

# 「再生可能エネルギー熱利用技術開発」

## 事業原簿【公開】

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

# 目次

概 要.....	概要-1
プロジェクト用語集.....	概要-8
<b>I. 事業の位置付け・必要性について</b>	
I.1 事業の背景・目的・位置付け.....	I-1
I.1.1 事業の背景.....	I-1
I.1.2 事業の目的、意義.....	I-1
I.1.3 事業の位置付け.....	I-1
I.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	I-1
I.2.1 NEDO が関与することの意義.....	I-1
I.2.2 実施の効果.....	I-2
<b>II. 研究開発マネジメントについて</b>	
II.1 事業の目標.....	II-1
II.2 事業の計画内容.....	II-1
II.2.1 研究開発の内容.....	II-2
II.2.2 研究開発の実施体制.....	II-3
II.2.3 研究開発の運営管理.....	II-6
II.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性.....	II-6
II.3 情勢変化への対応.....	II-6
II.4 中間評価結果への対応.....	II-7
II.5 評価に関する事項.....	II-7
<b>III. 研究開発成果について</b> .....	III-1
III.1 事業全体の成果.....	III-1
III.1.1 研究開発項目毎の成果.....	III-1
III.1.2 知的財産等の取得、成果の普及.....	III-2
III.1.3 個別テーマ毎の成果(まとめ).....	III-3
<b>IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて</b>	
IV.1 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	IV-1

## (添付資料)

### 添付資料1 個別テーマについて(全 20 テーマ)

<個別テーマ掲載内容>

#### II. 研究開発マネジメントについて

- ・背景と目的
- ・研究開発の概要
- ・事業スケジュール
- ・研究開発の実施体制
- ・研究開発の運営管理

#### III. 研究開発成果について

- ・特許、論文、外部発表等
- ・最終目的に対する達成度

#### IV. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

### 添付資料2 プロジェクト基本計画

### 添付資料3 事前評価書

### 添付資料4 特許論文リスト

概 要

最終更新日

2019年9月25日

プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	再生可能エネルギー熱利用技術開発	プロジェクト番号	P14017
担当推進部/ 担当者	新エネルギー部／ 統括研究員 (PM) 生田目 修志 (2014年4月～2018年4月) 統括主幹 (PM) 権藤 浩 (2018年6月～2019年7月) 統括主幹 阿部 一也 (2019年7月～現在) 主査 上村 和孝 (2014年4月～2015年1月) 主査 太田 勝啓 (2014年4月～2015年3月) 主査 吉田 明生 (2014年4月～2015年8月) 主査 高橋 正樹 (2014年4月～2015年9月) 主査 田中 彰 (2015年2月～2017年3月) 主査 実島 哲也 (2015年4月～2017年3月) 主査 田中 順 (2015年4月～2017年3月) 主査 井出本 穰 (2015年5月～2019年4月) 主査 和田 圭介 (2015年10月～2017年9月) 主査 谷川 大致 (2016年7月～2018年3月) 主査 田中 俊彦 (2017年4月～2018年3月) 主査 讃岐 育孝 (2017年10月～2018年3月) 主査 藤田 敬一 (2018年4月～現在) 主査 永石 孝司 (2018年5月～現在) 主査 谷口 聡子 (2019年4月～現在) 主任 安生 哲也 (2014年4月～2016年5月) 主任 丸内 亮 (2016年5月～2018年3月) 主任 増田 敏也 (2017年4月～2019年3月) 主任 上本 雄也 (2019年4月～現在) 職員 村上 慶 (2015年1月～2017年3月)		
0. 事業の概要	(1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術及びシステムの開発、並びに、各種再生可能エネルギー熱の利用について、蓄熱利用等を含むトータル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むことで、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に貢献する。(委託及び共同研究(NEDO負担率2/3)) (2)事業期間：平成26年度～平成30年度(5年間)		
I. 事業の位置付け・必要性について	2011年の東日本大震災以降、エネルギー政策の大きな転換を求められており、電気利用のみならず、熱利用を含めた再生可能エネルギーをこれまでの政策よりも前倒しで大量導入することが急務となっている。 平成26年4月11日に公表された第4次「エネルギー基本計画」の中で、再生可能エネルギーは「現時点では安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できるためにエネルギー安全保障に寄与できる有望かつ多様な国産エネルギー源」と位置付けられている。また、「太陽熱、地中熱、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。さらに、平成27年7月に決定した「長期エネルギー需給見通し」では、「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」としている。 本事業では、コストダウン及びシステム全体の高効率の視点から開発を進め、システムの規格化やパッケージ化等を促進する事で、再生可能エネルギーの熱利用を拡大させ、今後の再生可能エネルギーの熱利用に関する目標策定に有効である。また、本事業を進めることで、システムをパッケージ化するエンジニアやシステムインテグレータの育成等が促進され、コスト競争力が強化されて、我が国での導入普及だけでなく、国際競争力の確保を実現できる。		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	最終目標(平成30年度) (1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発 地中熱利用について、我が国の状況に適合した掘削手法及び掘削技術、高効率地中熱交換器、地中熱の利用状態・温度等に適合したヒートポンプの開発や、地中熱交換器設置コスト低減化技術の開発等を通じて、導入コスト20%低減、運用コスト20%低減、又は導入及び運用コストの20%低減を目指す。 (2)地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化 地中熱利用について、システム構成要素(掘削からヒートポンプ、配管まで)を統合したトータルシステムの高効率化及び規格化、需要側の利用状況の特徴に対応したシステムの高効率開発等を通じて、導入コスト20%低減、運用コスト20%低減、又は導入及び運用コストの20%低減を目指す。		

	<p>(3)再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発 再生可能エネルギー熱の採熱場所及び方法を明らかにし、効率的なシステム導入の促進に資する各熱のポテンシャル簡易予測・評価技術を開発し、その評価結果を活かしてシステム設計に必要な精度を有するマップを容易な操作性を備えたシステムで作成できることとし、システム設置前に実施する簡易な評価技術を確立する。</p> <p>(4)その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発 その他再生可能エネルギー熱利用システムについては、採熱・熱輸送・断熱・蓄熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムのコストダウンと高効率化に資する技術開発や規格化を推進し、導入コストの10%低減を目指す。また、その他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する、我が国に適したシステムの導入コストを10%低減することを考慮した革新的技術を開発する。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy	
	(1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発	→			→		
		・要素技術開発、試作			・最終仕様での実証、改良		
	(2)地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化	→			→		
		・要素技術研究開発、試作 ・評価ツール設計、試作			・トータルシステム最終仕様実証、改良、規格化 ・評価ツール最終仕様検証		
(3)再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発	→			→			
	・ポテンシャルマップ技術設計開発、マップ試作			・最終仕様マップ作成、検証			
(4)その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化新技術開発及び、導入拡大に資する革新的技術開発	→			→			
	・要素技術研究開発、試作 ・評価ツール設計、試作			・トータルシステム最終仕様実証、改良、規格化 ・評価ツール最終仕様検証			
	→			→			
	・要素技術開発				・システム最終仕様実証		
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy	総額
	特別会計(需給)	564	1159	1083	809	705	4320
	総予算額	564	1159	1083	809	705	4320
	(委託)	482	1057	1006	782	676	4003
	(共同研究) :負担率2/3	82	102	77	27	29	317
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課					
	プロジェクトリーダー	—					
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	<p>(1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能ポーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発」株式会社東亜利根ポーリング</li> <li>・「戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管理設工法の研究開発」旭化成建材株式会社</li> <li>・「地中熱利用要素技術の開発」株式会社ワイビーエム</li> <li>国立大学法人佐賀大学</li> </ul> <p>(2)地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「地下水循環型地中採熱システムの研究開発」株式会社守谷商会</li> </ul>					



		<ul style="list-style-type: none"> <li>・「共生の大地への地中蓄熱技術の開発」        国立大学法人福井大学        三谷セキサン株式会社</li> <li>・「再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発」        国立大学法人東京大学生産技術研究所        鹿島建設株式会社        ゼネラルヒートポンプ工業株式会社</li> <li>・「地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発」        株式会社日建設計総合研究所        公立大学法人名古屋市立大学</li> <li>・「都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発」        三菱マテリアルテクノ株式会社        国立大学法人秋田大学        日本ピーマック株式会社</li> </ul> <p>地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、      および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発」        国立研究開発法人農研機構農村工学研究部門        国立大学法人東北大学未来科学技術共同研究センター        八千代エンジニアリング株式会社        ジオシステム株式会社</li> <li>・「低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発」        国立大学法人北海道大学        株式会社日伸テクノ        鉱研工業株式会社        株式会社イノアック住環境        サンボット株式会社        新日鉄住金エンジニアリング株式会社（事業終了時）        （平成31年4月、日鉄エンジニアリング株式会社に変更）        ジーエムラボ株式会社</li> <li>・「地下水を活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化」        日本地下水開発株式会社        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</li> <li>・「一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究」        学校法人日本大学工学部        有限会社住環境設計室        日商テクノ株式会社</li> </ul> <p>(3)再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発」        応用地質株式会社        株式会社地圏環境テクノロジー</li> <li>・「オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発」        国立大学法人岐阜大学        東邦地水株式会社        株式会社テイコク</li> <li>・「都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発」        一般財団法人地域地盤環境研究所        株式会社環境総合テクノス        国立大学法人岡山大学</li> </ul> <p>(4)その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発」</li> </ul>
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

		<p>株式会社総合設備コンサルタント          公立大学法人大阪市立大学（事業終了時）          （平成 31 年 4 月、公立大学法人大阪に名称変更）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発」</li> </ul> <p>株式会社雪屋姫山商店          株式会社共同通信デジタル          NHN テコラス株式会社          （平成 27 年 1 月、株式会社データホテルからテコラス株式会社に名称変更、平成 27 年 10 月、NHN テコラス株式会社に名称変更）</p> <p>株式会社環境技術センター          株式会社ズコーシャ          国立大学法人室蘭工業大学</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発」</li> </ul> <p>新潟県工業技術総合研究所          学校法人東海大学          新潟機器株式会社</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発」</li> </ul> <p>一般社団法人ソーラーシステム振興協会          名城大学          国立研究開発法人建築研究所</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生」</li> </ul> <p>国立大学法人広島大学          株式会社東洋高圧          中国電力株式会社</p>
情勢変化への対応	<p>長期エネルギー需給見通し（平成 27 年 7 月決定）を背景とした再生可能エネルギー熱の利用促進期待が高まっていることを考慮し、平成 27 年度に追加公募を実施した。</p>	
中間評価結果への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>知財戦略とその実施方法を明確にするために、知財運営委員会を実施した。</li> <li>認知度向上のため展示会や成果報告会等を活用し積極的に広報に努めた。また、事業者にも学会発表、講演、展示会での認知度向上を働きかけた。</li> <li>知財運営委員会等から出願状況を情報共有することで、特許、実用新案等の出願を促した。</li> <li>ポテンシャルマップや空調熱源設計ツールに関する技術をガイダンスとして取扱説明書にまとめた。また、ガイダンス等を活用するシステムインテグレータの育成に向けたロードマップを作成した。</li> </ul>	
評価に関する事項	事前評価	平成 25 年度実施および NEDO POST 実施
	中間評価	平成 28 年度実施
	事後評価	令和元年度実施
Ⅲ. 研究開発成果について	<p><b>再生可能エネルギー熱利用技術開発</b></p> <p><b>1. 全体の成果(平成 30 年度末)</b></p> <p>①コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発          地中熱専用掘削機および周辺機器の開発、空気熱源とのハイブリットシステムの導入によりトータルコスト 20%低減の目標を達成した。特に掘削に関する技術開発では掘削時間および作業人員の削減を実現し掘削コストの低減に寄与した。</p> <p>②地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化          要素技術でも一定の成果を得ることができ、トータルシステムのインシャルコストで最大 40%削減、運用コストで最大 35%を達成した。また、地中熱ヒートポンプモジュールとその他の空調機器を組み合わせたトータルシステムを構築し、従来設計手法とのコスト試算比較によりインシャル・ランニングコスト共に 20%削減目標を達成した。</p> <p>③再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発          ポテンシャル簡易予測・評価、及びシステム設計に必要な精度を有するポテンシャルマップを作成し当初の目標を達成した。一部のテーマでは、作成したポテンシャルマップの対象地域を増加させる積極的な取り組みも行った。</p> <p>④その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発          その他再生可能エネルギー熱利用に関し、導入コスト 10%以上低減を達成、または試算により達成する結果となった。特に都市除排雪を利用した雪冷房システムではトータルコストで 64.1%削減し、目標を大きく上回って達成した。</p> <p><b>2. 個別テーマの成果</b></p> <p><b>(1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発</b></p>	

### (1-1) 高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発

既存高性能ボーリングマシンの騒音、振動測定結果を踏まえ、エンジン部の低騒音対策により騒音レベル6dB以上の低減が達成できた。また、自動掘削制御に必要なアプリケーションを開発し、動作確認を行った。加えて、自動ロッドチェンジャ・ロッドロックを開発し、作業編成人員を5人体制から3人体制にできることを事業者へのヒアリングにより確認した。

### (1-2) 戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管埋設工法の研究開発

羽根付き掘削鋼管、鋼管ジョイント、先端蓋を製作し、埋設工法試験を実施して、ジョイントの耐力、ジョイントと先端蓋の止水性能を確認し、掘削後に先端蓋を安定的に取り外し可能であることを確認した。工法試験の結果から、施工速度が60m/日以上、施工後排土量が掘削体積の30%以下となり、施工速度と排土量の目標を達成した。

また、熱交換器の配置の最適化を検討するため、熱負荷計算を行い、熱交換器配置は2m間隔以上の配置が望ましく、周囲からの影響がない単独の熱交換器と比較して、放熱量低下を25%以下に留めることが可能と解析した。さらに、熱交換器が比較的短い場合において、外気温の影響を受ける浅層部分が与える影響を検討し、外気温の影響が無い場合と比較して熱交換器としての熱交換性能への影響は小さいことを確認した。

### (1-3) 地中熱利用要素技術の開発

地中熱専用掘削機及び周辺機器の開発、小型の浅部掘削機の開発を行い、掘削時間の短縮、作業人員の削減を実現した。地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発では、4種類の地中熱熱交換器の検討を実施し性能評価を行った。熱源機の低コスト化の研究開発では、地中熱交換器を市販の空気熱源空調機器に接続したハイブリッドシステムを構築しフィールド試験、ハイブリッドサイクルのシミュレーションを実施した。その結果をもとに2,000m<sup>2</sup>の建築物へ地中熱ヒートポンプを導入する場合のイニシャルコストを試算した結果、従来に比べてトータルコストを26%削減できる可能性を示した。

## (2) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

### (2-1) 地下水循環型地中採熱システムの研究開発

地下水循環型地中採熱システムに係る要素技術を確認するため実証プラントを建設し、実証運転を実施してその効果を検証した結果、事業全体目標である設置コスト：20%削減に対して約40%、運用コスト：5%削減に対して約10%の削減となることを確認した。

### (2-2) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発

沖積平野の特性を活かして、構造を支える杭と熱交換杭との連携、地中熱・空気熱・太陽熱などの各種熱源の連携、給湯や融雪冷暖房などの用途との連携をコンセプトに技術開発を行い、各技術課題を解決し建物規模に応じた熱交換杭の開発、空気熱、地中熱ハイブリッドヒートポンプシステムの開発を実施した。

### (2-3) 再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発

水ループシステム構築技術の開発、天空熱源（スカイソース）ヒートポンプの開発、高密度地中熱交換器の開発、空調用水熱源ヒートポンプの開発を実施し各要素技術を確認した。

また、試行的な施工結果から、コスト低減、高効率な運転を可能にする要素技術を検討し、従来型同等システムと比較して、「導入コスト18%低減」の見通しを得た。また運転実験結果から、「運用コスト20%低減」を確認した。

### (2-5) 地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発

情報収集調査から始めたシミュレーションツールの開発は各要素および、ユーザーインターフェースの開発を完了した。また、実績や他のツールとの比較による精度検証を実施し、既往設計手法との比較では、モデル建物を設定し、従来の設計手法での設計とコスト試算を実施し、一定条件下におけるイニシャルコスト、ランニングコスト20%削減目標を達成した。

### (2-6) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

土留壁方式の開発、地中熱一体型エアコンの改良、ポンプユニットの開発を実施し、各項目の要素技術を確認した。それらの要素を組み合わせた都市インフラ活用型地中熱利用システムにより、導入コストは、土留壁方式における熱交換器後入れ工法で22%、熱交換器同時挿入工法で29%削減と目標値（20%削減）を達成することができた。運用コストは、都市部で代表的な事務所ビル（東京）の負荷パターンを対象に数値シミュレーションモデルより行い、消費電力量の年間削減率（＝運用コスト削減率）は30%となり、目標値（運用コスト20%削減）を達成することができた。

## 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

### (2-4) 地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発

地中熱利用のコスト削減のため、流水熱と浅層地下水熱の利用促進に関する熱交換器を開発した。

また、流水熱利用型熱交換器の導入適地マッピング技術を確認し、ユーザーが利用しやすく自治体が導入しやすい導入適地情報提供ツールを作成した。

### (2-7) 低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発

ヒートポンプのコストダウン並びにCOP向上などの高性能化開発、地中熱交換器の採熱効率

向上、地中熱交換器削孔技術開発などを実施し、トータルコスト20%の削減を実現した。地中熱交換器の設置費用30%削減した。

また、地下水・地盤データベース及びポテンシャル評価技術を確立したことで、任意地点での地中熱設計が可能になり、更にポテンシャルマップにより一般ユーザーが、容易に地中熱交換器長さの目安を読み取ることを可能とした。これまで導入されなかった地域を含め全国の導入を促すマップを整備することに成功した。

#### **(2-8) 地下水を活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度発化**

地下水を活用する地中熱利用システムの従来課題の解決に取り組み、地下水100%注入の実現、帯水層内で卓越する冷熱塊の打ち消し可能であることの実証、専用ヒートポンプの開発、システム稼働による帯水層への環境影響はないことを確認し、高効率帯水層蓄熱を実現した。

地中熱ポテンシャル評価では、クローズドループシステムとオープンループシステム及び帯水層蓄熱システムについて、東北5地域でポテンシャル評価解析を実施してマッピングした。実施した熱応答試験結果をポテンシャル評価解析に反映させて、高精度のポテンシャルマップ構築方法を開発した。

#### **(2-9) 一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究**

既存住宅向け2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発では、採熱管の回転埋設・打撃振動付与機能を搭載する小型機構、および鋼管の無溶接接合技術による短管の簡易接続法を導入した採熱管組み立て技術の機構と施工性能を確認した。浅部地中熱利用向けヒートポンプシステム技術の開発では、熱需要に応じて室内機の運用の台数、それと連動した地中側および室内側循環ポンプの流量制御、さらに地中熱交換器本数制御を連動させた制御系を開発した。以上の技術からなる浅部地中熱システムにおける初期導入コストの検証やシステム比較実験により、既設住宅を対象に設置コスト「150万円/5kW（約30万円/kW）」を確認した。また、従来の浅部地中熱利用システムと比較して10%以上の運転コスト削減を達成した。

浅部地中熱利用向け地中熱リファレンスマップについては、3地域の地中熱採熱量表示ができるようにした。表示は地中熱の使用パターンを個人住宅、商店、アパート等のように利用者が自由に設定できるようにした。また、2次元表示を可能とし、かつWEB版として公開した。

#### **(3) 再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発**

##### **(3-1) 地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発**

地中熱のポテンシャルを評価する上で、地質構造・地下水流動・地盤の熱物性が重要な要素となる。本研究では、応用地質(株)が保有する地盤地質・地下水情報並びに地盤モデル作成技術と、(株)地圏環境テクノロジーが保有する水循環に関する数値シミュレーション技術を組み合わせることにより、都市部3地域については、水平解像度50m、鉛直解像度1mを基本とした高解像度浅層モデルを構築し、従来にはない精緻なポテンシャル評価技術を確立した。

