時間以内にて有効熱伝導率を効果的に分析する加熱方法（周期）について分析検討を行った。
- 6) 製作した簡易型 TRT 装置を用いて秋田大学構内の水井戸にて試験を行い、従来型 TRT の値と比較することで装置の妥当性を検証する。



図Ⅲ (3. 1)-2 大口径水井戸に対応する熱応答試験装置の孔壁吸着機構 (試作機)



図Ⅲ (3. 1)-3 大深度地中熱交換器施工風景 (三次市)・設置した大深度地中熱交換器 (札幌市) により測定した自然地中温度分布



図Ⅲ (3. 1)-4 周期加熱法による熱応答試験・発熱ワイヤー付光ファイバー温度計

③ 統合型設計ツールの開発

- 1) 地盤情報の規格化として、特にオープンループ方式の設計に必要な設計情報のフォーマットを作成した。
- 2) クローズドループ方式は、従来の Ground Club に地下水流れ計算に対応させるとともに、多種地中熱交換器として、トルネード工法、スパイラル地中熱交換器の計算ロジックを追加した。
- 3) 建物・空調設備との連成シミュレーションの基本アルゴリズムを工学院大学、静岡理工大学と連携して作成した。
- 4) オープンループ方式の設計予測手法として、ヒートポンプ運転のサイクル計算を行う基本計算法を開発した。併せて、井戸の本数、深度や、揚水ポンプの最適化を行うツールの開発を行った。
- 5) 統合型設計ツールの基本デザイン、GUI を作成した。計算は、Fortran をクラウド上で実行することで、20 人以上の同時接続でもストレスなく、計算可能なウェブ環境を整備した。
- 6) 日本地下水学会、全国さく井協会との共同実施、再委託を通じて、有識者、実務者らの知見に基づき、設計ツールに必要なデータベースの充実を図る。

・蓄熱を考慮したオープンループ方式の設計性能予測が可能な簡易シミュレータを製作する。

表Ⅲ(3.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	3件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	5件	1件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(3.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化	・水文地質学のおよび統計学的な見かけ熱伝導率推定手法のスキーム確立	・水文地質学のおよび統計学的な見かけ熱伝導率推定手法の開発・規格化	・各推定手法の要素技術開発(数値 TRT、地形 AI 解析等)や検証データ取得が計画通り進捗しており、目標達成見込み
②簡易熱応答試験法の開発・規格化	簡易 TRT 装置の製作、現場試験準備および数値シミュレーションを遂行中	大口径水井戸および大深度 BHE における簡易熱応答試験法および解析方法の規格化	現場試験による計測データの収集や数値シミュレーションによる検討を通じて熱伝導率推定精度を向上させる。
③統合型設計ツールの開発	熱負荷連成や多種熱交換器、複雑な地盤条件対応、理論計算によるオープンループ方式設計性能手法について開発を完了	クローズドループ、オープンループ方式が全国の多様な建物・熱利用に対し設計性能予測可能とする。	開発項目は予定通り完成している。今後、オープンループの簡易シミュレータを導入し、開発要素を組み合わせ、更に実施データとの検証により完成させる。

(3.2)オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究

【成果概要】

LCEM 空調熱源トータルシステムのプロトタイプを作成するとともに、既設システムの井水配管に配管圧力計測装置を設置して、井水配管内における圧力分布を把握した。また、大阪平野を対象として、井戸情報を用いて広域的な透水係数推定手法の検討を行うとともに、地下水還元可能量予測手法の検討を行った。前者では透水係数の実測値、後者では現場透水試験の注水法の結果を回復法と比較したところ、概ね一致することを確認したものの、一致しない事例も見いだしている。

【項目別成果】

①システムシミュレーションツールの研究開発

地中熱ヒートポンプと揚水ポンプの製品ラインナップを調査し、研究開発に必要な基礎資料を入手した。また、LCEM 空調熱源トータルシステムのプロトタイプを作成し既往設計手法との比較を行った。

井水配管の横引き部が熱源水温度に与える影響を既存のモニタリングデータから評価した。その結果、熱源水温度の変化が認められるのは運転開始後最長 3 時間程度であり、影響が小さいことを確認した。また、既存のオープンループシステムの井水配管に配管圧力計測装置を設置し、井水流量の変化に応じた配管内の圧力変化のモニタリングを開始した。

②地下水揚水可能量予測手法の研究開発

1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発

大阪平野を対象として、井戸情報を用いて広域的な透水係数推定手法の検討を行った。井戸情報である粒度分布データと揚水量、水位低下量から透水係数の推定値を求め、それを実測値と比較した。その結果、多くの事例では複数回実施の回復法により得られた透水係数は概ね一致する値を示すものの、一部には 1 桁程度のずれが生じる場合があることが見いだされている。

2) 地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発

地盤調査ボーリング孔を利用した小口径の調査井の構築手法について検討し、掘削孔径等の仕様を決定した。また、適切な井戸洗浄として、掘削泥水に含まれるベントナイトが井戸洗浄の際に排出されるので、ベントナイトが検出されなくなるまで井戸洗浄を行う方針とした。小口径対応ツールとして、水中ポンプを対象として小口径の調査井における揚水を試み、約 30 L/min の揚水が可能であることを確認した。

③地下水還元可能量予測手法の研究開発

大阪平野を対象として、井戸情報を用いて地下水還元可能量予測手法の検討を行った。現場透水試験の注水法と回復法を比較すると注水法では 1~2 桁小さい例が認められ、注水に伴う目詰まりの影響が示唆される。また、国内のオープンループ方式システムにおける目詰まりの事例収集を行い、地下水還元に伴う水位上昇を把握した。さらに、室内透水実験のための装置に関して、既存研究を精査した。その結果、既存研究ではカラム試験による 1 次元の流路における目詰まりを対象としていることを確認した。

表Ⅲ(3.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
2020FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2021年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(3.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①システムシミュレーションツールの研究開発	オープンループ方式に対応したLCEMモジュールのプロトタイプを作成まで完了済	設計者が簡易に地中熱ヒートポンプ導入時のエネルギー消費量の計算を行うことができ、設計建物に採用される地中熱ヒートポンプやその他の熱源を含む全ての空調熱源のトータルシステムシミュレーションを行うツールを開発する。	今後の実測データを用いた検証を待つ必要があるものの、前回プロジェクトでクロズドループ方式で大きな誤差を生じた要因が長い横引き配管と少ない一次側流量であることがつかめており、オープンループ方式では極端な少流量となりにくいために達成の見通しは高いと考えている。
②地下水揚水可能量予測手法の研究開発	大阪平野をモデルフィールドとした井戸情報の整備と地盤調査ボーリング孔を利用する手法の実験計画の作成まで完了済	設計時点で地下水揚水可能量の予測を行うことができる手法を開発する。	今後の地盤調査ボーリング孔を利用する手法の実験を待つ必要があるものの、井戸情報のみに基づく予測で問題点の抽出が進んでおり、現時点では目標を達成することができると考えている。
③地下水還元可能量予測手法の研究開発	大阪平野をモデルフィールドとした井戸情報の整備と室内浸透実験の計画作成まで完了済	設計時点で地下水還元可能量の予測を行うことができる手法を開発する。	今後の室内浸透実験を待つ必要があるものの、井戸情報のみに基づく予測で問題点の抽出が進んでおり、現時点では目標を達成することができると考えている。

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

IV.1 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

IV.1.1 事業全体の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

(1)実用化と事業化の定義

当該事業に係る「実用化」とは、当該事業で開発した再生可能エネルギー熱利用に係る技術（製品、ポテンシャルマップ、設計ツール、工法、システム全体等）が市場に出る状態までに至った段階（試作品が完成）を指す。

「事業化」とは、再生可能エネルギー熱利用に係る商品、製品、工法、およびそれらを含むシステム等の販売や導入により、企業活動（売り上げ等）に貢献することを指す。

事業全体の実用化・事業化の見通し及び取り組み・波及効果は、以下のとおり。

(2)実用化・事業化の見通し及び取り組み

①地中熱利用システムの低コスト化技術開発

- ・研究開発や実証試験によりトータルコスト低減を見込んだ上で、給湯負荷の高い高齢者住宅や再生可能エネルギー熱が有効なZEB建物等をターゲットとして事業化を計画する。ターゲットの業界団体や自治体を対象に提案やセミナーを開催することで協力体制を推進しており事業化の期待が高い。
- ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムについて、地下水熱の活用により複数以上の熱需要に対応でき、「地域熱供給」分野への参画が期待できる。また、ZEB実証施設の実績を基に登録されたZEBプランナーを活用することで、ZEBに関する事業展開が期待できる。
- ・本設鋼管杭利用工法の開発について、技術証明の取得により一般工法としての鋼管杭施工業者でも施工が可能であり併せて現在のコンソーシアムの協力体制を維持することで普及の可能性が高い。
- ・本研究で実証しているGSHPシステムを採用した建物をZEB建築としてモデル化することで、実証結果を基にパンフレット等のPR媒体によりアピールすることができ、設計・設備会社やオーナー等への普及が期待できる。

②太陽熱等利用システムの高度化技術開発

- ・研究開発や実証試験によりトータルコスト低減を見込んだ上で、ZEB建物、病院、研究所等の自社物件への導入を計画する。地中熱利用に太陽熱を組み合わせることで他社にはない利点を生かすことができ、事業化への期待が高い。
- ・温泉熱を利活用する熱源水ネットワークシステムについて、温泉施設等の業界団体へ提案することで業界団体とのタイアップを視野に入れつつ研究開発に取り組んでおり、事業化への期待が高い。
- ・普及方策として自治体や業界団体参加のもと行動計画策定会議を定期的に開催しており、自治体の実行計画等と関連付けた明確な事業化の道筋を議論することで再生可能エネルギー熱利用に関する普及拡大が期待される。

③高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

- ・共通基盤技術の研究開発により地中熱利用システムの最適設計が可能となり、最適設計に伴う低コスト化が期待される。
- ・共通基盤技術ワーキンググループの定期的な開催により、共通基盤技術統一のための方向性の確認や共通基盤技術をどうすればユーザーが活用しやすくなるのか等の整理が行われており、市場にて活用されるようユーザー目線での実用化に向けた検討がなされている。

