

「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」 (終了時評価)

2019年度～2023年度 5年間

プロジェクトの詳細説明 (公開版)

2024年6月6日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

新エネルギー部

報告内容



2. 目標及び達成状況（詳細）

研究開発項目 1, 2, 3

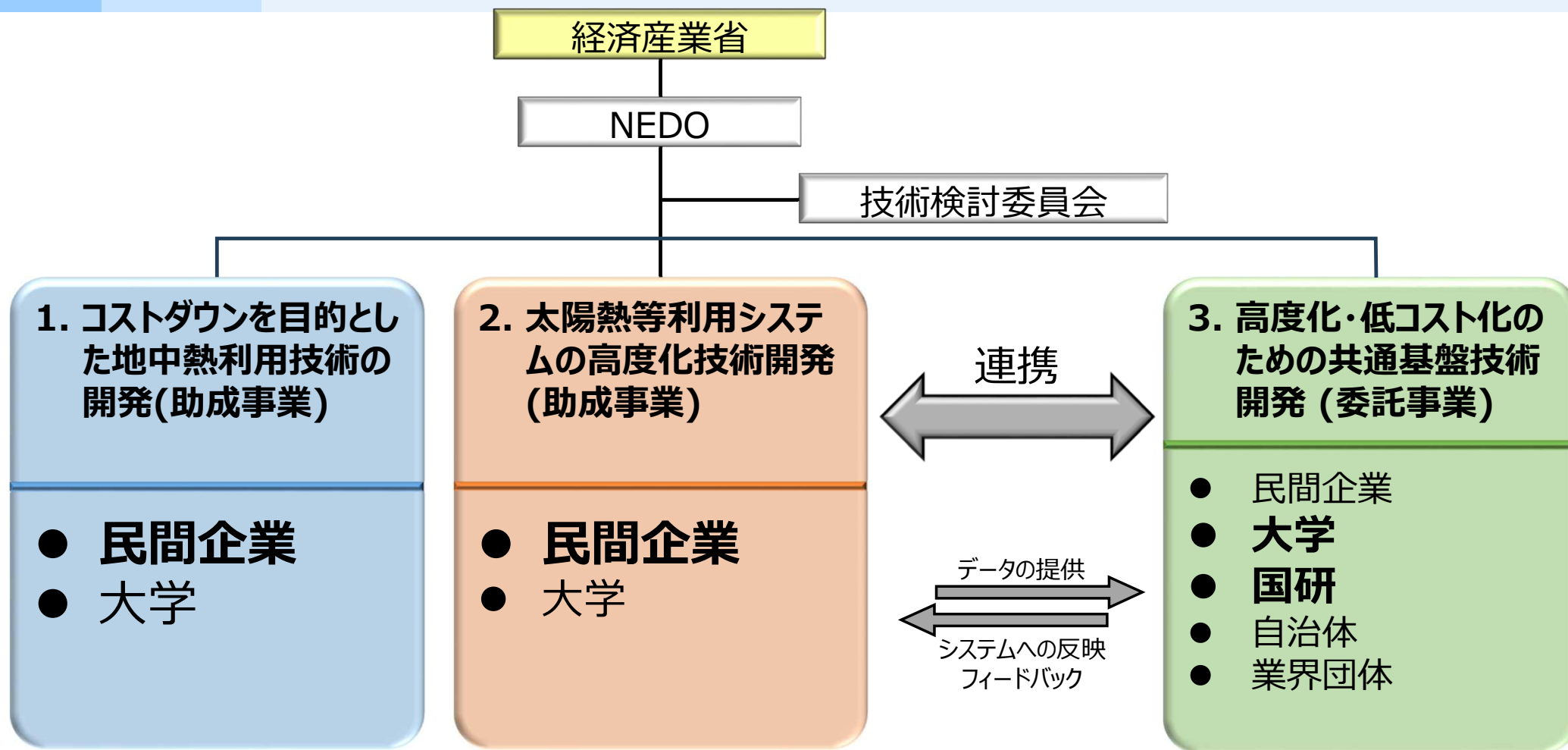
(1)アウトカム目標及び達成見込み

(2)アウトプット目標及び達成状況

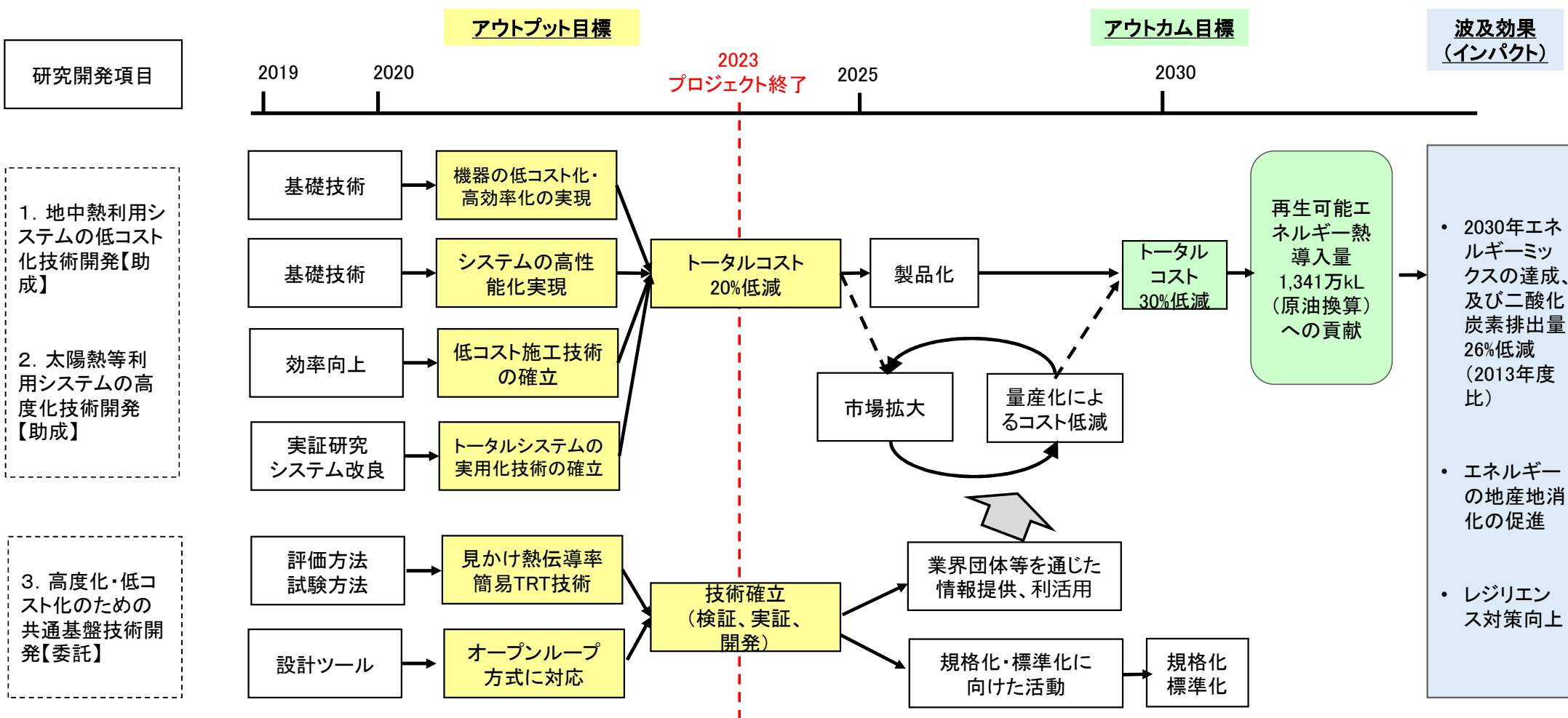
ページ構成

- アウトカム達成に向けた戦略・具体的な取組
- アウトカム目標達成の見込み
- 個別事業ごとの実施体制
- 個別事業ごとの目標と根拠
- 個別事業ごとの目標達成状況
- 個別事業の成果（アウトプット目標達成度）と意義

アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組



アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組 (再掲)



アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組

1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発(助成事業)

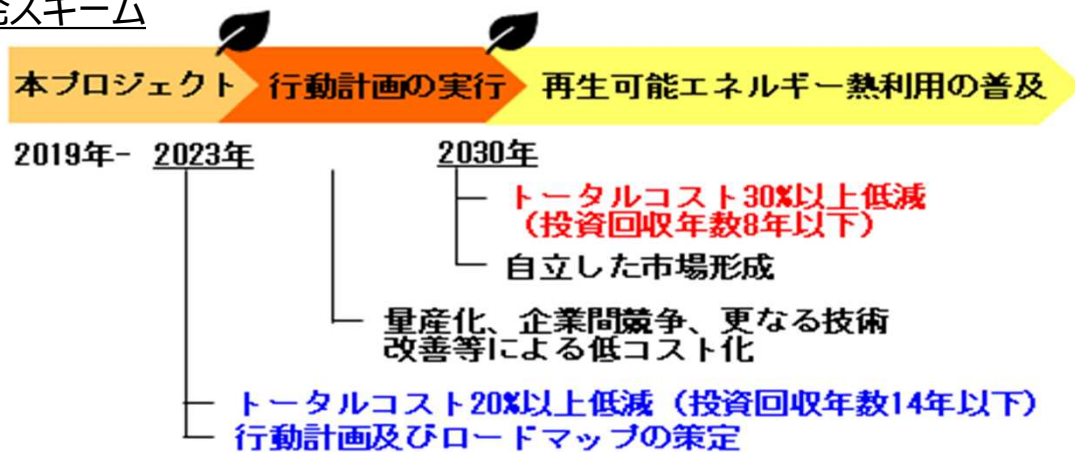
2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発(助成事業)

- 再エネ熱は異業種にまたがる技術から構成されるため、コスト競争力のあるシステムの普及拡大には、システム導入に関わる上流から下流までのプレーヤー間や業界団体、地域との連携を図ることが効果的。
- ZEB等への適用も視野において、上流から下流までを集めたコンソーシアム体制を構築し、自立的な再エネ熱利用の普及に重点を置いた研究開発を推進、及び普及方策を行動計画として策定する。

3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発(委託事業)

- 地中熱交換器の設計(本数と長さ)を適切に行うためには、地中の熱交換効率に関わるみかけ熱伝導率を測定するための試験(TRT:熱応答試験)を行う必要があるが、TRTは高額な掘削調査を行う必要があるため、設備規模の小さい家庭用等では実施することが困難。
- 従来よりも簡易なTRT手法やT R Tに代わる指標として、見かけ熱伝導率を推定する技術の開発を行うことにより、簡易で適正な導入・設計方法を確立し、地中熱利用システムの導入普及を促進する。併せて様々な条件に対応した設計ツールの開発を行う。