##### **(3-2) オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発**

オープンループ型の技術課題である地下水還元、ヒートポンプの高効率化、小規模施設への対応、適地選定の課題を解決することにより、設置・運用コストを20%以上削減した。

また、普及拡大のためオープンループ専用の運用コスト削減率に基づくポテンシャル評価手法を開発した。

##### **(3-3) 都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための研究開発**

「地下水の豊富な大阪平野において、熱利用効率の良い帯水層蓄熱型オープンループ地中熱利用システム（ATES）を導入する」という目標に対して、「低コスト・高品質な観測井システムの開発」と「地下水・地盤環境の基礎情報の集積」を行った。

また、今後のATES導入時のシステム設計や運用時の評価に資する非定常解析手法（地盤沈下量と蓄熱効果を同時に計算できる解析手法）を開発した。さらに、ポテンシャルマップの作成と事業性を予測評価するシステムの開発を行い、ATES導入時の実務的な検討に資する技術や情報を提供することができた。

#### **(4) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発**

##### **(4-1) 温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発**

実フィールドでの実証試験にて取得した基礎データを用いて、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの実規模における導入効果検証のためのシミュレーションモデルの精度確認を行った。また精度確認を行ったモデルを用いて、実在する温泉街をモデルとして、実規模モデルのハイブリッド熱源水ネットワークシステムと比較対象の集中型の熱供給システムの導入コスト比較を行った結果、集中型の熱供給システムに比べて導入コスト約13%低減となる結果となった。さらに個別給湯システムに対しての投資回収試算の結果、補助金の適用を見込むと、ベースモデルでの投資回収年数は約11年となった。

##### **(4-2) 都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発**

雪氷冷熱エネルギーを利用する冷房システムで都市除排雪を活用し、低コストで冷熱を回収するシステムを開発した。様々な開発工夫や実証により、自治体の都市除排雪（道路除排雪）システムを転用して、冷熱源としての雪を集めるシステムを開発し、大幅なコストダウンを達

	<p>成した。</p> <p>大きな冷熱負荷を持つ施設例としてデータセンターを冷却したが、冷却に必要なトータルコストでは、都市除排雪利用型高効率雪山を導入した場合、従来方式雪山に比べ 64.1%のコストダウンが実現することを確認した。</p> <p><b>(4-3) 太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発</b></p> <p>太陽熱を利用した熱音響冷凍機からの冷熱供給により雪室の冷却が可能であることを示すとともに、従来の雪室容積を 46%削減した小型雪室について、熱流体シミュレーションにより夏季の冷房需要を満足することを示した。熱音響冷凍機と太陽熱集熱装置は試作段階で高額なため、導入コストが今後の課題である。</p> <p><b>(4-4) 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発</b></p> <p>省エネ性能判定プログラム最適化につながる簡易シミュレーションツールの開発と、シミュレーション技術開発により導入コスト 20%低減の見通しが立った。ただし、判定プログラムへの反映は別途 IBEC との継続的な協議が必要となる。</p> <p><b>(4-5) 食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生</b></p> <p>再生可能エネルギーのポテンシャルを有する食品廃棄物の有効利用に着目し、食品廃棄物を超臨界水中でガス化して生成ガスと水を分離、生成ガスを燃焼することで再生可能熱を創生する技術の実現化に向け、タールによる反応器の閉塞防止、熱回収装置の最適化ならび実証運転のために、急速昇温と添加物を用いたノータールガス化、超臨界流体の熱回収設計、焼酎残渣を原料とした実証運転を実施し一定の成果を得た。</p> <table border="1" data-bbox="405 698 1463 824"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>「査読付き」68 件、「その他」22 件</td> </tr> <tr> <td>特 許</td> <td>「出願済」18 件、「登録」4 件、「実施」0 件(うち国際出願 0 件)</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td>「研究発表・講演」467 件、「新聞・雑誌等への掲載」159 件、「展示会への出展等」63 件</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」68 件、「その他」22 件	特 許	「出願済」18 件、「登録」4 件、「実施」0 件(うち国際出願 0 件)	その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」467 件、「新聞・雑誌等への掲載」159 件、「展示会への出展等」63 件
投稿論文	「査読付き」68 件、「その他」22 件						
特 許	「出願済」18 件、「登録」4 件、「実施」0 件(うち国際出願 0 件)						
その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」467 件、「新聞・雑誌等への掲載」159 件、「展示会への出展等」63 件						
IV. 実用化・事業化の見通しについて	<p>本事業に係る「実用化」とは、当該研究開発において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。「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。</p>						
V. 基本計画に関する事項	<table border="1" data-bbox="405 981 1463 1171"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成 26 年 3 月 作成</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">変更履歴</td> <td>平成 28 年 2 月 変更 プロジェクトマネージャー名を追記 「③アウトカム目標達成に向けての取組」記載内容修正</td> </tr> <tr> <td>平成 30 年 6 月 変更 プロジェクトマネージャーの変更</td> </tr> </table>	作成時期	平成 26 年 3 月 作成	変更履歴	平成 28 年 2 月 変更 プロジェクトマネージャー名を追記 「③アウトカム目標達成に向けての取組」記載内容修正	平成 30 年 6 月 変更 プロジェクトマネージャーの変更	
作成時期	平成 26 年 3 月 作成						
変更履歴	平成 28 年 2 月 変更 プロジェクトマネージャー名を追記 「③アウトカム目標達成に向けての取組」記載内容修正						
	平成 30 年 6 月 変更 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
インバータ	直流電力から交流電力を電氣的に生成する(逆変換する)電源回路、またはその回路を持つ電力変換装置のことである。
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。
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	一對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。
雪氷熱	天然あるいは人工の雪氷、凍土に蓄積された冷熱エネルギーのこと。貯雪水庫等に雪氷を貯蔵して農作物等の冷蔵や冷房に用いる。利用方法には自然対流方式(氷室型)、冷風循環方式、冷水循環方式がある。
熱応答試験 (TRT)	Thermal Response Test の略。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。
熱音響冷凍	熱と音波との間ではお互いにエネルギーをやりとりする作用があり、管内に音を入れると管内で冷凍作用が発生する。特に後者の音で冷凍する現象。
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
ヒートパイプ	熱の移動効率を上げる技術・仕組みの一つ。熱伝導を上げているわけではなく、作動液の移動を用いて熱を移動させる仕組みである。
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。
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
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。
水循環	地中と地表とをパイプで結ぶ単純な水循環システム、あるいは地下水をパイプに通し循環させるシステム。
揚水井	地下水などをくみ上げるための井戸
ロッド	ボアホール用等に地中に孔を掘削するための鋼管製の棒状パイプ。ロッドに回転、打撃あるいは振動を与えて掘削する。
APF	通年エネルギー消費効率(Annual Performance Factor)。実際の使用時に近い状態での評価を行うため、あるモデルケースを定め、年間を通じた総合負荷と総消費電力量を算出し、効率を求めた値。
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。
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で。
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。

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・検証する枠組み。
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。
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。
sWATER	3次元の飽和・不飽和浸透流と熱移動を連成解析するシミュレーター(Subsurface Water and Thermal Energy Resources)。
SMW工法	地下水位が高い地域で地下建築物を施工する際、地下水の影響を排除する目的で開削工事前に Soil Mixing Wall で連続土留壁を構築し遮水する工法。
Uチューブ	先端をU字状に接合した主に樹脂製の管。
ATES	帯水層蓄熱(Aquifer Thermal Energy Storage)
IBEC	一般財団法人建築環境・省エネルギー機構(Institute for Building Environment and Energy Conservation)。
TRNSYS	非定常なシステムシミュレーションを行う拡張可能なツール
ディンプル採熱管	採熱管表面にくぼみをつけたもの。
PE管	ポリエチレン管。地中熱交換器として利用される。
Gカーペット	細い117本のポリエチレン管で構成されたシート状の熱交換器。
ポーラスコンクリート	通常のコンクリートと比べ、多孔質のコンクリート。
エフロレッセンス	コンクリート中、またはその周辺の可溶性物質が、水分とともにコンクリート表面に移動し、水分の逸散や空気中の炭酸ガスとの反応によって析出したもの
PHC杭	プレテンション方式遠心力高強度プレストレスコンクリート杭(Pretensioned Spun High Strength Concrete Piles) 高強度コンクリートを遠心締固めによって製造したコンクリート杭。
ソニックドリル	ビット先端に回転と振動を与えて掘削する工法。
SH	太陽熱温水器(Solar water Heater)
SS	ソーラーシステム(Solar System)
ES	エコキュートソーラー(EcoCute Solar)

## I. 事業の位置付け・必要性について

### I.1 事業の背景・目的・位置付け

#### I.1.1 事業の背景

東日本大震災以降、エネルギー政策の大きな転換を求められており、電気利用のみならず、熱利用を含めた再生可能エネルギーをこれまでの政策よりも前倒しで大量導入することが急務となっている。

平成26年4月11日に公表された第4次エネルギー基本計画の中で、再生可能エネルギーは、現時点で安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できるためにエネルギー安全保障に寄与できる有望かつ多様な国産エネルギー源と位置付けられている。また、太陽熱、地中熱、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とされている。さらに、平成27年7月に決定した「長期エネルギー需給見通し」では、「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」としている。

平成30年7月の第5次エネルギー基本計画では、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ている。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る、としている。

#### I.1.2 事業の目的、意義

再生可能エネルギー熱の活用においてはイニシャルコストやランニングコストが高いことが課題であり、主な要因として、地中熱のように熱源までのアクセス(地中熱交換器、配管の掘削・施工)が難しくコスト高になる他、再生可能エネルギー等熱利用の市場が小さく、太陽熱等の汎用システムについても大量生産によるコスト削減が図られないでいること等がある。このため、再生可能エネルギーを熱として利用することは、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、再生可能エネルギー熱利用の技術開発でコストダウンを促し、熱利用の普及拡大に貢献することを目的として、コストダウンを目的とした地中熱利用技術及びシステムの開発、太陽熱、雪氷熱、その他の再生可能エネルギー熱の利用に、蓄熱利用等を含めたトータルシステムの高効率化・規格化、熱量評価技術の高精度化等に取り組む。

#### I.1.3 事業の位置付け

「エネルギー基本計画」の中で、再生可能エネルギーは、現時点では安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できるためにエネルギー安全保障に寄与できる有望かつ多様な国産エネルギー源と位置付けられている。また、太陽熱、地中熱、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と位置付けられている。

## I.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### I.2.1 NEDO が関与することの意義

20～30年後には、化石燃料の枯渇懸念とそれに伴う化石燃料価格の不安定が顕在化すると予測され、エネルギーセキュリティー確保の必要性がますます高まると共に、地球温暖化対策といった、環境に対する一層の配慮が求められる社会の到来が予測されることから、再生可能エネルギーの導入推進の流れはますます強まると考えられる。

この“エネルギーセキュリティー確保”や“地球温暖化対策”といった社会的課題を解決するために、再生可能エネルギー利用における様々な技術開発がなされている。中でも、熱利用技術は、熱を直接利用するため、電力への変換や送電等のロスを伴わないことから、電気利用と比



較して効率が高い。また、電力供給事業とは異なり、太陽光発電や風力発電の拡大に伴う電力系統の安定性の懸念が無いこと、エネルギー利用形態の多様化が期待できることにより、エネルギーセキュリティ確保に大きく寄与することが可能である。

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”は、クリーンで無尽蔵であり、持続的な熱エネルギーを利用するもので、我が国のエネルギー自給率の向上に貢献する。また、資源制約がなく、温室効果ガスの発生もない。

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、課題も多い。一般に、熱利用技術は、得られる性能に比べて導入コストが既存技術より割高であること、要素技術の組合せで検討されていることから、企業単独での技術開発ではリスクが高く、システム全体の最適効率の検討がなされていない。

これらの課題を克服しつつ、我が国の総合的なエネルギー安全保障や地球温暖化対策に貢献し、さらなる再生可能エネルギー導入を実現するためには、本事業において提案する“再生可能エネルギー熱利用技術”にNEDOとして投資を行うことは極めて重要である。

### **(1) コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発について**

我が国の状況に適合した掘削手法及び掘削技術、高効率地中熱交換器、地中熱の利用状態・温度等に適合したヒートポンプの開発や、地中熱交換器設置コスト低減化技術の開発等を通じて、導入コストあるいは運用コストを低減するための開発を行う必要があり、NEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

### **(2) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化について**

個別機器単体の開発に加え、システム構成要素(掘削からヒートポンプ、配管まで)を統合したトータルシステムの効率化及び規格化による導入コストダウンや、需要側の利用状況の特徴に対応したシステムの高効率開発等を通じて、さらなる効率向上による運用コストダウンのための開発を行う必要がある。複雑な地中熱システムを企業単独での開発にはリスクが高いためNEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

### **(3) 再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発について**

再生可能エネルギー熱の採熱場所及び方法を明らかにし、効率的なシステム導入の促進に資する各熱のポテンシャル簡易予測・評価技術を開発し、それを利用した候補地ごとの利用可能性を示すマップの構築を行うことで、NEDOがリードし迅速化に関する技術開発が必要である。

### **(4) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発について**

採熱・熱輸送・断熱・蓄熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムのコストダウンと高効率化に資する技術開発や規格化を推進して、導入コストあるいは運用コストを低減するための開発を行う必要があり、NEDOプロジェクトとしての実施は妥当である。

## **1.2.2 実施の効果**

- ・技術開発によりシステムの社会実装数が増え、導入コストあるいは運用コストの低下が進み、市場の拡大が期待される。
- ・システムの規格化やパッケージ化等の促進により、従来の業界構造が変革して、業界間の障壁や利益相反が改善され、システムの普及拡大が期待される。
- ・主な暖房需要の大きい寒冷地だけでなく、都市域における普及拡大が促進される。
- ・再生可能エネルギーのポテンシャル予測、評価技術開発及びポテンシャルマップの作成により、ユーザーへの認知度向上および効率的なシステム導入の促進に繋がる。

## II. 研究開発マネジメントについて

### II.1 事業の目標

再生可能エネルギー熱利用の技術開発でコストダウンを促し、熱利用の普及拡大に貢献することを目標とする。具体的には、コストダウンを目的とした地中熱利用技術及びシステムの開発、太陽熱、雪氷熱、その他の再生可能エネルギー熱の利用に、蓄熱利用等を含めたトータルシステムの高効率化・規格化、熱量評価技術の高精度化等に取り組む。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、技術開発を推進する。

#### (1) コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

我が国の状況に適合した掘削手法及び掘削技術、高効率地中熱交換器、地中熱の利用状態・温度等に適合したヒートポンプの開発や、地中熱交換器設置コスト低減化技術の開発等を通じて、導入コスト20%低減、運用コスト20%低減、又は導入及び運用コストの20%低減を目指す。

#### (2) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

システム構成要素(掘削からヒートポンプ、配管まで)を統合したトータルシステムの高効率化及び規格化、需要側の利用状況の特徴に対応したシステムの高効率開発等を通じて、導入コスト20%低減、運用コスト20%低減、又は導入及び運用コストの20%低減を目指す。

#### (3) 再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

再生可能エネルギー熱の採熱場所及び方法を明らかにし、効率的なシステム導入の促進に資する各熱のポテンシャル簡易予測・評価技術を開発し、その評価結果を活かしてシステム設計に必要な精度を有するマップを容易な操作性を備えたシステムで作成できることとし、システム設置前に実施する簡易な評価技術を確立する。

#### (4) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発

その他再生可能エネルギー熱利用システムについては、採熱・熱輸送・断熱・蓄熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムのコストダウンと高効率化に資する技術開発や規格化を推進し、導入コストの10%低減を目指す。また、その他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する、我が国に適したシステムの導入コストを10%低減することを考慮した革新的技術を開発する。

### II.2 研究開発対象の事前調査

再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に貢献する技術開発を効率的に実施するため、多種多様な熱源から注目すべき熱源を選定するための事前調査を実施した(平成25年度「再生可能エネルギー熱の導入促進拡大に向けた課題に関する検討」)。各熱源のポテンシャルの大きさ、熱需給地の地理的マッチングによる一次評価を行い、さらに技術開発による普及拡大可能性、基盤的技術や他分野への展開可能性に対して重み付けし採点を実施した。

この調査結果から熱源の候補として、地中熱、太陽熱、雪氷熱、温泉熱、バイオマス熱の5種を選定した。

## II.2 事業の計画内容

### II.2.1 研究開発の内容

#### II.2.1.1 事業全体の研究開発の内容

本事業の期間は、平成26年度から平成30年度までの5年間とする。実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術または革新的技術に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業については、NEDO負担率1/1の委託で実施する。ただし、産学官連携体制を構築しない事業は共同研究事業(NEDO負担率：2/3)として実施する。

#### (1) コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

[委託、または共同研究(NEDO負担率：2/3)]

- (1-1) 高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発
- (1-2) 戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管理設工法の研究開発
- (1-3) 地中熱利用要素技術の開発

#### (2) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

[委託、または共同研究(NEDO負担率：2/3)]

- (2-1) 地下水循環型地中採熱システムの研究開発
- (2-2) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発
- (2-3) 再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発
- (2-5) 地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発
- (2-6) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

#### 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

#### および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

- (2-4) 地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発
- (2-7) 低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発
- (2-8) 地下水を活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化
- (2-9) 一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究

#### (3) 再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

[委託、または共同研究(NEDO負担率：2/3)]

- (3-1) 地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発
- (3-2) オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発
- (3-3) 都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発

#### (4) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発

[委託]

- (4-1) 温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発
- (4-2) 都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発
- (4-3) 太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発
- (4-4) 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発
- (4-5) 食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生

## II.2.2 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDO が単独ないし複数の企業、大学等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる)から公募によって研究開発実施者を選定し、委託または共同研究により実施した。本事業の実施体制を図 II. 2. 2-1 に示す。

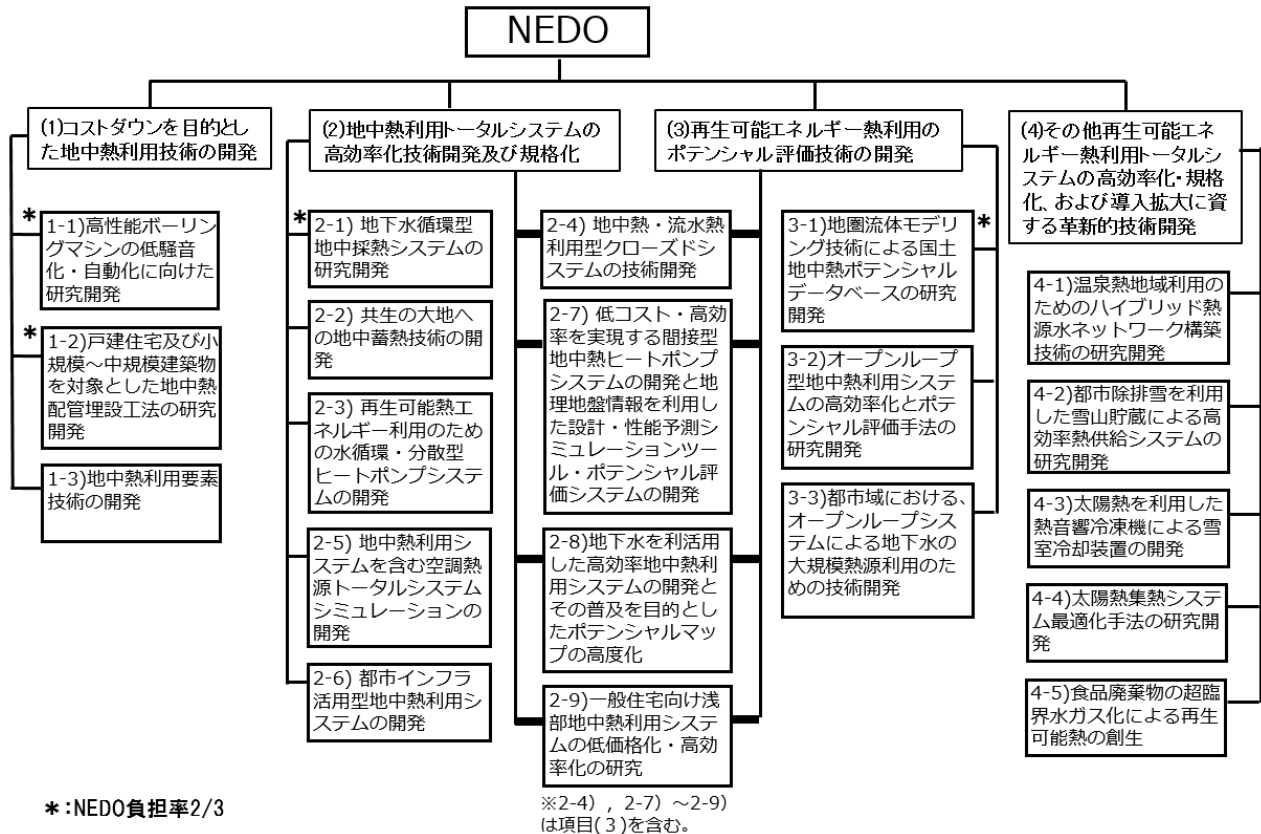


図 II. 2. 2-1 事業全体の実施体制

各研究開発項目における実施テーマ名と実施機関及び具体的な研究項目については、「添付資料 個別テーマ」にて、テーマ毎に実施体制図として纏める。

### (1) コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

- (1-1) 高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発  
 [共同研究(NEDO負担率: 2/3)]  
 ・株式会社東亜利根ボーリング
- (1-2) 戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管埋設工法の研究開発  
 [共同研究(NEDO負担率: 2/3)]  
 ・旭化成建材株式会社
- (1-3) 地中熱利用要素技術の開発  
 [委託研究(NEDO負担率: 1/1)]  
 ・株式会社ワイビーエム  
 ・国立大学法人佐賀大学

