「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」
終了時評価報告書

２０２４年８月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

2024 年 8 月

国立研究開発法人新エネルギー･産業技術総合開発機構
　理事長　　斎藤　保　殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長　　木野　邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「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」
終了時評価報告書

２０２４年８月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

目　次

はじめに　1
審議経過　2
分科会委員名簿　3
研究評価委員会委員名簿　4

第１章　評価
１．　評価コメント　1-1
１．１　意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋
１．２　目標及び達成状況
１．３　マネジメント
（参考）分科会委員の評価コメント　1-3
２．評点結果　1-12

第２章　評価対象事業に係る資料
１．事業原簿　2-1
２．分科会公開資料　2-2

参考資料１　分科会議事録及び書面による質疑応答　参考資料 1-1
参考資料２　評価の実施方法　参考資料 2-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の終了時評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「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）分科会において評価報告書案を策定し、第 77 回研究評価委員会（2024 年 8 月 8 日）に諮り、確定されたものである。

2024 年 8 月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2024 年 6 月 6 日）

公開セッション

１．開会、資料の確認

２．分科会の設置について

３．分科会の公開について

４．評価の実施方法について

５．プロジェクトの説明・詳細説明

非公開セッション

６．プロジェクトの補足説明

７．全体を通しての質疑

公開セッション

８．まとめ・講評

９．今後の予定

１０．閉会

● 第 77 回研究評価委員会（2024 年 8 月 8 日）

「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）

分科会委員名簿

（2024 年 6 月現在）

	氏名	所属、役職
分科会長	齋藤（さいとう）　潔（きよし）	早稲田大学　理工学術院　教授
分科会長 代理	秋澤（あきさわ）　淳（あつし）	東京農工大学大学院　工学研究院 先端機械システム部門　教授
委員	高橋（たかはし）　渓（けい）	三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング株式会社 政策研究事業本部　経済・産業ユニット 産業創発部　主任研究員
	田中（たなか）　雅人（まさと）	ミサワ環境技術株式会社　広島本社　常務取締役
	濱元（はまもと）　栄起（ひでき）	埼玉県環境科学国際センター 土壌・地下水・地盤担当　主任研究員
	安田（やすだ）　健一（けんいち）	株式会社三菱地所設計　経営企画部 執行役員　経営企画部長

敬称略、五十音順

研究評価委員会委員名簿

（2024 年 8 月現在）

	氏　名	所属、役職
委員長	木野（きの）　邦器（くにき）	早稲田大学　理工学術院　教授
委員	浅野（あさの）　浩志（ひろし）	岐阜大学　特任教授 一般財団法人電力中央研究所　研究アドバイザー
	稲葉（いなば）　稔（みのる）	同志社大学　理工学部　教授
	五内川（ごないかわ）　拡史（ひろし）	株式会社ユニファイ・リサーチ　代表取締役社長
	鈴木（すずき）　潤（じゅん）	政策研究大学院大学　政策研究科　教授
	原田（はらだ）　文代（ふみよ）	株式会社日本政策投資銀行　常務執行役員
	松井（まつい）　俊浩（としひろ）	東京情報デザイン専門職大学　情報デザイン学部 学部長・教授
	松本（まつもと）　真由美（まゆみ）	東京大学　教育学部附属教養教育高度化機構 環境エネルギー科学特別部門　客員准教授
	吉本（よしもと）　陽子（ようこ）	三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング株式会社 産業創発部　事業戦略グループ　主席研究員

敬称略、五十音順

第１章　評価

１．評価コメント

１．１　意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

本事業では、2030 年までにトータルコスト 30%以上削減を目指すアウトカム実現に向けて、再生可能エネルギー熱（再エネ熱）を収集する技術から、ヒートポンプをはじめとする変換技術、再エネ熱の活用技術まで、上流から下流までの要素技術を一括したシステム化技術、さらには地域の特性に合わせた技術として研究開発を進めてきた。また、エネルギー白書等の情報及び政策的な動向、社会的なニーズなどの社会環境並びに研究開発による効果も考慮して適切にアウトカム達成への道筋に係る工程の精査を実施してきた。さらに、再エネ熱の社会普及や社会実装においては、重要なステークホルダーである地方自治体のニーズも踏まえ、共通基盤技術の業界団体を通じた情報提供、利活用や規格化・標準化といった必要な取組がなされてきた。再エネ熱利用促進協議会が組織されるなど関連事業者向けの教育・広報に対しても成果を上げている。

知的財産・標準化戦略においては、地中熱利用システム、太陽熱等利用システムについて各実施者にオープン／クローズを選択させ、共通基盤技術開発（委託事業）では、開発したツールを公開するなどの成果をオープンとした戦略は、適切な整理といえる。

一方、地中熱利用を広く普及させるためには、クローズされている知財等の情報や技術についても可能な範囲で社会還元していくことが望まれる。

今後は、再エネ熱を単に拡大させるということだけではなく、他の技術と比較したターゲットの明確化や普及戦略の策定が重要になると考えられる。また、技術的成果を実装する上で地方自治体の理解や関与が重要と考えられることから、自治体との協力関係の構築を期待する。加えて、熱利用にヒートポンプは欠かせない技術であることから、低 GWP※冷媒への転換に対する配慮、また、ヒートポンプ機器の性能やコストに大きな影響を与える冷媒の動向にも留意して研究開発する必要がある。

※GWP：Global Warming Potential（地球温暖化係数）

１．２　目標及び達成状況

アウトカム目標は、ユーザーへのアンケート結果に基づき投資回収年を許容できる 8 年に設定し、市場拡大による量産化、企業間競争、さらなる技術改善を促進することによりトータルコスト 30%以上低減とするもので妥当であった。また、研究開発テーマ毎にアウトカム目標達成の見通しが具体的に行動計画として示されており、事業として全体的には目標達成が見込まれていると考える。

アウトプット目標は、研究開発テーマ毎に根拠に基づいて設定され、ほぼ目標は達成されていたと評価できる。副次的成果としては、CO_2 排出量の削減に貢献し、一部のテーマでトータル熱供給システムを ZEB※に適応させている。論文発表や学会での口頭発表なども十分に行われ、特許出願についてもオープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画も踏まえて適切に実施されていた。

一方、トータルコスト目標について明確な数値目標を設定していることは評価できるが、課題もあると考える。コストダウンが進んでいかない本質的な要因分析をするためには、ランニングとイニシャルコストに分けた評価を引き続き継続いただきたい。特にランニングコストについては、その用途や利用地域による利用条件によって性能改善効果等をきめ細かく設定することも必要であると考える。また、トータルコストが低減されることは実証されたものの、システムを構成する一部の機器について製品化には至っていないため、なかなか普及は進まないことも予想される。

アウトプットをアウトカムに繋げるためには、ツール間の連携など維持管理していく体制まで早めに明確化することが期待される。

今後は、今回開発及び実証されたシステムの実例を増やし報告する場を活性化させることで普及に弾みがつくこと、また、コストダウン以外に CO_2 排出量削減などの副次的成果も積極的に PR されることも期待したい。

※ZEB：Net Zero Energy Building
（年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物）

１．３　マネジメント

実施体制においては、実証事業（助成事業）では、上流から下流までの多様な業種のプレーヤーがコンソーシアム体制に組まれ、事業化を目指すうえで効果的な体制であった点や、共通基盤技術開発（委託事業）では、共通基盤技術 WG における事業者間の情報共有・連携や、業界団体との意見交換・連携が図られていた点で、評価できる。また、採択プロセスでは、プロジェクトが適切に行われるよう必要に応じて採択条件を加えながら審査が実施されていた点は適切であった。さらに、研究開発データの利活用や提供方針は、知財戦略に沿った適切なものであった。

進捗管理においては、地中熱利用のプロジェクトにおける網羅的なテーマが採択されており、研究開発テーマ間でデータを共有し、研究開発の進捗が適切に図られていた。

今後は、熱分野では、エネルギー需要が大きく、ヒートポンプでの対応が難しい寒冷地や産業部門の脱炭素化手段の確立が重要になってきており、NEDO が関連部門とも連携して引き続き、技術開発に取り組んでいただきたい。事業化に向けては、コンソーシアムのメンバーが中心となって開発した技術の普及や技術移転を推し進めていただくことを期待する。

最後に、次の事業の「再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発」では、コストダウンに向けてボトルネックとなっている要素やシステム化技術を明確にして、技術開発を進めていただくことを望む。

（参考）分科会委員の評価コメント

１．１　意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

＜肯定的意見＞

・ 本プロジェクトは、コストダウンを図りながら、再生可能エネルギー熱を基盤収集技術から、ヒートポンプをはじめとする変換技術、さらには、最終端での活用技術まで上流から下流までをも一括したシステム化技術として、さらに地域の特徴に合わせた技術として研究開発を進めている。これらは、大いに評価できる。特に研究開発項目としては、再生可能エネルギー熱として普及促進が大いに期待される地中熱利用システムと太陽熱利用システムに注目し、低コスト化、高効率化を実現する技術を基礎技術からシステム化技術まで明確化することによって 2023 年までにトータルコスト 20%削減するように設定し、これをもとに製品化に向けた課題を明確化することによって 2030 年までにトータルコスト 30%削減しようとするアウトカム実現に向けた道筋は明確である。さらに、普及促進のために必要となる設計や評価に必要なツールまで開発し、広く公開していくことによって、コスト高等のために導入を躊躇するユーザーにも容易に活用できる技術を構築し、これに加えて、技術の評価方法や設計ツールを構築することによって、技術の高度化、低コスト化を実現しようとし、2023 年までに技術を確立するとともに、2030 年までに規格化、標準化に向けて活動することによってそれを実現しようとするアウトカム目標も明確である。これらは、今後の再生可能エネルギーの普及への効果は絶大であり、高く評価できる。

・ 知財標準化戦略としては、地中熱利用システム、太陽熱等利用システムについては、各実施者に応じてオープン・クローズ選択をさせ、共通基盤技術開発は、オープンとする戦略は、明確である。

・ 社会実装に向けて実務家の教育・広報が重要である。本プロジェクトを通じて再エネ熱利用促進協議会が組織されたことは一つの成果と考えられる。再エネ熱の普及のために活用されることを期待する。

・ 開発したツールの公開など、共通基盤技術開発の成果をオープン化する取り組みの準備が進められている点は評価できる。

・ 再生可能エネルギー熱の導入拡大に向けて、低コスト化という目標の他に、共通基盤技術については業界団体を通じた情報提供、利活用や、規格化・標準化といった必要な取組が示されている。前事業の「再生可能エネルギー熱利用技術開発」を踏まえて、より実用化を見据えた取組が実施されている。

・ 共通基盤技術開発の成果は広く公開し、その他の実証事業は、助成事業であることも踏まえて、各事業者に応じてオープン及びクローズ戦略を選択することになっており、適切な整理と思われる。

・ NPO 法人地中熱利用促進協会でも成果の活用に向けた議論が行われているとのことで、アウトカム目標の達成に資する取り組みと考える。研究開発テーマ毎に事業化に向けた行動計画が策定されており、自立して普及拡大する道筋が検討されてい

る。中間評価の提言を反映して、次期プロジェクトの立ち上げにつながっている。
・ 研究開発項目 1、2 については、オープン領域とクローズ領域を明確化し、クローズ領域については特許出願および権利化した事例がある。研究開発項目 3 については、成果を広く公開するとの方針に基づき、成果の公開や技術移転、規格化を進める計画としている。
・ アウトカム達成までの道筋の見直し工程において、各種エネルギー白書等のデータや情報、政策的な動向、社会的なニーズなどの社会環境や研究開発による効果も考慮して適切に実施している。とくにプロジェクト進行中に策定された第 6 次エネルギー基本計画への対応など、アウトカム達成への道筋に係る工程の精査を時機を逃さず適切に実施している。再エネ熱の社会普及や社会実装には、地方自治体も重要なステークホルダーであることから、情報収集や情報交換を通じて地方自治体のニーズ（地方再生、地域レジリエンス、地域熱供給等）も踏まえ、「アウトカム達成までの道筋」の適切な見直し（維持を含む）や情報発信をしている。
・ 本研究開発においては、新規の技術開発、社会的インパクトが大きい開発など社会的にも価値のある多数の成果が挙がっており、それらに対する知的財産の取り扱いも適正に行われている。将来的な国内外での事業化や社会実装を図るうえで、知財のオープン化、クローズド化の判断が重要であり、本研究開発においては、外部環境の変化等も踏まえ適切に判断実施がされている。さらに海外への事業展開が期待できるものについては、海外特許の取得なども想定されており、研究開発成果の今後の事業化に資する適切なものである。標準化、規格化については、様々な種類や段階があるが、研究成果ごとに戦略的に適切に判断されている。
・ 地中熱利用システムの普及に向けて、導入コストのネックになっている地中熱交換器の設置コスト低減手法等が示された。地中熱交換器設計手法及び採熱量把握について、データベースの利用や道筋が示された。共通基盤技術開発では、設計に必要なデータベース、より実用的な TRT 試験方法、オープンループ方式も含む設計ツールの開発といった多面的な取組が行われ、成果を上げた。
・ 共通基盤技術開発における成果物は広く公開され、今後の人材育成にも言及しており期待できる。

＜問題点・改善点・今後への提言＞
・ トータルコストをアウトプットとして 2023 年までに 20%削減、アウトカムとして 2030 年までに 30%以上削減する明確な数値目標を設定していることは、評価できる。一方で、改めて絶対的なコストについても吟味が必要であろう。本プロジェクトでもその利用先の大半は空調、給湯であり、ユーザーがそれらにかけられるコストは限定的なのが通例だからである。たとえコストダウンが進んでも、再生可能エネルギー熱を用いていないがすでに活用されている技術に対して、コストの乖離が大きければ、その普及は進まないであろう。再生可能エネルギー熱は、エネルギー源側、用途側の温度レベルなどによって、効率が大きく異なる。効率はそのまま、

ランニングコスト等に跳ね返るため、その用途や利用地域による利用条件によって性能改善効果等をもう少しきめ細かく範囲を設定し、目標を変えてもよいと考える。地域ごとに目標マップなど作れないだろうか？共通基盤技術を有効活用して、再生可能エネルギー熱の利用効果がどこに、どの程度あるのか、より分かりやすく社会に広めていく必要があると思われる。現在、低 GWP 冷媒への転換が進んでいる。今後の冷媒は、可燃性を有するものがほとんどである。この場合には、ヒートポンプの熱輸送方法等従来技術が使えなくなる可能性も有する。これらについては、適宜配慮が必要である。

- 地中熱利用システム、太陽熱等利用システムについては、各実施者に応じてオープン・クローズ選択をさせるようになっているが、その基準をもう少し明確にした方がよかったのではないか？特許化するところと完全非公開のところが今一つ区別が分からない。特許化できない理由づけになってしまっている気もする。共通基盤技術開発については、アウトカム実現までの道筋がまだあいまいと感じている。規格やソフトウエアの標準化に向けて NEDO のサポートも必要ではないか？
- 技術的成果を実装する上で地方自治体の理解や関与が必要と思われるが、アウトカムがコストダウンの視点になっているので、自治体との協力関係が引き出せていない。
- 特許は必ずしも多くはない。技術的成果が保護されつつ情報公開されることが促進されるとよい。
- 本事業開始時点と比較すると、現在は、脱炭素化の政策検討が進んできている。今後は、再エネ熱を単に拡大させるということだけではなく、他の技術と比較したターゲットの明確化や普及戦略の策定が重要になると思われる。
- 共通基盤技術開発は業界団体を通じた普及が期待されているが、NEDO でも普及の後押しを進めて行くことを期待する。
- 事業化に向けた行動計画の実施について、個別に継続的な支援をされることを望む。NEDO が直接支援する必要はなく、スタートアップ技術シーズの事業化を支援するようなプログラムへ引き継ぐ形でもよいと考える。
- 再エネ熱の社会普及や社会実装において、国や地方自治体も重要なステークホルダーになると考えられる（例えば、国や地方自体体が所管する数多くの公共施設への再エネシステムの導入や地域住民への再エネの導入支援など)。そのため、今後の技術開発プロジェクトにおいても本プロジェクトと同様に、地域連携や行政との情報交換など意識し、社会ニーズも踏まえて再エネ熱に関するアウトカムの設定や技術開発を進めて頂きたい。
- クローズされている知財等の情報や技術についても、将来的な特許化による技術公開（特許公報等）に加えて、特許化されないものについても、再エネ熱普及や社会実装の観点から、ガイドラインやマニュアルを作成する際に可能な範囲で、社会還元して頂きたい。
- 再生可能エネルギー利用を実効性のあるものにするためには、需要と供給の時間的

ズレや量的ズレを考慮する必要があり、そのためのバッファが必須であると思われる。今後は、そうした調整機能も含めた研究開発も望まれる。再生可能エネルギーの熱利用にヒートポンプは欠かせない。ヒートポンプ機器の性能やコストに大きな影響を与える冷媒（の種類）にも着目して研究開発する必要がある。

・ 研究開発項目１について、地中熱利用を広く普及させるために、実績データや設計資料等は、論文発表や関係団体等におけるデータ公開のほか、事例説明会などを開催するなど積極的なオープン戦略をとっていく必要があるのではないか。

１．２　目標及び達成状況

＜肯定的意見＞

・ なかなか導入が容易ではない再生可能エネルギー熱に対して、アンケートを取り、投資回収年として許容できる８年を設定して進めている。これによってトータルコスト削減 30%を明確化しているところは評価できる。また、研究開発項目 1、2 は事業化を目指させ、3 については、実用化を目指させ、特にトータルコストとして 30%を見込ませていることはよい。費用対効果も十分に大きいことが分かる。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実施したことは、評価できる。ZEB 建築としての技術として見せることで、ユーザー側にも導入を後押しできている。

・ アウトプット目標は、ほぼほぼ達成している状況である。一部◎まで出ていることは評価したい。論文発表は十分に行われている。多くの講座等が開催され、人材育成や認知度向上に効果があった。

・ アウトカム目標は明確であり、事業者が具体的なコストダウンを実現することを期待する。現場に応用することを通じて普及と同時にアウトカム目標を着実に達成してほしい。

・ 最終的なアウトプット目標は達成されており、未達の目標はわずかであった。目標のコストダウンが意識されて技術開発が進められた。

・ 本事業で開発した技術の普及により、市場拡大による量産化、企業間競争、更なる技術改善を促進することによりトータルコスト 30%以上低減を実現することとされており、妥当と思われる。事業全体でアウトカム目標を達成できる見込みである。

・ 一部を除き、おおむねアウトプット目標を達成している。帯水層蓄熱や天空熱源ヒートポンプなど、世界的に見ても最先端の技術開発がなされていたと思われる。また、これらの省エネ効果は非常に高いものであることが明らかになった。コスト低減の目標だけでなく、今後の普及方策についても行動計画としてまとめることとなっており、この点は非常によかった。

・ ユーザーへのアンケート結果に基づきアウトカム目標が設定されており、再生可能エネルギー熱利用の導入拡大に有効と考える。研究開発テーマ毎にアウトカム目標達成の見通しが具体的に示されており、本プロジェクトとして総合的に目標達成が見込まれる。

・ 研究開発テーマ毎に根拠に基づいてアウトプット目標が設定されており、それぞれの目標を達成したことが定量的に示されている。副次的成果として ZEB を達成した施設が導入されており、CO_2 排出量の削減に貢献している。
・ 本研究開発による見込まれるコスト低減効果や社会実装など社会的な影響も考慮してアウトカム指標や目標値を、開発中も適切に精査している。アウトカム目標や達成見込みについての評価において、コストを指標とする場合には物価変動や為替変動、労働人口の変動等により絶えず影響を受けると考えられるが、このような影響を細部まで考慮しすぎると、アウトカム指標や目標値の明確性や意味が薄れてしまうため、本開発の指標や目標値の見直し（維持も含む）は十分妥当なものであり、その達成の見込みは十分にある。
・ 本研究開発は、最終目標を十分達成している。副次的性や波及成果として、人材育成講座や学会の特別セッションでの情報発信、自治体への情報交換や情報発信など、社会実装を進めるうえで、重要であり対象者ごとに最適な内容を積極的に発信されたことは特筆すべき点である。論文発表や学会での口頭発表なども十分に行われ、特許出願についても知財戦略のなかで精査し、価値ある出願をしている。さらに今後特許出願も検討している成果物もあり、オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画も踏まえて適切に判断および実施されている。
・ 小規模地中熱利用のネックになっている地中熱交換器の設置コストについて、空調、給湯、融雪等を一体のシステムで構築し、トータルでコスト低減を図る試みは評価できる。
・ 地中熱利用に向いている（競合する空気熱源 HP よりも定性的に優れている）冬期温熱需要に着目し、給湯やロードヒーティングと組み合わせたシステムの実証など実用性が高い成果が得られた。太陽熱温水器を熱源に加え、複数の再生可能エネルギーを組み合わせて利用する着想は素晴らしく、実証建物において開発した技術を検証した。共通基盤技術開発において、見かけの熱伝導率データベースの作成やそれを用いた設計手法の確立など、今後の設計に多変役立つ成果が得られた。共通基盤技術開発では、ZEB、ZEH の普及に欠かせない WEB プログラムへの対応なども行っており、普及見据えたアウトプットは大変評価できる。

＜問題点・改善点・今後への提言＞
・ トータルコスト 30%としているが、やはりイニシャルコスト削減の目標も明確にすべきであろう。ランニングコストは、今回の戦争等で大きく変動しており、今後予断を許さない状況だからである。ランニングとイニシャルコストは分けて評価をすることもご検討いただきたい。アウトプットが得られた後の絵姿がもう少し見えない。市場環境の好循環が得られるためには、さらなるコストダウンも必要であろう。海外に比べてなかなかコストダウンが進んでいかない本質的な要因分析も必要と思われる。2030 年の市場規模予想としては、これほどまでの再エネ熱が導入されるのかやや疑問も残る。マップなどもそろってきたので、そのような調査を今後進め

てもよいのではないであろうか？

- やはり特許出願が極端に少ないことが気になる。研究開発項目 1,2 においてオープン・クローズ戦略をもう少し、明確にしてから取り組んだ方が出願件数を増やすことにもつながるかと思われる。プロジェクト成果のある意味外部評価となりうる受賞歴もないことも少々気になるところである。コスト比較のところで、どの技術をベースと比較しているのかがわかりづらい。数 10%もの削減もあるが、もともと高すぎる日本の技術と比較してもあまり意味がないからである。本プロジェクトにおいては、システム全体としてエネルギー取得のところから、活用段階まで総合的観点から事業が進められたことは評価できる。しかし、個別機器の効果や結果的にシステム全体としてどのような効果があったのかよくわからないこともしばしばあった。真に効果的技術がどれに当たるのか等評価しにくい点があったので個別機器の効果の影響度を比率で表す等見せ方を工夫することも必要である。評価、設計ツールも熱伝導推定、温泉水循環等も含めて、再生可能エネルギー熱全般について統合評価が可能なツールの検討もされていることは評価できる。アウトカム実現のために、維持管理していく体制についてまで早めに明確化することを期待する。ツール間の連携等もきちんとできる体制がないとその効果が薄れてしまうと危惧する。
- アウトプットをアウトカムに繋げることは事業者側に任されており、見通しは必ずしも明確でない印象がある。事業化に結びつけることを支援するあるいは検証する何らかの仕組みが必要ではないか。
- 共通基盤技術は研究機関が担当したが、データの蓄積を通じた手法の改良や一般化が求められる。研究機関の場合予算がないとさらなる進展が難しいことが懸念される。成果を普及させるためのモニタリングとサポートが必要と思われる。
- エネルギー基本計画における再生可能エネルギー熱の目標値は、長期エネルギー需給見通し（2015 年）から更新されていないことから、目標値の妥当性については今後精査が必要と思われる。
- テーマ毎の行動計画は、実施者ごとに一任されて作成されていた印象があり、分野全体の普及戦略があるとよりよいと感じた。
- コストダウンにより施工品質や安全性がトレードオフになっていないことも確認されることが望ましいと考える。
- ユーザーが再エネ熱を導入する動機はコスト以外にも多様化しているため、コストダウン以外に CO_2 排出量削減などの副次的成果も積極的に PR されることを望む。近年、安定的に物価が上昇する傾向にあり、コストダウンを評価する上で物価の変動を考慮する評価方法があればとよいと考える。
- 今後建築物省エネ法の適用範囲も広がり、より小規模な建築物においても脱炭素化を目指すことになる。冷暖房と給湯（及び寒冷地においては融雪）を合わせたシステムとすることで、イニシャルコストを低減するとともにランニングコストも含めたトータルコストも低減されることは実証されたものの、システムを構成する一部の機器について製品化には至っていない。量産機として製品化されないとなかなか

普及は進まない。製品化するためのハードルを見据えて、それを超える戦略を立てる必要がある。

・ 今回開発及び実証されたシステムについては、今後実例を増やし報告する場を活性化させることで普及に弾みがつくことを期待したい。地中熱利用によるフリークーリング効果の例にみられるように、外ブラインドなどパッシブな建築対応との組み合わせが奏功する例などを積極的に発信できるとよい。共通基盤技術開発の成果であるデータベースや設計ツールは、今後、調査結果や実例調査などを通じて継続的にアップデートを行うことにより、より精度の高いデータベースや使い勝手の良い設計ツールとして普及していくことと思う。

１．３　マネジメント

＜肯定的意見＞

・ 熱利用技術は、質が悪く、エネルギー密度が低いほど、コスト高になってしまうような技術であり、その事業化は容易ではない。このような難しい技術であるにもかかわらず、カーボンニュートラル実現のためには、必須技術でもある。このようなかなか一企業がリスクを背負って実施するには厳しい技術であるため、NEDO が技術開発を支援するのにふさわしい技術である。①システムインテグレーター、②設計・コンサル、③低コスト機器開発、④低コスト施工がすべての事業できちんと配置され、適切に運営がなされている。今後活用への期待が大きい地中熱利用技術と太陽熱利用技術開発に力点を置き、さらに低コスト化に必要となる共通基盤技術開発を通じてこれらの普及を目指す体制は評価できる。産学がオープン・クローズ戦略に応じて適材適所に配置されていることころは、評価できる。採択審査も 4 回にわたって行われるとともに、必要に応じて採択条件を加えながら、プロジェクトが適切に行われるようにしている等採択プロセスも適切である。データの管理についても適切に行われている。

・ 上流から下流までかかわるコンソーシアム体制で実施され、適切に要素技術開発からシステム全体の開発まで網羅した形で行われている点は評価できる。年に数回技術検討委員会や共通基盤技術 WG が開催されるとともに、コンソーシアム内会議や NEDO 内会議が毎月行われているようであり、適切である。スケジュールも試作から改良、実用化開発、実用化開発に向けて日程がきちんと組まれている中で適切に実行されている。中間評価結果をきちんと受け止め、重要項目については、適切な対応がなされている。学会等で積極的に成果発信をしていることは評価できる。

・ 実施者は実用化に向けた技術開発を遂行したといえるが、事業化の推進については今後の課題である。共通基盤に関して研究成果を公開する体制が準備されている点は出口が意識されている。

・ 最終的なアウトプット目標が達成されている。

・ 実証事業では、上流から下流までのプレーヤーがコンソーシアム体制に組まれていた点を評価できる。共通基盤技術開発では、共通基盤技術 WG における事業者間の

情報共有・連携や、業界団体との意見交換・連携が図られていた点を評価できる。
- 技術検討委員会や共通基盤技術 WG で進捗管理や、事業者間の連携促進が実施されており、適切にマネジメントされていたと思われる。
- 上流から下流までの多様な主体によるコンソーシアムが構築されており、事業化を目指すうえで効果的な体制であった。
- 地中熱利用のプロジェクトにおける上流から下流まで網羅的なテーマが採択されており、総合的なコストダウンに有効であった。研究開発テーマ間でデータを共有し、研究開発の進捗を図っていた。
- 実施者は、本開発が対象とする分野において高い実績をもつ研究者や技術者で構成されており、本研究開発を実施する上で最適な構成となっており、各実施者がもつ技術力及び実用化・事業化能力を発揮し、最大限の成果を出している。実施者間での連携や情報共有など NEDO 推進部（新エネルギー部）が大きな役割を果たし、定期的な会議等を開催し、実施者間での情報共有やデータ共有などシナジー効果が十分発揮できるように全体を管理した。個別事業の採択プロセスも妥当であり、適切な研究開発体制の構築に寄与した。研究開発データの利活用や提供方針は、知財戦略に沿った適切なものであり、研究の健全性や公正性の確保に取り組みも十分認められる。
- アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発は十分網羅され、各要素技術間での連携も十分取れておりスケジュールも適切に計画されている。本研究開発期間中には、社会的にも”コロナ禍”の影響が大きい期間もあったが、関係者間の連携や全体管理においてオンラインシステムなどを活用するなど目標達成に向けて十分尽力され、最大限の研究開発成果に結びつけている。
- どのプロジェクトも実用化を見据えて実証実験を行い（実用に足る）成果を得た。事業化についてさらなる研究開発が必要なプロジェクトもあるが今回の目標としてはおおむね達成できたのではないか。
- どのプロジェクトもスケジュールは遵守しており、それは良好なチームマネジメントの証左と見ることが出来る。共通基盤技術開発で開発した成果物（Ground Club）を用いて個別プロジェクトの検討を行うなど前身事業との連携も取れている。

＜問題点・改善点・今後への提言＞
- 特に問題点等はない。近年会議体が増えすぎ、事業者が研究開発に十分時間が取れない等の声が聞こえてくる。実施者が事業を進めやすい対応をきちんとしていただくことが重要である。事業者が十分に育っていない現状は依然続いている。数少ない関連企業に取り組ませるだけでは、一気に再生可能エネルギー熱が広まるとは考えにくい。関連が必要な多くのプレーヤーにメリットを感じさせるような行政的な仕組み作りも必要であろう。
- 要素技術間で連携を取りながら進めていることは、理解できたが、その中でコストダウンに向けてボトルネックとなっている要素やシステム化技術が一体何である

のか、もう少し明確化されるとよい。これがなければ、次のプロジェクトで何を実施すべきなのかが明確とならない。熱の面的利用についても長期にわたって検討がなされてきている。改めて、何がボトルネックになるのか、今一度明確にし、技術開発テーマの決め方を検討いただきたい。また、特に近年は DX が加速している。きわめてアナログ的な熱利用技術においても例えば、DX(熱マネ等)を進めることによって、新たな進展などないであろうか？

- 共通基盤技術開発の成果について、他の助成事業実施者とのコミュニケーションがあったのか不明。共通基盤技術なので、意見交換する機会があればフィードバックを得られたのではないか。
- 動向・情勢変化への対応として、次期事業は「面的利用」に着目した新規プロジェクト立案がされており、これ自体はターゲットを明確化した点で評価できる。一方、熱分野では、エネルギー需要が大きく、ヒートポンプでの対応が難しい寒冷地や産業部門の脱炭素化手段の確立が重要になってきており、関連部門とも連携して引き続き、技術開発に取り組んでいただきたい。
- 一部の機器開発において、着想は良いのに結果として製品開発が中断されているものがあり、残念だ。製品化（事業化）への課題を整理して機器開発を継続できると良いと思う。
- 今後もコンソーシアムのメンバーが中心となって開発した技術の普及や技術移転を推し進めていただきたい。

２．評点結果

評価項目・評価結果		各委員の評価						評点
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋								
	(1)アウトカム達成までの道筋	A	B	A	A	A	A	2.8
	(2)知的財産・標準化戦略	B	A	A	A	A	B	2.7
2. 目標及び達成状況								
	(1)アウトカム目標及び達成見込み	B	B	B	A	A	B	2.3
	(2)アウトプット目標及び達成状況	B	A	B	A	A	A	2.7
3. マネジメント								
	(1)実施体制	A	A	A	A	A	B	2.8
	(2)研究開発計画	B	A	A	A	A	A	2.8

≪判定基準≫
A：評価基準に適合し、非常に優れている。 B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。 C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。 D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。

（注）評点は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算・平均して算出。

第２章　評価対象事業に係る資料

１．事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

資料 7

「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

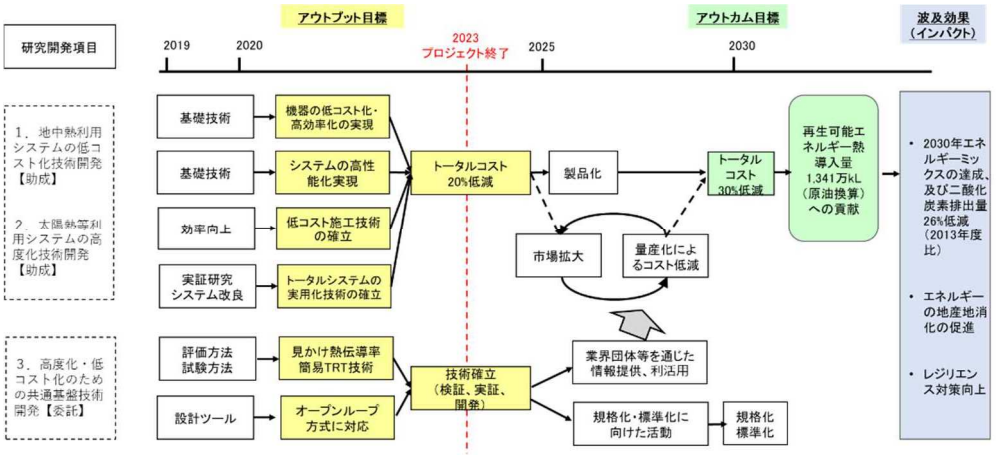
目次

概要.....1
プロジェクト用語集.....1
1.意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋.....1-1
1.1 事業の位置付け・意義.....1-1
1.2 アウトカム達成までの道筋.....1-6
1.3 知的財産・標準化戦略.....1-6
2. 目標及び達成状況.....2-1
2.1 アウトカム目標及び達成見込み.....2-1
2.2 アウトカム目標及び達成状況.....2-3
3. マネジメント.....3-1
3.1 実施体制.....3-1
3.2 受益者負担の考え方.....3-2
3.3 研究開発計画.....3-2
4. 目標及び達成状況の詳細.....4-1
4.1 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.....4-1
4.1.1 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.....4-1
4.1.2 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.....4-21
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.....4-30
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.....4-40
4.2 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.....4-49
4.2.1 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.....4-49
4.2.2 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.....4-54
4.3 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.....4-63
4.3.1 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.....4-63
4.3.2 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.....4-80
・添付資料.....1
プロジェクト基本計画.....1
事前評価結果.....10
各種委員会開催リスト.....11
特許論文リスト.....13

概要

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/ プロジェクトマネージャーまたは担当者及びMETI担当課	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～2023年12月） 主査（PM）　谷口　聡子　（2019年4月～2021年9月） 主査（PMgr）　大竹　正巳　（2021年10月～2023年9月） 主幹（PMgr）　上坂　真　（2023年10月～2024年3月） 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　津留﨑　一洋　（2020年5月～2022年7月） 主任　上本　雄也　（2019年4月～2021年3月） 主任　嵯峨山　巧　（2021年4月～2024年3月） 主査　長谷川　真美　（2021年8月～2023年7月） 専門調査員　鶴和　義仁　（2022年4月～2024年3月） 主査　彦坂　芳久　（2022年10月～2024年3月） 主任　近藤　洋裕　（2023年7月～2024年3月） METI担当課／ 経済産業省　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		
０．事業の概要	(1)「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。本事業では、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に向けた技術開発に取り組む。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、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、自立的な再生可能エネルギー熱利用の普及に重点を置いた、トータルコスト低減に資する研究開発を推進する。また、NEDO、業界団体、研究開発実施者とで連携し、テーマ横断的に技術基準や評価技術の普及方策に取り組む。さらに、導入拡大の一助となる共通基盤技術の開発を行い規格化を目指す。 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。 (2)事業期間：2019 年度～2023 年度(5 年間)
1．意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	
1.1　本事業の位置付け・意義	◆政策的位置付け ■長期エネルギー需給見通し(2015 年 7 月) ・多様なエネルギー源の活用　再生可能エネルギー熱を含む熱利用の面的な拡大など地産地消の取組を推進する。 ・2030 年までの再生可能エネルギー熱利用の導入見通し・・・1,341 万 kL ■第 5 次エネルギー基本計画(2018 年 7 月) ・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。 ・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なると考えられる。 ・こうした熱源がこれまで十分に活用されてこなかった背景には、利用するための設備導入コストが依然として高いという理由だけでなく、設備の供給力に比して地域における熱需要が少ないなど、需要と供給が必ずしも一致せず事業の採算が取れないことや、認知度が低く、こうした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も大きな要因であり、こうした熱が賦存する地域の特性を活かした利用の取組を進めていくことが重要である。 ◆再エネ熱の親和性 ■2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2020 年 12 月) ・⑫住宅・建築物産業：【今後の取組】新たな ZEH・ZEB の創出および規制活用 評価制度の確立を通じた省エネ住宅・建築物の長寿命化の推進 ・⑭ライフスタイル関連産業：【今後の取組】普及のためのコスト低減、実証にとどまらないビジネスの確立 ZEH・ZEB、需要側機器、地域の再生可能エネルギー、EV/FCV 等を組合せ、最適化するための多種多様な機器等を自律制御や遠隔制御する手法の確立や市場形成。需要近接型再エネ電気・熱の技術の実証・社会実装、普及を図る。 ■地域レジリエンス・脱炭素化を同時実現する避難施設等への自立・分散型エネルギー設備等導入推進事業(2021 年) 昨今の災害リスクの増大に伴い、災害・停電時の避難施設等へのエネルギー供給等が可能な再エネ設備等を整備し、併せて避難施設等への高機能換気設備の導入の推進や感染症対策を踏まえた地域の防災体制構築を推進することにより、地域のレジリエンス（災害や感染症に対する強靭性の向上）と脱炭素化を同時実現する地域づくりを推進。 再エネ熱の役割 ・再エネ熱の ZEB・ZEH への導入（現在は省エネとして） ・再エネ熱利用の大規模化：地方創生、地域レジリエンス、地域熱供給 ■第 6 次エネルギー基本計画(2021 年 10 月) ・ 熱エネルギー源について ・・ 生活スタイルや地域の実情に応じた柔軟な対応が可能となる取り組みが重要

	・・ 地域の特性を生かした太陽熱・地中熱・バイオマス熱・雪氷熱・温泉熱・海水熱・河川熱・下水熱等 の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重要 ・ 再生可能エネルギー熱について ・・ 熱供給設備の導入支援を図る ・・ 複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行う ・・ 再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指す ⇒ 本事業で構築を目指す面的熱利用システムは地域社会の脱炭素化に寄与すると共に、2050 年のカーボンニュートラルに向けて再エネ熱の存在価値を高めることに繋がる。
1.2 アウトカム達成までの道筋	本プロジェクト終了後（アウトプット目標）からアウトカム達成までの道筋は下図のとおり。 
1.3 知的財産・標準化戦略	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と研究開発項目②太陽熱等利用システムの高度化技術開発においては、再エネ熱利用システムの製品化に直結する開発成果は特許取得により権利化を図る。なお、実証中心であり、各実施者に応じてオープン及びクローズ戦略を選択する。 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においては、研究開発成果は広く裨益する内容であり、オープン領域。開発成果は、業界団体を通じた情報提供など、事業後もアクセス可能な状況を確保する。 実施者間での知的財産の取扱い等（事業終了後の権利・義務、体制変更への対応、研究データの利用許諾、技術情報の流出防止）は、「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従って、コンソーシアム毎に知財運営員会を設置し、NEDO 及び事業者間で協議の上、決定する。 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。

２．目標及び達成状況

2.1　アウトカム目標及び達成見込み

◆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。
■観点
対象分野における 2030 年の見通し
■達成状況
比較的小規模需要先を対象とした分野では、地中熱及び太陽熱等の利用による低コスト化、高度化システムの実証事業を通じ、トータルコスト２０％以上削減を達成。
今後、こうした事例や事業者が策定した行動計画の実行を通じ、民間主導の技術開発投資、量産効果の発揮による更なるコスト低減、投資回収年数の短縮の実現といった市場環境の好循環化が図られることで、トータルコスト３０％以上低減（投資回収年数８年以下）の実現が見込まれる。
■課題
今後の再エネ熱の効率的普及に向けては、地域特性を活かした熱の面的利用の仕組みづくりが重要であり、更なるスケールメリットが得られる利用方法の実証、導入の事例が求められる（第６次エネルギー基本計画）。

2.2　アウトプット目標及び達成状況

（１）地中熱利用システムの低コスト化技術開発【助成】及び（２）太陽熱等利用システムの高度化技術開発【助成】
■アウトプット目標目標（2023 年 3 月）
・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。

成果（実績）（2024 年 3 月）	達成度（見込み※）	達成の根拠／解決方針
（１）４テーマ 1-１）概ね○、一部△× 1-2）すべて○ 1-3）すべて◎ 1-4）概ね○、一部◎ （２）２テーマ 2-1）概ね○、一部◎ 2-2）すべて○	総合判定 ○ 2024 年 3 月までに達成	・各テーマで設定した目標を概ね達成と評価 ・事業化の見通し、行動計画については、実績報告書にその内容を盛り込む

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。
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。
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。
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。
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。

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】
(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。

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】
(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

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】
（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。

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、202 1 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。

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。

（３）高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発【委託】
■アウトプット目標目標（2023 年 3 月）
・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、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。

成果（実績）（2024 年 3 月）	達成度（見込み※）	達成の根拠／解決方針

（3） 2テーマ 3-1）すべて○ 3-2）すべて○	総合判定 ○ 2024年3月までに達成	・各テーマで設定した目標をそれぞれ達成と評価

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
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
② 簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化
・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
③ 統合型設計ツールの開発の開発・規格化
・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

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
①LCEM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。
②LCEM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さらには、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。

３．マネジメント

3.1 実施体制	プロジェクトマネージャー	上坂　真
	プロジェクトリーダー	―
	助成・委託先	【助成】 ①地中熱利用システムの低コスト化技術開発 ・「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」 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利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 【助成】 ②太陽熱等利用システムの高度化技術開発 ・「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」 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 【委託】 ③高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発 ・「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
3.2　受益者負担の考え方	受益者負担の考え方 （１）助成 事業化リスクが低く、実施事業者自身の将来の裨益が非実施者に比して大きいと見込まれるため、1/2 負担の補助事業とする。 （２）委託 標準化に必要なデータ等を取得し中立的立場から分析・評価するものや、民間企業単独では整備できないデータベース等を構築する共通基盤的な要素であるため、委託事業とする。

3.3　研究開発計画

事業費推移

（単位：百万円）

主な実施事項	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	総額
①地中熱利用システムの低コスト化技術開発	(136)	(496)	(414)	(168)	(74)	(1,288)
②太陽熱等利用の高度化技術開発	68	248	207	84	37	644
③高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発	－	165	215	222	119	720

事業費	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	総額
会計（特別）	68	413	422	306	156	1364
総 NEDO 負担額	68	413	422	306	156	1364

情勢変化への対応	（１）　エネルギー基本計画改定を踏まえた、新規プロジェクト立案 第６次エネルギー基本計画(2021 年 10 月)が策定され、 より一層の熱供給設備の導入支援を図る観点から、複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行うことによって、再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指すことが謳われている。

<table>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">そこで当該プロジェクトの先を見据え、「面的利用」に着目した新規プロジェクト立案に向けて、当該プロジェクトの成果を踏まえて並行的に新規予算要求及び基本計画の策定に取り組み、次期プロジェクトである「再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発」の立ち上げにつなげた。
（２）海外動向調査実施による技術・政策情報の収集と課題把握
事業立ち上げ前半での調査により、再エネ熱利用の普及拡大課題を明確化するとともに、後半の関連調査により普及拡大課題を更に精査し、課題解決の方向性を把握・整理した。これらの成果は、技術戦略研究センター（TSC）調査分析レポート「再生可能エネルギー熱利用への期待と課題」（2023 年 12 月 27 日）へも提供するとともに、新規プロジェクト立案・検討に活用した。</td></tr>
<tr><td></td><td>中間評価結果への対応</td><td colspan="2"><table>
<tr><th>問題点・改善点・今後への提言</th><th>対応</th></tr>
<tr><td>①エネルギー利用を取り巻く境界条件が大きく変わった現在においては、これまで実施済みのプロジェクトまで含めて、再生可能エネルギー熱利用における課題と必要な熱利用技術を改めて明確化し、その利用促進を図ることが重要と考える。</td><td>第６次エネルギー基本計画(2021 年 10 月)が策定され、 より一層の熱供給設備の導入支援を図る観点から、複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行うことによって、再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指すことが謳われている。
そこで、当該プロジェクトの先を見据え、「面的利用」に着目した新規プロジェクト立案に向けて、当該プロジェクトの成果を踏まえて並行的に新規予算要求及び基本計画の策定に取り組み、次期プロジェクトである「再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発」の立ち上げにつなげた。</td></tr>
<tr><td>②トータルシステムとしてランニングコストやイニシャルコスト削減の真の成果と課題、コストダウンの比較対象を整理し、2030 年までのトータルコスト削減、投資回数年数の目標達成により再エネ熱利用拡大がどの程度進むのか、その道筋を明確にすることを期待する。また、欧米とも競合しうる技術開発を目指すのであれば、外国特許の出願を実施すべきであり、出願の支援を NEDO が行うことを検討頂きたい。</td><td>各テーマでコスト削減の成果やコストダウンの比較対象等は設定されているが、フォーマットを統一することでデータの見える化を図った。見える化されたデータを用いて全テーマ参加の技術検討委員会にて議論することで、プロジェクトの最終目標への道筋を明確化させた。
特許について、個々の委託先では既に NEDO が定める知財マネジメント基本方針に沿って知財運営委員会等開催し、NEDO としてはこれらの議事内容を収集し、適切に各プロジェクトの知財戦略にフィー</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

		ドバックすることと、その実施方法を明確化することで出願の支援に努めたが、結果、外国の出願には至らなかった。
	③普及に向け、それぞれのプロジェクト間での連携が図れるように工夫し、最大の成果が得られるように協力していくことや、個別機器だけでなく、システム全体としての効果発揮のために、個別機器の効果の影響度を比率で表す等、見せ方を工夫することを期待する。	既に委託先のテーマ間で実証データの共有を図っているが、テーマ間連携の活発化による成果の最大化が図れるよう NEDO からの働きかけを行った。具体的には、研究開発項目１の事業者が取得したデータを研究開発項目３の実施者に提供し、それらのデータを活用したことで研究活動の加速化、精度向上につなげた。
	④研究成果のオリジナリティは基本的に特許であり、最終的には、テーマ数以上の特許出願が望まれる。	知財運営委員会等の議事内容の収集により委託先及び NEDO 間で知財戦略の認識を共有しつつ、NEDO からも特許や実用新案等の出願申請を促したが、結果、テーマ数以上の国内外の出願には至らなかった。
	⑤実用化・事業化計画の具体的内容を示せるように、今まで再生可能エネルギー熱の普及を遅らせてきたコスト以外の要因を明確化し、それらを乗り越えられる方向性を示して頂いた上で、空気を熱源とする従来のヒートポンプと比較して対抗できる性能やコストを明確にして頂きたい。	事業立ち上げ前半での調査により、再エネ熱利用の普及拡大課題を明確化するとともに、後半の関連調査により普及拡大課題を更に精査し、課題解決の方向性を把握・整理した。性能比較について、前述（②）したデータの見える化に盛り込んでいくよう努めた。

	⑥シミュレーション技術に関しては、個別事業の中で開発が進められているが、事業を横断できトータルとしての活用が進むような体制を作ることが肝要であり、シミュレーションを活用したデータベース等の構築を加速し、再生可能エネルギー熱が有効利用できる地域等を明確化することを期待する。	前述（③）の通り、委託先(共通基盤技術開発)のテーマ間で実証データの共有を図った。また、2 テーマで扱う設計ツールは異なるが、それぞれのメリット・デメリットを明確化することにより、地域等の特性に合わせたツールの活用を促すことで利用の拡大化に努めた。これまでも共通基盤技術開発に関する全ての委託先と有識者によるワーキンググループを実施し、以後のワーキンググループにて、指摘された技術の活用促進体制を議論した。
	⑦太陽熱や雪氷冷熱、下水熱などその他の未利用エネルギーとの組合せによる効率化が要求されると考えられるため、再エネ熱全体に精通した人材の養成も検討して頂きたい。	再生可能エネルギー世界展示会や地熱学会（オーガナイズドセッションを主催）等を活用し積極的な広報に努め、今後も同取り組みを継続し、認知度向上に努め、ひいてはインテグレーター育成に繋げた。また、「NEDO プロジェクトを核とした人材育成、産業連携等の総合的展開／再生可能エネルギー熱の普及拡大に向けた人材育成講座」を立ち上げ、広く再エネ熱に関する技術者の養成に努めた。

評価に関する事項	事前評価	2018 年度実施　担当　新エネルギー部 2018 年度、2019 年度　NEDO POST 実施
	中間評価	2021 年度　中間評価実施
	終了時評価	2024 年度　終了時評価実施予定

別添

投稿論文	「査読付き」19 件、「その他」3 件	
特　　許	「出願済」4 件、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 0 件） 特記事項：	
その他の外部発表（プレス発表等）	「学会等での発表・講演」148 件、「新聞・雑誌等への掲載」49 件、 「その他（展示会への出展など）」25 件	
基本計画に関する事項	作成時期	2019 年 2 月　作成
	変更履歴	2019 年 4 月　　改定　プロジェクトマネージャーの変更 2020 年 3 月　　改定　研究開発項目の追加 2021 年 11 月　改訂　プロジェクトマネージャーの変更

プロジェクト用語集

用　　語	説　　明
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。
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気的に生成する(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	電覧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。

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1.1 事業の位置付け・意義

・事業の背景、目的、意義、位置付け

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。

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。

「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位置付けられている。

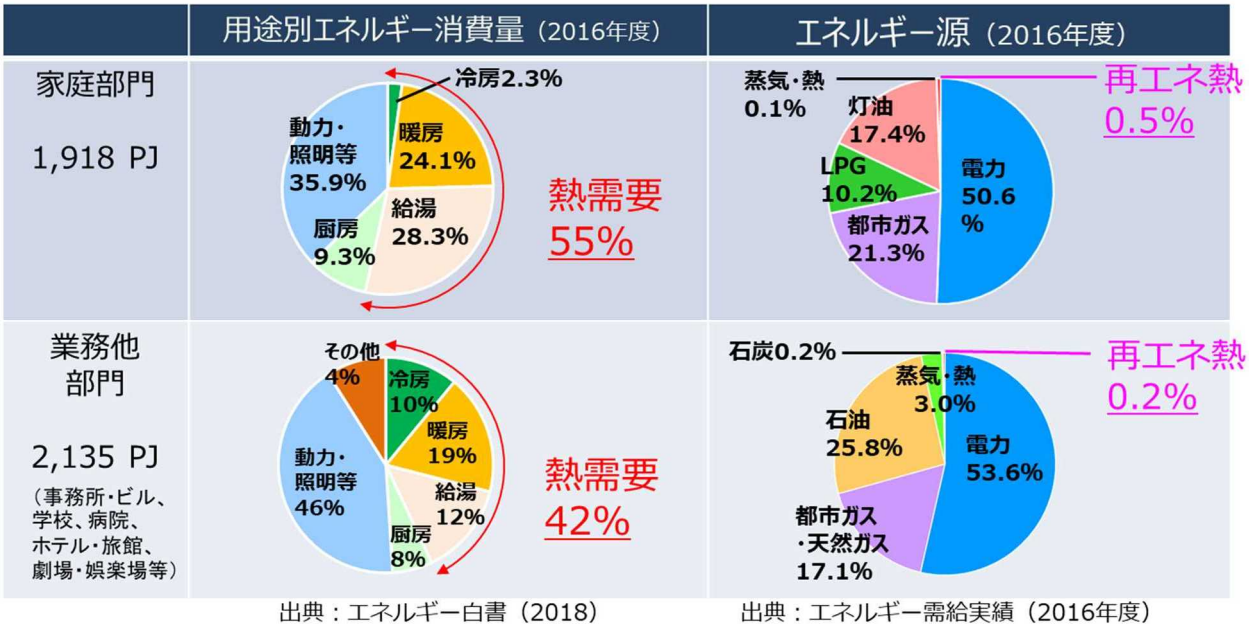


図 1. 1-1　用途別エネルギー消費量とエネルギー源

・政策、施策における位置付け

◆政策的位置付け

■長期エネルギー需給見通し(2015 年 7 月)

・多様なエネルギー源の活用　再生可能エネルギー熱を含む熱利用の面的な拡大など地産地消の取組を推進する。

・2030 年までの再生可能エネルギー熱利用の導入見通し・・・1,341 万 kL

■第 5 次エネルギー基本計画(2018 年 7 月)

・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。

・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なると考えられる。

・こうした熱源がこれまで十分に活用されてこなかった背景には、利用するための設備導入コストが依然として高いという理由だけでなく、設備の供給力に比して地域における熱需要が少ないなど、需要と供給が必ずしも一致せず事業の採算が取れないことや、認知度が低く、こうした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も大きな要因であり、こうした熱が賦存する地域の特性を活かした利用の取組を進めていくことが重要である。

◆再エネ熱の親和性

■2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2020 年 12 月)

・⑫住宅・建築物産業：【今後の取組】新たな ZEH・ZEB の創出および規制活用
　評価制度の確立を通じた省エネ住宅・建築物の長寿命化の推進

・⑭ライフスタイル関連産業：【今後の取組】普及のためのコスト低減、実証にとどまらないビジネスの確立

ZEH・ZEB、需要側機器、地域の再生可能エネルギー、EV/FCV 等を組合せ、最適化するための多種多様な機器等を自律制御や遠隔制御する手法の確立や市場形成。需要近接型再エネ電気・熱の技術の実証・社会実装、普及を図る。

■地域レジリエンス・脱炭素化を同時実現する避難施設等への自立・分散型エネルギー設備等導入推進事業(2021 年)

昨今の災害リスクの増大に伴い、災害・停電時の避難施設等へのエネルギー供給等が可能な再エネ設備等を整備し、併せて避難施設等への高機能換気設備の導入の推進や感染症対策を踏まえた地域の防災体制構築を推進することにより、地域のレジリエンス（災害や感染症に対する強靭性の向上）と脱炭素化を同時実現する地域づくりを推進。

再エネ熱の役割

・再エネ熱の ZEB・ZEH への導入（現在は省エネとして）

・再エネ熱利用の大規模化：地方創生、地域レジリエンス、地域熱供給

■第 6 次エネルギー基本計画(2021 年 10 月)

・ 熱エネルギー源について

・・ 生活スタイルや地域の実情に応じた柔軟な対応が可能となる取り組みが重要

・・ 地域の特性を生かした太陽熱・地中熱・バイオマス熱・雪氷熱・温泉熱・海水熱・河川熱・下水熱等
　の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重要

・ 再生可能エネルギー熱について

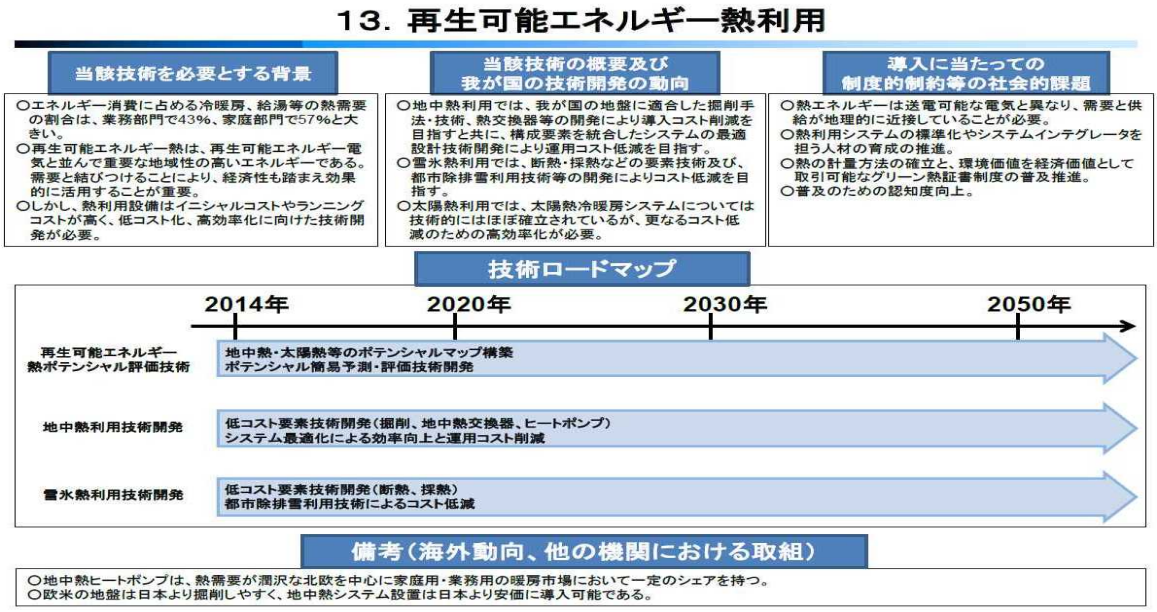
・・ 熱供給設備の導入支援を図る

・・ 複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行う

・・ 再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指す

⇒ 本事業で構築を目指す面的熱利用システムは地域社会の脱炭素化に寄与すると共に、2050 年のカーボンニュートラルに向けて再エネ熱の存在価値を高めることに繋がる。