開発スキーム



アウトカム目標の達成見込み

【※主な役割】

- ①システムインテグレーター（コンサル・ゼネコン等）
- ②設計・評価ツール高度化（設計・コンサル）
- ③低コスト機器開発（メーカー）、④低コスト施工（専門業者等）

個別事業 (1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発(助成事業)	実施者※	事業化の見通し（行動計画）
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	株式会社ワイビーエム①②③④ 昭和鉄工株式会社③	・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 ・「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
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	株式会社藤島建設①②④ 株式会社ハギ・ポー②③④ 中外テクノス株式会社② 伊田テクノス株式会社④	・事業化の方向としては、機器販売を中心に進める方法、設計スベックへ入れ込む方法、住宅の機能向上としてのVE（バリューエンジニアリング）提案の方法などが考えられる。 ・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。
1-3) 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①②④ ゼネラルヒートポンプ工業株式会社③	・東北地方や北信越地方といった積雪寒冷地域を対象として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売り込みを進める。 ・ZEBプランナー資格を生かし、時には両社がタッグを組み、各種補助金を活用しながらZEB普及に向けて効率的に事業展開を進める。
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	国立大学法人北海道大学①② エムズ・インダストリー株式会社④ 棟晶株式会社④ 北海道電力株式会社② 株式会社イノアック住環境③ サンポット株式会社③	・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。 ・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。

アウトカム目標の達成見込み

【※主な役割】

- ①システムインテグレーター（コンサル・ゼネコン等）
- ②設計・評価ツール高度化（設計・コンサル）
- ③低コスト機器開発（メーカー）、④低コスト施工（専門業者等）

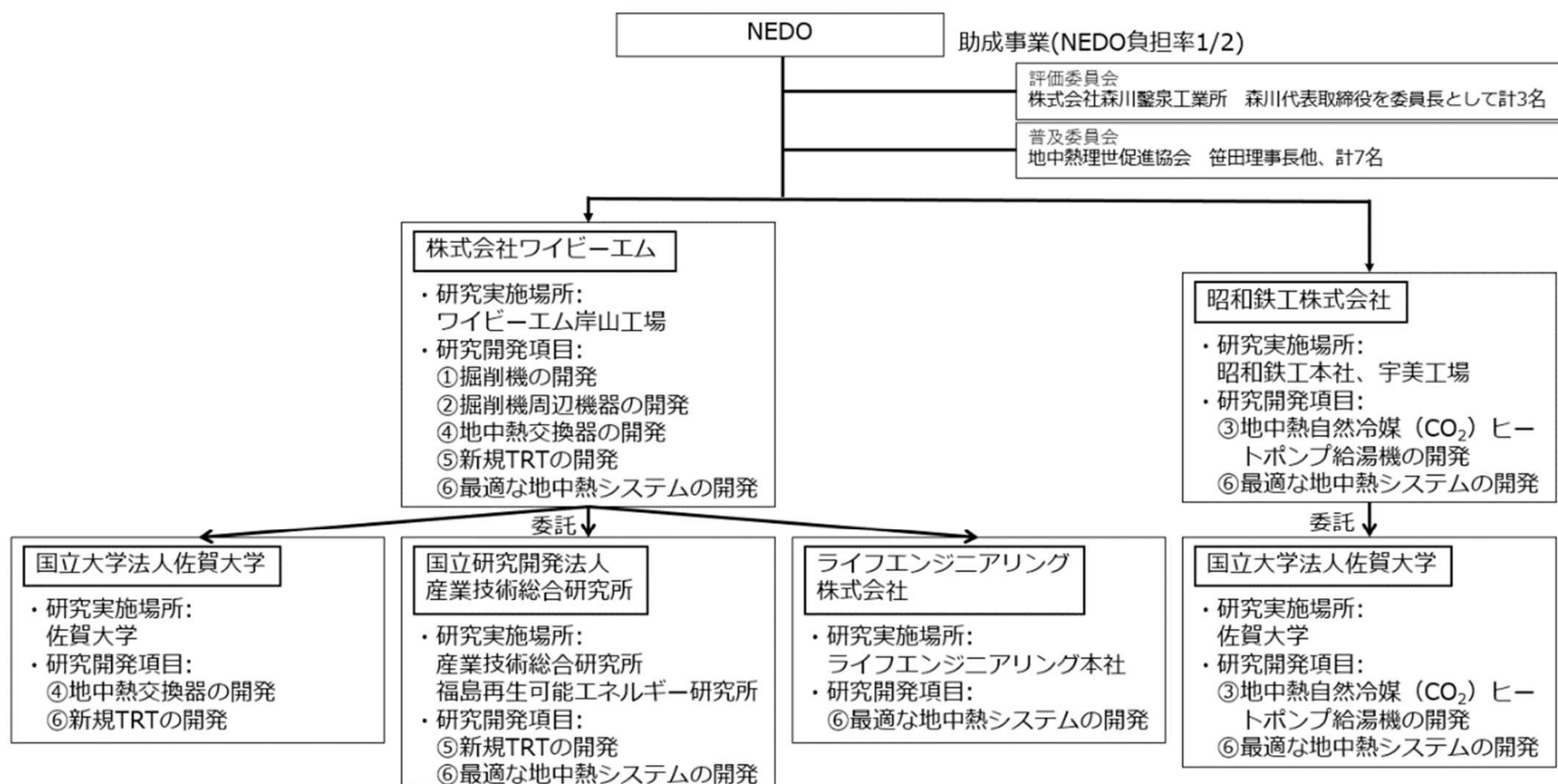
個別事業 (2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発 (助成事業)	実施者※	事業化の見通し（行動計画）
2-1)天空熱源ヒートポンプ（SSHP）システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発	鹿島建設株式会社①②④ ゼネラルヒートポンプ工業株式会社③	・主要要素技術である「ユニット型SSHP」、「水熱源給湯ヒートポンプ」について、当面は、ZEB建物、病院、研究所などを中心にした社内物件に適用し、再エネ利用に意識のある顧客や設計事務所への営業展開を行う。 ・角的な再生可エネルギー熱利用を行う新SSHPシステムを、他者に無い優位技術として、コンペ提案や再生可能エネルギー利用に意識の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。
2-2)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	株式会社総合設備コンサルタント① ②③④ 広沢電機工業株式会社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。 ・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。

アウトカム目標の達成見込み

個別事業 (3)高度化・低コスト化 のための共通基盤技術 開発 (委託事業)	実施者	実用化の見通し
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	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	・全国見かけ熱伝導率データベース（テスト版）は無償公開を予定し、将来的には、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、水文地質学的推定の大学や公設試験研究機関（公設試）への技術移転、地形AI解析ソフトウェアは地質調査会社、コンサルタント会社等での利活用を目論む。 ・簡易熱応答試験(TRT)法は、従来のTRT手法に代わるTRT技術として規格化し、民間企業と連携して装置の製品化を行い、施工会社等へ販売、技術支援を行う。 ・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し、ガイドラインも作成する。地盤・帯水層データベースについても、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。
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	・国立大学法人岐阜大学	・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・設計指針については、研究開発期間終了後の2024年中に 無償で公開 する予定である。

個別事業：実施体制（１－１）

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



個別事業ごとの目標と根拠 (1-1)

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	最終目標	根拠
①掘削機の開発	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。	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(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に比べてイニシャルコストが15%削減する。	2023年度に地中熱自然冷媒(CO2)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。	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、地中熱施設の設計で使える目途をつける。	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、イニシャルコストを23%削減する。	6個の開発を進めることで、削減されと考えられるため。

個別事業ごとの目標達成状況（1－1）

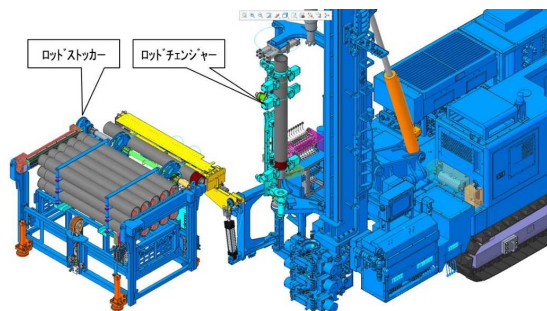
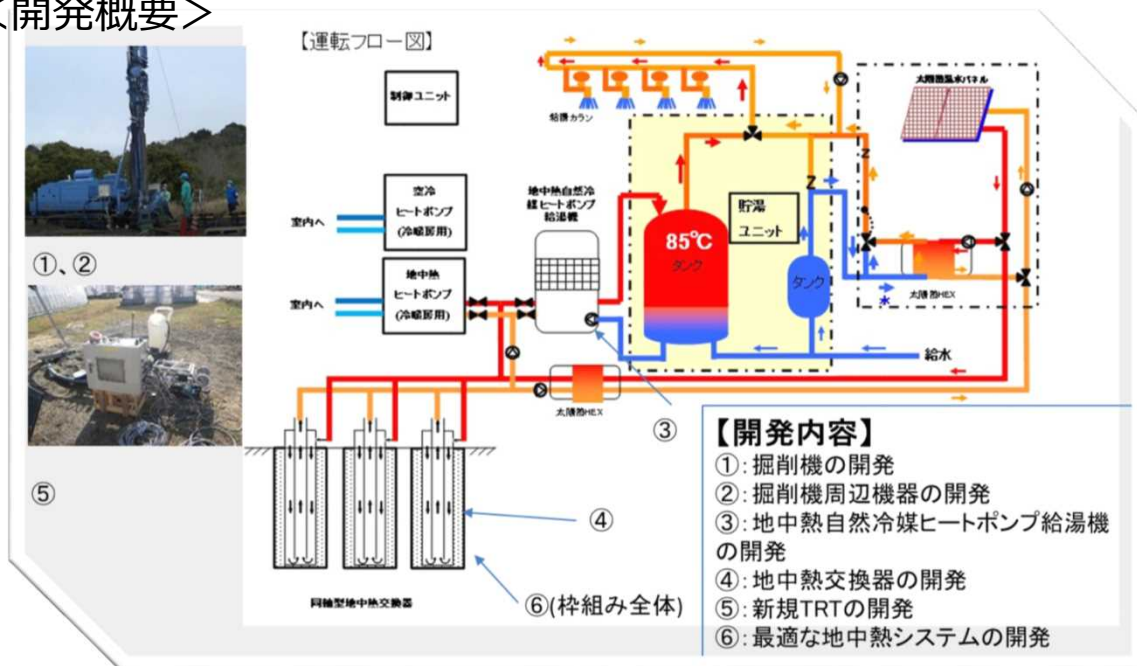
1-1)給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発