### (2) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

- (2-1) 地下水循環型地中採熱システムの研究開発  
 [共同研究(NEDO負担率: 2/3)]

- ・株式会社守谷商会
- (2-2) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発  
[委託研究(NEDO負担率：1/1)]
  - ・国立大学法人福井大学
  - ・三谷セキサン株式会社
- (2-3) 再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発  
[委託研究(NEDO負担率：1/1)]
  - ・国立大学法人東京大学生産技術研究所
  - ・鹿島建設株式会社
  - ・ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
- (2-5) 地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発  
[委託研究(NEDO負担率：1/1)]
  - ・株式会社日建設計総合研究所
  - ・公立大学法人名古屋市立大学
- (2-6) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発  
[委託研究(NEDO負担率：1/1)]
  - ・三菱マテリアルテクノ株式会社
  - ・国立大学法人秋田大学
  - ・日本ピーマック株式会社

**地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、  
および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発**

- (2-4) 地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発  
[委託研究(NEDO負担率：1/1)]
  - ・国立研究開発法人農研機構農村工学研究部門
  - ・国立大学法人東北大学未来科学技術共同研究センター
  - ・八千代エンジニアリング株式会社
  - ・ジオシステム株式会社
- (2-7) 低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発  
[委託研究(NEDO負担率：1/1)]
  - ・国立大学法人北海道大学
  - ・株式会社日伸テクノ
  - ・鉱研工業株式会社
  - ・株式会社イノアック住環境
  - ・サンポット株式会社
  - ・新日鉄住金エンジニアリング株式会社（事業終了時）  
(平成31年4月、日鉄エンジニアリング株式会社に名称変更)
  - ・ジーエムラボ株式会社
- (2-8) 地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化  
[委託研究(NEDO負担率：1/1)]
  - ・日本地下水開発株式会社
  - ・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
- (2-9) 一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究  
[委託研究(NEDO負担率：1/1)]
  - ・学校法人日本大学工学部
  - ・有限会社住環境設計室
  - ・日商テクノ株式会社

**(3) 再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発**

(3-1) 地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発

[共同研究(NEDO負担率：2/3)]

- ・応用地質株式会社
- ・株式会社地圏環境テクノロジー

(3-2) オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発

[委託研究(NEDO負担率：1/1)]

- ・国立大学法人岐阜大学
- ・東邦地水株式会社
- ・株式会社テイコク

(3-3) 都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発

[委託研究(NEDO負担率：1/1)]

- ・一般財団法人地域地盤環境研究所
- ・株式会社環境総合テクノス
- ・国立大学法人岡山大学

**(4) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発**

(4-1) 温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発

[委託研究(NEDO負担率：1/1)]

- ・株式会社総合設備コンサルタント
- ・公立大学法人大阪市立大学（事業終了時）  
(平成31年4月、公立大学法人大阪に名称変更)

(4-2) 都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発

[委託研究(NEDO負担率：1/1)]

- ・株式会社雪屋媚山商店
- ・株式会社共同通信デジタル
- ・NHNテコラス株式会社  
(平成27年1月、株式会社データホテルからテコラス株式会社に名称変更、平成27年10月、NHNテコラス株式会社に名称変更)
- ・株式会社環境技術センター
- ・株式会社ズコーシャ
- ・国立大学法人室蘭工業大学

(4-3) 太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発

[委託研究(NEDO負担率：1/1)]

- ・新潟県工業技術総合研究所
- ・学校法人東海大学
- ・新潟機器株式会社

(4-4) 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発

[委託研究(NEDO負担率：1/1)]

- ・一般社団法人ソーラーシステム振興協会
- ・名城大学
- ・国立研究開発法人建築研究所

(4-5) 食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生

[委託研究(NEDO負担率：1/1)]

- ・国立大学法人広島大学
- ・株式会社東洋高圧
- ・中国電力株式会社

### II.2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

開発項目の着実な実施と確実な達成に向け、適時、技術委員会(含、実証現地開催)を開催し、NEDO及び実施者で実施内容や目標設定を修正、検討する会議を設けている。

なお、個別テーマ毎の運営管理については、「添付資料 個別テーマについて」に記述する。

(知的財産権等の取り扱い)

開発成果に対する取り扱いとして、委託事業の成果に関わる知的財産権等については原則として、すべて実施機関に帰属させることとする(「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)。

実施機関においては、我が国の産業競争力の強化に資するべく、開発した技術や成果の特徴を踏まえた知的財産マネジメントを実施する。

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

### II.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び各研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、地中熱利用のポテンシャル評価に多数の事業者が携わっていることから、研究開発テーマ毎に事業の目的、計画、実施状況、課題の情報交換を行うことを目的として、当該事業者が一同に会する「地中熱利用ポテンシャル」関連技術交流会を実施した。平成30年度には、ポテンシャル評価技術に関するガイダンスを作成し、実用化に向けたマネジメントを行った。

また、事業終了後の実用化・事業化に向けて、最終年度である平成30年度に事業化見通しに関する企業ヒアリング(16テーマ、40事業者を対象)を実施した。

### II.3 情勢変化への対応

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても再生可能エネルギーは、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できるためにエネルギー安全保障に寄与できる有望かつ多様な国産エネルギー源と位置付けられており、重要なテーマであるとの認識のもと、平成27年度に追加公募を実施した。

## II.4 中間評価結果への対応

本事業の中間評価分科会を平成28年8月29日に実施した。表II.4-1に中間評価での指摘事項とその対応を示す。

表II.4-1 中間評価での指摘事項と対応

指摘事項	対応
①知財戦略とその実施方法を明確にすることが必要である。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個々のプロジェクトにおいてNEDOが定める知財マネジメント基本方針に沿った知財運営委員会が実施された。</li> <li>・特許出願を促すためNEDOが各委員会の議事内容・好事例を収集し、各プロジェクトに知財戦略をアドバイスした。</li> </ul>
②展示会や国内外の学会にも積極的に参加することで、認知度向上に努めてほしい。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NEDOでは、事業の継続と並行して再生可能エネルギー世界展示会や地熱学会、NEDO主催の成果報告会等を活用し積極的な広報に努めてきた。</li> <li>・事業者にも積極的に働きかけた結果、国内外で延べ467件の学会発表・講演、新聞・雑誌等への掲載は159件となった。</li> <li>・令和元年7月には再エネ展にてポテンシャルマップ関連の成果を特集し、事業終了後も認知度向上に努めている。</li> </ul>
③特許・実用新案等の申請件数が現時点では限定的であり、積極的に申請すべきである。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中間評価の時点で既に4件の特許出願があり、事業終了の平成31年2月までの出願数は合計18件となった。テーマ毎に発足する知財運営委員会等からそれぞれの出願状況を可能な範囲で情報共有することで特許や実用新案等の出願を促した。</li> </ul>
④ポテンシャルマップ・シミュレーションツールの評価技術や設計技術を、誰がどのタイミングで、どのように活用するのかについての検討が重要である。実用化されるツールを活用するシステムインテグレータの育成に向け、より具体的なロードマップの作成も必要と思われる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中熱利用システムの計画～設置～運用に至る過程において、ポテンシャルマップや空調熱源設計ツールに関する技術を取扱説明書としてまとめ、それを活用したガイダンスを作成した。各実施機関が公開するwebサイトのリンク先を掲載したガイダンスをNEDOホームページで公開中。</li> <li>・システムインテグレータの育成に向けた取り組みとして、平成30年度にロードマップおよび評価・設計技術などのツール活用ガイダンスを作成。</li> </ul>

## II.5 評価に関する事項

本事業は平成26年2月にNEDOの事前評価においてプロジェクトの妥当性を評価され、位置付けは妥当であり、必要性も十分であると判断された。その後、NEDO POSTで事業者や国民からの意見を募り事業内容に反映した。

また平成28年には、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技術開発」（中間評価）分科会が行われ、外部の有識者からプロジェクトの評価を受けた。3年度目でほとんどのテーマが予定どおりに成果を上げられる見込みであることを報告した結果、一定の評価が得られ、さらなる研究開発の推進を行っていくべきとの評価がなされた。



### III. 研究開発成果について

#### III.1 事業全体の成果

##### III.1.1 研究開発項目毎の成果

###### (1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

研究開発項目 (1)「コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発」の最終目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-1に示す。

表Ⅲ. 1. 1-1 最終目標に対する成果および達成度 (1)

最終目標	成果	達成度
地中熱利用について、我が国の状況に適合した掘削手法及び掘削技術、高効率地中熱交換器、地中熱の利用状態・温度等に適合したヒートポンプの開発や、地中熱交換器設置コスト低減化技術の開発等を通じて、導入コスト 20%低減、運用コスト 20%低減、又は導入及び運用コストの 20%低減を目指す。	地中熱専用掘削機および周辺機器の開発、空気熱源とのハイブリットシステムの導入によりトータルコスト 20%低減の目標を達成した。特に掘削に関する技術開発では、掘削時間および作業人員の削減を実現し、掘削コストの低減に寄与した。	◎×1 ○×2

###### (2)地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

研究開発項目 (2)「地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化」の最終目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-2に示す。

※4事業は、「再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発」も含む。

表Ⅲ. 1. 1-2 最終目標に対する成果および達成度 (2)

最終目標	成果	達成度
地中熱利用について、システム構成要素(掘削からヒートポンプ、配管まで)を統合したトータルシステムの高効率化及び規格化、需要側の利用状況の特徴に対応したシステムの高効率開発等を通じて、導入コスト 20%低減、運用コスト 20%低減、又は導入及び運用コストの 20%低減を目指す。	要素技術について一定の成果が得られ、地中熱利用トータルシステムのイニシャルコストで最大 40%削減、運用コストで最大 35%削減を達成した。 また、地中熱ヒートポンプモジュールとその他の空調機器を組み合わせたトータルシステムを構築し、従来設計手法とのコスト試算比較によりイニシャル・ランニングコスト共に 20%削減目標を達成した。	○×9

###### (3)再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

研究開発項目 (3)「再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発」の最終目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-3に示す。

表Ⅲ. 1. 1-3 最終目標に対する成果および達成度 (3)

最終目標	成果	達成度
再生可能エネルギー熱の採熱場所及び方法を明らかにし、効率的なシステム導入の促進に資する各熱のポテンシャル簡易予測・評価技術を開発し、その評価結果を活かしてシステム設計に必要な精度を有するマップを容易な操作性を備えたシステムで作成できることし、システム設置前に実施する簡易な評価技術を確立する。	各テーマにおいて当初の目標であるポテンシャルマップを作製した。また一部のテーマでは、作成したポテンシャルマップの対象地域を増加させる積極的な取り組みも行った。	◎×1 ○×2

#### (4)その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化

##### 及び、導入拡大に資する革新的技術開発

研究開発項目 (4)「その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化および革新的技術開発」の最終目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-4に示す。

表Ⅲ. 1. 1-4 最終目標の達成度

最終目標	成果	達成度
その他再生可能エネルギー熱利用システムについては、採熱・熱輸送・断熱・蓄熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムのコストダウンと高効率化に資する技術開発や規格化を推進し、導入コストの10%低減を目指す。また、その他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する、我が国に適したシステムの導入コストを10%低減することを考慮した革新的技術を開発する。	地中熱以外の再生可能エネルギー熱利用システム（雪氷熱、温泉熱、太陽熱、バイオマス熱）については、基礎実験によるFSを経て、導入コスト10%以上の低減を達成、または試算により達成した。特に都市除排雪を利用した雪冷房システムではトータルコストで64.1%削減し、目標を大きく上回って達成した。熱音響冷凍機の開発については熱音響冷凍機と太陽熱集熱装置の性能向上及び小型化が課題である。	◎×1 ○×3 △×1

#### Ⅲ.1.2 知的財産等の取得、成果の普及

成果の普及については、NEDOは、技術情報流出に配慮しつつ、実用化・事業化を推進するため、情報発信を行うように指導した。事業全体の特許、論文、外部発表等の件数を表Ⅲ. 1. 2-1に示す。NEDO自身も、学会・シンポジウムでの講演、専門誌への寄稿等を行っている。

表Ⅲ. 1. 2-1 事業全体の特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	1件	0件	0件	3件	0件	35件	36件	4件
H27FY	2件	0件	0件	11件	4件	101件	42件	18件
H28FY	3件	0件	0件	12件	3件	100件	19件	11件
H29FY	8件	0件	0件	21件	11件	123件	25件	13件
H30FY	4件	0件	0件	21件	4件	108件	37件	17件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在。NEDO分は含まない。

### Ⅲ.1.3 個別テーマ毎の成果(まとめ)

#### (1) コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

表Ⅲ.1.3-1 個別テーマの目標と成果

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

(1-1) 高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発 (◎)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①低騒音化技術開発	騒音レベル6dB低減	従来機と比較して、静的状態で11dB、動的状態で10dBの騒音低減を実現した。	◎	目標の2倍程度騒音レベル低減を達成
②自動制御技術開発	熟練技術者の掘削ノウハウを数値化し、遠隔操作を含む自動制御技術を構築する。	自動掘削を実現するための各制御アプリケーションを開発した。また、自動ロードチェンジャ・ロッドラックを開発し、作業編成人員を5人体制から3人体制とできることを事業者へのヒアリングにより確認した。	○	
(1-2) 戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管埋設工法の研究開発 (○)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①羽根付き掘削鋼管を用いる掘削工法	熱交換器埋設コスト(配管工事、材料費、残土処理費を含む)を8000円/m以下にする。	羽根付き掘削鋼管掘削工法を確立、試験施工を実施して、目標を達成。 (i)熱交換器埋設コストの試算結果より、単位深度あたり施工単価：7,200円/m (ii)施工速度：70.6m/日 (iii)排土量：掘削体積の29.6%	○	
	施工速度(掘削、配管埋設を含む)を60m/日以上にする。		○	
	発生排土量を羽根径掘削体積の10～30%にする。		○	
(1-3) 地中熱利用要素技術の開発 (○)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①地中熱専用掘削機および周辺機器の開発	掘削工事費の30%削減	開発により、地中熱交換器設置工事の時間が従来機に比べて43%削減された。周辺機器の開発により、掘削にかかる人員が3人から2人に削減された。結果として、事務所2,000m <sup>2</sup> クラスの試算で、掘削コストが29%削減された。	△	さらなる人員削減を目指して開発を行い、インシャルコストの削減を目指す。
②浅部専用掘削機(小型機)の開発	掘削工事費の30%削減	開発により、地中熱交換器設置工事の時間が従来機に比べて70%削減された。結果として、事務所2,000m <sup>2</sup> クラスの試算で、掘削コストが41%削減された。	○	
③地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発	地中熱交換器部材の20%削減、配管工事費の10%削減	同軸型地中熱交換器の性能を検証した。スリンキータイプ、スパイラルタイプ熱交換器の性能を評価した。ハイブリッドシステムの導入により地中熱交換器部材を30%削減、ただし現状の熱交換器の製作費用は割高(新規開発のため)である。	△	同軸型地中熱交換器の研究開発を継続する。また、ディンプル採熱管に関しては、ディンプル個数が多く、ディンプルがより深い管を製作し、実験を継続する。
④熱源機の低コスト化の研究開発	ヒートポンプのインシャルコストの20%削減	模擬地中熱源を用いたハイブリッドシステムにより検証した。市販機器との簡単な接続による地中熱システム	○	ハイブリッドシステムの実用化においては、実験を継

		のフィールド試験により検証した。 ハイブリッドシステムの導入により 25%削減、 上記③と併せて 2,000m <sup>2</sup> クラス事務所の試算で 30%削減した。		続しながら事業化 に興味を示す企業 を探していく。
--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------	--	---------------------------------

**(2) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、  
および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発 「(2-4)(2-7)(2-8)(2-9)は含む」**

(2-1) 地下水循環型地中採熱システムの研究開発 〈 〇 〉				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
① 地中採放熱槽の地下水流動に伴う熱伝導解析	1) 地中における熱移動の数値解析を用い、熱枯れが発生しない事、および熱伝導・熱分散・熱対流などの複雑な現象を理論的に検証し、装置構造の優位性を定性的に示す。	1) 従来方式の水平ループに比べ、地下水浸透流による移流効果で、安定して高い採放熱性能を発揮できる(熱枯れが発生しない)可能性を示した。	○	
②a. 採放熱装置構成材料(スリンキー部)の開発	1) 熱交換槽構成材料(難透水層設置を含む)の透水係数や熱伝導率等の相違による、熱交換性能への影響に関し技術基準を確立する。	1) -1. 基礎地盤上に難透水層を設置した場合、見掛けの透水係数は基礎地盤の 10 <sup>-3</sup> cm/sec オーダーに対し、10 <sup>-4</sup> cm/sec オーダーとなる事を確認した。難透水層を設置した熱交換槽では、設置していない熱交換槽と同散水量であっても滞水するため、散水した地下水の熱エネルギーが槽上部のみに供給されるだけで、効率の良い熱交換が困難である事を確認した。 1) -2. 熱交換槽構成材料である砂と、容積比 1:1 の砂利+砂の透水係数、および熱伝導率等を確認した。	○ △	1) -2 実証プラントの第2槽をPE管+砂に改修し、第3 or4 槽のPE管+砂+砂利との熱交換性能を比較する事で、PE管における浸透性材料の仕様を決定できる。
②a. 採放熱装置構成材料(スリンキー部)の開発	2) GカーペットとPE管の最大採放熱量を比較検証する。	II) ①総当たり最大裁縫熱量 ・冷房(日中12時間運転) Gカーペット: 8.89kW PE管: 7.43kW ・暖房(日中15時間運転) Gカーペット: 11.48kW PE管: 10.42kW	○	
②b. 採放熱装置のプレキャスト化の開発	1) ポーラスコンクリートの配合打設製造技術を確認し、プレキャスト化した熱交換装置の施工要領をまとめる。	1) -1. ポーラスコンクリートは、供試体による透水係数以外の、次に示す要因により、採放熱管と散水した地下水の接液状況が悪く、効率の良い熱交換が困難である事を確認した。 ・単位セメント量過大による採放熱管へのセメントペーストの付着。 ・製造時に浸透上面の空隙が閉塞され、その浸透面積が減少。 ・浸透水はその表面張力により、空隙側面を流下した。 ・さらに浸透水は、PoC内の連続空隙を流下。 1) -2. ポーラスコンクリート2次製品に関する施工要領書(配合・作業標準)を作成した。	○ ○	1) -1 現時点で、採放熱装置のプレキャスト化は困難と考える。
③a. 地下水供給制御システムの研究開発	1) ヒートポンプ運転情報と熱交換槽内の水位・温度情報とを連動させた井戸ポンプ運転制御システムを構築する。	1) ヒートポンプと井戸ポンプの連成運転手法を確立させた制御システムを実証プラントに組込んだ。	○	