・技術戦略上の位置付け



・外部環境の状況

○海外における再エネ熱関連のロードマップ策定状況

国名	名称	公表時期	数値目標および策定概要
米国	Geo Vision Roadmap	2019	①地中熱ヒートポンプシステムの設計及び設置の標準化 ②地域冷暖房システムの市場導入拡大 ③地中熱の経済性を向上する条件の特定 ④ヒートポンプの熱交換メカニズム、システム設計の改善
ドイツ	Innovations for the energy transition, 7. Energy research program	2018	地中熱を利用した冷暖房設備の拡大が将来のエネルギー供給にとって不可欠な戦略的目標

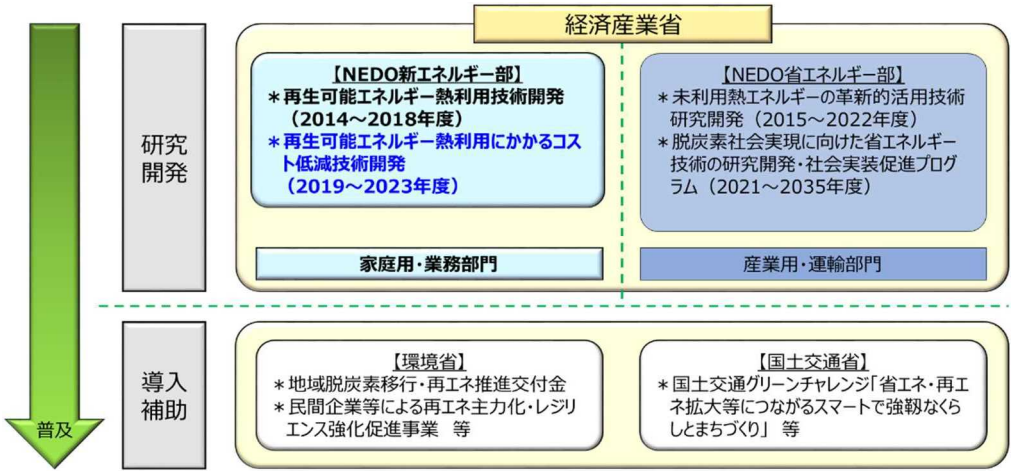
オランダ	Master Plan Geothermal Energy in the Netherlands	2018	熱セクターにおいて 2030 年までに 2 千万 t CO_2、2050 年までにさらに 3.6 千万 t CO_2 の削減が必要 イノベーションが必要な分野：**地中熱と他熱源の連携や蓄熱利用（帯水層蓄熱；ATES など）**
オーストリア	Mission 2030 Austrian Climate and Energy Strategy	2018	冷暖房需要の削減および化石燃料による暖房の再エネへの転換が必要。 →高効率地域熱供給、建築規則の変更 2030 年までに 200 万 t CO_2 削減（2016 年比） 2045 年頃までにはさらに 150 万 t CO_2 削減
フランス	Geothermal energy Strategic Roadmap	2011	2020 年までに再エネ熱を 1 千万石油換算トン増加（2006 年比）

○国内技術の優位性

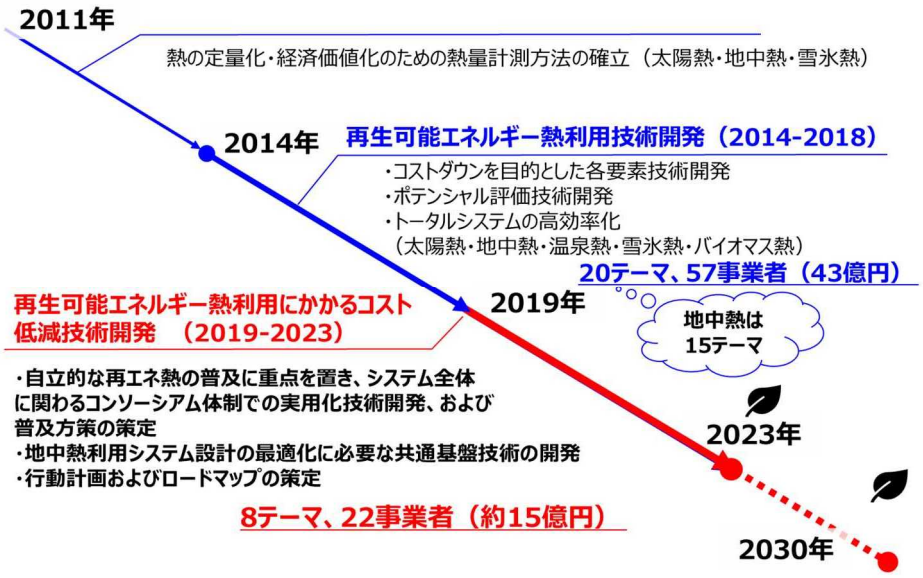
分類	要素	強み
要素技術	機器	少数であるが、地中熱交換器、ヒートポンプ機器共に国内で生産・販売。
	制御	海外に比べ、他機器との連動や細やかな制御が可能。
	掘削	NEDO 事業で地中熱交換井専用の掘削機を開発（自動化、コンパクト化など）。
	設計	地域や地質条件に応じて様々な熱交換方式*が採用可能。 地域によっては適地マップも存在。
地域条件	地下条件	国内には様々な地下条件（地質、地下水）が存在しており、地域・場所に適した効果的な地中熱が利用可能。
	気候条件	寒冷地：暖房過多であり、有効。融雪にも適用可能。 温暖地：冷暖房に加え、給湯利用に適用可能。

・他事業との関係

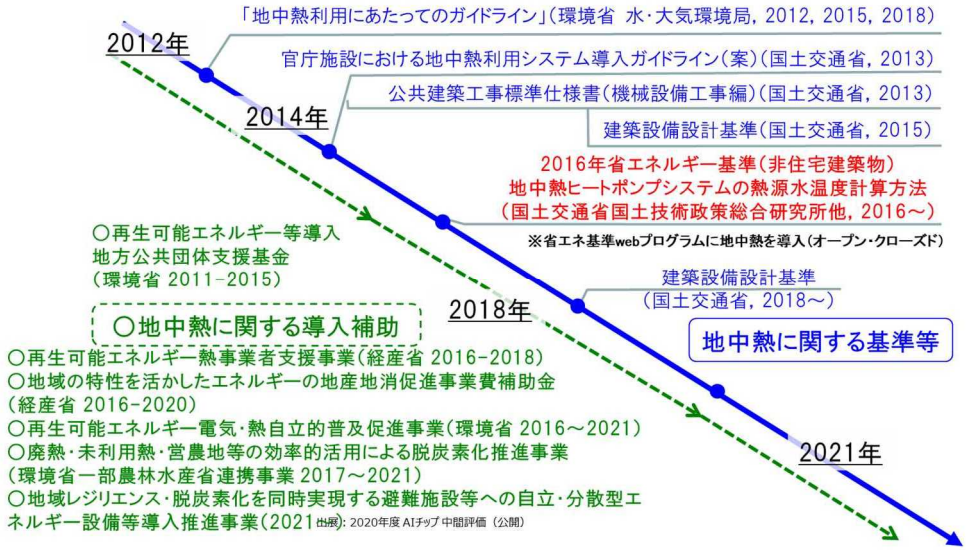
（１）研究開発と導入補助の関係



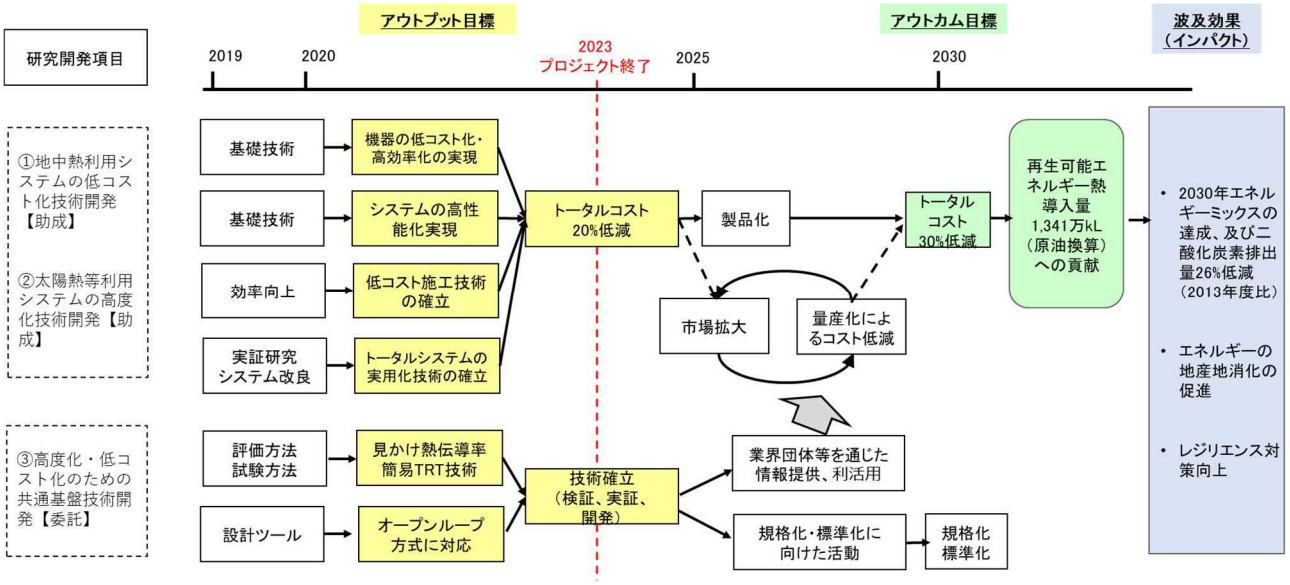
（２）NEDO プロジェクト間の関係



（３）地中熱における国内の基準、導入補助等の関係



1.2 アウトカム達成までの道筋



1.3 知的財産・標準化戦略

・オープン・クローズ戦略

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と研究開発項目②太陽熱等利用システムの高度化技術開発においては、再エネ熱利用システムの製品化に直結する開発成果は特許取得により権利化を図る。なお、実証中心であり、各実施者に応じてオープン及びクローズ戦略を選択する。

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においては、研究開発成果は広く裨益する内容であり、オープン領域。開発成果は、業界団体を通じた情報提供など、事業後もアクセス可能な状況を確保する。

実施者間での知的財産の取扱い等（事業終了後の権利・義務、体制変更への対応、研究データの利用許諾、、技術情報の流出防止）は、「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従って、コンソーシアム毎に知財運営員会を設置し、NEDO 及び事業者間で協議の上、決定する。

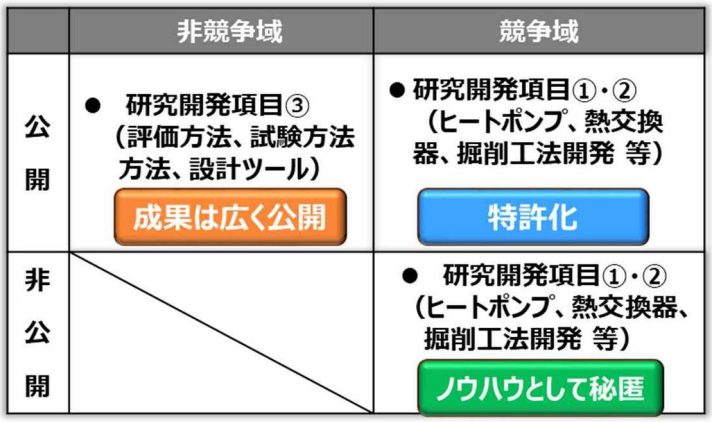


図 1.3-1　オープン・クローズ戦略の考え方

・知的財産管理

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。

2. 目標及び達成状況

2.1 アウトカム目標及び達成見込み

・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

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ど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。

【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。

・アウトカム目標の設定及び根拠

【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。

【設定及び根拠】

一般消費者が許容可能な投資回収年数に関するアンケート結果※によると、「投資回収年数が 8 年以内であれば地中熱 HP は空調機器の選択肢候補になる」の回答が 6 割。この結果を基づき、2030 年度までに同 30%以上低減（投資回収年数 8 年以下）の目標を設定した。

※注）地中熱に関する許容可能な投資回収年数に対するアンケート結果

（出典：平成 26 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2017））

・アウトカム目標の達成見込み

アウトカム目標の達成見込みについて表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1　アウトカム目標達成見込み

観点	達成状況	課題
対象分野における 2030 年の見通し	比較的小規模需要先を対象とした分野では、地中熱及び太陽熱等の利用による低コスト化、高度化システムの実証事業を通じ、トータルコスト 20%以上削減を達成。 今後、こうした事例や事業者が策定した行動計画の実行を通じ、民間主導の技術開発投資、量産効果の発揮による更なるコスト低減、投資回収年数の短縮の実現といった市場環境の好循環化が図られることで、トータルコスト 30%以上低減（投資回収年数 8 年以下）の実現が見込まれる。	今後の再エネ熱の効率的普及に向けては、地域特性を活かした熱の面的利用の仕組みづくりが重要であり、更なるスケールメリットが得られる利用方法の実証、導入の事例が求められる（第 6 次エネルギー基本計画）。

・費用対効果

【考え方】長期エネルギー見通し（2015 年）での再エネ熱導入量試算から、主要熱源の市場規模を推計

2030 年度までの再エネ熱導入量＝１,３４１万 kL（原油換算）＝520PJ

うち、太陽熱（55 万 kL）と地中熱（134 万 kL：全体の 1/10 と仮定）の導入量　＝　１８９万 kL に関する市場規模を投資効果として、以下に試算した。

■投資効果相当：　市場規模予測(2030 年)　　2,680 億円/年

<内訳>　太陽熱：227 億円、地中熱：2,453 億円

※都道府県別の熱需要（冷房・暖房・給湯別、住宅・業務用建物別）から将来人口推移、住宅断熱性能等を想定し、試算。

■投入額相当：　　プロジェクト費用の総額　　15 億円

2.2 アウトプット目標及び達成状況

・前身事業との関連性

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。

前身事業は、技術課題解決、地域特性データと活用シミュレーションの整備、導入コストや運用コストの低減など、広範囲な取組を行い、社会に公開する事により普及に繋がり、エネルギーセキュリティ向上や地球温暖化抑制に寄与した。以前は、熱利用に対する補助金や支援は限定的で事業者の熟練度・技術開発力の向上を図る事が難しかったが、本事業を通じて向上に貢献できた。

一方で、更なる技術開発が必要で、実用化に向けて十分な道筋が見出せなかった実施テーマもあった。類似の課題解決に取り組んだ事業者間の情報交換、技術交流を促し、成果を統合・整備し、広く展開すべきである。

低品位熱源の有効利用はイニシャルコストが高く、コスト低減が必須である。従来の汎用技術に対してコスト比較できる目標基準や情報があると、課題が浮き彫りになり実用化・事業化に向けた具体的な計画を立てやすくなると共に、利用者にとって導入検討しやすくなる。

また、普及・波及のためには、建物、地域等の適用先における要件やコスト低減のシナリオを明確にし、実フィールド利用に基づくシステム性能や導入効果の検証が必要である。また、他の適切な技術の選択や、住宅・建物のエネルギーマネジメントシステムとの連携などの高度化も重要と考えられる。将来のマーケットで生き残るために、削減可能コストや市場規模、派生的効果を含めた経済的効果をより慎重に予め評価し、継続的に事業展開する事が望まれる。

・本事業における研究開発項目の位置付け

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り組み（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。

(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

(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

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

(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

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。

(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)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

【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。

(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

(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

・アウトプット目標の設定及び根拠

表 2.2-1 にアウトプット目標の設定及び根拠を示す。

表 2.2-1　アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発項目	最終目標（2024 年 3 月）	根拠
①地中熱利用システムの低コスト化技術開発【助成】 ②太陽熱等利用システムの高度化技術開発【助成】	・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。	・一般消費者が許容可能な投資回収年数に関するアンケート結果によると、「投資回収年数が 8 年以内であれば地中熱 HP は空調機器の選択肢候補になる」の回答が 6 割。この結果を基づき、2030 年度までに同 30%以上低減（投資回収年数 8 年以下）の目標を設定した。 ・現在の地中熱ヒートポンプの導入量が非常に小さいことを踏まえると、今後は技術開発によるコスト低減に加え、量産効果や学習効果によるコスト低減の寄与も大きいと想定されることから、技術開発の目標としては、トータルコストで 20%程度の削減とするのが妥当である。 ・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関係する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、研究開発を推進するとともに、ＮＥＤＯ、業界団体、研究開発実施者とで連携し、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が必要であり、その一環として、テーマ毎に行動計画をまとめておくことが必要である。
③高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発【委託】	・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、有効性を地質水文環境	・地中熱利用の普及における課題としては、認知度が低く、導入検討のための情報が不足していること、専門家の不足などが挙げられるとともに、地中熱利用ポテンシャル評価のための地

	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。	質や地下水流れ、気候といった情報の整理、エネルギー消費やランニングメリットに関する定量的な評価等も課題である。 ・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。 ・そのため、地中熱利用システムの設計フェーズにおいて、設計条件の最適化、多様性を考慮した設計ツール開発、手法の規格化等の課題解決のため、評価技術や試験方法の技術開発による規格化等が必要である。 ・従来よりも簡易な TRT 手法やＴＲＴ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。

・アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	成果（実績） （2024 年３月）	達成度（見込み※）	達成の根拠／解決方針
（１）地中熱利用システムの低コスト化技術開発【助成】 （２）太陽熱等利用システムの高度化技術開発【助成】	（１）４テーマ 1-１）概ね〇、一部△× 1-2）すべて〇 1-3）すべて◎ 1-4）概ね〇、一部◎ （２）２テーマ 2-1）概ね〇、一部◎ 2-2）すべて〇	総合判定 〇 2024 年３月までに達成	・各テーマで設定した目標を概ね達成と評価 ・事業化の見通し、行動計画については、実績報告書にその内容を盛り込む
（３）高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発【委託】	（３）２テーマ 3-1）すべて〇 3-2）すべて〇	総合判定 〇 2024 年３月までに達成	・各テーマで設定した目標をそれぞれ達成と評価

◎　大きく上回って達成、〇達成、△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

研究開発項目	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	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	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 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	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	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	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

1-2)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	成果	達成状況
①地中熱ヒートポンプの開発	プロトタイプの HPU 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%	○
②地中熱交換器の開発	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%	○
③掘削ビット・工法の確立	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%	○

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。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%	○
⑤本設鋼管杭利用工法の開発	「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。	○
⑥鋼管埋設型施工方法の改良・開発	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。	○
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。	○
⑧直膨式専用地中熱ポテンシャルマップの構築	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。	○

◎　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	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	・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

1-4)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	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	・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	・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	・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	・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

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	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	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	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ＧＷＰ冷媒の採用。
③実建物における運転性能の実態検証	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	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

2-2)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	成果	達成状況
(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	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。	○
	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	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	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

研究開発項目	成果	達成状況
(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	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、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	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	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

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	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	・水文地質学的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 0.5W/(m･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 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

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	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	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。	○
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

・特許出願及び論文発表

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2.2-2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2.2-3に示す。

表 2.2-2　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	学会等での発表・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	6 件	1 件
2020FY	2 件	0 件	0 件	3 件	1 件	23 件	13 件	4 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	33 件	13 件	4 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	7 件	0 件	28 件	4 件	7 件
2023FY	2 件	0 件	0 件	8 件	2 件	30 件	5 件	9 件
計	4 件	0 件	0 件	19 件	3 件	117 件	41 件	25 件

（※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約）　　2024 年 3 月 31 日現在

表 2.2-3　NEDO 自身による本事業に関する事業全体の特許、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	学会等での発表・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	6 件	3 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	7 件	1 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	0 件	0 件
計	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	31 件	8 件	0 件

（※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約）　　2024 年 3 月 31 日現在

3. マネジメント

3.1 実施体制

・NEDO が実施する意義

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ー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り、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り、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り、NEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

3.2 受益者負担の考え方

（１）助成

事業化リスクが低く、実施事業者自身の将来の裨益が非実施者に比して大きいと見込まれるため、1/2負担の補助事業とする。

（２）委託

標準化に必要なデータ等を取得し中立的立場から分析・評価するものや、民間企業単独では整備できないデータベース等を構築する共通基盤的な要素であるため、委託事業とする。

3.3 研究開発計画

研究開発項目		2019	2020	2021	2022	2023	2024
１．地中熱利用システムの低コスト化技術開発【類型：標準】		設計、試作	実証、改良		実用化開発		
			普及方策（NEDO、業界団体、実施者等）				
２．太陽熱等利用システムの高度化技術開発【類型：標準】		要素技術開発、設計、試作		実証、改良		実用化開発	
３．高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発【類型：基礎・基盤】			設計、試作		検証、改良		技術確立、検証
評価時期				中間評価			終了時評価
予算（億円）助成率1/2	項目１、２：助成	（１．４） ０．７	（５．０） ２．５	（４．２） ２．１	（１．７） ０．８	（０．７） ０．４	（１３．０） ６．４
	項目３：委託	－	１．７	２．１	２．２	１．２	７．２

※実績額は前年度からの繰越を含む。
助成事業：括弧内は事業総額

4. 目標及び達成状況の詳細

4.1 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

4.1.1　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

・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、CO_2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（総合エネルギー統計より）。家庭用給湯では ZEH の普及拡大もあって家庭用自然冷媒（CO_2）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（CO_2）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 CO_2 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 CO_2 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（CO_2）ヒートポンプ給湯機の普及阻害要因としては、冷媒に CO_2 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るため製品価格が高価となっている。また、空気熱源自然冷媒（CO_2）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（CO_2）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には給湯への熱利用拡大が必要であり、地中熱業務用自然冷媒（CO_2）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。

・研究開発の概要

研究開発目標を達成するために、以下の 6 個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ーの基に集約する必要がある。そのために、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（CO_2）ヒートポンプ給湯機の開発

地中熱 CO_2 ヒートポンプ給湯機を空気熱源 CO_2 ヒートポンプ給湯機をベースに開発する。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い、量産用地中熱 CO_2 ヒートポンプ給湯機を開発する。

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。様々なサイズの同軸型地中熱交換器を検討し、フィールドに設置して地中熱交換器入口温度一定の試験を行い、熱交換能力を比較する。

⑤新規 TRT の開発

本開発では 2 種類の TRT について研究開発を行う。研究開発目的は、従来の TRT にかかる時間を削減するためである。

⑤-A 地質調査の後の TRT

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。

⑤-B 掘削機設置のままの TRT

掘削途中で掘削機を夜に設置した状態のまま現場を離れる際に、TRT まで実施しようというコンセプトに基づいて行う TRT を開発する。研究開発では掘削直後のロッド内の温度変化の計測や熱損失の研究を行い、実証試験を行っていく。

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、その後に、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（CO_2）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（CO_2）ヒートポンプ給湯機、空調用地中熱ヒートポンプチラー、同軸型地中熱交換器、制御ユニットなどで構成され、空調用熱負荷と給湯用熱負荷バランスをシミュレーションすることで地中熱交換井を削減する。

表 4.1.1-1 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目途を付ける。	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目途を付ける。	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ニシャルコストが 15%削減する目途を付ける。	空気熱源 CO_2 ヒートポンプ給湯機に比べてイニシャルコストが 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ようにする目途を付ける。	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%削減する目途を付ける。	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、削減されると考えらえるため。

・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 2024 年 3 月 31 日までで、主な事業スケジュールの概要を図 4.1.1-1 に示す。

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度				2022年度				2023年度			
	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													
②掘削機周辺機器の開発																				
											検討		製作・試験			2022年度開発完了				
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・実証試験							

図 4.1-1　研究開発スケジュール

・成果の概要

【成果概要】

「①掘削機の開発」は 2021 年度に開発終了し、「②掘削機周辺機器の開発」は 2022 年度にロッドチェンジャー、地中熱交換器挿入機の開発が終了し、一人施工が出来るかを試験した。結果として、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。

「③地中熱自然冷媒(CO_2)ヒートポンプ給湯機の開発」は、構成部品の設計・製作・組み立てと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。

「④地中熱交換器の開発」に関しては、複数の同軸型地中熱交換器を用いた入口温度一定の熱応答試験を行い、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。

「⑤新規 TRT の開発」の内、「⑤-A 地質調査の後の TRT」は、地質調査機の後の掘削穴を用いて TRT を行う方法であり、地中熱交換器(二重管)を挿入する方法で試験と解析方法を開発した。電気ヒーター付きケーブルを用いた方法では計測するための治具を開発した。

一方、「⑤-B 掘削機設置のままの TRT」は、複数の方法を検討し、掘削ロッドの中に水がある条件下であれば試験可能であると可能性を示した。

「⑥最適な地中熱システムの開発」の内、「⑥-A　地中熱交換井離隔距離の検討」に関しては移動線源理論に基づく熱干渉評価モデルを作成し、同モデルによる熱干渉および地下水流れの影響を評価することが可能であることを確認した。ケーススタディによる試算結果からは、すべての地域に

おいて「離隔距離 3m、地下水流速 0.05 m/day 以上」の条件であれば「離隔距離 4m、地下水流速無し」のケースよりも熱干渉率が低い値を示すことが明らかになった。なお本試算結果は、標準的な地盤環境と地温を想定した概略的な評価であることに留意されたい。

「⑥最適な地中熱システムの開発」の内、「⑥-B　最適な地中熱システムの開発」に関しては、2,000m² の老人保健施設へ導入する最適な地中熱システムを開発するために、2,000m² の老人保健施設の年間の空調負荷と給湯負荷を推定し、年間を通して放熱、採熱のバランスが取れるか、シミュレーションで佐賀、東京、北海道の 3 地域で検討し、システムとして運用するために何本の地中熱交換器の設置本数がいるか検討した。また、同じ地中熱交換器群を共通で冷暖房、給湯に使えるかを実証するために、既存の空調用の地中熱ヒートポンプシステムに地中熱自然冷媒(CO_2)ヒートポンプ給湯機を設置し、様々な条件下での実証試験を行った。結果として、同じ地中熱交換器群を冷暖房、給湯に用いてもシステムとしての稼働には問題が無いと考えられる可能性が得られた。

【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ーの基に集約するための開発を行った。具体的には、操作用のリモコン、掘削用のリモコン、掘削状況表示パネル、スマートグラス、3 連クランプなどを開発した。これらを用いて、掘削時に一人で施工できる可能性を示した。



移動時の様子(左)、掘削時の様子(右)



施工モニター(左)、3 連クランプ(右)

②掘削機周辺機器の開発

ロッドチェンジャーおよびロッドストッカーを開発し、二重管方式でのアウターロッド、インナーロッドの継ぎ足し、インナーロッドおよびアウターロッドの抜管が一人で行える可能性を示した。

地中熱交換器挿入機は、④で開発した同軸型地中熱交換器を 3 本同時に一人で設置するために開発した方法である。本方法を開発することにより、写真に示すように作業者がスイッチを使って一人で地中熱交換器を設置することが出来るようになった。





ロッドチェンジャーおよびロッドストッカー(左)、
地中熱交換器挿入機を用いた地中熱交換器挿入の様子(右)

③地中熱自然冷媒(CO_2)ヒートポンプ給湯機の開発

最終仕様機を見据えた再設計した熱交換器や各種部材も再設計を行い、最終量産用試験機を開発製作し、その試験機で性能検査試験と品質検査試験を実施した。

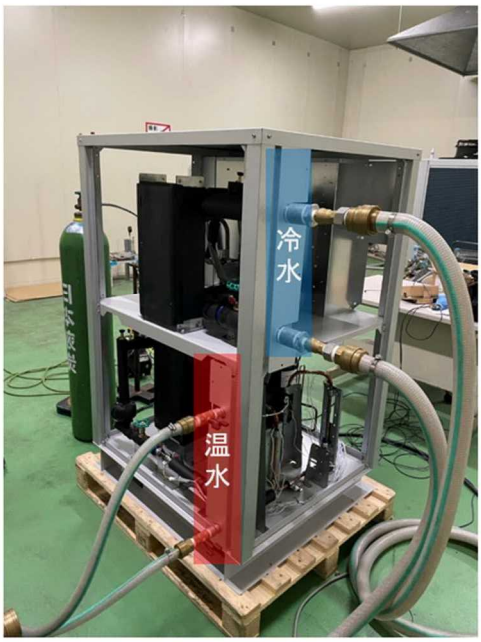
80℃沸き上げ時で年間加熱効率は空気熱源エコキュート同等（年間加熱効率=3.6）を目標にした。水熱交換器材質を空気熱源エコキュートの銅製から高耐久の SUS316 を使用したが年間加熱効率は 3.3 を達成した。

65℃沸き上げ時では年間加熱効率 3.8 を達成した。

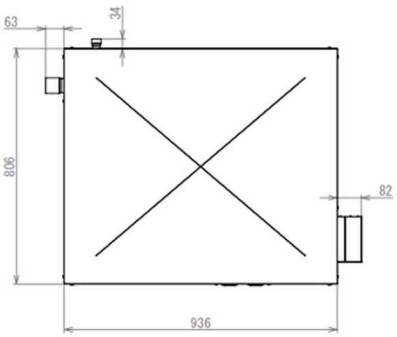
ヒートポンプ機器の外形寸法図、仕様書、能力試験結果、基本試験結果、着霜季能力試験結果を下記に示す。

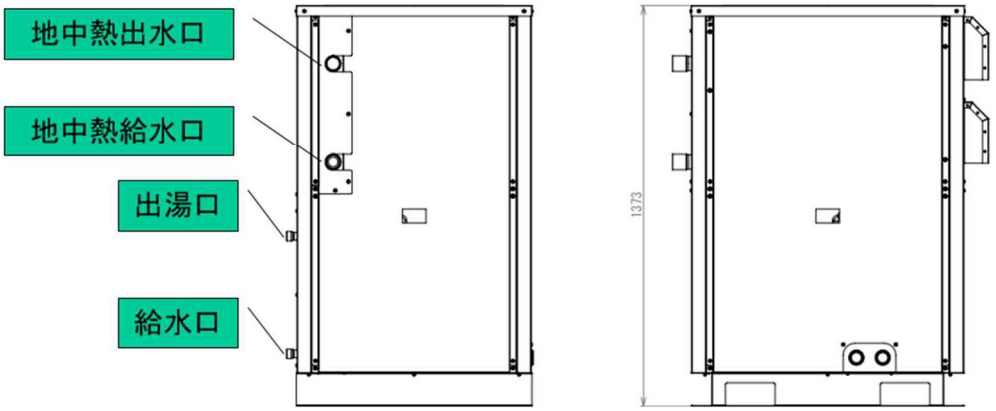
【試験機外観】





【寸法】





【仕様書】

保証設置環境			屋外
電源			3Φ200V（50/60Hz）
ヒートポンプ装置	圧縮機呼称出力		7.5kW
	冷却用熱交換器（蒸発器）		SUS316製銅ブレージングプレート熱交換器
	冷却用冷媒制御装置		電子膨張弁
	冷媒	種類	R744（CO2）　ODP:0　GWP:1（有資格者点検不要）
		封入量	3.7kg
	過負荷保護装置		自動復帰型（13.5±0.5MPa）
	設計圧力		高圧：14.0MPa　低圧：8.5MPa
	安全装置		過負荷保護、温度上昇保護、圧力保護、凍結保護
	加熱用熱交換器（ガス冷却器）		SUS316製銅ブレージングプレート熱交換器
	最大電流		35A
性能	65℃沸き上げ 加熱能力/冷却能力/消費電力	夏期	26.3kW / 18.5kW / 7.46kW
		中間期	29.1kW / 21.3kW / 7.56kW
		冬期	30.8kW /23.2kW / 7.55kW
		着霜期	31.2kW / 23.5kW / 7.62kW
	80℃沸き上げ 加熱能力/冷却能力/消費電力	夏期	27.2kW / 18.6kW / 8.59kW
		中間期	29.3kW / 20.6kW / 8.70kW
		冬期	30.6kW / 22.1kW / 8.73kW
		着霜期	31.4kW / 22.7W / 8.93kW
	年間加熱効率　一般地/寒冷地		3.8 / 3.9
	運転保証外気温度		-15℃～40℃
	騒音		73dB
外形寸法	高さ		1373㎜
	幅		936㎜＋63㎜(配管接続長さ)＋82㎜(ダクト長さ)
	奥行		806㎜＋34㎜(配管接続長さ)
乾燥質量（運転質量）			320kg（340kg）
配管口径			加熱側：Rc3/4（20A配管）冷却側：Rc1 1/4（32A配管）
水側最高使用圧力			0.5MPa
ケーシング			ガルバリウム鋼板
法定冷凍能力			2.4t（届出不要）

【性能試験結果】

JRA試験条件のヒートポンプの性能試験結果

出湯温度［℃］	80				65			
熱源水温度［℃］	15				15			
条件	着霜期	冬期	中間期	夏期	着霜期	冬期	中間期	夏期
給水温度［℃］	5	9	17	24	5	9	17	24
加熱能力AVG(G)［kW］	31.4	30.6	29.3	27.2	31.2	30.8	29.1	26.3
冷却能力AVG(G)［kW］	22.7	22.1	20.6	18.6	23.5	23.2	21.3	18.5
消費電力AVG(G)［kW］	8.93	8.73	8.70	8.59	7.62	7.55	7.56	7.46
加熱COP AVG(G)	3.5	3.5	3.4	3.2	4.1	4.1	3.8	3.5
日数(一般地)	26	92	113	134	26	92	113	134
年間加熱効率(一般地)	3.3				3.8			
日数(寒冷地)	61	112	59	133	61	112	59	133
年間加熱効率(寒冷地)	3.3				3.9			
EV過熱度AVG［℃］	8.1	4.7	0.9	-0.3	7.9	5.1	0.5	-0.7
高圧AVG［MPa］	11.3	11.1	11.1	11.1	9.7	9.7	9.8	9.7
低圧AVG［MPa］	3.9	4.0	4.2	4.3	3.8	3.9	4.1	4.3
高低圧差AVG［MPa］	7.4	7.1	6.9	6.7	5.9	5.8	5.6	5.5
GC出口温度AVG［℃］	11.1	17.0	26.2	33.8	8.7	14.1	23.7	32.8
蒸発温度AVG［℃］	5.5	6.7	8.9	10.1	4.7	6.3	8.4	10.3

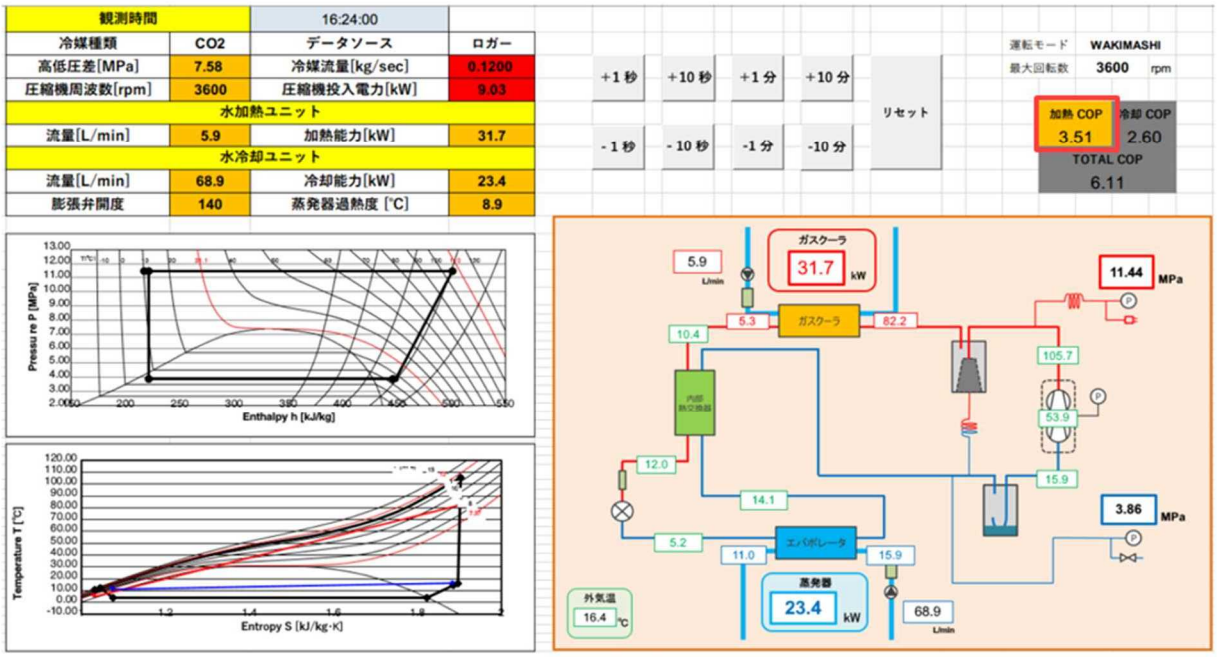
※採熱用循環ポンプの消費電力は除く。

【基本試験項目結果】

番号	項目	進捗	評価方法
1	冷媒充填量検討試験	完了	通常運転範囲内で仕様を満たす冷媒充填量に調整を行う
2	ストレイン概略確認試験	完了	試験時に危険な状態にならないようストレイン値の全体傾向を把握する
3	プログラムデバッグ	完了	基本制御が仕様通りの動きになるか確認する
4	各条件運転安定性試験	完了	各条件において冷凍リイクルに異常がなく安定的に運転、停止することを確認する
5	運転保証範囲確認試験	完了	仕様範囲四隅条件で起動、継続運転ができるか確認する
6	オイル戻り試験	完了	運転中、圧縮機油面挙動に異常がないことを確認する
7	ストレイン基準試験	完了	ストレイン値が最も大きくなる条件で基準以下か確認する
8	ストレイン耐久試験	完了	疲労限度に達するまで運転(10^7回振動)を行い、破壊しないことを確認する
9	性能試験（水）	完了	冷却側熱媒に水を使用した場合の性能を測定する
10	制御盤内温度試験	完了	高温環境条件で運転を行い、内部が部品耐熱温度以下であることを確認する
11	騒音試験	完了	最大回転数での騒音を測定する
12	異常音試験	完了	使用範囲内条件で異常音が発生しないか確認する
13	機外揚程測定試験	完了	納入仕様書記載のため、機外揚程を測定する

【着霜期能力試験結果】

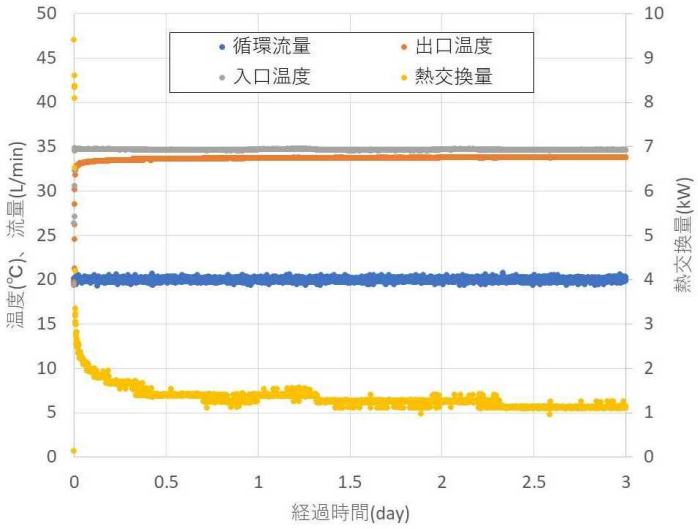
・冷媒充填量3.7kg
・目標出湯温度80℃運転



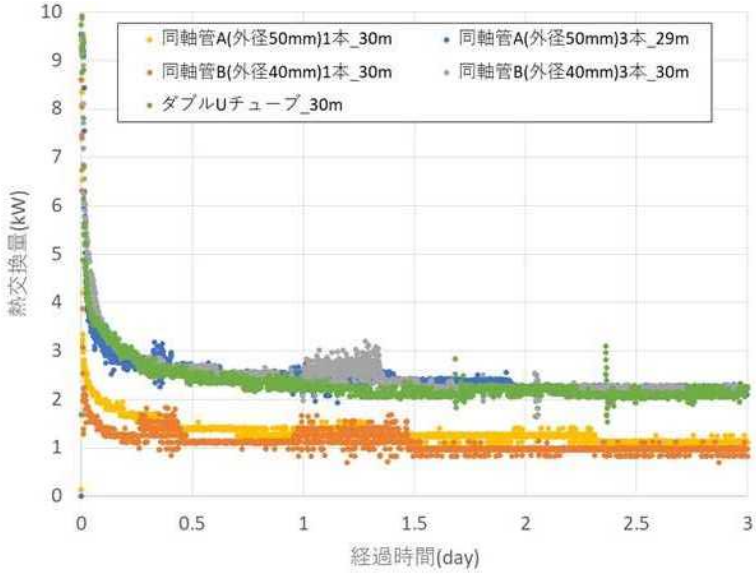
④地中熱交換器の開発

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。結果として、開発した同軸型地中熱交換器は一つの坑井内に 3 本まで設置できると考えられ、YBM 敷地内にて設置し確認した。

複数の同軸型地中熱交換器を設置した場合と一般的なダブル U チューブとの性能比較を行うために、地中熱交換器入口温度一定の試験が出来る TRT 装置を製作し、地中熱交換器入口温度一定試験を行った。下図(左)は、試験結果であり、地中熱交換器入口温度を 35℃と一定として試験を行っている。また、下図(右)は、5 パターンの地中熱交換器試験結果について熱交換量を比較した結果であり、下表は 5 パターンの試験の平均熱交換量比較表である。ダブル U チューブの熱応答試験結果と比較すると、同軸管 A を 3 本設置した場合で 1.09 倍、同軸管 B を 3 本設置した場合で 1.07 倍の熱交換量能力を得られた。



同軸管 A(外径 50mm)1 本_30m の実験結果



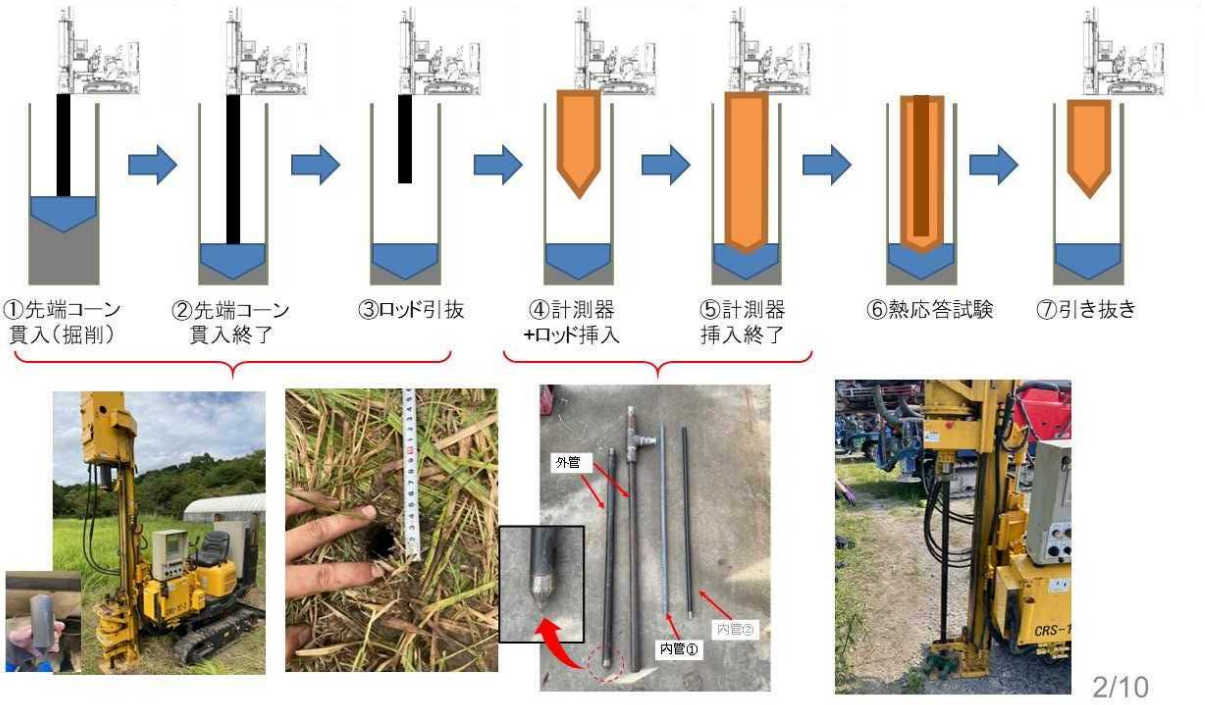
5 パターンの試験の熱交換量の比較結果

5 パターンの試験の平均熱交換量比較

	平均熱交換量 (kW)	平均熱交換量 (W/m)	ダブルUチューブの結果を1とした場合との倍率比較
同軸管A(外径50mm)1本_30m	1.34	44.7	0.57
同軸管A(外径50mm)3本_29m	2.48	85.4	1.09
同軸管B(外径40mm)1本_30m	1.12	37.2	0.48
同軸管B(外径40mm)3本_30m	2.50	83.5	1.07
ダブルUチューブ_30m	2.35	78.2	1

⑤新規 TRT の開発

⑤-A 地質調査の後の TRT の内、地中熱交換器を挿入する方法については設置方法、熱応答試験方法、解析方法について開発を行った。設置方法については、動的コーン貫入試験を行った後にロッドを変更して地中熱交換器を押すことによって挿入することが可能となった。また、回収についてもコーン貫入試験装置を用いることによりロッドの回収を行うことが出来た。



熱応答試験については、通常の TRT 装置を用いた試験が可能であり、試験解析にいても下表に示す通り、解析方法で一般的なヒストリーマッチング法を用いて解析した結果、近傍の U チューブの解析結果と近い熱伝導率を示した。

熱応答試験解析結果

	深度(m)	硅砂	コーン径(掘削径)(mm)	試験開始時期(地中熱交換器設置後	ヒストリーマッチング法の結果(W/(m·K))	近くの試験解析結果	推定地層
岸山	10	有り	80	3週間後	1.73	1.28～1.78(Uチューブの結果より)	盛土、風化凝灰岩
原	14	有り	45	2週間後	1.74	1.54～1.73(30mのUチューブの結果)	盛土、真砂土
佐賀大学	22.5	有り	45	2週間後	1.16	1.27(30mのUチューブの結果)	粘土

⑤-A 地質調査の後の TRT の内、電気ヒーター付きケーブルを用いた方法では、細線法に　よる実験室での熱伝導率測定が可能となり、実用化に関する目途を立てた。

⑤-B 掘削機設置のままの TRT に関しては、掘削機を設置した状態で複数回、TRT を実施したが逸水により熱応答試験解析が難解になり、根本的な解決が難しく実現困難と分かった。ただし、掘削直後に掘削ロッドの中に水がある条件下であれば通常の熱応答試験は可能であると考えられ、また短時間のデータを用いた試験データでも解析できる可能性を示した。



掘削機を設置した状態での TRT

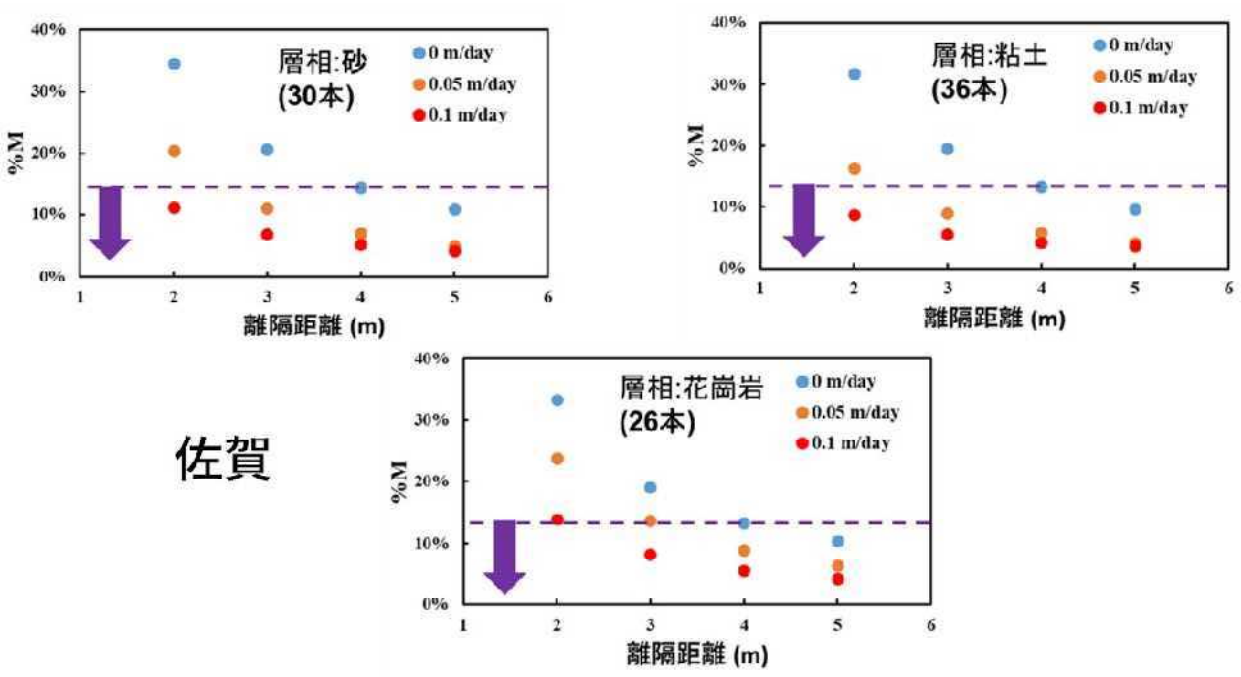
⑥最適な地中熱システムの開発

⑥-A 地中熱交換井離隔距離の検討に関しては、地下との熱交換量に応じた離隔距離を検討した。最初に地下の温度変化の許容範囲を文献などで調査し、その後に、佐賀大学内に設置している地中熱交換井の近くに調査井を掘削し、地下温度を計測した。その結果を基に、数値解析を実施しモデルを検証した。その検証済みのモデルを基に、熱負荷、地質に応じた地中熱交換井の離隔距離を検討した。

下図は、「佐賀」の熱負荷の条件での各地層条件、離隔距離の場合の平均絶対パーセント誤差を表

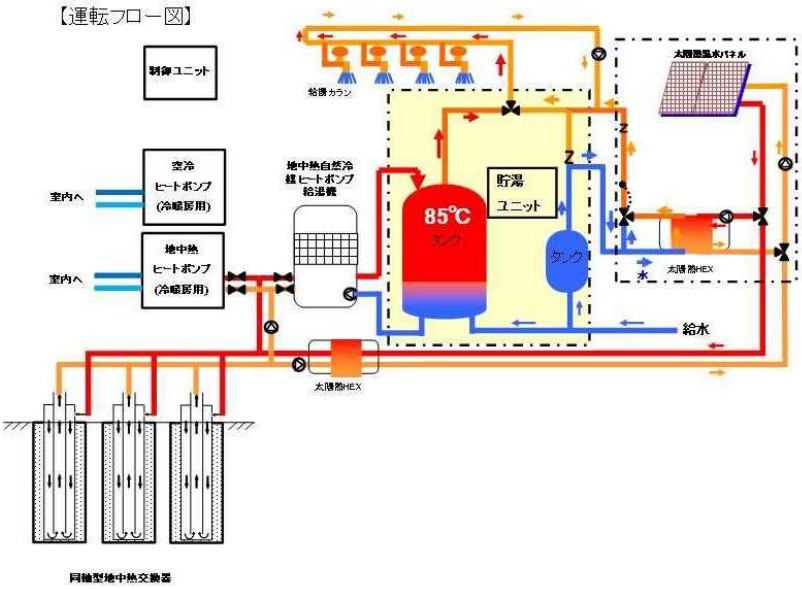
したものである。地中熱システムにおける「地下水流れが無い場所に設置した離隔距離４ｍのGSHPシステム」を基準ケースとして、熱干渉の影響の程度を検討すると、図中の紫の点線より下のケースにおいては、近く距離を短縮できる可能性があると考えられる。その条件としては、「離隔距離3m、地下水流速0.05m/day以上」であり、他に検討した「東京」、「札幌」の条件下においても同様の結果を示している。

ただし、これらの計算結果はあくまで仮想シナリオ下のシミュレーションに基づくものであり、実際に「粘土」や亀裂のない「花崗岩」で大きな地下水流速が発生するとは考えにくい。本来であれば、地下の熱移動に関係する地層の透水係数や比貯留係数、飽和度等のパラメータを設定したうえで、地下水流速を評価すべきであり、本検討はあくまで可能性を示したに過ぎないことに留意が必要である。



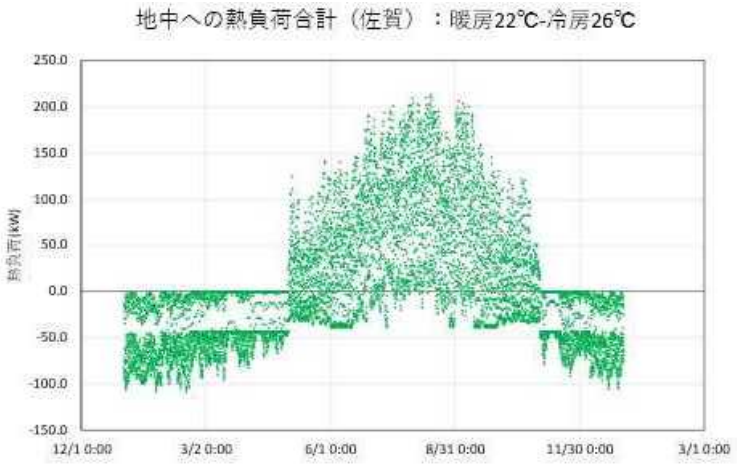
佐賀のケースの熱干渉による影響の定量化：平均絶対パーセント誤差

⑥-B 最適な地中熱システムの開発は、下図に示すように地中熱を利用した冷暖房と給湯の両方を同じ地中熱交換井群を用いて、掘削本数を減らすことでコストダウンするというコンセプトで行った。本システムは、同じ地中熱交換井で空調、給湯が行えるかを実証的に確認する必要があり、また、色々な地域で冷暖房負荷と給湯負荷がどのようになるかを検討し、その負荷を満たす地中熱交換井を検討する必要がある。



最適な地中熱システムの設置概要

2,000m² の老人保健施設について、空調負荷について NEW-HASP を用いて、給湯負荷については人員あたりの給湯使用量を基に札幌、東京、佐賀と 3 カ所の気象条件で推定した。また、空調負荷と給湯負荷について、それぞれ足し合わせて合成熱負荷とし、その合成熱負荷を基に地中熱のシミュレーションソフトである Ground Club でシミュレーションした結果、佐賀では下図に示すように年間の温熱と冷熱がバランスし、正味の負荷率で計算したときに大幅に熱負荷の偏りが減少する結果となった。また、冷房負荷過多な温暖地域では地中熱ヒートポンプ空調機と地中熱ヒートポンプ給湯機を同時に導入したほうが、各々や単独で導入の場合よりも、必要な掘削井戸本数が削減することが示された。また、熱負荷が年間を通じてバランスするため、熱供給過多に対する太陽熱温水パネル等による補完が不要であるという結果が示された。