研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
①掘削機の開発	一人で地中熱交換井を施工する。	掘削機、ポンプをリモコン操作。掘削、ポンプ、水タンク等の情報をモニタリング。一人で地中熱交換井を施工出来た。	○	
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。	二重管ロッドのロッドチェンジャーの開発。地中熱交換器の挿入機の開発。一人で地中熱交換井を施工出来た。	○	
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ニシャルコストが15%削減する。	空気熱源HPに比べ18.4%削減できた。	○	量産機用に更なるブラッシュアップ
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。	ダブルUチューブの1.09倍の熱交換能力があると推定。設置費用としては、同軸型地中熱交換器の費用が高いため、削減されない。	×	同軸型地中熱交換器の費用を補えるほどの熱交換性能が無いため、目的達成は難しい。
⑤新規TRTの開発	従来のTRTの解析結果と同様に、地中熱施設の設計で使える目途をつける。	C-TRT、B-TRTを検討し、C-TRTについては、現状のTRTの解析結果と同等の結果が得られた。	△	B-TRTについては、別の方法を示したに過ぎないため。
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、イニシャルコストを23%削減する。	地中熱システムとしては、給湯を併用することにより地中熱交換井が少なくなる可能性を示した。 空調と給湯を別々の地中熱交換井で行うシステムを従来システムとすると、トータルコスト76%削減となった。	○	実証データが少ないため、実証試験の更なるデータ収集が必要である。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

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の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

<開発概要>



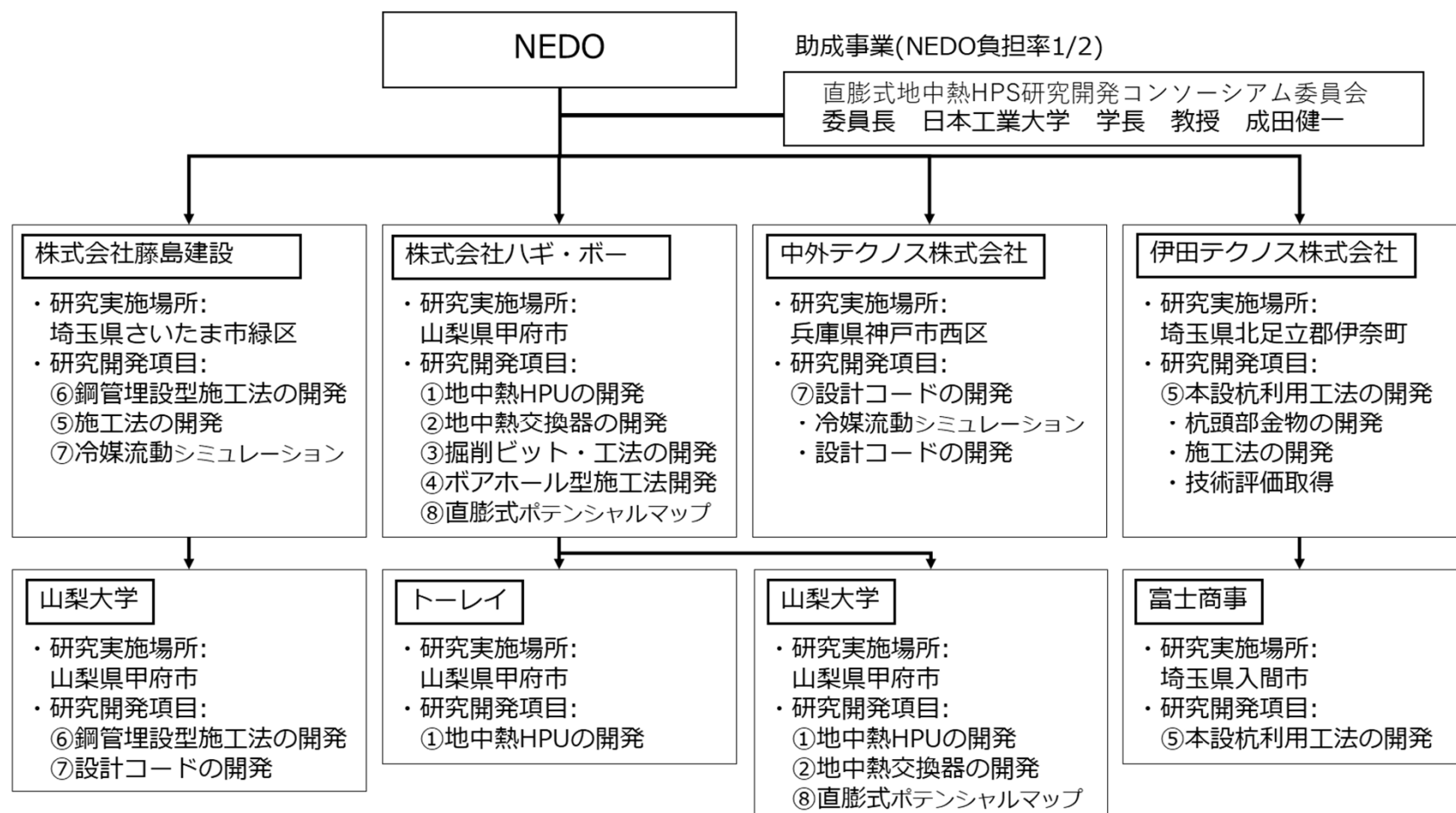
①掘削機及び②掘削機周辺機器(ロードチェンジャー等)を開発

【成果概要】

- (1) ①掘削機及び②掘削機周辺機器(ロードチェンジャー等)を開発し、一人施工が可能となり、100mの地中熱交換井の設置の場合、イニシャルコストが17.1%削減となった。
- (2) ③地中熱自然冷媒(CO2)ヒートポンプ給湯機の開発は、量産試作機の製作を完了し、性能試験を完了してモニター試験を開始した。
- (3) ④地中熱交換器の開発に関しては、ダブルUチューブの試験結果と比較して1.09倍の地中熱交換能力の結果が得られた。
- (4) ⑤新規TRTの開発では、さまざまな試験と解析方法、計測治具を開発した。
- (5) ⑥最適な地中熱システムの開発では、熱干渉および地下水流れの影響評価の可能性を確認するとともに一定規模施設の年間の空調負荷と給湯負荷を推定し、様々な条件下での実証試験を行った。

個別事業：実施体制（1－2）

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



個別事業ごとの目標と根拠 (1 - 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	最終目標	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。

個別事業ごとの目標と根拠 (1 - 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	最終目標	根拠
<低コスト施工法の開発> (つづき)		
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。
④ボアホール型施工方法の改良・開発	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。

個別事業ごとの目標達成状況（1－2）

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

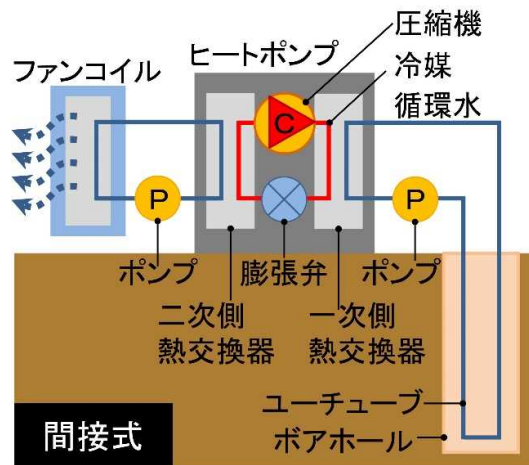
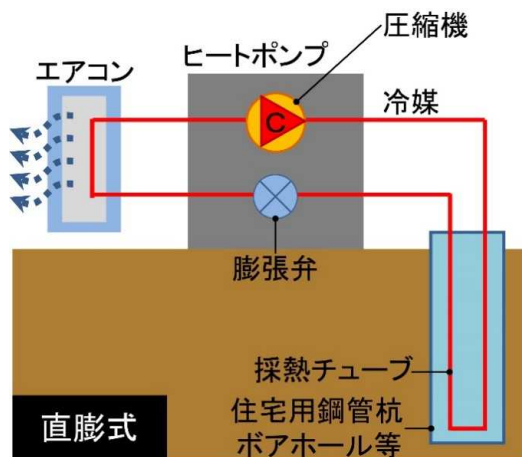
研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
①地中熱ヒートポンプの開発	今後生産体制を改造から部品供給型やメーカーによる体制へと移行することで15%程度のコストダウン。	プロトタイプของHPUの開発は完了した。備品供給等or OEMの目途をつけることで目標達成が可能な所まで検証ができた。削減率16.9%	○	特になし
②地中熱交換器の開発	地中熱交換器の総延長の縮減など設計法との関連もあるが、最終的に20%のコストダウン。	地中熱交換器の小口径化とマニュアル作成との相乗効果によりコストダウンが進んだ。削減率22.22%	○	特になし
③掘削ビット・工法の確立	掘削量の半減（6吋→4吋）等により掘削費用の40%削減。	土質への適応性とケーシング鋼管の小口径化で掘削のボリュームも減じられ、これに伴うコストダウンを図ることができた。削減率21.67%	○	特になし
④ボアホール型施工方法の改良・開発	材料の削減と構工法の改善により10%程度のコスト低減	鋼管の小口径化により材料が削減。構工法の改善により施工手間の短縮化が達成。削減率11.6%	○	特になし
⑤本設鋼管杭利用工法の開発	本設鋼管利用工法の開発を完了し、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、技術的には達成した。	○	特になし
⑥鋼管埋設型施工方法の改良・開発	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。	地上部の配管施工に対しマニュアルを作成し、標準的な施工が行われるように指導した。	○	特になし
⑦設計コードの開発	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。	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	○	特になし
⑧直膨式専用地中熱ポテンシャルマップの構築	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。	計画していた山梨県と埼玉県における深さ30mより浅い土壌の有効熱伝導率に関するデータベースは完成した。	○	特になし

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

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の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