(3)波及効果

- ・多様な再生可能エネルギー熱を多角的に用いた地中熱利用システムの構築により、エネルギー・CO2排出量の削減や環境への社会貢献、ZEB・ZEH達成への貢献が期待される。
- ・省人化による掘削コストの低減、設計の最適化、ヒートポンプシステムの技術開発等によるトータルコスト低減は市場拡大のみならず、認知度向上が見込まれる。
- ・システム全体のパッケージ化促進やシステムインテグレーターの育成が進むことによりコスト競争力が強化される。
- ・地域特有の熱源である温泉熱熱利用は、エネルギーの地産地消による地域のエネルギー関連産業の発展を通じた地域活性化（雇用創出含む）が期待される。
- ・地中熱利用システムを構築し、データベース化することにより、地中熱分野の研究者、技術者など若手育成を図る。

IV.1.2 研究開発テーマ毎の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

(1)地中熱利用システムの低コスト化技術開発

(1.1)給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発

(1.1.1)事業化の見通し

本研究開発では、給湯需要がある施設へ導入する最適な地中熱システムの開発を行っている。ターゲットとしては、高齢者住宅などの給湯負荷のある施設を考えている。高齢者向け住宅は、24時間冷暖房が必要でありかつ給湯が必要な設備であり、社会的な状況から考えると長期的に維持しておく必要がある施設で、地中熱利用ヒートポンプシステムのように、一回設置すると50年以上使える設備が必要と考える。

高齢者向け住宅に関しては、「社団法人全国有料老人ホーム協会」、「一般社団法人全国介護付きホーム協会」、「一般社団法人高齢者住宅協会」「高齢者住宅経営者連絡協議会」などの関連団体があり、その団体への提案やセミナー等を考えている。また、高齢者住宅運営会社の中には、複数の施設を運営している会社も多くあり、既存の施設のオーナーに対しての提案も有効と考える。

(1.1.2)開発項目毎の事業化に向けての見通し及び取り組みについて

(事業者：(株)ワイビーエム)

掘削機および掘削機周辺機器の開発により、地中熱ヒートポンプシステムのインシヤルコスト低減に寄与できると考えられる。販売先としては、井戸掘削業者、地盤改良業者、ハウスメーカーの専用工事業者、レンタル業者などが考えられる。ワイビーエムの他の製作品である地盤改良機やボーリングマシン等、従来の販売ルートを利用して拡販を行っていく。

(事業者：昭和鉄工(株))

地中熱自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機の開発に関しては、ヒートポンプ機単体とタンクユニットのシステムとしてはインシヤルコストの低減は可能であるので、あとは地中熱ヒートポンプシステムの全体のコスト低減が可能で低CO₂・カーボンニュートラルの観点から地中熱ヒートポンプシステムの普及が進んでくれば、空調の廃熱を利用した夏場の給湯が可能となり、システム全体での設計折込も増加して拡販が可能である。

(事業者：(株)ワイビーエム)

新規TRTの開発に関しては、ワイビーエムの地質調査機の販売促進につながると考えられる。また、掘削機設置のままのTRTの開発は掘削機販売の付帯価値になるため、販売促進につながると考えられる。販売先としては、井戸掘削業者、地盤改良業者、ハウスメーカーの専用工事業者、レンタル業者などが考えられる。ワイビーエムの他の製作品である地盤改良機やボーリングマシン等、従来の販売ルートを利用して拡販を行っていく。

(事業者：(株)ワイビーエム、(株)昭和鉄工)

地中熱交換器の開発、最適な地中熱システムの開発は、開発を行うことで地中熱の普及につながると考えられる。また、最適な地中熱システムを導入する際に地中熱交換井の本数などの地中側の設計を提案者が行うことで、地中熱のコンサル事業に役に立つと考えられる。販売先は、給湯負荷のある施設であり、高齢者施設だけではなく年間冷房に近いフードコートを持つショッピングモールやゴルフ場へも提案が可能と考えられる。

(1.1.3)事業化に向けた課題と今後の方針

最適な地中熱システムの開発に関しては、高齢者住宅の運営会社への認知度が課題と考える、そのため関連団体への提案やセミナー等を検討している。

地中熱交換器の開発に関しては、開発した地中熱交換器を建物などに設置する際に提出する省エネ計画書に反映させるためには、「建築物等のエネルギー消費性能に関する任意評定」を取得する必要がある。その際には、所定の試験方法では測定できない熱損失防止建築材料や空気調和設備等（以下「設備等」という。）の性能については、登録建築物エネルギー消費性能評価機関の評価を受ける必要がある。

新規TRTの開発に関しては、通常のTRTで得られる熱伝導率とほぼ同じ結果になることを証明することが課題と考えられる。このためには、複数の場所にて新規TRTと通常のTRTを実施する必要がある。また、特定非営利活動法人地中熱利用促進協会が発行している「一定加熱・温水循環方式熱応答試験(TRT)技術書」へ開発したTRTの手法が掲載される必要もあるが、これは協会ヘデータを示すなどの働きかけを行っていく必要がある。

最適な地中熱システムの開発の内、地中熱交換井の離隔距離に関しては、通常4m以上とされている離隔距離を変更しても問題ないことを本開発で示す必要があり、データなどを地中熱利用促進協会へ提供し働きかけを行っていく。

(1.1.4)本技術開発を通して想定される波及効果

社会的効果としては、給湯付きの地中熱利用ヒートポンプシステムの導入コストが下がり夏場の廃熱を給湯に利用することにより、今までの地中熱利用より普及が進むと考えられる。

一人施工のための掘削機の開発や新規TRTの開発により技術者の技術レベルが向上すると考えられる。

(1.2)直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発

(1.2.1)事業化の見通し

各要素技術（機器、施工、設計）毎の技術開発が完了し、今後その技術の活用によるコスト削減の検証や現場での実証による改良・改善が行われることで、ほぼ目標通りのコストの削減（-20%）が期待できる。事業化の方向としては、機器販売を中心に進める方法、設計スペックへ入れ込む方法、住宅の機能向上としてのVE提案の方法などが考えられる。事業化へ向けてはそれぞれの技術が相互に関係しており現コンソーシアムの協力体制の維持が必要と考えている。

また、本設鋼管杭利用工法（工法名：地中熱キャップ工法）の開発は、全国の鋼管杭施工業者に杭の付加価値をアピールできる工法でありコンソーシアム全体のバックアップの下に『地中熱キャップ工法』として全国杭施工業者等への事業展開が期待できる。

(1.2.2)開発項目毎の事業化に向けての見通し及び取り組みについて

①本設鋼管杭利用工法の開発

（事業者：伊田テクノス株式会社、富士商事株式会社、株式会社藤島建設）

本研究開発では本設鋼管利用工法を開発した。本設鋼管利用工法により本設鋼管を地中熱交換器として有効利用することで掘削・設置費の低減に見通しが得られた。

②設計コードの開発

（事業者：中外テクノス株式会社、国立大学法人山梨大学、株式会社藤島建設）

直膨式地中熱ヒートポンプシステムの設計コードはコンソーシアム内における設計業務での活用を想定しているが、将来的には直膨式地中熱利用全般のコンサル、設計業務において設計コードを活用した事業展開を予定している。また、開発した地中伝熱管内部の冷媒熱流動シミュレーションプログラムを用いることで効率的な地中熱交換器の開発も可能であると考えられる。

(1.2.3)事業化に向けた課題と今後の方針

①本設鋼管杭利用工法の開発

戸建て住宅では小口径鋼管による地盤補強は一般的に行われている補強工法である。本設鋼管利用工法は、基礎と鋼管との接合工法であることから、一般的な接続工法として他事業者への展開が可能であり、他業者の小口径鋼管に対しても地中熱交換器を適用することが可能となり、拡販が期待できる。

②設計コードの開発

設計プログラムに対する十分な計算精度検証が不足しているため実証データを用いた改善が必要となる。コンソーシアムに参加する企業とのデータ共有化を図り実用性の高い設計プログラムへと改善に取り組む。

(1.2.4)本技術開発を通して想定される波及効果

本設鋼管利用工法は技術証明により一般工法としてどこの鋼管杭施工業者でも施工が可能であり、本設鋼管利用工法の事業化により、直膨式地中熱ヒートポンプシステムの施工が普く実施されることが期待できる。

その結果、施工地域の拡大が望めるだけでなく、イニシャルコストにかかる掘削・設置コストの低減と共に、直膨式地中熱ヒートポンプシステムの普及につながると期待できる。

また、設計コードを用いて、直膨式地中熱ヒートポンプシステムの地中熱交換器設計を最適化することで設備コストの削減効果が得られ、直膨式地中熱ヒートポンプシステムの普及につながり、CO2排出量削減に貢献できる。

(1.3)ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発

(1.3.1)事業化の見通し

ZEB実証施設に高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを導入して、その組合せの適応性・有効性を実証する。本システムの開発については2014年度～2018年度のNEDO事業から継続的に取り組んでいるほか、更に機能を追加して冷暖房・給湯・融雪に対応可能な本システムの実用化は、十分に進めることができていると考えている。

経済産業省が作成したロードマップでは、2030年度までに新築建築物の施工数の平均値でZEBの達成を目指しており、今後ZEBの普及が加速度的に進むことが見込まれ、高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを売り込むことで事業化を促進することは可能である。

ZEB普及に向けてはZEBプランナーとなることが必須と考えるが、日本地下水開発は今回のZEB実証施設の実績を基にしてZEBプランナーに登録されたほか、ゼネラルヒートポンプ工業は既に2019年度に登録されており、この両社がタッグを組むことで事業化は更に効率的に進めることが可能である。

(1.3.2)開発項目毎の事業化に向けての見通し及び取り組みについて

2014年度～2018年度のNEDO事業終了後の日本地下水開発における事業化に向けた取り組みでは、59期（2019年9月1日～2020年8月31日の1年間）の年間完成工事高に占める高効率帯水層蓄熱システム利活用関連事業を包含する「環境エネルギー事業」の割合を10%まで引き上げることを目標とした。結果としては、熱利用方式は異なるものの山形県河北町の新庁舎に地下水熱利用冷暖房システムが採用されたことなどから、59期末の環境エネルギー事業の割合は10%に達し、目標達成をできた。徐々にではあるが2014年度～2018年度のNEDO事業での成果を生かした事業活動により、完成工事高に占める環境エネルギー事業の割合を高めることができていることを受け、これからの事業活動の目標として、完成工事高に占める環境エネルギー事業の割合を15%まで高めることを目標とする。