佐賀での老人保健施設での地下への想定熱負荷

同じ地中熱交換井で空調、給湯が行えるかを実証的に確認するために、ワイビーエム岸山工場の既存の地中熱空調システムに、本事業で開発した地中熱 CO_2 ヒートポンプ給湯機を接続し、実証試験を行い、地中熱の冷暖房と給湯が同時に運転できるかを検証した。

実証試験では以下 5 つの条件を基に、夏季、冬季、中間期の実験を行った。

①地中熱 CO_2 ヒートポンプ給湯機の運転動作を想定した『昼間に空調を行い、夜間にヒートポンプ給湯機で蓄熱する』試験や追い炊きを想定した『空調機と給湯機を同時に運転する』試験

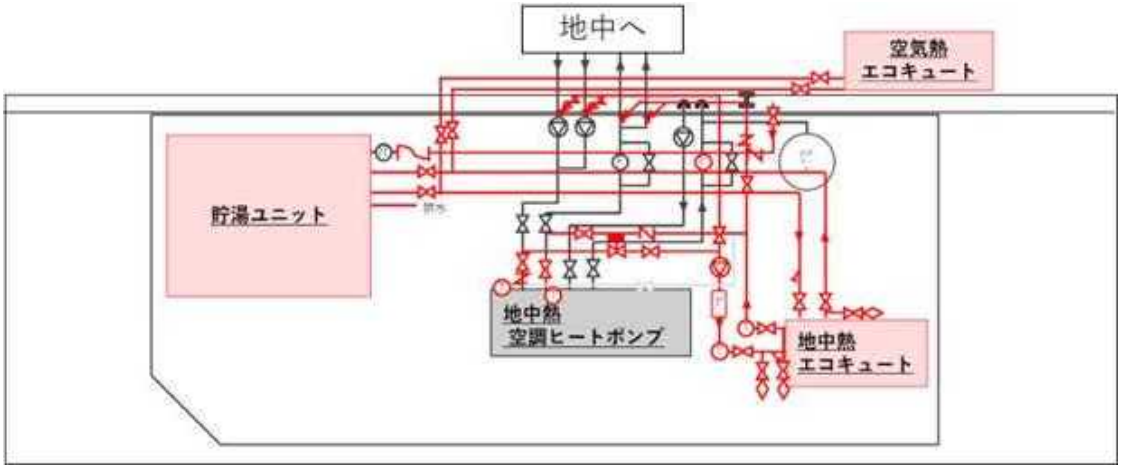
②地中熱ヒートポンプ空調機と地中熱 CO_2 ヒートポンプ給湯機を同時に運転させ、地中熱源水に対し給湯用ヒートポンプを直列や並列に接続して、地中温度変化やヒートポンプの能力や効率の測定試験

③使用する井戸の数を通常本数や半数で動作した試験

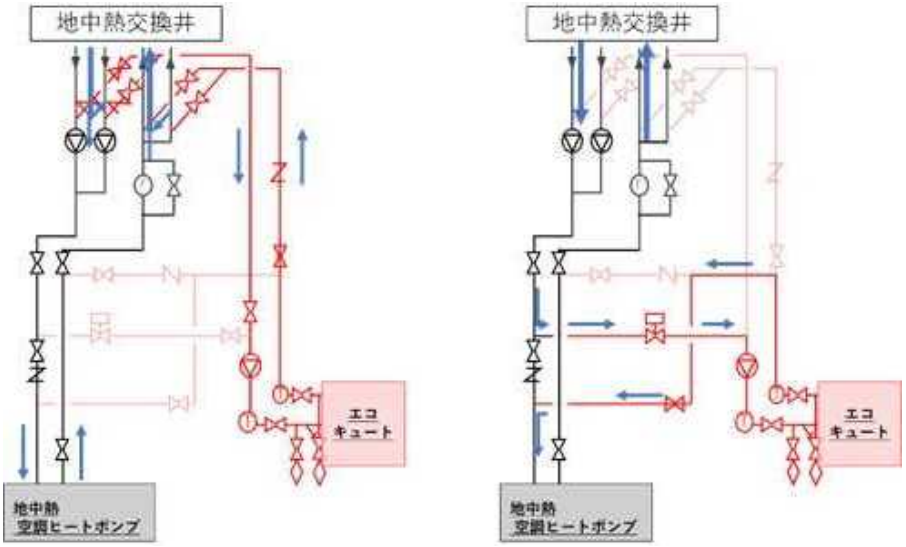
④地中熱 CO_2 ヒートポンプ給湯機の出湯温度を 80℃と 65℃に変更した試験

⑤空気熱源ヒートポンプ給湯機との能力や効率比較試験。

①～⑤の試験条件で実施した結果、元々空調用の地中熱システムに給湯用の地中熱 CO_2 ヒートポンプ給湯機を設置して運転しても、空調用の地中熱システムの運用には問題なく、給湯についても問題なく運転されていた。ただし、実証については、1.2 年しかしておらず、長期的な地下温度の推移や①～⑤の条件について、実用化に向けて足りないと想定される条件があるため、実証試験を継続していく予定である。



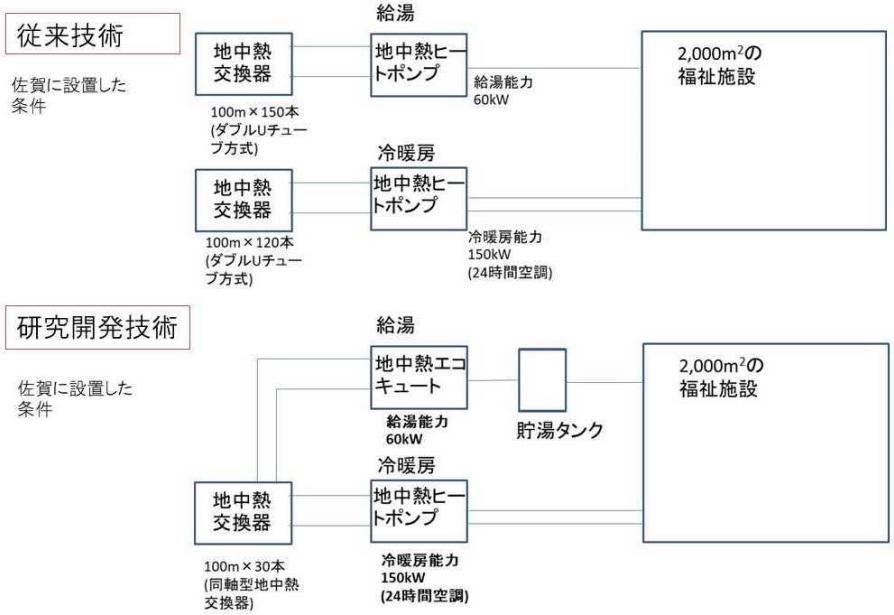
実証試験設備概要



並列配管での流路(左)、直列配管での流路(右)

従来の地中熱システムとのコスト比較を行った結果を以下に示す。下図に示すように従来技術とは、空調と給湯についてそれぞれ別の地中熱交換井で運用した場合であり、研究開発技術では同じ地中熱交換井群で運用しているシステムである。熱負荷は佐賀の条件下で検討しており、その結果に基づいて掘削本数を検討している。

開発技術では、地下への熱負荷が空調だけで使うより加熱、冷却のバランスが取れるため、空調の場合と比べても掘削本数が少なくなる。その結果、大きくコスト削減することとなる。また、一般的に普及している灯油ボイラーによる給湯、エアコンによる空調と比較すると 14 年経過してもトータルコストが小さい結果が得られた。



○地中熱エコキュートは、地下からの温度や流量に依存せず、動作すると仮定
○同軸型地中熱交換器は、ダブルUチューブと同等の性能があると仮定
○離隔距離は4m

<トータルコストの比較について>				(万円)
積み上げ対象		従来技術	研究開発技術	一般的に普及している機器<参考>
IC	掘削	41,649	3,374	0
	地中熱交換器	7,560	1,800	0
	地中熱用ヒートポンプ(空調)	2,460	2,460	0
	地中熱ヒートポンプ(給湯)	908	640	0
	貯湯タンクユニット	620	620	0
	配管	9,783	1,087	0
	調査(TRT)	200	200	0
	灯油ボイラーやガスボイラーなど(給湯器)<参考>			1,311
	エアコンなど(空調機器)<参考>			1,683
RC14年分		6,028	6,028	11,638
トータルコスト(IC+RC14年分)		69,208	16,209	14,632

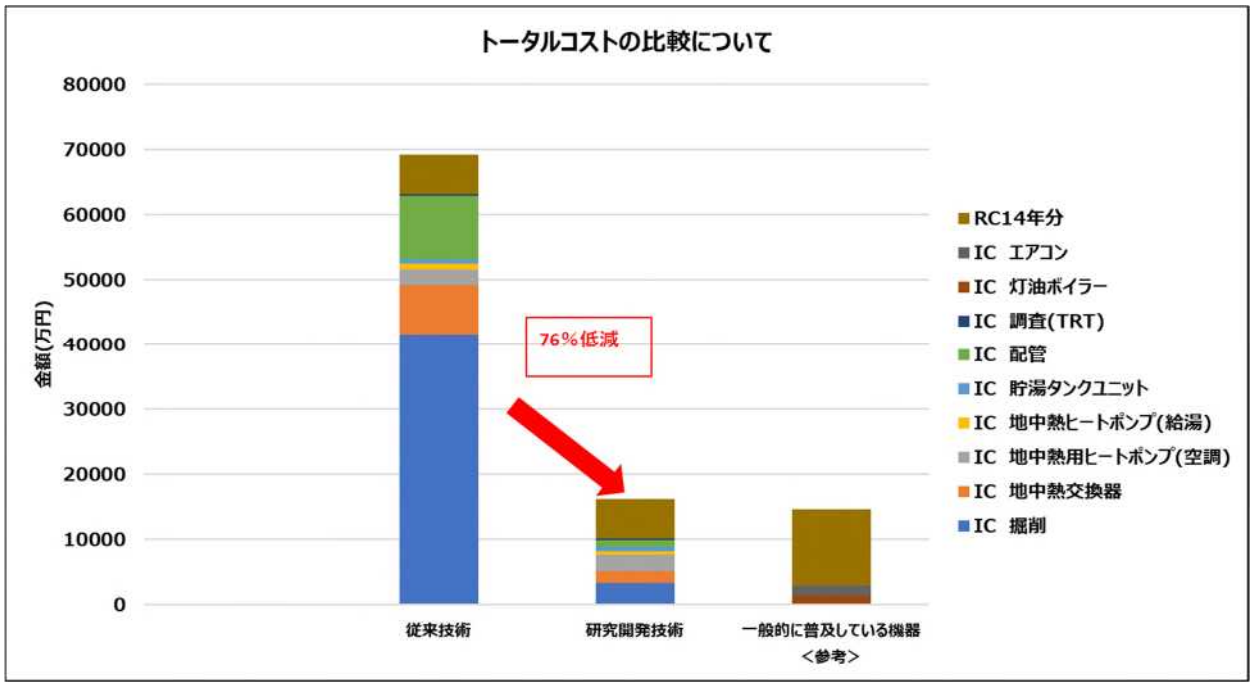


表 4.1.1-2　特許、論文、外部発表等【件数・内訳】

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
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
2023FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	3 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

表 4.1.1-3　成果の最終目標と達成度

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(2,000m²)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。

※達成状況［◎：大いに上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達］

・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。

・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）

①掘削機および②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ニシャ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））

③地中熱自然冷媒(CO_2)ヒートポンプ給湯機の開発は、ヒートポンプ給湯機単体とタンクユニットのシステムイニシャルコストの低減は可能である。また、空調用地中熱井と兼用することで井戸掘削本数低減が可能であり、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)

⑤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。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)

④地中熱交換器の開発、⑥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。

・事業化に向けた課題と今後の方針

⑥最適な地中熱システムの開発に関しては、施主、設計、施工の立場への本システムの周知、認知度が課題と考える。施主、設計、施工はそれぞれ別の業界に位置しているので、それぞれの業界紙への掲載、業界の勉強会の参加、学会等での発表、展示会への出展などを行う予定である。

④地中熱交換器の開発に関しては、ダブル U チューブより性能が良いが価格が高くなったので実用化を進めて行く予定はないが、もし、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。

⑤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があり、その手段として論文発表、技術書の作成を行っていく必要がある。

⑥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、研究成果を論文発表などで示していき、ある条件下においては離隔距離を変更した設計が問題ないと認められていき、地中熱ヒートポンプ施工管理マニュアルなどに掲載されていく必要がある。

・本技術開発を通して想定される波及効果

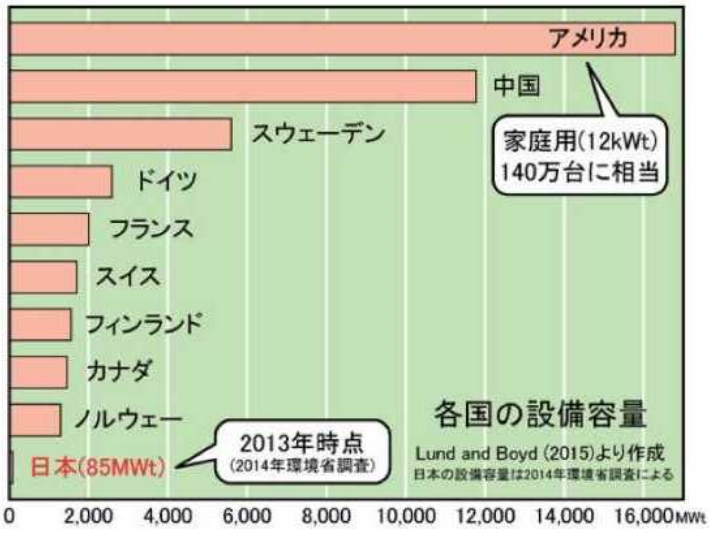
社会的効果としては、給湯付きの地中熱利用ヒートポンプシステムの導入コストが下がり夏場の廃熱を給湯に利用することにより、今までの地中熱利用より普及が進むと考えられる。

ワイビーエムとしては、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。

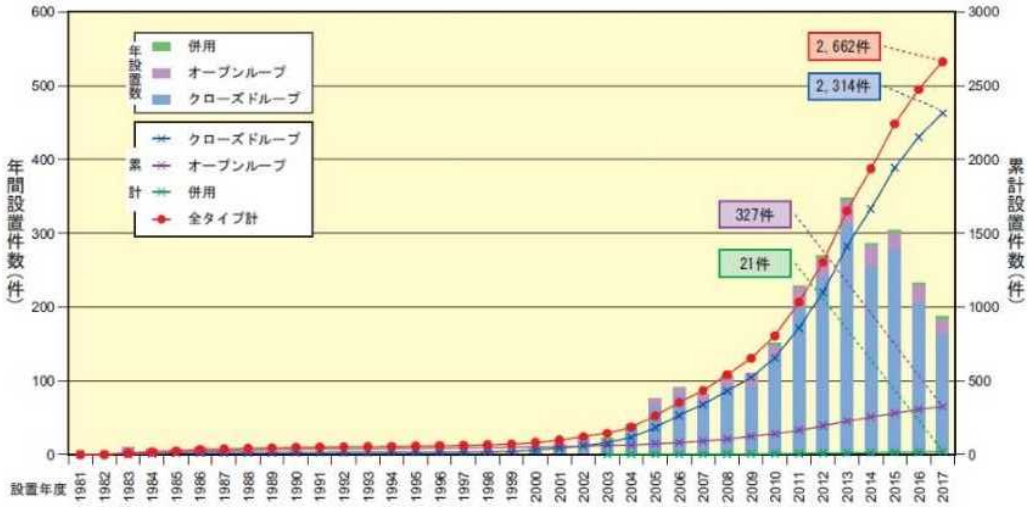
4.1.2　直接膨張式地中熱ヒートポンプシステムとその施工・設置に係るコスト削減技術の開発

・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 にも及ばす、人口当たりの普及率では、1/70 程度にとどまっている。



各国設備容量（2016 年 Lund AND Boyd）



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 CO_2 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証した。

本事業においては、直膨式システムのイニシャ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 CO_2 排出量削減を目指す。

・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鋼管は小口径でも済むため、挿入孔設置コストが少なくて済む。

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（2021 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ひいては地中熱（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・ボー、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・ボー、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中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。地中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）

直接膨張式地中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）

直接膨張式地中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中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）

鋼管埋設型の地中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、設計開発コードの作成を目指すが、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直膨式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）

地中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中熱情報として整理し地中熱ヒートポンプの出力から基準となる直膨式地中熱交換器の仕様を決められる設計手法を構築する。

表 4.1.2-1　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	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、

	削・設置費の 25%を低減する。	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。

・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 4.1.2-1 に示す。



図 4.1.2-1　研究開発スケジュール

・成果の概要

【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

プロトタイプの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桝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 4.1.2-2　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	学会等での発表・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	1 件	0 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	6 件	4 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

表 4.1.2-3　成果の最終目標と達成度

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。	プロトタイプの HPU 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%	○	
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%	○	
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%	○	
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%	○	
⑤本設鋼管杭利用工法の開	本設鋼管利用工法の開発を完了し、掘削・設	「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。	○	

発	置費 25%低減を達成する。	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。		
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。	○	
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。	○	
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。	○	

※達成状況［◎：大いに上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達］

・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縮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縮減（-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。

・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る。

・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。

・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はなく、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。

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

・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賄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。

・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 ㎡）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 ㎡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 4.1.3-1　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	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	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	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

置・調整 4)モニタリング 5)スケール防止機構有効性検証	集積 5)スケール防止機構有効性検証開始	ケール防止機構の確立	

・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2024年3月31日までで、主な事業スケジュールの概要を図4.1-3に示す。

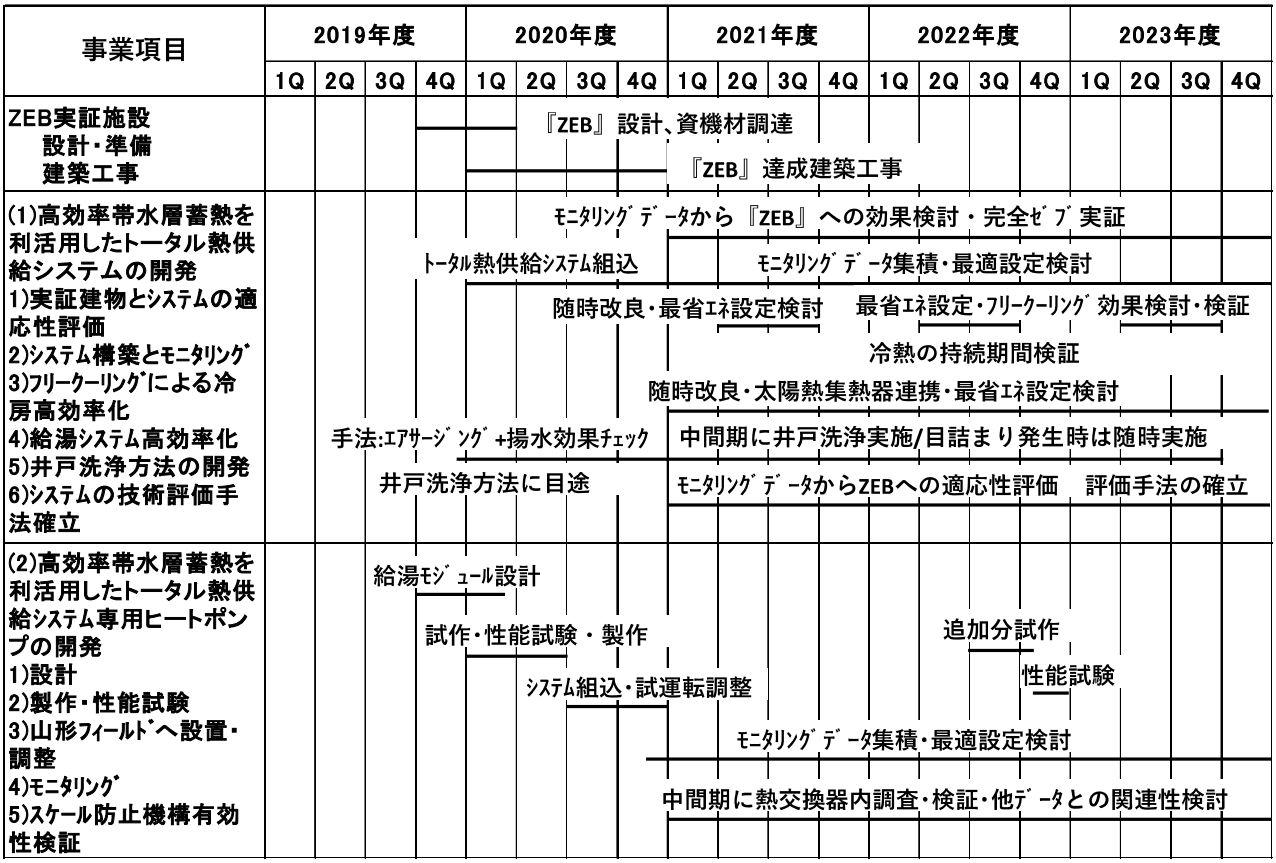


図 4.1.3-1　研究開発のスケジュール

・成果の概要

【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。観測データの集積期間は 2021 年 2 月 1 日から 2023 年 10 月 10 日までとし、その間に 3 シーズンずつの暖房稼働と冷房稼働を実施した。ZEB 実証施設の消費電力量と発電電力量を比較した結果、2 年 8 か月間継続して『ZEB』（完全ゼブ）を達成した。帯水層蓄熱効果を生かしたフリークーリングやヒートポンプの高効率稼働によって省エネルギーが実現しており、本システムの ZEB への親和性は極めて高いと評価された。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 10 分の 1 となる結果であった。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・給湯稼働を実施した結果、給湯単独運転時の COP＝4.6（目標値＝4.3）で目標達成できた。また、試作 2 号機による工場試験結果から、給湯単独運転時の COP＝4.5、冷水＋給湯運転時の総合 COP＝7.5（目標値＝7.1）で目標達成できた。電磁処理装置によるスケール防止機構の有効性検証と中長期的なスケール付着の予測手法に関しては、地下水と冷媒の算術平均温度差と地下水熱交換量の関係をグラフ化して、その傾き（KA 値）が得られる条件と傾きの値の変化について検討したが、2 年 8 か月間にわたる稼働観測期間には熱交換機内へのスケール付着はみられなかった。

【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 ㎡の鉄骨 2 階建で『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。このことから、ZEB 実証施設は、実際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稼働させて親和性や妥当性を評価するための適応性は充分にあると評価された。

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 年度の夏期稼働はフリークーリングで行ったが、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た。外付けブラインドは、その後の夏期稼働時にも太陽輻射熱を建物の外側で遮断することで、冷房効果を向上させる効果を発揮していると評価した。

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。2021 年 2 月 1 日から 2023 年 10 月 10 日までの 2 年 8 か月間にわたる稼働観測データから、本システムにおいて快適な室内環境を維持しつつ高効率稼働を実現できる最適稼働設定を見出すことができた。また、冬期の融雪効果も十分な能力を発揮していたことを確認できたほか、一年間を通じて十分な給湯能力を発揮していたことも確認できた。帯水層蓄熱の効果としては、初期地下水温度 16℃に対して、冬期の初めは 24℃程度、夏期は 13℃程度の地下水温が得られ、ヒートポンプの稼働効率を大幅にアップさせる効果を発揮することでランニングコストの大幅低減に資する効果が得られた。ZEB 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したが、2021 年 7 月～2023 年 3 月末までの見学者は 75 団体 411 名に達し、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 適応性と高効率性能のアピールができたほか、本システムの普及のための啓発啓蒙にもつながっ

たと評価された。

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た。このことから、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た。その結果、夏期冷房期間を通じて 13℃台の地下水を継続的に揚水してフリークーリングに利用できており、ZEB 実証施設でも十分な冷房効果が得られていた。このようなヒートポンプレス冷房の実現によって冷房稼働にかかる消費電力を、ヒートポンプを利用した場合と比べて半減できることが明らかとなった。ZEB 実証施設の『ZEB』達成には、このフリークーリングの省エネルギー効果が大きく寄与していると評価された。フリークーリング冷房終了時の地下水揚水温度は、初期地下水温度 16℃よりも 1℃程度低い温度だったことから、冷熱は残存しているものと考えられた。

帯水層内における冷温熱の挙動については、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した。その結果、夏期に注入された温熱塊が 3 号井を中心に、冬期に注入された冷熱塊が 4 号井を中心にして、水平方向ではそれぞれ半径 25m 程度でほぼ円形に広がっていると推定された。この冷温水塊は帯水層内で重なることなく広がっており、次シーズンの冷暖房稼働時に揚水使用されて徐々に縮小し、温水塊はシーズン末にはほぼ消えているほか、冷水塊はわずかに残っていることが推定され、実際の観測データとも整合する結果が得られた。

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。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おり、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ヒートポンプ稼働時間の低減に寄与していることを確認している。夏期稼働期間は給湯需要が少なくなるため太陽熱を必ずしも有効利用できていない状況だったため、給湯先を増加させる追加工事を施工した上でモニタリングを継続した。太陽熱集熱器が集める熱量と稼働する循環ポンプの消費電力量からシステム効率を計算すると SCOP＝46.8 と極めて高い値が得られた。

5)密閉井戸構造を有効利用した井戸洗浄方法の開発

密閉井戸構造を有効利用して、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方法を開発した。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の密閉井戸において、冷暖房稼働の井戸切換え時に開発した井戸洗浄方法を実施して効果検証した。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時にはこの操作を 4 回繰り返すことで洗浄効果が得られことが分かった。2021 年度の井戸洗浄時には、排水された地下水について 4 回分水質分析を実施したところ蒸発残留物のほか鉄や銅の含有量が徐々に減少していたことから、地下水水質の面からも本方法による井戸洗浄効果を確認できた。

なお、2 年 8 か月間のシステム稼働期間内には、地下水の注入が困難になるほど明確 な井戸の目詰まりは発生しなかったことから、事業終了後も少なくとも 5 年程度はシステム稼働に伴う稼働観測データの収集と井戸状況の観察を継続し、井戸に目詰まりが発生した際には本方法による井戸洗浄を実施する予定である。

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た。2021 年 2 月 1 日から 2 年 8 か月にわたって本システムの稼働観測モニタリングし、ZEB 実証施設の冷暖房・給湯・無散水融雪にかかる消費電力量と太陽光発電装置による発電電力量を比較した結果、2021 年度 2022 年度と連続して『ZEB』（完全ゼブ）を達成していた。帯水層蓄熱効果によって、夏期は初期値 16℃よりも 3℃程度低い温度の地下水を、冬期は初期値よりも 8℃程度高い温度の地下水を熱源とすることで、システム効率が高くなり消費電力を大幅に低減させることができたためである。特に夏期冷房時には、初期値よりも低温の地下水を直接ファンコイルユニットに送水するフリークーリングとし、ヒートポンプレス冷房を実現することで消費電力量を半減させることができたことも大きな要因である。本研究開発で得られた結果から、本システムは ZEB との親和性が高く、ZEB 達成に充分に資することができる技術であると評価された。本システムの最適稼働設定は、今後本システムを ZEB 普及に合わせて普及させていく際の重要な設定指針となるものである。また、コストに関する検証結果から、イニシャルコストに 14 年分のランニングコストを加えたトータルコストは、従来型帯水層蓄熱システム＋ガス給湯＋地下水式無散水融雪と比較して 31%低減を実現しており、NEDO が提示する 2030 年の到達目標をもクリアした結果となった。トータルコストの低減には、今回開発した密閉井戸構造を活かした井戸洗浄方法によって井戸メンテナンスコストを 10 分の 1 に低減することができたことも大きく寄与している。

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。また、ZEB 実証施設における運転では、目標値の温度条件から 2℃程ずれがあるものの給湯 COP 4.6 が得られている。その他に、ZEB 実証施設での運用状況を踏まえ、スケール付着の更なる抑制や洗浄性の向上を目的として 2022 年度に再設計・製作したヒートポンプの 2 号機では、工場性能試験結

果から、給湯 COP 4.5（対目標値 104 %）、冷房＋給湯運転時の総合 COP 7.5（対目標値 105 %）が得られた。

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 定程度はある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。ヒートポンプ運転性能に顕著な低下がないこと、及び、熱交換器内部の観察で顕著なスケール付着が見られなかったことより、スケール防止効果が実証運転期間中も継続していることを確認した。これは、熱交換器における温度差と地下水熱交換量の関係の推移からも判断できる。

表 4.1.3-2　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	6 件	3 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	2 件	4 件	5 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	3 件	4 件	4 件

（※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約）

表 4.1.3-3　成果の最終目標と達成度

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ニシャルコスト・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

※達成状況［◎：大いに上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達］

・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・有効性を実証した。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おり、本研究開発では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を達成しており、今後は本システムの普及に事業展開していく予定である。

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、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利活用したトータル熱供給システムの売り込みを進める計画である。

本研究開発でコンソーシアムを構成する日本地下水開発とゼネラルヒートポンプ工業は、どちらも事業期間内にZEBプランナーに登録している。今後は、この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予定である。

・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

本研究開発で実用化に至っ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は、地下水熱エネルギーを利活用して3つの熱需要に対応可能であることから、この特徴を生かした「再生可能熱エネルギーの面的利用」への拡張に取り組んでいきたいと考えている。再生可能熱エネルギーの面的利用を考える際に、対象建物にはZEB・ZEH技術を併用することで更なる高効率化と省エネルギー化が可能になることをアピールし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。

・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、イニシャ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充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。日本地下水開発とゼネラルヒートポンプは、ZEBプランナーの資格を生かして、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。本研究開発で完成し高性能を実証した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ことが可能

になると考えている。

本研究開発では、夏期冷房における地下水フリークーリングの省エネルギー効果が極めて大きいことを実証することができた。今後、本システム普及のため、地下水フリークーリング回路と不凍液循環回路を二重に組み込んだ専用放熱器を開発し、設備コストの低減を図る予定である。

・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行うことを可能にする構造である。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、地下水の有効利用と、資源としての地下水の保全にもつながることになると考えている。

本研究開発で建設したZEB実証施設における2021年7月～2023年3月末までの見学者は75団体411名に達し、本システムのZEB適応性と高効率性能のアピールができたほか、本システムの普及のための啓発啓蒙にもつながったと評価された。今後も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考えている。

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

・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。

・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、CO_2 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。CO_2 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ニシャルコスト、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わせた地中熱ヒートポンプシステムのイニシャルコスト・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 4.1.4-1　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	・(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	・(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％以上の削減の見通しをつける	・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	・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 6.0 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 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	設定なし(最終年度実施内容のため)	・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

・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 4.1.4-1 に示す。



図 4.1.4-1 研究開発のスケジュール

・**成果の概要**

【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。結果として、それぞれの建物で地中熱ヒートポンプシステムが従来の地中熱ヒートポンプシステムと同等の性能で運用することができ、ZEB・ZEH 化を考慮した設計により設置コストが削減できることを確認した。

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た。結果として、基礎杭兼用地中熱交換器、H 型 PC 杭利用地中熱交換器それぞれの従来のボアホール型地中熱交換器と比較したコスト削減効果は約 61%、約 50%となった。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、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。

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。さらに、運転停止時の循環ポンプ停止や送水温度の変更によりランニングコスト 20%以上を低減できることを確認した。CO_2 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 6.0 kW、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た。結果より ZEB・ZEH 化を考慮した設計により地中熱ヒートポンプの規模を縮小しても、地中熱ヒートポンプシステムは従来と同等以上の性能で運用できることを確認した。

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た。従来のボアホール型地中熱交換器と比較したコスト削減効果は

約 52%(導入現場では 61%)となった。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し、地中熱交換器の配管方式の違いによる採放熱量の差は見られないことを確認した。基礎杭兼用地中熱交換器の単位採放熱係数は約 4.0 W/(m・K)となった。

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、H 型 PC 杭利用地中熱交換器の、従来のボアホール型地中熱交換器と比較したコスト削減効果は約 50%となった。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 H 型 PC 杭利用地中熱交換器の単位採放熱係数は約 2.6 W/(m・K)であった。

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た。運転停止時の循環ポンプ停止や送水温度の変更によりランニングコスト 20%以上を低減できることを確認した。

2)CO_2 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 6.0 kW、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た。

表 4.1.4-2　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	2 件	0 件
2020FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	9 件	2 件	1 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	3 件	0 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	3 件	0 件	6 件	1 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

表 4.1.4-3　最終目標に対する成果と達成度

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）

※達成状況［◎：大いに上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達］

・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。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んでいる。

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。

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以上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。

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。

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。

・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。

・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、イニシャルコストが目下の課題であり、本研究の主軸である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、オーナーのイニシャ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な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が、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はなく、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。

・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ZEB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実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CO_2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、CO_2削減効果を期待でき、環境面での社会貢献が可能である。

4.2 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

4.2.1 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

・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CO_2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。

・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 4.2.1-1　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。

・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2024年3月31日までで、主な事業スケジュールの概要を図4.2.1-1に示す。

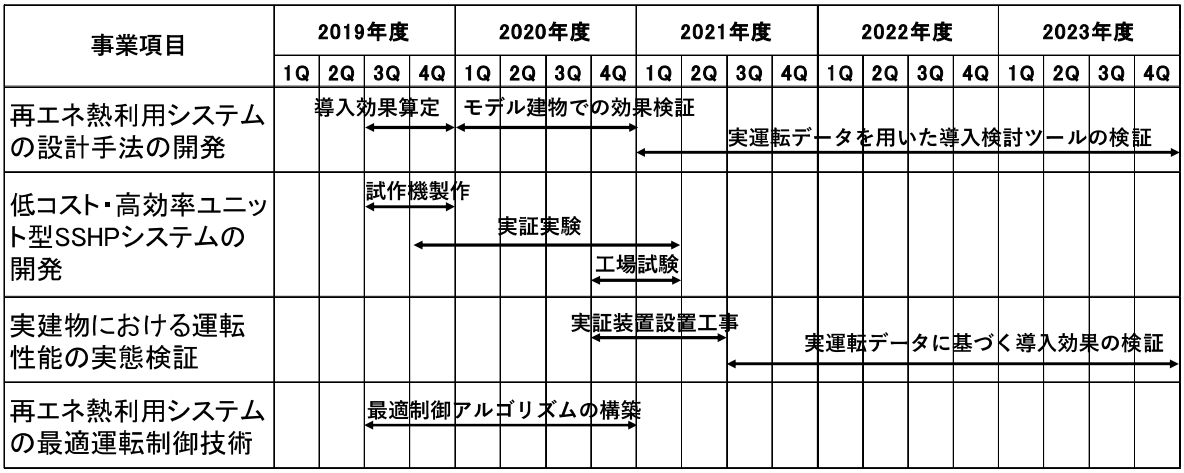


図 4.2.1-1　研究開発のスケジュール

・成果の概要

【成果概要】

LCEM 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。

【項目別成果】

①再エネ熱利用システム設計手法の開発

1)2019 年度に LCEM による設計ツールを構築し、大府実証システムの運転データをもとに機器モデルの再現性が高いことを検証した。

2)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ー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、工場試験の結果、冷却時及び暖房時の目標単体 COP6 以上を達成できることを確認した。

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。

3)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。汎用の電動ヒートポンプパッケージと比較し、1 次エネルギー換算システム COP は 41.5%向上し、1 次エネルギー消費量は約 29%、CO2 排出量は約 37%削減される結果となった。

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。

表 4.2.1-2　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	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件	1 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	2 件	1 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	2 件	0 件	2 件
2023FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	3 件	0 件	1 件

（※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約）　　2024 年 3 月 31 日現在。

表 4.2.1-3　成果の最終目標と達成度

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ＧＷＰ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。

※達成状況［◎：大いに上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達］

・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。

・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、主な要素技術である「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。

・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㈱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。

・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。

4.2.2 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

・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。

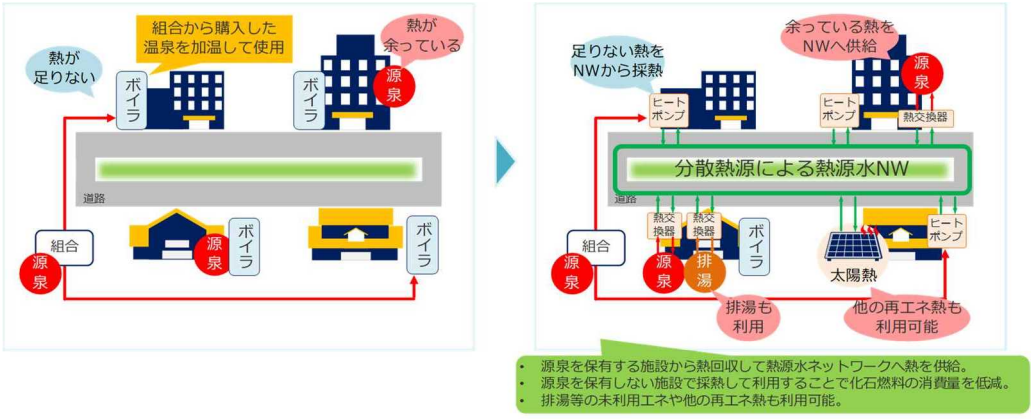


図 4.2.2-1　一般的な温泉街への開発成果の適用概念図

・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。

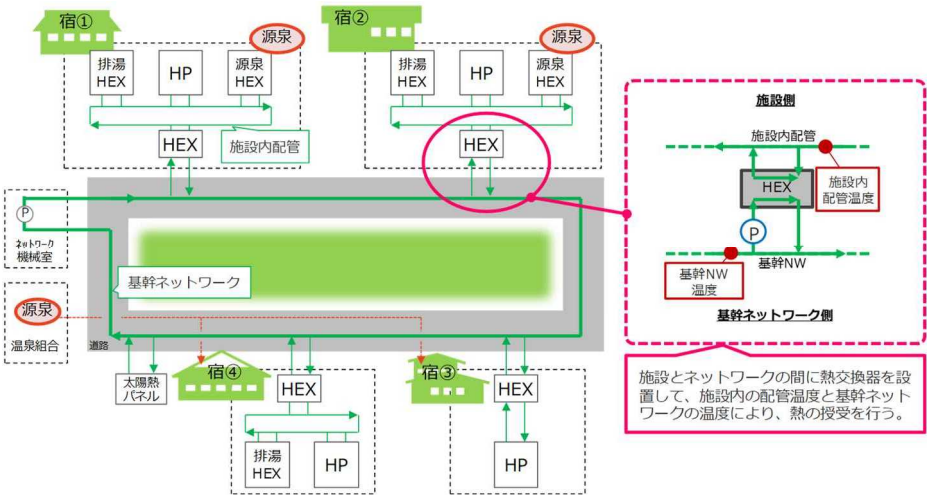


図 4.2.2-2　温泉街における分散熱源による熱源水ネットワークシステムと熱授受の制御の概念

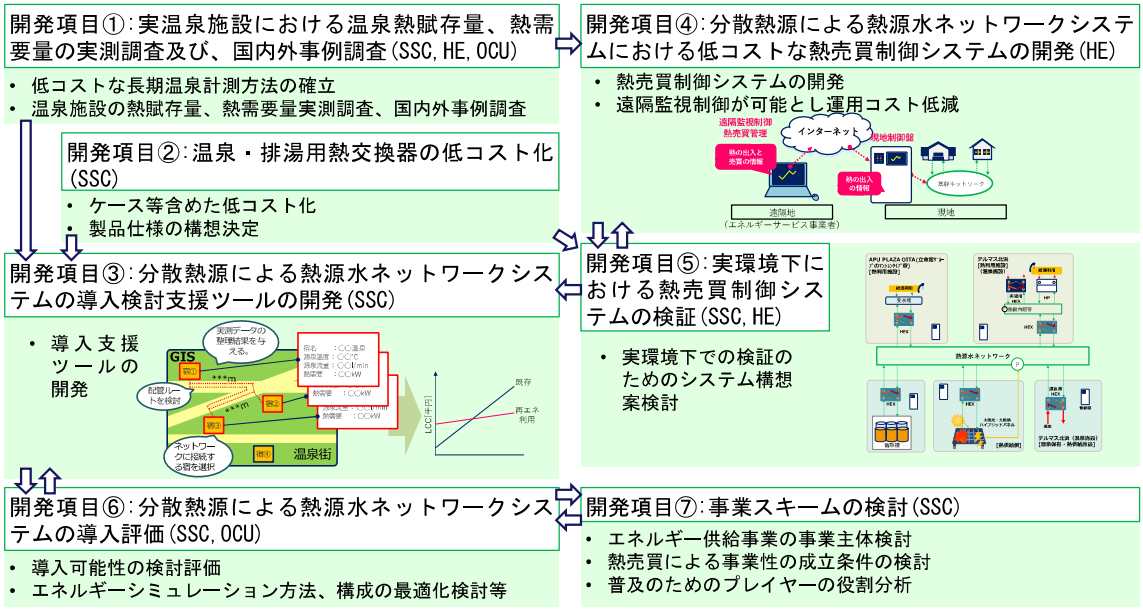


図 4.2.2-3　研究開発概要

表 4.2.2-1　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。	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
	b)遠隔操作可能な通信機能を持つ計	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	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	

	測ユニットの開発	の実測に活用する。	開発し、5件以上の施設で実測に活用する。	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。
	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。	
	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		熱源水ネットワーク市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。
(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の開発目途をつける。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		なし。（2022年度以降に実証試験を実施）	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		熱売買も含めた熱源水	2条件以上の具体的事例に	分散熱源による熱源水

水ネットワークシステムの導入評価	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。	ついて導入可能性を検討し、有用性を示す。	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。	

・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7月15日までで、主な事業スケジュールの概要を図4.2.2-4に示す。

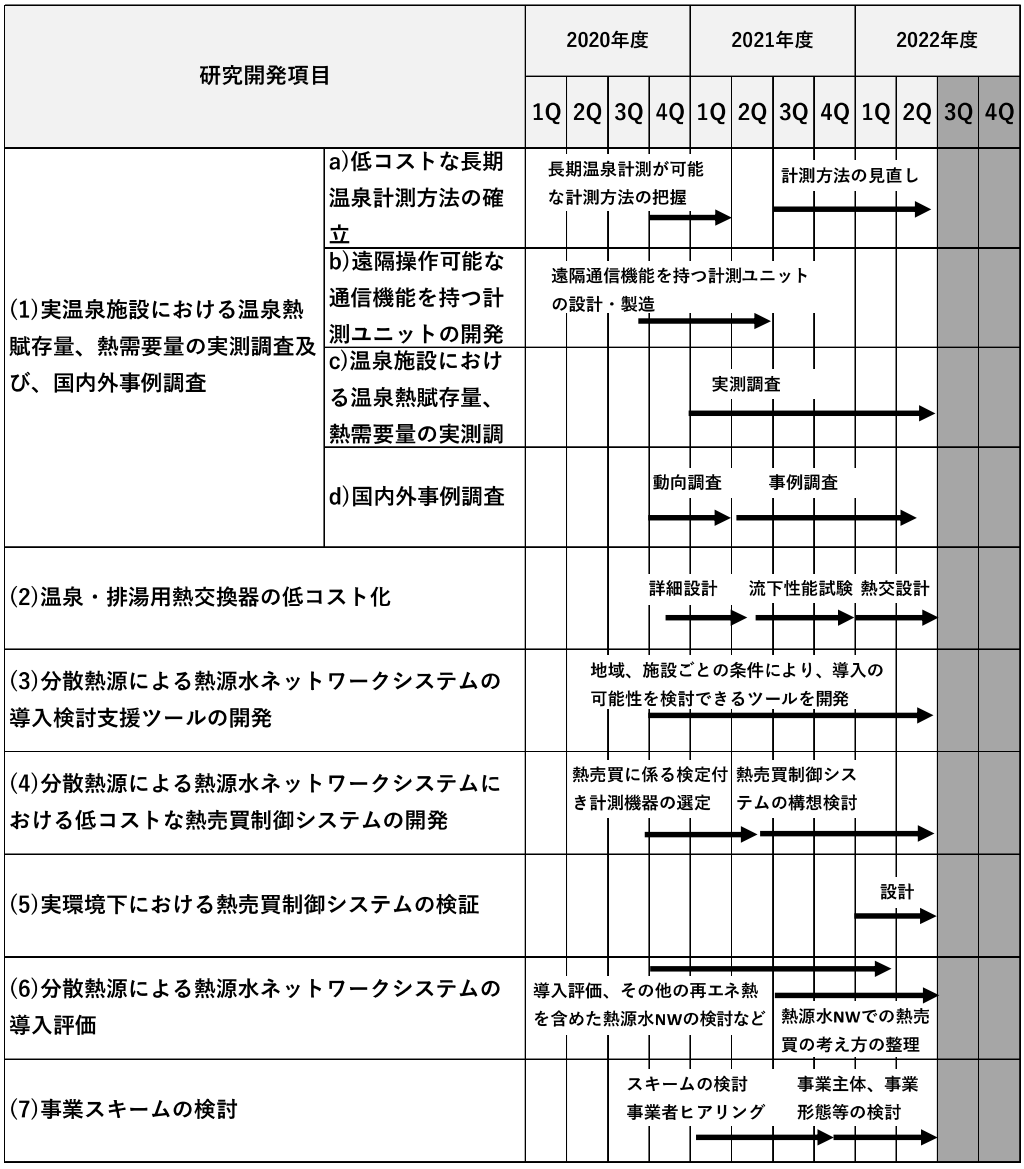


図 4.2.2-4 研究開発のスケジュール

・成果の概要

【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。

【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 2 施設、新潟県内の日帰り温浴施設、大分県内の温浴施設、共同住宅、長野県の温泉集中配湯施設、北海道の宿泊施設 2 施設の計 8 施設に設置し、計測を行った。また海外の類似事例についてデスクトップ調査により動向調査を実施した。

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、液膜形成部の設計を行った。また、液膜形成部の試作、流下試験を実施し、試験結果をもとに製作協力メーカーと筐体を含めた製品としての製品仕様検討、設計を行った。

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

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。

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行った。制御入出力ポイント表の整理を行い、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。

また、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し、シミュレーションによる評価を行い、開発目標 20%削減の目処がたった。

⑥事業スキームの検討

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。

表4.2.2-2　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	2 件	0 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

表 4.2.2-3　成果の最終目標と達成度

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		実測調査結果の入力によ	分散熱源による熱源水ネ	○	―

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
トワークシステムの導入検討支援ツールの開発	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。	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。		
(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目途をつける。 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。	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。	○	―

※達成状況［◎：大いに上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達］

・事業化の見通し

本研究により開発し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。

・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がると、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。

・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。

・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 CO_2 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。

4.3　高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

4.3.1 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

・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。

・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 W/(m･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。従来の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）

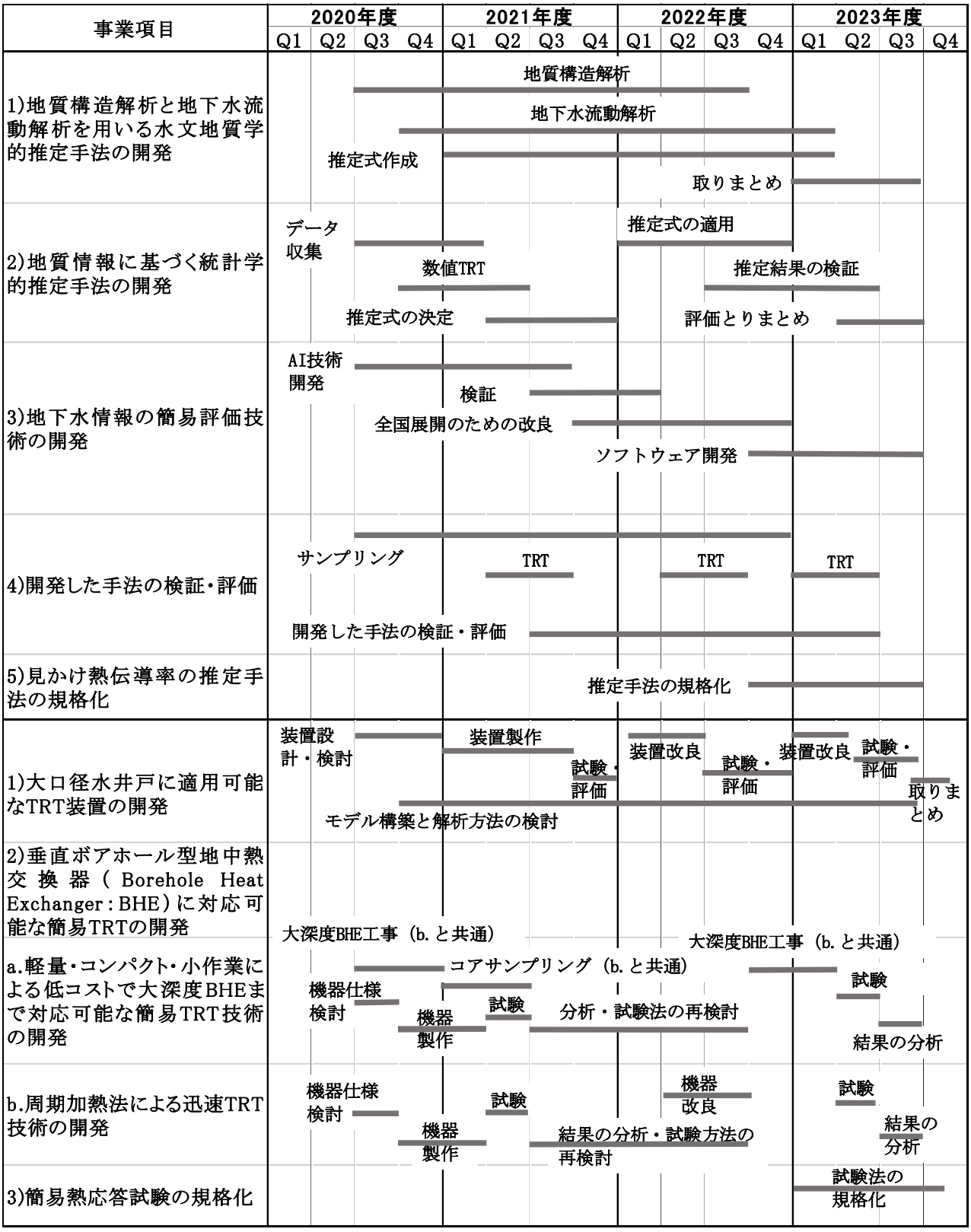
表4.3.1-1　研究開発目標と根拠

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	・水文地質学的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）	・水文地質学的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	・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	・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	・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

	ーションにより精度を確認	果を評価	
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	・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	・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的に扱える設計ツールが必要

・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2024年3月31日までで、主な事業スケジュールの概要を図4.3.1-1に示す。



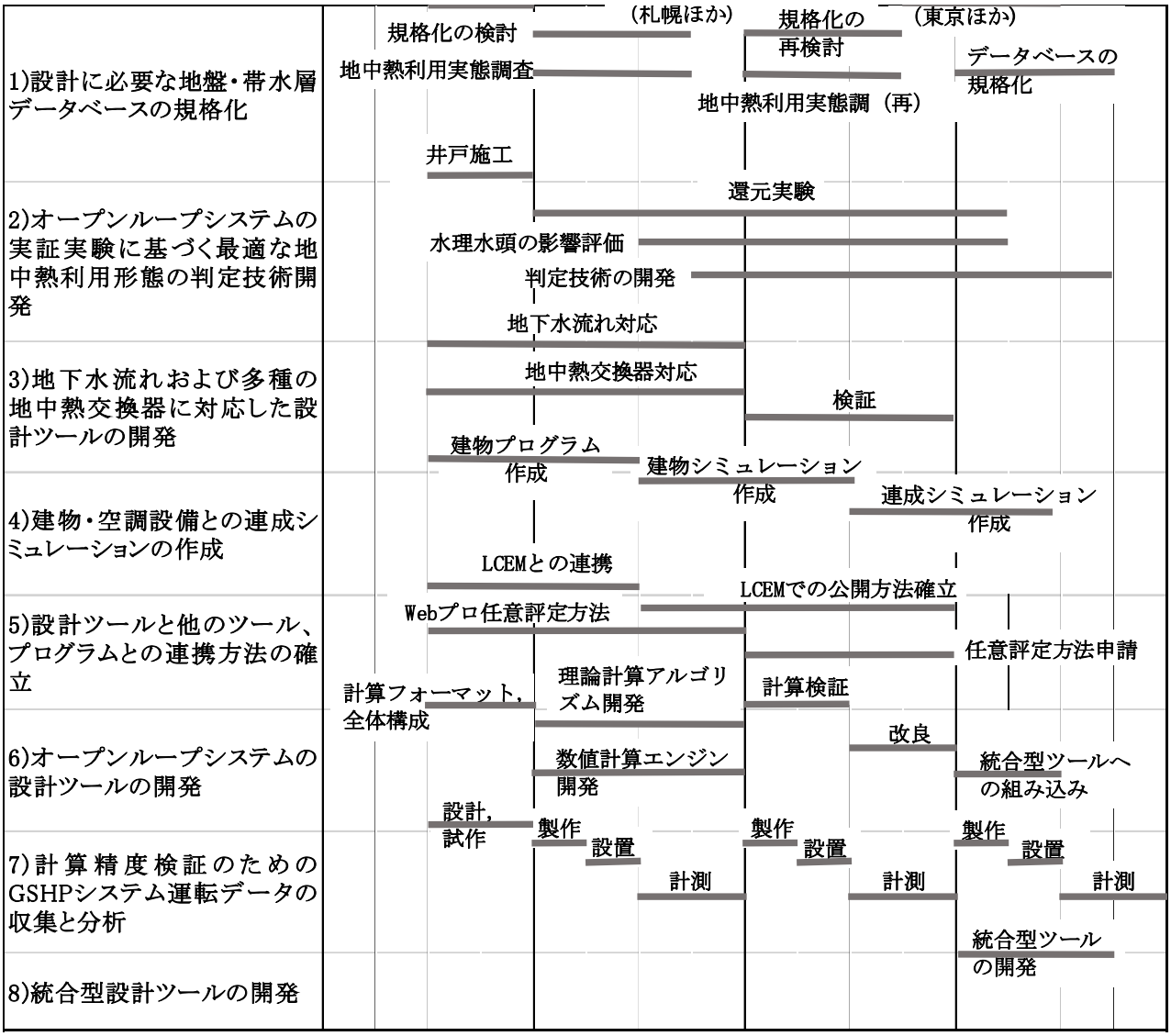


図4.3.1-1 研究開発のスケジュール

・成果の概要

【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した。

モデル地域（京都盆地、唐津地域、沖縄本島）における水文地質構造解析および広域地下水流動解析、全国地盤物性データベースの拡充と推定手法の改良（ベイズ手法適用）、および地形 AI 解析に基づく地下水面等高線全国モデルの作成を実施した。これらにより、見かけ熱伝導率推計式の入力パラメータとなる有効熱伝導率と地下水流速のデータを整備した。4 つの手法（MLS、CFD、MFLS、FEFLOW）により数値 TRT を実施し、数値 TRT 結果に基づき有効熱伝導率と地

下水流速を変数とする見かけ熱伝導率の推計式を構築した。推計式は全ての数値 TRT 手法において良好な推計精度が得られた。また、モデル地域で取得した熱応答試験の見かけ熱伝導率実測値と推計式(MLS)で算出した見かけ熱伝導率は、多くの地点で誤差 0.5W/(m･K)以内に収まることを確認した。

以上の結果に基づき、見かけ熱伝導率の推定マニュアルを作成した。なお、本マニュアルで作成する推計式は流速の大きな地域では推定精度の不確実性が高くなることに留意されたい。

②簡易熱応答試験法の開発・規格化

製作した簡易 TRT 装置を用いて秋田市および佐賀市において現場試験を行った。また，現場試験結果をもとに数値モデルを作成し，大口径井戸への適用性について検討を行った。

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 6 箇所（北海道札幌市、山梨県甲斐市、広島県三次市、北海道ニセコ町、東京都江東区、滋賀県大津市）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。それぞれに通常熱応答試験 NTRT（Normal Thermal Response Test）と周期法熱応答試験 OTRT（Oscillatory Thermal Response Test）を行った。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。オープンループのユーザーインターフェースも構築した。統合型設計ツールのユーザーインターフェースを完成し、入力した建物条件・地点・期間によって自動的に負荷計算・必要な空調機の計算ができる。更に熱源計算条件を入力し、数十秒の時間で GSHP の年間計算ができる。結果の図はすぐ見えるし、CSV のデータもダウンロードできる。マニュアルも作成した。