<開発概要>

直膨式及び間接式 地中熱ヒートポンプシステムの概要



直接膨張方式地中熱ヒートポンプ



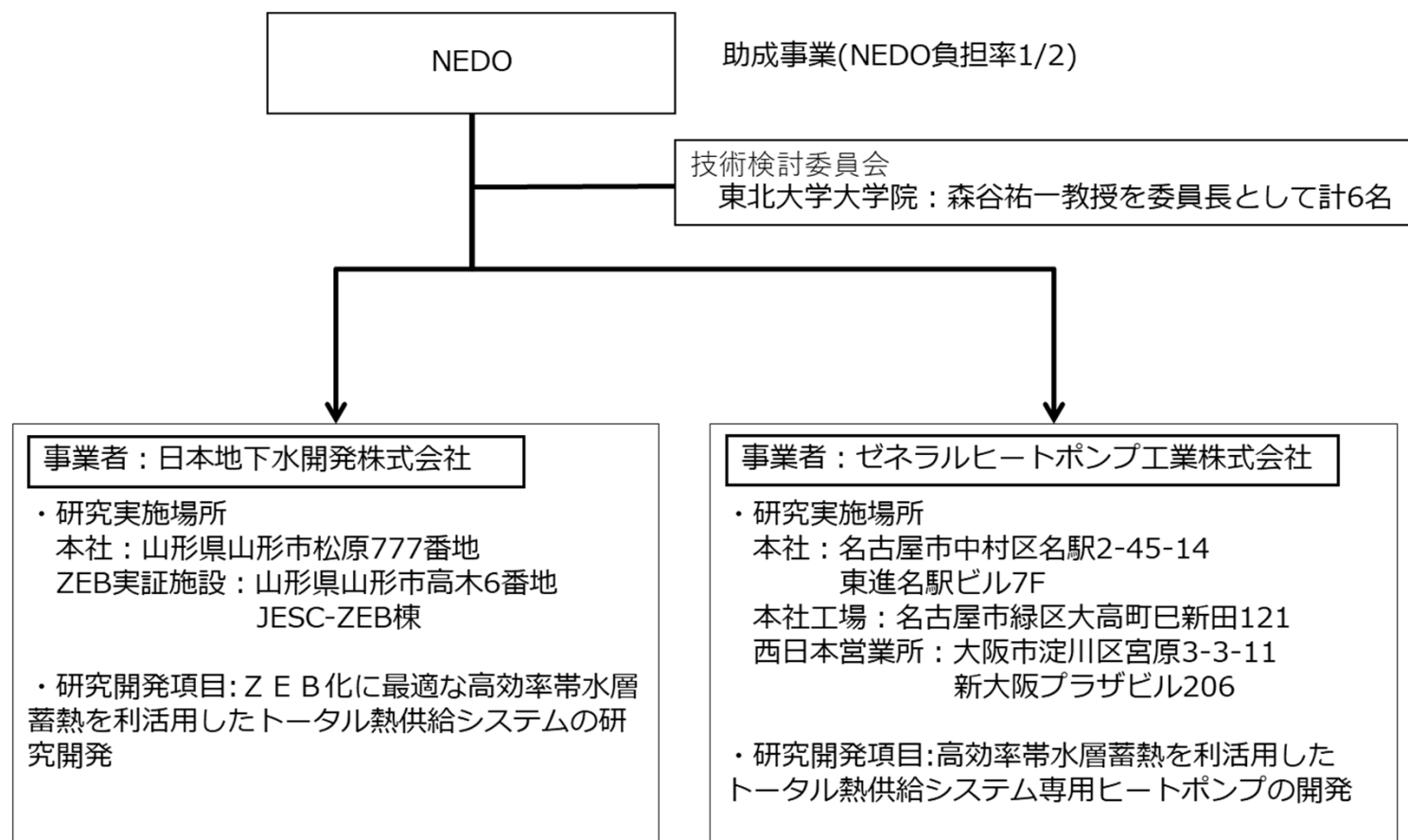
直接膨張方式地中熱交換器

【成果概要】

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。

個別事業：実施体制（１－３）

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



個別事業ごとの目標と根拠 (1 - 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	最終目標	根拠
(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)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	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 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

個別事業ごとの目標達成状況（1－3）

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

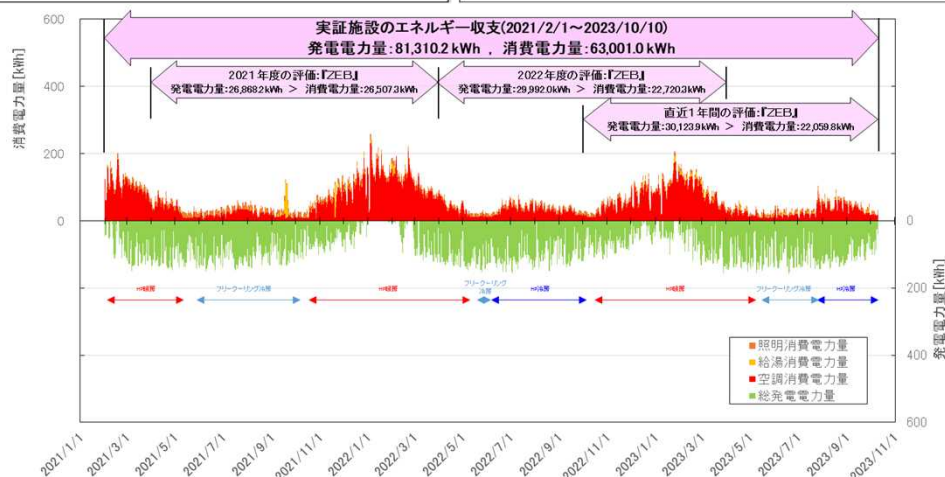
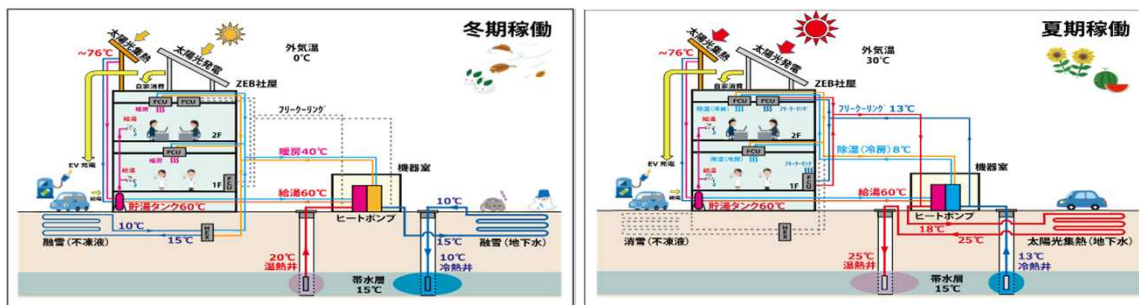
研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
①高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発 1)ZEB実証建物と本システムの適応性評価 2) システム構築とモニタリング 3) フリークーリングによる冷房高効率化 4)給湯システムの高効率化 5)井戸洗浄方法の開発 6) システムの技術評価手法確立	・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムのZEB適応性実証 ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムのインシャルコスト・ランニングコスト共に30%低減を実現 ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの普及に向けた技術評価手法を確立	・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2年8か月にわたる稼働モニタリングデータから、高効率稼働を継続し『ZEB』を2年連続実現 ・フリークーリングにより夏期冷房時の電力消費量半減 ・太陽熱集熱器併用で給湯高効率化実現 ・密閉構造を生かした井戸洗浄法によりメンテコスト10分の1 ・高効率稼働を実現する最適稼働設定を確立	◎ イニシャルコスト：21%低減 ランニングコスト：55%低減 トータルコスト：31%低減 <個別ランニングコスト> 空調：47%低減 融雪：42%低減 給湯：74%低減 井戸メンテ：90%低減	・今後は、本開発技術の普及に向けて取り組む ・積雪寒冷地の各地での施工実績を蓄積し、更なる高効率について検討を継続
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)～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	・給湯単独運転 給湯COP＝4.5達成 ・冷水＋給湯運転 総合COP＝7.5達成 スケール付着防止機構は有効に機能していることを確認した	◎ 対目標値：104% 対目標値：105%	・普及が進むことでヒートポンプの低コスト化を実現 ・負荷状況の異なる施設では最適稼働の自動探索などの実現が課題 ・鉄由来スケール以外に関しては十分な検証が出来ていない

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

1-3) 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の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

○高効率帯水層蓄熱によるトータル熱供給システム実証施設

- ・ 建物の3つの熱需要(冷暖房,給湯,融雪)に1システムで対応
- ・ ZEB実証施設に実際に導入し、適応性を実証
- ・ 2021、22年度、2年連続で運用上での『ZEB』実現を確認