現在研究開発を進めている高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムは、地下水熱を利活用して複数以上の熱需要に対応できることから、この特徴を生かして「地域熱供給」への拡張を考えていきたいと考えている。地域熱供給や地域熱電供給など、NEDO事業から得られた成果を生かすことが可能なシステムについて、様々な可能性を含めてトライを続けていきたいと考えている。

2014年度～2018年度のNEDO事業では、共同研究者である産業技術総合研究所が東北主要5地域（津軽平野、秋田平野、仙台平野、山形盆地、郡山盆地）における帯水層蓄熱システム適応マップを完成させている。今後は適応マップを最大限活用し、東北主要5地域を対象に事業展開を図る。高効率帯水層蓄熱システムは、帯水層内の地下水流速や、地下水の揚水・注入が可能かどうか等、重要な技術的判断要素がいくつかあることから、適応マップを生かして効率的に事業展開を図っていきたい。

(1.3.3)事業化に向けた課題と今後の方針

建築物の建主・施主の中には、インシヤルコストが多少高くなっても再生可能エネルギーを有効活用した環境に優しいシステムの導入を強く希望している場合がある。しかし、建主・施主に直接対応する設計担当者が、再生可能エネルギーを有効利用したシステムに関する知識を十分に持ち合わせていない場合や理解の程度が不十分な場合には、建主・施主の要望を的確に実現できない可能性が高くなると考えられる。日本地下水開発では、ZEBプランナーに登録されたことを生かして、設計担当者に対して高効率帯水層蓄熱システムの省エネルギー性能や環境性能に関する理解が進むような事業活動を進めていく予定である。今回完成させたZEB実証施設を有効活用して、設計担当者に現地見学と冷暖房を実感させることも、本システムに対する理解を進める一助になると考えている。

高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの価格については、普及促進に向けてできるだけ低減を図る必要がある。現時点では、専用ヒートポンプは量産体制にはないが、今後ZEB普及に合わせて本システムの導入数が増大してくれば、徐々に価格を下げる事が可能になると考えている。

(1.3.4)本技術開発を通して想定される波及効果

本システムで採用している密閉型井戸構造は、地下水注入を確実にを行うことを可能にする構造であることから、この井戸構造を普及させることは地下水の熱利用だけでなく、地下水利用そのものの促進につながることを考えている。また、今回建設したZEB実証施設を広く見学施設として活用して、各種学校や地域の環境問題に取り組む団体を始めとした地域の人々への啓蒙活動を進めることにより、環境教育に資することができると思う。

(1.4)寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発

(1.4.1)事業化の見通し

①ZEB・ZEH建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立

ZEB建築へのGSHPシステムの導入について、本コンソーシアム全体の研究で、低コスト型GSHPの性能や二次側運用技術（天井放射空調システムなど）が検証されることによって、寒冷地におけるZEB建築への有効な技術の一つとして確立でき、GSHPを導入したZEBコンサルサービスが提供できる見通しである。コンサルツールの実用化には、本実証試験データの分析に加え、ランニングコストシミュレーションおよび本研究で開発した技術を導入した際のZEB化計算（WEBプログラム標準入力法）の数値も必要となる。データ分析以外の準備を2022年度～2023年度にかけて行い、データ分析の完了後の2023年度以降速やかに、ZEBコンサルに活用できるよう取り組む。

ZEHへのGSHPシステムの導入については、低コスト地中熱交換器の導入が可能な物件であれば、ZEH化の際に太陽光発電の容量、すなわち太陽光発電の設置コストを削減できる効果によって、GSHPシステムの導入コストを相殺できる見込みがあることから、ZEH化の有効な技術の一つとして提供できる見通しである。

②小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

基礎杭兼用地中熱交換器について、RC造建物の従来の杭工事と比較し、今回使用した中空PC杭はほぼ同額で施工可能であった。一方、中空杭内への熱交換パイプの施工費用は別にボアホールの掘削を行う場合に比べてコストを削減できた。建設地の地盤条件にもよるが、杭長が20mの場合には中空杭に熱交換パイプを設置する本方式はコスト削減に寄与することを示すことができ、同様な条件の建築計画において今回の方式にて地中熱利用を事業化できる見通しである。

H型PC杭利用方式、水平ユニット方式については、地盤条件、敷地条件の制約はあるものの、従来のボアホール方式と比べてコスト削減の可能性が示された。特にH型PC杭利用方式については、杭を埋設する条件であれば杭工事と同時に地中熱交換器の設置が可能となり、大幅なコスト削減の見込みがあることを確認できたため、杭を埋設できる新築住宅を対象として事業化を行える見通しである。

③高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発

CO2冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機は高効率な寒冷地向けのエコキュートとして、ZEH化住宅への導入が期待できる。事業終了後の2022年度の製品化を目指す。地中熱ヒートポンプ暖房機（地中熱ダクトエアコン）については、寒冷地のZEH化住宅に対して高効率で冷房も可能な安価な全館空調機器として導入拡大が期待できる。事業終了後の2022年度に室内ユニットの小型化や空調負荷に対する制御プログラム最適化の課題を解消した機器の製品化を目指す。

(1.4.2)開発項目毎の事業化に向けての見通し及び取り組みについて

①ZEB・ZEH建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立

（北海道大学、エムズ・インダストリー、棟晶、北海道電力）

建物需要の多い中小規模建物向けに、本研究で実証している低コスト地中熱交換器や高効率な二次側運用技術（天井放射空調システムなど）を組み合わせたGSHPシステムを採用した普及型ZEB建築のモデルを『中小規模ZEB事務所モデル』として作成し、パンフレット等のPR媒体を活用して道内の設計・設備会社やZEBに興味のあるオーナーに広く周知しGSHP×ZEBの普及に貢献する。

②小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

（エムズ・インダストリー、棟晶、イノアック住環境、北海道大学）

a. 小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器(基礎杭兼用地中熱交換器)の開発

基礎杭を採用する新築建物に対して、今回の実証実験を通じて得られる基礎杭を兼用した地中熱交換器のコスト削減効果とGSHPシステムの省エネ効果を示すことで、新規建物で本方式が採用されるよう展開を行っていく。

b. 小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器(H型PC杭利用方式、水平ユニット方式)の開発

住宅を中心とした小規模建物に対して、開発を行っている低コスト地中熱交換器や地中熱ヒートポンプ暖房機(地中熱ダクトエアコン)、地中熱ヒートポンプ給湯機を組み合わせたGSHPシステムを棟晶のZEH技術のオプションとして選択できるようにし、注文住宅を新築するオーナーやリフォームを検討するオーナーに対して提案、採用してもらえる体制を確立し、住宅建物のGSHPシステムの普及に貢献する。

また、H型PC杭利用方式の地中熱交換器パイプについては、事業化に向けた製品製造を北海道にあるイノアック住環境の関係会社で9月頃に試作、量試を行い、価格を含めた量産化、製品化を進める。

③高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発

(北海道電力、サンポット、北海道大学)

実証結果等を用いて地中熱ヒートポンプ給湯機を高効率ヒートポンプ給湯機としてPRし、寒冷地のZEH化住宅を中心に導入展開を図る。また、地中熱ヒートポンプ冷暖房機の夏季の冷房排熱を利用し成績係数を向上させるシステムを実証し、夏季においても省エネ効果が得られる製品を開発していく。小型温水暖房機については、寒冷地向けの温水暖房機としてZEH化住宅へ導入していくという事業化に向け、課題を解消する開発を継続する。地中熱ヒートポンプ暖房機（地中熱ダクトエアコン）については、本事業で室内ユニットの小型化と制御プログラムの最適化を実施し、寒冷地向けの全館冷暖房ユニットとしてZEH化住宅への導入展開を図っていく。

(1.4.3)事業化に向けた課題と今後の方針

①ZEB・ZEH建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立

通常のZEBコンサルにおいても、インシヤルコストが目下の課題であり、本研究の軸であるGSHPの低コスト化が見込めるかが鍵となる。また、トータルコストによる検証や、GSHPの高効率性能が脱炭素社会の実現へ寄与することを、PR・普及方策へ反映するよう考慮するコンサル内容とすることで、オーナーのインシヤルコスト重視の意識改革を促す。

②小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

a. 小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器(基礎杭兼用地中熱交換器)の開発

基礎杭兼用地中熱交換器の最適本数や基礎杭内部に設置するパイプ長さ等の設計指針が必要と考える。本事業での実測の結果やシミュレーションの実施による最適化により課題解消可能と考える。

b. 小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器(H型PC杭利用方式、水平ユニット方式)の開発

H型PC杭利用方式はコスト削減の見込みが大きい、杭の埋設の可否を判定する方法の精度向上や杭が不要な場合に比較的安価となる代替案を提供可能とすること等が課題であると考えている。杭の埋設の可否については、施工事例を増やすことで精度向上に努める。代替案については、コンソーシアム事業者だけでなく、地中熱導入を行っている他の事業者との連携を図ることなどで、検討を行う。

水平ユニット方式については、配管の自重や曲がり癖が施工性の向上を妨げることが課題となっている。ユニットの配管自体の長さを短くすることや配管途中で配管の自重や曲がり癖を無くす部材を設置する方法を検討していく。

③高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発

課題は、地中採熱工事の低コスト化及び空気熱ヒートポンプと比較した場合のランニングコストの優位性を実証し周知していくことであると考えている。地中採熱工事の低コスト化はコンソーシアム全体で取り組んでおり事業を通して達成できると考えている。空気熱ヒートポンプと比較した場合のランニングコストの優位性に関しては、実証機を実際の建物に導入しデータを取集して優位性を実証し、優位性の周知に関してはコンソーシアム全体で宣伝活動を推進していく。