現場注水試験とマップ情報の整理に基づき複数の判定指標案を検証した結果、「地下水流動経路（流線）」がマップ情報（上向きの地下水流速が確認される地域）と概ね符合することを確認できた。

【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)モデル地域（京都盆地、唐津地域、沖縄本島）において熱応答試験とオールコア採取を完了した。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。

・熱応答試験結果は見かけ熱伝導率推定手法の検証に用いた。

・オールコア試料は水文地質構造解析の標準試料として使用するとともに、見かけ熱伝導率推定手法の検証に用いるため、有効熱伝導率や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。

・収集したデータに基づき水文地質構造解析および広域地下水流動解析を実施した。
・モデル地域における有効熱伝導率データおよび地下水流速データを整備した。

3)国土交通省の地下水資料台帳、土木研究所「Kunijiban」、ほくりく地盤データベースなどから新規井戸データ、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。
・地質推定手法としてベイズ手法を適用し、統計学的な地質情報の推定精度を向上した。
・有効熱伝導率データ等を整備した。

4)地下水情報の簡易評価技術開発として、地下水面等高線推定 AI モデル（全国モデル）を作成した。
・モデル地域の広域地下水流動解析結果と用いてモデルの精度を検証した結果、地下水面標高は大局的な分布傾向を再現できていることを確認した。
・全国モデルを適用して日本全国の地下水環境の概略推計を実施し、地下水面等高線と動水勾配のデータを全国地下水情報 DB として整備した。

5) MLS・CFD・MFLS・FEFLOW の手法による数値 TRT を実施し、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。
・各手法に基づき構築した見かけ熱伝導率推計式は概ね良好な推計精度が得られた。
・推計式の検証のため、モデル地域の熱応答試験で推定した見かけ熱伝導率と推計式から算出した見かけ熱伝導率を比較したところ、多くの地点で誤差 0.5W/(m･K)以内に収まることを確認した。
・モデル地域において、推計式を用いて見かけ熱伝導率マップを作成した（図 4.3.1-2)。

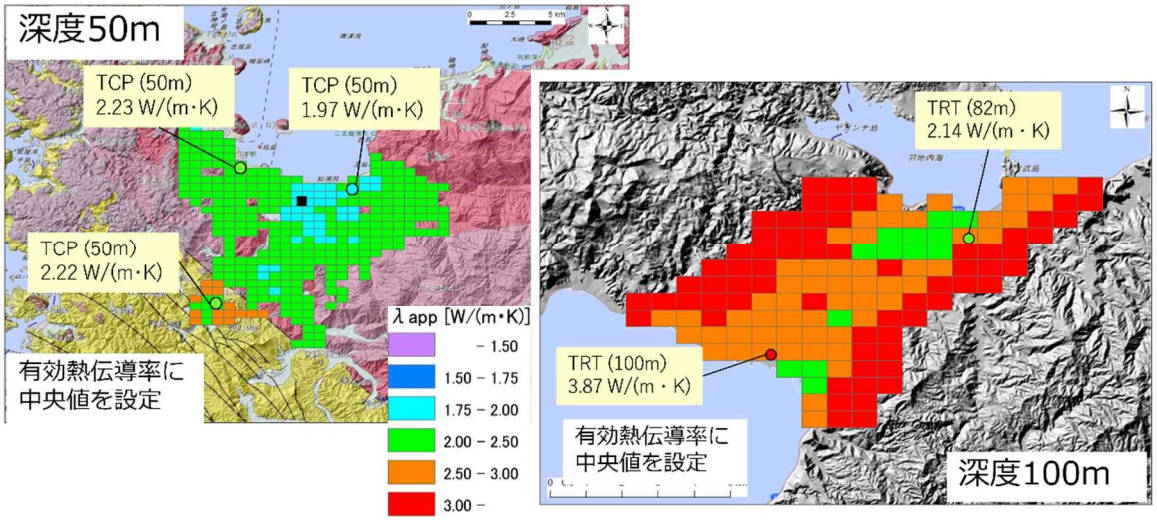


図 4.3.1-2　モデル地域の見かけ熱伝導率マップ（左：唐津地域、右：沖縄本島(名護平野)）

①簡易熱応答試験法の開発・規格化

1)ケーブルヒーター，光ファイバー温度計，円筒型電磁石で構成した簡易 TRT 装置を製作し，秋田市および佐賀市においてフィールド試験を行った。佐賀サイトでは，1m 間隔で設置した GHE と水井戸（内径 204.7mm）でそれぞれ TRT を行って比較した結果，水井戸で加熱期間を

48 時間以上としたときの温度回復期間データを用いて解析した熱伝導率プロファイルが，GHE で得られた基準プロファイルと概ね同様のトレンドを示し，また両者の RMS が約 0.35W/m/K に収束した。

2)フィールド試験を再現する数値モデルを構築し，簡易 TRT 装置の大口径井戸への適用性を検討した結果，500mm までの水井戸において，加熱期間を一定期間以上延長することで，推定される熱伝導プロファイルが基準プロファイルと概ね一致する結果となった。また，各シミュレーション結果と基準プロファイルとの RMS が約 0.2W/m/K に収束するために必要な加熱期間は，500mm の水井戸で 10 日程度となり，また必要加熱期間は水井戸の内径と正の相関を示した。

このことより，製作した簡易 TRT 装置は，水井戸径に応じた適切な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。

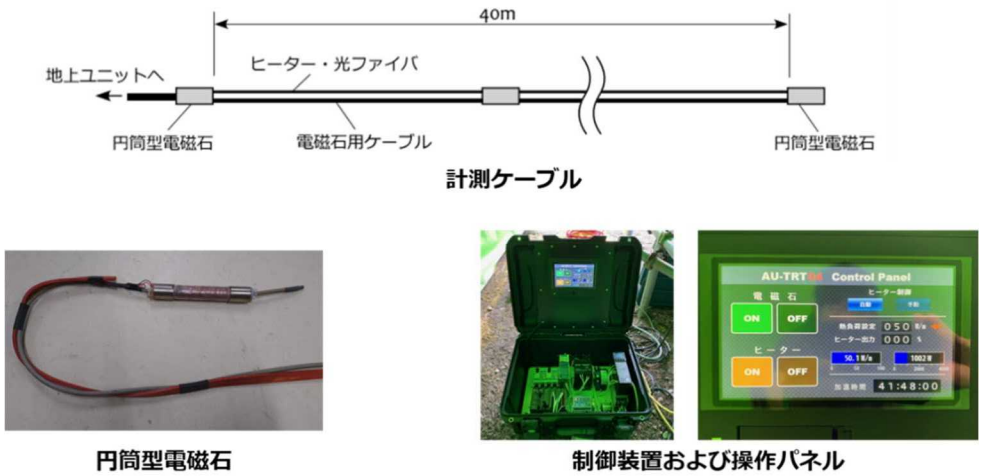


図 4.3.1-3　大口径水井戸に対応する熱応答試験装置

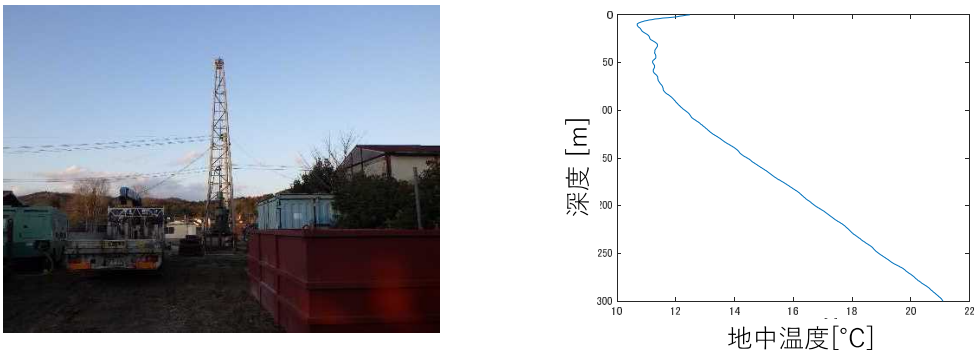


図 4.3.1-4　大深度地中熱交換器施工風景（三次市）・設置した大深度地中熱交換器（札幌市）により測定した自然地中温度分布



図 4.3.1-5 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

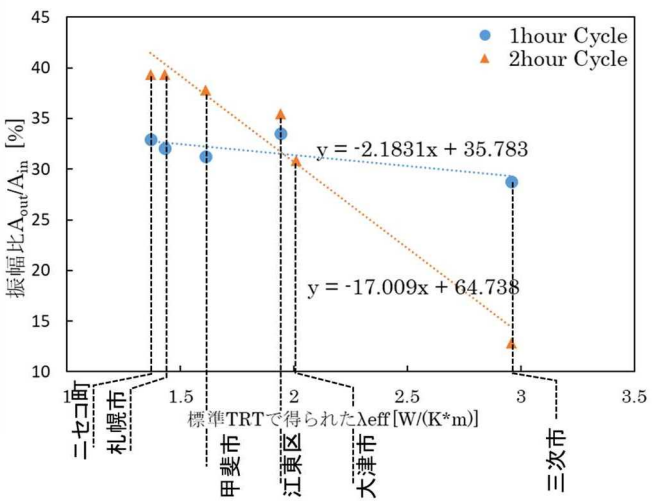


図 4.3.1-6 NTRT により得られる有効熱伝導率 λ_{eff} に対する振幅比

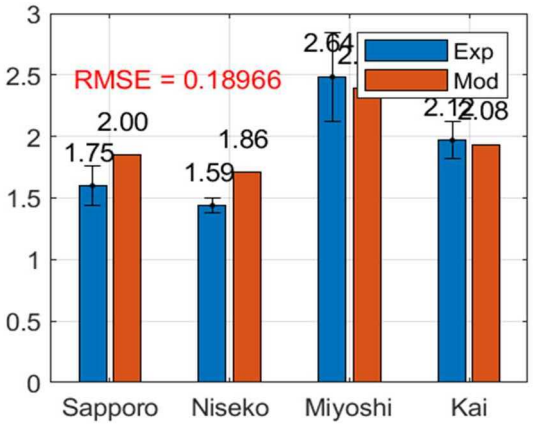


図 4.3.1-7 CFD ソフトの予測結果と有効熱伝導率の近似式結果の比較

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 6 箇所（北海道札幌市、山梨県甲斐市、広島県三次市、北海道ニセコ町、東京都江東区、滋賀県大津市）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。
5) 周期加熱法のための試験装置（20kW と 4kW）を製作した。4)の 6 箇所で NTRT と OTRT を行った。NTRT により得られた有効熱伝導率 λ_{eff} に対する振幅比は図 4.3.1-6 を示す。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。CFD ソフトの予測結果に基づいて機械学習を行い、有効熱伝導率の近似式が得られました。近似式で計算した有効熱伝導率(Mod)と CFD ソフトの予測結果(EXP)の比較は図 4.3.1-7 を示す。この近似式は CFD ソフトの予測結果をよく再現したとわかる。
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した。

① 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。図Ⅲ(3.1)-7 に示すように、初期画面で WEBPRO 入力シートをドロップし、次の全般設定画面で建物条件・地点・期間を指定する。負荷計算設定画面で負荷条件を確認したら、必要な空調機が計算できる。熱源条件を設定して数十秒の計算後 GSHP の年間性能・電気消費・採熱量の図がすぐ見える。CSV のデータもダウンロードできる。マニュアルも作成した。

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。概算システムのユーザーインターフェースも構築した（図 4.3.1-9)。

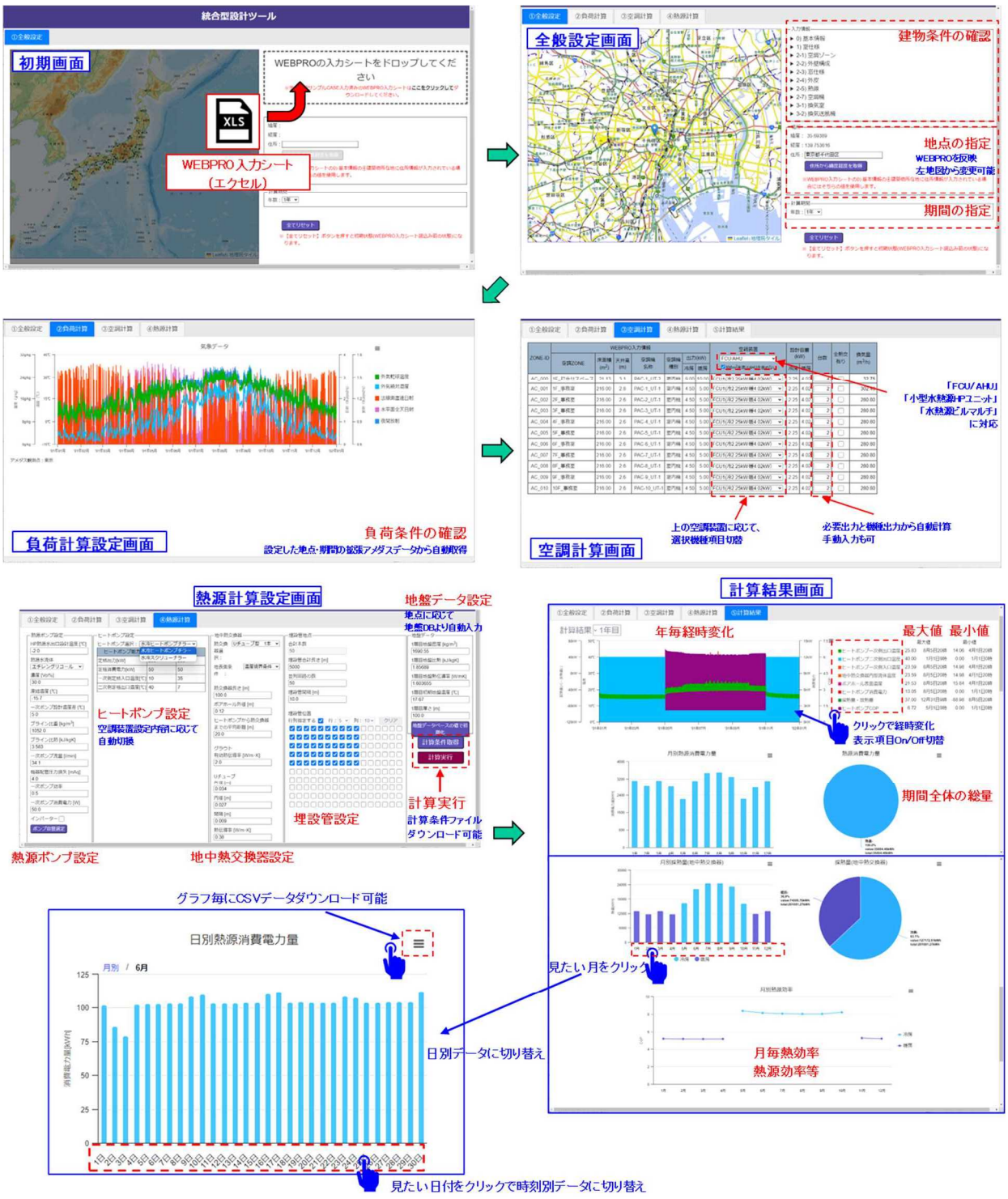
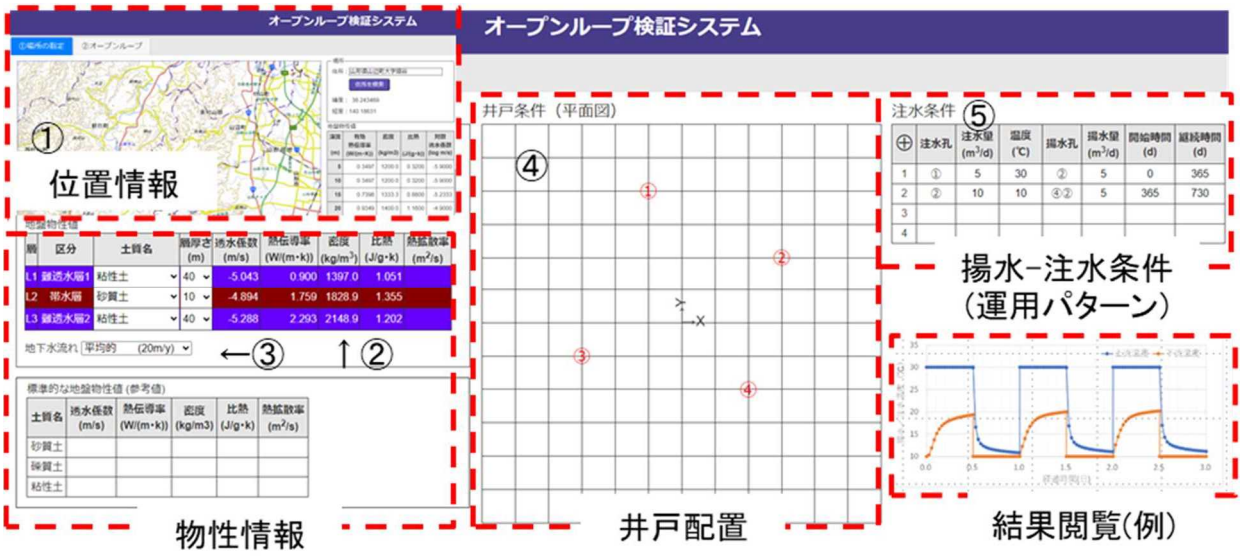


図 4.3.1-8 統合型設計ツールインターフェース



UI を用いた概算予測検討の手順

①地図画面より解析対象地域を選定

②ボーリング情報を入力(自動/手動)

③対象地域の地下水流れの傾向を入力

④井戸の配置を選定(マウスクリック)

⑤井戸条件(運用パターン)を入力

⑥解析を実施

⑦結果を確認(採水温度、採熱量)

図 4.3.1-9 オープンループインターフェースと予測手順

表 4.3.1-2　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	4 件	3 件	0 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	11 件	1 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件	7 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	3 件	1 件	9 件	0 件	1 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)　　2024年3月31日現在。

表 4.3.1-3　成果の最終目標と達成度

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	・水文地質学的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	・水文地質学的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 0.5W/(m･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。	○

※達成状況［◎：大いに上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達］

・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。

・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。

・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。

・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。

4.3.2 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

・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。

・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4.3.2-1　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。	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。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。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	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	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

	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。 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。	±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。	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。
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	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	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。

	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。	水出入口温度差を±3℃から±5℃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。	

・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 2024 年 3 月 31 日までで、主な事業スケジュールの概要を図 4.3.2-1 に示す。

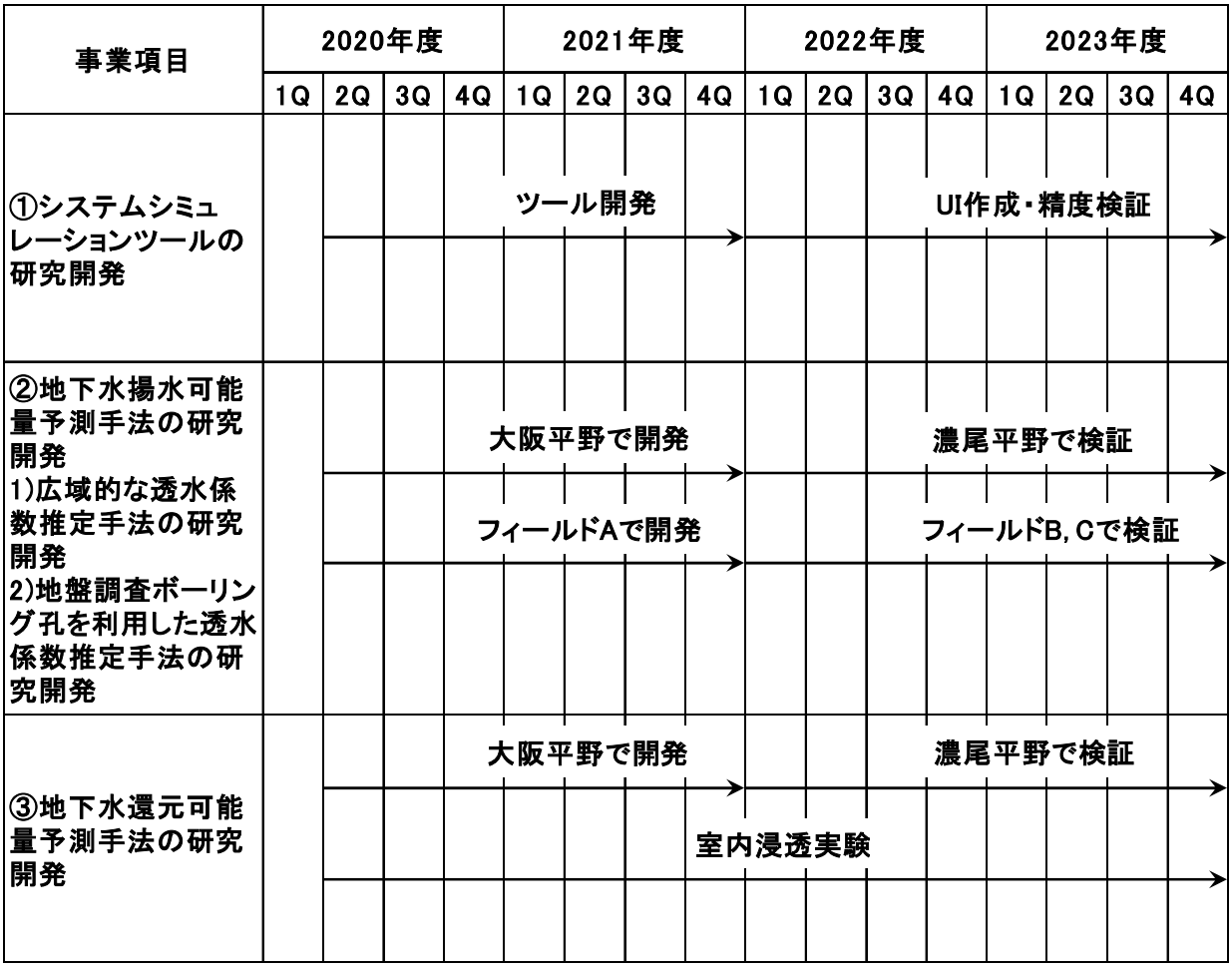


図 4.3.2-1 研究開発のスケジュール

・成果の概要

【成果概要】

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。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。さらには、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。

【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

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、実システムのモニタリングデータを用いて年間消費電力量を推定した結果、実測値に対する誤差がヒートポンプでは-26%から-7%、揚水ポンプでは-48%から 15%、システム全体としては-19%から-12%となり、目標値である誤差 25%をシステム全体として達成することができた。ヒートポンプは LCEM 上では理想運転を模擬しているものの実機ではそうならないために、実運転データから部分負荷特性を補正した上で年間消費電力量を推定すると誤差-1%から 3%となり、コミッショニング時であれば高い精度で推定可能であることを明らかにした。

また、複数のオープンループ方式において 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

大阪平野と濃尾平野の広域的な井戸情報データベースを用いて、帯水層の透水係数を推定する手法を開発した。多項式揚水試験により得られた値を基準として宇野式により推定された値に適切な補正を行うことにより実測値の 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。一方で、利用可能な井戸情報データベースは限られていることから粒度分布から透水係数を推定する手法を試み、多くの地域で利用できる地層区分からおよその透水係数を推定する手法を提案した。

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

地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法を透水係数の異なる 3 サイトでの各種測定に基づいて構築した。その結果、透水係数が 10^{-4}～10^{-3} m/s の場合にはフローメータ試験と粒度試験に基づく値がよい結果を示すのに対して、10^{-2} m/s の場合には現場透水試験のピエゾメータ法がよい結果を示し、帯水層の透水係数によって適切な手法が異なることを明らかにした。

③地下水還元可能量予測手法の研究開発

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と地下水水質、帯水層の透水係数を比較した結果を他の要素が水位上昇に影響を与えることを明らかにした。また、還元井より目詰まり物質を回収し、井戸内の酸化が目詰まり物質の成長に影響を与えることを確認した。これらを踏まえた上で、室内浸透試験によりスクリーンの単

位面積当たりの目詰まりの進行速度を推定する手法を開発し、推定値が実測値と比べて大きな値を示すことから安全側の値となっていることを確認した。

表 4.3.2-2　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	5 件	0 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	3 件	0 件	8 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	5 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

表 4.3.2-3　成果の最終目標と達成度

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地下水揚水可能量	1) 広域的な透水係数	1) 広域的な透水係数	○	

予測手法の研究開発	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。	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。		
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±	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	○	

	3℃から±5℃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。	詰まり振興の速度を推定する手法を開発した。		

※達成状況［◎：大いに上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達］

・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の 2024 年中に無償で公開する予定である。

・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「実用化の見通し」と同じである。

・実用化に向けた課題と今後の方針

本テーマで開発した設計ツール・設計指針は成果を取りまとめた上で 2024 年には公開して実用化に至る予定である。成果はいずれもホームページ上で公開するとともに、研究成果を地中熱利用促進協会ホームページ上で掲載を予定している。なお、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の予定である。

・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 2017 年時点で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

・プロジェクト基本計画

Ｐ１９００６

「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、Ｈｏｒｉｚｏｎ２０２０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り組み（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。

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に実施し、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

大竹　正巳　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。

（４）２０２１年１１月、改訂。プロジェクトマネージャー変更のため。

（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ー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。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関係する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、以下の（１）、（２）の研究開発を推進するとともに、ＮＥＤＯ、業界団体、研究開発実施者とで連携し、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）

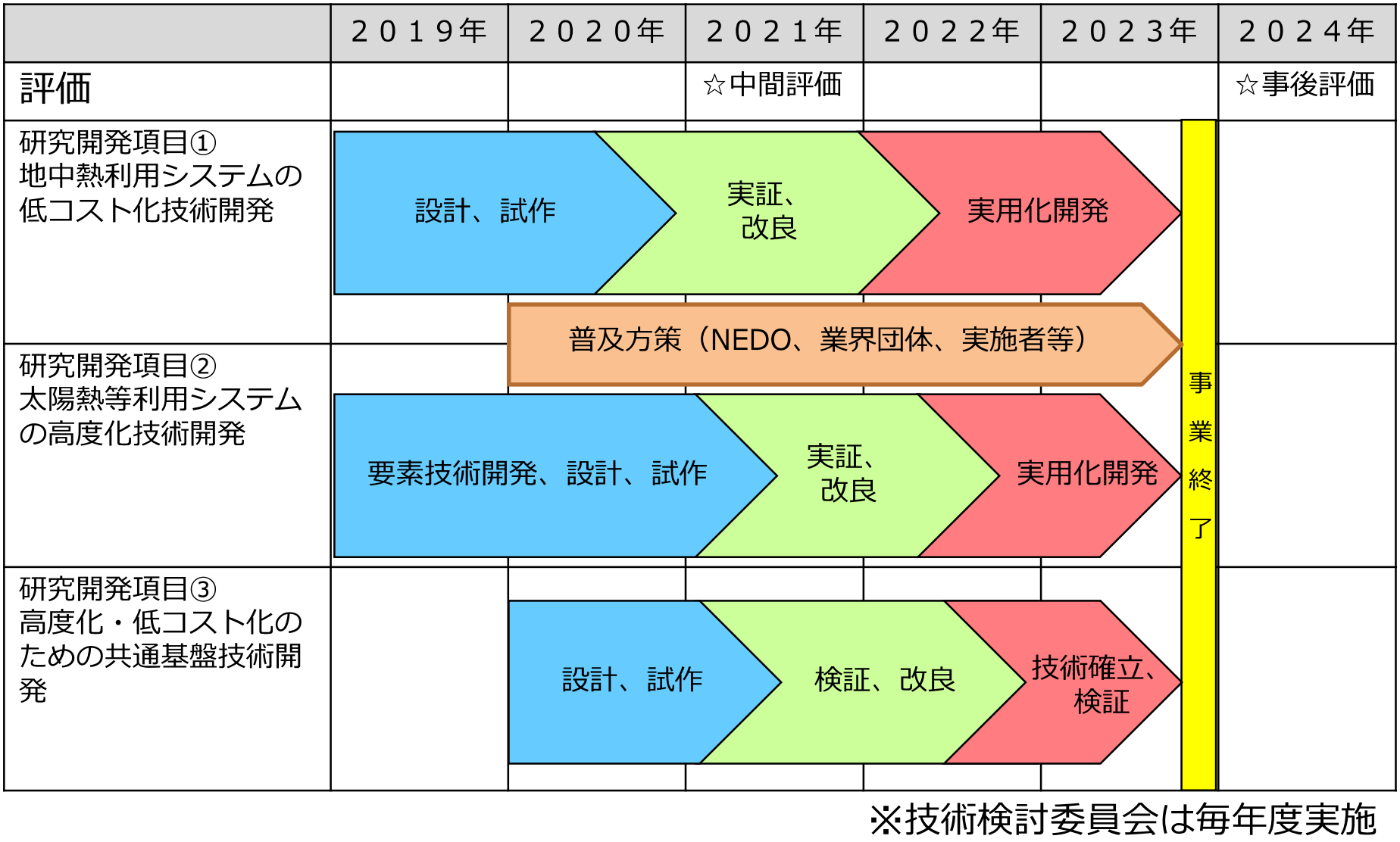
２０２３年度までの可能な限り早期にトータルコストを２０％以上低減（投資回収年数１４年以下）させる可能性を実験等で示す。また、共通基盤技術開発における推定・評価技術、設計ツールについて事業者が設定する開発目標の妥当性を外部有識者にて審議し、妥当であるとの評価を得る。

【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り組み（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



※技術検討委員会は毎年度実施

・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

・**各種委員会　開催リスト**

技術検討委員会		
件名	内容	実施日
第 1 回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技術検討委員会	報告 5 件 総合討議 進捗状況確認等、投資回収年数について	2020 年 9 月 30 日
第 2 回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技術検討委員会	報告 7 件 総合討議 進捗状況確認等	2021 年 3 月 2 日
第 3 回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技術検討委員会	報告 8 件 総合討議 進捗状況確認等、コストについて	2021 年 12 月 9 日
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技術検討委員会(臨時)	総合討議 進捗状況確認等	2022 年 3 月 18 日
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 2022 年度技術検討委員会	報告 6 件 総合討議 進捗状況確認等	2022 年 12 月 23 日
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 2023 年度技術検討委員会	報告 5 件 総合討議 成果報告等	2023 年 8 月 24 日

委員名簿

役割	氏名	所属	役職
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　環境工学部門	教授
委員	大谷　具幸	国立大学法人東海国立大学機構　岐阜大学　工学部社会基盤工学科	教授
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
委員	福田　桂	株式会社三菱総合研究所　サステナビリティ本部気候変動ソリューショングループ	主任研究員
委員	横山　計三	学校法人芝浦工業大学　建築学部　建築学科	特任教授

共通基盤技術ワーキンググループ		
件名	内容	実施日
共通基盤技術WG	・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 7 月 27 日
共通基盤技術WG	・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	2020 年 10 月 21 日
共通基盤技術WG	・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 2 月 17 日
事業者間検討会	・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 6 月 15 日
共通基盤技術WG	・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	2021 年 9 月 1 日
共通基盤技術WG	・共通基盤技術開発の進捗について	2022 年 2 月 9 日
共通基盤技術WG	・共通基盤技術開発の進捗について	2022 年 9 月 26 日
共通基盤技術WG	・成果の報告について	2023 年 12 月 22 日

委員名簿

役割	氏名	所属	役職
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	主任研究員
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

・特許論文リスト

1.事業全体の論文・外部発表等の件数

【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	学会等での発表・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	6 件	1 件
2020FY	2 件	0 件	0 件	3 件	1 件	23 件	13 件	4 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	33 件	13 件	4 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	7 件	0 件	28 件	4 件	7 件
2023FY	2 件	0 件	0 件	8 件	2 件	30 件	5 件	9 件
計	4 件	0 件	0 件	19 件	3 件	117 件	41 件	25 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	学会等での発表・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	6 件	3 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	7 件	1 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	0 件	0 件
計	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	31 件	8 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)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	学会等での発表・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
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
2023FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	3 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	ワイビーエム	特願 2023-172519	国内	2023年10月4日	出願中	掘削穴に地中熱交換器を挿入する工法	松尾 秀幸 上田　晃 大久保　博晃 福田　康朗

(※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

【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

(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	―	ワイビーエム昭和鉄工	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 地中熱給湯機パネル展	さが産業グリーン化技術展	2023 年 12 月 13 日～14 日

			示		
2	－	昭和鉄工	地中熱給湯機パネル展示	HVAC&R	2024 年 1 月 30 日～2 月 2 日
3	－	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	ENEX2024	2024 年 1 月 31 日～2 月 2 日

(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	学会等での発表・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	1 件	0 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	6 件	4 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 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	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	楢﨑亘 及川直哉 冨澤洋介 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、	山梨大学	住宅用鋼管杭を用いた地	2020年度日本冷凍空調学会	2020年

	三瓶大地、 依田修、 渡邊弘美		中熱ヒートポンプの研究	年次大会講演	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－地中熱エネルギーの利用法－	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
12	沼田　遼、 武田哲明	山梨大学	地中熱ヒートポンプ内の冷媒状態に関する研究	2021年度日本冷凍空調学会年次大会講演	2021年9月8日
13	小林永並、 武田哲明	山梨大学	直接膨張方式地中熱ヒートポンプの熱交換性能 －地中熱交換器の放熱特性－	日本機械学会熱工学コンファレンス2021講演	2021年10月 9日
14	星　幸人、 武田哲明	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	2022年度日本冷凍空調学会年次大会講演	2022年9月7日
15	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－持続可能な社会を目指す省エネルギー技術－	日本機械学会2022年度年次大会基調講演	2022年9月 12日
16	海野佑太朗 武田哲明	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	日本機械学会熱工学コンファレンス2022講演	2022年10月 8日
17	桑原知宏、 武田哲明	山梨大学	小口径ボアホールを用いた地中熱ヒートポンプの研究	山梨講演会2022講演	2022年10月 29日
18	星　幸人、 武田哲明	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	日本機械学会熱工学コンファレンス2023講演	2023年10月 14日
19	桑原知宏、 武田哲明	山梨大学	小口径ボアホールを用いた地中熱ヒートポンプの研究	山梨講演会2023講演	2023年11月 25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

(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	学会等での発表・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	6 件	3 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	2 件	4 件	5 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	3 件	4 件	4 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

(※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	日本地下水開発株式会社	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
2	山谷睦・桂木聖彦	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱トータル熱供給システム	冷凍,Vol.097 No.1139 PP560-565	有	2022 年 12 月
3	加藤渉	日本地下水開発株式会社	ZEB へ導入された高効率帯水層蓄熱システムにおける蓄熱メリットについて（その 2)	日本地下水学会 2023 年度秋季大会講演集	なし	2023 年 11 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
6	加藤渉	日本地下水開発株式会社	ZEBへ導入された高効率帯水層蓄熱システムにおける蓄熱メリットについて（その1）	日本地下水学会2022年度秋季講演会	2022年10月
7	黒沼覚	日本地下水開発株式会社	ZEBへ導入した高効率帯水層蓄熱システムの蓄熱状況	日本地熱学会令和4年度学術講演会	2022年11月
8	黒沼覚	日本地下水開発株式会社	地下水の熱を有効利用する高効率帯水層蓄熱システム	日本技術士会山形支部 産学官合同セミナー	2023年10月
9	山谷睦	日本地下水開発株式会社	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	日本地熱学会令和5年度学術講演会 NEDOオーガナイズドセッション	2023年11月
10	加藤渉	日本地下水開発株式会社	ZEBへ導入された高効率帯水層蓄熱システムにおける蓄熱メリットについて（その2）	日本地下水学会2023年度秋季講演会	2023年11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	－	日本地下水開発株式会社	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	－	日本地下水開発株式会社	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	－	日本地下水開発株式会社	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	－	日本地下水開発株式会社	東北再エネ利活用大賞　最優秀	山形新聞	2020年 3月7日
5	－	日本地下水開発株式会社	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	－	日本地下水開発株式会社	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	－	日本地下水開発株式会社	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	－	日本地下水開発株式会社	「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	－	日本地下水開発株式会社	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	－	日本地下水開発株式会社	新エネ・経済産業大臣賞受賞　日本地水開発の地中熱システム	建設新報	2021年 2月1日
11	－	日本地下水開発株式会社	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

12	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システムと ZEB の親和性を確認	空調タイムス	2021 年 8 月 18 日
13	―	日本地下水開発株式会社	JESC-ZEB 棟　年間コスト 2 割削減目標	日本経済新聞	2021 年 8 月 20 日
14	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システムを活用した ZEB への挑戦	環境新聞	2021 年 10 月 13 日
15	―	日本地下水開発株式会社	令和 3 年度山形県産業賞受賞　功績たたえ	山形新聞	2021 年 11 月 3 日
16	―	日本地下水開発株式会社	積雪寒冷地域の帯水層蓄熱システムで快適な 100%『ZEB』を実証	空調タイムス	2022 年 1 月 26 日
17	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム ZEB への適応目指すトータル熱供給システム国内で初めて確立	環境新聞	2022 年 3 月 2 日
18	―	日本地下水開発株式会社	地中熱でゼロエネ達成　コンサルに知見活用	日刊工業新聞	2022 年 6 月 10 日
19	―	日本地下水開発株式会社	実運転で 100%ZEB 確認　高効率帯水層蓄熱によるトータル熱供給システム	空調タイムス	2022 年 6 月 29 日
20	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システムで寒冷地での『ZEB』達成	環境新聞	2022 年 7 月 20 日
21	―	日本地下水開発株式会社	地下水で蓄熱冷房×太陽光発電　消費エネ実質ゼロ達成	河北新報	2023 年 2 月 9 日
22	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システムの運用で 110%の『ZEB』を達成	空調タイムス	2023 年 6 月 28 日
23	―	日本地下水開発株式会社	日本地下水開発　地中熱利用　国内外で評価	山形新聞	2024 年 1 月 4 日
24	―	日本地下水開発株式会社	『ZEB』との親和性証明　高効率帯水層蓄熱、2 年半の実証で	空調タイムス	2024 年 1 月 24 日
25	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱、『ZEB』との高い親和性を確認	環境新聞	2024 年 1 月 31 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	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱冷暖房システムの紹介	ENEX2020	2020 年 1 月
2	―	日本地下水開発株式会社	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
3	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱冷暖房システムの紹介	ENEX2021	2020 年 12 月
4	―	日本地下水開発株式会社	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
5	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	やまがたSDGsフェスタ	2021 年 9 月
6	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	ENEX2022	2022 年 1 月
7	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	EE東北'22	2022 年 6 月
8	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	REIFふくしま2022	2022 年 10 月
9	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	やまがた環境展2022	2022 年 10 月
10	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	ENEX2023/第3回全国地中熱フォーラム	2023 年 2 月
11	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	ゆきみらい2023in会津	2023 年 2 月
12	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	2023NEW環境展	2023 年 5 月

13	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	REIFふくしま2023	2023 年 10 月
14	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	やまがた環境展2023	2023 年 10 月
15	―	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システム	ふゆトピア2023in北広島	2024 年 1 月

(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	学会等での発表・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	2 件	0 件
2020FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	9 件	2 件	1 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	3 件	0 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	3 件	0 件	6 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

【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
3	Kunning Yang, Takao Katsura, Shigeyuki Nagasaka, Katsunori Nagano	北海道大学	Development and application of a new calculation method for double spiral ground heat exchangers	Energy and Buildings 291, 113144	有	2023 年 5 月
4	Kunning Yang, Takao Katsura, Shigeyuki Nagasaka, Katsunori Nagano	北海道大学	Analyzing the Performance of Double Spiral Tube Ground Heat Exchangers in a Zero-Energy Building Using Measurement Data	Energies 16, 6964	有	2023 年 10 月

5	Takao Katsura, Katsuya Saito, Motoaki, Oe, Katsunori Nagano	北海道大学 イノアック住環境	Installation Cost and Heat Extraction Performance Analysis of H-shaped PC Pile Ground Heat Exchangers for Small Buildings	Energies 17, 6964	有	2024 年 2 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
11	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　令和3年度大会学術講演会　(福島)	2021年9月15日～17日
12	前田基宏 葛隆生 小司優陸 長野克則	北海道大学	浅層地盤を用いた水平型地中熱交換器の性能予測シミュレーションツールの開発（第1報）水平ユニット方式地中熱交換器のシミュレーション手法の開発	空気調和・衛生工学会北海道支部第56回学術講演会	2022年3月17日
13	楊坤寧 葛隆生 長野克則	北海道大学	ダブルスパイラル型地中熱交換器のシミュレーションツールの開発とその応用	空気調和・衛生工学会　令和4年度大会学術講演会　(神戸)	2022年9月14日～16日
14	楊坤寧 葛隆生 長野克則	北海道大学	ダブルスパイラル型地中熱交換器のシミュレーションツールの開発とその応用	2022年度日本冷凍空学会年次大会	2022年9月7日～9日
15	葛隆生 長野克則	北海道大学	ネット・ゼロ・エネルギー・ハウスに導入する低コスト地中熱ヒートポンプシステムに関する研究	2022年度日本冷凍空学会年次大会	2022年9月7日～9日
16	陳道軒 葛隆生 長野克則	北海道大学	Performance prediction and investigation on potential of application of ground source heat pump system applying H-type PC pile ground heat exchanger	空気調和・衛生工学会北海道支部第57回学術講演会	2023年3月16日
17	楊坤寧 葛隆生 永坂茂之 長野克則	北海道大学	Development and application of a new calculation method for double spiral ground heat exchangers	14th IEA Heat Pump Conference, Chicago	2023年5月15日～18日

18	楊坤寧 葛隆生 永坂茂之 長野克則	北海道大学	ダブルスパイラル型地中熱交換器の実測データによる性能分析	空気調和・衛生工学会　令和5年度大会学術講演会　(福井)	2023年9月6日～8日
19	陳道軒 葛隆生 長野克則	北海道大学	H型PC杭利用地中熱交換器を用いた地中熱ヒートポンプシステムの性能予測と導入ポテンシャル検討	2023年度日本冷凍空学会年次大会	2023年9月6日～8日
20	楊坤寧 葛隆生 永坂茂之 長野克則	北海道大学	ダブルスパイラル型地中熱交換器の実測データによる性能分析	2023年度日本冷凍空学会年次大会	2023年9月6日～8日
21	葛隆生	北海道大学	寒冷地のZEB・ZEHを実現する低コスト地中熱ヒートポンプシステム	令和5年度電気有効活用セミナー	2024年2月1日
22	楊坤寧 葛隆生 永坂茂之 長野克則	北海道大学	ダブルスパイラル型PHC杭兼用地中熱交換器の仕様最適化に関する研究	空気調和・衛生工学会北海道支部第58回学術講演会	2024年3月14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	ー	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	ー	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
3	ー	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	ー	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
5	葛　隆生	北海道大学	小規模建物の低コスト地中熱ヒートポンプ研究事例 寒冷地の地中熱利用をコスト低減でもっと身近に	ほくでんエネモール biz Magazine Vol.8, p.5	2024 年 3 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	ー	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

(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	学会等での発表・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	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件	1 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 件	2 件	1 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	2 件	0 件	2 件
2023FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	3 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	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
2	同上	特願 2024- 064304	同上	2024年4月11日	出願	ヒートポンプ	同上

(※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	土田千聖	名古屋大学	Operating Characteristics of the Sky-source Heat Pump System installed in a Real Building during Winter	GRE2022	有	2022 年 11 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	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 （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大会	2020年9月
2	鶴見隆太	日建設計総合研究所	同上　（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	同上	同上
3	鶴見隆太	日建設計総合研究所	同上　（第３報）シミュレーションを用いたシステム改良とモデルオフィスを対象にしたケーススタディ	同上	2021年9月

4	下泰蔵	鹿島建設	同上　（第4 報）実建物での実証に向けた実験による冷房・暖房性能評価	同上	2021年9月
5	文　可	東京大学	同上　（第6 報）ANN による天空熱源ヒートポンプシステムのモデル予測制御手法の開発	同上	2021年9月
6	塩谷正樹	鹿島建設	同上　（第7 報）実建物での実証システム概要と初年度夏期運転実績	同上	2022年9月
7	土田千聖	名古屋大学	同上　（第8報）　実建物での 初年度冬期運転実績	同上	2022年9月
8	土田千聖	名古屋大学	同上　（第10報）　期間別稼働実態とエネルギーフロー評価	同上	2023年9月
9	文　可	東京大学	同上　(第5報)Modelicaによる天空熱源ヒートポンプシステムのモデリング	日本建築学会大会	2021年9月
10	土田千聖	名古屋大学	同上　(第9 報) 汎用EHP に対するSSHP システムの年間エネルギー性能評価	同上	2023年9月
11	塩谷正樹	鹿島建設	Development of Sky Source Heat Pump System	IAQVEC2023	2023年5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	塩谷正樹	鹿島建設㈱	再生可能エネルギー熱を多角的に活用する「天空熱源ヒートポンプ空調システム」の実証運転を開始	―	2021 年 12 月 16 日
2*	―	豊田自動織機	豊田自動織機大府工場「再生可能エネルギー熱利用空調システム」お披露目式を開催	―	同上

*豊田自動織機は NEDO コンソーシアムメンバーではないが、実証場所提供者として件数に計上。

(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	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～ NEDO:再生可能エネルギー熱利用技術開発～	2020 年 9 月

(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	学会等での発表・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	2 件	0 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 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

(※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

【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
2	戴　錦承	公立大学法人　大阪　大阪市立大学（現 大阪公立大学）	温泉熱の面的利用システムに関する研究 熱源水ネットワークシステム内の熱収支の確認	2021年度（51回）空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会	2022年3月
3	戴　錦承	公立大学法人　大阪　大阪市立大学（現 大阪公立大学）	温泉熱の面的利用システムに関する研究ー無断熱・直埋設方式の熱源水地域配管からの熱損失ー	令和4年度（52回）空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会	2023年3月
4	戴　錦承	公立大学法人　大阪　大阪市立大学（現 大阪公立大学）	Evaluation of Heat Transferred Between Facilities via An Uninsulated-Pipe Network on A Heat-Source Water Network	Conference Proceedings of The 18th International Symposium on District Heating and Cooling	2023年9月
5	澤部孝一	株式会社　総合設備コンサルタント環境・エネルギー	温泉ホテルにおける温泉熱賦存量と熱需要量の把握及び温泉熱利用の可能	令和5年度　空気・調和衛生工学会大会（福井）	2023年9月

		ソリューション部	性検討		

(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

(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	学会等での発表・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	4 件	3 件	0 件
2021FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	11 件	1 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件	7 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	4 件	1 件	9 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	内田洋平 吉岡真弓 シュレスタ ガウラブ 石原武志 冨樫聡	産総研 産総研 産総研 産総研 産総研	水文地質情報に基づく地中熱ポテンシャル評価に関する研究	地盤工学会誌，70(9)，11-16.	有	2022 年 9 月
2	田中智士	秋田大学	Field tests and numerical simulation of a novel thermal response test equipment for water wells	Proc., IGSHPA Research Track 2022	有	2022 年 12 月
3	冨樫聡 石原武志	産総研 産総研	熱応答試験方法の概要と技術開発の動向	建築設備と配管工事，61(10)，46-50.	無	2023 年 8 月
4	井上順広	東京海洋大学	Experiment on condensation performance and flow visualization in layered microchannel heat exchangers	26th International Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Paris France, Paper ID.854, DOI: 10.18462/iir.icr.2023.0854	有	2023 年 8 月
5	田中智士	秋田大学	Field Tests and Numerical	Proc., Stanford Geothermal Workshop	有	2024 年 02 月

			Simulation of Thermal Response Test Equipment Applicable to Water Wells of Large Diameters	2024		
6	藤井光	秋田大学	Development of thermal response test equipment applicable to water wells of large diameters	Proc., IGSHPA Research Track 2024	有	2024 年 05 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	冨樫聡 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. Serageldin 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. Serageldin チェホビョン	北大 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	Ahmed A. Serageldin Katsunori Nagano Takao Katsura Yoshitaka Sakata Chae Hobynung	北大 北大 北大 北大 北大	Investigation on the impact of groundwater flow velocity on the relationship between effective and apparent thermal conductivities of the soil	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
5	金子翔平 冨樫聡 シュレスタガウラブ アリフウィディアトモジョ内田洋平	産総研 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
6	阪田義隆 葛隆生 長野克則 Ahmed A. Serageldin 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）に関する考察	日本地下水学会・2021年度春季講演会	2021年5月

7	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
8	阪田義隆 葛隆生 長野克則 Ahmed A. Serageldin 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
9	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
10	内田洋平 冨樫聡 シュレスタ ガウラブ 石原武志 吉岡真弓 アリフウィディアトモジョ 金子翔平	産総研 産総研 産総研 産総研 産総研 産総研 産総研	水文地質情報を用いた見かけ熱伝導率推定手法の開発	日本地熱学会令和3年学術講演会	2021年10月
11	吉岡真弓 内田洋平 冨樫聡 シュレスタ ガウラブ 石原武志	産総研 産総研 産総研 産総研 産総研	京都盆地における地下浅層の熱伝導率に関する検討	日本地熱学会令和3年学術講演会	2021年10月
12	シュレスタ ガウラブ 冨樫聡 内田洋平	産総研 産総研 産総研	地中熱利用のための島嶼における水文地質・地下水流動モデルモデルの構築	日本地熱学会令和3年学術講演会	2021年10月
13	金子翔平 冨樫聡 シュレスタ ガウラブ アリフウィディアトモジョ 内田洋平	産総研 産総研 産総研 産総研 産総研	上向きの地下水流れ発生地域における原位置地下水注水実験	日本地熱学会令和3年学術講演会	2021年10月
14	石原武志	産総研	佐賀県唐津平野の浅部地下地質構造と有効熱伝導率分布	日本地理学会2022年春季学術大会	2022年3月
15	廣瀬陽大 長野克則 阪田義隆	北大 北大 金沢大	地中温度分布の推定及び全国データベース構築に関する研究	空気調和・衛生工学会 北海道支部第56回学術講演会	2022年3月
16	石原武志 吉岡真弓 シュレスタ ガウラブ 金子翔平 冨樫聡 内田洋平	産総研 産総研 産総研 産総研 産総研 産総研	佐賀県唐津平野における浅部地下地質構造解析および熱応答試験結果	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年5月
17	金子翔平 冨樫聡 シュレスタ ガウラブ アリフウィディア	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2）	日本地下水学会・2022年度春季講演会	2022年5月

	トモジョ 内田洋平	 産総研			
18	冨樫聡 内田洋平	産総研 産総研	見かけ熱伝導率推定手法の開発（その１）AI 解析に基づく地下水面等高線と流跡線の簡易推定	日本地下水学会・2022年度秋季講演会	2022年10月
19	石原武志 内田洋平 シュレスタ ガウラブ 金子翔平	産総研 産総研 産総研 産総研	沖縄県名護市で掘削したオールコアの層相と熱応答試験結果の比較	日本地熱学会令和4年学術講演会	2022年11月
20	田中智士	秋田大学	水井戸に適用可能な簡易型TRT装置のフィールド試験およびケーススタディ	日本地熱学会 令和4年学術講演会（東京）	2022年11月
21	石原武志 冨樫聡 内田洋平	産総研 産総研 産総研	Apparent thermal conductivity by geology obtained from thermal conductivity profiling	Grand Renewable Energy 2022 International Conference	2022年12月
22	田中智士	秋田大学	Field tests and numerical simulation of a novel thermal response test equipment for water wells	IGSHPA Research Track 2022 IGSHPA Research Track 2022	2022年12月
23	石原武志 冨樫聡 吉岡真弓 内田洋平	産総研 産総研 産総研 産総研	ケーブル方式熱応答試験で推定した見かけ熱伝導率の地質ごとの特徴	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023年5月
24	石原武志 内田洋平 冨樫聡	産総研 産総研 産総研	佐賀県唐津地域における地中熱性能評価のための地質・熱物性調査	日本地熱学会令和5年学術講演会	2023年11月
25	田中智士	秋田大学	大口径水井戸に適用可能な簡易型TRT装置のフィールド試験	日本地熱学会 令和5年学術講演会（岐阜）	2023年11月
26	井上順広	東京海洋大学	Heat Transfer Performance of Layered Microchannel Heat Exchangers	2024 ASHRAE Winter Conference, Chicago, UAS.	2024年1月
27	田中智士	秋田大学	Field Tests and Numerical Simulation of Thermal Response Test Equipment Applicable to Water Wells of Large Diameters	Stanford Geothermal Workshop 2024	2024年02月
28	賀方 長野克則 葛隆生	北大 北大 北大	簡易熱応答試験法の研究開発	空気調和・衛生工学会 北海道支部第58回学術講演会	2024年3月
29	野口凌吾 神山将太郎 地下大輔 井上順広 賀方 長野克則	海洋大 海洋大 海洋大 海洋大 北大 北大	大深度300m地中熱交換器の基本特性	空気調和・衛生工学会 北海道支部第58回学術講演会	2024年3月
30	井上順広 野口凌吾 地下大輔 佐川賢太郎	海洋大 海洋大 海洋大 富士通ゼネラ	積層型マイクロチャンネル熱交換器の伝熱性能	空気調和・衛生工学会 北海道支部第58回学術講演会	2024年3月

		ル			
31	藤井光	秋田大学	Development of thermal response test equipment applicable to water wells of large diameters	IGSHPA Research Track 2024	2024年05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	金子翔平 冨樫聡 石原武志	産総研 産総研 産総研	地中熱利用システム～足元にある再生可能エネルギー～	地質情報展2023きょうと－地質を知ってまもる古都の未来－	2023年9月

(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	学会等での発表・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	5 件	0 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	3 件	0 件	8 件	0 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	5 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

(※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	永井綾音, 大谷具幸	岐阜大学	室内浸透装置による還元井の目詰まり実験	Kansai Geo-Symposium 2022 論文集	有	2022 年 11 月
2	伊藤浩子, 大谷具幸, 三輪義博, 嶋田純也, 加藤裕将, 藤原照幸, 戸塚雄三, 水谷光太郎,北田奈緒子	地域地盤環境研究所、岐阜大、東邦地、KANSO テクス、テイコク	地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の高精度化に関する検討－三重県四日市市での調査事例－	Kansai Geo-Symposium 2022 論文集	有	2022 年 11 月
3	R. Permanda, T. Ohtani	岐阜大学	Thermal impact by open-loop geothermal heat pump systems in two different local underground conditions on the alluvial fan of the Nagara River, Gifu city, Central Japan	Energies, 6816	有	2022 年 12 月
4	藤原照幸, 大谷具幸, 三輪義博, 中江あすか,加藤裕将,伊藤浩子,水谷光太郎,北田奈緒子,平野浩一	地域地盤環境研究所、岐阜大、東邦地、KANSO テクノス	地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の高精度化に関する検討－京都府八幡市での調査事例－	Kansai Geo-Symposium 2023 論文集	有	2023 年 11 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	大谷具幸, 米田真由	岐阜大学	オープンループ方式地中熱利用ヒートポンプシステムにおける還元井の目詰まり速度	日本地熱学会令和3年学術講演会	2021年10月
2	米田真由, 相馬光志, 大谷具幸	岐阜大学	還元井の目詰まり物質の分析による目詰まり要因の解明	日本地熱学会令和3年学術講演会	2021年10月
3	正木一郎, 大谷具幸	岐阜大学	オープンループ方式の地中熱利用ヒートポンプシステムにおける地下水配管の配管抵抗	日本地熱学会令和3年学術講演会	2021年10月
4	R. Permanda, T. Ohtani	岐阜大学	Thermal Environmental Impact Evaluation of Open-Loop Geothermal Heat Pump Operating in Alluvial Fan of the Nagara River, Gifu city, Central Japan	日本地熱学会令和3年学術講演会	2021年10月
5	伊藤浩子, 藤原照幸, 濱田晃之, 北田奈緒子	地域地盤環境研究所	地盤情報データベースからみた被圧地下水の透水係数に関する予察的検討	Kansai Geo-Symposium 2021	2021年11月
6	伊藤浩子, 大谷具幸, 三輪義博, 嶋田純也, 加藤裕将, 戸塚雄三, 藤原照幸, 水谷光太郎,北田奈緒子	地域地盤環境研究所, 岐阜大学, 東邦地水,KANSOテクノス, テイコク	地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の高精度化に関する検討（速報）－三重県四日市市での調査事例－	日本地下水学会2022年春季講演会	2022年5月
7	米田真由, 大谷具幸	岐阜大学	目詰まり物質の分析による地中熱利用システムの還元井における目詰まり要因の推定	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年5月
8	伊藤浩子, 濱田晃之, 藤原照幸, 北田奈緒子,大谷具幸	地域地盤環境研究所, 岐阜大学	大阪地域における被圧地下水の透水係数に関する予察的検討－地中熱利用の観点から－	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年5月
9	大谷具幸, 米田真由	岐阜大学	オープンループ方式地中熱利用システムにおける還元井の目詰まり形成の進展	令和4年度日本応用地質学会研究発表会	2022年10月
10	濱田晃之, 藤原照幸, 北田奈緒子,伊藤浩子,大谷 具幸,戸塚雄三,鈴木優太	地域地盤環境研究所, 岐阜大学, テイコク	地盤情報データベースからみた被圧地下水の透水係数に関する予察的検討（その2）	Kansai Geo-Symposium 2022	2022年11月
11	大谷具幸, 伊藤浩子, 藤原照幸, 水谷光太	岐阜大学, 地域地盤環境研究所, テイコク,	小口径ボーリング孔を用いた砂層における各種透水係数推定手法の比較検討	日本地熱学会令和4年学術講演会	2022年11月