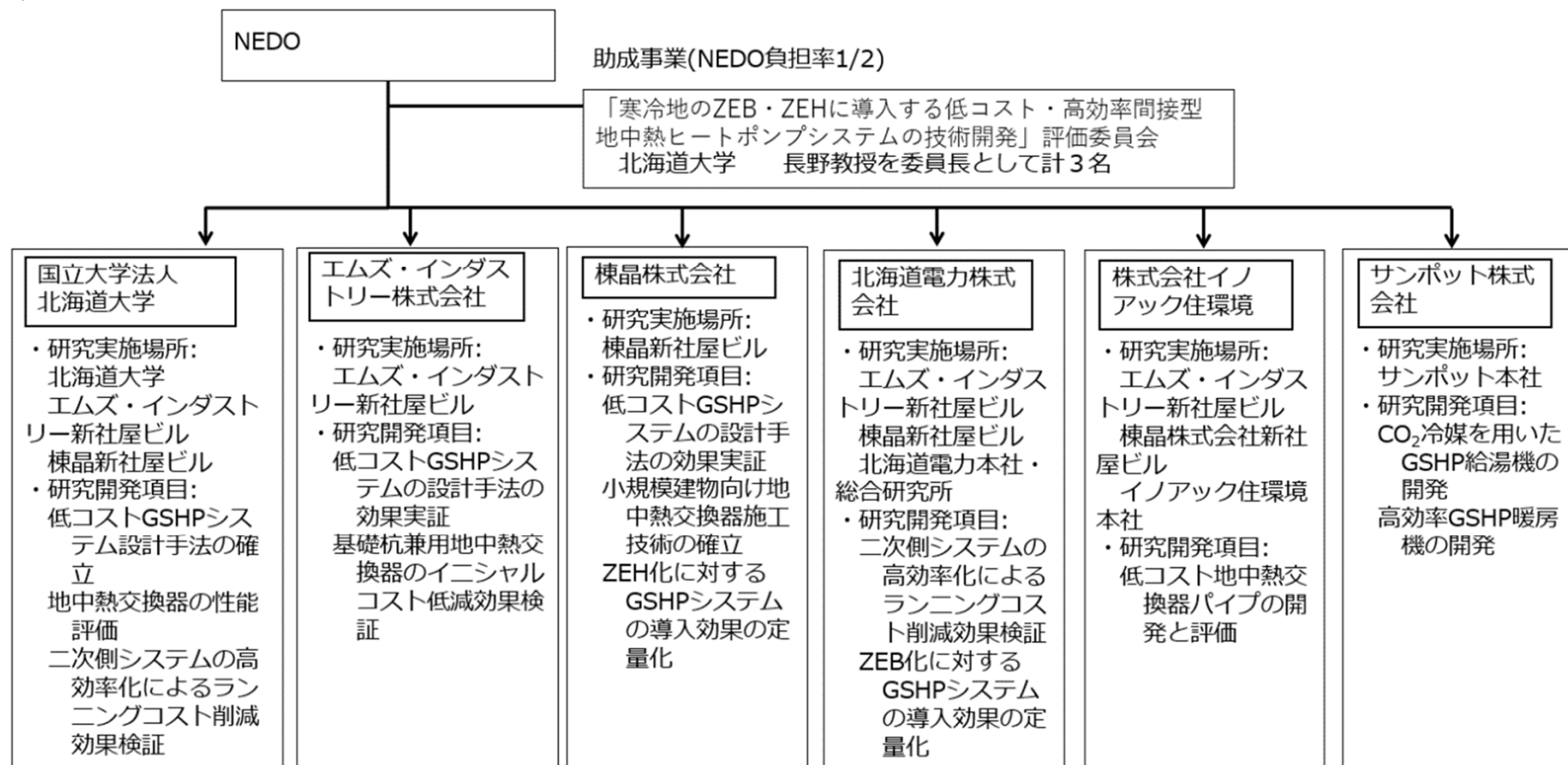


【成果概要】

- (1) 本システムの導入促進対象地域、主として積雪寒冷地域の地下水の流れが遅い地域（例：北海道地方、東北地方、北陸地方、中部地方、山陰地方など）
- (2) 積雪寒冷地域に位置する地方公共団体に働きかけ、ZEBの普及促進を図る
- (3) 市町村庁舎や、中規模までの診療所など一般市民が訪れる機会が多い公共施設（500～1,500㎡規模）への導入を促進
- (4) 産業技術総合研究所（AIST）が開発した帯水層蓄熱システム適応マップを活用⇒津軽平野、秋田平野、仙台平野、山形盆地、郡山盆地の5地域を重点地域として営業展開
- (5) ZEB実証施設を公開後、これまでに400名弱の見学を受入れて性能アピール

個別事業：実施体制（１－４）

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



個別事業ごとの目標と根拠 (1-4)

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	最終目標	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	・(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	・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	・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	・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	・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6.0 kW、COP4.3 ・ヒートポンプ暖房機①：出力6.0 kW、COP4.3 ・ヒートポンプ暖房機②：出力4.0kW、COP4.5	・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	・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	本事業の最終目標として設定

個別事業ごとの目標達成状況（1－4）

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

研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
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	・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	・ZEB・ZEHを考慮した設計により、規模を縮小することで、戸建住宅で約35%、事務所で約30%の設置コストを削減できることを示した。	○	特になし (達成済)
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	・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	・基礎杭兼用地中熱交換器は約52%、H型PC杭利用方式は約50%の設置コストの削減を達成した。	◎	特になし (達成済)
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	・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	・二次側運用技術を実際に導入し実証試験を行うことでランニングコスト20%以上の削減を達成した。 ・ヒートポンプは空調・給湯用それぞれで消費電力10%低減を達成した。	○	特になし (達成済)
(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	・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	・戸建住宅でイニシャルコスト43%、ランニングコスト28%削減、事務所建物でイニシャルコスト53%、ランニングコスト28%削減を達成できることを確認した。	○	特になし (達成済)

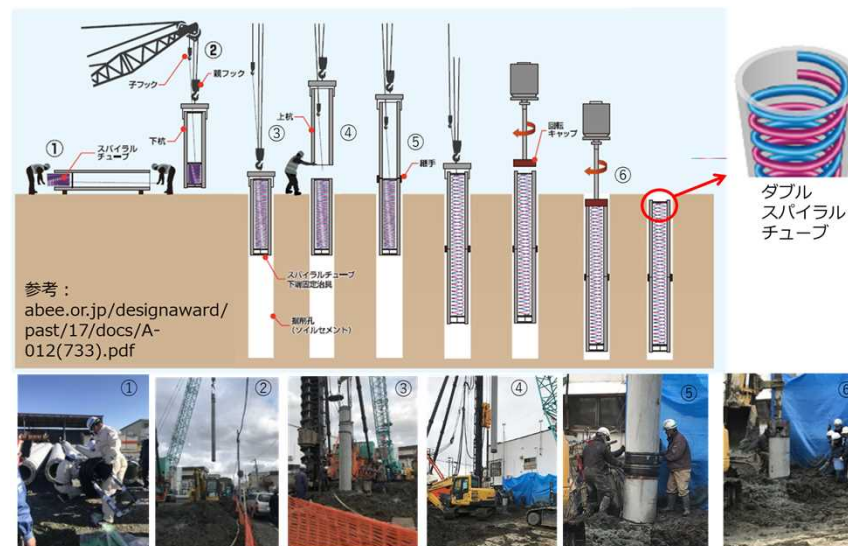
◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

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の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

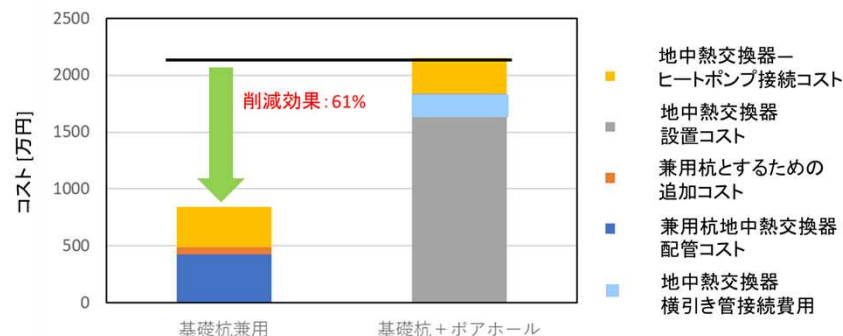
【成果概要】

- (1) 基礎杭兼用の地中熱交換器、H型PC杭利用地中熱交換器の導入コストを試算し、ボアホール型地中熱交換器と比較したところ、それぞれ約61%、約50%のコスト削減効果が得られたことを示した。
- (2) 基礎杭兼用の地中熱交換器について、採放熱量評価を行い、地中熱交換器の接続方式の違いによる比較を行ったが、接続方式の違いによる採放熱量の差は見られなかった。
- (3) H型PC杭利用地中熱交換器の横引配管の接続コスト削減のための、プレカット配管を用いた横引配管施工試験を実施し、施工時間を約3分の1～半分減らすことが出来ることを確認した。
- (4) 基礎杭兼用の地中熱交換器、H型PC杭利用地中熱交換器の単位採放熱係数はそれぞれ約4.0 W/(m・K)、約2.6 W/(m・K)という結果を得た。
- (5) 給湯用ヒートポンプ、高効率暖房用ヒートポンプを開発し、性能評価を実施した。
- (6) パイプ式放射空調システム、空気式放射空調システムの性能評価と性能向上のための運転方式の検討を実施した。

基礎杭兼用地中熱交換器の導入施工試験

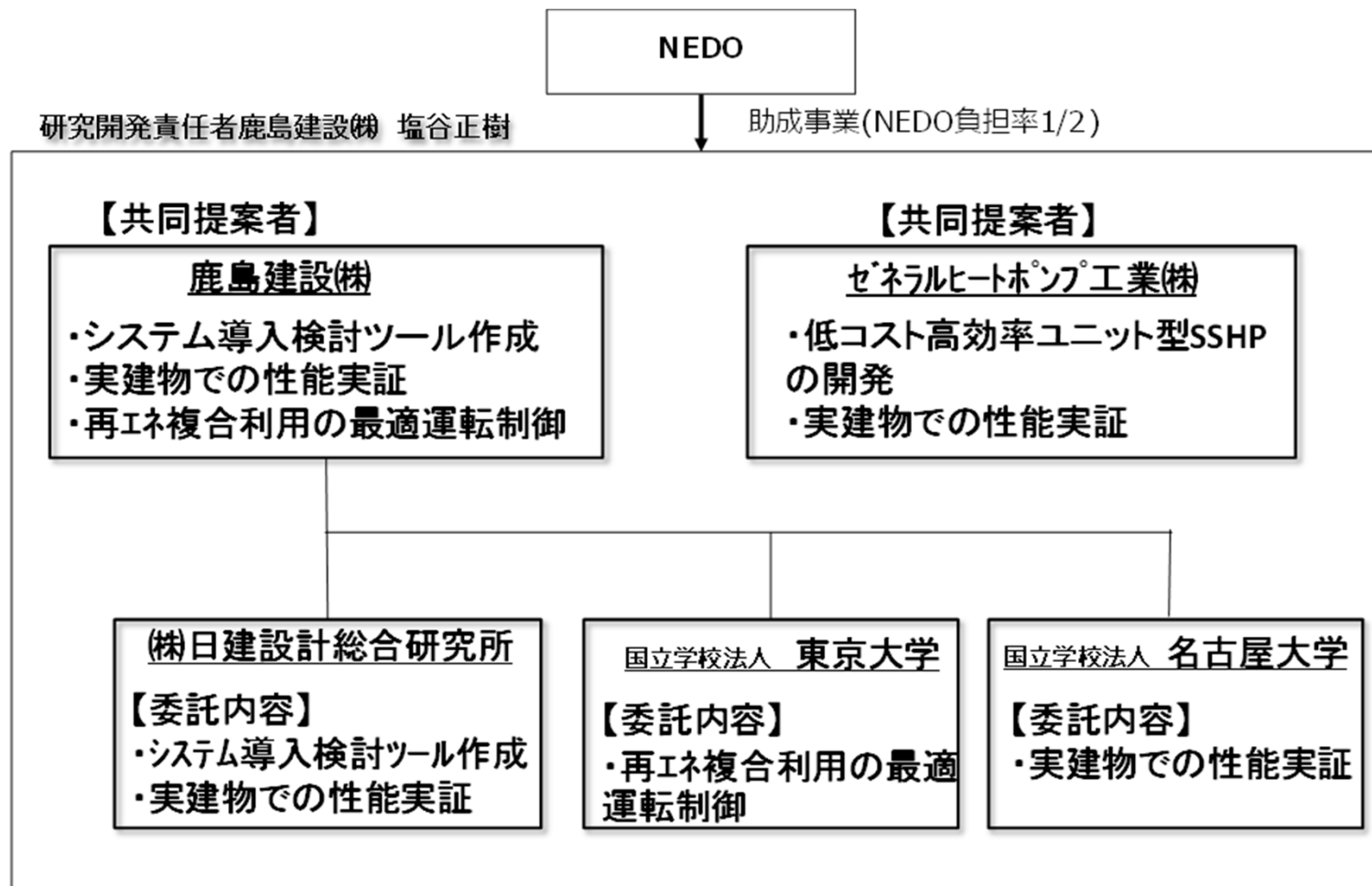


基礎杭兼用地中熱交換器の導入による施工コスト削減効果



個別事業：実施体制（2－1）

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



個別事業ごとの目標と根拠 (2-1)