(1.4.4)本技術開発を通して想定される波及効果

①ZEB・ZEH建物に導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムの設計・評価手法の確立

寒冷地におけるZEH化の有効な技術の一つとしてPRを行うことで、近年機運の高まるカーボンニュートラル、SDGsに寄与するZEB普及の後押しとなり低コストGSHPの採用が伸びる可能性が高い。

②小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器の開発

a. 小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器(基礎杭兼用地中熱交換器)の開発

今回の基礎杭兼用方式の地中熱交換器を建物全体の空調利用に採用した事例は国内で最初であり、今後は今回の実験結果を元に波及を期待できる。

b. 小規模建築に導入可能な低コスト地中熱交換器(H型PC杭利用方式、水平ユニット方式)の開発

H型PC杭利用方式や水平ユニット方式の地中熱交換器の開発は、寒冷地のZEH建物においてGSHPシステムの導入拡大が期待できる。また、H型PC杭利用方式については、先述の通り杭を埋設する地盤条件であれば大幅なコスト低減が見込まれることから、冷房も可能な地中熱ダクトエアコンとの組み合わせにより温暖地での導入も期待できる。

③高効率化を実現するヒートポンプおよび二次側運用技術の開発

業界初のCO₂冷媒を用いた地中熱ヒートポンプ給湯機および地中熱ヒートポンプ全館冷暖房ユニットの小型室内ユニットを発売することにより、寒冷地の給湯・暖房市場に対して大きな波及効果あると思われる。また、一次エネルギー、CO₂削減効果を期待でき、環境面での社会貢献が可能である。

(2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発

(2.1)天空熱源ヒートポンプ（SSHP）システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発

(2.1.1)事業化の見通し

2021年度～2023年度の3年間で実建物における実証装置の運転性能評価を行い、CO2削減効果、省エネルギー効果の検証を行い、カーボンニュートラルに資する空調システムであることを実証する。

また、本事業終了の2023年度段階で、従来の水熱源ヒートポンプシステムに対して、トータルコスト20%以上低減（投資回収年数14年以下）を達成するとともに、2030年度時点で目標とするトータルコスト30%（投資回収年数8年以下）にめどをつければ、天空熱源ヒートポンプシステムの事業化が視野に入ってくるが、政府は2030年に2013年比46%低減の目標を掲げており、顧客・市場ニーズの動向に応じて早期の市場投入を図る。

(2.1.2)開発項目毎の事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本成果のうち、主要要素技術である「ユニット型SSHP」、「水熱源給湯ヒートポンプ」を共同提案者でヒートポンプメーカーであるゼネラルヒートポンプ工業株式会社が組立、試験、販売委託を行う。当面は、ZEB建物、病院、研究所などを中心にした当社社内物件に適用するとともに、再生可能エネルギー利用に意識のある顧客や設計事務所への営業展開を行う。

(2.1.3)事業化に向けた課題と今後の方針

事業者である鹿島建設(株)は建設会社であり、ZEB建物、病院、研究所などを中心にした建物受注を通じて、本プロジェクトでの開発成果（新SSHPシステム）の収益を得るビジネスモデルである。多角的な再生可能エネルギー熱利用を行う新SSHPシステムを、他者に無い優位技術として、コンペ提案や再生可能エネルギー利用に意識のある顧客や設計事務所への営業展開を行い、一層の建物受注を図る。

(2.1.4)本技術開発を通して想定される波及効果

再生可能エネルギー（地中熱、太陽熱）を多角的に利用したヒートポンプシステムが普及拡大すれば、政府が掲げている2030年に2013年比46%低減の目標達成に貢献できる。

(2.2)温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発

(2.2.1)事業化の見通し

本研究開発により、分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発が行われれば、分散熱源による熱源水ネットワークシステムの「導入検討ツール」を活用したコンサルサービスとしての事業化が見込まれる。また、熱売買制御システムが構築されれば、将来的にエネルギーサービス事業において、導入先の熱融通仲介サービス提供（運営事業者）の事業化も考えられる。

(2.2.2)開発項目毎の事業化に向けての見通し及び取り組みについて

①分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発

（事業者：株式会社総合設備コンサルタント）

- ・再エネ熱導入の構想段階で必要となる導入検討・判断の容易化を図るソフト的支援ツール。
- ・顧客に低コストかつ検討時間を短縮したコンサルサービスの提供が可能となる。

②分散熱源による熱源水ネットワークシステムの「熱売買制御システム」

（事業者：広沢電機工業株式会社）

- ・単なる熱融通だけでなく、ユーザー間での熱融通による熱売買の制御を組み込んだ制御システム。
- ・上記コンサルサービスから設計へつなげると、設計段階でスペックインが行われ、ユーザー間での熱融通による熱売買の制御を組み込んだ制御システムとして実導入にいたる。
- ・本制御システムの製作販売、維持メンテナンスサービスを実施。

(2.2.3)事業化に向けた課題と今後の方針

- ・研究開発終了後、営業活動により分散熱源による熱源水ネットワークシステムの FS 検討業務を受注し開発成果である導入検討ツールを活用して、現状より低コストでサービス提供を行う。FS 後は、設計、実導入につなげる。
- ・総合設備コンサルタントは FS 業務を含むコンサル、システム設計にて収益をあげる。
- ・研究開発終了後、継続して制御システムの導入市場を調査するとともに、プロモーションを開始する。
- ・実証試験で得た知見をもとに事業化に向けた製品設計を行い、システム設計、実導入案件に対して製品の供給を行う。
- ・設計段階、導入段階で出た課題に対し、システム見直しと改良も実施。

(2.2.4)本技術開発を通して想定される波及効果

【環境効果】

- ・当該研究開発により分散熱源による熱源水ネットワークシステムの実用化・事業化が実現した際に CO₂削減効果が期待される。
- ・温泉の共有利用による温泉資源の保護なども期待できる。

【技術効果】

- ・温泉地以外でも他の再生可能エネルギー、未利用エネルギー熱源のネットワーク構築も可能である。
- ・分散熱源システムによるエネルギーの効率的な活用と、熱需要家のエネルギー供給への参画によってエネルギー需給構造の柔軟化が期待される。
- ・温泉に限らず他熱源への適用が可能な技術であるため、分散熱源による熱源水ネットワークシステムにおける熱売買の考え方が整理されれば、日本版熱版 FIT のベースに資する情報にもなり、太陽熱や地中熱等様々な熱源における再エネ熱・新エネ熱の売買・利用促進自体に貢献できると考える。

【経済効果】

- ・化石燃料の利用料削減による光熱費が低減される。
- ・温泉熱利用の PR（温泉熱利用を活かした現地見学ツアーや視察等）による集客数増加および知名度向上を図れる。

【社会効果】

- エネルギーの地産地消による地域のエネルギー関連産業の発展を通じた地域活性化が図れる。
- 温泉熱利用で得られた収益の活用による地域活性化が図れる。
- 再生可能熱エネルギー利用の有効活用による再エネ・資源等環境教育への活用ができる。

【その他】

- 分散熱源による熱源水ネットワークシステムについて、某娯楽施設でのエネルギーシステムに対する導入提案を行ったところ、好感触を得ており、具体化に向けた検討が進む可能性がある。
- 複数の温泉施設を有するホテル旅館業事業者にもシステム構想の提案をしたところ興味を持たれ、当該事業者の施設を対象に熱源水ネットワークシステムの検討提案を行う予定である。

(3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

(3.1)見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化

(3.1.1)実用化の見通し

本研究開発にて、見かけ熱伝導率の推定手法を開発、規格化することにより、わが国の各地に豊富に賦存する地下水流れによる移流効果を反映した設計を行うことができるようになり、低コスト化に寄与することが期待される。また簡易熱応答試験(TRT)法を開発することで、新たに地中熱交換器を設置しない、あるいは、従来より短時間かつ少人数での試験が可能になることで低コストが期待できるほか、TRT技術は、地中熱利用システムの分野のみならず、土木建築などの構造物の耐久性評価にも応用できる可能性がある。更に、統合型設計ツールは、オープンループシステムの設計も含めた統合型ツールは世界的に見ても未だなく、本研究開発によって、クローズド、オープンループ方式の最適な選定が可能となり、検証用の簡易計測ユニットの開発も併せて、地中熱システムの市場拡大が期待される。

(3.1.2)開発項目毎の実用化に向けての見通し及び取り組みについて

①見かけ熱伝導率の推定手法

全国見かけ熱伝導率データベース(テスト版)は、地中熱利用システムの普及促進や認知度向上につながる知的基盤情報と位置付けるため、無償公開を予定する。将来的には、本データベースの主要ユーザーであるシステム設計会社に対して、一部情報の有料公開も視野に入れる。また、見かけ熱伝導率の水文地質学的推定については、大学や公設試験研究機関(公設試)への技術移転を行う。地形AI解析ソフトウェアは、地中熱関連業務において地下水情報の推定に取り組むであろう地質調査会社、コンサルタント会社等での利活用を目論む。

②簡易熱応答試験(TRT)法

本事業項目における各研究において、プロジェクト期間に一定の熱伝導率推定精度を確認した後、従来のTRT手法に代わるTRT技術として規格化する。また民間企業と連携して装置の製品化を行い、国内外における地中熱システムの施工会社等に販売するとともに、技術支援を行う。

③統合型設計ツール

統合型地中熱設計ツールに、プリポスト機能を実用化に適するデザインとともに整備し、わが国の地中熱設計の標準ツールとする。このために、開発・販売元となるソフトウェア会社を技術的に支援、育成するとともに、ツールを用いた設計法のガイドラインを作成する。また統合型設計ツールのために開発する地盤・帯水層データベースについても、統合型設計ツールと連動する形で、ユーザーが任意の地点・深度で情報が入手できるようクラウドサーバー上で公開(販売)するよう技術的、学術的な支援を行う。ビジネスパートナーとしては、地中熱ビジネスに携わっている企業、空調工事会社、計装システム会社、設備会社などの参入が見込まれる。