<p>③b. 実証プラントの建設、及び暖房運転時の1次側循環液温度によるHPの運転制御</p>	<p>1) 水浸透性を有する熱交換槽の上部に散水パイプを設置し、そこから熱交換槽に地下水を供給（散水）するクローズド型水平式の地中熱交換システムを設計・建設する。 2) 一次側循環液に真水を用いるため、暖房時における凍結防止制御を確立する。</p>	<p>1) 熱交換装置の実施設計を行い、地中熱交換実証プラント（20kW級）を建設した。 2) 一次側循環液の温度管理による間欠散水等を行い、凍結防止制御システムを開発した。</p>	<p>○ ○</p>	
<p>③c-1. 地下水循環型地中採放熱装置における採放熱量の検証</p>	<p>1) スリンキータイプの採放熱目標量を50W/m以上とし、従前技術：5W/mの10倍以上を目指す。 2) G-カーペット1回路当たりの採放熱目標量を1.5kW以上とし、地中浅層埋設時における従前技術の5倍以上を目指す。</p>	<p>1) PE管：1槽当り最大採放熱量 ・冷房（日中12時間運転） 7.43kW ⇒50w/m ・暖房（日中15時間運転） 10.42kW ⇒69w/m 2) Gカーペット：1槽当り最大採放熱量 ・冷房（日中12時間運転） 8.89kW ⇒2.22kw/回路 ・暖房（日中15時間運転） 11.48kW ⇒2.87kw/回路</p>	<p>○ ○</p>	
<p>③c-2. 地下水散水量の最適化及び井戸ポンプ運転時間の最適化検証</p>	<p>1) 採放熱量を検証する中で、地下水散水（供給）量の最適化のためのデータを得て、揚水量の低減を図る。</p>	<p>1) 熱枯れの発生しないシステム運転には、1次側循環液量の0.34～0.46倍の槽当り散水量が必要である事を確認した。 また、熱枯れの発生しない槽当り散水流量が想定できた事で、地盤の透水係数による浸透（散水）流量との関係から、熱交換槽の必要最小規模（必要面積）が決定でき、熱交換槽の設計が可能となった。</p>	<p>○</p>	
<p>③c-3 (1) ③c-4 (2) 採熱装置の耐久性検証</p>	<p>(1) 浸透性材料、およびポーラスコンクリートに目詰まり等が発生し、地下水浸透能力低下による熱交換効率の低下を検証する。 (2) 地下水を意図的に連続散水し、劣化促進を実施。地下水浸透能力低下による熱交換効率の低下を検証する。</p>	<p>(1) ポーラスコンクリートの熱交換効率が良好でない事を確認後、実証プラントから撤去する際、供試体を採取した。その供試体内のエフロレッセンスと考えられる白色物質中の成分に関し、粉末X線回析を行った。その結果、同定された物質はエフロレッセンスに多く含まれる炭酸カルシウムと、骨材由来のものであることを確認した。これにより、ポーラスコンクリートを浸透性材料として長期供用した場合、目詰まり等の影響で熱交換効率の低下する可能性が考えられる。 (2) 浸透性材料を砂とした第1、2槽において、地下水を意図的に散水後、浸透能力試験を実施した。その結果、現時点において浸透性材料を含む基礎地盤に関し、その浸透能力低下は確認できなかった。よって熱交換効率の低下もないと考える。また、埋戻しによる嫌気性環境下での地下水散水であるため、地下水中の鉄分が酸素と接触することによる発錆が非常に少ない。したがって、地下水循環型の浸透性材料を含む基礎地盤は、目詰まりの起こり難いシステムである。</p>	<p>○ ○</p>	

(2-2) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発 (○)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発	貯水循環法での珪酸ソーダによるPHC杭Ca <sup>2+</sup> 遮断、漏水防止	杭内水位を下げて漏れなくし、上下杭接合の漏水も無くし、ケイ酸ソーダでCa <sup>2+</sup> を削減した。	○	
	PHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発	Uチューブ損傷無く安価な施工法を確立した。地表面熱収支考慮3次元数値シミュレーションUチューブ、ビル住宅ヒートポンプ数値シミュレーションソフトの開発をした。	○	
	現場杭打ち機利用Uチューブ専用杭施工法開発		○	当初の計画からの追加開発
	基礎杭兼用での温度応力などの構造安全性	開発専用ソフトを実験で検証し、杭頭の数mm上下や熱応力を計算予測できた。兼用利用の安全性を検証した。	○	
戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発	地盤改良機でのWUチューブ攪拌・圧入工法の開発	改良地盤内部に空洞が生じることが判明し、兼用利用はできないことが判明した。	×	地盤改良への影響が大きく兼用利用は断念
	H型コンクリート杭でのUチューブ工法	Uチューブ外付けと鋼製鞘管でのUチューブ曲げと保護で安価な施工を実現した。	○	
システムの開発	空気熱・地中熱ハイブリッドヒートポンプ床暖房・給湯蓄熱冷房システムの開発	保育園で空気熱と上記開発地中熱の併用ヒートポンプ床暖房を給湯にも兼用し、その給湯貯湯を床暖房立ち上がり利用などに実現した。	○	
	群杭効果での地中蓄熱融雪、夏の熱循環流量削減で節電	実用施設で夏の蓄熱で流速を1/2にしたが計算通り蓄熱は下がらず、年間COPは7.3が19に向上した。	○	
地下水循環利用技術の開発	地下水循環での目づまり抑制と防食	福井平野2カ所で循環検証、鉄とバクテリア、防食は井戸と管路での酸素遮断、遊離炭酸や細砂は井戸内の長布袋で処理した。	○	
(2-3) 再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発 (○)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①水ループシステム構築技術	導入コスト18%減、運用コスト20%	初年度FS検討及び実証実験の結果、コスト、性能目標を達成できる見込みを得た。	○	
②天空熱源ヒートポンプ	熱量単価40%低減 年間COP8	熱量単価75%低減(スクロール)した。 年間COP8.0達成した。	○	
③高密度地中熱交換器	施工コスト20%低減(蓄熱型)	施工コスト37%低減(駐車場下)した。	○	

④空調用水熱源ヒートポンプ	冷房 COP10 暖房 COP7	冷房 COP9.45 (95%以上達成) した。 暖房 COP6.69 (95%以上達成) した。	○	
⑤給湯用水熱源ヒートポンプ	貯湯 COP5. 瞬間給湯 7	冷房+貯湯給湯 COP 5.4 を達成した。 冷房+瞬間給湯 COP 10.4 を達成した。	○	
⑥運転性能予測手法	性能予測モデル及び制御アルゴリズムの構築	線形計画法とモデル予測制御を組み合わせた最適制御ロジックのプロトタイプを構築した。	○	

(2-4) 地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発 〈 ○ 〉

開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
1. 流水熱交換器の開発・実証試験	流水熱利用に適した熱交換器の開発と性能評価	想定した熱交換性能、施行性、設置コストを確認した。流水熱交換器はボアホールの約 50%で導入可能と確認した。システム全体では、熱交換器と HP のコストを同等と仮定すると、設置コストは、ボアホールを使用したシステムと比較して約 25%削減を確認した。	○	
2. 浅層地下水熱交換器の開発・実証試験	浅層地下水熱利用に適した熱交換器開発と性能評価	想定した熱交換性能、施工性、設置コストを確認した。浅層地下水熱交換機としてのフレコン熱交換器の設置コストは、ボアホールの約 50%で導入可能であることを確認した。システム全体では、熱交換器と HP のコストを同等と仮定すると、設置コストは、ボアホールを使用したシステムと比較して約 25%削減を確認した。	○	
3. ヒートポンプの運用最適化	HP 運用最適化と、不凍液不使用制御法開発	不凍液不使用制御は達成した。 運用最適化は 7 割を達成した。	△	課題は残るものの寒冷地における不凍液不使用の実績を創った
4. 導入適地マッピング技術の開発	ポテンシャル評価手法およびマッピング技術の確立 (浅層地下水・農業用水)	精度と簡便性のバランスの取れた導入適地マッピング技術の確立 (浅層地下水・農業用水) した。	○	
5. 未利用熱交換器の開発	未利用熱源の調査と熱交換器の開発	未利用熱の採放熱量と最適熱交換器形状確認した。熱交換ユニットは水を強制攪拌するためのエアレーション機構を搭載し、既存の樹脂製投げ込み式熱交換器と比べて熱交換性能を約 6 倍に高めた。 また、多数細管構造の熱交換器を採用し、既存の樹脂製熱交換器と比べて循環水の圧力損失を約 1/10 に抑え、流水からの安価な熱回収を実現した。	○	
6. 未利用熱マッピング技術の開発	ポテンシャル評価手法の確立 (湧水) およびマッピング技術の精度向上 (農業用水)、情報提供ツールの開発	・精度と簡便性のバランスの取れた導入適地マッピング技術を確立 (湧水) した。 ・水温の年による違いを踏まえたマッピング技術の精度を向上 (農業用水) した。 ・ユーザーが利用しやすく自治体が導入しやすい導入適地情報提供ツールのソフトウェアを作成した。	○	

(2-5) 地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発 〈 ○ 〉

開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
------	--------------	----	-----	-----------------

① 既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査	主要な熱源機器の性能特性を把握、調査結果のデータベースを構築	各社ラインナップをHP等で調査。メーカーへのヒアリングとHP調査により、最終的に11社の性能特性の情報を収集した。主要な76機種程度の性能特性の情報を入手した。主要な全熱源機器の性能特性を把握した。	○	
② 既往地中熱交換器調査	主要な地中熱交換器の性能特性の調査を行う	10社(101種類)の地中熱交換器のラインナップをHPにて調査。メーカーへのヒアリング及びHP調査により、主要メーカーの性能特性情報を収集した。	○	
③ LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発	主要な熱源機器の熱源モジュールを作成する。	熱源モジュールのエネルギー消費量計算ロジックの考え方を検討した。機器特性の調査結果を用いて、検討した計算ロジックに従い熱源機器モジュールの作成を完了した。	○	
④ LCEM用 地中熱物性取得モジュールの開発	全国主要平野のモジュールを作成	主要平野を含む全国を網羅するデータベースを完成した。	○	
⑤ LCEM地中熱熱交換器熱交換計算手法の構築	代表的な8種類の熱交換器のLCEMに適応可能な熱交換器計算手法構築、計算手法の高速化を実施	ボアホール型(ダブル・シングルUチューブ)、二重管型、PHC杭(水充填・個体充填)、鋼管杭(水充填・個体充填)、場所打ち杭、水平チューブの9種類の地中熱交換器のLCEMに適用可能な温度計算手法を構築した。	○	
⑥ LCEM地中熱熱交換器モジュールの開発	主要な全熱交換器方式のモジュール作成	汎用性の高い熱交換器の種類を整理し、開発を行う熱交換器を検討した。主要な全熱交換器に対して、地中熱交換器のモデル化を行った。	○	
⑦ 空調熱源トータルシステムの開発	地中熱ヒートポンプモジュールと主要なその他の熱源を組み合わせたシステム構築が可能なツール作成	地中熱ヒートポンプモジュールと冷温水発生機、空冷ヒートポンプ、ターボ冷凍機等を組み合わせたトータルシステムを構築した。	○	
⑧ 既往ツールとの比較	主要な熱交換器(4機種)程度で、既往ツールとの比較を実施。エネルギー消費量で5%以内の精度を目標	6物件(4機種)での既往ツールの計算を完了した。 1物件のみデータ欠損のため解析していないが、当初の目標4機種以上で5%以内の計算精度は達成した。	○	
⑨ 実測値との比較	実測値(5件以上)と実測値の比較を実施。エネルギー消費量5%以内の精度を目標	実測建物の熱源に基づく計算値を比較。両社の年間のエネルギー消費量の差異は2.2%を確認した。この他、熱交換器モジュール6施設の比較を実施した結果、3件は目標達成した。	△	残りの3件については、現地の横引き配管が長いことによる影響や、地盤物性値が計算値より良い値となっている可能性が高いことにより、LCEMの方が安全側で試算されたため、誤差が大きくなった。
⑩ ユーザーインターフェースの開発	設計者が簡易に操作できるユーザーインターフェースを構築	開発した地中熱源モジュール、熱交換器モジュールを追加したシステムとし、ユーザーインターフェースの作成を完了した。	○	



⑩ 既往設計手法との比較	モデル建物で既存の計算手法と本ツールでの設計を実施して比較。イニシャルコスト、ランニングコスト 20%削減を目標	既往設計手法での設計方法の整理を完了。モデル建物を設定し、従来の設計手法での設計とコスト試算を実施、一定条件下におけるイニシャルコスト、ランニングコスト 20%削減目標を達成した。	○	
(2-6) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発 (○)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①-1 フィールド試験用熱交換器の構築	土留壁方式全 6 パターンの地中熱交換器から熱源水ヘッダーまでの「地中熱交換器試験装置」の設置	土留壁方式全 6 パターンを試験フィールドに設置した。 上記試験施工を通じて土留壁方式施工手法の改良を行い、工事費試算に反映した。	○	
①-2 サーマルレスポンス試験 (TRT) 装置を用いた各熱交換器の性能試験	地中熱交換器試験装置を対象に性能試験を実施し、地中熱交換器設置工事費で対ボアホール方式 50%削減	地中熱交換器設置工事費 (横引配管含む) を対ボアホール方式で、熱交換器後入れ工法では 52%、熱交換器同時挿入工法では 66%削減した。	○	
①-3 数値シミュレーションモデルの構築	TRT のデータを用いて、数値モデルによる地中熱交換器周辺の熱移動シミュレーションを実施	ヒストリーマッチングを通じて、土留壁方式の数値シミュレーションモデルを構築した。	○	
①-4 数値シミュレーションによる最適化	地中熱交換器の配管径等の最適化を実施し、施工手法を含めた土留壁方式の経済的な最適設計を提案	熱交換器後入れ工法 (同軸二重管) の直径比を最適化し、地中熱交換器設置工事費を最適化前より 10%削減した。 熱交換器同時挿入工法の熱交換器配置最適化により地中熱交換量 5%増加した。	○	
②-1 設計業務	現行機種から以下を変更・追加 フリークーリングコイルの追加 水熱交換器の変更 送風機の変更 高効率圧縮機に変更 熱源水変流量への対応	左記の変更・追加により COP の向上に寄与する機器選定や配置を行い、設計業務を完了した。	○	
②-2 地中熱一体型エアコン試験機の製作及び工場での性能確認	最大負荷を想定した工場性能試験で、定格 COP 比 10%向上 部分負荷を想定した工場性能試験で、定格 SCOP 比 15%向上	最大負荷を想定した工場性能試験より、冷房定格 COP 比 18%向上、暖房定格 COP 比 24%向上、平均 21%向上を達成した。 部分負荷を想定した工場性能試験より、冷房運転時 SCOP 比 16%向上した。 ※上記 SCOP はポンプの消費電力を現行機種と同じとし、試験機単体での効果を推計したものの工場性能確認より負荷率および水温変動時の性能を明らかにした。	○	

②-3 地中熱一体型エアコン試験機を用いた冷暖房試験	試験フィールドでの冷暖房試験を通じて、現行機種に対する 20%以上の SCOP 向上（ポンプユニットの開発と連携）	現行機に対する試験機の消費電力削減率（＝SCOP 向上）は、冷房試験で 41%、暖房試験で 20%を達成消費電力削減率試算における比較対象は、現行機が計算値、循環ポンプはインバータ制御なし（ON/OFF 運転のみ）とした。	○	
③-1 設計業務	補器類（熱源水ポンプ、膨張タンク、加圧給水ユニットなど）と制御を含めた屋外パッケージ化ポンプユニットに内蔵された循環ポンプと地中熱一体型エアコンの連動制御とインバータ制御の装備	屋外パッケージング化により 42%の省スペース化（対機械室内設置実績）を実現事務所ビル（東京）の負荷パターンを対象に、循環ポンプ INV 制御による消費電力削減効果を試算した。	○	
③-2 ポンプユニット試験機の製作及び試運転	工場検査と試験フィールドでの試運転を通じて、試験機を改良	ポンプユニット試験機の設計・製作・工場検査を完了し、試験フィールドに設置試運転を通じて各試験機との連動運転を確認した。	○	
③-3 ポンプユニット試験機を用いた冷暖房試験	試験フィールドでの冷暖房試験を通じて、制御方法の確立 循環ポンプインバータ制御により、インバータ制御なしの場合に比べ、20%以上の SCOP 向上（地中熱一体型エアコンの改良と連携）	変流量制御用信号に応じた制御、出入口温度差一定制御、末端差圧一定制御手法を確立した。 冷暖房試験結果より、循環ポンプのインバータ制御は冷房運転のみに有効とした。 循環ポンプインバータ制御による消費電力削減効果は、暖房運転では同等でも冷房運転で 57%と削減効果が大きく、年間 21%削減を達成した。	○	
(2-7) 低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発 〈○〉				
開発項目	最終目標[2018 年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
バイブレーション式削孔機振動周波数の最適化による削孔速度向上。	ボアホール構築に関わる掘削コストの 10%を削減	投入馬力、振動数、起振力と掘進率関係に着目、試験掘削を実施、高効率の新型バイプロヘッドを開発、35%以上の掘削時間削減をフィールドテストにて実証した。	○	
スクリュー式インナーロッドによる削孔排土速度の向上。	ボアホール構築に関わる排土工程コストの 10%を削減	1/2モデルによる排土実験を実施、フラットバーロッドを製作、フィールドテストにより 4%の排土時間削減を実証した。 排土工程の定量化を進めフラットバーロッドと併せ 25%の排土時間削減を実証した。	○	
ドリルロッド脱着オートメーション化による工事速度の向上。	ボアホール構築に関わるロッド脱着コストの 10%を削減	100m 掘削に対応の二重管脱着システム搭載の専用掘削機を製作、フィールドテストによりロッド脱着の工数、30%以上の削減を実証した。	○	
新型形状熱交換器	扁平 U チューブの事業化検討が完了	扁平 U チューブ S・W の開発は完了。フィールド試験 II で性能試験 II を実施完了した。	○	
新型形状熱交換器用 E F 継手	E F 継手の事業化検討が完了	施工・性能試験完了した。	○	
Y ブランチ E F 継手	事業化・販売を行う	開発完了。H31 年 4 月～ 販売開始予定。	○	
樹脂製ヘッダー	事業化検討が完了	最終品試作完了した。	○	
サイクルシミュレーションによる開発	サイクルシミュレーションの開発	冷暖房・給湯用の HP のサイクルシミュレーションを開発した。	○	

るヒートポンプ機器の基本設計	シミュレーションによる高効率化検討	サイクルシミュレーションにより熱交換器面積増大の HP 高効率化への寄与を定量化した。	○	
多熱源対応連結型多機能ヒートポンプモジュール設計・開発品試作・性能評価	60kW 級冷暖房ヒートポンプ COP4.3 冷房 COP4.5 30kW 級給湯専用ヒートポンプ COP4.0	60kW 級冷暖房ヒートポンプ 暖房 COP4.3 冷房 COP4.5 30kW 級給湯専用ヒートポンプ COP4.2 (目標より 0.2 アップ)	○  ○	
連結型の制御システムの開発	簡易コントローラの開発	簡易コントローラ (ヒートポンプ接続台数最大 52 台) を開発した。	○	
ハイブリッド地中熱ヒートポンプ制御ユニット	事業化検討が完了	簡易コントローラを開発した。	○	
地中熱熱回収ヒートポンプ制御システム	事業目標を達成する制御システムの最適化と標準化	制御システムの最適化についてはほぼ完了。それを基に標準化を実施した。	○	
制御システムの実証試験	事業目標であるシステム導入効果を実証	導入効果実証試験を実施した。	○	
地盤地層データベース、地下水・地盤熱特性データベース構築	我が国における地域ごとの地盤地層データおよび地下水・地盤熱特性データベース構築	500 m メッシュによる有効熱伝導率、体積熱容量、地中温度、地下水流速の深度 200m、解像度 5 m でのデータベースを完成した。	○	
ポテンシャル評価手法の構築	地中熱ヒートポンプシステムのポテンシャル評価手法を構築	データベースとグリッドシミュレーションを組み合わせ、持続稼働温度条件と目標性能条件を満たす必要地中熱交換器長さ計算手法を開発した。	○	
ポテンシャル評価マップの構築	全国各地域におけるポテンシャル評価マップを作成	全国 10km グリッドおよび主要都市 500m のポテンシャルマップを作成した。	○	