	郎,北田奈緒子,戸塚雄三,三輪義博,嶋田純也,加藤裕将	東邦地水,KANSOテクノス			
12	永井綾音,大谷具幸	岐阜大学	地下水透水実験による目詰まり現象の解明	日本地熱学会令和4年学術講演会	2022年11月
13	R. Permanda, T. Ohtani	岐阜大学	Numerical Simulation on Regional Aquifer Thermal Energy Storage in the Alluvial Fan of the Nagara River, Japan	日本地熱学会令和4年学術講演会	2022年11月
14	大谷具幸	岐阜大学	最近の地中熱利用の動向と普及拡大に向けた技術開発の取り組みについて	地下水循環型地中採放熱システム工法協会令和5年度特別講演会	2023年6月
15	大谷具幸	岐阜大学	オープンループ方式地中熱利用の還元井の目詰まり速度	日本応用地質学会中部支部令和5年度技術交流会	2023年7月
16	大谷具幸,R. Permanda,米田真由,永井綾音,三輪義博,正木一郎	岐阜大学、東邦地水、ゼネラルヒートポンプ工業	濃尾平野におけるオープンループ方式地中熱利用の研究開発	日本地熱学会令和5年学術講演会	2023年11月
17	大谷具幸,近藤武士,伊藤浩子,戸塚雄三	岐阜大学,日建設計総合研究所,GRI財団,テイコク	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開発	日本地熱学会令和5年学術講演会	2023年11月
18	椎名優貴,永井綾音,青山大晟,小島綾悟,大谷具幸	岐阜大学	地下水透水実験による還元井の目詰まり現象の解明	日本地熱学会令和5年学術講演会	2023年11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

(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

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	学会等での発表・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	6 件	3 件	0 件
2022FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	7 件	1 件	0 件
2023FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	4 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

(※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

【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
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年学術講演会（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
15	谷口聡子	新エネルギー部	脱炭素社会に向けた再エネ熱の導入拡大の取組	福島県再生可能エネルギー関連産業推進研究会 令和３年度 第１回エネルギーネットワーク分科会	2021年9月21日
16	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 Webセミナー 「持続可能な社会を目指した建築設備」	2021年10月
17	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用に関わるNEDOの取り組み	豊田自動織機大府工場 “再生可能エネルギー熱利用空調システム”お披露目式	2021年12月16日
18	大竹正巳	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」の概要	第16回再生可能エネルギー世界展示会	2022年1月27日
19	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用の技術開発	日本太陽エネルギー学会 100%再生可能エネルギー部会・太陽熱部会 「再生可能熱エネルギーの利用促進に向けたビジョンと取り組み」	2022年2月28日
20	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用技術開発に関わるNEDOの取組み	地中熱利用促進協会 2022年度地中熱関連補助事業説明会	2022年3月11日
21	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用システムの普及拡大に向けた取組み	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会第18回研究発表会	2022年5月27日
22	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用システムの普及拡大に向けたNEDOの取組み	第２回青森県地中熱普及プログラム検討委員会	2022年10月27日
23	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用技術開発に関わるNEDOの取組み	第3回全国地中熱フォーラム「地中熱・再エネ熱セミナー」	2023年2月2日
24	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用技術開発に関わる	青森県再生可能エネルギー産業ネットワーク会議	2023年2月17日

			NEDOの取組	熱利活用普及拡大フォーラム	
25	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用に関わる技術開発 -SDGs対応型施設園芸の実現に向けた再エネ熱の貢献-	SDGs対応型施設園芸事例普及事業シンポジウム	2023年2月28日
26	大竹正巳	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用技術開発に関わるNEDOの取組み	地中熱利用促進協会主催2023年度地中熱関連補助事業説明会	2023年3月14日
27	大竹正巳	新エネルギー部	NEDOの地熱・再エネ熱分野でのカーボンニュートラルに向けた技術開発	秋田大学国際資源学教育研究センター第18回シンポジウム 「カーボンニュートラル技術の動向と将来展望」	2023年3月20日
28	嵯峨山巧	新エネルギー部	NEDO による地中熱利用システムの低コスト化・高度化技術開発	日本地熱学会令和5年岐阜大会	2023年11月14～16日
29	上坂　真	新エネルギー部	構想するNEDO次期プロジェクト「再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発事業」のご紹介	第４回全国地中熱フォーラム	2023年12月13～15日
30	上坂　真	新エネルギー部	太陽熱利用・地中熱利用・地熱発電NEDOの取り組みのご紹介	第４回　東京都再エネ実装専門家ボード	2024年2月9日
31	嵯峨山巧	新エネルギー部	再生可能エネルギー熱利用の技術開発にかかる2024年度NEDO新規プロジェクトの紹介	2024年度地中熱関連補助事業説明会	2024年3月6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「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	2021 年 7 月 1 日

				（株））	
8	大竹正巳	新エネルギー部	地中熱 冷暖房に活用 コスト低減めど	東京新聞（2023 年 1 月 21 日発行）	2023 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

２．分科会公開資料

次ページより、推進部署・実施者が、分科会において事業を説明する際に使用した資料を示す。

資料5-1

「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

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

【PMgr】 新エネルギー部
主査　谷口　聡子　（2019年4月～2021年9月）
主査　大竹　正巳　（2021年10月～2023年9月）
主幹　上坂　真　（2023年10月～2024年3月）

活用される技術戦略：
再生可能エネルギー熱

プロジェクトの概要

「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。本事業では、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に向けた技術開発に取り組む。

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、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、自立的な再生可能エネルギー熱利用の普及に重点を置いた、トータルコスト低減に資する研究開発を推進する。また、NEDO、業界団体、研究開発実施者とで連携し、テーマ横断的に技術基準や評価技術の普及方策に取り組む。さらに、導入拡大の一助となる共通基盤技術の開発を行い規格化を目指す。

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。

想定する出口イメージ等	
アウトプット目標	2023年度までに、トータルコスト20%以上低減（投資回収年数14年以下）させる、及び2030年までに同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）を行動計画にまとめる。また、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。
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。
出口戦略（実用化見込み）	ZEB等への適用も視野において、コンソーシアム体制で自立的な再生可能エネルギー熱利用の普及に重点を置いた研究開発を推進し、普及方策を行動計画として策定する。NEDOでは、関係省庁、業界団体と定期的に情報交換し、ロードマップを作成する。また、共通基盤技術の規格化を目指す。 ・国際標準化提案：無 ・第3者提供データ：無

既存プロジェクトとの関係

以下の既存事業の成果を活用する等、各事業の実施部と棲み分け・連携を図る。

・NEDO「再生可能エネルギー熱利用技術開発事業」（2014～2018年度）
コストダウンを目的とした地中熱利用技術およびシステムの開発、並びに、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に取り組むもの。

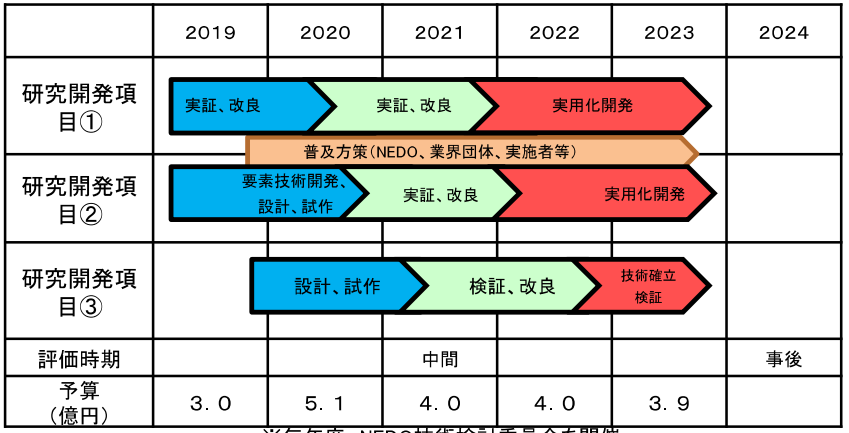
・NEDO「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」（2015～2022年度）
環境中に排出される膨大な未利用熱エネルギーを削減・回収・再利用し、産業・運輸・民生分野における省エネ化を目指すもの。熱電変換やヒートポンプ技術等の個別技術の開発と一体的な熱マネージメント技術の開発を実施。

・NEDO「太陽熱エネルギー活用型住宅の技術開発」（2011～2016年度）
住宅の空調・給湯エネルギーを5割以上削減することを目指し、既存住宅・新築住宅問わず太陽熱エネルギーの有効活用に寄与することのできる断熱・蓄熱材料と戸建住宅用太陽熱活用システムの技術開発及びその実証を実施。

事業計画

期間：2019～2023年度（5年間）
総事業費（NEDO負担分）：20億円（予定）（委託、1／2助成 ）
2020年度：5．1億円（需給）、2020年度公募予定時期：2020年3月

＜研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模＞



※毎年度、NEDO技術検討委員会を開催

報告内容

1．意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2．目標及び達成状況

(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

3．マネジメント

(1)実施体制
※受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

ページ構成

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産・標準化：オープン・クローズ戦略
- 知的財産管理

- 実用化・事業化の考え方と
  アウトカム目標の設定及び根拠
- アウトカム目標の達成見込み

※費用対効果

- 前身事業との関連性
- 本事業における研究開発項目の位置づけ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 研究開発成果の副次的成果等
- 特許出願及び論文発表

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 研究データの管理・利活用

※予算及び受益者負担

- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：事前/中間評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み

＜評価項目１＞意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※　本事業の位置づけ・意義

（１）アウトカム達成までの道筋

（２）知的財産・標準化戦略

報告内容

1．意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2．目標及び達成状況

(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

3．マネジメント

(1)実施体制
※受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

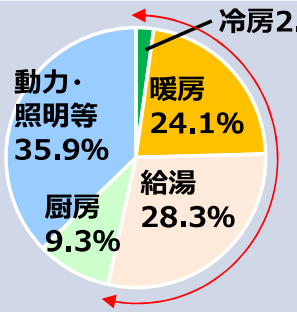
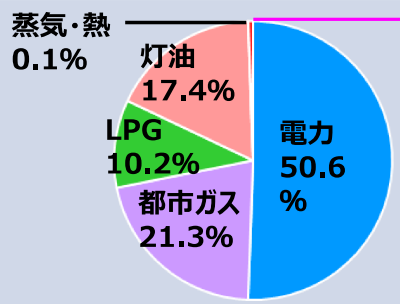
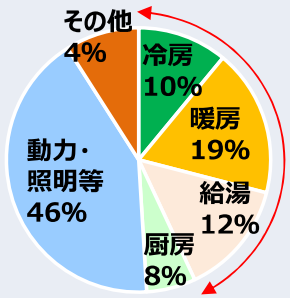
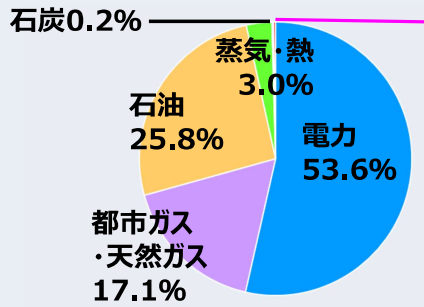
ページ構成

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産・標準化：オープン・クローズ戦略
- 知的財産管理

事業の背景・目的・将来像

○熱の直接利用は変換ロスが小さく、エネルギーの有効活用に繋がる。

熱需要は大きい　→ が、しかし →　再エネ熱の利用割合は小さい

	用途別エネルギー消費量（2016年度）	エネルギー源（2016年度）
家庭部門 1,918 PJ	 熱需要 55%	 再エネ熱 0.5%
業務他部門 2,135 PJ （事務所・ビル、学校、病院、ホテル・旅館、劇場・娯楽場等）	 熱需要 42%	 再エネ熱 0.2%
	出典：エネルギー白書（2018）	出典：エネルギー需給実績（2016年度）

再エネの利用拡大には電力だけではなく熱の利用も重要

政策・施策における位置づけ

◆政策的位置付け

■長期エネルギー需給見通し(2015年7月)

・多様なエネルギー源の活用　再生可能エネルギー熱を含む熱利用の面的な拡大など地産地消の取組を推進する。
・2030年までの再生可能エネルギー熱利用の導入見通し･･･**1,341万kL**

■第5次エネルギー基本計画(2018年7月)

・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。
・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なると考えられる。
・こうした熱源がこれまで十分に活用されてこなかった背景には、利用するための設備導入コストが依然として高いという理由だけでなく、設備の供給力に比して地域における熱需要が少ないなど、需要と供給が必ずしも一致せず事業の採算が取れないことや、認知度が低く、こうした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も大きな要因であり、こうした熱が賦存する地域の特性を活かした利用の取組を進めていくことが重要である。

政策・施策における位置づけ

◆再エネ熱の親和性

■2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2020年12月)

・⑫**住宅・建築物産業**：【今後の取組】**新たなZEH・ZEBの創出および規制活用**

評価制度の確立を通じた省エネ住宅・建築物の長寿命化の推進

・⑭**ライフスタイル関連産業**：【今後の取組】**普及のためのコスト低減、実証にとどまらないビジネスの確立**

ZEH・ZEB、需要側機器、地域の再生可能エネルギー、EV/FCV等を組合せ、最適化するための多種多様な機器等を自律制御や遠隔制御する手法の確立や市場形成。需要近接型再エネ電気・熱の技術の実証・社会実装、普及を図る。

【出典】資源エネルギー庁

■地域レジリエンス・脱炭素化を同時実現する避難施設等への自立・分散型エネルギー設備等導入推進事業(2021年)

昨今の災害リスクの増大に伴い、災害・停電時の避難施設等へのエネルギー供給等が可能な再エネ設備等を整備し、併せて避難施設等への高機能換気設備の導入の推進や感染症対策を踏まえた地域の防災体制構築を推進することにより、地域のレジリエンス（災害や感染症に対する強靭性の向上）と脱炭素化を同時実現する地域づくりを推進。

【出典】環境省

再エネ熱の役割

・再エネ熱のZEB・ZEHへの導入（現在は省エネとして）

・再エネ熱利用の大規模化：地方創生、地域レジリエンス、 地域熱供給

政策・施策における位置づけ

■第6次エネルギー基本計画(2021年10月)

・熱エネルギー源について
  ・・ **生活スタイルや地域の実情に応じた柔軟な対応が可能となる取り組みが重要**
  ・・ 地域の特性を生かした太陽熱・地中熱・バイオマス熱・雪氷熱・温泉熱・海水熱・河川熱・下水熱等の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重要

・再生可能エネルギー熱について
  ・・ 熱供給設備の**導入支援**を図る
  ・・ **複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行う**
  ・・ **再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指す**

⇒ 本事業で構築を目指す**面的熱利用システムは地域社会の脱炭素化に寄与**すると共に、2050年のカーボンニュートラルに向けて再エネ熱の存在価値を高めることに繋がる

技術戦略上の位置づけ（2014.12　エネルギー関係技術開発ロードマップ）

13. 再生可能エネルギー熱利用

当該技術を必要とする背景

○エネルギー消費に占める冷暖房、給湯等の熱需要の割合は、業務部門で43%、家庭部門で57%と大きい。
○再生可能エネルギー熱は、再生可能エネルギー電気と並んで重要な地域性の高いエネルギーである。需要と結びつけることにより、経済性も踏まえ効果的に活用することが重要。
○しかし、熱利用設備はイニシャルコストやランニングコストが高く、低コスト化、高効率化に向けた技術開発が必要。

当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

○地中熱利用では、我が国の地盤に適合した掘削手法・技術、熱交換器等の開発により導入コスト削減を目指すと共に、構成要素を統合したシステムの最適設計技術開発により運用コスト低減を目指す。
○雪氷熱利用では、断熱・採熱などの要素技術及び、都市除排雪利用技術等の開発によりコスト低減を目指す。
○太陽熱利用では、太陽熱冷暖房システムについては技術的にはほぼ確立されているが、更なるコスト低減のための高効率化が必要。

導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

○熱エネルギーは送電可能な電気と異なり、需要と供給が地理的に近接していることが必要。
○熱利用システムの標準化やシステムインテグレータを担う人材の育成の推進。
○熱の計量方法の確立と、環境価値を経済価値として取引可能なグリーン熱証書制度の普及推進。
○普及のための認知度向上。

技術ロードマップ



備考（海外動向、他の機関における取組）

○地中熱ヒートポンプは、熱需要が潤沢な北欧を中心に家庭用・業務用の暖房市場において一定のシェアを持つ。
○欧米の地盤は日本より掘削しやすく、地中熱システム設置は日本より安価に導入可能である。

外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）

◆海外における再エネ熱関連のロードマップ策定状況

国名	名称	公表時期	数値目標および策定概要
米国	Geo Vision Roadmap	2019	①地中熱ヒートポンプシステムの設計及び設置の標準化 ②地域冷暖房システムの市場導入拡大 ③地中熱の経済性を向上する条件の特定 ④ヒートポンプの熱交換メカニズム、システム設計の改善
ドイツ	Innovations for the energy transition, 7.Energy research program	2018	地中熱を利用した冷暖房設備の拡大が将来のエネルギー供給にとって不可欠な戦略的目標
オランダ	Master Plan Geothermal Energy in the Netherlands	2018	熱セクターにおいて2030年までに2千万ｔCO_2、2050年までにさらに3.6千万tCO_2の削減が必要 イノベーションが必要な分野：**地中熱と他熱源の連携や蓄熱利用（帯水層蓄熱；ATESなど）**
オーストリア	Mission 2030 Austrian Climate and Energy Strategy	2018	冷暖房需要の削減および化石燃料による暖房の再エネへの転換が必要。 →高効率地域熱供給、建築規則の変更 2030年までに200万tCO_2削減（2016年比） 2045年頃までにはさらに150万tCO_2削減
フランス	Geothermal energy Strategic Roadmap	2011	2020年までに再エネ熱を1千万石油換算トン増加（2006年比）

・海外では、再エネ熱の具体的な数値目標を提示。

（出典）「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」（NEDO，2019年）を基に作成

外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）

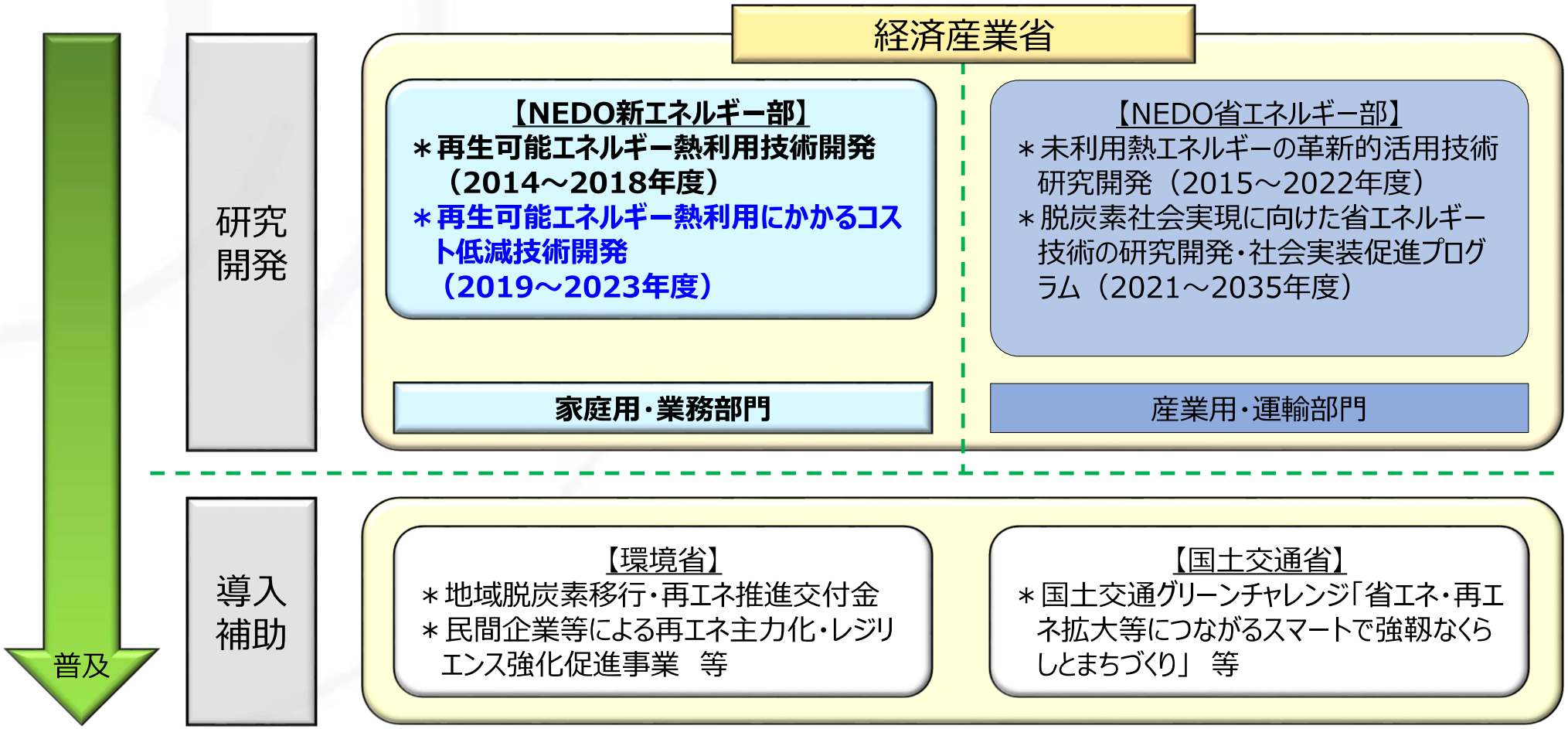
◆国内技術の優位性

＊クローズド方式　　：ボアホール、基礎杭、水平型、シート状、土留壁等
オープンループ方式：揚水・還元型、帯水層蓄熱（ATES）、タンク式等

分類	要素	強み
要素技術	機器	少数であるが、地中熱交換器、ヒートポンプ機器共に国内で生産・販売。
	制御	海外に比べ、他機器との連動や細やかな制御が可能。
	掘削	NEDO事業で地中熱交換井専用の掘削機を開発（自動化、コンパクト化など）。
	設計	地域や地質条件に応じて様々な熱交換方式*が採用可能。 地域によっては適地マップも存在。
地域条件	地下条件	国内には様々な地下条件（地質、地下水）が存在しており、地域・場所に適した効果的な地中熱が利用可能。
	気候条件	寒冷地：暖房過多であり、有効。融雪にも適用可能。 温暖地：冷暖房に加え、給湯利用に適用可能。

・国産の機器設備で地中熱の導入が可能。
・国内の地域・地下条件を活かし、場所に応じた効果的な地中熱を導入可能。

他事業との関係


普及
研究開発
導入補助
経済産業省
【NEDO新エネルギー部】
＊再生可能エネルギー熱利用技術開発（2014～2018年度）
＊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（2019～2023年度）
【NEDO省エネルギー部】
＊未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発（2015～2022年度）
＊脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム（2021～2035年度）
家庭用・業務部門
産業用・運輸部門
【環境省】
＊地域脱炭素移行・再エネ推進交付金
＊民間企業等による再エネ主力化・レジリエンス強化促進事業　等
【国土交通省】
＊国土交通グリーンチャレンジ「省エネ・再エネ拡大等につながるスマートで強靭なくらしとまちづくり」　等

他事業との関係

2011年　再生可能エネルギー熱利用計測技術実証事業（2011-2013）

熱の定量化・経済価値化のための熱量計測方法の確立（太陽熱・地中熱・雪氷熱）

2014年　**再生可能エネルギー熱利用技術開発（2014-2018）**

・コストダウンを目的とした各要素技術開発
・ポテンシャル評価技術開発
・トータルシステムの高効率化
（太陽熱・地中熱・温泉熱・雪氷熱・バイオマス熱）

20テーマ、57事業者（43億円）

2019年

地中熱は15テーマ

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　（2019-2023）

・自立的な再エネ熱の普及に重点を置き、システム全体に関わるコンソーシアム体制での実用化技術開発、および普及方策の策定
・地中熱利用システム設計の最適化に必要な共通基盤技術の開発
・行動計画およびロードマップの策定

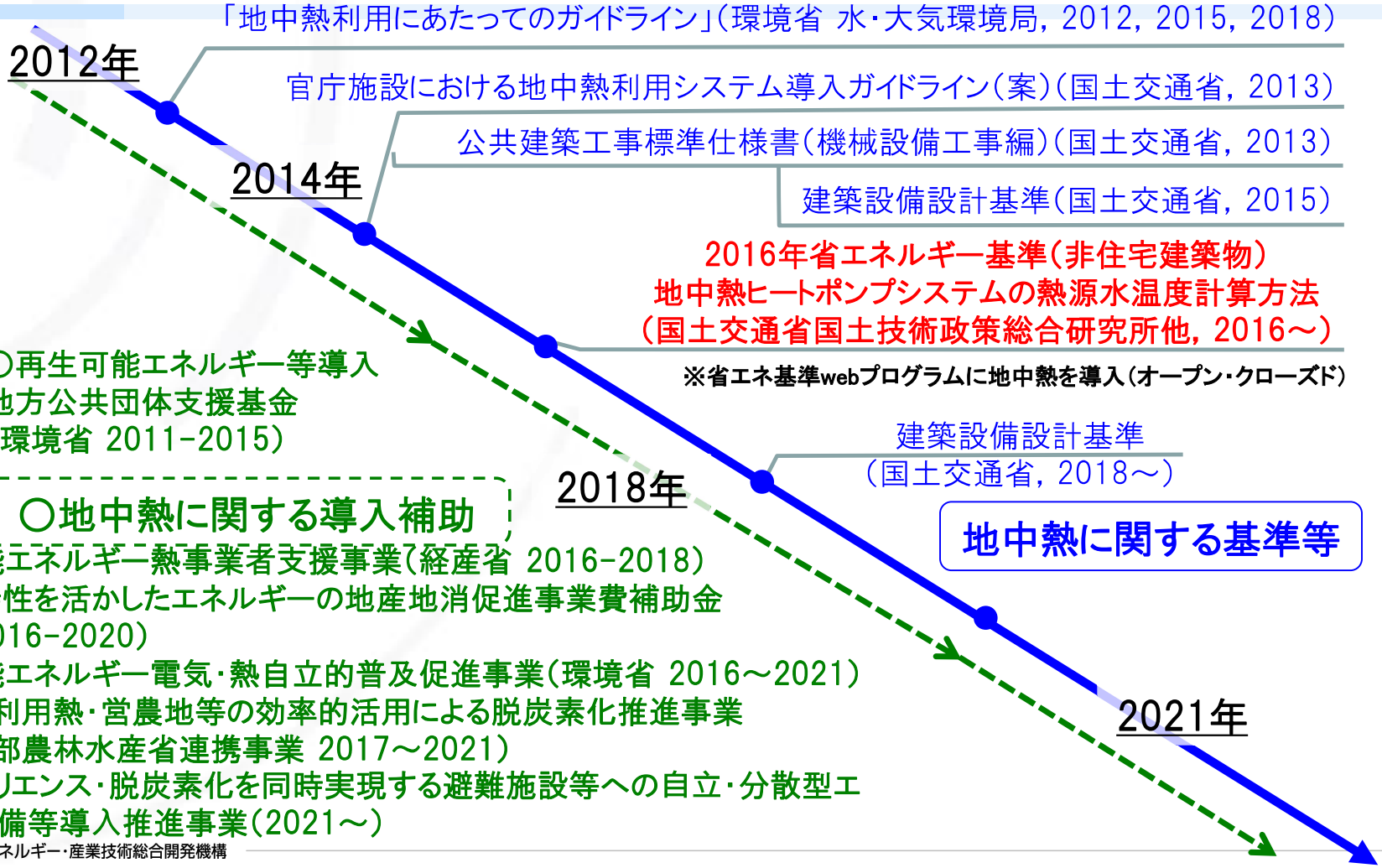
8テーマ、22事業者（約15億円）

2023年

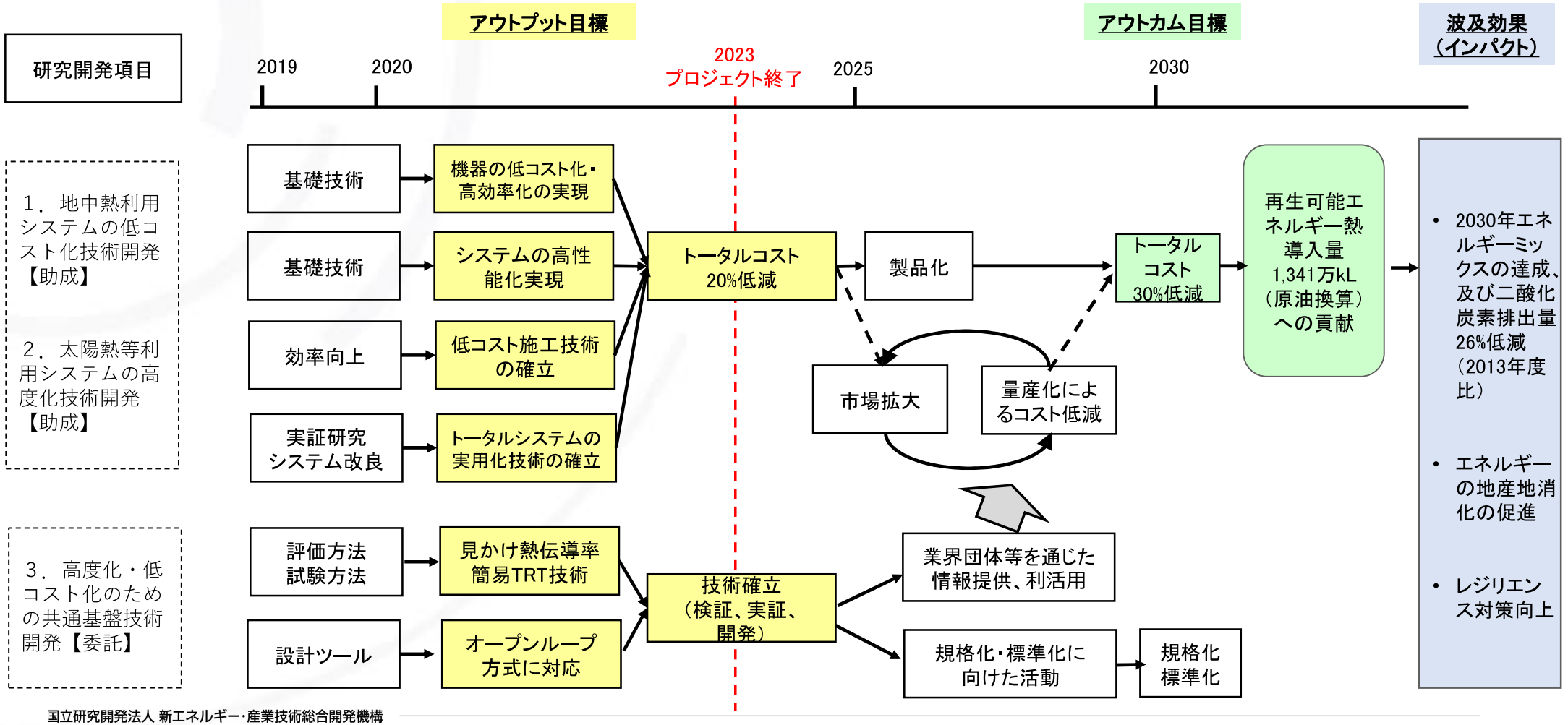
2030年

他事業との関係

◆地中熱における国内の基準、導入補助等



アウトカム達成までの道筋



オープン・クローズ戦略

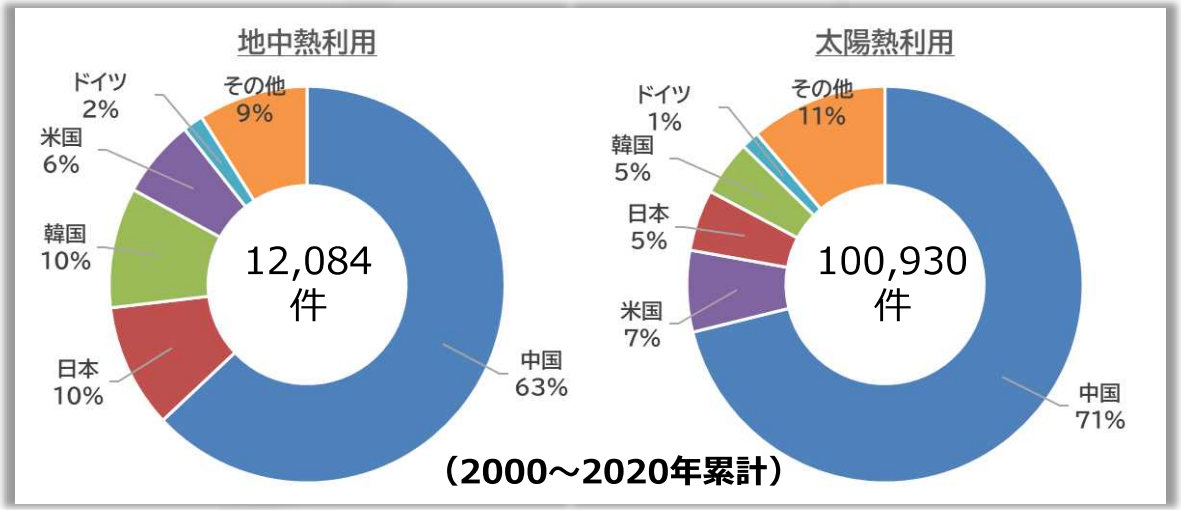
【研究開発項目1.「地中熱利用システムの低コスト化技術開発」、及び2.「太陽熱等利用システムの高度化技術開発」】

- 再エネ熱利用システムの製品化に直結する開発成果は特許取得により権利化を図る。なお、**実証中心であり、各実施者に応じてオープン及びクローズ戦略を選択**。

【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」】

- 研究開発成果は**広く裨益する内容であり、オープン領域**。開発成果は、業界団体を通じた情報提供など、事業後もアクセス可能な状況を確保。
- 実施者間での知的財産の取扱い等（事業終了後の権利・義務、体制変更への対応、研究データの利用許諾、、技術情報の流出防止）は、**「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」**に従って、コンソーシアム毎に知財運営員会を設置し、NEDO及び事業者間で協議の上、決定する。

図＜再エネ熱の国別特許出願状況＞



表＜オープン／クローズ戦略の考え方＞

	非競争域	競争域
公開	● 研究開発項目3（評価方法、試験方法方法、設計ツール） 成果は広く公開	● 研究開発項目１、２（ヒートポンプ、熱交換器、掘削工法開発 等） 特許化
非公開		● 研究開発項目１、２（ヒートポンプ、熱交換器、掘削工法開発 等） ノウハウとして秘匿

知的財産管理（研究開発項目３：委託事業）

●知的財産権の帰属

委託事業と補助・助成事業

項目	委託（共同研究含む）	補助・助成
事業の主体	NEDO	事業者
事業の実施者	委託先	事業者
取得資産の帰属	NEDO （約款20条1項該当）	事業者
事業成果 （知的財産権）の帰属	NEDO バイ・ドール条項遵守の 場合は委託先帰属（注）	事業者
収益納付	なし	あり

（注）実証事業及び調査事業の委託では、約款上バイ・ドール条項に関する規定はない。

NEDO Web 掲載「知的財産権に関する説明資料（2022年７月版）抜粋

➤ 知的財産運営委員会の設置

・コンソーシアム内はもとより、委託先－再委託先（共同研究先）間で知財運営委員会を組織。

➤ データマネジメントプランの運用

・検証を行うためのデータは各事業者で作成したデータマネジメントプランにて管理。

＜評価項目２＞目標及び達成状況

（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

報告内容

ページ構成

1．意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2．目標及び達成状況

(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

- 実用化・事業化の考え方と
  アウトカム目標の設定及び根拠
- アウトカム目標の達成見込み

※費用対効果

- 非連続ナショプロに該当する根拠
- 前身事業との関連性
- 本事業における研究開発項目の位置づけ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 研究開発成果の副次的成果等
- 特許出願及び論文発表

3．マネジメント

(1)実施体制
※受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

「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）をいう。【研究開発項目１、２、３】

「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）に貢献することをいう。【研究開発項目１、２】

※研究開発項目１，２（助成事業）については、開発期間終了後すぐに「事業化」することを意識しながら開発を進めている。
※研究開発項目３（委託事業）については、大学・研究機関を対象としているため、「実用化」・規格化を目指す。

実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠

◆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。

【設定根拠】

一般消費者が許容可能な投資回収年数に関するアンケート結果※によると、**「投資回収年数が8年以内であれば地中熱HPは空調機器の選択肢候補になる」の回答が6割。**この結果を基づき、2030年度までに同30%以上低減（投資回収年数８年以下）の目標を設定した。

※注）＜地中熱に関する許容可能な投資回収年数に対するアンケート結果（出典：平成26年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017））＞

アウトカム目標の達成見込み

◆アウトカム目標については、以下の観点からの達成状況を踏まえ、総合的に達成できる見込みである。

観点	達成状況	課題
対象分野における2030年の見通し	比較的小規模需要先を対象とした分野では、地中熱及び太陽熱等の利用による低コスト化、高度化システムの実証事業を通じ、**トータルコスト２０%以上削減を達成**。 今後、こうした事例や事業者が策定した行動計画の実行を通じ、民間主導の技術開発投資、量産効果の発揮による更なるコスト低減、投資回収年数の短縮の実現といった**市場環境の好循環化**が図られることで、**トータルコスト３０%以上低減（投資回収年数８年以下）の実現**が見込まれる。	今後の再エネ熱の効率的普及に向けては、**地域特性を活かした熱の面的利用の仕組みづくりが重要**であり、更なる**スケールメリットが得られる利用方法の実証、導入**の事例が求められる（第６次エネルギー基本計画）。

費用対効果

◆実施の効果　（費用対効果）

【考え方】長期エネルギー見通し（2015年）での再エネ熱導入量試算から、主要熱源の市場規模を推計

2030年度までの再エネ熱導入量＝**１,３４１万kL**（原油換算）**＝520PJ**

うち、太陽熱（55万kL）と地中熱（134万kL：全体の1/10と仮定）の導入量　＝　**１８９万kL**

に関する**市場規模**を**投資効果**として、以下に試算した。

■投資効果相当：　市場規模予測(2030年)　**2,680億円/年**

<内訳>　太陽熱：227億円、地中熱：2,453億円

※都道府県別の熱需要（冷房・暖房・給湯別、住宅・業務用建物別）から

将来人口推移、住宅断熱性能等を想定し、試算。

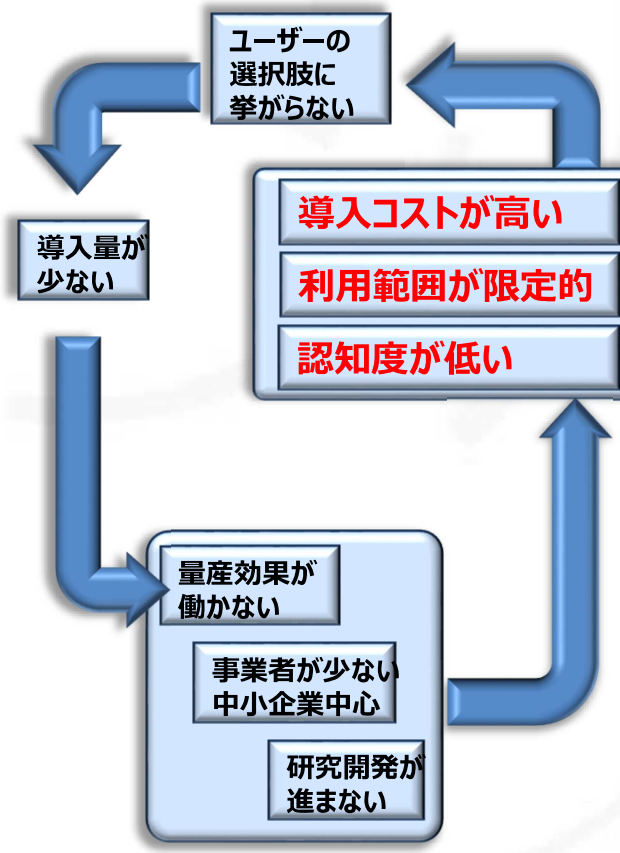
■投入額相当：　プロジェクト費用の総額　15億円

前身事業との関連性

前身事業や事前評価等	取組の成果とその評価
前身事業の事後評価書（再生可能エネルギー熱利用技術開発）	・・・普及・波及のためには、建物、地域等の適用先における**要件やコスト低減のシナリオを明確にし、実フィールド利用に基づくシステム性能や導入効果の検証が必要**である。また、他の適切な技術の選択や、住宅・建物のエネルギーマネジメントシステムとの連携などの高度化も重要と考えられる。将来のマーケットで生き残るために、削減可能コストや市場規模、派生的効果を含めた経済的効果をより慎重に予め評価し、**継続的に事業展開**する事が望まれる。 ⇒ 前身事業では、多様な再エネ熱の実証事業（委託）を実施したが、継続的な事業展開を促進するため、**地中熱及び太陽熱を利用した実証事業（助成）を、研究開発項目１，２として設定**した。
本事業の事前評価書	・・・**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。 ⇒ 研究開発項目１，２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**することを基本計画に明記した。 また、最終目標として、具体的なロードマップ作成のアウトプット目標として、２０３０年までにトータルコストを３０％以上低減するための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こと、**を基本計画に明記した。

本事業における研究開発項目の位置づけ

～当時の課題～

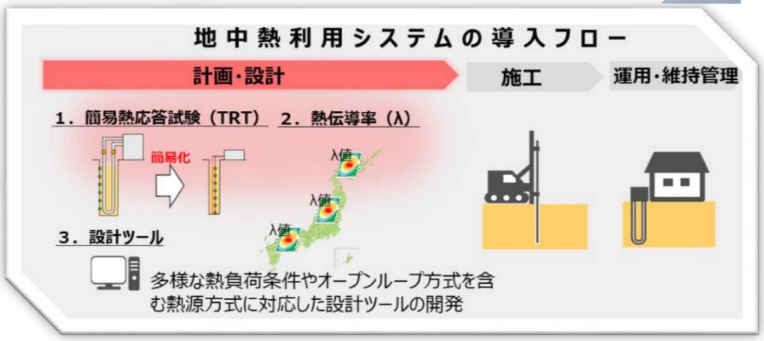


出典： Foresight Vol.41「再生可能エネルギー熱利用分野の技術戦略策定に向けて」(NEDO TSC, 2020)を基にNEDO TSC作成（2023）

- 高い導入コスト、低い認知度、限られた適用用途を要因として、導入が進まない悪循環を形成。
- 技術開発の方向性として、個別再エネ熱利用のコスト低減や用途の拡大が考えられる。

技術開発
・個別熱利用技術のコスト低減
・用途拡大

- 従来よりも簡易なTRT手法やＴＲＴに代わる指標として、見かけ熱伝導率を推定する技術の必要性。



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

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

特に地中熱

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

アウトプット（終了時）目標の設定及び根拠

研究開発項目	最終目標（2024年３月）	根拠
（１）地中熱利用システムの低コスト化技術開発【助成】 （２）太陽熱等利用システムの高度化技術開発【助成】	・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）	・一般消費者が許容可能な投資回収年数に関するアンケート結果によると、**「投資回収年数が8年以内であれば地中熱HPは空調機器の選択肢候補になる」**の回答が6割。この結果を基づき、2030年度までに同30%以上低減（投資回収年数８年以下）の目標を設定した。 ・アウトカム目標で設定した2030年までに30%削減からバックキャストし、また、現在の地中熱ヒートポンプの導入量が非常に小さいことを踏まえると、**今後は技術開発によるコスト低減に加え、量産効果や学習効果によるコスト低減の寄与も大きいと想定される**ことから、技術開発の目標としては、トータルコストで20%程度の削減とするのが妥当である。
	・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。	・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関係する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、研究開発を推進するとともに、ＮＥＤＯ、業界団体、研究開発実施者とで連携**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が必要であり、その一環として、テーマ毎に行動計画をまとめておくことが必要である。

アウトプット（終了時）目標の設定及び根拠

研究開発項目	最終目標（2024年３月）	根拠
（３）高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発【委託】	・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、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。	・地中熱利用の普及における課題としては、認知度が低く、導入検討のための情報が不足していること、専門家の不足などが挙げられるとともに、**地中熱利用ポテンシャル評価のための地質や地下水流れ、気候といった情報の整理、エネルギー消費やランニングメリットに関する定量的な評価等も課題**である。 ・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。** ・そのため、地中熱利用システムの設計フェーズにおいて、設計条件の最適化、多様性を考慮した設計ツール開発、手法の規格化等の課題解決のため、**評価技術や試験方法の技術開発による規格化等が必要**である。 ・従来よりも簡易なTRT手法やＴＲＴ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。

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	目標 （2024年3月）	成果（実績） （2024年3月）	達成度（見込み※）	達成の根拠／解決方針
（1）地中熱利用システムの低コスト化技術開発【助成】 （2）太陽熱等利用システムの高度化技術開発【助成】	・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。	（1）4テーマ 1-1）概ね〇、一部△× 1-2）すべて〇 **1-3）すべて◎** 1-4）概ね〇、一部◎ （2）2テーマ **2-1）概ね〇、一部◎** 2-2）すべて〇	総合判定 〇 2024年3月までに達成	・各テーマで設定した目標を概ね達成と評価 ・事業化の見通し（行動計画）については、実績報告書にその内容を盛り込む
（3）高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発【委託】	・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、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。	（3）2テーマ 3-1）すべて〇 3-2）すべて〇	総合判定 〇 2024年3月までに達成	・各テーマで設定した目標をそれぞれ達成と評価

◎　大きく上回って達成、〇達成、△一部未達、　×未達

研究開発成果の副次的成果等

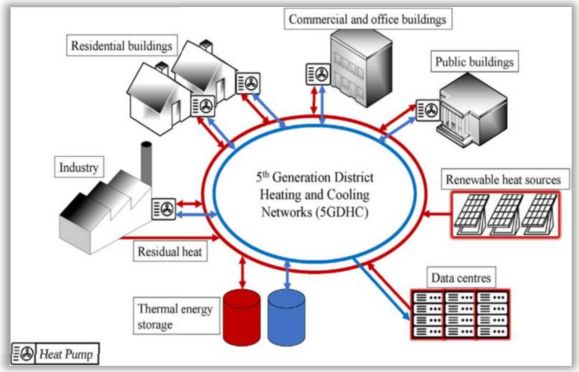
- 自立分散型、地域分散型のエネルギーシステムによるレジリエンス対策向上
- エネルギーの地産地消化の促進
- 熱エネルギー供給を担う人材の育成　**※人材育成講座の実施**
- 地域資源の利活用による地域経済の発展、地域における新規事業の創出
- 発展途上国を中心とした海外への導入

アウトカム目標



「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」





※出典（上）経済産業省 資源エネルギー庁 ホームページ
（中）Meibodi&Loveridge,2022,Energy,Vol.240,122481
（左）イラストボックス 自然災害

研究開発成果の副次的成果等

「NEDOプロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開　再生可能エネルギー熱の普及拡大に向けた人材育成講座」（2022~2023年度）
【⇒　中間評価指摘⑦への対応】

本プロジェクト事業者を含む再生可能エネルギー熱利用の専門家が登壇、プロジェクトの成果を含めた下記内容で開催。6回のプログラムで **合計約470名が参加** した。

● 再生可能エネルギー熱オンライン講座（4回）

- 基礎編：8種類の再エネ熱+地熱、蓄熱、排熱について現状と将来展望
- 応用編：太陽熱、地中熱、木質バイオマス熱についてシステム導入・設計・施工メンテナンス
- 設計編（2回）：地中熱設計ツールを用いた設計講座

● 再生可能エネルギー熱オンラインシンポジウム（2回）

- 熱源機器の普及、地域での再エネ熱の展開、普及課題とネットワーク構築
- 再エネ熱の複合利用、地域での再エネ熱展開（採算性）



再エネ熱利用促進協議会の発足（2024.4.1）

今後も継続的な活動が行われる予定

研究開発成果の副次的成果等

○プロジェクト全体
再生可能エネルギー熱を用いたシステムを構築することにより、以下の成果が期待される。

・エネルギー・CO2排出量の削減（2030年・2050年目標への寄与）

・環境への社会貢献（事業者のSDGｓ目標やCSRへの寄与）

・**ZEB・ZEH達成への貢献**（グリーン成長戦略への寄与）

ZEB・ZEH達成への貢献事例

ホーム ＞ ニュース ＞ ニュースリリース 一覧 ＞ 国内初、高効率帯水層蓄熱システムのZEB適応性を検証

国内初、高効率帯水層蓄熱システムのZEB適応性を検証

―地下水熱エネルギーの有効活用により、建物のエネルギー収支ゼロを目指す―

2021年7月6日
NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）
日本地下水開発株式会社

NEDOは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取り組んでおり、このたび同事業で日本地下水開発（株）は日本で初めて高効率帯水層蓄熱によるトータル熱供給システムを、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB）に適応させる実証施設を山形県山形市に整備しました。

実証試験とモニタリングによりデータを収集し、システムの最適化設定によってさらなるコストダウンに取り組みます。これにより本システムのZEBへの適応性を向上させ、地下水熱エネルギーの有効活用による建物のエネルギー収支ゼロを目指します。



図1　実証施設の全景

特許出願及び論文発表

		2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	計
特許出願	国内	0	2	0	0	2	4
	外国	0	0	0	0	0	0
	PCT出願	0	0	0	0	0	0
論文	査読付き	0	3	1	7	8	19
	その他	0	1	0	0	2	3
その他	受賞実績	0	0	0	0	0	0
	研究発表・講演	10	30	39	35	34	148
	新聞・雑誌等への掲載	6	17	16	5	5	49
	展示会などへの出展	1	4	4	7	9	25

※2024年3月31日現在

＜評価項目３＞マネジメント

（１）実施体制

※　受益者負担の考え方

（２）研究開発計画

報告内容

ページ構成

1．意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2．目標及び達成状況

(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

3．マネジメント

(1)実施体制
※受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 研究データの管理・利活用

※予算及び受益者負担

- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：事前/中間評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み

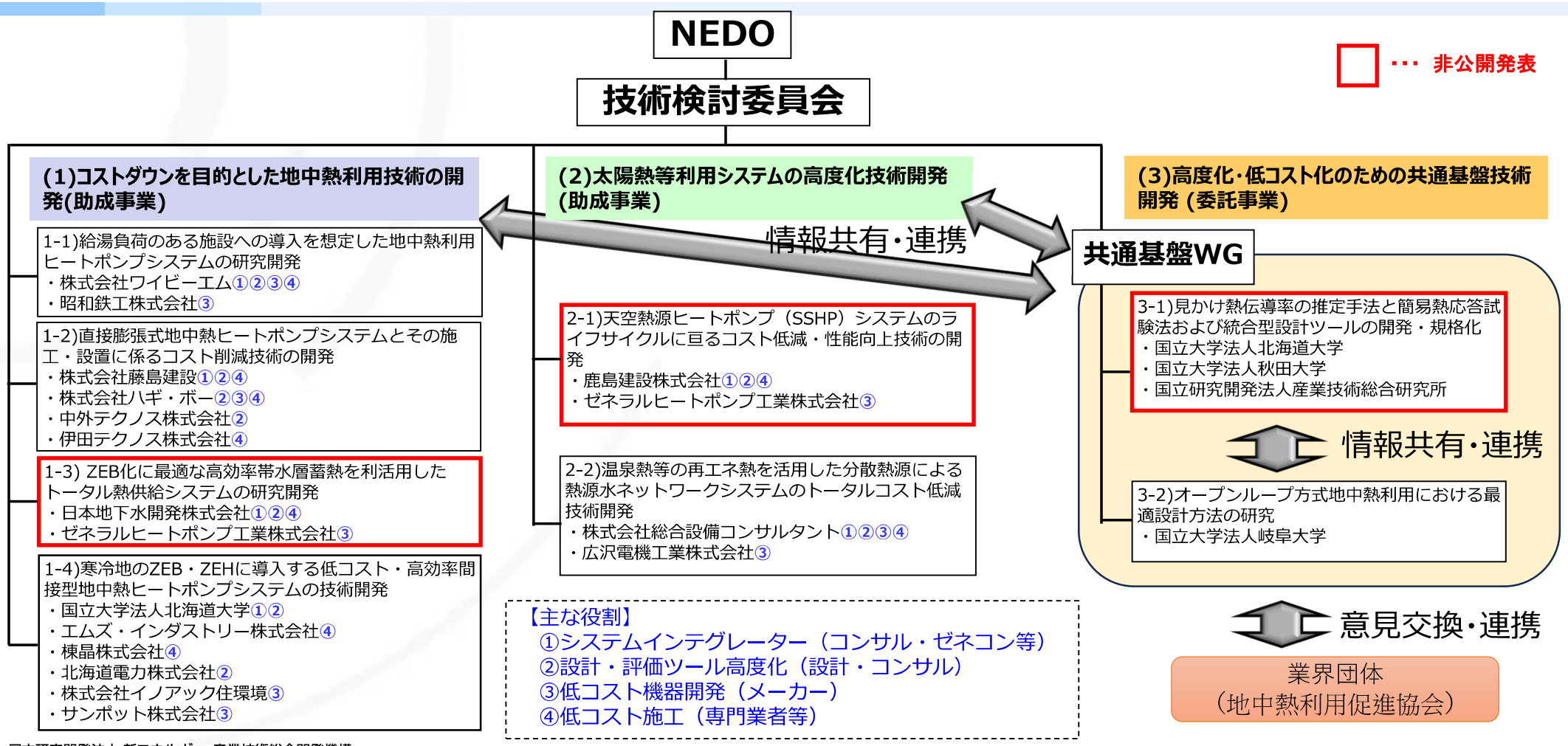
NEDOが実施する意義

課題	内容
研究開発課題	・システムの低コスト化、高効率化のための各機器単体開発では限界 ⇒企業単独では開発リスクが高い。 ⇒上流から下流までが一体となったシステム全体の開発が必要。 ⇒高度化＝低コスト化のためには大学や研究機関の関与が必要。

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んできた。

NEDOに蓄積されたこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

実施体制


NEDO
技術検討委員会
・・・ 非公開発表
(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)
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
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・ボー②③④
・中外テクノス株式会社②
・伊田テクノス株式会社④
1-3) ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利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
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
(2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発(助成事業)
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
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①②③④
・広沢電機工業株式会社③
情報共有・連携
(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)
共通基盤WG
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
情報共有・連携
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
【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）
意見交換・連携
業界団体
（地中熱利用促進協会）