(3.1.3)実用化に向けた課題と今後の方針

①見かけ熱伝導率の推定手法

本事業完了時を目標に公開予定とする全国見かけ熱伝導率データベースは、NPO法人地中熱利用促進協会を通じて全国各地の公設試・民間企業に広く普及させる計画である。また本データベースは、将来的には建設事業等で随時実施・充足される地域ごとの地質調査データを活用して情報更新を図る予定である。このとき、各都道府県の公設試や民間企業が主体となったデータベース更新が可能ないように、本事業で開発する水文学的推定手法や地下水情報の簡易推定手法の技術移転を積極的にすすめる。具体的には、開発技術の展開・普及を見据えたデータベース作成やマニュアル化が必要となる。

②簡易熱応答試験(TRT)法

本事業期間においては、それぞれの研究項目において、大口径の水井戸や大深度の地中熱交換器における熱応答試験およびデータ解析手法の検討などを行い、簡易TRT技術の確立を目指す。事業期間終了後は、装置の改良や現場試験などにより測定精度および信頼性の向上を図り、装置の製品化を目指すとともに、簡易TRT技術における測定手順や解析手法などの規格化を行う。

③統合型設計ツール

実用化に向けて、プリポスト機能の実装、デバック、クラウドサーバー整備、セキュリティ機能の確保など、商用ソフトウェアとして必要な開発作業について、事業後2年をかけて実施し、事業後3年目からの提供(販売)を目指す。

(3.1.4)本技術開発を通して想定される波及効果

①見かけ熱伝導率の推定手法

見かけ熱伝導率の推定手法を開発・規格化することにより、地下水流れによる移流効果を反映した設計を行うことができるようになる。これにより、地中熱利用システムの最適設計が可能（技術的な効果）、最適設計に伴う低コスト化（経済的な効果）、国土を網羅したデータベース作成による普及促進（社会的な効果）等が期待される。また、公設試、民間企業、大学等を対象として見かけ熱伝導率の水文地質学的推定手法の技術移転を行うことで、地中熱分野の研究者・技術者の育成を図ると共に、地中熱利用システムの普及には欠かせない行政担当者・民間企業設計担当者の理解醸成を目指す。

②簡易熱応答試験(TRT)法

本プロジェクトにおいて提案する各簡易熱応答試験法が実用化され、安価にTRTを実施することができれば、地中熱利用システムにかかる初期コストを削減することが期待できる。

③統合型設計ツール

統合型設計ツールの活用により、設計設備の実務者が今までより簡便に、これまで主体であったクローズドループ方式のみならず、わが国に豊富にある地下水資源に着目したオープンループ方式も含めた地中熱システム設計を可能となることで、これまで導入が進んでいなかった地域を含め、地中熱利用の拡大が見込まれる。更に、クローズド・オープンループ方式を統合した設計ツールは世界初であり、わが国だけでなく世界のスタンダードツールとして事業化できれば、地中熱産業の国際的ビジネスの展開も期待できる。

(3.2)オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究

(3.2.1)実用化の見通し

本研究開発は共通基盤技術開発であるため、実用化・事業化を行う製品・サービスはオープンループ方式地中熱利用システムを設計する際に利用できる設計ツール・設計指針である。これらは研究開発期間終了後に無償公開する方向性で検討を進めている。

(3.2.2)開発項目毎の実用化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発テーマでは、実用化・事業化を行う製品・サービスはオープンループ方式地中熱利用システムを設計する際に利用できる設計ツール・設計指針であり、各開発項目の成果が一体化されることになる。よって「(3.2.1)実用化の見通し」と同じである。

(3.2.3)実用化に向けた課題と今後の方針

実用化に向けた課題として、実用化後の設計ツール・設計指針の更新がある。これに関しては、管理者を定めた上で新規ヒートポンプデータの追加などの更新方法を検討する予定である。

(3.2.4)本技術開発を通して想定される波及効果

わが国における地中熱ヒートポンプシステムの累積設備容量は 2015 年末時点で 132.5 MW である（環境省、2018）。これを太陽光発電の設備容量の変遷と比較をすると、上の値は太陽光発電の 1990 年代の後半の値にほぼ一致している（大谷、2020）。太陽光発電は 2008 年までは費用回収年数が約 28 年であったものの、その間にも普及が進み 1998 年から 2008 年までに累積設備容量は 133 MW から 2,144 MW まで増加した。この増加は費用回収年数が一定のままで生じているため、コスト削減効果がない場合の普及拡大の状況とみなすことができる。一方で、2009 年以降は余剰電力買取制度および固定価格買取制度により太陽光発電の費用回収年数が 9 年に短縮され、2016 年には累積設備容量が 42,040 MW まで増加した。2008 年以前と 2009 年以降の累積設備容量の年間増加量はそれぞれ 201 MW/年と 4,987 MW/年である。これの後者から前者を差し引いた値 4,786 MW/年 が費用回収年数の低減による年間増加量とみなすことができる。

今回提案する技術開発はシステムのコスト低減を担うものではないものの、提案する設計ツール・設計手法が開発されることにより設計段階でのコスト評価が明確になることから、費用回収年数が明確になり、オープンループ方式を選択しやすくなることが期待される。地中熱利用に関する各種のコスト低減および設計段階でのコストの明確化により、太陽光発電の費用回収年数の低減による年間増加量 4,786 MW/年の仮に 10%が地中熱利用の場合に増加すると考えると、地中熱利用の年間増加量は 479 MW/年となる。地中熱利用に占めるオープンループ方式の割合は設備容量ベースで約 40%（環境省、2018）であるので、この割合が今後も変わらないと仮定するとオープンループ方式の今後の年間増加量は 192 MW/年となる。

環境省（2018）では、オープンループ方式の出力 kW あたりの設置コストを 10-30 万円としている。これが、近年実施されている研究開発プロジェクトの成果により設置コストが 30%削減されるとすると、今後の設置コストは 7-21 万円（中間値は 14 万円）となる。この中間値と上で示した年間増加量を乗ずることにより、オープンループ方式の市場規模は年間 270 億円となると予想される。太陽光発電システムの市場規模が 2,365 億円（2019 年度見込み）、業務・産業施設向け空調システムの国内市場規模が 7,603 億円（2019 年見込み）であることから、上の予測は実現可能性がある値であるといえる。

添付資料 1

プロジェクト基本計画

「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」基本計画

新エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

① 政策的な重要性

2018年7月3日に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」では、「我が国のエネルギー消費の現状においては、熱利用を中心とした非電力での用途が過半数を占めて」おり、「エネルギー利用効率を高めるためには、熱をより効率的に利用することが重要であり、そのための取組を強化することが必要になっている」とされている。このうち再生可能エネルギー熱については、コスト低減に資する取組を進めることで、コスト面でもバランスのとれた分散型エネルギーとして重要な役割を果たす可能性があるとの位置付けとなっている。

② 我が国の状況

「第5次エネルギー基本計画」においては、“多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造”の実現を目指し、再生可能エネルギー熱をより効果的に活用していくことも、エネルギー需給構造をより効率化する上で効果的な取組とされている。しかしながら、これまでこうした熱源が十分に活用されてこなかった要因として、設備導入コストが高いこと、認知度が低いこと、熱エネルギーの供給を担う人材が十分に育っていないこと等がある。NEDOでは、「再生可能エネルギー熱利用技術開発」（2014～2018年度）において、地中熱利用技術及び各種再生可能エネルギー熱の利用について、蓄熱利用等を含むシステムの高効率化、評価技術の高精度化等に取り組み、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に向けトータルコストの低減を進めてきた。

今後、企業間競争や、民間主導の技術開発投資、量産化の実現といった市場環境を整備し、自立的な再生可能エネルギー熱利用の普及に向けて、より一層のコストダウンや実用化技術の確立が求められる。

③ 世界の取組状況

EUでは、2009年の「再生可能エネルギー利用促進指令」に基づいて、加盟各国に対して2020年の再生可能エネルギー導入目標の設定並びに行動計画の策定が義務付けられた。この導入目標は、最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率で設定されており、EU全体で2020年に20%とすることを目指している。また、Horizon 2020のプログラムにおいて、各種

再生可能エネルギーに係る研究開発を推進している。米国では、Renewable Portfolio Standard (RPS) により再生可能エネルギーの導入を進めており、2018年時点で太陽熱は14州、地中熱は12州で再生可能エネルギーの対象として認められている。中国では、第13次5か年計画において、太陽熱については利用集熱面積を8億平方メートルに拡大し、地中熱利用については支援制度を打ち出す方針を示している。

④ 本事業のねらい

本事業では、低炭素社会、更には脱炭素社会の実現に資する再生可能エネルギー熱利用の普及拡大を目指す。

地域偏在性がなく安定した再生可能エネルギー熱源として、地中熱、太陽熱等について、コストダウンに資する高効率機器の開発や、蓄熱や複数熱源を組み合わせたシステムの実用化技術の確立、共通基盤技術（見かけ熱伝導率の推定・評価技術、設計ツール等）の開発、並びに、評価及び定量化技術の高機能化をZEB等への適用も視野において実現する。また、業界団体やユーザーとの連携による成果の普及方策に取り組む。

(2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

本事業では、2030年までに地中熱、太陽熱等の再生可能エネルギー熱システムのトータルコストを30%以上低減すること（投資回収年数8年以下）を最終的なアウトカム目標とし、再生可能エネルギー熱の導入に関わる上流から下流までの事業者等を集めたコンソーシアム体制により事業者間の役割分担を最適化しつつ、適切な進捗管理指標の下に各要素（設計、機器、施工等）の技術開発を進める。さらに、トータルコスト低減を達成するために必要な取組みを要素別に具体的に特定し、行動計画としてまとめる。加えて、地中熱利用システムの導入拡大に資するシステム設計の最適化に必要な見かけ熱伝導率の推定・評価技術、簡易 TRT（熱応答試験）技術、設計ツールを共通基盤技術として開発し規格化を目指す。

最終目標（2023年度）

本事業の直接的な成果として2023年度までに再生可能エネルギー熱システムのトータルコストを20%以上低減（投資回収年数14年以下）させるとともに、2030年までにトータルコストを30%以上低減（投資回収年数8年以下）するための道筋及び具体的取組み（普及方策）を行動計画としてまとめる。共通基盤技術開発においては、地中熱利用システムの設計時に利用する見かけ熱伝導率(λ)を $0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 以下の間隔で推定可能な評価技術を開発し、その有効性を地質水文環境の異なる3か所以上で検証する。また、簡易 TRT