(2-8) 地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化 (○)

開発項目	最終目標[2018 年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
1) 地下水注入方法の検討	密閉式井戸の築造方法と密閉式注入方法の確立	ソニックドリルを使用した密閉式井戸の築造方法を確立した。 構築した帯水層蓄熱システムの稼働時に密閉式井戸での 100% 注入を確認 (夏期も冬期も) した。	○	
2) 太陽光集熱を用いた帯水層の温度回復	太陽光集熱器を併用した帯水層蓄熱システムの稼働データに基づいて最適稼働方法を確立	構築した高精度シミュレーションモデルでの解析結果と、稼働データによる最適稼働方法を設定した。 イニシャルコスト 21% 削減した。 年間ランニングコスト 31% 削減達成した。	○	
3) 帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプ開発 (1) 地下水熱交換器自動洗浄方法の開発	熱交換器の総括熱伝達率の低下が初期値の 10% 以内 ヒートポンプの性能低下が初期値の 2% 以内	熱交換器内部確認では、顕著なスケール付着なしを確認した。 要素技術の評価において総括熱伝達率の低下が初期値の 10% 以内 (実験開始 2 ヶ月後 ~ 4 ヶ月経過後までの平均値) を達成した。	○	
3) 帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプ開発	冷却 COP 5.5 加熱 COP 5.0	工場内の性能試験結果 冷却 COP 6.45 (=冷熱 26.8kW/消費電力 4.15kW) 加熱 COP 5.82 (=温熱 28.1kW/消費電力 4.82kW)	○	

(2) 帯水層蓄熱対応ヒートポンプユニットの開発		フィールド試験の COP も目標値を上回る結果となった。		
4) 温度変化による帯水層蓄熱システムの運転影響評価 (1) 温度変化による帯水層蓄熱システムの運転影響評価	地下水温度変化が地下環境(微生物群集・水質)に及ぼす影響を評価	室内試験、現場モニタリング結果より、蓄熱システム運転による地下水水温の変化は地下微生物群集・水質に影響しないことが示された	○	
4) 温度変化による帯水層蓄熱システムの運転影響評価 (2) 地下環境への影響評価手法の確立	地下環境に影響を与えない地下水注入温度基準を提案	現場モニタリングの結果、地下水注入温度は、平均地下水水温-5℃から+8℃の範囲で地下環境に影響を与えないことが示された。	○	
5) 設計・施工・稼働にかかる技術資料の作成	設置コスト20%低減 運用コスト20%低減の実現	設置コスト 21%低減を達成した。 運用コスト 31%低減を達成した。	○	
	設置・運用コスト 20%低減可能な高効率帯水層蓄熱システム構築のための設計・施工・稼働にかかる技術資料を作成	設計・施工・稼働にかかる技術資料が完成した。	○	
(2-9) 一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究 〈○〉				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①既存住宅向け2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発	採熱管の回転埋設・打撃振動付与機能を搭載する小型機構、鋼管の無溶接接合技術による単管の簡易接続法を導入した採熱管組立技術の機能と施工性能を実証すること	鋼管管端の内面外面のねじ加工によれば、現場での連続的かつ無溶接での接合が可能となること、施工速度 0.2m/分以上での施工が可能であること、埋設施工試験の結果から、5千円/m以下になることを確認した。	○	

	熱交換井を構成する小口径2重管の先端に簡易に取り付け可能で、しかも施工時に遭遇する部分礫層場合にも対応可能な低価格先端錐の効果を実証すること	土壌圧密と穿孔を考慮した3Dハイブリッド型鑄造ビットの鑄造が可能であること、2枚刃ハイブリッド型ビットについて従来ブレード型ビットと同等以上の貫入性を確認した。	○	
	住宅敷地に搬入可能な幅1m以内で、N値20程度まで採熱管をなできる採熱管組立と埋設技術の施工性能を実証すること	郡山市内などの福島各所ならびに関東ローム層地域で埋設試験を実施。N値20程度までは回転埋設法で対応可能であることを確認した。	○	
② 浅部地中熱利用向けヒートポンプシステム技術の開発	既設住宅向け浅部地中熱利用方式において、初期設置コスト150万円/5kW以下を実証すること	既設モデル住宅において、回転埋設工法による地中熱交換器を利用した場合、初期設置コストが150万円/5kWを達成できることを実際の施工を通じて確認した。	○	回収年数10年以下の実現、標準化による施工費の圧縮と、部材単価の圧縮
	熱需要に応じた熱交換井および室内機との連動制御技術を開発するとともに、それに対応した運転制御系を有するヒートポンプを開発すること	熱需要に応じて室内機の運用の台数、それと連動した地中側および室内側循環ポンプの流量制御、さらに地中熱交換器本数制御を連動させた制御系を開発し、動作を確認した。当該制御によってヒートポンプシステムの効率が向上することも確認した。	○	基板の標準化、熱需要のパターン整理による簡素化
	浅部地中熱利用従来方式と、当該事業で開発した浅部地中熱利用方式の試験比較において、運転コスト10%の削減を実証すること	暖房期ならびに冷房期を通じた同一負荷条件下にて、開発制御系に対応する新ヒートポンプシステム等を実装した浅部地中熱利用方式と浅部地中熱利用従来方式とを比較較。運転コスト10%以上の削減を実現した。	○	循環ポンプの耐久性の向上、リード線の強化と自主活動による暖房時における性能確認
③ 浅部地中熱利用向け地中熱リファレンスマップのマッピング技術の開発	国内の三カ所以上の都市において地中熱採熱量表示ができること。熱交換井設置場所にて規定の標準採熱パターンに沿った採熱量試験と当該手法による採熱量計算値を比較し尤度を評価すること	国内3カ所を選択。熱交換井が設置されている場所での採熱量を自動表示するプラットフォーム完成した。比較検討試験は高知、福島終了した。採熱計算に必要な地層熱物性計測手法が完成した。	○	課題：性能評価試験の精度向上と地下水流動の影響評価、解決方針：温度差をある程度持たせた運用と地下水流動が保証できる地域における流動効果の組み込み

### (3) 再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

(3-1) 地圏流体モデリング技術による国土中熱ポテンシャルデータベースの研究開発 (◎)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①地中熱利用実績の調査とデータベース化	120件前後の調査事例収集とデータベース化	利用実績事例124件を収集その他、地盤、地下水情報等についてもデータを収集した。	○	
②三次元地質構造モデルの構築	広域自治体(関東-東北、約20万km <sup>2</sup> )、都市部2地域(関東、宮城、約2万km <sup>2</sup> )のモデル構築	広域自治体(関東-東北)、都市部3地域(関東、宮城、長野)の三次元地質構造モデルの構築完了(当初計画に都市部1地域を追加)都市部3地域については、水平解像度50mの超高解像度浅層地盤モデルを構築した。	◎	1件追加実施
③マルチスケール国土水・熱循環モデルの開発	上記②をもとに地下浅層から深部の水・熱循環系モデルの確定 水平解像度は広域自治体500m以下、都市部2地域は重要街区50m以下を達成	都市部3地域(関東、宮城、長野)の水・熱循環系モデルの構築を完了した。 広域自治体(関東-東北)の水・熱循環系モデルを構築した。 上記モデルで目標とする水平解像度を達成した。	◎ ○	1件追加実施
④地中熱利用ポテンシャル評価技術とデータベース開発	上記③をもとに地下浅層から深層を含めた深度別の地中熱ポテンシャルの評価技術確立	上記③の地域について、従来に無い手法によって自然資本としての地中熱ポテンシャルマップを提案した。	◎	1件追加実施
⑤ポテンシャルマップの信頼性検証	エンドユーザーの実用に耐えることを検証	上記①の実サイトのデータを利用し、上記④で作成した地中熱ポテンシャルマップの信頼性を検証した。	○	
(3-2) オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発 (○)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
最適逆洗技術と地下水熱交換ユニットの開発	従来システムとの価格性能比で、設置コスト・運用コストを20%削減	設置コスト・運用コストをそれぞれ20.2%、20.0%削減し、ライフサイクルコストを20.1%削減した。	○	
打ち込み井戸・タンク式熱交換器・浸透ますの利用に関する研究開発	従来システムとの価格性能比で、設置コストを30%削減	設置コスト・運用コストをそれぞれ32.0%、33.6%削減した。	○	
オープンループ型地中熱利用システムのためのポテンシャル評価技術開発	ポテンシャル評価技術を開発し、運用コストの削減率に基づくポテンシャルマップを作成する。地下水熱流動のモデル化によるシミュレーション技術の開発	運用コストの削減率に基づくポテンシャル評価手法を開発した。	○	

(3-3) 都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発 (○)				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①実現可能性調査	本観測井システムが、都市域におけるオープンループ型地中熱利用システムに対して、コストや開発リスク回避等の観点から有効であるかどうかを検討	既存の地盤情報から、大阪市内の中心部（大阪駅～中之島周辺）における帯水層の連続性を把握した。また、オープンループシステムの継続的な利用に必要な地盤や地下水の特徴を抽出し、当該地域での有効性を確認した。また、観測井構築の技術開発により、トータルコストが低減できることを確認した。	○	
②観測井の掘削工法、観測井の構造明確化	熱源井構築の設計に資するデータを取得することで、帯水層の位置を反映した高性能で低コストな熱源井の構築に寄与すると共に、低コストな観測井の構築技術の開発	ロータリーパイプレーション工法のサンプリングツールを開発して、迅速かつコア採取率の高い掘削が可能となった。また、観測井内流速装置（フローメータ）を開発し、連続的に透水性を把握することが可能となり、高性能な熱源井設計のデータを提供した。 複数の帯水層の水位等を1箇所測定できるマルチレイヤー観測井の構築技術を確立し、設置費を25%削減した。	○	
③地下水管理のためのマルチレイヤー観測井のデータ解析と継続利用可能な帯水層の特性研究	既存の情報を集約するとともに、新たに構築したマルチレイヤー観測井によるデータ解析により、地質・土質特性、地下水に関する情報を統合して、オープンループシステムに利用可能な帯水層の特性を検討	持続的な地下水の熱利用に有効であると考えられる砂礫層（礫分が50%以上かつ細粒分15%未満：有効帯水層と呼称）の層厚分布を抽出した。さらに、水質・水温・水位の継続的なモニタリング調査を実施し、熱源井設計に資する情報を得るとともに、地下水流動シミュレーションの基礎データを蓄積した。 さらに地盤情報と地下水情報を同時に閲覧できるデータベースを構築し、地下水観測位置、地下水位の経年的変化、地下水の水質（ヘキサダイアグラム）、粒度による透水係数推定値等を整理した。これらの情報は図面上の観測位置を選択することで閲覧を可能とした。	○	
観測井データ等を用いた地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発	統合的に管理可能なデータベース、すなわち地下水・地盤情報総合データベースのシステムの開発 大阪市が公表している「帯水層蓄熱情報マップ」の情報を更新し、より現実的な事業性予測が可能なシステムの構築	評価手法の構築では、各帯水層の層厚分布図を作成しさらに原位置試験データと粒度組成の値から、透水係数の概略推定を可能とした。次にATESシステムの導入・運用を想定した非定常解析（特に、揚水・還水による熱の移流・拡散状況を推定するための解析）のプログラムを構築し、流動予測シミュレーションシステムを完成させ。 また、各帯水層の層厚分布と概算利用可能量（賦存量）を250mメッシュ毎に表示するポテンシャルマップを作成すると共に、各地域での掘削および井戸構築までのコストを作成する際のコスト計算が可能な地盤環境・事業性予測評価システムを完成させた。システムでは、導入を検討する地域のメッシュにカーソルを合わせてクリックすることで、ATES利用可能な帯水層の下端までの深度や層厚、掘削コストなどが表示される利便性の高いものである。	○	

**(4) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化及び、導入拡大に資する革新的技術開発**

(4-1) 温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発 〈 〇 〉				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
事業全体	温泉熱利用による集中型の熱供給システムに対して、温泉熱と排湯の熱回収による熱源水ネットワークシステム技術の構築を行い、実証による10%以上の導入コスト低減を実現させることを目標とした研究開発	FS及び実証試験結果を反映したシミュレーションによるシステム評価にて、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムが、従来の集中型の熱供給システムに比べて、導入コスト10%以上低減することを確認した。	〇	
①実現可能性調査	実現可能性調査によりハイブリッド熱源水ネットワークシステムと集中型の熱供給システムの比較検討を行い、導入コスト10%低減	4施設を想定したシミュレーションによるFSにて、既存システムと比較して導入コストが約10%低減することを確認した。	〇	
	最適な実用化システムと実証装置の規模及びその前提条件、運用条件を明確にすると共に、システム各構成要素の目標コスト、技術課題を整理して実用システムとして採算が取れるコストの見通し	最適なシステムモデルとその他諸条件を明らかにするとともに、各技術開発項目のコスト見通しを立て、当該見通し達成に向けた個別技術開発を実施した。		
②流下液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発	流下液膜式熱交換器を1パターン以上の試作	2パターンの熱交換器を試作し、温泉下での試験を行った	〇	
	温泉熱利用に適した流下液膜式熱交換器を開発し、実証試験により、コスト3万円/kW以下の達成	実証試験により確認した性能で約2.5万円/kWとなることを確認した。		
③保温性のある低コスト配管の開発とその接続継手の開発	空気層を設けた熱源水ネットワーク配管及び熱源水ネットワーク用配管継手を各2パターン以上の試作	乾燥土壌条件と含水率が高い土壌条件を想定した、2種類の管路と縮小サイズの継手を試作した。	〇	
	実証試験により、空気層を設けた熱源水ネットワーク配管及び熱源水ネットワーク用配管継手のコストが合わせて5万円/m以下の達成	試作品によるラボサイズ試験とシミュレーションにより保温性能を確認した。また、その際のコスト検討を行い、配管継手を射出成型品とすることで目標価格を達成する見通しを確認した。		
④浴場における排湯熱直接回収用熱交換器の開発	上水予熱熱交換器の小型試作器の仕様を3パターン以上検討し、1パターン以上の試作	小型熱交換器5種類の仕様検討(形状、熱交換性能)を行い、2種類の実規模熱交換器を試作した。	〇	
	実証試験により、①実現可能性調査により明らかにした目標コスト(1万円/kW以下)の達成	実証試験により確認した性能で約0.9万円/kWとなることを確認した。		



⑤システム評価	実証試験により、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムが、従来の集中型の熱供給システムに比べて、導入コスト 10% 低減の達成	実証試験結果により精度検証を行ったシステムモデルを用いたシステム評価により、提案システムが比較システムである集中型の熱供給システムに比べ、導入コスト 10%低減することを確認した。	○	
(4-2) 都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発 〈 ◎ 〉				
開発項目	最終目標[2018 年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①都市部の除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法及び集熱設備の開発	30%のコスト削減	都市部の除排雪を集雪して構築した雪山を活用可能な雪冷房システム技術を開発した。 コスト 64.1%を削減した。	○ ◎	目標に対し大幅にコスト削減を実現
②フリークーリングを併用したハイブリッド雪冷房システムの設計	10%のコスト削減	フリークーリング導入による消費雪量の削減量を得た。 コスト 62.9%を削減した。	○ ◎	目標に対し大幅にコスト削減を実現
③サーバ廃熱を活用して冬期の居室暖房需要に対応するハイブリッド雪冷房システム暖房システムの併用方法の設計	10%のコスト削減	廃熱回収システムについて実証を行った。 コスト 35.0%を削減した。	○ ◎	目標に対し大幅にコスト削減を実現
④データセンターにおけるフリークーリング併用雪冷房システムの運用技術の検討	50%のコスト削減	データセンターへのフリークーリング併用雪冷房システムによる冷却を実証した。 コスト 54.8%を削減した。	○ ○	目標に対し大幅にコスト削減を実現
⑤コスト削減見込み量の試算	30%のコスト削減	コスト 57.5%を削減した。	◎	目標に対し大幅にコスト削減を実現
⑥雪冷熱・産業廃熱を利用した相互供給型事業モデルの検討	10%のコスト削減	作物栽培システムの実証を行った。 陸上養殖システムの実証を行った。 雪風による低温乾燥システムの実用化可能性検討を行った。 作物栽培システム：コスト 41%を削減した。 陸上養殖システム：コスト 35.6%を削減した。	○ ○ ○ ◎ ◎	目標に対し大幅にコスト削減を実現
⑦都市除排雪の利活用システムの検討	冷熱価格 50%の削減 産業廃熱価格 30%の削減	自治体排雪事業を検証し、都市排雪の供給システムを検討した。 冷熱価格 50%以下、産業廃熱価格 30%以下の熱供給事業の事業性を確認した。	○ ○	
⑧全空気式冷熱回収方式の検討	設計指標策定	都市排雪を利用した雪山からの全空気式熱回収方式についてシミュレーションを実施した。 設計指標を得た。	○ ○	

⑨ホワイトデータセンター構想の地域経済効果に関する検討	地域経済効果 300%	300%以上の経済効果を推計した。	○	
(4-3) 太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発 〈△〉				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
熱音響冷凍機の開発	198℃以下の入熱温度で冷熱-20℃100Wの出力を得る (入熱2kWで出力)	電気ヒーターの入熱実験により、加熱170℃で-20℃の冷凍温度発生を実証(最高出力101W)した 必要入熱量は6kWを超過した。	△	熱効率、冷凍出力など基本性能向上のための研究が必要。東海大学にて研究を継続
太陽熱集熱装置の製作と評価	太陽熱で熱媒を210℃以上に加熱(2kW以上の入熱)	熱媒流量3~7L/minで、210℃以上の加熱を実証した。2kW以上の入熱を実証した。	○	
太陽熱集熱装置から熱音響冷凍機への入熱シミュレーション	太陽熱で加熱した熱媒により-20℃100Wの冷熱が発生することを示す	試作した熱音響冷凍機と太陽熱集熱装置の評価結果から晴天時に ・冷凍温度0℃で最大102W ・冷凍温度-20℃で最大51Wの出力が可能。目標-20℃100Wには熱効率の向上が必要	△	既存技術であり、課題解決は熱音響冷凍機によるところが大きい
システムのトータルシミュレーション	1kW出力の熱音響冷凍機の設置により雪室導入コストを17~18%削減する	・既存より46%減容した雪室と熱音響冷凍機で夏季の冷房需要に対応可能 ・熱音響冷凍機と太陽熱集熱装置は試作段階で高額なため、導入コストについては目標未達	×	装置の小型化、低コスト化が課題
(4-4) 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発 〈○〉				
開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①実証実験	3期(夏期・冬期・中間期)2年間の実証実験を実施	3期(夏期・冬期・中間期)2年間の実証実験の完了(SH・SS・ES)	○	
②実証結果の分析・解析	得られたデータを集計、整理し必要なパラメータ等の検討	省エネ性能に係るパラメータの検討(集熱性能、蓄熱槽容量、放熱、ポンプ方式等)(SH・SS・ES)	○	
③パラメータの抽出・算定式の導出	パラメータを抽出し、シミュレーションに必要な算定式を定める	パラメータと算定式の導出(SH・SS・ES)	○	判定プログラムの反映に向けたI B E Cとの協議を継続する
④計算アルゴリズム構築	省エネ性能判定プログラムに反映させるため、計算アルゴリズムを作る	他の設備とのパラメータや算定式の整合を図り、計算アルゴリズムを確立(SH・SS・ES)	○	判定プログラムの反映に向けたI B E Cとの協議を継続する