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	最終目標	根拠
(1) 再エネ熱利用システム設計手法の開発 (鹿島、日建総研)	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 (鹿島、ゼネラルヒートポンプ工業)	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 (鹿島、名古屋大学、日建総研)	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 (鹿島、東京大学)	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。

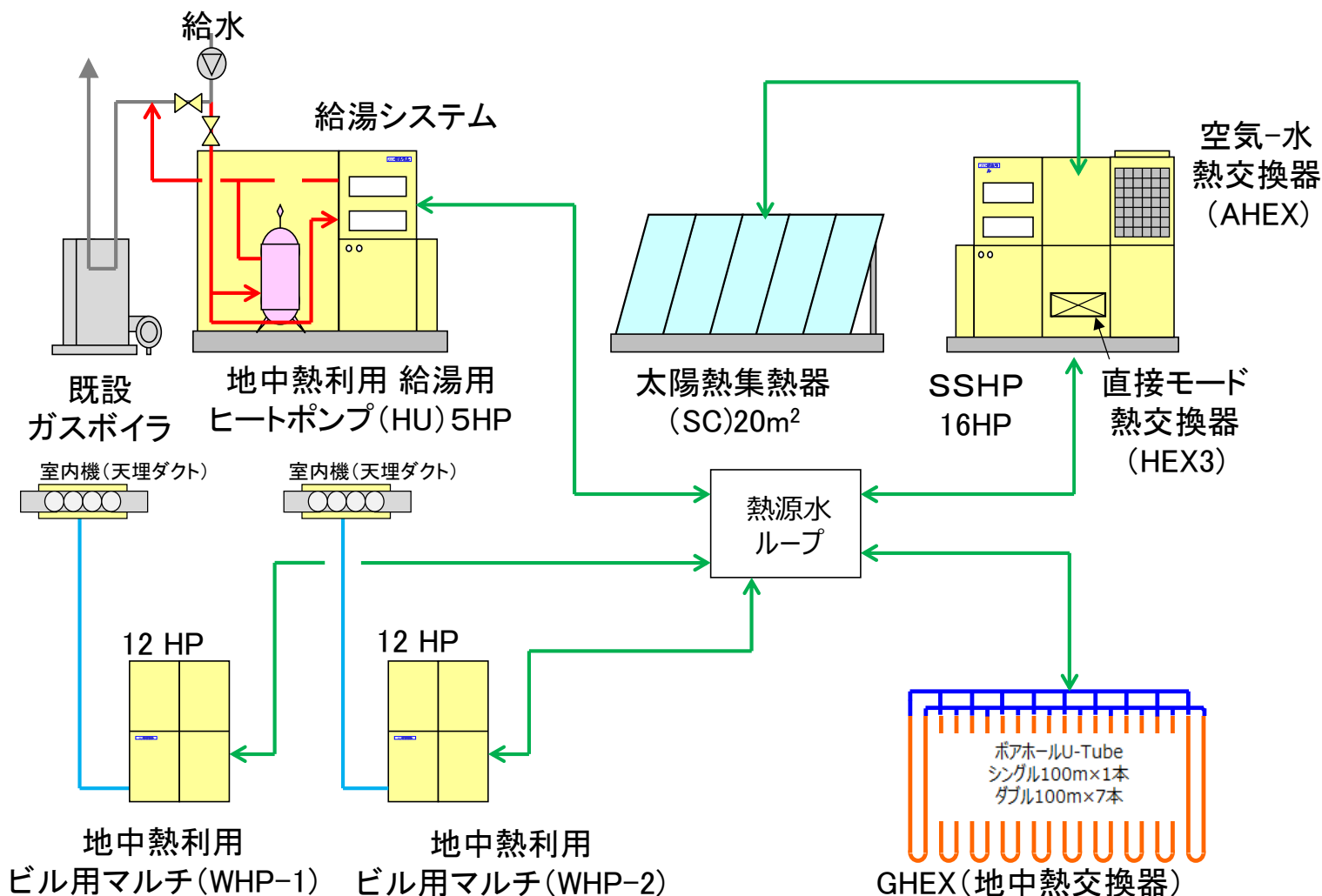
個別事業ごとの目標達成状況 (2-1)

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

研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
① 再エネ熱利用システム設計手法の開発	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。	2019年度に作成した設計用シミュレーションツールを用いて、豊田自動織機大府工場及びモデル建物を対象にSSHP導入効果を検討した。	○	特になし
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。夏期・冬期条件での目標COP6以上を達成。	2019年度に完成した小型実証機機でシステム実験を行うとともに、2020年度に大府実証機を製作、工場試験を実施。	○	大型化（モジュール化）による適用範囲の拡大。低GW P冷媒の採用。
③ 実建物における運転性能の実態検証	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。	2021年度8月に完成した豊田自動織機大府工場での実証装置の運転データを取得し、2022年度の運転性能評価を実施。	◎	特になし
④ 再エネ熱利用システムの最適運転制御技術	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～2020年に最適制御アルゴリズム完成。シミュレーションで実験結果を高い精度で再現。	○	構築したアルゴリズムをシミュレーションで検証。今後実建物での実証が必要。

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

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の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

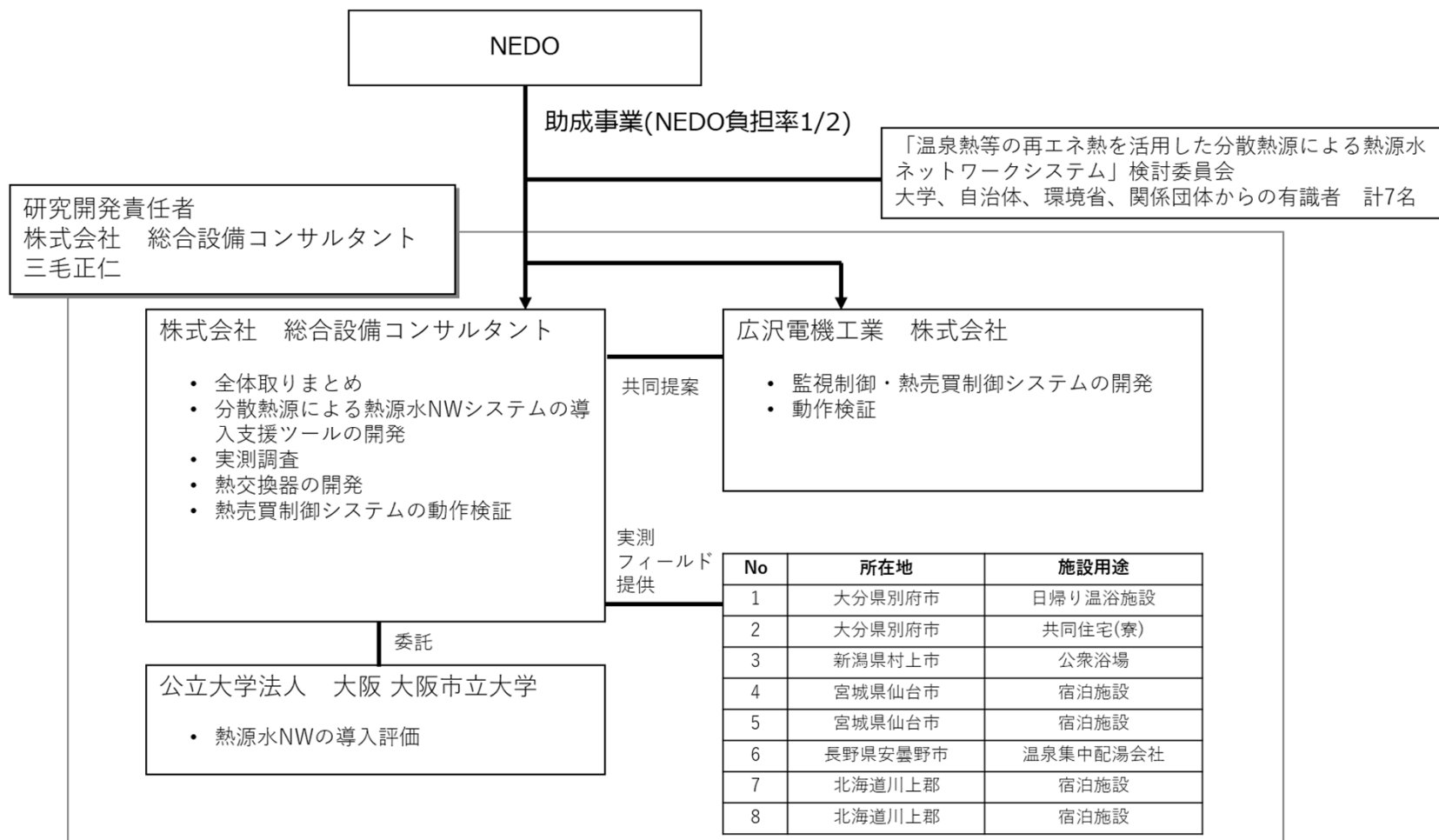


【成果概要】

LCЕМベースの設計用シミュレーションツールを完成した。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、工場試験を実施した結果、目標性能が得られたことを確認した。さらに、2021年8月にSSHP実証システムが完成し、1年間にわたる実測結果をもとにSSHPシステム導入効果の試算を行った。この結果、汎用の電動ヒートポンプパッケージと比較し、大幅に性能が向上し、1次エネルギー消費量、CO₂排出量が大きく削減される結果となった。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。

個別事業：実施体制（2-2）

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



個別事業ごとの目標と根拠 (2-2)

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	最終目標	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 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。 d)国内外事例調査 2件以上の事例を調査する。	a-c)実現可能性検討を行う際、温泉施設（温泉宿など）では、一般的な熱需要原単位の適用が行えない。実測が必要となるが、温泉の長期期間の流量計測は、湯の花付着や溶存温泉ガスの影響により難しい。そのため、水質に応じた計測方法を確立する。 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)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	流下液膜式熱交換器の製品仕様の構想決定。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	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の開発見込みをつける。	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。

個別事業ごとの目標と根拠 (2-2)

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	最終目標	根拠
(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開発目的をつける。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	実環境下でのシステム検証のために、現地確認を行いシステム構想案を検討する。	
(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	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	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。	

個別事業ごとの目標達成状況 (2-2)

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

研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
(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 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。	8施設（新潟県日帰温浴施設、大分県温浴施設と共同住宅施設宮城県宿泊施設2件、長野県温泉施設、北海道宿泊施設2件）に計測ユニットを設置して実測を行った。	○	—
	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。		○	—
	d) 国内外事例調査 2件以上の事例を調査する。	海外の類似事例等について机上調査を行った。	○	—
(2) 温泉・排湯用熱交換器の低コスト化	製品仕様の構想決定。 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。	流下部の試作、試験結果をもとに、製作協力メーカーと製品としての設計を行い、低価格化の見込みを得た。	○	—
(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	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の開発見込みをつける。	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のベースシステムを製造し、導入検討ツール開発完了までの見込みを立てた。	○	—