技術については、試験方法を簡易化し実用レベルに達していることを実証する。さらに、多様な熱負荷条件やオープンループ方式を含む熱源方式に対応した設計ツールを開発する。

中間目標（2021年度）

2023年度までの可能な限り早期にトータルコストを20%以上低減（投資回収年数14年以下）させる可能性を実験等で示す。また、共通基盤技術開発における推定・評価技術、設計ツールについては、事業者が設定する開発目標の妥当性を外部有識者にて審議し、妥当であるとの評価を得る。

② アウトカム目標

本事業で開発した各機器、アプリケーション、施工技術、共通基盤技術等の普及により、市場拡大による量産化、企業間競争、更なる技術改善等を促進し、2030年までにトータルコスト30%以上低減（投資回収年数8年以下）を実現し、再生可能エネルギー熱利用の導入拡大を目指す。

③ アウトカム目標達成に向けての取組

研究開発後の市場導入及び導入拡大を円滑に進めるため、本事業期間内に普及方策を行動計画として策定し、NEDOでは、関係省庁、業界団体との情報交換を定期的実施し、研究開発課題やコスト目標を盛り込んだロードマップを作成する。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、別紙1の研究開発計画及び別紙2の研究開発スケジュール例に基づき研究開発を実施する。

なお、本事業は、自立的な再生可能エネルギー熱利用の普及に重点を置き、テーマ毎に上流から下流までのプレーヤーからなるコンソーシアムを基本とした体制で、企業の積極的な関与により要素技術開発から実用化開発及びその成果の普及方策の策定まで一貫した事業であり、助成事業（NEDO負担率：1/2）として実施する。高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発については、高度な知識を要するため大学・研究機関を中心とした体制で実施し、規格化に資することを想定し業界団体等と連携する事業であり、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下「PM」という。）にNEDO新エネルギー部 谷口 聡子 主査を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDOは公募により研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

（２）研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理・執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な対策を講じるものとする。運営管理にあたっては、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

①研究開発の進捗把握・管理

PMは、経済産業省及び研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

②技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

３．研究開発の実施期間

2019年度から2023年度までの5年間とする。

４．評価に関する事項

NEDOは、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を2021年度、事後評価を2024年度とし、本研究開発に係る技術動向、政策動向や本研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直しするものとする。

また、適切な進捗管理指標を設定した上で、自立や横展開の見込みを勘案して、定期的なモニタリング（中間評価、事後評価等）を踏まえ、必要に応じて事業の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①共通基盤技術の形成に資する成果の普及

本研究開発で得られた研究成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

②標準化施策等との連携

NEDO及び実施者は、プロジェクト終了後も得られた研究開発成果を標準化活動に役立てることとする。

③知的財産権の帰属、管理等取扱い

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

④知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

⑤データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する。

(2) 「プロジェクト基本計画」の見直し

PMは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法」第15条第1号イ、第3号及び第9号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2019年2月、制定。

(2) 2019年4月、改訂。プロジェクトマネージャー変更のため。

(3) 2020年3月、改訂。研究開発項目追加のため。

(別紙1) 研究開発計画

1. 研究開発の必要性

再生可能エネルギー熱利用技術は、熱を直接利用するため、エネルギー供給の多様化を実現し、エネルギーセキュリティ確保に大きく寄与することが可能である。

2018年7月に閣議決定した「第5次エネルギー基本計画」においては、“多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造”の実現を目指し、再生可能エネルギー熱については、より効果的に活用していくことで、エネルギー需給構造をより効率化する上で効果的な取組と期待されている。しかしながら、再生可能エネルギーの熱利用を考えた場合、課題も多く、一般に、熱利用技術は、既存技術より導入コストが依然として高いこと、認知度が低く、熱エネルギーの供給を担う事業者が十分に育っていないこと等がある。そこで、NEDOでは、「再生可能エネルギー熱利用技術開発」(2014～2018年度)において、地中熱利用技術および各種再生可能エネルギー熱の利用について、蓄熱利用等を含むシステムの高効率化・規格化、評価技術の高精度化等に取り組み、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に向けトータルコストの低減を進めてきた。

再生可能エネルギー熱の自立的な市場の形成には、更なるコストダウンが求められる。再生可能エネルギー熱利用システムの導入には多種多様なプレイヤーが関わることから、本事業では、上流から下流までのプレイヤーが一体となったコンソーシアム体制で推進し、ニーズ・実用化に重点を置いた研究開発を推進するとともに、業界団体やユーザーとも連携し開発成果の普及方策に取り組む。ただし、高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発については、高度な知識を要するため大学・研究機関を中心とした体制で実施し、規格化に資することを想定し業界団体等と連携する。

2. 研究開発の具体的内容

テーマ毎に、各種再生可能エネルギー熱利用システムの導入に係る上流から下流までのプレイヤーが一体となったコンソーシアム体制で、以下の(1)、(2)の研究開発を推進するとともに、NEDO、業界団体、研究開発実施者等で連携し、テーマ横断的に技術基準や評価技術の整備等の普及方策に取り組む。(3)については、大学・研究開発機関を中心とした体制で取り組み、規格化に資することを想定し業界団体等と連携する。

(1) 地中熱利用システムの低コスト化技術開発

大規模建築物、小規模建築物等、それぞれの建築物に導入することを想定した、我が国の利用に適合した高効率機器の開発、施工期間短縮に資する施工技術の開発、地中熱利用システムの最適化技術の開発、評価・定量化技術の高機能化開発

等に取り組み、地中熱利用システムのトータルコスト低減に資する技術を開発する。

(2) 太陽熱等利用システムの高度化技術開発

高効率機器の開発や、年間を通じた太陽エネルギーの最大限の活用に資する太陽熱利用機器の開発、評価・定量化技術の高機能化開発、再生可能エネルギー熱を含む多様な熱源を組み合わせたシステムの最適化技術開発等に取り組み、太陽熱等利用システムのトータルコスト低減に資する技術を開発する。

(3) 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

地中熱利用システムの導入拡大に資するシステム設計の最適化に必要な見かけ熱伝導率の推定・評価技術、簡易 TRT（熱応答試験）技術、設計ツールを共通基盤技術として開発し規格化を目指す。

3. 達成目標

本事業では、2030年までに地中熱、太陽熱等の再生可能エネルギー熱のシステム全体のトータルコストを30%以上低減すること（投資回収年数8年以下）を最終的なアウトカム目標とし、再エネ熱の導入に関わる上流から下流までの事業者等を集めたコンソーシアム体制により事業者間の役割分担を最適化しつつ、適切な進捗管理指標の下に各要素（設計、機器、施工等）の技術開発を進める。さらに、トータルコスト低減を達成するために必要な取組みを要素別に具体的に特定し、行動計画としてまとめる。加えて、地中熱利用システムの導入拡大に資するシステム設計の最適化に必要な見かけ熱伝導率の推定・評価技術、簡易 TRT 技術、設計ツールを共通基盤技術として開発し規格化を目指す。

【中間目標】（2021年度）

2023年度までの可能な限り早期にトータルコストを20%以上低減（投資回収年数14年以下）させる可能性を実験等で示す。また、共通基盤技術開発における推定・評価技術、設計ツールについて事業者が設定する開発目標の妥当性を外部有識者にて審議し、妥当であるとの評価を得る。

【最終目標】（2023年度）

本事業の直接的な成果として2023年度までに再生可能エネルギー熱システムのトータルコストを20%以上低減（投資回収年数14年以下）させるとともに、2030年までにトータルコストを30%以上低減するための道筋及び具体的取組み（普及方策）を行動計画としてまとめる。共通基盤技術開発においては、地中熱利用システムの設計時に利用する見かけ熱伝導率（ λ ）を0.5 W/(m・K)以下の間隔で推定可能な評価技術を開発し、その有効性を地質水文環境の異なる3か所以上で検証する。また、簡易 TRT 技術につい

ては、試験方法を簡易化し実用レベルに達していることを実証する。さらに、多様な熱負荷条件やオープンループ方式を含む熱源方式に対応した設計ツールを開発する。

(別紙2) 研究開発スケジュール例

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
評価			☆中間評価			☆事後評価
研究開発項目① 地中熱利用システムの 低コスト化技術開発	設計、試作		実証、改良		実用化開発	事業終了
研究開発項目② 太陽熱等利用システム の高度化技術開発	要素技術開発、設計、試作		実証、改良		実用化開発	
研究開発項目③ 高度化・低コスト化の ための共通基盤技術開 発	設計、試作		検証、改良		技術確立、 検証	
		普及方策 (NEDO、業界団体、実施者等)				

※技術検討委員会は毎年度実施

添付資料 2

事前評価結果

平成 30 年度事前評価結果

平成 30 年 9 月に実施の研究評価委員会において、平成 31 年度 NEDO 新規案件の事前評価を実施した結果を以下に示す。

案件名	再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発
推進部署	新エネルギー部
総合コメント	再生可能エネルギー熱利用の研究開発については、最大の課題であるコスト低減の取組みを強化することが必要であり、本事業を推進することは重要である。実施に際して、これまでの NEDO 関連プロジェクトの研究開発成果等を精査し、コスト低減に向けた個々の技術およびシステム化の課題を明確化すべきである。また多様な熱エネルギーに関連する要素技術開発を進める研究開発マネジメント体制やユーザーを巻き込んだシステム作りが必要である。さらに、再生可能エネルギー熱利用のそれぞれの技術開発分野におけるアウトプットからアウトカムに向けた具体的なロードマップ作成を進めるべきである。

※事前評価書結果より「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」プロジェクト部分を抜粋

添付資料 3

特許論文リスト

1. 事業全体の論文・外部発表等の件数

(2021年7月31日現在)

【件数・内訳】 <事業者分(NEDO分は含まない)>

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	6件	4件	1件
2020FY	2件	0件	0件	3件	1件	22件	14件	3件
2021FY	0件	0件	0件	1件	0件	21件	6件	1件
計	2件	0件	0件	4件	1件	49件	24件	5件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【件数・内訳】 <NEDO分>

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	7件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	7件	4件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件
計	0件	0件	0件	0件	0件	14件	7件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