⑤ 簡易シミュレーションツールの開発 (簡易算定式から成る計算手法)	省エネ判定プログラム最適化につながる簡易シミュレーションツールの開発	①～④の成果を反映し、省エネ判定プログラムの最適化につながる簡易シミュレーションを提案する。 SH・直圧式以外は簡易シミュレーションを提案 SS・簡易シミュレーションを提案 ES・機器の構造毎にシミュレーション手法が違って来る可能性があり提案される簡易シミュレーションが判定プログラムに反映できるものか流動的。 ※簡易シミュレーションは判定プログラムに入力する機器の性能値をパラメータにして計算される手法。	△	判定プログラムの反映に向けた I B E C との協議を継続する
⑥ シミュレーション技術の確立	詳細シミュレーション技術の確立	TRNSYSを用いた与条件の抽出、モジュールの開発と精度検証を行い、シミュレーション技術を確立 SH・TRNSYSによる手法を確立(直圧式以外) SS・TRNSYSによる手法を確立 ES・実証機についてのシミュレーション手法は確立(与条件(パラメータ)の抽出が機器ごとに異なる可能性があり、普遍的なシミュレーション手法までには至らない)	○	
⑦ 設計ツールの構築	簡易ツールと詳細ツールの開発	導入検討者が、導入効果等のめやすを知る簡易ツールと、設計者が詳細な計算に用いる詳細ツール類の開発を完了	○	ツール類のホームページでの公表は、諸準備整い次第

(4-5) 食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生 〈○〉

開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
各種含水性バイオマスについてラボスケールでのノータールガス化最適条件を決定する	タール生成量を1%以下とする。	フィルタにおいて確認されるタールは1%以下	○	
ラボスケール装置を用いて各種含水性バイオマスのガス化反応速度式を決定する	その適用でパイロット改造実証装置でのタール生成率予測誤差を10%以下とする。	試験の結果、出口流れの有機炭素濃度に基づいてガス化率を決定した結果は、ラボスケール試験データによって得られた反応速度式で計算した結果と10%以内の誤差で一致した。	○	
実用化装置の低コスト設計技術を急速加熱、ラジカル捕捉剤添加、高圧ポンプシステム簡素化、反応炉最適化、制御システ	システム設置コストを既存技術から10%程度低減する。	試算では14%の削減を確認した。	○	

ム最適化、 熱回収設備 最適化によ り確立する				
実証装置で 焼酎残渣に よる1ヶ月 のノーター ルガス化実 証試験を添 加剤に酢酸 を用いて行 う	自動制御システムの運転 確認 1ヶ月DSS連続運転試 験 発生熱エネルギーの回収 実証装置エネルギー効率 測定 タール生成量2%以下	試験条件（原料濃度、ラジカル捕捉剤濃度）を 変えて行い、延べ35日間・ガス化時間154時間 37分を達成した。また、廃熱回収ボイラによる 蒸気の発生（0.2～0.3 L/min）の確認ができた。	○	
試験を通じ て実証装置 の耐久性と メンテナンス 性を評価 する	実用化の見通しを得る	運用方法の改善により長時間運転の見通しを得 られた。	○	
実証試験に よるプロセス 評価と低 コスト設計 技術の評価 する	トータルでの事業採算性 を評価する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 焼酎残渣について事業採算性があることを確認</li> <li>・ 食品廃棄物についてシステムの改造が必要だが事業採算性があることを確認</li> </ul>	○	

## IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

### IV.1 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

当該事業に係る「実用化・事業化」の考え方を以下のとおり定義した。

「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。

「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。

#### (1) 実用化・事業化の見通し

##### ① コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

掘削時の低騒音化や自動化については、本事業で実用化の見込みが立ち、自社研究開発によりさらなるデータ収集・定量化で技術を完成させている事業者もいる。生産・販売開始を目指し事業化へ向かっているところである。また、営業先や開発協力メーカーとの連携により事業化に向けた体制を構築している。

##### ② 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

高効率化については、帯水層蓄熱技術開発において、既設融雪管の夏季運転により太陽熱を帯水層に蓄熱することで、季節間の空調負荷に対応できる高効率システムを構築した。今後は融雪システムのユーザーが多い寒冷地への導入を推進し、事業化を狙う。

規格化における地中熱を含むトータルシステム設計及び運転シミュレーションツールの開発については、国交省が公開しているLCEMを用いた開発により、今後も様々な機器・熱源方式に対応可能なツールを目指すことで建物の基本設計から実施設計までの使用が期待できる。

各種実証実験を通じて地域への社会実装プロセスを着実に進めており、自治体を拠点とする企業を中心とした研究開発のメンバーとアライアンスを組み、事業化に向けて計画をするなど、成果の普及拡大が期待される。

##### ③ 再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

ポテンシャル評価技術については、一般ユーザーに分かりやすいマップを構築することで、地中熱システムの認知度の向上につながることを期待される。また、さらなる改良により高精度に予測できる手法の確立を目指す。

##### ④ その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化、及び、導入拡大に資する革新的技術開発

雪氷熱では、いずれの研究開発項目も当初目標値を大幅に達成しており、除排雪を提供する自治体やデータセンター事業者との共同開発で協力体制は整っているため早期事業化が期待される。

一方で革新的な技術開発については、今後も各事業者にて引き続き性能向上やコストダウンに取り組む、実用化につなげる。

#### (2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

研究開発後の早期実用化・事業化に向けて、既に様々な取り組みが行われている。NEDOの研究成果を引き続きPRし積極的な情報提供を行うことで新たなユーザー獲得に向け取り組んでいる。ヒートポンプや熱交換器等、実用化に至った機器は販売体制を構築中であり、今後の普及促進が期待される。

また、システム全体としては、ユーザーや設計事務所への営業展開を図り、事業化への目標に向けて取り組んでいる。

なお、個別テーマ毎の実用化・事業化に向けた見通しおよび取り組みについては、「添付資料1」に記述する。

### (3) 波及効果

導入コストの大きな割合を占める掘削コスト低減の技術開発は、地中熱交換井だけでなく、他分野（調査ボーリング、防災井戸等）への技術展開につながる可能性を持つ。また、研究開発により熱源方式の多様化が期待され、都市インフラとして都市域での地中熱利用の増加が期待される。さらに、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の育成が進むことによりコスト競争力が強化される。

ポテンシャルマップ、シミュレーションツールに関しては、認知度向上のみならず、導入適地の選定や導入検討時の一助となることで普及促進やさらなる導入コストの低減に資すると考えられる。

地域特有の熱源である温泉熱や雪氷熱利用は、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。

本事業全体では、5年間を通して大学や研究機関、民間企業による産学連携での技術開発を行ったことにより、若手育成（学生を含む）にも貢献した。

なお、本事業は平成30年度で終了後、さらなる普及促進のため「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」事業へ継承していくこととなる。

## 添付資料1

個別テーマについて(全 20 テーマ)





## 個別テーマ(1.1)

### (1.1)高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発

共同研究:株式会社東亜利根ボーリング

#### II. 研究開発マネジメントについて

##### (1.1.1)背景と目的

21世紀に入ってから我が国のエネルギー政策は、1997年に採択された京都議定書、2002年に公布されたエネルギー政策基本法を主軸として構築されてきた。これは需要側でのエネルギー消費量の削減と、供給側での化石燃料依存からの脱却を主体とする取組みを目指すものである。

しかし、2011年3月の東日本大震災と福島第一原発事故は、それまでのエネルギー政策の根幹を揺るがす事象となっている。この結果、2014年4月に閣議決定された第4次エネルギー基本計画では、再生可能エネルギー、原子力、石炭、石油、LNG等の多層的な需給を目指し、長期的なエネルギー政策を2018～2020年を目途に再構築することを決めている。

再生可能エネルギーとしては、太陽光、風力、地熱、水力、バイオマス等が挙げられる。さらに地中熱や下水・工場排水の熱源等を利用した再生可能エネルギー熱を含め、温室効果ガスを排出しない純国産のグリーンエネルギーへの期待が高まっている。

一方、グリーンエネルギーは、低コストでのエネルギー供給を図り、継続的な経済成長を実現することを前提に普及が行われるべきである。従って、グリーンエネルギーの普及拡大には、導入コストや運用コスト低減のための研究開発が急務といえる。

地中熱普及についても、導入時でのコスト高（熱交換井設置工、ヒートポンプ設置工、室内空調施設設置工）が課題となっている。そこで、本事業では、熱交換井設置工でのコストダウンを狙い、地中熱の導入コスト 20%低減に資する研究開発を行うものである。

##### (1.1.2)研究開発の概要

平成14年度～平成15年度（2002～2003）に実施したNEDO事業を基に、高速掘削により短時間で地中熱採熱孔を構築する“ロータリーバイブレーションタイプのボーリングマシン（ソニックドリル）”を開発し、最新鋭機として国内外で販売している。この機械は、高い掘削能力と優れた垂直性により、数多くの熱交換井設置工事で使用されている。特に、掘削長を100m程度とする熱交換井設置工事では、従来活躍していた「ロータリードリル」、「パーカッションドリル」に代わり、主力機械になりつつある。

地中熱は、東京オリンピック開催決定やリニア中央新幹線整備計画等を背景に、数多くの都市再生事業での適用が見込まれており、建築物の省エネの観点（建築物省エネ法 平成27年7月公布）からも、さらなる普及の拡大が予想される。

しかし、都市部で地中熱利用を普及させていく上で、生活環境の保全に配慮したボーリングマシンの低騒音化、さらに、掘削技術者の確保が大きな課題となっている。

これらは、ロータリーバイブレーションドリル本来の性能を最大限に発揮できないことによる「日施工量の低下」、「労務費（特殊運転手）の高騰」など、掘削コスト低減に関する課題に直結するものである。

本事業では、ロータリーバイブレーションドリルの低騒音化、省力化・省人化に寄与する自動制御に関する研究開発を実施し、従来工法である「ロータリードリル トリコンビット」、「パーカッションドリル 二重管」と比較して30%の掘削コスト削減を達成する。この結果、導入コスト（熱交換井設置工、ヒートポンプ設置工、室内空調施設設置工）の20%削減を達成する。

##### ①都市部でも本来の機械性能を十分に発揮させるための低騒音化技術開発

既存機械の騒音・振動測定より、音響パワーレベル、騒音放射指向性、主な騒音発生部位を把握し、「防音対策」、「機械内構造の効率化」、「消音装置」、「エンジン回りのレイアウト改善」等での適切な低騒音対策を検討する。低騒音設計では騒音測定以外でも、熱流量測定、及び低騒音化シミュレーション結果等を踏まえ、最適な低騒音技術を選定する。

なお、従来機種（ソニックドリル 175馬力）が、国土交通省が定める低騒音型建設機械の騒音基準値を満足するためには、6dB以上の騒音レベル低減が必要となる。さらに、従来の作業時では掘削騒音低減のため、機械最大能力の約46%での打撃エネルギーでの掘削を強いられている

が、騒音レベルを 6dB 低減させることにより、打撃エネルギーを約 1.74 倍（能力の約 81%）とし、掘削能力を大幅に向上させる。

②省力化・省人化に寄与する自動制御技術開発

ボーリング作業において重要な役割を果たす熟練技術者の掘削ノウハウを数値化し、遠隔操作を含む自動制御技術を構築することで、運転費の削減が可能となる。この技術は、掘削技術の標準化と作業の安全・安心を担保するものであり、省力化・省人化に寄与する。従って、熟練した掘削経験がない人でも容易に掘削作業が行えるようになり、今後拡大する地中熱利用工事を遅延なく円滑に遂行することが可能となる。

なお、自動化に帰する主なアプリケーション開発は、「エンジン回転数制御」、「姿勢制御」、「掘削開始・停止制御」、「掘削速度制御」、「循環水制御」、「逸水監視制御」、「掘削負荷制御」、「危険回避制御」、「孔内洗浄制御」、「オシレータ周波数制御」、「ロッド分離制御」、「モニタリング（データグラフィック機能付）」、「データ記録・活用」の 13 種類となる。アプリケーション開発では国際標準規格（IEC61131-3）に準拠した CoDeSys（Code Development System）を用い ST 言語を使用している。

表 II (1.1)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
①低騒音化によるコスト低減	騒音レベル 6dB 低減 ⇒ 機械の掘削能力を最大限に発揮 ⇒ 日施工量の増加（従来工法の約3倍） ⇒ 労務費及び運転費の削減	従来工法「ロータリードリル トリコンビット」、「パーカッションドリル 二重管」と比較して 30%掘削コストを削減。その結果、導入コスト（熱交換井設置工、ヒートポンプ設置工、室内空調施設設置工）の 20%削減を達成する。
②自動化によるコスト低減	非熟練掘削技術者の活用 ⇒ 労務費（特殊運転手）の削減	

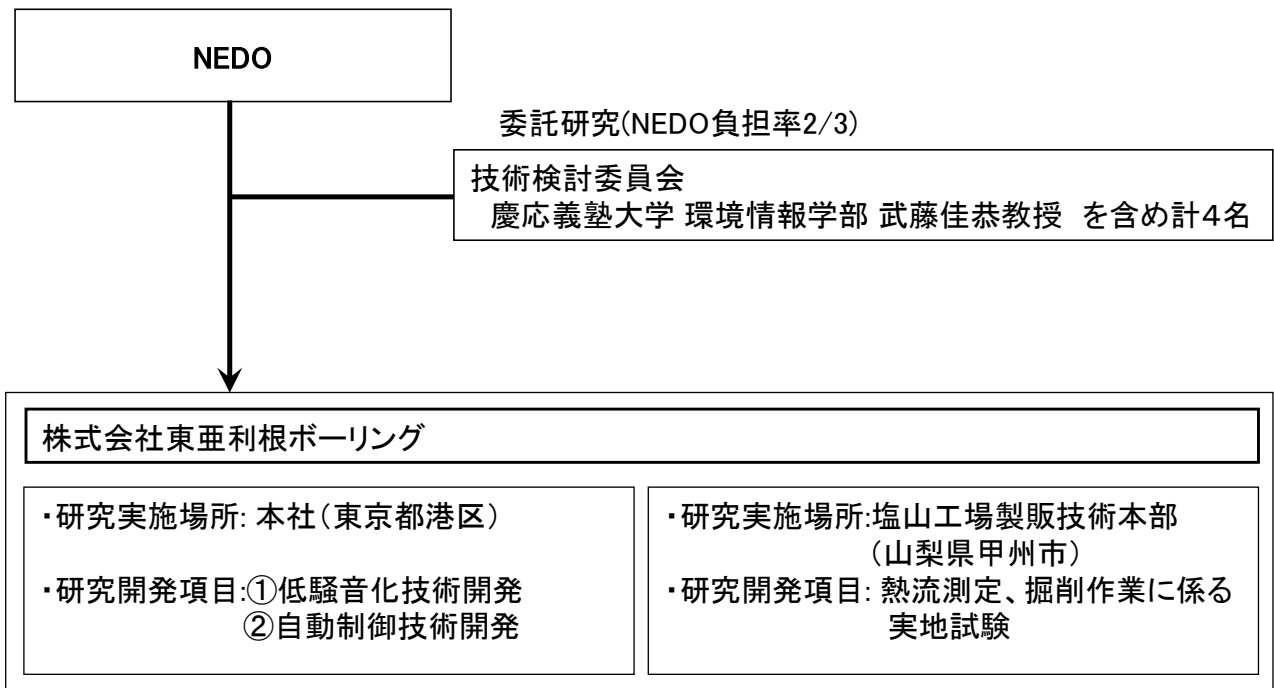
(1.1.3) 事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成 26 年 7 月 24 日より平成 29 年 2 月 28 日までで、主な事業スケジュールの概要を表 II (1.1)-2 に示す。技術委員会は延べ 5 回実施した。

表 II (1.1)-2 研究開発スケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度	
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q
①-1 騒音・振動測定				(進捗に合わせて実施)										
①-2 低騒音化技術開発		機械内構造設計				改良	最終仕様設計							
②-1 自動化技術開発		熟練技術者ヒアリング				自動化制御設計								
製造・組立								新型機製造・組立						
自社構内 実地試験									掘削・性能試験					

(1.1.4) 研究開発の実施体制



(1.1.5) 研究開発の運営管理

表Ⅱ (1.1) -3 高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発

「高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発」検討委員会

株式会社東亜利根ボーリング

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員	大宮 広幸	日本地下水開発株式会社 事業本部 資源環境部 担当部長
委員	小野 俊夫	株式会社萩原ボーリング 取締役 (エネルギー担当)
委員	杉山 和稔	三菱マテリアルテクノ株式会社 資源・環境エネルギー事業部 ドリリング部 部長
委員	武藤 佳恭	慶応義塾大学 環境情報学部 教授

所属は、委員会組織時点のもの

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### (1.1)高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発

##### 【成果概要】

##### ① 低騒音化技術開発

エンジンのみを最大回転数で稼働させる状態（静的状態）では一部の低騒音化技術を適用することで従来機種と比べ11dBの騒音低減効果を確認した。これは、国土交通省が定める超低騒音型建設機械に該当可能な境界値に達すると予想される。

##### ② 自動化技術開発

自動化に帰する主なアプリケーション開発は13種類となる。新型機フロント部を仮想した模擬試験機（ヘッド部）作製により、開発した6種類（1種類は一部機能を確認）のアプリケーションの作動確認を終了した。その後、エンジン部も装備した新型機（仮組）により、開発した6種類のアプリケーションの作動確認を終了した。

##### 【項目別成果】

##### ① 低騒音化技術開発

掘削機の低騒音化を図ることで、掘削能力を最大限（従来の打撃エネルギーの1.74倍）に引き出すことが可能となる。これまでに実施した主な開発内容を以下に列記する。

- ・ 従来機種の騒音・振動部位の特定
- ・ 騒音シミュレーションによる防音材料の選定
- ・ 指向性測定結果によるエンジン回りレイアウトの改善
- ・ エンジン部構造（3技術適用）の改善
- ・ エンジン部の熱だまり防止のための熱流量測定
- ・ 騒音発生部位測定結果によるエンジン部の防音対策（吸音・制振）
- ・ 騒音発生部位測定結果によるヘッド部の防音対策（吸音、遮音、防振、制振）
- ・ 騒音測定結果による消音装置の形状・受音箇所改良
- ・ 静的状態での騒音低減効果に係る性能照査

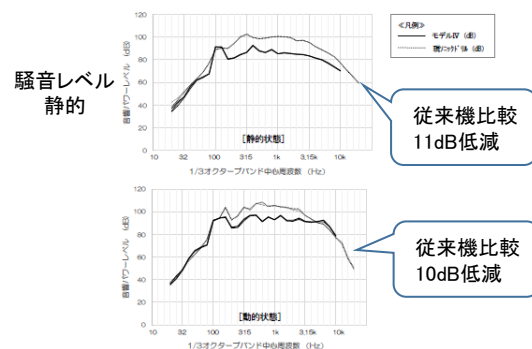
##### ② 自動化技術開発

掘削機の自動化を図ることで、作業編成人員の削減と同時に、非熟練技術者の活用が可能となる。これまでに実施した主な開発内容を以下に列記する。

- ・ 模擬試験機により、「掘削開始・停止」、「掘削速度」、「循環水」、「掘削負荷」、「孔内洗浄」、「ロッド分離（一部）」に関するアプリケーションの作動確認
- ・ 新型機（仮組）により、「エンジン回転数」、「姿勢」、「逸水監視」、「危険回避」、「オンレータ周波数」、「データ記録」に関するアプリケーションの作動確認



写真Ⅲ (1.2)-1 掘削機



騒音規制レベル内にて機械能力46% → 約90%の出力が可能に

図Ⅲ (1.2)-1 騒音レベルの比較

表Ⅲ (1.1)-1 特許、論文、外部発表等

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
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	1件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	3件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	1件	0件	2件
H29FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	4件	1件
H30FY	1件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ (1.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	最終目標	成果	達成状況
①掘削機の低騒音化技術開発	騒音値を6dB低減	従来機と比較して、静的状態で11dB、動的状態で10dBの騒音低減を実現した。	◎
②掘削機の自動化技術開発	熟練技術者の掘削ノウハウを数値化し、遠隔操作を含む自動制御技術を構築する。	自動掘削を実現するための各制御アプリケーションを開発した。また、自動ロードチェンジャ・ロッドラックを開発し、作業編成人員を5人体制から3人体制とできることを事業者へのヒアリングにより確認した。	○