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

個別事業ごとの目標達成状況 (2-2)

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

研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
(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安価なシステムの開発を目指す。 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。	制御システムモデルを検討し制御対象範囲と制御入出力ポイント表の整理を行った。ポイント表から各制御盤の回路図と外形図を設計し制御盤外形寸法を確認した。 PLCを用いた制御システムに対し、シングルボードコンピュータを用いた制御システムとした場合のコスト比較を行い約21%以上の価格低減となる結果を得た。	○	—
(5) 実環境下における熱売買制御システムの検証	実環境下でのシステム検証のために、現地確認を行いシステム構想案を検討する。	実環境下でのシステム検証のために、候補地の現地確認を行い、システム構想案を検討した。	○	—
(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	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。	シミュレーションによる評価を実施し、開発目標20%削減の目処がついた。	○	—
(7) 事業スキームの検討	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。	事業スキームとして2案の検討を実施し、事業化に向けた方向性を確認した。	○	—

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

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の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

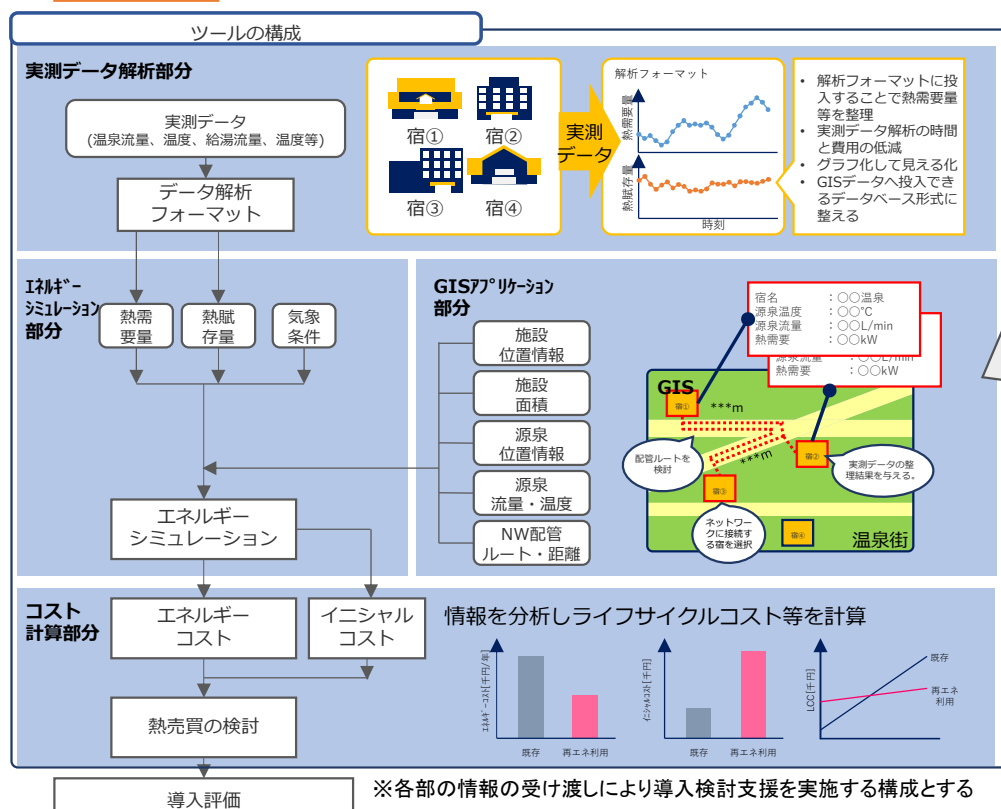
分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発

【成果概要】

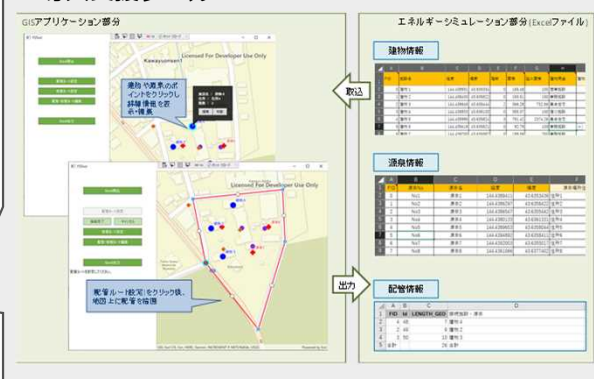
実温泉施設における温泉熱賦存量、熱需要量の実測調査、国内外事例の動向調査を実施した。また、分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールのベースシステム開発、低コストな熱売買制御システムの開発を行った。本提案システムの熱売買までを含めた導入評価のためのモデルを構築し、シミュレーションによる評価を行った。

目的

・ 導入検討を支援するツールを開発し、導入検討時間の短縮と、検討費用の低減を目指す。



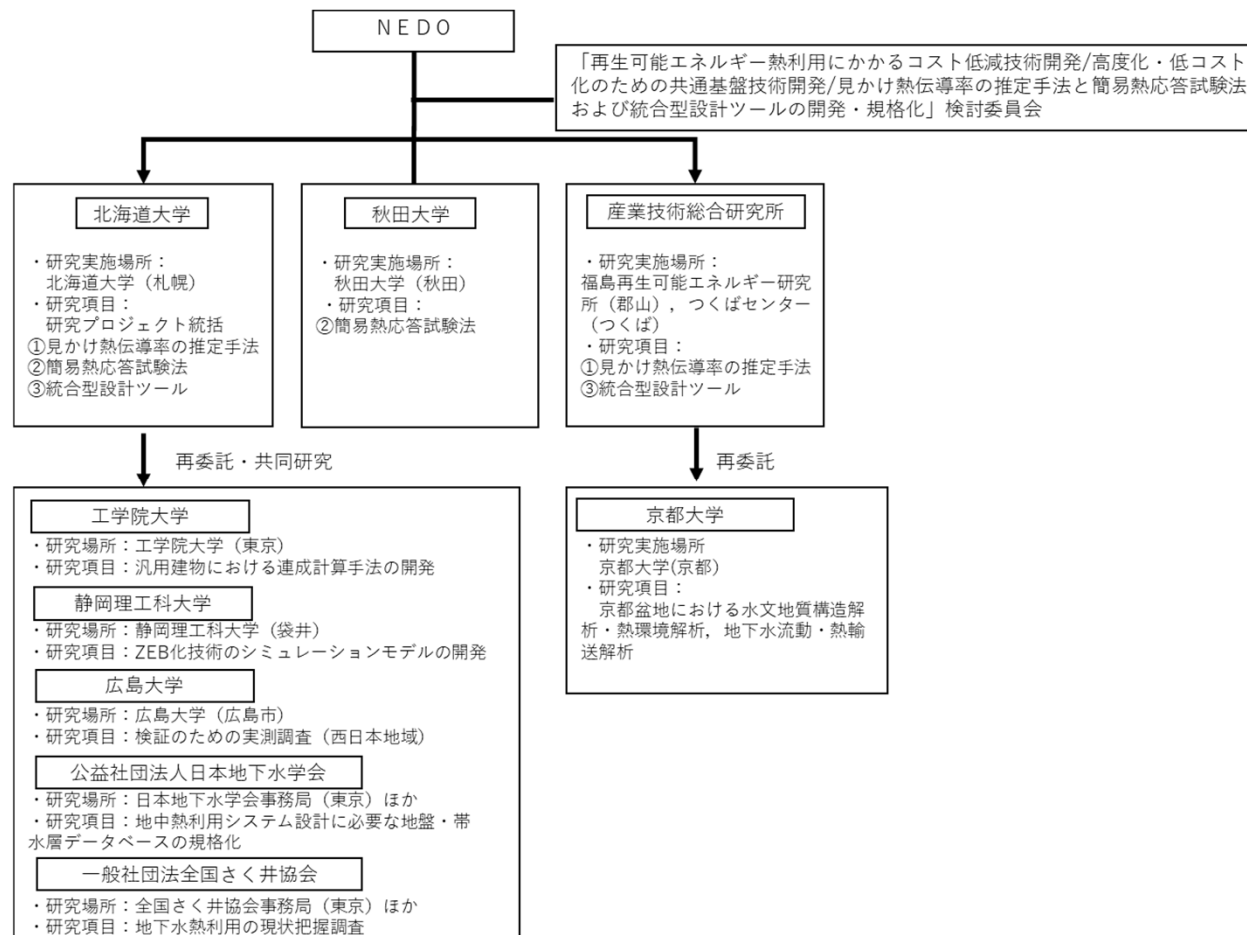
■ 導入支援ツール



- ✓ GIS地図上で、施設ポイントをおき、熱源水ネットワーク配管を図示。
- ✓ 熱需要量・温泉熱量等の情報整備をして利用可能。需要量と温泉熱賦存量のマッチング、配管ルート設定等が可能。
- ✓ ベースシステムの製造が終了し、導入検討ツール開発完了までの見込みを得た。

個別事業：実施体制（3－1）

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



個別事業ごとの目標と根拠 (3 - 1)

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	最終目標	根拠
(1)見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化	・水文地質学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）	・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	・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	・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	・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	・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

個別事業ごとの目標達成状況 (3 - 1)

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

研究開発項目	最終目標	成果	達成状況
① 見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化	・水文地質学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	・水文地質学および統計学的な見かけ熱伝導率推定手法を開発し、推定誤差 $0.5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以内を確認 ・見かけ熱伝導率の推定マニュアルを作成	○
② 簡易熱応答試験法の開発・規格化	1) 大口径水井戸に適用可能なTRT装置の開発 井戸口径や水文環境の異なる複数の箇所における試験の実施，数値シミュレーションによる解析手法の検討をおこない，従来のU字管型GHEおよび光ファイバー温度計を用いたTRTと同程度の垂直方向土壌熱伝導率プロファイルの推定精度を向上させる。 2) 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	1) 大口径水井戸に適用可能なTRT装置の開発 佐賀市で行ったフィールド試験では，加熱期間を48時間以上としたときの温度回復期間データを用いた熱伝導率プロファイルが，隣接するGHEのものと概ね同様のトレンドを示し，また両者のRMSが約0.35に収束した。フィールド試験を再現した数値シミュレーションにおいては，500mmまでの水井戸において，加熱期間を延長することで推定された熱伝導プロファイルと基準プロファイルが概ね一致する結果となったことから，水井戸径に応じた加熱期間を設けることで，大口径水井戸に適用可能であると推測される。 2) 全国六箇所で大深度BHEの設置と実験を行った。NTRTで得られた有効熱伝導率とOTRTの振動幅の関係を表す近似式は機械学習で得られた。	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