2. 個別テーマ毎の論文・外部発表等の等の件数

(1)地中熱利用システムの低コスト化技術開発

(1.1)給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1							

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1						

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	大久保 博晃	株式会社 ワイビー エム	給湯負荷のある施設への導入を 想定した地中熱利用ヒートポン プシステムの研究開発	令和3年度第1回地下 熱利用とヒートポン プシステム研究会	2021年7月

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

(c)その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

(1.2)直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
2020FY	1件	0件	0件	2件	0件	4件	0件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	11件	5件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	伊田テクノ ス	特願 2020- 207984	国内	2020年12月15日	出願中	構造体, 基礎構造 物, 基礎構造物の 製造方法, および 建物の製造方法	檜崎亘 及川直哉 富澤洋介 宮下隆志

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	武田哲明 依田修 渡邊弘美	山梨大学	住宅用鋼管杭を用いた地 中熱ヒートポンプの空調 性能	日本冷凍空調学会論文集, Vol.37, No.3 (2020), pp.285-291	有	2020年9 月30日
2	三瓶大地、 武田哲明、 守屋大	山梨大学	直接膨張方式地中熱ヒー トポンプの性能評価-3 分岐型地中熱交換器を用 いた場合-	日本冷凍空調学会論文集, Vol.37, No.3 (2020), pp.293-300	有	2020年9 月30日

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	青木友哉、 武田哲明、 依田修、 大久保宏司	山梨大学	住宅用鋼管杭を用いた地 中熱ヒートポンプの性能	2019年度日本冷凍空調学会年次 大会講演	2019年9月11- 13日
2	三瓶大地、 武田哲明	山梨大学	直接膨張方式地中熱ヒー トポンプの地中熱交換器 に関する研究	日本機械学会熱工学コンファ レンス2019講演	2019年10月 12-13日
3	武田哲明	山梨大学	直接膨張方式の地中熱 ヒートポンプに用いる地 中熱交換器について	日本冷凍空調学会調査研究プロ ジェクト「環境変化に対応す るための先進熱交換技術に関する 調査研究」講演	2019年12月2 日
4	守屋大、 武田哲明	山梨大学	直接膨張方式地中熱ヒー トポンプの空調性能	2020年度日本冷凍空調学会年次 大会講演	2020年9月9- 11日
5	金井裕紀、 武田哲明	山梨大学	直接膨張方式地中熱ヒー トポンプの給湯性能	2020年度日本冷凍空調学会年次 大会講演	2020年9月9- 11日
6	武田哲明、 三瓶大地、 依田修、 渡邊弘美	山梨大学	住宅用鋼管杭を用いた地 中熱ヒートポンプの研究	2020年度日本冷凍空調学会年次 大会講演	2020年9月9- 11日
7	三瓶大地、 武田哲明	山梨大学	地中熱ヒートポンプの地 中熱交換器による採熱特 性	日本機械学会2020年度年次大会 講演	2020年9月13- 16日

8	武田哲明	山梨大学	持続可能な社会を目指す省エネルギー技術ー地中熱エネルギーの利用法ー	山梨大学・読売新聞連続市民講座講演	2021年5月15日
9	武田哲明	山梨大学	直接膨張方式地中熱ヒートポンプに適用する地中熱交換器に関する研究	第58回日本伝熱シンポジウム講演	2021年5月27日
10	依田 修 中澤俊也 柳生達哉 宮下隆志	藤島建設	直膨式地中熱HPSの開発	ヒートポンプ・蓄熱センター/地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	2021年7月2日
11	小林永並、 武田哲明	山梨大学	地中熱交換器内の冷媒状態と熱交換性能	第25回動力・エネルギー技術シンポジウム講演	2021年7月26-27日

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1	武田哲明	山梨大学	地中熱ヒートポンプの動向	電気計算 2021年1月号、Vo.89, No.1, pp.31-36	2021年1月
2	武田哲明	山梨大学	直接膨張方式地中熱ヒートポンプの技術開発	日本伝熱学会誌、Vol.60, No.251, pp.54-60	2021年4月
3	武田哲明	山梨大学	再エネ熱を利用する直接膨張方式地中熱ヒートポンプ	クリーンエネルギー、Vol.30, No.5, pp.44-49	2021年5月
4	武田哲明	山梨大学	「地中熱省エネに貢献」	読売新聞5月16日、P.22 (山梨地域)	2021年5月
5	武田哲明	山梨大学	「地中熱利用でコスト減」	読売新聞5月22日、P.23 (山梨地域)	2021年5月

(c) その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

(1.3)ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT* 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	4件	1件
2020FY	0件	0件	0件	0件	1件	4件	7件	2件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1							

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	山谷睦	日本地下水開発	積雪寒冷地域に最適な帯水層蓄熱冷暖房システム	日本雪工学会誌 Vol.36 No.4(Ser.No.141),145-146	なし	2020年10月

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	黒沼覚	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱システムの開発	2020年度日本冷凍空調学会年次大会	2020年9月9日
2	黒沼覚	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱システムにおける冷温熱の蓄熱状況	日本地下水学会 2020年度秋季講演会	2020年11月4日
3	加藤渉	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱システムの冷温熱の利用状況について	日本地熱学会令和2年度学術講演会	2020年11月10日
4	山谷睦	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱システムの稼働・蓄熱状況—NEDO研究開発実施事例—	RE2020オンラインフォーラム分科会9	2020年12月7日
5	山谷睦 駒庭義人	日本地下水開発 ゼネラルヒートポンプ工業	効率的帯水層蓄熱によるトータル熱供給システムのZEBへの適用	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会第17回研究発表会	2021年7月2日

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1	—	日本地下水開発	再生可能エネルギー利活用大賞 最優秀	建設新報	2020年1月20日
2	—	日本地下水開発	再生可能エネルギーの利活用特集 帯水層蓄熱冷暖房システム	環境新聞	2020年1月29日
3	—	日本地下水開発	NEDO事業で大幅進化 上昇流の制御で高効率化	空調タイムス	2020年1月29日
4	—	日本地下水開発	東北再エネ利活用大賞 最優秀	山形新聞	2020年3月7日
5	—	日本地下水開発	地中熱で省エネ冷暖房 太陽熱も組み合わせ	日本経済新聞	2020年10月21日
6	—	日本地下水開発	大臣賞 地球に優しいエネシステム研究 普及へ産学官連携評価	山形新聞	2020年11月7日
7	—	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱冷暖房システムに高まる評価 10年進化続けて認知進む ZEB化熱供給システム開発も着々	空調タイムス	2020年12月2日

8	—	日本地下水開発	「新エネ大賞」経産大臣賞 日本地下水開発受賞	山形新聞	2021年1月27日
9	—	日本地下水開発	地下水層利用し冷暖房 冬の冷熱夏の温熱交互利用 山形・日本地下水開発新エネ最高賞受賞	河北新報	2021年1月31日
10	—	日本地下水開発	新エネ・経済産業大臣賞受賞 日本地下水開発の地中熱システム	建設新報	2021年2月1日
11	—	日本地下水開発	新エネ大賞最高賞に帯水層蓄熱 経済産業大臣賞に日本地下水開発	空調タイムス	2021年2月3日

(c) その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1	—	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱冷暖房システムの紹介	ENEX2020	2020年1月29-31日
2	—	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱冷暖房システムの紹介	REIFふくしま2020	2020年10月28-29日
3	—	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱冷暖房システムの紹介	ENEX2021	2020年12月9-11日
4	—	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱冷暖房システムの紹介	EE東北'21	2021年6月2-3日

(1.4) 寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの技術開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	1件	0件	9件	4件	1件
2021FY	0件	0件	0件	1件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1							

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Takao Katsura, Yoshitaka Sakata, Lan Ding, Katsunori Nagano	北海道大学	Development of Simulation Tool for Ground Source Heat Pump Systems Influenced by Ground Surface	Energies 2020, 13, 4491	有	2020年8月
2	Armed A. Serageldin, Ali Radwan, Takao Katsura, Yoshitaka Sakata, Shigeaki Nagasaka, Katsunori Nagano	北海道大学	Parametric analysis, response surface, sensitivity analysis, and optimization of a novel spiral-double ground heat exchanger	Energy Conversion and Management, Volume 240	有	2021年6月

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	今井智紀	サンポット株式会社	地中熱自然冷媒ヒートポンプ 給湯機と冷暖房ヒートポンプ による地下水熱システム	地下熱利用とヒート ポンプシステム研究 会 第16回研究発表 会	2020年9月 10日
2	土谷一仁 岡本淳 佐藤翔平 葛隆生 長野克則 鎌田泰地	サンポット株式会社	ZEH/環境配慮型住宅の再エ ネ熱利用_地中熱ダクトエア コン 第1報	地下熱利用とヒート ポンプシステム研究 会 第16回研究発表 会	2020年9月 10日
3	葛隆生 長野克則 鎌田泰地 岡本淳 佐藤翔平 土谷一仁	北海道大学	ZEH/環境配慮型住宅の再エ ネ熱利用_地中熱ダクトエア コン 第2報	地下熱利用とヒート ポンプシステム研究 会 第16回研究発表 会	2020年9月 10日

4	鎌田泰地 葛隆生 長野克則 岡本淳 佐藤翔平 土谷一仁	北海道大学	ZEH/環境配慮型住宅の再エネ熱利用_地中熱ダクトエアコン 第3報	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会 第16回研究発表会	2020年9月10日
5	Armed A. Serageldin, Takao Katsura, Yoshitaka Sakata, Shigeaki Nagasaka, Kazumasa Suga, Katsunori Nagano	北海道大学	Thermo-hydraulic comparison between 3U, spiral and double spiral Energy-pile heat exchanger	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会 第16回研究発表会	2020年9月10日
6	葛隆生 長野克則 阪田義隆 荒谷紀之 田中大裕 齊藤克也 渡辺伸央 田中信也 大江基明 安江伸二 岡本淳 佐々木圭輔	北海道大学	寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会 第16回研究発表会	2020年9月10日
7	葛隆生 Armed A. Serageldin Ali Radwan 阪田義隆 長野克則	北海道大学	数値流体解析を用いた新型地中熱交換器の性能評価	日本冷凍空調学会 2020年度年次大会	2020年9月11日
8	鎌田泰地 葛隆生 大原知哉 長野克則	北海道大学	ZEHに導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムのシミュレーションによる検討	空気調和・衛生工学会北海道支部第55回学術講演会	2021年3月17日
9	前田基宏 葛隆生 小司優陸 長野克則	北海道大学	ZEH・ZEBに導入する低コスト地中熱交換器の採熱性能の実測による評価	空気調和・衛生工学会北海道支部第55回学術講演会	2021年3月17日
10	葛隆生 長野克則 阪田義隆 荒谷紀之 田中大裕 齊藤克也 渡辺伸央 田中信也 大江基明 安江伸二 岡本淳 佐々木圭輔	北海道大学	寒冷地のZEB・ZEHに導入する低コスト・高効率間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会 第17回研究発表会	2021年7月2日