個別事業の採択プロセス

公募内容 ※括弧内は研究開発項目	公募予告	公募	公募〆切	採択審査委員会
第１回（１）、（２）	２０１９年１月２５日	２０１９年３月８日	２０１９年４月１８日	２０１９年５月８日
第２回（１）、（２）	２０１９年７月４日	２０１９年９月１７日	２０１９年１０月２１日	２０１９年１１月１２日
第３回（３）	２０２０年２月７日	２０２０年３月３０日	２０２０年５月１１日	２０２０年５月２９日
第４回（１）、（２）	２０２０年６月１２日	２０２０年７月１３日	２０２０年８月１７日	２０２０年９月４日

※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、（２）太陽熱等利用システムの高度化技術開発、（３）高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

【採択】

１．採択審査項目
　NEDOの標準的採択審査項目に加え、複数社による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が組まれていることを審査項目に加えた。

２．採択条件
　採択審査委員会では、採択候補の１社について、「実用化の観点から実証が不十分と見られるため、総事業費に対し人件費に占める割合を検証し、実証候補先を増やす事」を条件に採択が行われた。

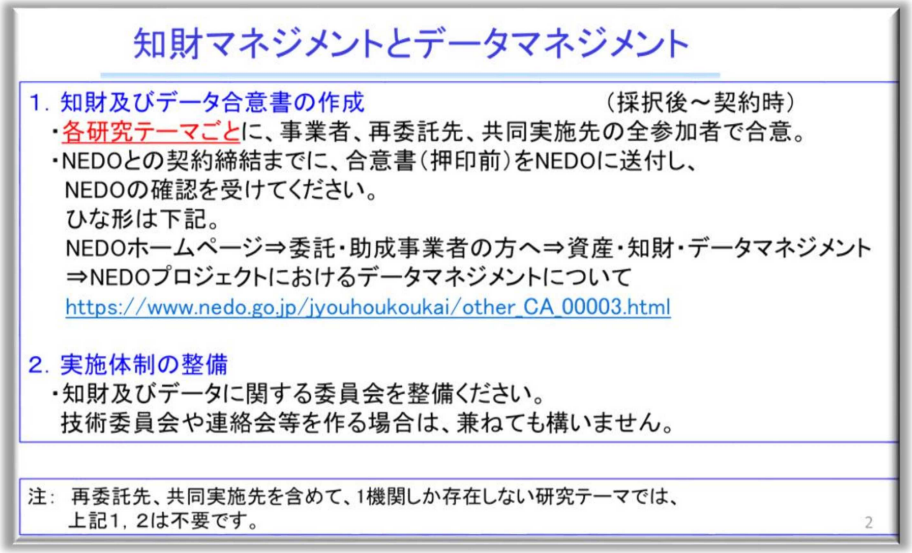
３．留意事項
　業務運営における利益相反排除のための措置に関する機構達第15条に該当する採択候補はないことを確認した。

研究データの管理・利活用

- データマネジメントに係る基本方針（NEDOデータ方針）に関する事項
  NEDOデータ方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）を整備し、「データの取扱いに関する合意書」を作成し、実施した。

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(委託事業)

採択者説明会で説明し、「知財及びデータの取り扱いについての合意書」、「データマネジメントプラン」、「知財運営委員会運営規則」、「体制図」など必要書類の提出とそれらに基づいた運用を行った。



予算及び受益者負担

◆予算（過去については実績でも可）

研究開発項目		2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	合計
(1)地中熱利用システムの低コスト化技術開発【助成】 (2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発【助成】 計	助成 補助率50%	（1．0） 0．5 （0．4） 0．2 （1．4） 0．7	（4．0） 2．0 （0．9） 0．4 （5．0） 2．5	（2．7） 1．3 （1．4） 0．7 （4．2） 2．1	（1．2） 0．6 （0．4） 0．2 （1．7） 0．8	（0．6） 0．3 （0．2） 0．1 （0．7） 0．4	（9．6） 4．8 （3．4） 1．7 （13．0） 6．4
(3)高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発【委託】	委託100%	－	1．7	2．1	2．2	1．2	7．2
調査事業		0．4	0．4	0．4	0．3	－	1．5
合　計（億円）		1．1	4．5	4．6	3．4	1．6	15．2

※実績額は前年度からの繰越を含む。
助成事業：括弧内は事業総額

◆委託（及び/または）補助事業の理由

（1）助成
事業化リスクが低く、実施事業者自身の将来の裨益が非実施者に比して大きいと見込まれるため、1/2負担の補助事業とする。

（2）委託
標準化に必要なデータ等を取得し中立的立場から分析・評価するものや、民間企業単独では整備できないデータベース等を構築する共通基盤的な要素であるため、委託事業とする。

目標達成に必要な要素技術

◆国内外の研究開発の動向と比較　海外における技術開発動向一覧（地中熱）

海外でもコスト削減の可能性やシステム効率の改善を研究

※赤字はNEDO事業でも実施した技術開発

分類	ターゲット要素	米国	欧州	1				2		3	
				1	2	3	4	1	2	1	2
要素技術	地中熱交換器	高効率地中熱交換器の実証	熱交換効率の高い形状検討・試作・実証 熱伝導率の高い材質の検討	○	○		○				
	掘削	–	最適なドリルヘッド、制御技術、自動化技術の開発	○	○						
	地中熱用ヒートポンプ	–	温暖地域で高COPが実現可能な機器 水・空気デュアル熱源ヒートポンプ	○	○	○		○			
	グラウト材	–	熱伝導率特性向上のための新規添加剤 蓄熱効果のある相転移物質の検討								
	循環ポンプ	運用方法の最適化による消費電力削減	–				○				
システム全体	システム	地中熱ヒートポンプシステムの経済性を横断的に評価可能な評価手法の確立	プラグアンドプレイで動作可能なシステム 他の熱源との統合制御			○	○	○	○	○	○
	熱拡散解析	–	熱交換器に応じた熱拡散のシミュレーション							○	○
	季節間蓄熱	–	既存井を活用した季節間蓄熱 季節蓄熱の新規材料検討			○					
	その他	周辺機器を含めた運用方法最適化	温暖地域での高効率システム		○		○	○	○	○	○

研究開発のスケジュール

研究開発項目		2019	2020	2021	2022	2023	2024
１．地中熱利用システムの低コスト化技術開発【類型：標準】		設計、試作	実証、改良	実用化開発			
			普及方策（NEDO、業界団体、実施者等）				
２．太陽熱等利用システムの高度化技術開発【類型：標準】		要素技術開発、設計、試作		実証、改良	実用化開発		
３．高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発【類型：基礎・基盤】			設計、試作	検証、改良	技術確立、検証		
評価時期				中間評価			終了時評価
予算（億円）助成率 1/2	項目１、２：助成	（１．４） ０．７	（５．０） ２．５	（４．２） ２．１	（１．７） ０．８	（０．７） ０．４	（１３．０） ６．４
	項目３：委託	－	１．７	２．１	２．２	１．２	７．２

※実績額は前年度からの繰越を含む。
助成事業：括弧内は事業総額

進捗管理

会議名	主なメンバー	対象・目的	頻度	主催
技術検討委員会	外部有識者 各コンソの実施者 PMgr、PT	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）及び２（太陽熱等利用システムの高度化技術開発）においては、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術評価、助言を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。	年１～２回	NEDO
共通基盤技術ＷＧ	外部有識者 各コンソの実施者 PMgr、PT	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）においては、成果の統一を目的としていることから、「共通基盤技術ワーキンググループ」を別途設置し、有識者による事業の進捗や方向性について把握し、助言を行う。 また、事業者間の情報共有の機会を設け、テーマ間でのフィールドデータ共有など効率的な研究開発を促すこととしている。	年１～２回	NEDO
コンソーシアム内会議	各コンソの実施者 PMgr、PT	コンソ内の会議を定期的に開催し、開催単位ごとに技術開発の進捗に係る重要事項を議論。	月に１回程度	コンソーシアム
知財運営委員会	知財運営委員会のメンバー	研究開発項目３においては、研究開発の成果についての権利化・秘匿化等の方針決定や実施許諾に関する調整を行う。知財に係る進捗管理を実施。	年に１回程度	実施者
NEDO内会議	PMgr、PT	PMgr等のNEDO内関係者で定期的にプロジェクト全体の進捗を確認し、今後の方向性を議論。	月に１回程度	NEDO

進捗管理

会議名	No.	問題点・改善点・今後への提言	対応
技術検討委員会	1	イニシャルコスト＋ランニングコストの考え方（定義）について、比較対象がまだ曖昧なところがあり、成果の見える化など改善が必要。	各テーマにおいて、比較対象の詳細を説明する資料のフォーマットを統一する改善を図り、一般的な既存の普及システムと当該研究開発システムとの比較表（コストや性能等）を作成した。**【⇒中間評価指摘②、⑤への対応】**
	2	進捗に関してスケジュール表現について、一部遅れている事業者もあり、NEDO側で実態を確認するとともに分かりやすくする工夫が必要。	各テーマの計画と進捗状況が把握できるような報告資料の検討を行った。**【⇒中間評価指摘②への対応】**
共通基盤技術ＷＧ	3	事業者間でのモニタリングデータの共有の検討。	研究開発項目１の事業者が取得したデータを研究開発項目３の実施者に提供し、それらのデータを活用したことで研究活動の加速化、精度向上につなげた。**【⇒中間評価指摘③、⑥への対応】**
	4	共通基盤の成果統一を目的とした共通理解のための資料の検討。	研究開発項目３の２テーマ間での比較表の作成を行った。
	5	事業終了後の普及に向けた取り組みの具体化を検討。	**普及にあたり、業界団体の今後の規制当局への働きかけ（ガイドライン、マニュアルへの記載）等の方針について意見交換を実施した。**

進捗管理

技術検討委員会において、
資料のフォーマットを統一する改善例
（中間評価指摘②への対応）

テーマ名

8

4. 技術開発の進捗・予定

当初計画
実施済
実施中

4．1　事業全体の進捗

研究開発項目	担当	2019				2020				2021				2022				2023			
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
(1)										設計											
											製作										
														実験・検証							

開発項目に関してご記載ください。
実施済を青線。実施中を赤線で示してください。

テーマ名

10

4. 技術開発の進捗・予定

4．3　成果一覧表

研究開発項目	研究開発対象	現状の成果			2023年度目標（プロジェクト）
		コスト面		性能面	
		個別	トータル	個別	
(1)〇〇の開発	〇〇	〇〇%低減	〇〇%低減（IC〇%減、RC〇%減）投資回収年数〇〇年	〇〇の完成	2023年度までにトータルコスト20%以上低減させ、2030年までに30%以上低減の行動計画策定
(2)〇〇の開発	〇〇	〇〇%低減		〇〇の段階まで完了	
(3)〇〇の開発	〇〇	〇〇%低減		現時点で従来COP〇〇からCOP〇〇まで向上	

9

発の進捗・予定



★特に説明が必要な研究開発項目をピックアップして頂き、詳細な工程表および以下の内容を報告してください。

①進捗率
・取り上げられた開発項目の進捗度合いを説明してください。
・進捗は「●%」とおおよその値をご記載ください。
・進捗率とは別に、当初計画に比べて遅れがある場合は、その理由と、対応状況を説明してください。

②実施内容・結果
・何のために、何をして、その結果どうだったのかを明確に説明してください。

③事業者主催の委員会におけるコメント・対応
・当該項目に関するコンソーシアム内の議論内容と対応について説明してください。

④課題・見通し
・検討中の課題と解決の方向性を説明してください。

進捗管理：中間評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応
①	エネルギー利用を取り巻く境界条件が大きく変わった現在においては、これまで実施済みのプロジェクトまで含めて、再生可能エネルギー熱利用における課題と必要な熱利用技術を改めて明確化し、その利用促進を図ることが重要と考える。	第６次エネルギー基本計画(2021年10月)が策定され、より一層の熱供給設備の導入支援を図る観点から、複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援を行うことによって、再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指すことが謳われている。 そこで、当該プロジェクトの先を見据え、「面的利用」に着目した新規プロジェクト立案に向けて、当該プロジェクトの成果を踏まえて並行的に新規予算要求及び基本計画の策定に取り組み、**次期プロジェクトである「再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発」の立ち上げにつなげた**。 【⇒「情勢変化への対応」 P.４９参照】
②	トータルシステムとしてランニングコストやイニシャルコスト削減の真の成果と課題、コストダウンの比較対象を整理し、2030 年までのトータルコスト削減、投資回数年数の目標達成により再エネ熱利用拡大がどの程度進むのか、その道筋を明確にすることを期待する。また、欧米とも競合しうる技術開発を目指すのであれば、外国特許の出願を実施すべきであり、出願の支援をNEDO が行うことを検討頂きたい。	各テーマでコスト削減の成果やコストダウンの比較対象等は設定されているが、**フォーマットを統一することでデータの見える化を図った。**見える化されたデータを用いて全テーマ参加の技術検討委員会にて議論することで、プロジェクトの最終目標への道筋を明確化させた。 特許について、個々の委託先では既にNEDO が定める知財マネジメント基本方針に沿って知財運営委員会等開催し、NEDOとしてはこれらの議事内容を収集し、適切に各プロジェクトの知財戦略にフィードバックすることと、その実施方法を明確化することで**出願の支援に努めたが、結果、外国の出願には至らなかった**。 【⇒「進捗管理（技術検討委員会）」 P.４４，４５参照】

進捗管理：中間評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応
③	普及に向け、それぞれのプロジェクト間での連携が図れるように工夫し、最大の成果が得られるように協力していくことや、個別機器だけでなく、システム全体としての効果発揮のために、個別機器の効果の影響度を比率で表す等、見せ方を工夫することを期待する。	既に委託先のテーマ間で実証データの共有を図っているが、テーマ間連携の活発化による成果の最大化が図れるようNEDO からの働きかけを行った。具体的には、**研究開発項目１の事業者が取得したデータを研究開発項目３の実施者に提供し、それらのデータを活用**したことで研究活動の加速化、精度向上につなげた。 【⇒「進捗管理（共通基盤技術ＷＧ）」 P.４４参照】
④	研究成果のオリジナリティは基本的に特許であり、最終的には、テーマ数以上の特許出願が望まれる。	知財運営委員会等の議事内容の収集により委託先及びNEDO 間で知財戦略の認識を共有しつつ、NEDO からも特許や実用新案等の**出願申請を促したが、結果、テーマ数以上の国内外の出願には至らなかった。** 【⇒「進捗管理（知財運営委員会）」 P.４３、「特許出願及び論文発表」 P.３３参照】
⑤	実用化・事業化計画の具体的内容を示せるように、今まで再生可能エネルギー熱の普及を遅らせてきたコスト以外の要因を明確化し、それらを乗り越えられる方向性を示して頂いた上で、空気を熱源とする従来のヒートポンプと比較して対抗できる性能やコストを明確にして頂きたい。	事業立ち上げ前半での調査により、再エネ熱利用の普及拡大課題を明確化するとともに、**後半の関連調査により普及拡大課題を更に精査し、課題解決の方向性を把握・整理した。**性能比較について、前述（②）した**データの見える化に盛り込んでいくよう努めた。** 【⇒「進捗管理（技術検討委員会）」 P.４４、「情勢変化への対応」 P.４９参照】

進捗管理：中間評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応
⑥	シミュレーション技術に関しては、個別事業の中で開発が進められているが、事業を横断できトータルとしての活用が進むような体制を作ることが肝要であり、シミュレーションを活用したデータベース等の構築を加速し、再生可能エネルギー熱が有効利用できる地域等を明確化することを期待する。	前述（③）の通り、**委託先(共通基盤技術開発)のテーマ間で実証データの共有を図った。**また、**2 テーマで扱う設計ツールは異なるが、それぞれのメリット・デメリットを明確化**することにより、**地域等の特性に合わせたツールの活用を促す**ことで利用の拡大化に努めた。これまでも共通基盤技術開発に関する全ての委託先と有識者によるワーキンググループを実施し、以後のワーキンググループにて、指摘された技術の活用促進体制を議論した。 【⇒「進捗管理（共通基盤技術ＷＧ）」 P.４４参照】
⑦	太陽熱や雪氷冷熱、下水熱などその他の未利用エネルギーとの組合せによる効率化が要求されると考えられるため、再エネ熱全体に精通した人材の養成も検討して頂きたい。	再生可能エネルギー世界展示会や**地熱学会（オーガナイズドセッションを主催）等を活用**し積極的な広報に努め、今後も同取り組みを継続し、認知度向上に努め、ひいてはインテグレーター育成に繋げた。また、**「NEDOプロジェクトを核とした人材育成、産業連携等の総合的展開／再生可能エネルギー熱の普及拡大に向けた人材育成講座」を立ち上げ**、広く再エネ熱に関する技術者の養成に努めた。 【⇒「研究開発成果の副次的成果等（人材育成）」 P.３１参照】

進捗管理：動向・情勢変化への対応

（１）エネルギー基本計画改定を踏まえた、新規プロジェクト立案

第６次エネルギー基本計画(2021年10月)が策定され、より一層の熱供給設備の導入支援を図る観点から、**複数の需要家群で熱を面的に融通する取組への支援**を行うことによって、再生可能エネルギー熱の導入拡大を目指すことが謳われている。

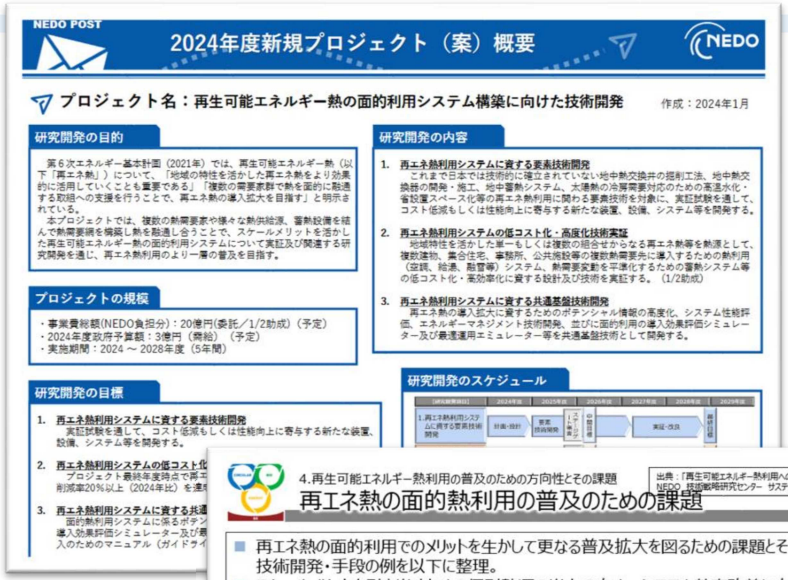
そこで当該プロジェクトの先を見据え、**「面的利用」に着目した新規プロジェクト立案**に向けて、当該プロジェクトの成果を踏まえて並行的に新規予算要求及び基本計画の策定に取り組み、**次期プロジェクトである「再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発」の立ち上げにつなげた**。

【⇒　中間評価指摘①への対応】

（２）海外動向調査実施による技術・政策情報の収集と課題把握

事業立ち上げ前半での調査により、再エネ熱利用の普及拡大課題を明確化するとともに、後半の関連調査により普及拡大課題を更に精査し、課題解決の方向性を把握・整理した。これらの成果は、**技術戦略研究センター（TSC）調査分析レポート「再生可能エネルギー熱利用への期待と課題」(2023年12月27日)へも提供するとともに、新規プロジェクト立案・検討に活用した。**

【⇒　中間評価指摘①への対応】


NEDO POST

2024年度新規プロジェクト（案）概要

プロジェクト名：再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発　作成：2024年1月

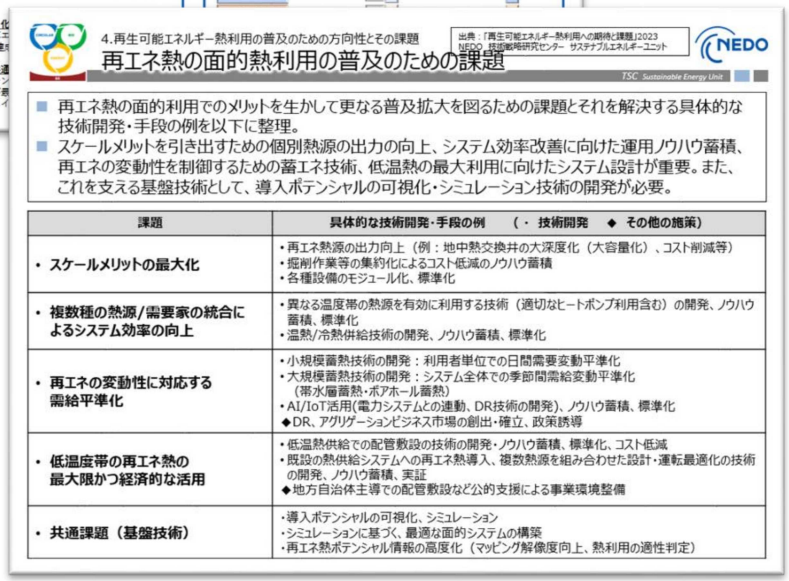
研究開発の目的

研究開発の内容

プロジェクトの規模

研究開発の目標

研究開発のスケジュール


4.再生可能エネルギー熱利用の普及のための方向性とその課題

再エネ熱の面的熱利用の普及のための課題

出典：「再生可能エネルギー熱利用への期待と課題」2023 NEDO 技術戦略研究センター サステナブルエネルギーユニット

■ 再エネ熱の面的利用でのメリットを生かして更なる普及拡大を図るための課題とそれを解決する具体的な技術開発・手段の例を以下に整理。
■ スケールメリットを引き出すための個別熱源の出力の向上、システム効率改善に向けた運用ノウハウ蓄積、再エネの変動性を制御するための蓄エネ技術、低温熱の最大利用に向けたシステム設計が重要。また、これを支える基盤技術として、導入ポテンシャルの可視化・シミュレーション技術の開発が必要。

課題	具体的な技術開発・手段の例　（・技術開発　◆その他の施策）
・スケールメリットの最大化	・再エネ熱源の出力向上（例：地中熱交換井の大深度化（大容量化）、コスト削減等） ・掘削作業等の集約化によるコスト低減のノウハウ蓄積 ・各種設備のモジュール化、標準化
・複数種の熱源/需要家の統合によるシステム効率の向上	・異なる温度帯の熱源を有効に利用する技術（適切なヒートポンプ利用含む）の開発、ノウハウ蓄積、標準化 ・温熱/冷熱併給技術の開発、ノウハウ蓄積、標準化
・再エネの変動性に対応する需給平準化	・小規模蓄熱技術の開発：利用者単位での日間需要変動平準化 ・大規模蓄熱技術の開発：システム全体での季節間需給変動平準化（帯水層蓄熱・ボアホール蓄熱） ・AI/IoT活用(電力システムとの連動、DR技術の開発)、ノウハウ蓄積、標準化 ◆DR、アグリゲーションビジネス市場の創出・確立、政策誘導
・低温度帯の再エネ熱の最大限かつ経済的な活用	・低温熱供給での配管敷設の技術の開発・ノウハウ蓄積、標準化、コスト低減 ・既設の熱供給システムへの再エネ熱導入、複数熱源を組み合わせた設計・運転最適化の技術の開発、ノウハウ蓄積、実証 ◆地方自治体主導での配管敷設など公的支援による事業環境整備
・共通課題（基盤技術）	・導入ポテンシャルの可視化、シミュレーション ・シミュレーションに基づく、最適な面的システムの構築 ・再エネ熱ポテンシャル情報の高度化（マッピング解像度向上、熱利用の適性判定）

進捗管理：成果普及への取り組み

○学会、セミナー等での講演、雑誌掲載や学会誌の寄稿において、プロジェクトの内容やNEDOの再エネ熱に関する取組みを紹介。

2021.09 再生可能エネルギー関連産業推進研究会（福島県）
2021.10 持続可能な社会を目指した建築設備（日本冷凍空調学会）
2021.12 “再生可能エネルギー熱利用空調システム”お披露目式（豊田自動織機大府工場）
2022.1　第16回再生可能エネルギー世界展示会
2022.2　100%再生可能エネルギー部会・太陽熱部会（日本太陽エネルギー学会）
2022.3　2022年度地中熱関連補助事業説明会（地中熱利用促進協会）
2022.5　地下熱利用とヒートポンプシステム研究会第18回研究発表会
2022.10 地中熱普及プログラム検討委員会（青森県）
2023.2　再生可能エネルギー産業ネットワーク会議熱利活用普及拡大フォーラム（青森県）
2023.2　SDGs対応型施設園芸事例普及事業シンポジウム
2023.3　2023年度地中熱関連補助事業説明会（地中熱利用促進協会）
2023.3　シンポジウム「カーボンニュートラル技術の動向と将来展望」（秋田大学国際資源学教育研究センター）
2023.11 **令和5年岐阜大会「NEDOオーガナイズドセッション」（日本地熱学会）**
2023.12 第４回全国地中熱フォーラム
2024.2　**第４回再エネ実装専門家ボード（東京都）**
2024.3　2024年度地中熱関連補助事業説明会（地中熱利用促進協会）

進捗管理：成果普及への取り組み

○「NEDOオーガナイズドセッション」（日本地熱学会）2023年11月

日本地熱学会令和５年度学術講演会
NEDO オーガナイズドセッションの概要

１．セッション開催日時
2023 年 11 月 15 日（水）午前中の 150 分（開始/終了時刻は未定）
（学会は 11/14～11/16 の 3 日間開催）

２．会場
じゅうろくプラザ（岐阜県岐阜市橋本町

３．セッション名
「地中熱利用システムの低コスト化・高度

４．コンビーナ
NEDO 新エネルギー部熱利用グループ

５．セッションの趣旨
熱利用を中心とした非電力での用途が過半
いて、2030 年エネルギーミックスおよび 205
産業部門等に再生可能エネルギー熱を最大限
備導入コストの低減、専門知識を有する人材
ある。NEDO では 2014 年より再生可能エネ
に実施しているが、本セッションでは地中熱
の進捗、これまで得られた成果、そして今後

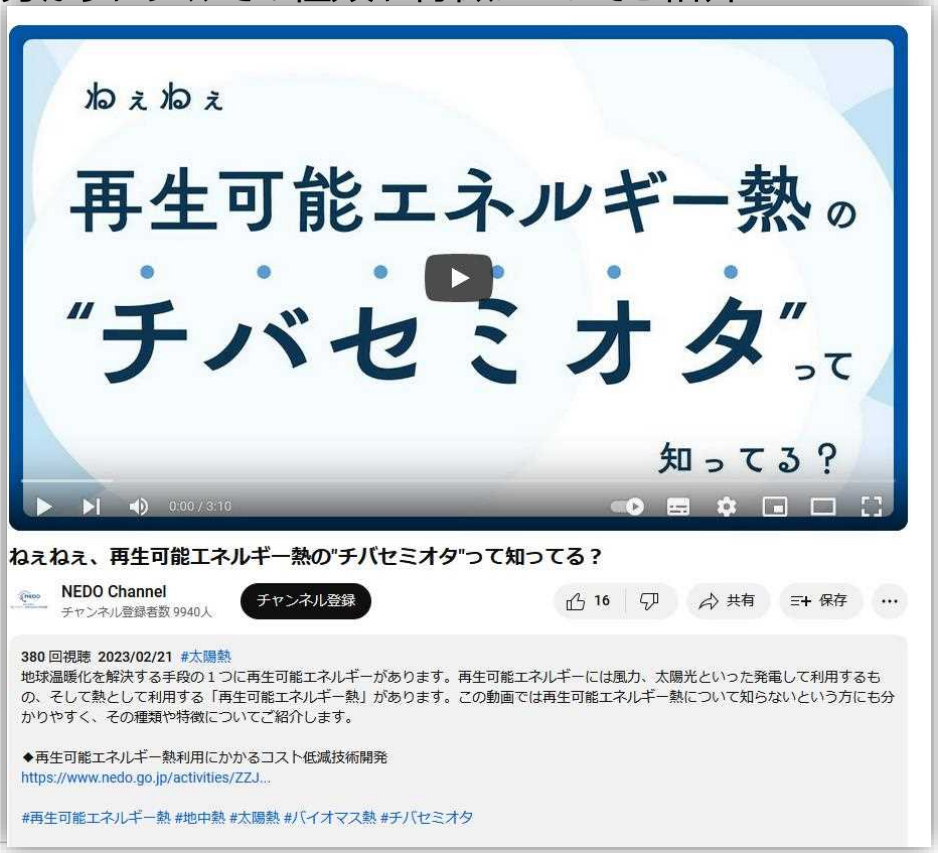
６．プログラム

題目	発表者
挨拶	NEDO
NEDO による地中熱利用の低コスト化・高度化技術開発	NEDO 嵯峨山　巧
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	ワイビーエム 大久保　博晃
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	北海道大学 葛　隆生
ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を利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 山谷 睦
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	鹿島建設 塩谷　正樹
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	北海道大学 長野 克則
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開発	岐阜大学 大谷 具幸
総合討議	－

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

○NEDO再エネ熱動画（2022年度制作）

再生可能エネルギー熱について知らないという方にも分かりやすく、その種類や特徴についてご紹介



進捗管理：成果普及への取り組み

第４回東京都再エネ実装専門家ボードにて再エネ熱について情報提供（2024年2月）

第４回東京都再エネ実装専門家ボード

会 議 次 第

1　日　時　：　令和６年２月９日（金）
　　１０時００分から１２時３０分まで

2　場　所　：　都庁第一本庁舎４２階北塔 特別会議室 C・D

3　次　第

【再エネ熱（地中熱利用等）・地熱発電】

(1)　事務局からの資料説明

(2)　再エネ熱（地中熱利用等）・地熱発電に関する情報提供

①「太陽熱利用・地中熱利用・地熱発電　NEDO の取り組みのご紹介」

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 熱利用グループ（プロジェクトマネージャー）　主幹　上坂 真 様

②「都心部再開発における再エネ利用設備の導入について」

森ビル株式会社 設計部設備設計部設備設計３グループ　課長　浅利 直記 様

(3)　意見交換

（別紙１）東京都再エネ実装専門家ボード　コアメンバー

京都大学大学院経済学研究科　教授	諸富　徹
ロッキー・マウンテン研究所　共同設立者・ チーフサイエンティスト・名誉会長	エイモリー・Ｂ・ロビンス
東京大学　未来ビジョン研究センター　教授 国立研究開発法人国立環境研究所 地球システム領域　上級主席研究員	江守　正多
株式会社 NHK エンタープライズ エグゼクティブ・プロデューサー 日本環境ジャーナリストの会　副会長	堅達　京子
東京大学　先端科学技術研究センター 研究顧問	小林　光
日本気候リーダーズ・パートナーシップ （JCLP）共同代表 三井住友信託銀行株式会社 ESG ソリューション企画推進部　フェロー役員	三宅　香

（敬称略、五十音順）





出展：東京都ウェブサイト
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/renewable_energy/200100a20230614231953660

資料5-2

「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

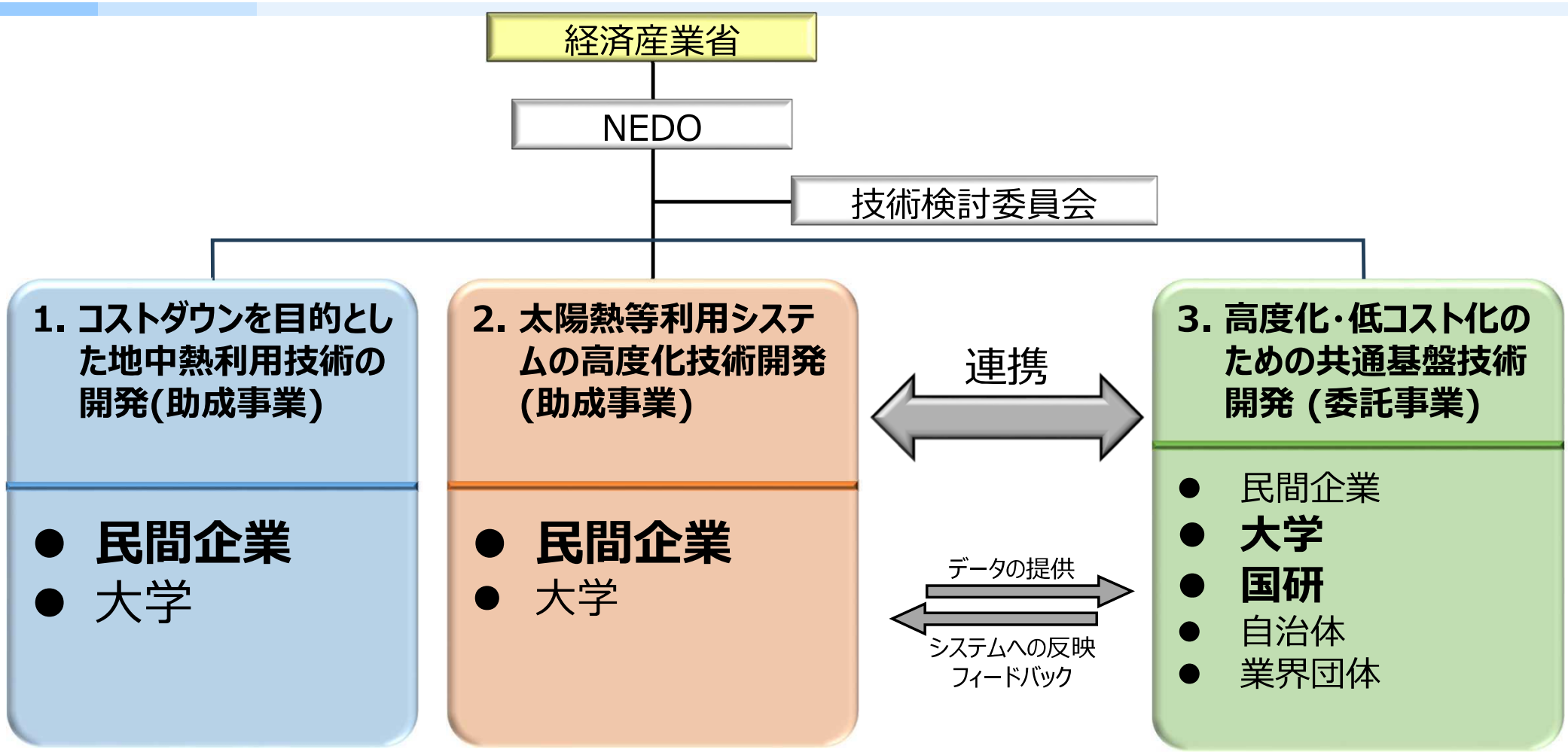
(1)アウトカム目標及び達成見込み

(2)アウトプット目標及び達成状況

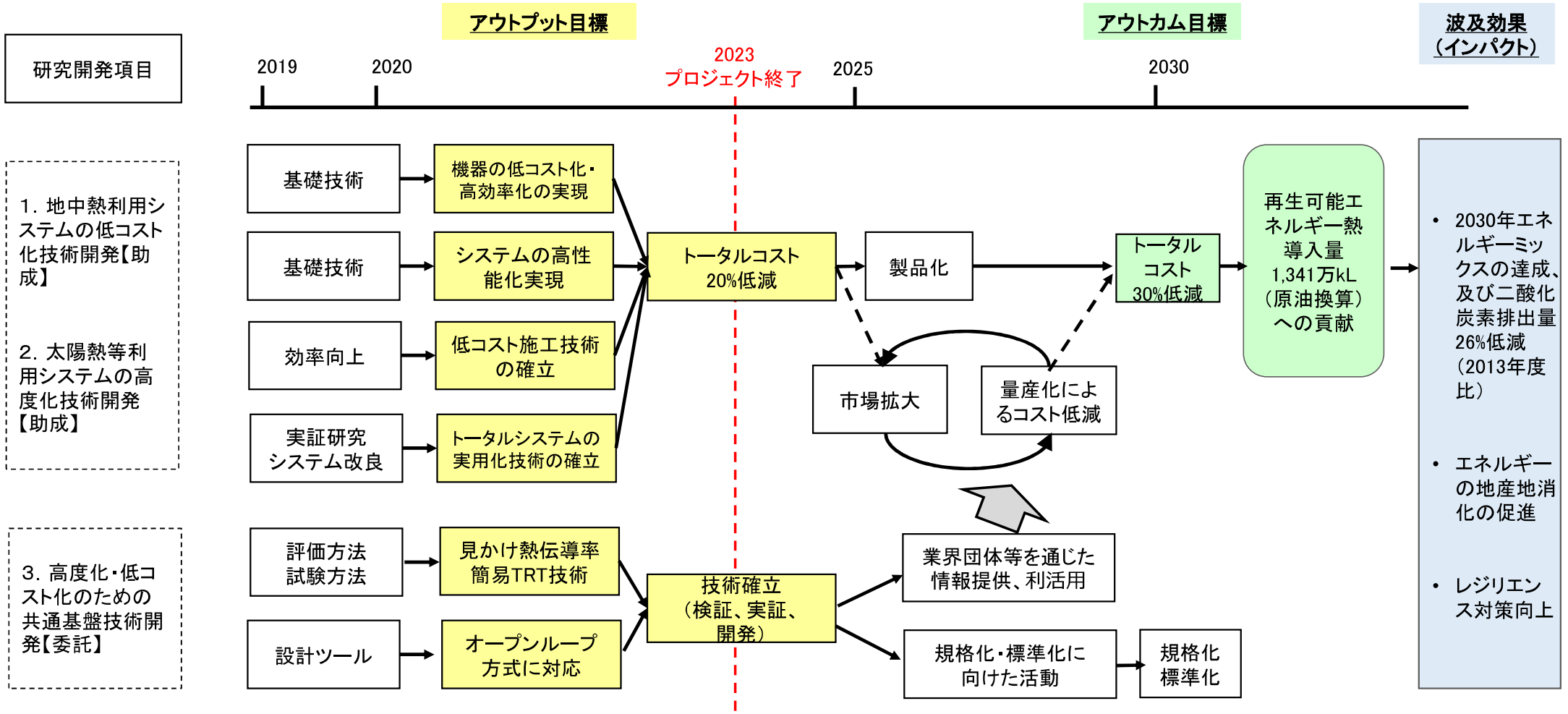
ページ構成

- 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

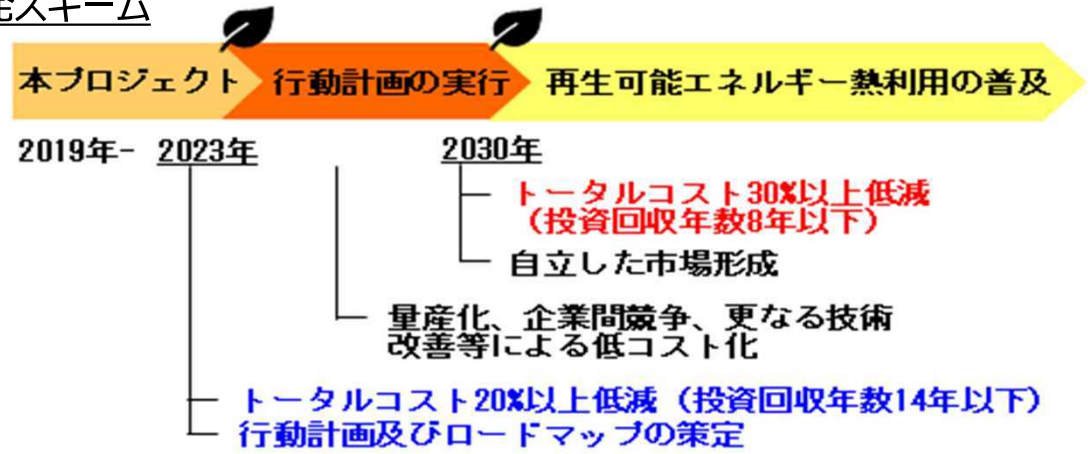
1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発(助成事業)
2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発 (助成事業)

- 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**ＴＲＴ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・ボー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、設計スペ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利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利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）

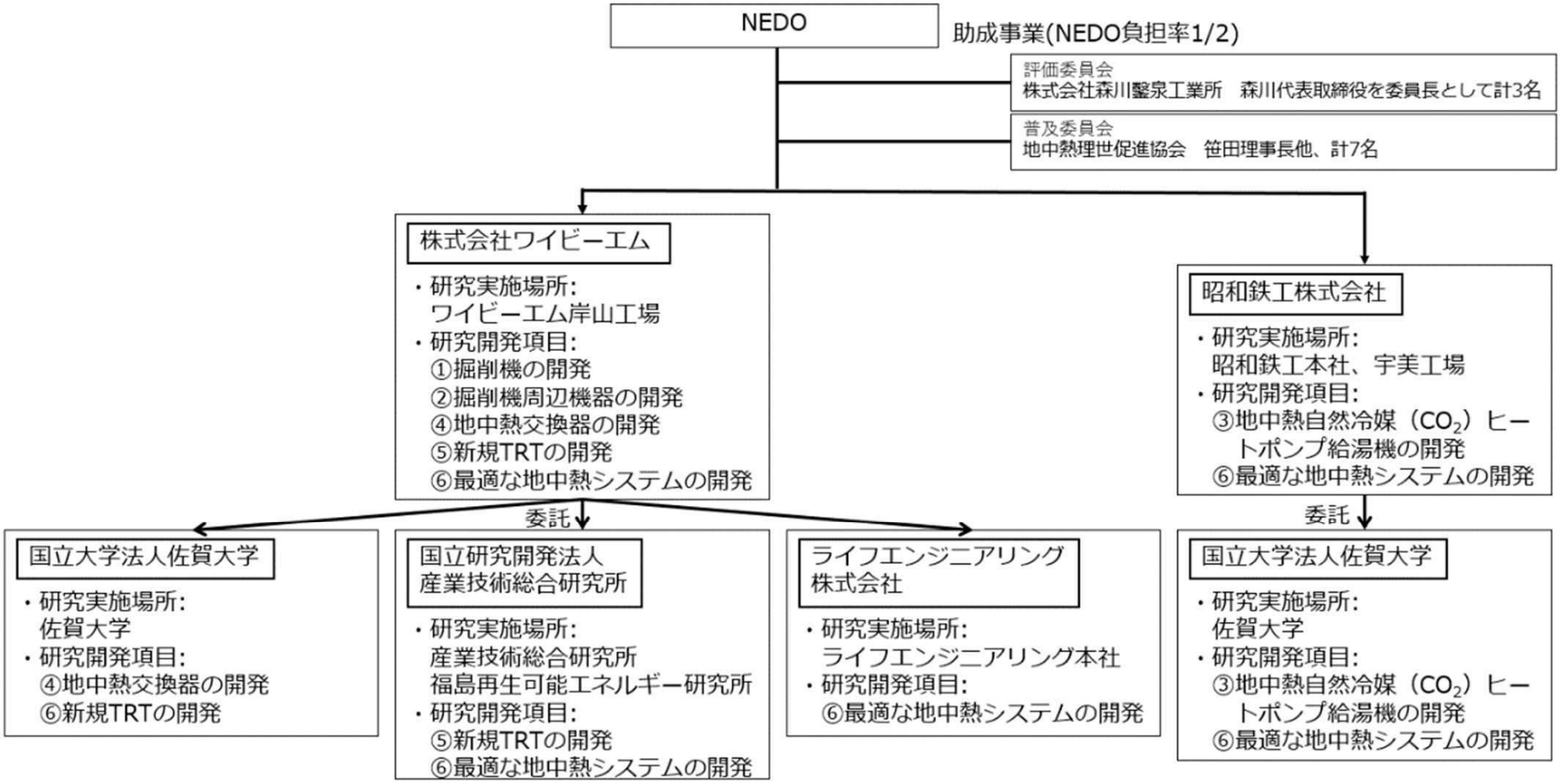
個別事業 (2)太陽熱等利用システムの高度化技術開発 (助成事業)	実施者※	事業化の見通し（行動計画）
2-1)天空熱源ヒートポンプ（SSHP）システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発	鹿島建設株式会社①②④ ゼネラルヒートポンプ工業株式会社③	・主な要素技術である「ユニット型SSHP」、「水熱源給湯ヒートポンプ」について、当面は、ZEB建物、病院、研究所などを中心にした社内物件に適用し、**再エネ利用に意識のある顧客や設計事務所への営業展開**を行う。 ・角的な再生可エネルギー熱利用を行う新SSHPシステムを、他者に無い優位技術として、**コンペ提案や再生可能エネルギー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①②③④ 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(2,000m2)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、削減されると考えらえるため。

個別事業ごとの目標達成状況（１－１）

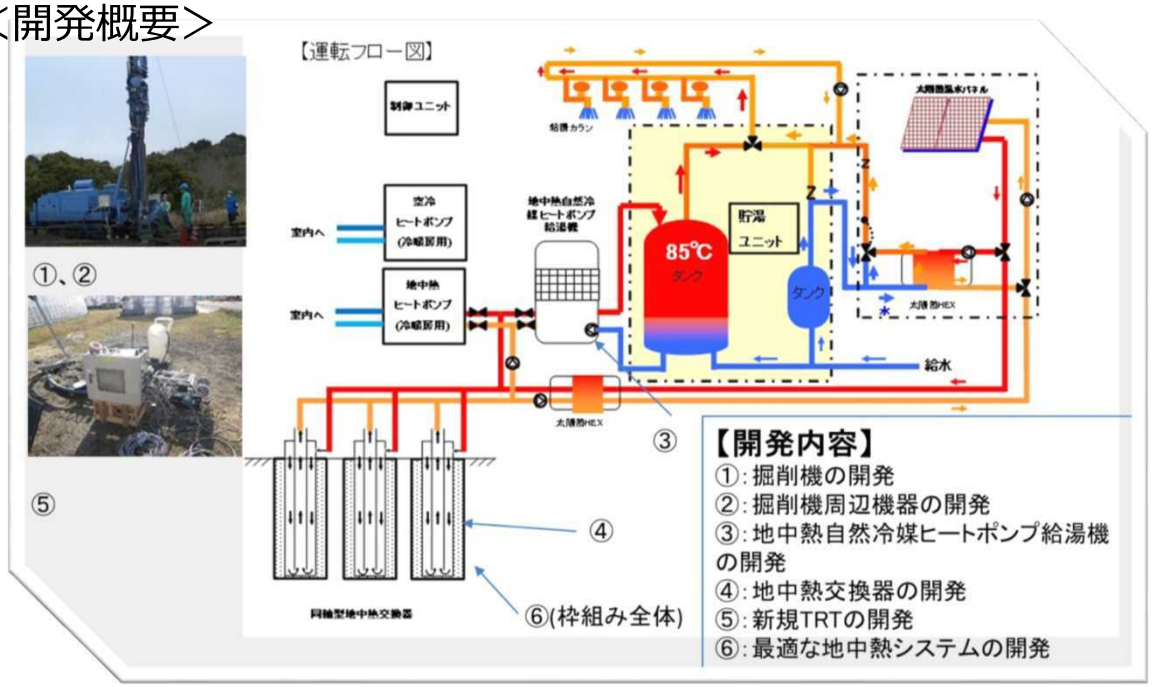
1-1)給湯負荷のある施設への導入を想定した地中熱利用ヒートポンプシステムの研究開発

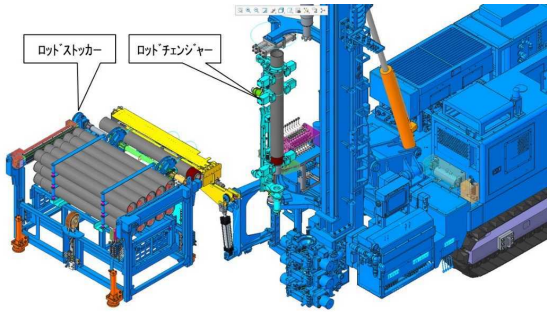
研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
①掘削機の開発	一人で地中熱交換井を施工する。	掘削機、ポンプをリモコン操作。掘削、ポンプ、水タンク等の情報をモニタリング。一人で地中熱交換井を施工出来た。	○	
②掘削機周辺機器の開発	一人で地中熱交換井を施工する。	二重管ロッドのロッドチェンジャーの開発。地中熱交換器の挿入機の開発。一人で地中熱交換井を施工出来た。	○	
③地中熱自然冷媒(CO_2)ヒートポンプ給湯機の開発	空気熱源CO_2ヒートポンプ給湯機に比べてイニシャルコストが15%削減する。	空気熱源HPに比べ18.4%削減できた。	○	量産機用に更なるブラッシュアップ
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＞







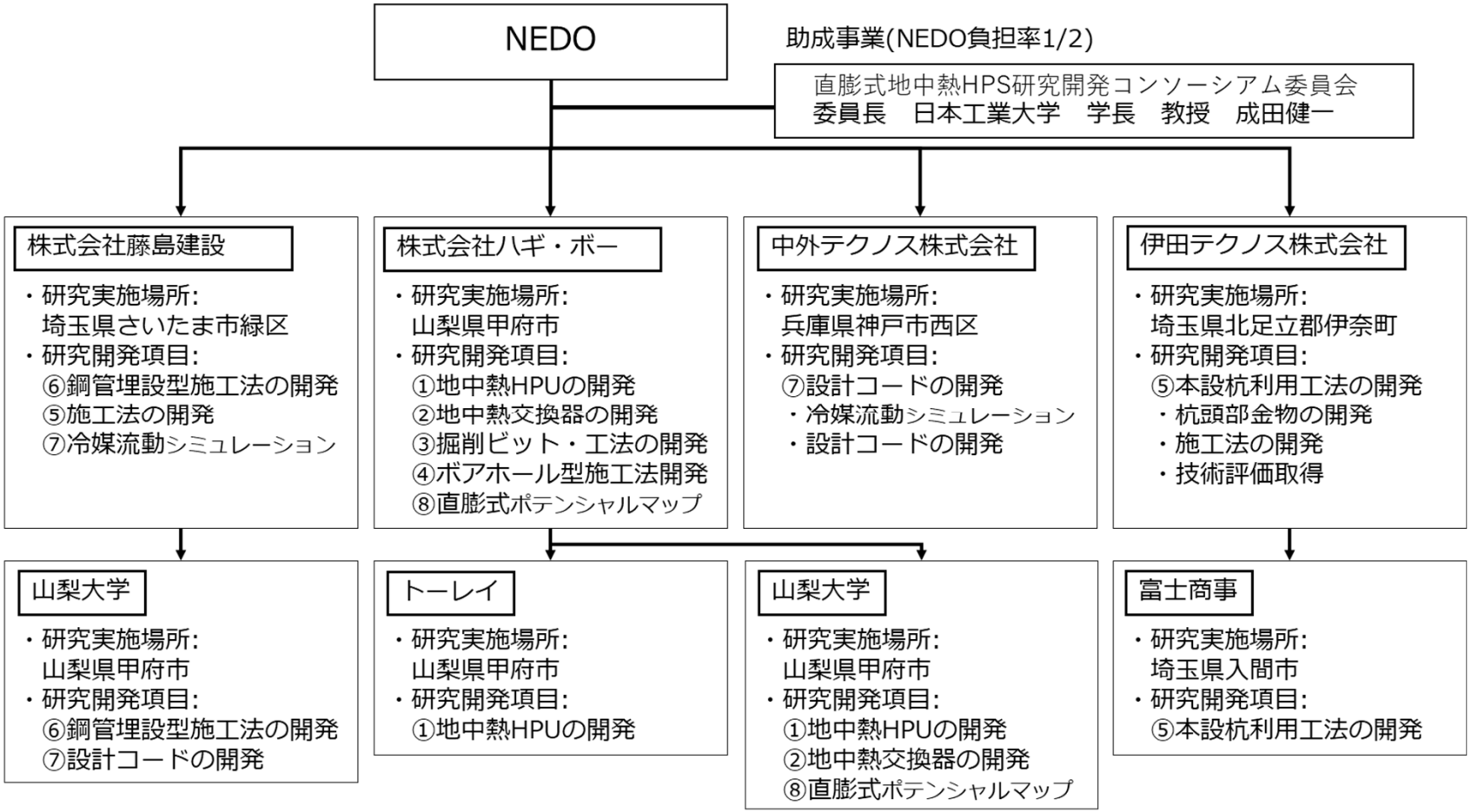
①掘削機及び②掘削機周辺機器（ロードチェンジャー等）を開発

【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

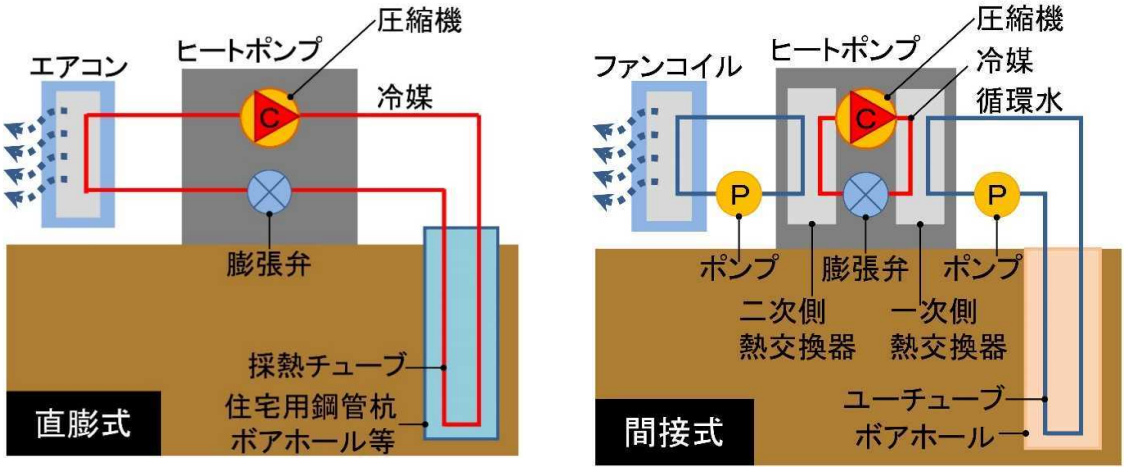
研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
①地中熱ヒートポンプの開発	今後生産体制を改造から部品供給型やメーカーによる体制へと移行することで15%程度のコストダウン。	プロトタイプのHPUの開発は完了した。備品供給等or OEMの目途をつけることで目標達成が可能な所まで検証ができた。削減率16.9%	○	特になし
②地中熱交換器の開発	地中熱交換器の総延長の縮減など設計法との関連もあるが、最終的に20%のコストダウン。	地中熱交換器の小口径化とマニュアル作成との相乗効果によりコストダウンが進んだ。削減率22.22%	○	特になし
③掘削ビット・工法の確立	掘削量の半減（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。