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発にて開発される低騒音化技術を適用することで、既に静的状態で11dBの騒音低減が可能であることを確認しており、平成28年7月末に新型機の仮組を完了して所定の成果出し、実用化の見込みを確認した。自動化技術について、事業終了後の平成29年度より自社の研究開発として様々な地層での熟練技術者の操作データを収集・定量化を行い、技術を完成させて最新機種に適用し、平成30年度より国内外で販売を開始することを目指す。



## 個別テーマ(1.2)

### (1.2)戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管埋設工法の研究開発

共同研究先:旭化成建材株式会社

## II. 研究開発マネジメントについて

### (1.2.1)背景と目的

我が国において、再生可能エネルギーのなかで地中熱利用は、歴史が古いにもかかわらず、普及域に達していない。最大の要因は導入コストが高いことにある。そのため、他の熱源利用に比べてコスト回収が15年以上と長期になる場合が多く、採用されないことが多いのが現状である。一般的な地中熱利用システムの導入コストの内訳は、概算で掘削費：ヒートポンプ設備費：配管費＝4：4：2と言われ、熱交換器埋設に関わる費用は全体コストの半分程度を占めていることになり、このコストを削減することは全体システムの導入コストを削減することに大きく貢献する。

我が国では、多種多様な土質岩盤が互層で堆積していることや、崩壊性を持つ地盤が多いため孔壁の保護が必要であったりし、掘削難易度が高いと言える。また、国土面積の2/3が森林で覆われていることから、平野部や盆地等に人口が過密し、建物を立てるのも十分なスペースが得られないような場合が多い。そのため、そういった敷地条件の元、地中熱交換器埋設時に従来のボーリング工法を適用すると、搬入搬出や現場での段取りに時間を割かざるを得ない。一般的に他国に比べ2～6倍の掘削工期を要すると言われている。さらに、全国的に地中熱利用システムの普及の促進が進んでいないことが、掘削機械の稼働率を低くし、機械損料といった、日数に対する比例費が自然と高くなってしまい、掘削費コスト高の悪循環を生んでいる現状がある。

このような背景から、旭化成建材株式会社では独自に回転埋設鋼管杭工法の杭打ち機械を用い、特殊な羽根付き鋼管により地盤を掘削し、熱交換器を埋設する工法を開発してきた。しかし、羽根付き鋼管が最適形状ではない、ジョイント部分の止水性能が悪いことや掘削時の抵抗性がある、先端蓋の取外しが確実ではない、等の問題により、施工に時間を要し、排土が過多となり、現状では未だ工法として確立されていない。

本事業では、工法として確立させること、また、目標となるコストを実現可能な、本工法に適した条件(地域、土質構成条件、建物規模、敷地面積等)を検討しビジネスプランを確立させることを目的とする。

### (1.2.2)研究開発の概要

開発する工法は、年稼働率の高い施工単価の安価な鋼管杭の施工機械を活用することにより、安価な熱交換器埋設コストを提供するものである。従来ボーリング工法では、地盤を削りながら水で溶かして泥水化し掘削するが、本開発工法は羽根付き掘削鋼管を用い、機械の押し込み力と回転力のみで、乾式で地盤を掘削する工法であり、主に下記のような特徴を持つ。

- ①無排土～低排土での施工により、排土処分を不要化
- ②鋼管杭の地盤掘削のような乾式で、掘削泥水を用いない効率的な施工による作業簡略化
- ③掘削泥水を用いない施工により、プラント設備等の付帯設備の簡略化

上記のような特徴の熱交換器埋設工法を開発し、従来ボーリング工法では必須であったプラント設備等の付帯設備の簡略化と施工の効率化を行い、下記のコスト及び施工速度を実現することを目標とする。これは、システム全体コストの内訳を掘削：ヒートポンプ：配管＝4：4：2とすれば、システム全体で24%以上のコスト低減に相当する。

- (i)熱交換器埋設コスト(配管工事、材料費、残土処理費を含む)を8000円/m以下にする。
- (ii)施工速度(掘削、配管埋設含む)を60m/日以上にする。
- (ii)発生排土を羽根径掘削体積の10～30%にする。

#### ①羽根付き掘削鋼管の形状の最適化

最適な掘削羽根形状やヘッド形状を開発し、機械負荷、施工時間及び掘削排土を低減する。また、羽根付き掘削鋼管と上部に接続される羽根のない継ぎ鋼管の長さのバランスを最適化することにより、施工時間、掘削排土を低減する。

②先端蓋の開発

掘削中に先端蓋から羽根付き掘削鋼管内への土の混入や先端蓋の外れがなく、掘削後に確実に先端蓋を外すことが可能な先端蓋構造を開発する。また、取り外しを確認できる先端蓋を開発する。

③ジョイントの開発

以下の特長を有するスパイラル形状のジョイントを開発する。

- 1) 羽根付き掘削鋼管内への地下水や土の混入を防ぐ。
- 2) ジョイント時の作業性が良い。
- 3) トルク、押し込み力、引抜力の伝達が可能である。
- 4) 羽根付き掘削鋼管内に突起部なく、Uチューブ挿入の妨げとならない。
- 5) 掘削時に土の抵抗を受けづらい構造である。

④熱交換器の配置の最適化

トータルコストを最小化するため、シミュレーション解析により深度10~40mの浅層利用や熱交換器の密な配置による全体性能への影響を確認し、熱交換器配置の最適化を検討する。また、地下水流の少ない地盤において、実際に熱交換器に熱負荷を与え、地中温度の変化のモニタリング値とシミュレーション値を比較検討することにより、シミュレーション解析結果を検証する。

表Ⅱ(1.2)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	研究開発目標	目標レベル設定の根拠
羽根付き掘削鋼管を用いる掘削工法	熱交換器埋設コスト（配管工事、材料費、残土処理費を含む）を8000円/m以下にする	従来ボーリング工法では必須であったプラント設備等の付帯設備の簡略化と施工の効率化を行い、コスト及び施工速度目標を実現する。システム全体コストの内訳を掘削：ヒートポンプ：配管=4：4：2として、システム全体で24%以上のコスト低減に相当する。
	施工速度（掘削、配管埋設含む）を60m/日以上にする	
	発生排土を羽根径掘削体積の10~30%にする	

(1.2.3) 事業スケジュール

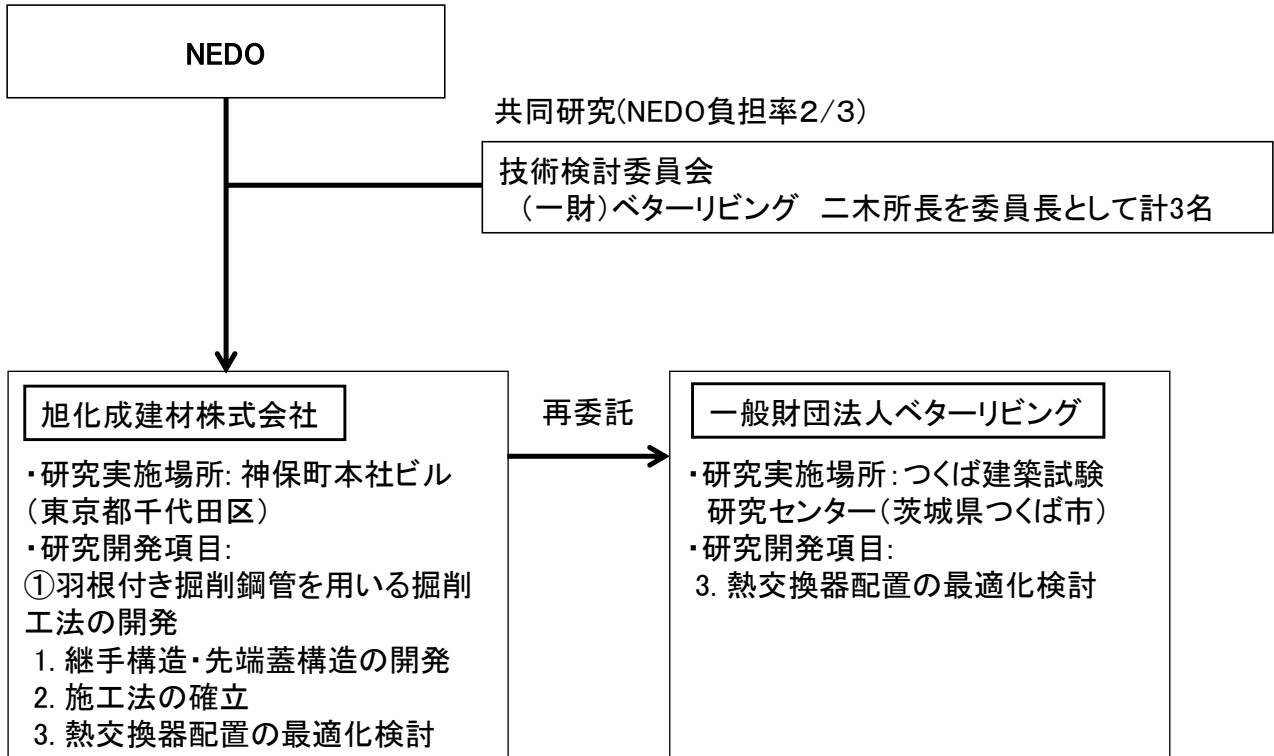
本事業の研究期間は、平成26年7月24日より平成28年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を表(1.2)-1に示す。技術委員会は延べ5回実施した。

表Ⅱ(1.2)-2 研究開発スケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度		
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	
①-1 継手・先端蓋の開発		継手構造考案・製作 先端構造考案・製作			施工試験・性能確認				事業終了		
①-2 施工方法確立					施工試験×4現場 施工性、排土量評価						
①-3 熱交換器配置の最適化検討			離隔間隔の影響検討		浅層部の影響検討						



(1.2.4) 研究開発の実施体制



(1.2.5) 研究開発の運営管理

表Ⅱ (1-2) -3 戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管理設工法の研究開発  
「戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管理設工法の研究開発」検討委員会  
旭化成建材株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	二木 幹夫	一般財団法人ベターリビング 常務
委員	末政 直晃	東京都市大学 工学部 都市工学科 教授
委員	萩元 齊	旭化成建材株式会社 執行役員 事業本部長

所属は、委員会組織時点のもの

Ⅲ. 研究開発成果について

(1.2) 戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管理設工法の研究開発

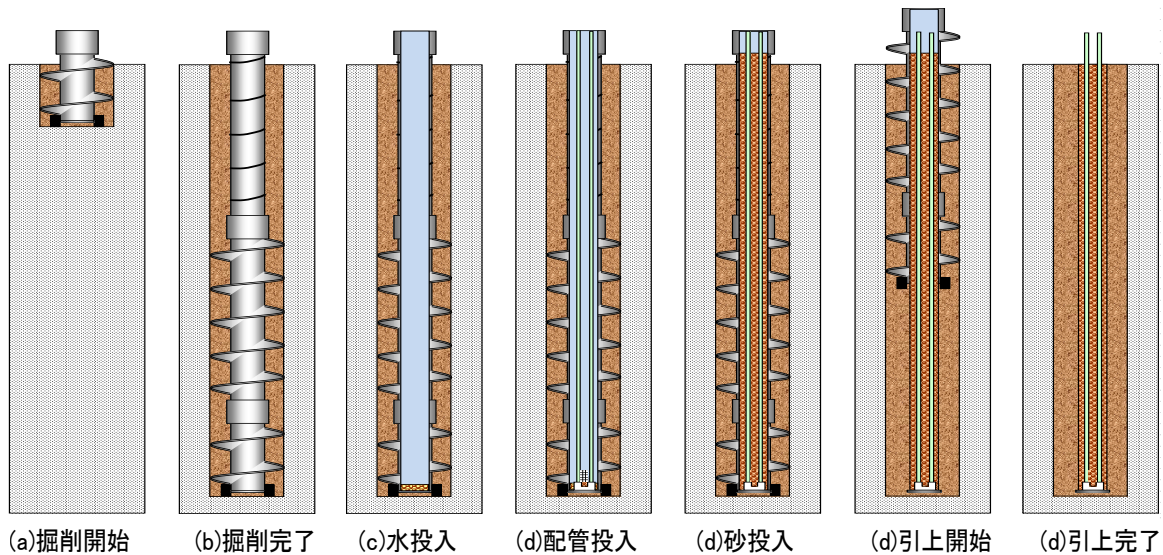
【成果概要】

開発する工法は、年稼働率の高く比較的施工単価の安価な鋼管杭の施工機械を活用することにより、安価な熱交換器埋設コストを提供するものである。従来ボーリング工法では、地盤を削りながら水で溶かして泥水化し掘削するが、本開発工法では、羽根付き掘削鋼管を用い、機械の押し込み力と回転力のみで、乾式で地盤を掘削する。

羽根付き掘削鋼管治具、鋼管継手部、先端蓋の設計、製作を行い、地盤の異なる現場にて施工試験を行い、工法の施工性の検証及び、継手の作業性、止水性、先端蓋の取り外し性能の確認を実施して、各目標を達成した。

【項目別成果】

本開発工法の施工概要を以下の図Ⅲ(1.2)-1に示す。



図Ⅲ(1.2)-1 開発した地中熱配管理設工法の施工工程図

羽根付き掘削鋼管治具、鋼管継手部、先端蓋を製作、地盤の異なる現場にて施工試験を実施して、以下の結果を得た。

- ・土質 N 値 50 以上の硬質粘土層や砂層、砂礫層も掘削を可能である掘削方法を確立し、目標となる 60m/日を達成した。
- ・掘削後に安定的に取り外すことが可能な先端蓋と、高トルク条件下で使用できる作業性のよい鋼管継手を開発した。
- ・硬質粘土や礫層等の硬質な地盤条件において、本施行方法として標準の施工方式では 60m/日を下回る結果があったが、掘削鋼管 2 本同時並行で施工する方式として施工効率を改善することで、目標の施工速度を達成した。
- ・所定の地盤条件において、目標とする羽根径掘削体積の 30%以下の排土量を達成した。さらに、地盤条件によっては完全無排土の施工が可能であることも確認した。
- ・施工スピード 60m/日、掘削排土量を羽径掘削体積の 30%以下と仮定し、熱交換器埋設のためのコストを試算したところ、目標である ¥8,000/m の熱交換器埋設コストを実現した。
- ・本開発の施工工法で埋設した熱交換器を用いてサーマルレスポンス試験を実施し、従来のボーリング施工工法により埋設される熱交換器と比較して、試験で得られた熱抵抗値は同等の値を示した。この結果から、開発工法で埋設した熱交換器の品質は、従来工法と同等であることを確認した。

また、熱交換器の配置の最適化を検討するため、熱負荷計算及び実熱負荷試験を実施した。その結果、隣り合った熱交換器相互の影響を考慮することで、間隔の狭い熱交換器の配置も可能であり、その場合少なくとも 2 m 以上の配置間隔が望ましいことを確認した。さらに、熱交換器が比較的短い場合において、外気温の影響を受ける浅層部分が与える影響を検討したところ、外気温の影響が無い場合と比較して熱交換器としての熱交換性能への影響は小さいことを確認した。

表Ⅲ(1.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H27FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H28FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H29FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H30FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成 31 年 2 月 28 日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(1.2)-2 成果の最終目標の達成度  
 ※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
①継手構造、先端蓋構造の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・30kNmの使用に耐えうる構造の継手開発</li> <li>・安定的に取り外し可能な構造の先端蓋開発</li> </ul>	安定的に取り外すことが可能な先端蓋と、高トルク条件下で使用でき、かつ鋼管の継ぎ足し作業時間を短縮できる作業性の良い鋼管継手を開発	○
②施工方法確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工速度 60m/日以上</li> <li>・排土量掘削体積の 30%以下</li> <li>・熱交換器埋設コスト¥8、000/m以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平均で 70.6m/日</li> <li>・平均で羽径掘削体積比の 29.6%</li> <li>・試算結果で¥7、200/m</li> </ul>	○
③熱交換器配置の最適化検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱交換器配置において隣接する熱交換器の影響を検討する</li> <li>・浅層利用時における外気温の影響を検討する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少なくとも 2 m以上の配置間隔が望ましいことを確認</li> <li>・熱交換性能への影響は小さいことを確認</li> </ul>	○

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

事業終了後の平成 28 年度以降、戸建て・小規模建築物分野で工法施工の事業化に向けた体制を構築する。施工機械については全国に配備されている主力の杭打ち機械が適用出来ることを研究開発にて確認済みである。杭事業の施工管理技術者・技能者の資格制度などを利用し施工店への技術指導を進め、人材育成を行う。

販売方面では、工法の強みを活かせる軟弱地盤が厚く堆積する地盤条件を持つ地域をターゲットとして販売していく。特に、杭工事に地中熱工事を合わせた販売が可能な場合は、更に低価格での提供が可能である。また、断熱材事業の営業先である工務店等も有力な販売チャンネルである。現在地中熱利用の普及が少ない小規模建物向けに需要創出を促す事業展開を行う。



## 個別テーマ(1.3)

### (1.3)地中熱利用要素技術の開発

委託先:株式会社ワイビーエム  
国立大学法人佐賀大学

## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

### (1.3.1)背景と目的

地中熱利用ヒートポンプは、外気温度に比べて夏季は低温の冬季は高温の地中熱源が利用できるため空気熱源ヒートポンプより消費電力量が小さくなる。この省エネ効果により、地球温暖化を低減できる重要な熱利用技術の一つとして注目され、導入が進んでいる。

しかし、地中に熱交換器を設置するコストや熱源機の使用などによるコストの高さが普及を妨げている。一方で、提案者らは地中熱の熱交換井掘削において、街中での掘削でも騒音の苦情が発生しにくい低騒音が特徴かつ回転振動により掘削速度が早い掘削機を開発してきた。また、共同で熱交換効率の良い多管式地中熱交換器を開発しており、ヒートポンプ等の設計も含めたコンサルティング業務を行っている。これら知見を活かし、地中熱トータルシステムのコストダウンを図る。

本事業では、特に大きなコストを占める地中熱交換器設置のコストダウンを研究開発の目的の中心とし、その他の要素機器のコストダウンも図り、トータルとして地中熱利用ヒートポンプシステムの導入コストを削減することを目的とする。また、この事業により地中熱ヒートポンプのイニシャルコストが下がると導入が増えると考えられる。その結果、土木・建築業界の需要が増え、認知度が向上することで、東京オリンピック後の土木・建築業界の需要の一部を担える。

### (1.3.2)研究開発の概要

本研究開発では、以下の研究開発を行う。

掘削工事費の削減を図るためには、掘削日数を削減する方法がある。掘削日数削減のためには、掘削機を開発して掘削に掛かる時間を短縮する方法とロッドの着脱やUチューブの設置といった付随する作業の時間を削減する方法が考えられる。そこで、地中熱専用掘削機の開発、ロッドチェンジャーの開発、Uチューブ挿入機器の開発を行う。地中熱専用掘削機は、回転数、振動数等の可変機能を持たせ、掘削効率を向上させた掘削機を開発する。ロッドチェンジャーは、ロッド・ケーシングの継ぎ切り時間を短くする油圧シリンダ等のアクチュエータを活用して開発する。Uチューブ挿入機器は、現状の挿入時に3~4人で行うのではなく、使用の際には掘削機械に接続され、機械の操作だけで、ほとんど人の手によらずに挿入できる機器を開発する。