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1	—	コンソーシアム6者	地中熱 HP、2割安く	電気新聞	2020年2月6日
2	—	コンソーシアム6者	地中熱で冷暖房 ゼロ・エネ・ビル研究	北海道新聞	2020年2月6日
3	—	コンソーシアム6者	寒冷地で ZEB 普及を	空調タイムズ	2020年6月4日
4	—	北海道電力	北電「ゼロエネビル」に注力	北海道新聞	2021年1月21日

(c) その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1	—	北海道電力	寒冷地での ZEB 普及に向けた実証研究	経団連 チャレンジ・ゼロ	2020年11月6日

(2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発

(2.1)天空熱源ヒートポンプ(SSHP)システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT* 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
2020FY	1件	0件	0件	0件	0件	2件	0件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	ゼネラルヒート ポンプ工業 鹿島建設	特願 2020- 137826	国内	2020年8月18日	出願中	ヒートポン プ	ゼネラル ヒートポン プ工業 鹿島建設

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1						

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	塩谷正樹	鹿島建設	地中熱利用システムの建築物への導入	全国地中熱フォーラム2019	2019年11月11日
2	塩谷正樹	鹿島建設	地中熱セミナー「地中熱利用技術の最新動向」地中熱利用システムの建築物への導入	ENEX2020セミナー	2020年1月29日
3	塩谷正樹	鹿島建設	多角的な再生可能エネルギーを活用した高効率ヒートポンプ	地中熱設計セミナー	2020年2月19日
4	塩谷正樹	鹿島建設	天空熱源ヒートポンプシステムのライフサイクルに亘るコスト低減性能向上技術の開発(第1報)開発概要と実験による暖房時性能評価	空気調和衛生工学会	2020年9月
5	鶴見隆太	日建設計総合研究所	同(第2報)シミュレーションによる年間エネルギー性能評価	空気調和衛生工学会	2020年9月
6	塩谷正樹	鹿島建設	天空熱源ヒートポンプシステムのライフサイクルに亘るコスト低減と性能向上技術の開発	HPTCJ・地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	2021年7月2日

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

(c) その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

(2.2)温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1							

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1						

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	三毛正仁	株式会社 総合設備 コンサル タント	温泉熱等の再エネ熱を活用した 分散熱源による熱源水ネット ワークシステムのトータルコス ト低減技術開発	令和3年度第1回地 下熱利用とヒートポ ンプシステム研究会	2021年7月

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

(c)その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

(3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

(3.1)見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	3件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	5件	1件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1							

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1						

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	富樫聡 内田洋平 ほか	産総研 産総研	地形情報を用いた地下水 面推計の試み	日本地下水学会・ 2020年度秋季講演 会	2020年11月
2	長野克則 葛隆生 阪田義隆 Ahmed A. Se rageldin 藤井光 内田洋平	北大 北大 北大 北大 秋田大 産総研	再生可能エネルギー熱利 用にかかるコスト低減技 術開発における見かけ熱 伝導率の推定手法と簡易 熱応答試験法および統合 型設計ツールの開発・規 格化：その1研究開発の 全体概要	空気調和・衛生工 学会北海道支部第 55回学術講演会	2021年3月
3	阪田義隆 葛隆生 長野克則 Ahmed A. Se rageldin チェホビョン	北大 北大 北大 北大	再生可能エネルギー熱利 用にかかるコスト低減技 術開発における見かけ熱 伝導率の推定手法と簡易 熱応答試験法および統合 型設計ツールの開発・規 格化：その2国土地盤物 性推定データベースの整 備	空気調和・衛生工 学会北海道支部第 55回学術講演会	2021年3月
4	金子翔平 富樫聡 シュレスタガ ウラブ ウィディアト モジョ・アリ フ 内田洋平	産総研 産総研 産総研 産総研	原位置実験にもとづく オープンループ方式地 中熱利用システムの適地 判定技術の開発（その 1）	日本地下水学会・ 2021年度春季講演 会	2021年5月
5	阪田義隆 葛隆生 長野克則 Ahmed A. Se rageldin チェホビョン	北大 北大 北大 北大	地下水流れが地盤の有効 熱伝導率に与える影響 （見かけ熱伝導率）に関 する考察	日本地下水学会・ 2021年度春季講演 会	2021年5月

6	富樫英介 葛隆生 長野克則	工学院 大学 北大 北大	地中熱利用システム設計 のためのプログラム連携 法の検討	地下熱利用とヒー トポンプシステム 研究会第17回研究 発表会	2021年7月
7	阪田義隆 葛隆生 長野克則 Ahmed A. Se rageldin チェホビョン	北大 北大 北大 北大 北大	地下水流れが地盤の有効 熱伝導率に与える影響 (見かけ熱伝導率)に関 する数値TRT分析	地下熱利用とヒー トポンプシステム 研究会第17回研究 発表会	2021年7月
8	阪田義隆 葛隆生 長野克則	北大 北大 北大	確率論的アプローチに基 づく全国地盤物性推定 データベースの構築と次 の展開に向けて	第56回地盤工学研 究発表会	2021年7月

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1	長野克 則	北大	GSHP のコスト低減技 術規格化へ	空調タイムス (2021 年3月24日発行)	2021年3 月
2	長野克 則	北大	深度 300m 地中熱利用 へ	北海道建設新聞 (2021年3月31日発 行)	2021年3 月
3	長野克 則	北大	深さ 300m の地中熱冷 暖房利用に	北海道新聞 (2021年 3月31日発行)	2021年3 月
4	長野克 則	北大	地中熱利用システムの コスト低減を	空調タイムス (2021 年4月21日発行)	2021年4 月

(c) その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

(3.2)オープンループ方式地中熱利用における最適設計方法の研究

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1							

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1						

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1					

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

(c) その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

3. NEDOによる論文・外部発表等の等の件数

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
2019FY	0件	0件	0件	0件	0件	7件	0件	0件
2020FY	0件	0件	0件	0件	0件	7件	4件	0件
2021FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件
計	0件	0件	0件	0件	0件	14件	7件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1							

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1						

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	谷口聡子	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用の現状とNEDOの取組み	第14回再生可能エネルギー世界展示会「NEDOプロジェクトセミナー」	2019年7月11日
2	阿部一也	新エネルギー部	NEDO事業説明	2019年度NEDO新エネルギー成果報告会	2019年10月17日
3	谷口聡子	新エネルギー部	NEDOの地中熱利用技術開発	全国地中熱フォーラム2019	2019年11月11日
4	谷口聡子	新エネルギー部	地熱・再生可能エネルギー熱関係の研究開発(再エネ熱)	2019年度 地熱発電・熱水活用研究会	2019年11月26日
5	谷口聡子	新エネルギー部	NEDOの地中熱利用技術開発	ENEX2020 地中熱セミナー	2020年1月29日
6	谷口聡子	新エネルギー部	NEDOの地中熱利用技術開発	第4回みやぎ地中熱利用研究会	2020年2月6日
7	上本雄也	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発	バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業ワークショップ『ポストFIT時代に向けたエネルギー利用モデルの構築』	2020年2月25日
8	谷口聡子	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用の技術開発	日本冷凍空調学会「再生可能エネルギー熱利用の最前線」	2020年9月9日
9	谷口聡子	新エネルギー部	NEDOの地中熱利用技術開発	令和元年度 第4回「地下熱利用とヒートポンプシステム研究会」	2020年9月10日
10	谷口聡子	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用の技術開発動向	化学工学会第51回秋季大会	2020年9月24日
11	上本雄也 谷口聡子	新エネルギー部	NEDOにおける再生可能エネルギー熱のロードマップ作成に向けた取り組み	日本地熱学会令和3年學術講演会(仙台大会)	2020年10月26日

12	谷口聡子	新エネルギー部	NEDOの地中熱利用技術開発	RE2020「地熱・地中熱の持続的開発を目指して」	2020年12月7日
13	谷口聡子	新エネルギー部	NEDO事業説明	2020年度NEDO新エネルギー成果報告会	2021年2月1日
14	上本雄也	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発事業について	NEDO3部合同事業説明会	2021年2月9日

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1	谷口聡子	新エネルギー部	NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発・成果紹介	「地中熱利用ガイドブック」, Vol.7, P.4-5 (NPO 地中熱利用促進協会)	2020年5月1日
2	谷口聡子	新エネルギー部	NEDO 再エネ熱技術開発のポイントと熱市場拡大に向けて	「地球温暖化」, No.69, P.20-21 (日報ビジネス (株))	2020年9月1日
3	谷口聡子	新エネルギー部	再生可能エネルギー技術「再エネ熱利用」	「NEDO40周年史」 P.111	2021年3月17日
4	谷口聡子	新エネルギー部	深度 300m 地中熱利用へ	「北海道建設新聞」 2021年3月31日付	2021年3月31日
5	谷口聡子	新エネルギー部	特集『地中熱の利活用最前線』再生可能エネルギー熱利用の技術開発	日本伝熱学会学会誌「伝熱」, Vol. 60, No. 251	2021年4月1日
6	谷口聡子	新エネルギー部	地中熱利用システムのコスト低減を	「空調タイムス」, 2021年4月21日 (第2866号)	2021年4月21日
7	谷口聡子	新エネルギー部	地中熱利用の省エネ性、再認識へ	「地球温暖化」, No.74, P.12-13 (日報ビジネス (株))	2021年7月1日

(c) その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					