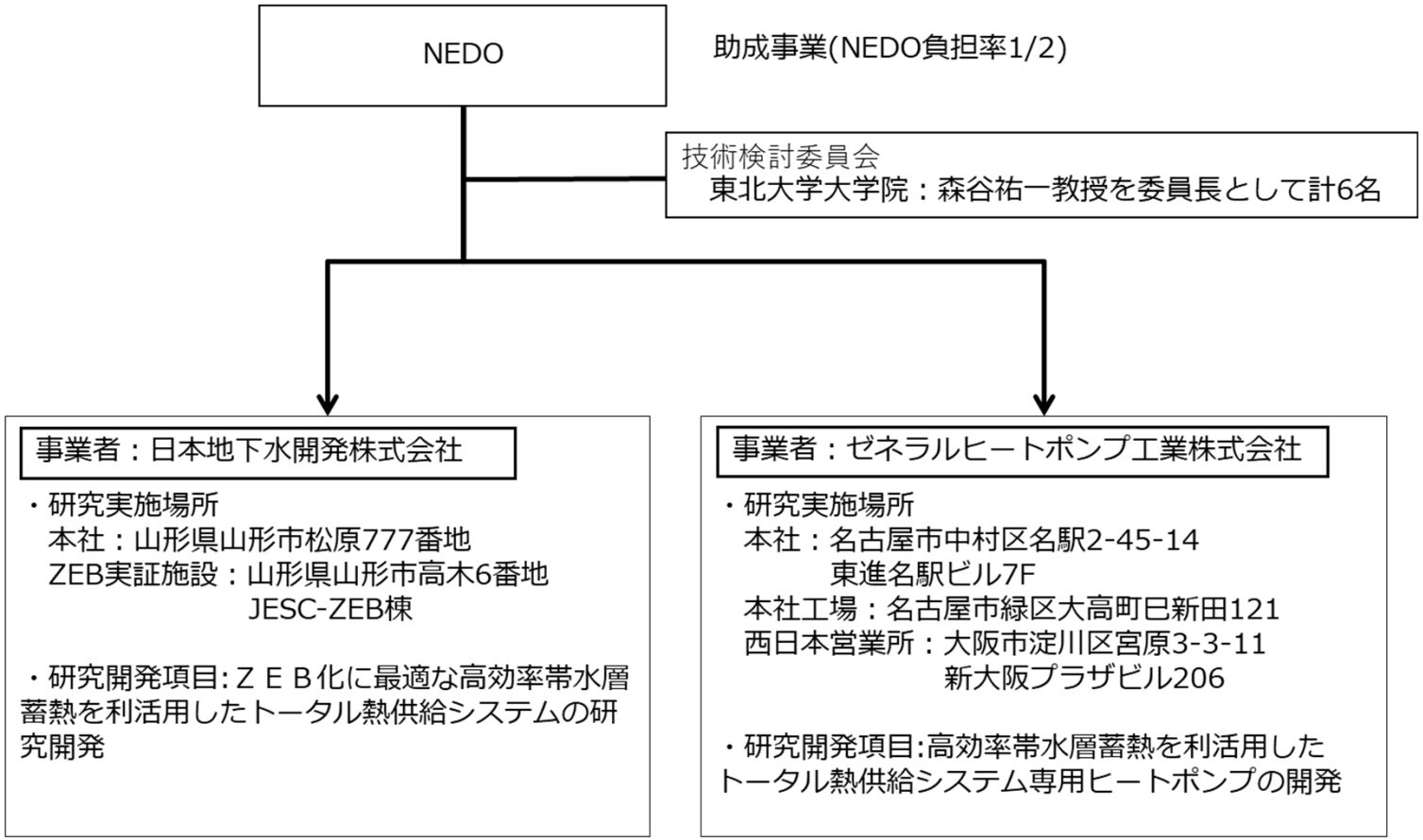
(2) 施工法のコスト削減では、現場施工の工数削減を目指し分岐部ユニットをHPU内に内装する改良を施した。また小口径掘削技術や本設鋼管の熱交換器利用技術の確立を見た。ボアホール工法の開発では工期短縮を図る施工ユニットの開発などの考案を行った。

(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

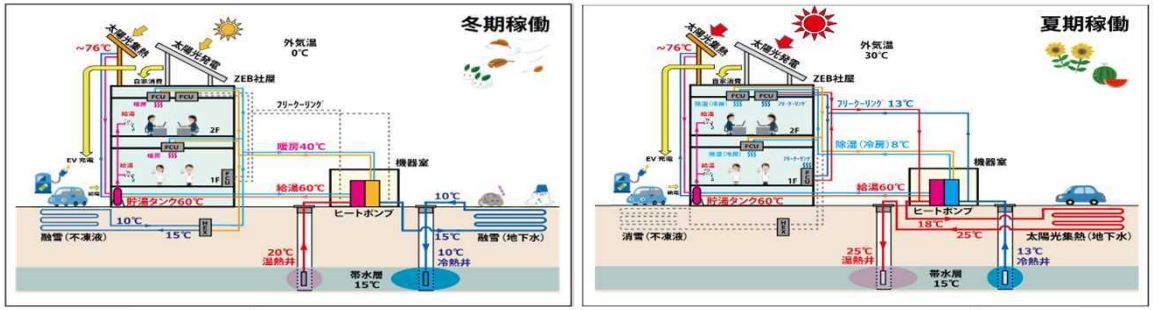
研究開発項目	最終目標	成果	達成状況	目標達成のために解決すべき課題
①高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発 1)ZEB実証建物と本システムの適応性評価 2) システム構築とモニタリング 3) フリークーリングによる冷房高効率化 4)給湯システムの高効率化 5)井戸洗浄方法の開発 6) システムの技術評価手法確立	・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムのZEB適応性実証 ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムのイニシャルコスト・ランニングコスト共に30%低減を実現 ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの普及に向けた技術評価手法を確立	・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

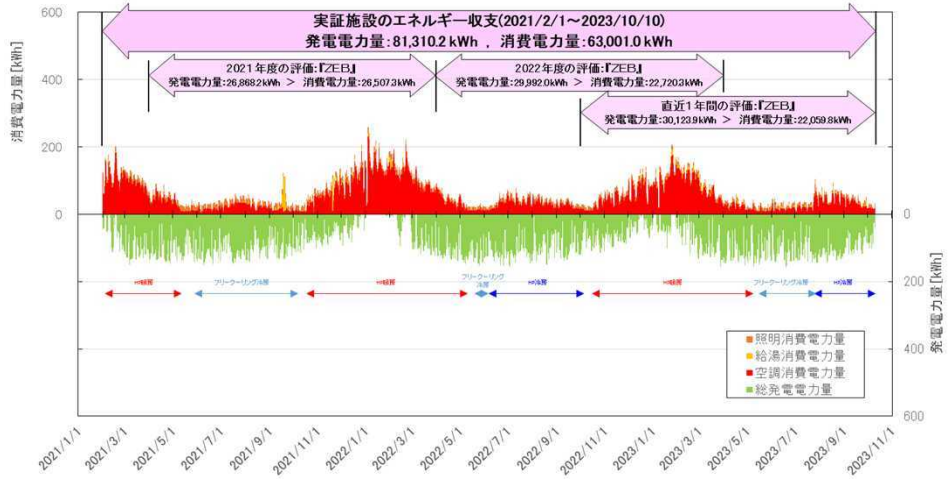
◎　大きく上回って達成、○達成、△一部未達、　×未達

1-3）ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利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



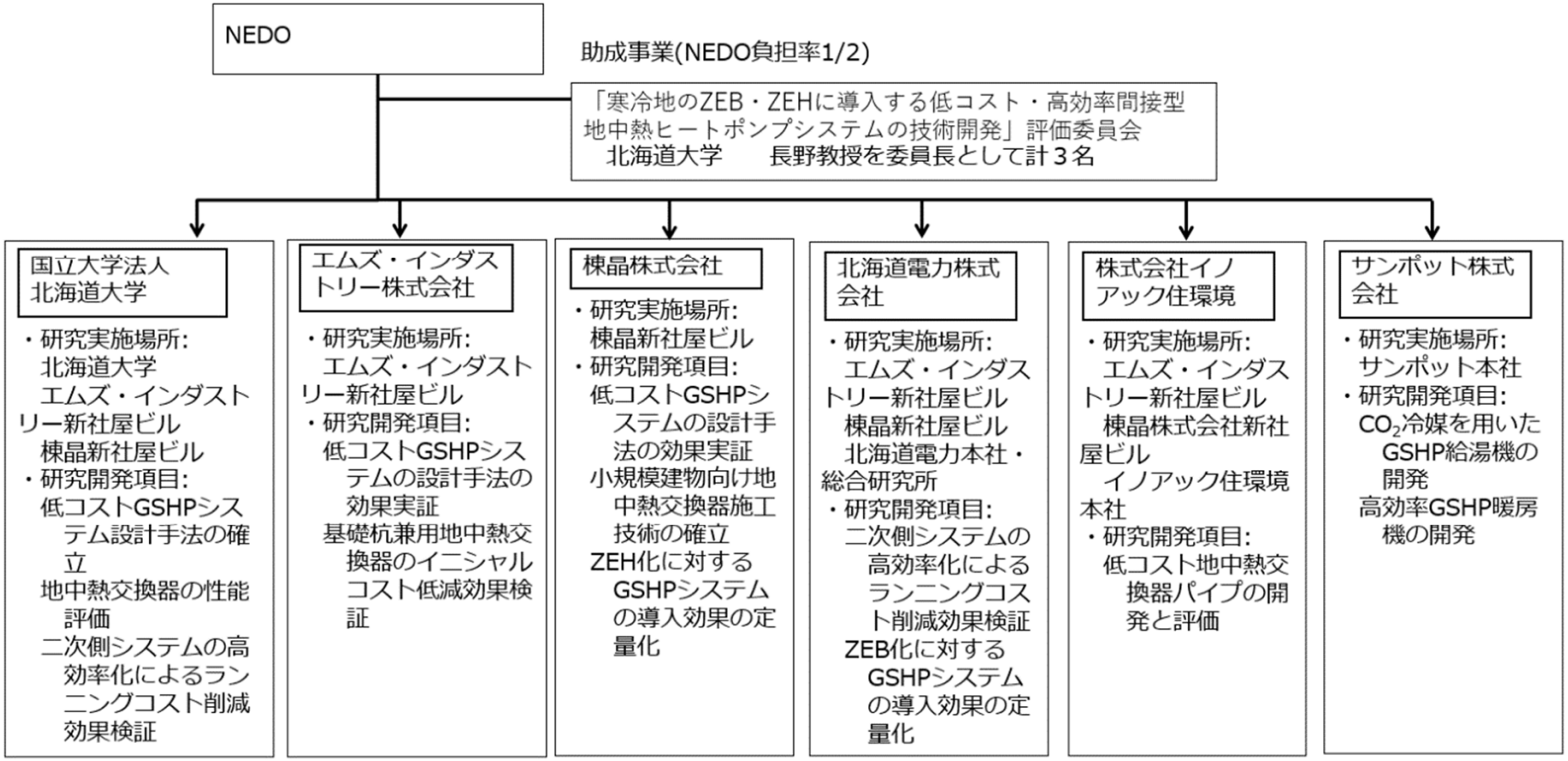


【成果概要】

(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)

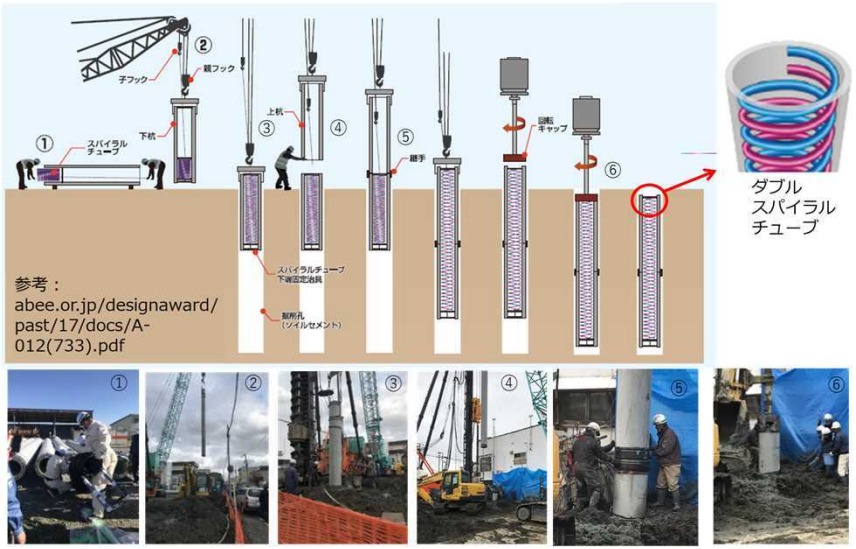
◎　大きく上回って達成、○達成、△一部未達、　×未達

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

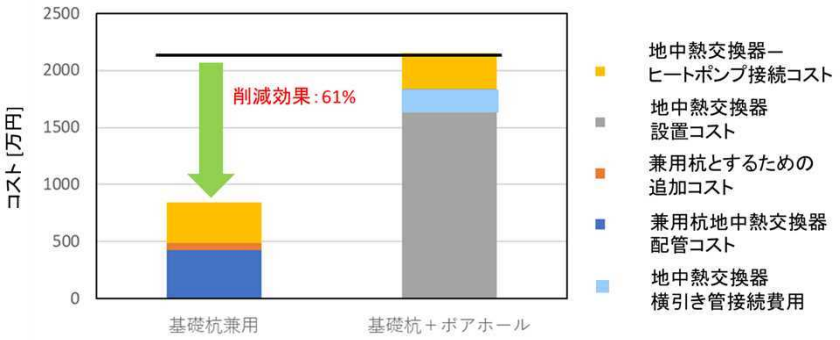
【成果概要】

（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

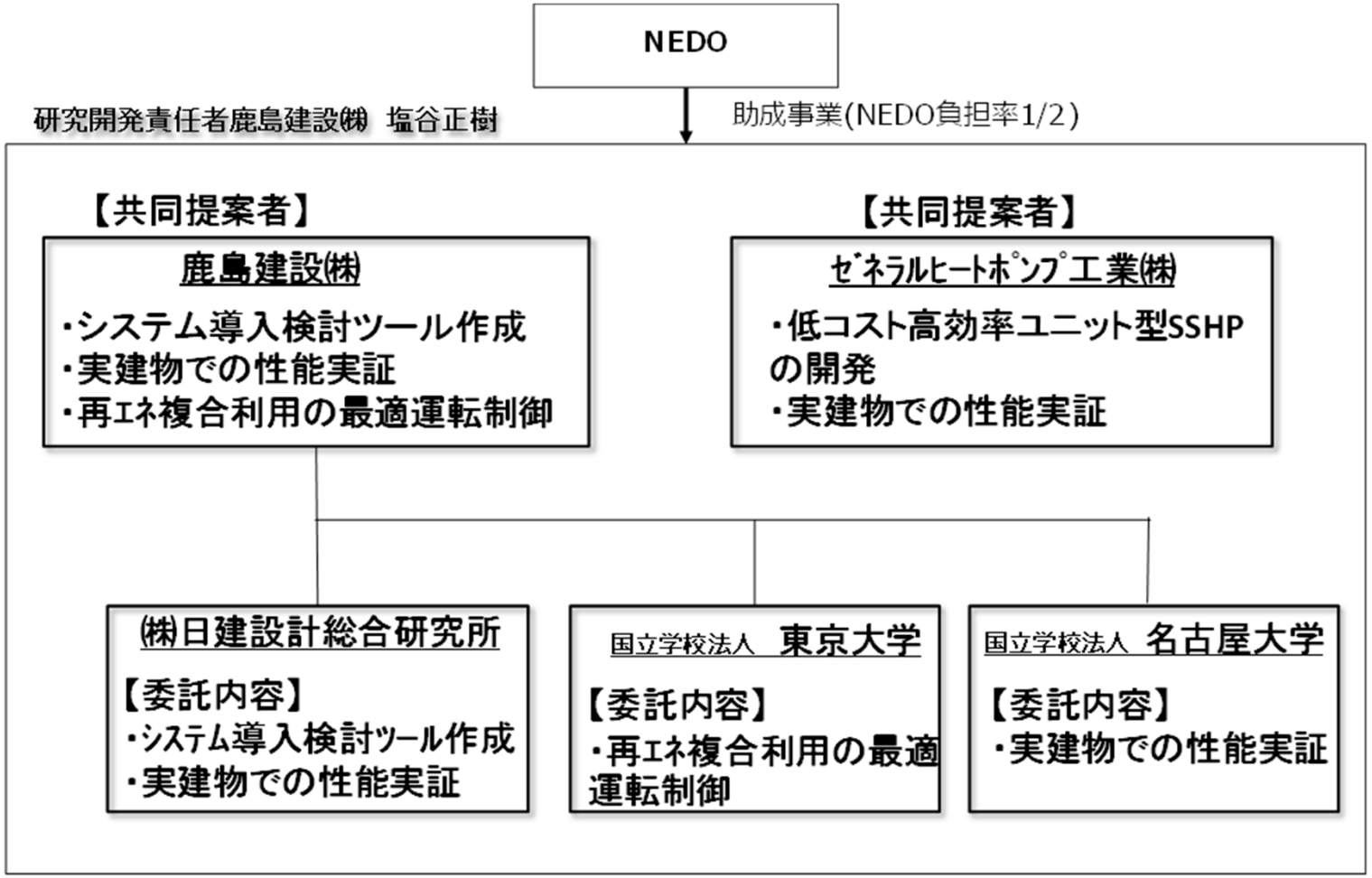


基礎杭兼用地中熱交換器の導入による施工コスト削減効果



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、ｾﾞﾈﾗﾙﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ工業）	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。

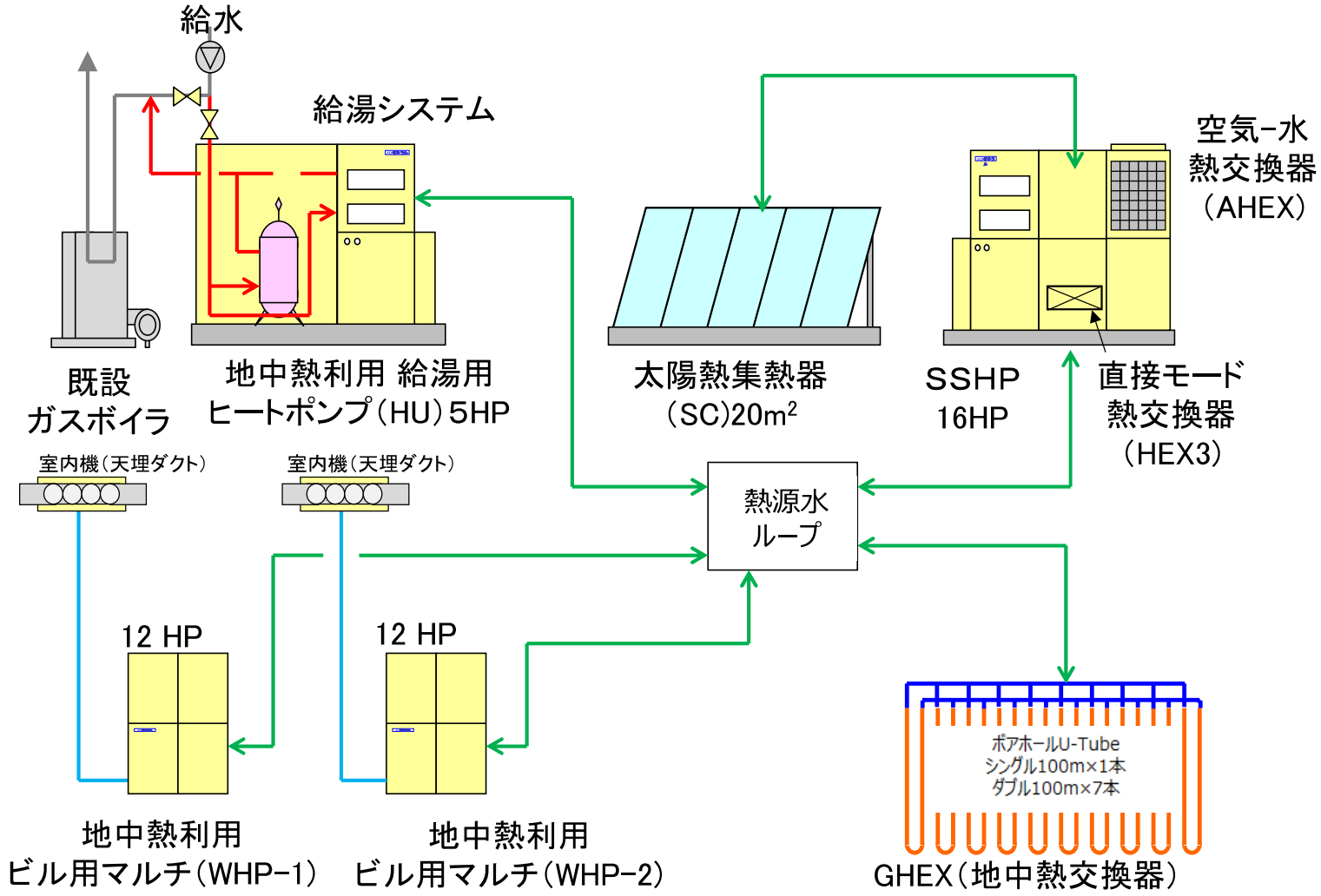
個別事業ごとの目標達成状況（２－１）

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ＧＷＰ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

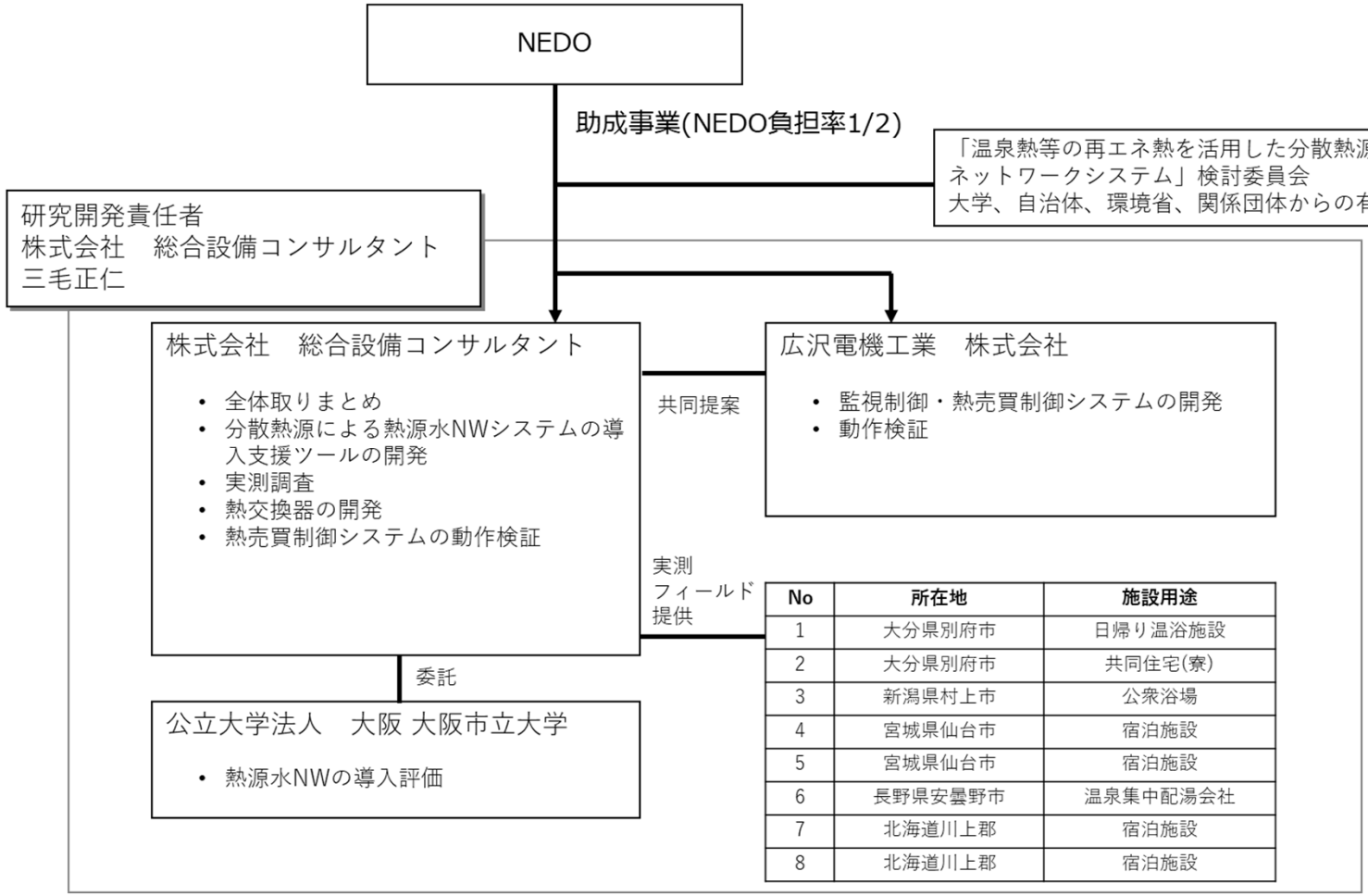
2-1)天空熱源ヒートポンプ（SSHP）システムのライフサイクルに亘るコスト低減・性能向上技術の開発の成果（アウトプット目標達成度）と意義



【成果概要】
LCEM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



No	所在地	施設用途
1	大分県別府市	日帰り温浴施設
2	大分県別府市	共同住宅(寮)
3	新潟県村上市	公衆浴場
4	宮城県仙台市	宿泊施設
5	宮城県仙台市	宿泊施設
6	長野県安曇野市	温泉集中配湯会社
7	北海道川上郡	宿泊施設
8	北海道川上郡	宿泊施設

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途をつける。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目途をつける。 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。	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

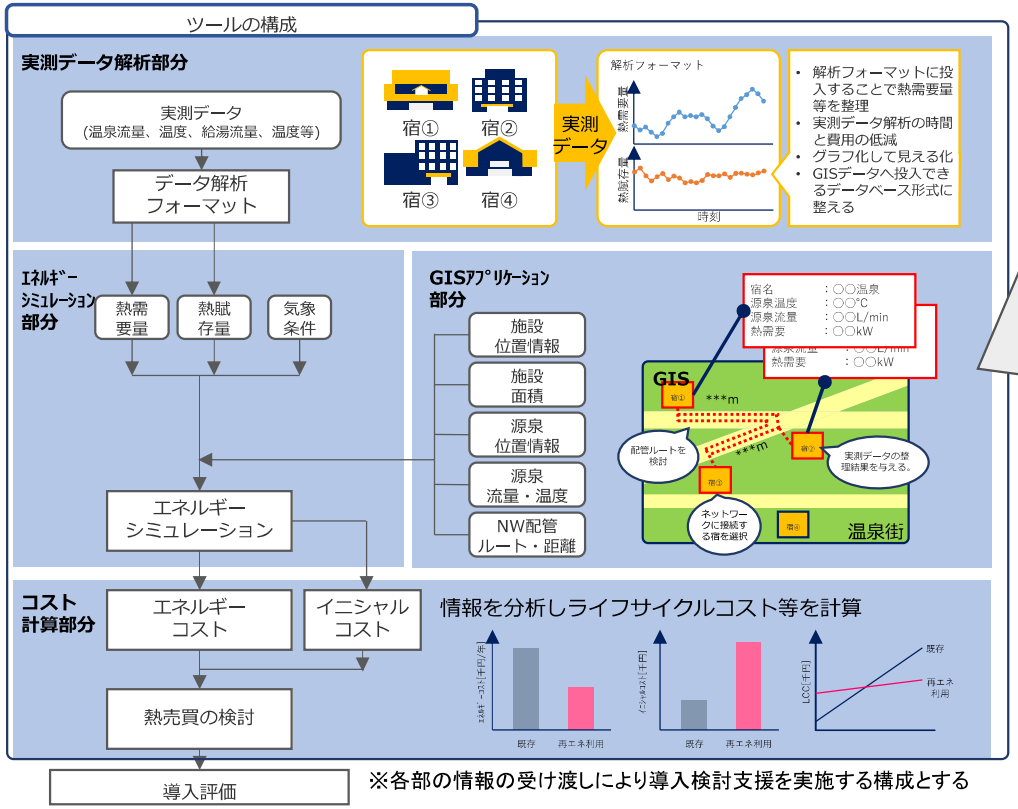
2-2)温泉熱等の再エネ熱を活用した分散熱源による熱源水ネットワークシステムのトータルコスト低減技術開発の成果（アウトプット目標達成度）と意義

【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。

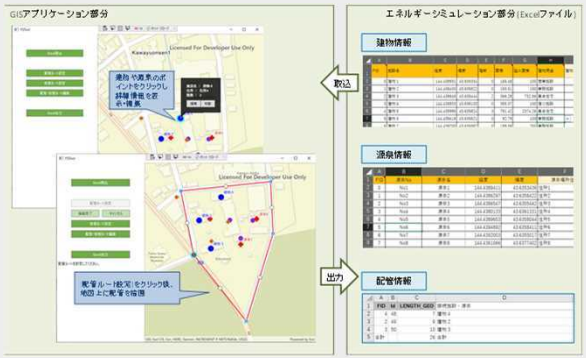
分散熱源による熱源水ネットワークシステムの導入検討支援ツールの開発

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。



※各部の情報の受け渡しにより導入検討支援を実施する構成とする

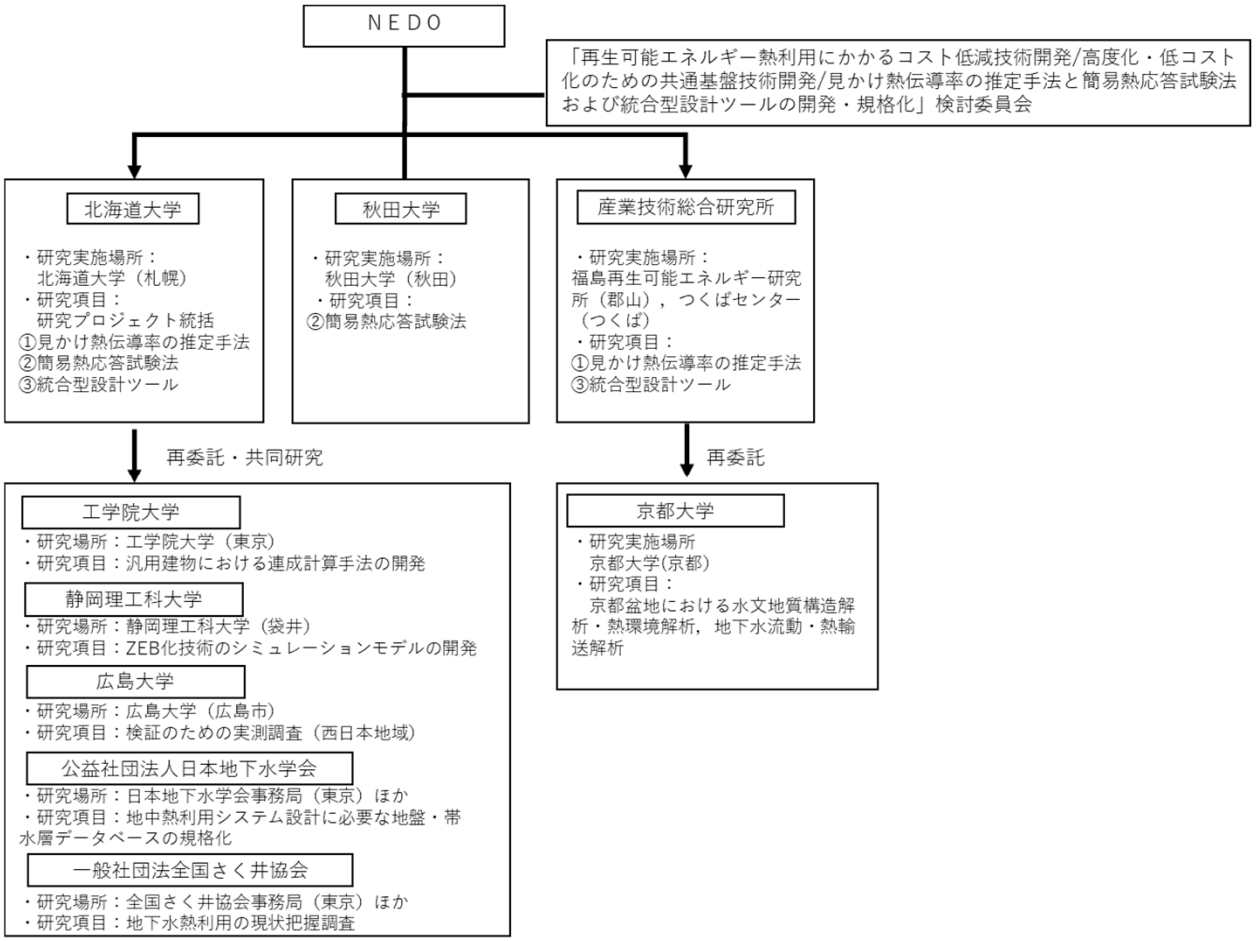
■導入支援ツール



- ✓ 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	・水文地質学的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的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	・水文地質学的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	・水文地質学的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0.5W/(m･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

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･規格化の成果（アウトプット目標達成度）と意義

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

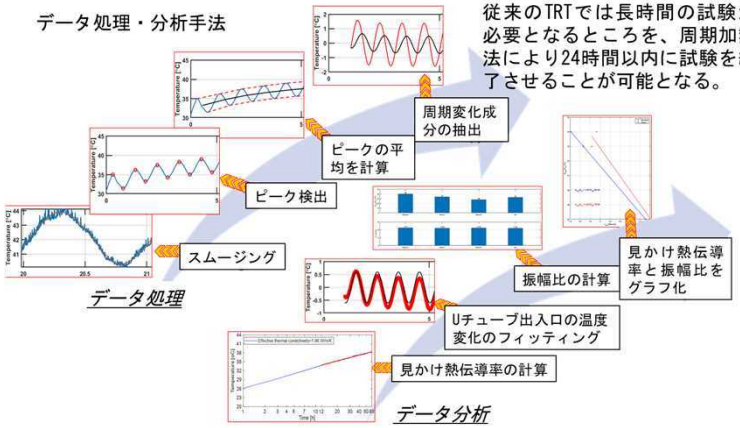
② 簡易熱応答試験法(TRT)の開発･規格化

- ･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

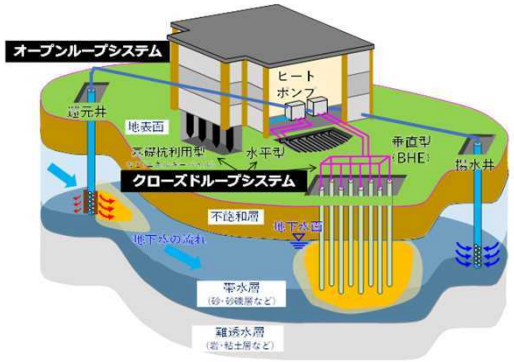
③ 統合型設計ツールの開発の開発･規格化

- ･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

周期加熱法による迅速TRT技術の開発と規格化

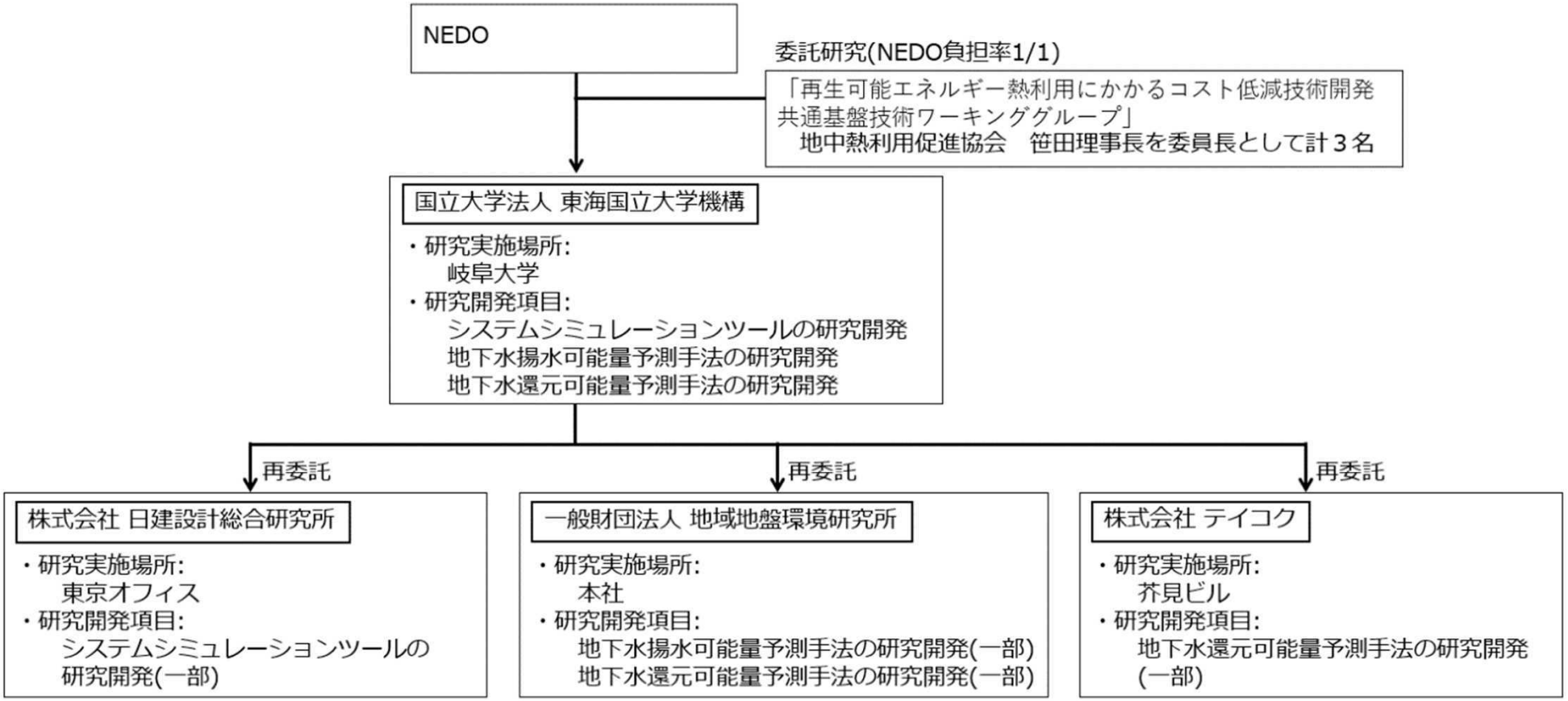


統合型設計ツール全体イメージ



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±3℃から±5℃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。	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±3℃から±5℃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

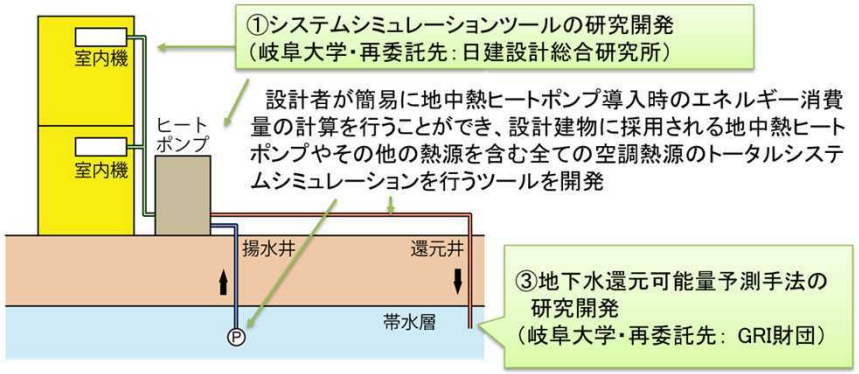
①LCEMで利用可能なオープンループ方式用モジュールを作成し、システムの年間エネルギー消費量を実測値に対して誤差25%以内で予測することを可能とした。

②LCEM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さらには、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

参考資料１　分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
「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）分科会
議事録および書面による質疑応答

日　時：2024 年 6 月 6 日（木）13：00～17：20
場　所：NEDO（川崎）2301-2303 会議室（リモート開催あり）

出席者（敬称略、順不同）

＜分科会委員＞

分科会長	齋藤　潔	早稲田大学　理工学術院　教授
分科会長代理	秋澤　淳	東京農工大学大学院　工学研究院 先端機械システム部門　教授
委員	高橋　渓	三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング株式会社　政策研究事業本部 経済・産業ユニット　産業創発部　主任研究員
委員	田中　雅人	ミサワ環境技術株式会社　広島本社　常務取締役
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　主任研究員
委員	安田　健一	株式会社三菱地所設計　経営企画部　執行役員　経営企画部長

＜推進部署＞

山田 宏之	NEDO 新エネルギー部 部長
上坂 真(PM)	NEDO 新エネルギー部 主幹
馬場 恵里	NEDO 新エネルギー部 主任研究員
片山 陽介	NEDO 新エネルギー部 主査
彦坂 芳久	NEDO 新エネルギー部 主査
近藤 洋裕	NEDO 新エネルギー部 主任
鶴和 義和	NEDO 新エネルギー部 専門調査員
松尾 純志	NEDO 新エネルギー部 主査

＜実施者＞

桂木 聖彦	日本地下水開発株式会社 代表取締役社長
山谷 睦	日本地下水開発株式会社 営業本部企画開発部 部長
今田 和彦	日本地下水開発株式会社 技術本部設計部 担当部長
伊藤 健大	日本地下水開発株式会社 技術本部設計部 主任
新宮 紫苑	日本地下水開発株式会社 技術本部設計部 係
柴 芳郎	ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 再生可能エネルギー研究所 会長
駒庭 義人	ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 再生可能エネルギー研究所 副主幹
塩谷 正樹	鹿島建設株式会社 専任部長
鶴見 隆太	日建設計総合研究所 研究員
近藤 武士	日建設計総合研究所 主任研究員
鵜飼 真貴子	名古屋大学大学院 環境学研究科 准教授
長野 克則	北海道大学 工学院 空間性能システム専攻 教授

＜オブザーバー＞

千葉 恭男	経済産業省 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 課長補佐
金地 隆志	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価調整官
村中 祥子	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐
亀山 孝広	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐
浅野 常一	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価係長
小林 義昭	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 評価企画係長
渡辺 智	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価専門職員
宝関 義隆	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価専門職員

＜評価事務局＞

山本 佳子	NEDO 評価部 主幹
佐倉 浩平	NEDO 評価部 専門調査員
宮代 貴章	NEDO 評価部 専門調査員
板倉 裕之	NEDO 評価部 専門調査員

議事次第

（公開セッション）

１．開会、資料の確認

２．分科会の設置について

３．分科会の公開について

４．評価の実施方法について

５．プロジェクトの説明・詳細説明

5.1 プロジェクトの説明

5.1.1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

5.1.2 目標及び達成状況

5.1.3 マネジメント

5.2 プロジェクトの詳細説明

5.3 質疑応答

（非公開セッション）

６．プロジェクトの補足説明

6.1 全体説明

6.2 地中熱利用システムの低コスト化技術開発

・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

6.3 太陽熱等利用システムの高度化技術開発

・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

6.4 高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発

・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

７．全体を通しての質疑

（公開セッション）

８．まとめ・講評

９．今後の予定

１０．閉会

議事内容

（公開セッション）

１．開会、資料の確認

・開会宣言（評価事務局）

・配布資料確認（評価事務局）

２．分科会の設置について

・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。

・出席者の紹介（評価委員、評価事務局、推進部署）

【齋藤分科会長】　早稲田大学の齋藤と申します。専門は熱システムのダイナミックスや制御などの領域になります。本日は一日どうぞよろしくお願いいたします。

【秋澤分科会長代理】　東京農工大学の秋澤と申します。私は、排熱利用のヒートポンプや太陽熱利用に関する研究をしております。よろしくお願いいたします。

【高橋委員】　三菱 UFJ リサーチ&コンサルティングの高橋と申します。私は、民間シンクタンクでエネルギー分野の調査研究を実施しており、熱利用に関しては 10 年ほど力を入れてやっております。どうぞよろしくお願いいたします。

【田中委員】　ミサワ環境技術株式会社の田中と申します。弊社は地中熱を利用した設備の設計や施工をやっており、私はその中でも地中熱利用の研究開発及び設計をやっています。本日はよろしくお願いいたします。

【濱元委員】　埼玉県環境科学国際センターの濱元と申します。私は、地域への地中熱普及という観点から、地中熱ポテンシャルマップや実証試験等の研究を行っております。本日はどうぞよろしくお願いします。

【安田委員】　三菱地所設計の安田と申します。建築環境工学を専門としており、これまで大規模複合建築物から 2 階建ての営業所まで建築設備設計を行ってきています。現在は設計事務所の経営企画を担当しておりますが、経産省の ZEB・ZEH-M 委員会等を通じ、カーボンニュートラルな社会の実現に向けて微力ながら携わっています。どうぞよろしくお願いいたします。

３．分科会の公開について

評価事務局より資料２及び３に基づき説明し、議題 6.「プロジェクトの補足説明」及び議題 7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。

４．評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料 4-1～4-5 に基づき説明した。

５．プロジェクトの概要説明

意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【齋藤分科会長】　ありがとうございました。

それでは、ただいまの説明に対する御意見、御質問等をお受けいたします。田中委員、お願いします。

【田中委員】　資料 5-1 の 16 ページのアウトカム達成までの道筋について、プロジェクト終了から市場拡大、量産化によるコスト低減、あるいは共通基盤技術について、規格化・標準化に向けた活動が始まっていくものと理解しました。今後のこういった活動について、NEDO として何か継続して支援をされ

る計画があれば教えてください。

【上坂 PM】　事業終了後については、成果の発信ということで、毎年、「再生可能エネルギー世界展示会」という展示会を通じ、プロジェクト成果を発表する機会があります。そこで実施者様に展示・発表をやっていただくことがまず一つあると思います。またもう一つは、報道関係のプレスリリースといったものもそうですが、昨年度もございましたが、学会等を通じて、また、よりマーケットを広げる観点から自治体様を含め、導入していただく権限をお持ちの方々にPRしていく部分もあると思っています。一方、今回は地中熱のところに特化しましたが、規制のあるところに導入していく部分については、地中熱利用促進協会様でも国交省といった所管官庁がお持ちのガイドライン等にどのように盛り込んでいくことができるかといったところで、前向きかつ推進的に動いていただいています。加えて、NEDO側でも同協会などとディスカッションをしながら、どのように成果を見せていくかについては継続的に議論を行ってまいります。他方、実際のシステムとしては、他の機器売りと違い、よりオーダーメイドなシステムだという認識を持っています。例えば先ほどお示しした過去プロジェクトでも少し実績が出てきているように、直前のプロジェクトの成果はすぐに事業化にならずとも、その一部の掘削の工法であるとか、機器システムの提案といったものだけでも少しずつ市場導入いただくことができるとよいと考えます。金銭的なところで支援をするのは難しいところもありますが、ソフトの支援は引き続き進めていきたいと思います。

【齋藤分科会長】　それでは、秋澤分科会長代理、お願いします。

【秋澤分科会長代理】　今の質問にも関連しますが、例えば以前の再エネ技術開発プロジェクトのアウトプット後にアウトカムに至るまでの間には、恐らくNEDOのコミットがあったと考えるところで、具体的にはどのようなことをされたのかを伺います。また、前の予算規模が43億円であり、今回は15億円ということで半分下回っているわけですが、それは再エネ熱に対する予算の割当てが先細っているのでしょうか。そのあたりの規模感、動向についても何かNEDOとしての見解及び方針があれば教えてください。

【上坂 PM】　再エネ熱をテーマとした一連の事業は、フェーズを持って段階的に進めてきたものとなりますが、前プロジェクトにおいては、再エネ熱に関してエネルギー基本計画でも8種類が示されているように、より広く再エネ熱の事例を作っていくところを主眼にやっていきました。その中で、実際に助成事業に比べ、より事業化の部分のリードタイムは長くなる部分があります。先ほど説明したとおり、過去プロジェクトの各テーマは、こういうシステムの再エネ熱の組合せの事業があるといったことを、事例として広報的なパンフレットを作って紹介してまいりました。それを、そのまま同じものとはいかないかもしれませんが、各地方の自治体様がお持ちの補助金において、設備導入の選択肢としてNEDOで実証したような設備を使っていただく、その一部を使っていただくといった点につなげていきたいというねらいで、成果を事例としてまとめています。一方、予算規模としては、前回は委託事業ということで事業費負担がない分、テーマのフォーカスを絞り切れていなかった点もあるのですが、そうした大きく打ち上げた形の事業に比べ、今回のプロジェクトは助成事業として、より確度の高いテーマをフロントランナー的に事業者さんが実施したものという位置づけになります。財政面においては、全体的に再エネ熱に対して拡充できかった点もあるかもしれませんが、より明確に支援するターゲットを絞ってやってきたことから、結果的に、予算規模を一部スリム化したような部分もあったのではないかと思います。他方、共通基盤として、代表的な地中熱においても、より入口の設計段階といったところではコスト課題がまだあるといったことで、その点は委託事業で共通基盤として取り組ませていただきました。その都度、国としてやるべき必要な予算に重点をシフトしており、熱版のFITのような形で再エネ熱をより投資的に呼び込めるような状況にはまだなっていないと個人的には思うところですが、その一つ前段として広く再エネ熱の事例を実証した段階と、今回はそこを絞ってより

フロントランナーの効果を見せていくといったプロジェクトの違いがあると理解いただければ幸いです。

【秋澤分科会長代理】　前回は委託事業が多く、今回は補助事業が重点的といった理解でしょうか。

【上坂 PM】　実証の開発項目に関しては助成事業ということで、実施者様に負担があったと形になります。

【秋澤分科会長代理】　ありがとうございました。

【齋藤分科会長】　それでは、安田委員、よろしくお願いします。

【安田委員】　資料 5-2 の 6 ページについて伺います。今回、給湯も含めた地中熱利用ということで高齢者住宅など給湯負荷のある施設についてとなっています。地中熱利用となると給湯負荷があるところが非常に狙いどころとしてはよいと思いますが、ターゲットとして考えられる老建等、高齢者関連施設というのは、実は 2000 年から 2005 年当たりに大量に造られており、少し調べると年に 30,000 室ほどになっています。そして、それら施設がリニューアル時期をまさに迎えます。そうしたところでは、事業原簿にも書いてありますが、既存のオーナーにもぜひ普及をしていきたいところです。また、ファイナンスも含め、導入のスキーム等を提案できると普及に弾みがつくのではないでしょうか。それから今の質問にもつながるのですが、そのあたりの戦略などをやっていくことで、例えば普及によるコストの好循環といったアウトプットからアウトカムへの展開が図れると考えますが、そういったところにつなげていく議論は既に行われているのでしょうか。

【上坂 PM】　非常に現場のユーザーサイドとして状況を踏まえたご指摘を頂戴いたしました。我々もまだそこまで実際の現場ごとのリニューアル時期などを各業種、ターゲットで明確に整理できているわけではありませんが、おっしゃるように今回、割と小規模な形での実証事例になっている側面もあると思います。そこからよりターゲットを広げていくという意味での熱利用、また熱利用としての適切な規模感を想定したときに、高齢者施設というものは、ホテル、病院といった大規模なものに比べるとより適切であり、こういうテーマが非常に有望だと理解している次第です。一方、例えば新築を狙っていく、既存のリプレースを狙っていくといった市場戦略について、明確に何かイメージができているかと言われると、そこは今後になります。ですので、そこについては、そういった想定を持ちながら、面的に実証していく次のプロジェクトを進めたいと思います。その中でも、都市開発的にゼロから大規模に構築するケースと、既設の施設に面的なスケールメリットを出していくケース、両面の成果から、設計事務所であるとか、ゼネコンの方々の選択肢の一つになっていただけるようなアピールを目指したく思います。今回のプロジェクトではそういった成果までに至っていないかもしれませんが、次のプロジェクトを行う上で、そうした観点及び情報を取りながらやっていきたいと思います。

【安田委員】　ありがとうございます。関連して、設計する立場から申し上げます。今回行った個別のプロジェクトの中で地下水位のグラフに関して事前に質問をしましたが、それに対し回答として頂いた具体的なデータというものが非常に有益だと思います。オープン・クローズ戦略も分かるのですが、ノウハウのところは当然クローズでありながらも、地下の温度が実際に使ったらどのように変化するというのは地域によってそれぞれ異なるわけですから、データが多いに越したことはないと考えます。この後の基盤のところにもつながっていくのですが、そういったデータがあると、設計する立場から見て「この地域でこういう実績がある。そうであれば、このぐらいを期待してやってみよう」といったところに進んでいくと思いますので、ぜひデータの公開を進めていただけたら幸いです。

【上坂 PM】　貴重な御意見をありがとうございます。実施者様を通じて出せる、出せない等はあると思いますが、そういったニーズがあるといった点で、よりマーケットが広がっていく可能性があり、情報を出していくことは可能な範囲でできるものと考えます。ご指摘踏まえ、今後も研究開発を行っていきたいと思います。

【安田委員】　知財に絡むノウハウ等は構いませんが、例えば事前質問で出していただいたグラフ 3 枚を見

ただけでも、実は冬よりも春のほうが低い温度と分かります。そうすると、季節的な温度というのは時間遅れがあることをはじめ、夏を通じても年間で 5 度程度の変動で収まっていることが把握できるのです。当然ながら条件は種々あるためケースバイケースにはなりますが、そういった実証のデータを見ると設計意欲が非常に湧いてくるものですから、そういった公開できるようなデータはぜひ公開していただけるとありがたいです。

【上坂 PM】　承知いたしました。

【齋藤分科会長】　それでは、高橋委員、お願いします。

【高橋委員】　私も熱利用のマーケット調査等をこれまでやってきていますが、日本の場合、温暖な気候、かつ空気熱ヒートポンプエアコンのような非常に効率の高い機器も普及しているので、ターゲットを決めて普及戦略を練っていくことは非常に重要と思います。その上で 2 点伺います。1 点目は、NEDO としてこのプロジェクト及び今後を含め、どのようなターゲットとして再エネ熱を普及させていくのか。そして 2 点目は、どちらかと言えば家庭用・業務用において業務用のターゲットが多かったように理解しているのですが、それは事業を募集した結果によるものなのか、それとも、もともとそこをターゲットとして意識的に採択をしていったものになるのでしょうか。そのあたりを教えていただけると助かります。

【上坂 PM】　1 点目のマーケットとしてのターゲットですが、熱供給という全体で見たときに、過去の NEDO プロジェクトにおいても、再エネ熱に限らない熱供給という意味で、都市供給的に大規模なテーマもあったと思います。一方、再エネ熱を使っていくところにおいては、より地域特性という部分で、もう少し小規模に今の機器であるとか再エネ熱の実証をしていく中で、プロジェクトの投資対効果といったところにこだわり過ぎず大規模なものではなく進めてきたものと考えます。そうした意味では、ターゲットとしては、別のプロジェクト等でもあるように、例えばスマートシティのような大きなものとして海外にそのまま日本型を移設するといったプラント輸出的なことにはたどり着いていない面もあると思います。一方、現在、プロジェクトの 3 ステージ目に入ってきており、次期プロジェクトでは、より熱供給としての規模感を出すところを意識していく必要があると考えます。そのように規模を多くしていけばいくほど、再エネ熱独自でやるのか、もしくはアシスト的な部分を出していくのかといったところで、これは我々新エネルギー部の立場での意見になりますが、再エネ熱をどこまで強調できるかといった点で、あまりそこにこだわり過ぎてはいけないといった思いも持ちつつ、現時点においては再エネ熱自身でのコスト低減、効果に対する可能性を技術面で追求していくことが面的利用においての第一歩であり、小規模ではあるものの、民生的な需要を狙っていくものと思っています。

他方、業務用が結果として多かったという 2 つ目のご質問について確認ですが、業務用というのは民生空調といった理解で合っているでしょうか。

【高橋委員】　資料 5-1 の 13 ページに省エネ部と新エネ部の事業内容のすみ分けが整理されていますが、新エネ部ではどちらかと言うと家庭用・業務部門をターゲットにしていると認識しています。その中で、家庭というよりは業務部門が中心だったように思うところで、そのあたりの背景であるとか、結果的にそのようになったのか、もしくは意図的だったのかといったあたりを伺いたく思います。

【上坂 PM】　1 つ前のプロジェクトのレベルであれば、もう少し小規模な戸建てぐらいのところに地中熱方式で行っていたプロジェクトがあったと思いますが、今回においては、より実際に事業者のほうがコストを負担してビジネスモデル的に導入していこうという中でのビジネスとしての受入やすさを考えた際に、今の市場であれば、個人向けの地中熱マーケットと比べると、もう少し公共的なところ、自治体を中心にしたところをマーケットとして想定されていたと考えます。一方、今後、東京都で太陽光発電、太陽熱、地中熱の新築義務化という制度が始まったときには、個人向けのマーケットがもう少し出てくるのかもしれませんが、このプロジェクトをスタートした時点においては、そういった状況では

なかったと理解しています。

【高橋委員】　結果的に事業者が業務用のほうが有望と判断して、そのようなプロジェクトが多くなったものと理解しました。ありがとうございます。

【齋藤分科会長】　それでは、濱元委員、お願いします。

【濱元委員】　2 点伺います。1 点目は、先ほどの議論にもありましたノウハウの秘匿の部分になります。社会実装や再エネ熱の普及を考える場合には、ノウハウの秘匿部分が多いとせっかく開発した技術も広まりにくいと思うのですが、その点についてはどのあたりで整理をされているのでしょうか。それから 2 点目は、この開発期間中において、コロナの影響をはじめ、マネジメントを進める上で何か変更点、苦労、工夫等があれば教えてください。