- ・水文地質学的検討と広域地下水流動解析を行う高精度推定法と、地質情報に基づき統計学的に推定する手法それぞれに基本スキームを決定
- ・モデル地域の数値モデルをすべて構築、現地調査（オールコア採取、TRT）を完了
- ・地形AI全国モデルの改良と全国への適用、日本全国の地下水環境の概略推計実施中
- ・数値TRTによる見かけ熱伝導率推計式の作成と検証を実施

- ・改良型ヒーター付き光ファイバーケーブルの簡易試験装置を製作
- ・全国6箇所（北海道札幌市，ニセコ町，東京都江東区，山梨県甲斐市，広島県三次市，滋賀県大津市）に検証用の大深度（深度300m）地中熱交換器を設置
- ・CFD解析により，試験法とその有効性，課題について検討

- ・DB規格化の共同WGを日本地下水学会と発足
- ・東北5地域の地下水情報の整理、指標案の検討・検証
- ・熱負荷・設備との連成計算アルゴリズムの開発
- ・オープンループの設計手法の開発
- ・簡易データ収集機器の設置（全国6カ所）
- ・ツールの基本レイアウト・デザインの決定

データ処理・分析手法

従来のTRTでは長時間の試験が必要となることを、周期加熱法により24時間以内に試験を終了させることが可能となる。

周期変化成分の抽出

ピークの平均を計算

ピーク検出

スムージング

データ処理

見かけ熱伝導率と振幅比をグラフ化

振幅比の計算

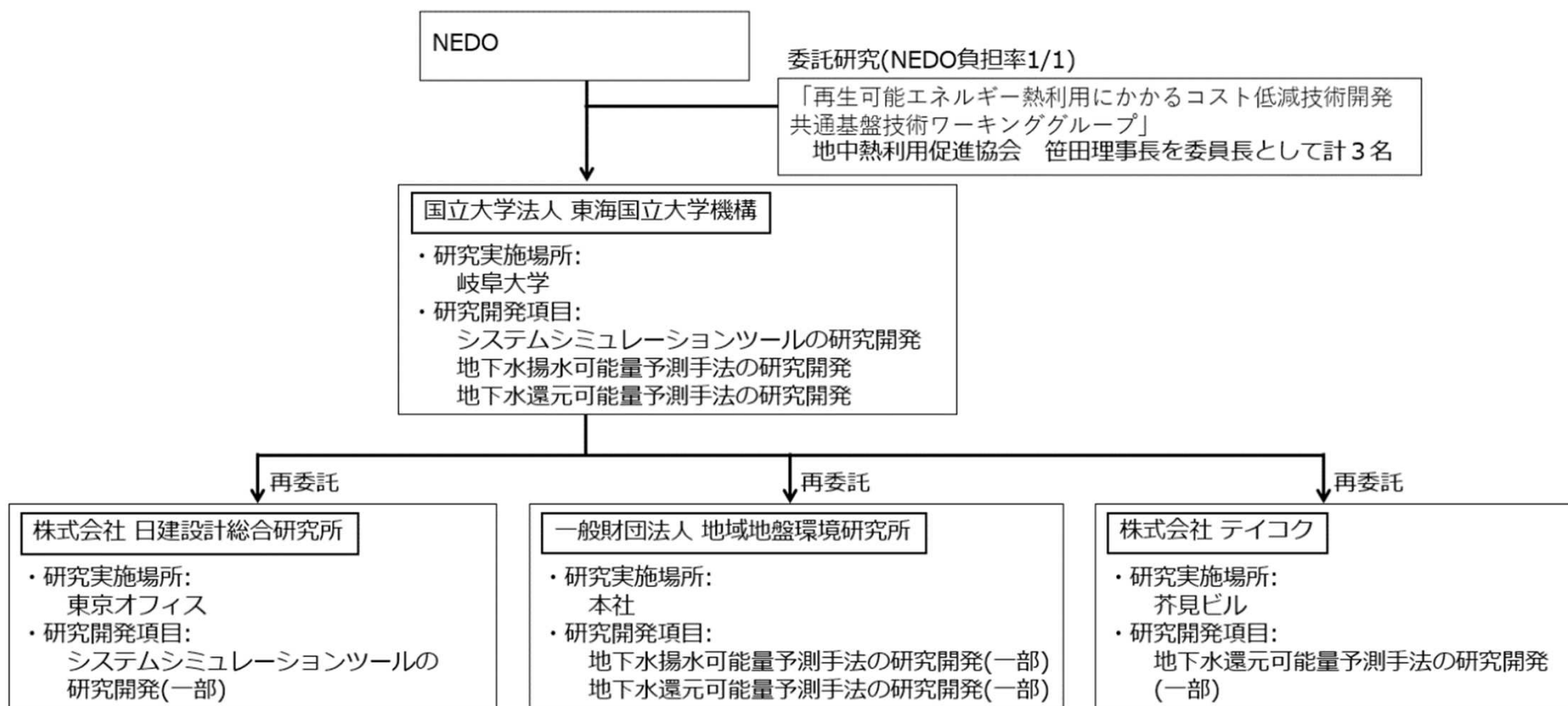
Uチューブ出入口の温度変化のフィッティング

見かけ熱伝導率の計算

データ分析

個別事業：実施体制（3－2）

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



個別事業ごとの目標と根拠 (3-2)

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	最終目標	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。加えて、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。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。また、開発するモジュールの利用者は設計者を想定しているため、トータルシステムシミュレーションツールは他の熱源機器を含めて簡易に操作できることを目標とする。
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 広域的な透水係数推定手法を開発する。また、井水出入口温度差を±3℃から±5℃の間に抑えるために、推定した透水係数より地下水揚水可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。 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 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、井水出入口温度差を±3℃から±5℃の間に抑えるために、推定した透水係数より地下水揚水可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。	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%以内とすることを検討した上で、地下水揚水可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。

個別事業ごとの目標と根拠 (3-2)

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	最終目標	根拠
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、井水出入口温度差を $\pm 3^{\circ}\text{C}$ から $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の間に抑えるために、地下水還元可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。	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 % 以内とすることを検討した上で、地下水還元可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。

個別事業ごとの目標達成状況 (3 - 2)

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

研究開発項目	最終目標	成果	達成状況
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。加えて、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。	LCEMで利用可能なオープンループ方式用モジュールを作成し、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%以内で予測することを可能とした。LCEM構築シートを出力するツールを作成し、これにより他の熱源機器を含めた検討を簡易にすることを可能にした。	○
② 地下水揚水可能エネルギー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 広域的な透水係数推定手法を開発する。また、井水出入口温度差を±3℃から±5℃の間に抑えるために、推定した透水係数より地下水揚水可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。 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 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、井水出入口温度差を±3℃から±5℃の間に抑えるために、推定した透水係数より地下水揚水可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。	1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発 広域的な井戸情報データベースを用いて実測値の0.5倍から2.4倍の範囲内で透水係数を推定する手法を構築した。 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 単一の地盤調査ボーリング孔を用いて多孔式揚水試験に近い透水係数を推定する手法の組み合わせを示した。	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

個別事業ごとの目標達成状況（3－2）

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

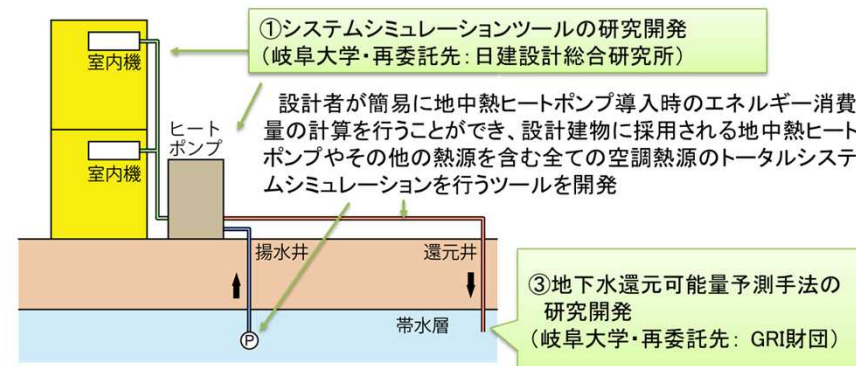
研究開発項目	最終目標	成果	達成状況
③地下水還元可能エネルギー予測手法の研究開発	複数の既存システムモニタリングデータを収集し、地下水還元能力の推移、その要因を明らかにする。また、帯水層地盤を模した室内透水実験装置を構築し透水性の変化を明らかにする。以上の結果を整理し、井水出入口温度差を $\pm 3^{\circ}\text{C}$ から $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の間に抑えるために、地下水還元可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。	複数の既存システムモニタリングデータから、地下水還元が地下水水質と帯水層の透水係数に加えて他の要因が影響を与えることを明らかにした。また、室内透水実験によりスクリーンの単位面積あたりの目詰まり振興の速度を推定する手法を開発した。	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

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の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

- ① LCEMで利用可能なオープンループ方式用モジュールを作成し、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%以内で予測することを可能とした。
- ② LCEM構築シートを出力するツールを作成し、これにより他の熱源機器を含めた検討を簡易にすることを可能にした。
- ③ また、広域的な井戸情報データベースを用いて実測値の0.5倍から2.4倍の範囲内で透水係数を推定する手法を構築するとともに、単一の地盤調査ボーリング孔を用いて多孔式揚水試験に近い透水係数を推定する手法の組み合わせを示した。
- ④ さらに、室内透水実験によりスクリーンの単位面積あたりの目詰まり振興の速度を推定する手法を開発した。

■ 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の全体像



広域的な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透水係数推定手法の研究開発により設計段階で地下水揚水可能量を予測する手法を開発

既存システムの還元井における還元能力の推移とそれに影響を与える地質・地下水条件の把握、帯水層を模した室内透水実験による透水性の変化の把握により、設計段階で地下水還元可能量を予測する手法を開発

■ 成果の公開

2024年1～2月	オープンループ方式用LCEMモジュールのうち、井水槽を用いないタイプ①、②、および井水槽内での温度変化を考慮しないタイプ③、④のモジュールをホームページ上で公開
2024年度中	オープンループ方式用LCEMモジュールのうち、井水槽内での温度変化を考慮するタイプ⑤、⑥のモジュールをホームページ上で公開
2024年度中	地下水揚水可能量、地下水還元可能量の推定方法に関するマニュアルをホームページ上で公開
2024年度中	研究成果を地中熱利用促進協会ホームページ上で掲載
2024年度およびそれ以降	各種団体で研究開発成果の普及を図るとともに、新たに得られたデータを用いて各手法の高精度化を継続