【上坂 PM】　まずノウハウの点ですが、この後、実施者の非公開セッションもあるため、そこで発言できる部分があれば、少しディテールのところで補足をいただければと思います。また、プロジェクト実施において、NEDO 側としては各実証事業の中で、そういった特許取得等は意識して取り組むようマネジメントしてきました。その必要な部分においては、ビジネスモデルが想定できた事業者さんでは意識していたと思うものの、一方、まだそこまで事業化をして進めるかどうかが判断できない場合、一部ノウハウとしてとどめるのか、特許まで持っていくのかといった判断もあったと思います。そうしたことから、潜在的な形で特許化の件数等を含め、本プロジェクト全体で見たときには、少なめといった印象が生じたのではないかと思います。また、ものづくりそのものを対象にした事業ではないといった側面もあり、実際にビジネスで使っていくのであれば特許化をする部分がもう少しあると考えます。他方、熱供給という形でビジネスなり設計の中で、ある種職人的な部分といった点でノウハウとして持つ役割のビジネスを考えている業者においては、よりそこは強くなるとも思います。おっしゃるとおり、秘匿は普及の意味でマイナス要素があるため、そこは先ほどの再エネ熱協議会様の人材育成等を通じ、広く様々な講習会であるとか、そういったところをやっていただくことが望ましいのではないかと考える次第です。（※コロナの影響については、非公開セッションにて回答）

【濱元委員】　分かりました。ありがとうございます。

【齋藤分科会長】　それでは、田中委員よろしくお願いします。

【田中委員】　先ほど特許出願について 4 件との説明をいただきましたが、その点について、審査状況を把握されていることがあれば教えていただきたく思います。

【上坂 PM】　現状、出願に関する情報までは押さえているものの、特許化・権利化をされた点については、申し訳ありませんがこの場での回答が難しいです。

【田中委員】　分かりました。ありがとうございます。

【齋藤分科会長】　それでは、後ほどお調べいただくという形でよろしいでしょうか。

【上坂 PM】　確認を取りたいと思います。（※特許化については、非公開セッションにて回答）

【齋藤分科会長】　ありがとうございます。それでは、時間が参りましたので、議題 5 の質疑応答は以上といたします。

（非公開セッション）

6．プロジェクトの補足説明

省略

7．全体を通しての質疑

省略

（公開セッション）

８．まとめ・講評

【安田委員】　本日は、プロジェクトの詳細について御説明いただきありがとうございました。いずれのプロジェクトも、実用化に必要なコスト低減について研究実証をされていて非常によいと感じました。地中熱や太陽熱などの再生可能エネルギーを熱利用する場合、具体的な建築に実装する際には、先ほども冷媒のところで言いましたように、ヒートポンプとの組合せになると思うものの、場合によっては、温度帯によっては直接利用もできますし、蓄熱槽や貯湯槽等のバッファと組み合わせると再生可能エネルギーの利用効率が上がると思います。それらを含め、経済設計をするためには、給湯も含むのですが、建物側の熱需要といかにマッチさせるかが重要になると設計側としては思うところです。そして、今回、個別のプロジェクトが多々ありましたけれども、そこで得られた実証データ等は大変設計の参考になる貴重なデータでした。ぜひプロジェクトに関わられた方々にあっては、学会や協会誌を通して整理し、公表していただけると大変助かります。また、地中熱利用の規格を検討した際に、実際に導入するかどうかでいま一つ踏み切れない要因としては、地域や地盤によってどの程度再熱できるかが調査をしてみないと分からないといった不安があります。今回の共通基盤技術開発で行っているような見かけの伝導率データベースをつくることや設計ツール等も出していただけると、非常に地中熱導入時の不安も解消されますし、そのデータベースが REPOS のようなオープンデータとして広がっていくことで、ますます普及に弾みがつくのではないかと感じるとともに、大変期待感を抱きました。

【齋藤分科会長】　ありがとうございました。続いて、濱元委員、よろしくお願いします。

【濱元委員】　本日はこのような機会に呼んでいただきましてありがとうございました。いずれの研究のテーマにつきましても、非常に大きな成果が得られていると感じています。また、自治体視点からお伝えしますと、テーマ 1、テーマ 2 の例えば帯水層蓄熱、天空熱源といったものは公共施設を建てる際に活用できる技術だと思います。またテーマ 3 については、地域において例えば住民へ再エネ熱の導入を普及させる際のツールとして活用させることや、さらには地域における適正なシステムの導入といったものに役立てられると感じました。それから、本プロジェクトは最先端の技術開発に加え、人材育成講座、学会の特別セッションといったもので非常に積極的に情報発信をされていることは大きく特筆すべき点だと思います。これらの開発の要として、新エネルギー部の皆様が全体のプロジェクトの管理をはじめ、実施者間の情報共有など非常に積極的に実施をされたおかげで最大限の成果が得られたものと思いますので、これからも御尽力をいただければ幸いです。

【齋藤分科会長】　ありがとうございました。続いて、田中委員、よろしくお願いします。

【田中委員】　本プロジェクトでは様々な案件で研究開発をされており、例えば地中熱では、地盤の熱伝導率のデータベースの構築をはじめ、サーマルレスポンステスト、設計のツール、掘削機の開発、施工方法の開発や、地中熱交換機の開発においては直膨式や杭方式、オープンループ、ヒートポンプの開発といった非常に多岐にわたっており、本当に建築に導入する際の上流から下流までを網羅したテーマが採択されていました。そして、それぞれ設定された目標をおおむね達成されているということで、すばらしい成果が出ているのではないかと感じます。その上で、少し気になった点として、技術開発については成果が出たところで、あとは事業化に向けて取り組む必要があるといった項目もあったかと思います。今後は、そういったところを継続的に事業化に向けて支援していくような仕組みがあるとよいと考えます。これは NEDO が直接取り組まれる必要もないかとは思うのですが、例えばスタートアップの技術シーズを事業化していくといった支援プログラムが様々なところであります。そういうところの情報提供といった形でもいいと思いますが、本当に事業として身になるところに向けて支援する取組を検討いただきたいです。また、濱元委員の事前質問の中にあった点になりますが、物価の変動にお

いてはこのところ安定的に物価が上昇していくような傾向にあります。コストダウンを評価するときに、どこにベンチマークを置くのかをはっきり決めないと、何もしなければコストがどんどん上がっていくという世の中になっているため、例えば 5 年前に事業が始まったときと同じコストでやっているというのは、実質的にはコストが下がったような状態と言えると思いますし、そのあたりの評価のやり方というのが何かあればいいのではないかと思います。最後に、今回の事業はコストダウンが主なテーマだと思いますが、我々、地中熱をビジネスとしてやっている中で、このところコスト度外視でとにかくカーボンニュートラルをやるということで採用される事例が特に民間のプロジェクトの中で出てきていると感じております。そういったコスト以外の要素、省エネであるとか、今後、排出権取引といったことも出てくると、CO_2 の削減自体はコスト低減に結びつくといったこともあると思いますので、そういった観点の評価も同時に PR されていくとよいのではないでしょうか。

【齋藤分科会長】　ありがとうございました。続いて、高橋委員、よろしくお願いします。

【高橋委員】　三菱 UFJ リサーチ&コンサルティングの高橋です。新エネ部の皆様、今日は御説明をいただきましてありがとうございました。この事業に関しては、2014 年度の前事業で開発した要素技術も活用しながら、トータルシステムとしてシステム全体を開発していくプロジェクトであったと認識しています。今日は個別に幾つか成果も紹介いただきましたが、とてもいい成果であり、低コストのシステムができたと実感していいます。再エネといいますと、太陽光、風力といった再エネ電力が注目されがちですが、熱需要は非常に大きいですから、この開発したシステムが熱利用の脱炭素化に寄与する、この技術を普及させるというところが今後とても重要だと思い期待しているところです。あと、再エネ熱の活用については、「欧州と比べると日本は少し遅れているのではないか」といった点で指摘されることも多いと思いますが、欧州とは気候条件も相当違いますし、熱利用に関しては日本型の技術を開発していくことが非常に重要だと思います。そういう意味で、今日紹介いただいた帯水層蓄熱、熱源水ループによる熱融通等は、まさに温暖な気候でも有効なシステムのものが開発されたところだと理解いたしました。次期プロジェクトでは面的利用、あるいは電力とのセクターカップリングにも力を入れていくということですから、また尽力いただけることに期待しております。

【齋藤分科会長】　ありがとうございました。続いて、秋澤分科会長代理、よろしくお願いします。

【秋澤分科会長代理】　東京農工大学の秋澤です。本日は御説明ありがとうございました。事業者の皆様も大変すばらしい成果を挙げられており、アウトプットとして十分なコストダウンの見通しができたことは大変喜ばしい結果だったと思います。ぜひこれをアウトカムにつなげられるように、より一層のコミットをしていただき、マーケットを開発していただけたらと思います。アウトプットをアウトカムにつなげる上でのバリアというのもまだあると思いますから、NEDO におかれては、技術開発及び一定の開発成果が出たその後も何らかの支援、サポートがあるとより効果的なのではないかと考えます。また、私は再エネ関係で実務的な人材育成が非常に重要だと思っており、そういう意味で、今回、3 協会が再エネ熱についての教育研修を引き継いでやっていただけるという意味では、非常によいフォーメーションができたと思います。直接 NEDO はコミットをされないのかもしれませんが、そういう受皿を同時に開拓していくことも重要だと思います。加えて、再エネ熱については、エネルギー基本計画に書かれている割には、それほど皆様の認知が高くなく、もっと推進するべきだと個人的に思っております。また、地中熱も非常に大事ですが、それ以外の再エネ熱、太陽熱をはじめとして、まだまだ普及という意味では海外に比べて全く弱いという点もあります。既存の技術だと技術開発要素がなくサポートを受けにくいところもありますが、これからの時代、再エネ熱をより強化していかないとカーボンニュートラルにはならないと思います。改めて、再エネ熱が総力戦を戦っていけるようにサポートをしていただけたら大変ありがたいです。「再エネ熱はアシストではなく、主たるエネルギー源になる」、それが今後の方向だと思いますので、ぜひ引き続きよろしくお願いいたします。

【齋藤分科会長】　ありがとうございました。それでは最後に、分科会長を仰せつかりました早稲田大学の齋藤より講評をいたします。皆様、本日は非常に活発な議論を大変ありがとうございました。皆様、御承知のとおり、カーボンニュートラルを実現していくには、、エネルギーの最終利用は50%以上が熱であるため、再エネ熱を含め、これらを有効活用していかなければなかなか実現できないと思っております。今後ともぜひ熱利用をうまく進めていくように、NEDO及び経産省の皆様においては、熱をより活用する技術に対して様々な支援をいただけたらと思います。一方、熱利用というのはなかなか難しく、エネルギーの観点から見ると質は低い、エネルギーの密度は低い、しかし、コストはかかるということで、これほど使いにくく難しい技術はないと思っています。特に再エネ熱の利用となれば、非常にニッチな分野になりますから、一事業体で全てをやるというのは相当難しい技術だと思います。そうした中で、改めてNEDOプロジェクトの話を聞き、NEDOのプロジェクトであるということが非常に重要であると実感したところです。今回コストの話が非常にメインであり、私も再エネ熱利用に関しては、いかにコストを下げるかが重要だと常々認識しているところです。エネルギーの面で見ても、再エネ熱の利用となると、ヒートポンプの技術とセットになっていくと思いますが、ヒートポンプ普及という面で見ても、ヒートポンプには、熱源がないというのがいつも大きな課題になるわけです。非常に技術も進んできており、熱の取り出しに関しては200℃ぐらいもそろそろ夢ではなくなってきています。高温化NEDOプロのほうでやられていると思いますが、ヒートポンプが非常に幅広い範囲で使えるようになってきていることで、普及をしていかなければいけないのですが、先ほど申し上げたように熱源がないことしばしば起こります。ですから、この再エネ熱の利用は、ヒートポンプ技術の普及という意味でも非常に効果があると考えており、大いに期待をする次第です。また、今回プロジェクトの中でも、再エネ熱の活用だけでなく、ヒートポンプの上手な使い方等も随分と出てきており、興味を持って聞かせていただいたところでした。こうした技術を通じ、再エネ利用とヒートポンプのセットでよい技術がもっと開発されていくことに期待いたします。それから、先ほども少し話があったように、注意いただきたいと思う点として冷媒の問題があります。近々でいけば、5年後の2029年には非常に冷媒が大きく転換する可能性があります。可燃性や毒性があるような冷媒へと転換せざるをえません。正直申し上げれば、フロンは非常によい冷媒だったわけですが、GWPの問題からフロンが使えなくなるとなれば、もう残されたのはそういう冷媒しかないというのがいよいよ現実味を帯びてきており、今後この技術普及促進において環境制約になる可能性があります。もし次のプロジェクトに進むようなことになれば、その点はぜひ留意いただきたいところです。2036年にもなれば、「冷媒転換の最後の時期」と言われているように、本当に大きな転換になります。その2036年まで見ても、10年少々しかありませんから、そうした点は踏まえて技術開発をお願いできればと思います。最後になりますが、大事なポイントは当然コストに最初はなると思いますが、システム全体としてどれだけ性能が上がるかが非常にも大事であります。イニシャル、ランニングコスト含め、消費者の皆様は、やはり経済的な側面でメリットを出さないとどうしても購入していただけません。ですから、システムは複雑になっていくものの、なるべく使うユーザーの皆様にとって分かりやすい数字として性能を提示していくことも非常に重要なところだと思います。繰返しになりますが、いずれにしろ熱の有効利用がカーボンニュートラルのキーになっていきますから、再生可能エネルギー熱が広まっていくことを願うとともに、共通基盤技術がうまく活用され、アウトカムが達成されるよう技術展開されていくことを望んでおります。

【宮代専門調査員】　委員の皆様どうもありがとうございました。続きまして、推進部より一言お願いいたします。

【山田部長】　推進部代表をし、私、部長の山田より挨拶いたします。本日は、長時間にわたりまして評価にかかる御審議をいただきまして誠にありがとうございます。再生可能エネルギー熱については、「なか

なか」と分科会長からも話があったように、歴史を振り返ってみればサンシャイン計画から今年で50年になりますが、半世紀にわたって取り組まれている分野でありながらも、「なかなか（普及に至らない）」という状況です。我々が引き続き努力を続けていかなければならないと自覚しております。そういう意味で、今日は大変示唆に富む意見を多々頂戴したことに感謝申し上げます。事業化に向けた話、アウトカムに関する質問等、講評を含め様々いただきましたが、実施者の方々とのコミュニケーションはより一層密にしてまいりたいと思いますし、「事業終了が縁の切れ目」とならないようにフォローアップをしてまいります。また何かの機会がございましたら応援していただければと存じます。また、データは設計サイドで有用だという話など励みになる示唆もございました。早速、具体化の方法などを検討してまいりたいと思います。冒頭の公開セッションで予算規模に関する指摘がございました。規模については政策当局とも相談をしながら検討することになりますが、今日何度か話題になりましたように、熱利用技術の開発は本事業だけではございません。他の事業、NEDOのほかの部で取り組んでいるものもあります。そういったところと連携することでシナジーを発揮し、インプットを膨らませるだけではなく、アウトカムを膨らませる努力を進めてまいりたいと思います。この点につきましては、先ほどのヒートポンプの話、冷媒の話などでも感じたところです。また、変動電源の調整機能にも使えるのではないかという話もありましたが、これは実際にマンションで実用化している例もあります。このあたりは、私どもの部の中で他の事業と連携することで見えてくるものでもございますので、ぜひNEDO内でもそのシナジーを追求してまいりたいと思います。それから、評価の場とは言いましても、本日頂戴した指摘、質問等から得た示唆というのは非常に参考になるものが多くありました。ぜひ次の事業マネジメントに反映させるよう努めてまいりたいと存じます。最後にコストの件ですが、他の再エネでもコストはずっと重要な論点になっております。ただ、「普及につながる一線を超えた後は、コストだけではない」という話が必ず出てまいります。順番としてはクリアしなければいけないコスト指標というのはあるのですが、そのコスト指標が絶対評価なのか相対評価なのか、相対評価が前と比べてなのか、他と比べてなのか、これはどの分野でも悩んでいるところです。この点も、本日の見解を踏まえながら、次のマネジメントに生かせればと思うところです。いろいろ思いもあって長くなってしまい恐縮でございますが、以上になります。

【齋藤分科会長】　ありがとうございました。それでは、以上で議題８を終了といたします。

９．今後の予定

１０．閉会

配布資料

資料１	研究評価委員会分科会の設置について
資料２	研究評価委員会分科会の公開について
資料３	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における技術評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5-1	プロジェクトの説明資料（公開）
資料 5-2	プロジェクトの詳細説明資料（公開）
資料６	プロジェクトの補足説明（非公開）
資料７	事業原簿（公開）
資料８	評価スケジュール

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「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）分科会

ご質問への回答（公開分）

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 7 P2-13, P4-17, P4-27, P4-52	特許出願の無いテーマのチームに質問します。 本開発においては，多くの技術成果が得られたと推察します。世界トップレベルの技術開発を目指す本 NEDO 開発においては、特許出願が 4 件であり(P4-13)，テーマ数(全 8 テーマ)に対し特許の出願が少ないと思います。特許出願が少ない理由は、事業終了後に出願されるのでしょうか。それとも、出願に慎重なのでしょうか。特許に値する技術成果が得られなかったのでしょうか。あるいは、NEDO の特許制度に問題があるのでしょうか。その理由をお聞かせ下さい。	齋藤 分科会長	本テーマは高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発の 1 テーマとして実施したものであり、装置開発等は行っておらず設計ツールの開発や設計指針の作成を行いました。これらはハードウェアではなくソフトとしての成果であり、学会発表や論文発表にはよいものの、特許には結び付きにくいと考えました次第です。 特許性のある手法や技術もありましたが、それを広く利用する環境ではないため、特許出願することに慎重になっています。 特許に関してですが、H 型 PC 杭を利用した地中熱交換器に関する内容について 1 件出願する予定となっています。現在、事業者間で調整を行っているところで、準備が完了次第出願を行います。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
	参考：特許出願のあったテーマ，「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」が 1 件(P4-17)、「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」が 1 件(P4-27)、「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」が 2 件(P4-52)		
資料 7 P4-38	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(P4-30) ・事業化に向けた課題と今後の方針(P4-38) 「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、・・・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ことが可能になると考えている」と記載されています。 ZEB 導入による出荷台数の増加は，本事業の2030年見通しの「トータルコスト 30%以上低減」を越える成果が期待できるのでしょうか。	齋藤 分科会長	ヒートポンプの価格は、出荷台数が増加すればコスト削減が期待できるものと考えている。目標値としては「トータルコスト30%以上低減」であるため、ヒートポンプだけでなく、井戸を含めた熱源施設、二次側の放熱装置など、要素毎にコスト削減を進め、ランニングコストも当然削減できるように取り組む必要があると考えている。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 7 P4-52	4.2.1 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(P4-49) 表 4.2.1-3 成果の最終目標と達成度(P4-52) 「②低コスト・高効率ユニット型 SSHP システムの開発」において、「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。」と記載されています。 また,「③実建物における運転性能の実態検証」において,「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。」と記載されています。これらの成果は，本事業の目標値である「トータルコスト 20%以上削減」を達成したことを示しているのでしょうか。	齋藤 分科会長	本事業では、トータルコストは、イニシャルコストとランニングコスト(14 年分)を合計したものと定義されています。比較対象とした水熱源ヒートポンプシステムに対し、イニシャルコストは増加しますが、ランニングコストを削減でき、トータルコストが低減できます。これまで積み重ねてきた、2019 年の小型実証機によるシステム実験、2021 年から実施した大府実証装置での運転性能評価による、システム COP 向上効果を定量化を行い、これをもとにランニングコストの低減効果を把握しました。この結果、本事業の目標値である「トータルコスト 20%以上削減」を達成した、と考えています。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 7 P4-77,78	4.3.1 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(P4-63) ・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(P4-77) ① 見かけ熱伝導率の推定手法(P4-77) 「全国見かけ熱伝導率データベース（テスト版）は、・・・無償公開を予定する」等、計画が記載されています。(P4-78) 地中熱利用システムの普及のためには、本システムの利用拡大が必要と思われます。今後の実用化について，もう少し具体的な計画をご教授下さい。	齋藤 分科会長	全国見かけ熱伝導率データベース(テスト版)は、今後整備する予定です。テスト版はウェブサイト上での公開を想定しています。利用拡大や実用化を見据えると、実務レベルで利用されている先行ツールに統合いただくことが肝要との認識です(具体的には、環境省 REPOS など)。情報公開に向けて、関係省庁・部局との調整も視野に入れています。
資料 5-2 P21 の成果の普及方針について	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今後の普及拡大を期待しています。地下水利用については地域によって規制も存在すると聞いておりますが、重点 5 地域（津軽平野、秋田平野、仙台平野、山形盆地、郡山盆地）での普及にあたって、規制上の課題の有無を教えていただきたいです。	高橋委員	仙台平野の一部には地下水規制で導入が難しい地域がある。山形盆地でも地下水規制はあるが、一定規模以内であれば導入が可能。その他の 3 地域では地下水規制がないことを確認している。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5-2 P29 の省エネ効果について	通常の温熱管・冷熱菅による熱供給と比較して熱源水ループを使用することによる省エネメリットは、どのようなものになりますでしょうか。中間期などで温熱・冷熱の熱融通ができること、太陽熱や地中熱などの常温に近い再エネ熱が利用しやすくなることと理解すればよいでしょうか。どちらの効果が大きいかを含めて、教えていただけると幸いです。	高橋委員	熱源水ループ温度は、10～35℃の中温帯で、この範囲であれば成り行き運転となるため、熱源機器に負担をかけず高効率で運転できます。実績では、夏季冷房時の熱源融通(排熱改修)よりも。太陽熱や地中熱などの常温に近い再エネ熱利用による省エネ効果の方が大きい結果となっています。
資料 5-2 P29 の成果の普及について	今後の普及に向けて、SSHP システムに適した熱需要先の条件や特徴（冷熱・温熱のバランス、気候条件など）があれば教えていただきたいです。	高橋委員	工場施設(食堂など)、病院、老健施設など熱需要の大きい建物に適しています。一般事務所ビルの場合、一般的に冷房負荷が卓越し給湯などの加熱負荷が小さいので、熱融通(冷房排熱回収)による効果が低減される可能性があります。
資料 5-1 29 ページ	2024 年 3 月時点でトータルコスト 20%低減の目標が達成されていますが、同時に投資回収年数 14 年以下も達成されているという理解でよろしいでしょうか。また、この場合のトータルコストはイニシャルコストと 14 年間のランニングコストの合計という理解でよろしいでしょうか。	田中委員	「トータルコスト 20%削減」と「投資回収年数 14 年以下」は同義で、両方達成しているとのご認識のとおりです(資料 5-1・27 ページの最終目標)。また、トータルコストは、イニシャルコストとランニングコスト(14 年間)の合計となります(資料 5-1・45 ページの成果一覧表のコスト面)。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5-1 30 ページ	副次的成果として、発展途上国を中心とした海外への導入を挙げられていますが、具体的にどのような成果が出たのでしょうか。	田中委員	副次的効果については、今後の可能性も含め列挙しており、具体的な成果に至っていないものもございます。海外への導入については、本事業の直接の成果ではございませんが、地中熱、熱交換器の関連として、以下の調査事業の採択につながった事例がございます。 2023 年度「二国間クレジット制度(JCM)等を活用した低炭素技術普及促進事業/低炭素技術による市場創出促進事業(実証前調査)」未利用エネルギー有効活用のための全樹脂製熱交換器 G-HEX を利用した廃水熱回収技術および地中熱利用技術導入温室効果ガス削減実証事業(ベトナム)
資料 7 4-4 ページ 成果の概要	掘削機の開発および掘削機周辺機器の開発により一人施工が可能となり、17.1%のコストダウンとされていますが、従来の施工は何人体制の想定でしょうか。また、工期への影響は評価されているでしょうか。	田中委員	従来の体制は、2 人体制になります。工期への影響は、掘削工事については従来体制と同じ二人体制ですが、地中熱交換器挿入に関しては従来体制より期間が短縮されますが、硅砂による埋め戻しについては従来作業より期間が長くなっています。これは、挿入機の開発で挿入時間が短くなったが、埋め戻しについては人の手で硅砂を設置するので時間がかかるためです。
資料 7 4-16 ページ	従来技術と研究開発技術を比較した図において、地中熱交換器の本数が大きく異なりますが、加熱と冷却のバランス以外の要因はないのでしょうか。	田中委員	他の要因として、掘削機および掘削機周辺機器の開発による掘削コストの削減、同軸型地中熱交換器の開発成果、実証試験により同じ地中熱交換器群が空調、給湯に使えることなどが分かったため等ありますが、大きい要因として加熱と冷却のバランスになります。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 7 4-19 ページ 事業化の 見通し	高齢者住宅をターゲットにされていますが、給湯需要がある施設としては宿泊施設や病院なども考えられるかと思います。高齢者施設をターゲットにされた理由は何でしょうか。	田中委員	人口の高齢化を考慮すると今後増加が見込める省エネ型空調方式と使用人員数による安定的に定量の給湯負荷がある施設として老人保健施設を一つのターゲットとした。安定的一定量の給湯負荷と空調負荷があれば宿泊施設や病院もターゲットとして考えられ、人が多く集まるような冷房負荷が過多なショッピングモールのフードコートなどもターゲットとして考慮できる。 ただし、老人福祉施設は宿泊施設と比較して空調時間が 24 時間と想定され、また同規模の病院よりも給湯需要が多いと想定されていた。地中熱の導入施設としては、長期間の利用が望ましいと考えられたので、高齢者施設をターゲットとした。
資料 7 4-26 ページ	地中熱交換器の構造として鋼管＋銅管とされていますが、耐用年数はどの程度を見込まれているでしょうか。	田中委員	銅は他の有用金属、例えば、鉄やアルミニウムや亜鉛などと比べてはるかに安定な金属であり、種々の環境下でも腐食を起こしにくいものです。これは表面に酸化膜などを形成して、不動態化するためです。 したがって、銅の耐食性は実用材料中では最良の部類に入ります。 本システムは地中埋設鋼管杭に設置しており同環境化の鋼管杭と同程度との耐用年数として設計いたしました。 最低 50 年と考え、日本の建物寿命と合わせ見込んでおります。
資料 7 4-27 ページ 表 4.1.2-3 ①地中熱 ヒートポンプ の開発	備品供給等 or OEM の目途をつけることで目標達成が可能とのことですが、今後の見通しはいかがでしょうか。	田中委員	大手ヒートポンプメーカーの市販品を媒体とした製品構成を行うことで、安定供給が図れたが、今後は国策とした地中熱利用が促進され、需要が補助金などの後押しがあれば、可能性がある設備になる」と考えます。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 7 4-30 ページ 研究開発の概要 4-37 ページ 表 4.1.3-3	2018 年度までの事業においてイニシャルコスト 21%、ランニングコスト 31%の削減を実現されています。本事業でも現時点の一般的なコストに対してイニシャルコスト 21%、ランニングコスト 55%の低減を達成されていますが、先行事業の削減効果に上乗せで削減できたという理解でよろしいでしょうか。	田中委員	前回事業での削減率は、それ以前に取り組んでいた環境省事業での結果からの削減率である。本事業での比較は、システムで対応する熱需要に給湯と融雪を加えて高効率化を図った結果であり、全部ではないが上乗せでコスト削減できたということである。
資料 7 4-31 ページ 研究開発の概要	積雪寒冷地を中心に普及を図るとされていますが、積雪寒冷地を想定された理由は何でしょうか。	田中委員	本事業での開発システムは空調施設と融雪施設を併せた形で高効率化を目指したものであり、融雪施設が必要な積雪寒冷地を普及の対象としている。
資料 7 4-68 ページ 成果の概要	モデル地域として京都盆地、唐津地域、沖縄本島を選定されていますが、この 3 地域を選定された理由は何でしょうか。	田中委員	既往 NEDO 事業で開発したポテンシャル評価技術で、地域の数値モデリング技術を確立しています。本事業では、既往モデリング技術の改良も念頭に置き、水文地質環境(地形・地質・地下水環境)の異なる 3 地域(京都盆地、唐津地域、沖縄本島)をモデル地域として選定しました。 京都盆地は、東北～中部日本に分布する比較的規模の大きな平野・盆地の代表例として、かつ既往モデリング技術を適用可能なモデル地域として選定しました。唐津地域は、西南日本の平野・盆地に特徴的な、集水域が小さくかつ帯水層も薄い小規模な平地における水文地質モデルの構築手法を確立するためのモデル地域として選定しました。沖縄本島は、塩水侵入現象により地下水(淡水)がレンズ状に賦存する淡水レンズ現象がみられるなどの、島嶼や半島の特性を踏まえた解析手法を開発するためのモデル地域として選定しました。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 7 4-78 ページ ②簡易熱応答試験(TRT)法	開発された装置の製品化に際して、販売価格は想定されているでしょうか。	田中委員	従来の TRT 実験機に付加する周期加熱電源供給装置も開発しております、その価格は約 80 万円(20kW 加熱の場合)となりますが、6kW 加熱量の場合は 40 万円となります。一体型のものであれば、20kW 加熱の場合は 400 万円程度であり、6kW 加熱量の場合は 200 万円程度となります。
資料 7 4-84 ページ ③地下水還元可能量予測手法の研究開発	他の要素が水位上昇に影響を与えるとされていますが、具体的にどのような要素でしょうか。	田中委員	現時点では明確に分かっているわけではありませんが、地下水中の微生物種とその量が水位上昇に影響を与えている可能性を現時点では考えています。
資料 5-1 2 ページ	「2023 年までに、トータルコスト 20%以上低減(投資回収年数 14 年以下)」や「2030 年同 30%以上低減(投資回収年数 8 年以下)」との記述において、 ①トータルコストの定義について以下も含めて教えてください。 ・イニシャルコストとランニングコストを含むものか。 ・社会的環境変化(人件費、資材費、燃料費などの変動)についての考慮の有無。	濱元委員	トータルコストは、イニシャルコストとランニングコスト(14 年間)の合計となります(資料 5-1・45 ページの成果一覧表のコスト面)。 社会的環変化については、ご指摘の昨今の国際情勢や国内人材不足などによる物価高騰については、必ずしも最新の情報が考慮されてはおりません。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5-1 2 ページ	②本研究プロジェクトでトータルコスト低減を目標として掲げたエネルギーシステムは何でしょうか？ 太陽熱システム、地中熱システム(U チューブによるクローズド式、直膨式、オープン式)、・・？ たとえば、地中熱オープンループ式については本研究の対象としていますが、20%トータルコストを低減したというような記述はないようです。	濱元委員	今回実証として採択したテーマは、大きく分類して、地中熱を主体としたもの 4 件と、その他の熱源を主体とした 2 件(太陽熱主体 1 件と温泉熱主体 1 件)となります。具体的には、以下のテーマとなります(資料 5-2・6，7 ページ)。 地中熱主体(①U チューブクローズドループ(CL)による給湯・空調、②直膨式(CL)による空調、③帯水層蓄熱オープンループ(OL)による給湯・空調・融雪、④寒冷地基礎杭兼用等(CL)による空調)) その他（①太陽熱＋地中熱(CL)熱源水ループによる給湯・空調、②温泉熱を活用した熱源水ネットワークシステム）
資料 5-1 2 ページ	③投資回収年数の算出には、ランニングコスト(燃料費(又は電気料金))にも依存していると思われますが、投資回収年数 14 年以下という設定は、燃料費(電気料金)の変動も考慮はしたものでしょうか？	濱元委員	前述のとおり、ランニングコストについては、テーマ毎に将来仮定は設定しておりますが、最新の変動状況まで考慮したものではございません。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 5-1 23 ページ	「トータルコスト 20%以上削減を達成」とありますが、個別のテーマの低減効果については具体的な数値（例えば、資料 5-2、11 ページ、16 ページ、24 ページ）が挙げられており、大きな成果があったことはよく理解できましたが、個々の技術の低減効果をどのような手法で「トータルコスト 20%以上を達成」と結論付けたのか評価方法を教えてください。 (本プロジェクトでは、各エネルギーシステムの全ての技術を網羅しコスト低減技術を開発したわけではないように思います。例えば、地中熱システム(クローズド式)におけるUチューブの素材開発を行っていないのであれば、U チューブの材料費は低減しないと思われます)	濱元委員	各テーマにおいて適切な比較対象となる技術のベースラインと一定の将来予測を仮定し、それぞれのシステムにおいて目標の達成目標を設定しております。具体的な事例として、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を構成要素に分解して試算を行い(資料 5-2・25 ページ右図)、トータルコスト削減目標の達成を検証しています。
資料 5-2 38 ページ	「推定誤差 0.5W/(m・K)以内を確認」とありますが、今後さらに精度を向上させることができるとすれば具体的にはどのような部分がポイントになりますか？	濱元委員	推定精度の更なる向上を目指すには、地層の種類ごとに実施した熱応答試験データの充実が不可欠です。また、例えば同じ花崗岩に分類される岩石でも、地域によって熱伝導率の値に差異が生じることを本事業を通じて確認しました。したがいまして、同じ地層の種類でも地域ごとの熱応答試験データを取得する必要があります。このような大量の試験データ集積は現実的ではありません(極めて困難)。今後、継続的に試験データを収集し、ある程度データがまとまったところで本成果の見直しを図る(精度向上に努める)ことが重要と考えています。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 5-2 39 ページ	「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」とありますが、実施完了時期および社会実装(情報発信等)の予定について教えてください。	濱元委員	日本全国の地下水環境の概略推計については本事業内で完了しており、資料の「実施中」は誤記載です。大変失礼いたしました。推計値の検証は主要地域で実施済ですが、日本全国を対象に整備したため細部まで検証が行き届いておりません。引き続き検証を含めた諸検討をすすめて、公開準備ができ次第、web サイト等で情報発信したいと考えています。なお、本成果については学会発表等で発信予定であり、利用を希望する企業に対しては対象地域を切り出してデータ提供(検証作業も先行して実施)することも想定しています。
資料 5-2 45 ページ	「新たに得られたデータを用いて各手法の高精度化」とありますが、今後の高精度化のためには、具体的にはどのようなデータが必要でしょうか？	濱元委員	②地下水揚水可能量予測手法の研究開発のうち、1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発では複数の孔井を用いる揚水試験結果、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では揚水試験結果と他の手法による試験結果の組み合わせ、 ③地下水還元可能量予測手法の研究開発では揚水井の詳細モニタリングデータが必要です。 これらのデータは今回の研究開発の一環として収集いたしましたが、まだ事例数としては少ないのが実情です。今後、事例数の増加に伴ってさらなる高精度化につながることが期待されます。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 7 4-14 1 行目	NEW HASP を用いてシミュレーションしたとのことであるが、外気導入の有無、全熱交換器の有無及び効率などのシミュレーション条件や給湯負荷条件(使用量(使用原単位)及び使用スケジュールなど)を整理して示していただけると、今後同様のシミュレーションを行う場合の一助となると思います。	安田委員	外気導入については、部屋の内外圧力差に関係なく窓やドアから一定量で換気されるとし、隙間風換気回数を 0.1 回/h として計算した。また、強制換気として全熱交換器は 1.875m3/m2h の外気導入量とし、全熱交換効率は 50%として計算した。冷暖房の条件は、年間を通した 24 時間連続稼働で室内の温度が年間を通して 22℃～26℃とした。 給湯条件の給湯原単位と給湯負荷パターンをグラフ(別添 No43)に示す。
資料 7 4-15 11 行目	④地中熱ヒートポンプ給湯器の出湯温度を変更した試験は大変有益であると思われ、省エネ性能や出湯安定性などの試験結果比較を明示してもらえるとよいと思います。	安田委員	試験室における出湯温度による加熱能力と COP は P.4-8 の試験結果に表示しており、モニター試験での地中熱ヒートポンプ給湯機の出湯温度を 80℃と 65℃に設定した場合の出湯温度と COP の推移をグラフ(別添 No.44)に示す。 地中熱ヒートポンプ給湯機の出湯温度を 80℃から 65℃に変更すると、COP は約 15%向上する結果となった。しかし、出湯温度の低下は貯湯熱量の低下につながる。貯湯槽(3,000L)に対して、給水温度 (17℃)を沸き上げる場合、出湯温度 80℃と比較して 65℃では貯湯熱量が 24%減少する。80℃出湯と同量の熱量を貯湯する場合、3,000L×1.24=3,720L で約 4,000L の貯湯槽が必要となりイニシャルコスト増加や設置面積増加につながる。 ※65℃と 80℃出湯試験中に各 COP の低下が見られるのは、「地中熱側井戸水温度低下→採熱量減少→出湯温度低下→出湯流量減少→ 加熱能力低下→COP 低下」によるものと考えられる。
資料 7 4-15 15 行目	地下温度の推移等について、実証試験を継続していくとのことであるが、とりあえず今回の地中温度推移を示してもらえると参考になると思います。	安田委員	実証試験中の地下温度について、図(別添 No.45-1～3)に示す。地下温度は、地中熱交換器(U チューブと一緒に設置した温度計で計測した値を示している。一部、データ欠損も見られるが、実験の状況に併せて、温度は推移している。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 7 4-27 表 4.1.2-3	②地中熱交換器の小口径化は、本開発事業におけるコストダウンの要と思われるが、普及を促進するためには、小口径であっても熱性能的に支障がないことを示す必要があると思います。マニュアル作成(または設計コード開発)でそのあたりは整理できているのでしょうか。	安田委員	適切な離隔距離を取り適した環境化においては支障がなく熱交換は可能なことが実証されました。 ただし、長年の地下水の変動や地下水位が深い土地など今後の検討項目が多く残されていると認識しております
資料 7 4-38 25 行目	事業化に向けた課題について、今後普及が見込まれる施設の熱需要(冷暖房・給湯・融雪)バランスとそれに合わせた最適なシステム構築が肝要と思われますが、建主や設計者に対して今後どのような活動をイメージしていますでしょうか(例えば、帯水層蓄熱の高効率利用の成果物と合わせて設計マニュアル化する等)。	安田委員	現在、本事業の成果を基にした、設計者・導入検討者に向けた導入マニュアル、Q&A を作成している。
資料 7 4-46 26 行目	CO_2 冷媒地中熱ヒートポンプ給湯機は 2022 年度の製品化を目指すとあるが、既に製品化はされているのでしょうか。機器選定マニュアル等も出来上がっているのか、それとも本件の二次側運用技術開発と合わせて整備されるのでしょうか。	安田委員	CO_2 冷媒地中熱ヒートポンプ給湯機の製品化については長府製作所様に状況を確認しましたが、以下の 2 点から、商品化が難しい状況であると話を伺っています。 ・夏場の優位性が無く、導入時のコストの回収が難しい ・コンソーシアム内事業者(棟晶)からのある程度の数量の導入が見込めなくなった

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 7 4-53 21 行目	事業化に向けては、まずは給湯負荷が大きい施設がターゲットになると思われるが、個々の施設にフィットさせるシステムとして貯湯槽と組み合わせることが考えられます。そうしたシステムの検証や最適運転制御アルゴリズムの検証なども既に行っていますでしょうか(ケースに合わせて LCEM の改良等を行えばよい？)。	安田委員	現状、太陽熱は SSHP の熱源及び熱源水直接加熱に使用しておりますが、ご指摘のように給湯利用にも拡大する場合、貯湯槽との組み合わせが考えられます。今後、システムシミュレーションなどで効果検証や最適運転制御アルゴリズムの構築を図っていきたいと思います。
資料 7 4-78 21 行目	全国見かけ熱伝導率データベースを広く普及させることは大変有用だと思います。そのデータベースの情報更新の手段として、建設事業等で実施された地質調査データの活用を挙げておりますが、これらを収集する仕組み(フォーマットの作成や学協会の活用等)についてお考えがありますでしょうか。	安田委員	地質調査業界との意見交換や情報交換を通じデータの収集について検討したいと考えています。具体的には、全国地質調査業協会連合会、産業技術連携推進会議などを協議の場として活用したいです。
資料 7 4-87 8 行目	オープンループ式地中熱利用システムの設計ツール・設計指針を2024年度中に無償公開されるということであり、素晴らしい成果だと思います。それらを使用して設計実現された施設の実測や効果のデータベース(ZEB データベースのような)を作成及び公開するような構想はお持ちでしょうか。	安田委員	設計ツールに関しては、公開の際に利用者の居住地域・職業・利用目的に関する情報を利用者に入力させることによって今後の改良に活かす方針としておりますが、利用者の使用状況や結果までを必ずしもトレースできるようにはなっておりません。よって、本ツールを用いて設計された施設の実測結果や効果のデータベース化をすべてを網羅するような形で行うことは困難です。一方で、本ツールの利用者に対して、利用に伴う成果の報告を任意とはなりますが依頼することによって、ある程度は利用状況の把握が可能になると考えております。この点は本設計指針においても同様な取り扱いとする予定です。

参考資料２　評価の実施方法

NEDO における技術評価について

1. NEDO における技術評価の位置付けについて

NEDO の研究開発の評価は、プロジェクト/制度の実施時期毎に事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価が行われ、研究開発のマネジメントにおける PDCA サイクル（図 1）の一角と位置づけられています。さらに情勢変化の激しい今日においては、OODA ループを構築し、評価結果を計画や資源配分へ適時反映させることが必要です。

評価結果は、被評価プロジェクト/制度等の資源配分、事業計画等に適切に反映させることにより、事業の加速化、縮小、中止、見直し等を的確に実施し、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていきます。

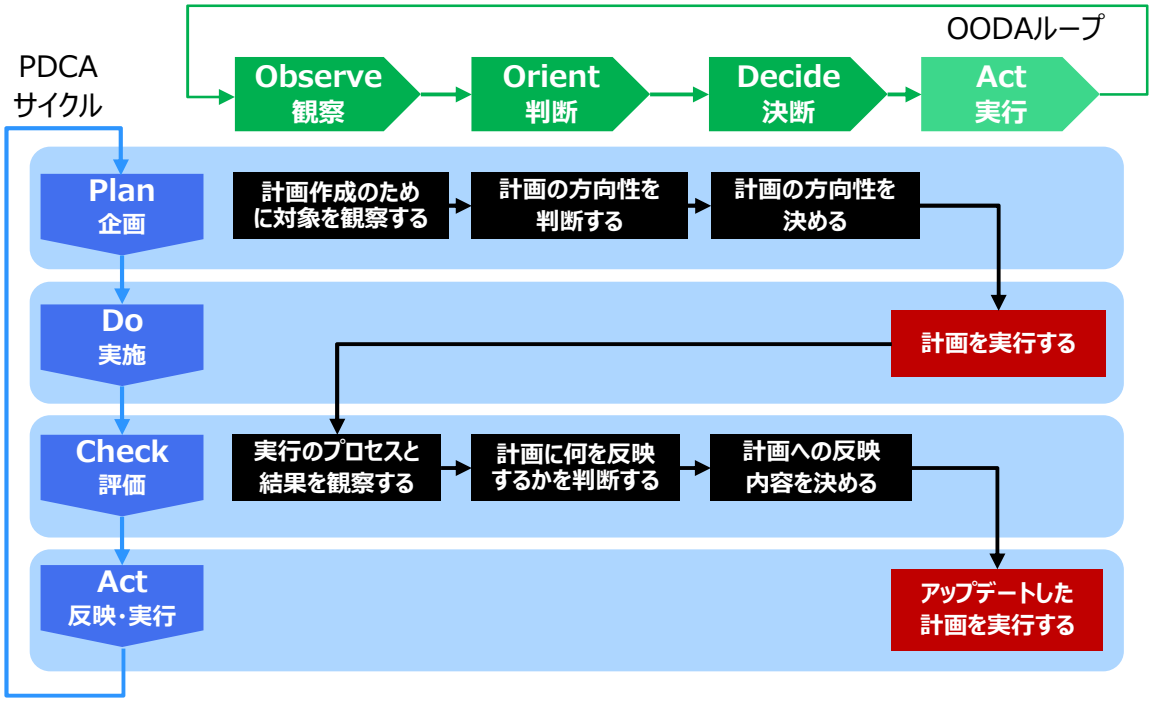


図 1　研究開発マネジメント PDCA サイクルと OODA ループ組み合わせ例

2. 技術評価の目的

NEDO では、次の 3 つの目的のために技術評価を実施しています。

(1) 業務の高度化等の自己改革を促進する。
(2) 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む。
(3) 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する。

3. 技術評価の共通原則

技術評価の実施に当たっては、次の 5 つの共通原則に従って行います。

(1) 評価の透明性を確保するため、評価結果のみならず評価方法及び評価結果の反映状況を可能な限り被評価者及び社会に公表する。なお、評価結果については可能な限り計量的な指標で示すものとする。

(2) 評価の明示性を確保するため、可能な限り被評価者と評価者の討議を奨励する。
(3) 評価の実効性を確保するため、資源配分及び自己改革に反映しやすい評価方法を採用する。
(4) 評価の中立性を確保するため、可能な限り外部評価又は第三者評価のいずれかによって行う。
(5) 評価の効率性を確保するため、研究開発等の必要な書類の整備及び不必要な評価作業の重複の排除等に務める。

4. プロジェクト評価/制度評価の実施体制

プロジェクト評価/制度評価については、図 2 に示す実施体制で評価を実施しています。

(1) 研究開発プロジェクト/制度の技術評価を統括する研究評価委員会を NEDO 内に設置。
(2) 評価対象プロジェクト/制度毎に当該技術の外部の専門家、有識者等からなる分科会を研究評価委員会の下に設置。
(3) 同分科会にて評価対象プロジェクト/制度の技術評価を行い、評価（案）を取りまとめる。
(4) 研究評価委員会の了承を得て評価が確定され、理事長に報告。

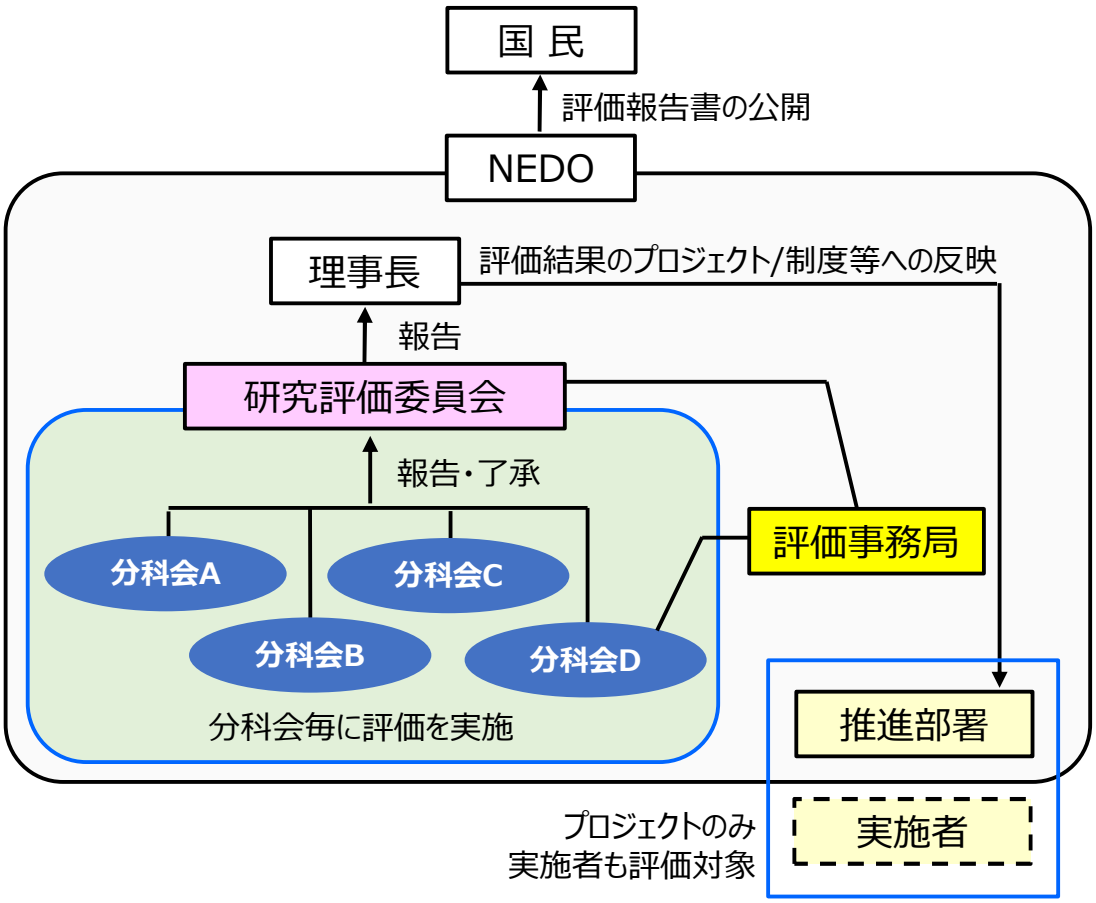


図 2　評価の実施体制

5. 評価手順

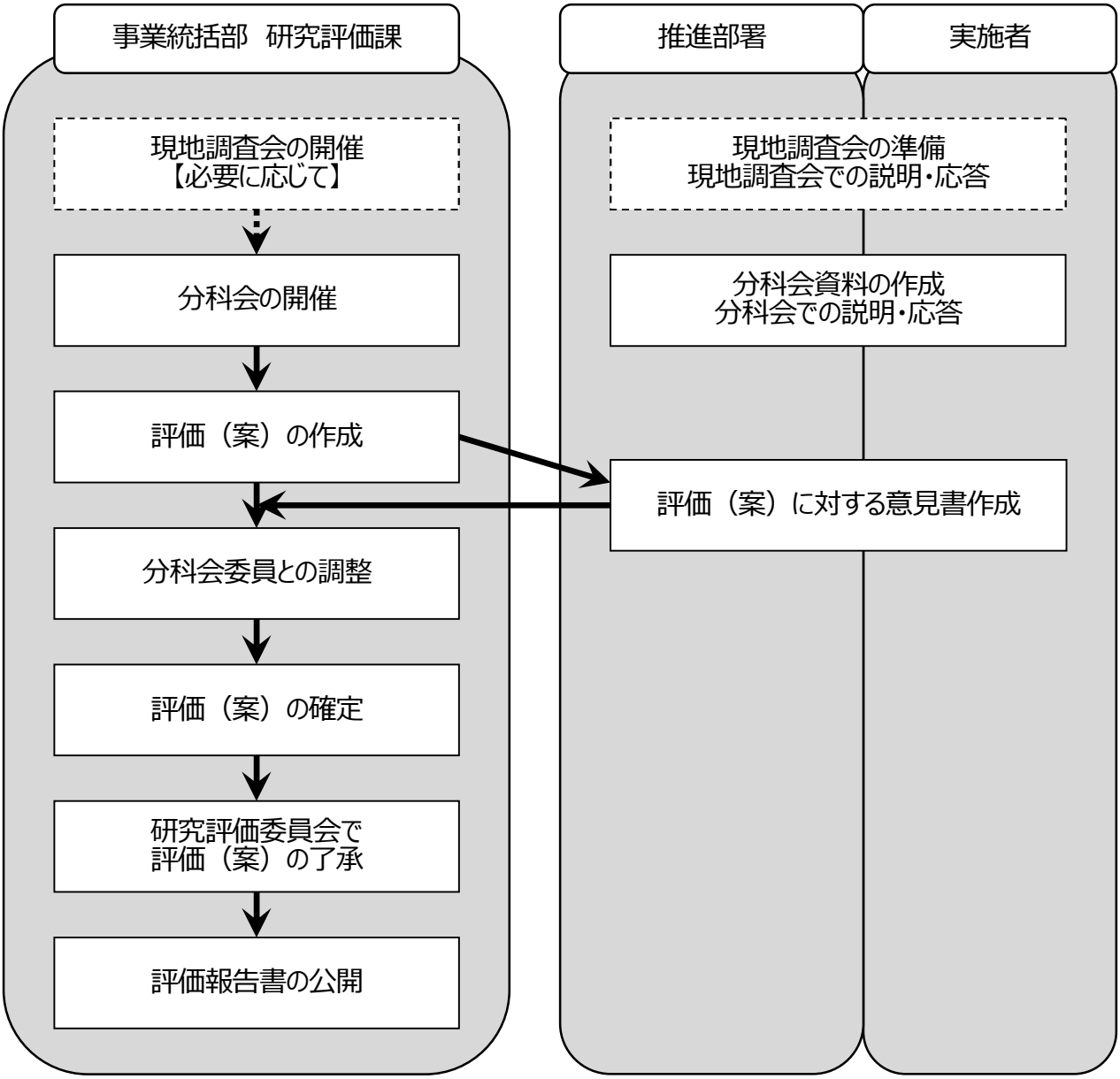


図３　評価作業フロー

「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）分科会に係る
評価項目・評価基準

１．意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(1) アウトカム達成までの道筋

・「アウトカム達成までの道筋」※の見直しの工程において、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を考慮したか。

※ 「アウトカム達成までの道筋」を示す上で考慮すべき事項
・将来像（ビジョン・目標）の実現に向けて、安全性基準の作成、規制緩和、実証、標準化、規制の認証・承認、国際連携、広報など、必要な取組が網羅されていること。
・官民の役割分担を含め、誰が何をどのように実施するのか、時間軸も含めて明確であること。
・本事業終了後の自立化を見据えていること。
・幅広いステークホルダーに情報発信するための具体的な取組が行われていること。

(2) 知的財産・標準化戦略

・オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化を見据えた上で、研究データも含めた上で、クローズ領域とオープン領域が適切に設定されており、外部環境の変化等を踏まえてもなお、妥当であったか。
・本事業の参加者間での知的財産の取扱い（知的財産の帰属及び実施許諾、体制変更への対応、事業終了後の権利・義務等）や市場展開が見込まれる国での権利化の考え方は、オープン・クローズ戦略及び標準化戦略に整合し、研究開発成果の事業化に資する適切なものであったか。
・標準化戦略は、事業化段階や外部環境の変化に応じて、最適な手法・視点（デジュール、フォーラム、デファクト）で取り組んでいたか。

２．目標及び達成状況

(1) アウトカム目標及び達成見込み

・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトカム指標・目標値を適切に※見直していたか。
・アウトカム目標の達成の見込みはあったか（見込めない場合は原因と今後の見通しは妥当であったか）。

※ アウトカム目標を設定する上で考慮すべき事項
・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）と関係のあるアウトカム指標・目標値（市場規模・シェア、エネルギー・CO_2 削減量など）及びその達成時期が適切に設定されていること。
・アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
・アウトカム目標の設定根拠は明確かつ妥当であること。
・達成状況の計測が可能な指標が設定されていること。

(2) アウトプット目標及び達成状況
・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトプット指標・目標値を適切に※見直していたか。
・最終目標は達成しているか。未達成の場合の根本原因分析や今後の見通しの説明は適切だったか。
・副次的成果や波及効果等の成果で評価できるものがあったか。
・オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表、特許出願等が行われていたか。

※ アウトプット目標を設定する上で考慮すべき事項
・アウトカム達成のために必要なアウトプット指標・目標値及びその達成時期が設定されていること。
・技術的優位性、経済的優位性を確保できるアウトプット指標・目標値が設定されていること。
・アウトプット指標・目標値の設定根拠が明確かつ妥当であること。
・達成状況の計測が可能な指標（技術スペックと TRL※の併用）により設定されていること。

※TRL：技術成熟度レベル（Technology Readiness Levels）の略。

3．マネジメント

(1) 実施体制
・実施者は技術力及び実用化・事業化能力を発揮したか。
・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能していたか。
・実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、実用化・事業化を目指した体制となっていたか。
・個別事業の採択プロセス（公募の周知方法、交付条件・対象者、採択審査の体制等）は適切であったか。

・本事業として、研究開発データの利活用・提供方針等は、オープン・クローズ戦略等に沿った適切なものであったか。また、研究者による適切な情報開示やその所属機関における管理体制整備といった研究の健全性・公平性（研究インテグリティ）の確保に係る取組をしたか。

(2) 研究開発計画

・アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発は網羅され、要素技術間で連携が取れており、スケジュールは適切に計画されていたか。

・研究開発の進捗を管理する手法は適切であったか（WBS※1等）。進捗状況を常に関係者が把握し、遅れが生じた場合、適切に対応していたか。

※1 WBS：作業分解構造(Work Breakdown Structure)の略。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業統括部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 事業統括部 研究評価課

＊研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。
（https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html）

〒212-8554
神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地
ミューザ川崎セントラルタワー
TEL 044-520-5160