掘削日数の削減は、掘削に掛かる時間の削減だけではなく、掘削径を小さくする方法も考えられる。現状、地中熱の掘削径は、約90mm~180mm程度であるが、この径を小さくした専用掘削機を開発する。この掘削機は、φ60mm程度の掘削を少人数、例えば1人で施工することを目的に開発する。掘削に係るオペレータ、ロッドの継ぎ切り、必要であれば泥水管理、Uチューブの挿入を少人数で行うために自動化を進める機械であり、その機械を開発する。ロッド継ぎ切りの油圧化による省人化・自動化、泥水管理をマシンオペレータが出来るような省人化・自動化、Uチューブ挿入の省力化、ロッドチェンジャーによる省人化、自動化を備えた機械を検討し、開発予定である。

地中熱交換器の費用削減及び配管工事費の削減をめざし、高性能かつ低コストである地中熱交換器の開発を行う。小型の地中熱交換器の開発のために、最初に汎用の熱流体シミュレーションソフトにおいて提案者が地中熱のシミュレーションに用いている数値解析モデル等を用いて、地中熱交換器の形、最適な径、パイプ材質、流量、施工しやすさ等の研究開発を行う。具体的には、小型の地中熱交換器の開発(同軸型地中熱交換器等)、外面被覆銅管を用いた高性能地中伝熱管(垂直型地中熱交換器、水平型地中熱交換器)、充填材内にフィンを設置した熱交換器の開発を進める。

従来の研究から同軸型地中熱交換器が高い性能を示すことが分かっている。本開発では、その同軸型地中熱交換器を小型化することによるコストダウンを行う。現在、多くの地中熱交換器では地中での耐食性などの問題から高密度ポリエチレン管が使用されることが多いが、肉厚が厚いことや熱伝導率が小さいことなどが性能低下やコスト増につながっていると考えられる。ここで

は、熱伝導率が大きく、肉厚を薄くできる銅管を使用し、まず銅管の高い熱伝導率に基づく高交換能力を利用した性能改善を図る。また、高密度ポリエチレン管と異なり、銅管は内面形状の加工が容易であるので、内面に伝熱促進を施す加工を行い、さらなる性能改善を行う。それらによって熱交換器長さを短くすることでコストダウンを行う。また、外面被覆を施して耐食性を確保する。なお、被覆銅管の可塑性を利用して、垂直らせん形地中熱交換器及び水平スリンキー型地中熱交換器を開発し、実験的にそれらの性能を検証する。実験は、実験室における伝熱性能の比較実験により基礎的なデータを取得するとともに、熱交換器を地中に設置したフィールド実験によりその性能を検証する。

地中熱交換における性能改善のボトルネックは土壌の低い熱伝導性である。また、それは地中熱交換器を設置する地下の地下水や資質など環境に依存する。地中熱交換器に放射状のフィンを設置することで土壌との接触面積を大きくして地中の熱伝導性を改善することができれば、性能改善、また設置深さを低減することによるコストダウンにつながると予想される。なお、本方法は地中熱交換器の製作上の課題及びコストの課題も検討する必要があるため、シミュレーション解析を中心とした研究を行う。

熱源機の低コスト化として、地中熱と空気熱の両方との熱交換を行うハイブリッド熱交換器を開発する。なお、そこでは、地中熱専用熱源機より安価な空気熱源の熱源機の市販機(汎用機)を応用し、室外機に空気熱交換器に加えて地中熱側熱媒体との熱交換を行うハイブリッド熱交換器を設置したヒートポンプシステムを開発し、熱源機のコストダウンを図る。なお、空気と地中側熱媒体の両方の熱源を利用できることにより、それぞれの熱交換器を小型化できることでコストダウンを図る。また、地中への過度な負荷を低減させることで、地中熱交換器の設置深さを低減できることもコストダウンに繋がる。

また、運転コストの削減については、システムに冷媒循環用のポンプを内蔵させることで中間期における電力使用量の削減、土壌への熱負荷の低減を試みる。地中の温度は大気の年間平均温度と近いために、冷房に必要な温度よりも低い。そのため圧縮機を用いた通常のヒートポンプループではなく、より消費電力の少ない液ポンプを用いたループにヒートパイプの働きをさせることで、少ない消費電力での運転が可能である。

本テーマは以下の①-⑥の項目を実施し、目標の達成を目指す。

#### ①地中熱専用掘削機及び周辺機器の開発(担当：株式会社ワイビーエム)

掘削工事費の削減を図るためには、掘削日数を削減する方法がある。掘削日数削減のためには、掘削機を開発して掘削に掛かる時間を短縮する方法とロッドの着脱やUチューブの設置といった付随する作業の時間を削減する方法が考えられる。

そこで、下記の地中熱専用掘削機の開発、ロッドチェンジャーの開発、Uチューブ挿入機器の開発を行う。

##### (a)地中熱専用掘削機の開発

回転数、振動数等の可変機能を持たせ、掘削効率を向上させた掘削機を開発する。また、地中熱の工事を行っている有識者(施工業者)の意見、例えば施工現場での地質に応じた現状の掘削機の回転数、振動方法などの意見を参考にする。開発した掘削機は、ワイビーエム敷地内で回転数80rpm、40rpm、振動数2800bpm、2650bpm、2500bpmの組み合わせで試験を行い、試験を受けて改良を行い、従来機と比較して掘削時間の短縮縮が出来たかを作業工程、掘削時間を図表にして比較する。

##### (b)ロッドチェンジャーの開発

ロッド・ケーシングの継ぎ切り時間を短くする油圧シリンダ等のアクチュエータを活用したロッドチェンジャーを開発する。開発では、ロッドの継ぎ切り時間の短縮化だけでなく、掘削に係る人員を削減することを目的とし、ロッドの配置なども確認する。

##### (c)Uチューブ挿入機器の開発

現状の挿入時に3~4人で行うのではなく、使用の際には掘削機械に接続され、機械の操作だけで、ほとんど人の手によらずに挿入できる機器を開発する。機器は、掘削機に取り付け可能で、

50m以上のUチューブを装備し、人力を極力使わない仕様の機器である。

## ②浅部専用掘削機(小型機)の開発

掘削日数の削減は、掘削に掛かる時間の削減だけではなく、掘削径を小さくする方法も考えられる。現状、地中熱の掘削径は、約90mm～180mm程度であるが、この径を小さくした専用掘削機を開発する。

この掘削機は、①の結果を活かして、φ60mm程度の掘削を少人数、例えば1人で施工することを目的に開発する。掘削に係るオペレータ、ロッドの継ぎ切り、必要であれば泥水管理、Uチューブの挿入を少人数で行うために自動化を進める機械であり、その機械を開発する。現状では、ロッド継ぎ切りの油圧化による省人化・自動化、泥水管理をマシンオペレータが出来るような省人化・自動化、Uチューブ挿入の省力化、ロッドチェンジャーによる省人化、自動化を備えた機械を検討し、開発予定である。

開発した掘削機は、ワイビーエム敷地内で試運転、改良を行い、③で開発する小型の地中熱交換器の設置に使う。掘削時間の削減などは、通常的地中熱の掘削時間の比較で行い、⑥の最終評価にて小型の地中熱交換器の工程・時間の削減の評価と合わせて行う。

## ③地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発(担当：株式会社ワイビーエム、国立大学法人佐賀大学)

地中熱交換器の費用削減及び配管工事費の削減をめざし、高性能かつ低コストである地中熱交換器の開発を行う。

小型の地中熱交換器の開発のために、最初に汎用の熱流体シミュレーションソフトにおいて提案者が地中熱のシミュレーションに用いている数値解析モデル等を用いて、地中熱交換器の形、最適な径、パイプ材質、流量、施工しやすさ等の研究開発を行う。具体的には、下記の3項目の熱交換器を検討し、開発を行う。

### (a)小型の地中熱交換器の開発(同軸型地中熱交換器等)

従来の研究から同軸型地中熱交換器が高い性能を示すことが分かっている。本開発では、その同軸型地中熱交換器を小型化することによるコストダウンを行う。市販の40Aのポリエチレン管の中に13Aの管を挿入し蓋をして作成する。

### (b)外面被覆銅管を用いた高性能地中伝熱管(垂直型地中熱交換器、水平型地中熱交換器)の開発

現在、多くの地中熱交換器では地中での耐食性などの問題から高密度ポリエチレン管が使用されることが多いが、肉厚が厚いことや熱伝導率が小さいことなどが性能低下やコスト増につながっていると考えられる。ここでは、熱伝導率が大きく、肉厚を薄くできる銅管を使用し、まず銅管の高い熱伝導率に基づく高交換能力を利用した性能改善を図る。また、高密度ポリエチレン管と異なり、銅管は内面形状の加工が容易であるので、内面に伝熱促進を施す加工を行い、さらなる性能改善を行う。それらによって熱交換器長さを短くすることでコストダウンを行う。また、外面被覆を施して耐食性を確保する。なお、被覆銅管の可塑性を利用して、垂直らせん形地中熱交換器及び水平スリンキー型地中熱交換器を開発し、実験的にそれらの性能を検証する。実験は、実験室における伝熱性能の比較実験により基礎的なデータを取得するとともに、熱交換器を地中に設置したフィールド実験によりその性能を検証する。本研究では伝熱促進により、流量の小さい条件においても乱流と同じ性能を示す熱交換器の開発を行う。

### (c)充填材内にフィンを設置した熱交換器の開発

地中熱交換における性能改善のボトルネックは土壌の低い熱伝導性である。また、それは地中熱交換器を設置する地下の地下水や資質など環境に依存する。地中熱交換器に放射状のフィンを設置することで土壌との接触面積を大きくして地中の熱伝導性を改善することができれば、性能改善、また設置深さを低減することによるコストダウンにつながる。なお、本方法は地中熱交換器の製作上の課題及びコストの課題も検討する必要があるため、まずはシミュレーション解析を中心とした研究を行う。

④熱源機の低コスト化の研究開発（担当：国立大学法人佐賀大学）

地中熱と空気熱の両方との熱交換を行うハイブリッド熱交換器を開発する。なお、ここでは、地中熱専用熱源機より安価な空気熱源の熱源機の市販機（汎用機）を応用し、室外機に空気熱交換器に加えて地中熱側熱媒体との熱交換を行うハイブリッド熱交換器を設置したヒートポンプシステムを開発し、熱源機のコストダウンを図る。なお、空気と地中側熱媒体の両方の熱源を利用できることにより、それぞれの熱交換器を小型化できることでコストダウンを図る。また、地中への過度な負荷を低減させることで、地中熱交換器の設置深さを低減できることもコストダウンに繋がる。

表Ⅱ (1.3)-1 研究開発目標と根拠

開発項目	目標	目標レベル設定の根拠
①地中熱専用掘削機及び周辺機器の開発	地中熱専用掘削機（回転数・振動数などの可変機能開発）、ロッドチェンジャー、Uチューブ挿入機器を開発、掘削工事費 30%を削減する。	ヒートポンプ 20%、地中熱交換器部材 20%、掘削工事 30%、配管工事 10%のインシヤルコストを削減して、トータルコスト 20%削減効果を実現する。
②小型の浅部掘削機の開発	φ 60mm 程度の掘削を少人数で施工することを目的に、小型浅部掘削機を開発、掘削工事費 30%を削減する。	
③地中熱交換器の高性能低コスト化	小型地中熱交換器（同軸型地中熱交換器等）、外面被覆銅管高性能地中伝熱管（垂直型地中熱交換器、水平型地中熱交換器）、充填材内フィン設置熱交換器を開発、地中熱交換器部材費 20%、配管工事費 10%を削減する。	
④熱源機の低コスト化	地中熱と空気熱両方と熱交換を行うハイブリッド熱交換器、市販機（汎用機）応用のヒートポンプシステムを開発し、ヒートポンプのインシヤルコスト 20%を削減する。	

(1.3.3)事業スケジュール

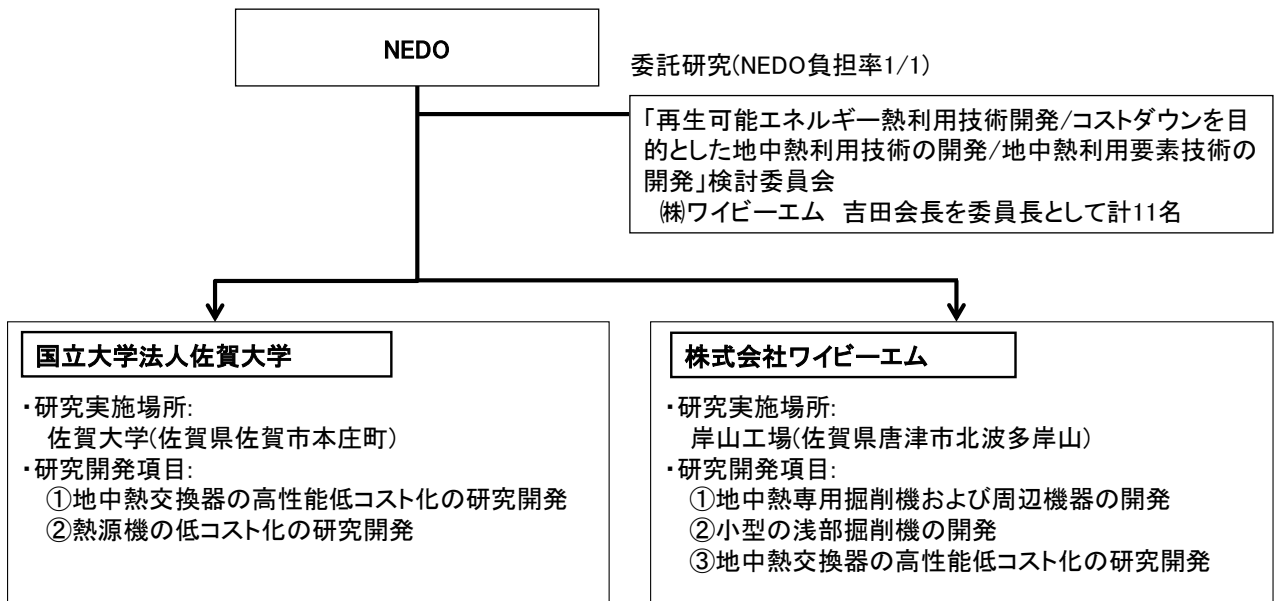
本事業の研究期間は、平成26年7月24日より平成31年2月28日である。事業スケジュールの概要を表Ⅱ (1.3)-2に示す。

図Ⅱ (1.3)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①地中熱専用掘削機 の開発																				
②浅部専用掘削機(小 型機)の開発																				
③地中熱交換器の高 性能低コスト化の研 究開発																				
④熱源機の低コスト化 の研究開発																				



(1.3.4)研究開発の実施体制



(1.3.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ (1.3)-3 地中熱利用要素技術の開発 「地中熱利用要素技術の開発」検討委員会

株式会社ワイビーエム  
国立大学法人佐賀大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長 (内部委員)	吉田 哲雄	株式会社ワイビーエム 代表取締役会長
内部委員	川崎 賢一郎	株式会社ワイビーエム 技術開発部 部長
内部委員	松尾 秀幸	株式会社ワイビーエム 技術開発部 課長
内部委員	大久保 博晃	株式会社ワイビーエム 企画開発部 主事
内部委員	増本 輝男	株式会社ワイビーエム 代表取締役本部長
内部委員	宮良 明男	国立大学法人佐賀大学 大学院工学研究院 教授
内部委員	仮屋 恵史	国立大学法人佐賀大学 大学院工学研究院 准教授
内部委員 平成28年6月まで	椿 耕太郎	国立大学法人佐賀大学 大学院工学研究院 助教
外部委員 平成30年6月まで	小山 繁	国立大学法人九州大学 総合理工学研究院 教授
外部委員	白仁田 和彦	佐賀県工業技術センター 副所長
外部委員	森川 俊英	株式会社森川鑿泉工業所 代表取締役

所属は、委員会組織時点のもの

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### (1.3)地中熱利用要素技術の開発

##### 【成果概要】

本事業では以下4項目の研究開発を行い2,000m<sup>2</sup>の建築物へ地中熱ヒートポンプを導入する場合のイニシャルコストを試算した結果、従来に比べてトータルコストを26%削減した。

##### 【項目別成果】

##### ①地中熱専用掘削機及び周辺機器の開発

地中熱専用掘削機、ロッドチェンジャー、Uチューブ挿入機の開発を行った。地中熱専用掘削機は回転数、振動数を変えられるようにし、最適な回転数、振動数の検討を行った。また、操作盤の位置の検討などを行い、施工性、安全性を向上させた。二重管のロッドチェンジャーを開発し、実証試験を行った。ダブルUチューブを挿入できる機器を開発した。これらを組み合わせて実証試験を行った結果、従来機と比べて掘削時間が43%削減され、地中熱交換器の設置にかかる人員が3人から2人に削減された。

##### ②小型の浅部掘削機の開発

掘削径96mm以下、深度30m以下の浅部専用の掘削機を開発した。この機械を用いて実証試験を行った結果、従来機と比べて単純な掘削時間の比較では70%削減された。また、同軸型地中熱交換器の設置にかかる人員が3人から2人に削減された。

##### ③地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発

4種類の地中熱交換器の検討を実施した。同軸型地中熱交換器(垂直設置)は、細径化による伝熱促進を目指したものである。従来のダブルUチューブ地中熱交換器と比較した結果、73%の熱交換能力があると推定された。ディンプル採熱管は、伝熱面積の増加および管内流の乱れ促進を狙ったものである。実験室内で性能評価試験を実施し、平滑銅管より5%ほど高い伝熱量が得られた。外面被覆銅管については、銅管表面に腐食防止のための樹脂コーティングを施した管であり、実際に地中に埋設してフィールド試験を実施した。フィン設置熱交換器は、地中熱交換器設置の際に、孔に充填する充填材とともに、ワイヤーメッシュなどのフィン効果を有する部材を設置した時の伝熱促進効果を、数値解析により検討したものであり、フィンによる伝熱促進効果が見られたものの、コスト削減効果は小さいことが明らかになった。

##### ④熱源機の低コスト化の研究開発

本研究課題で取り組んだ事項は、ハイブリッドシステムの検討および冷媒循環ポンプ内蔵システムである。ハイブリッドシステムは、地中熱交換器を市販の空気熱源空調機器に接続することによりなされ、専用機器の開発が不要であるとともに、熱需要の多い時期には空気熱源空調機器も使用できるため、掘削コストの削減および新規開発コストの削減が期待できる。フィールド試験やハイブリッドサイクルのシミュレーション結果から、ハイブリッドシステムにより掘削コストが30%程度削減できることが明らかになった。また、冷媒循環ポンプ内蔵システムは、熱需要の少ない中間期の空調向けに、ポンプによる冷媒循環で冷凍サイクルを構成するシステムの実験装置である。検討の結果、大きなコスト削減効果は得られないことが明らかになった。



図Ⅲ(1.3)-1 開発した掘削機

表Ⅲ(1.3)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	1件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	3件	0件	3件	0件	2件
H28FY	1件	0件	0件	3件	0件	3件	0件	2件
H29FY	0件	0件	0件	3件	0件	0件	0件	1件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	2件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(1.3)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況 [◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
①地中熱専用掘削機および周辺機器の開発	実証試験を完了、掘削工事費の30%削減を達成する。	・開発により、地中熱交換器設置工事の時間が従来機に比べて43%削減された。 ・周辺機器の開発により、掘削にかかる人員が3人から2人に削減された。 ○結果として、事務所2,000m <sup>2</sup> クラスの試算で、掘削コストが29%削減された。	△
②小型の浅部掘削機の開発	実証試験を完了、掘削工事費の30%削減を達成する。	・開発により、地中熱交換器設置工事の時間が従来機に比べて70%削減された。 ○結果として、事務所2,000m <sup>2</sup> クラスの試算で、掘削コストが41%削減された。	○
③地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発	地中熱交換器機部コストの20%を削減及び配管工事費の10%削減を達成する	○同軸型地中熱交換器の性能を検証 ○スリンキータイプ、スパイラルタイプ熱交換器の性能を評価済 ○ハイブリッドシステムの導入により地中熱交換器部材を30%削減、ただし現状の熱交換器の製作費用は割高(新規開発のため)	△
④熱源機の低コスト化の研究開発	開発する地中熱交換器および地中熱ヒートポンプシステムの性能評価を行い、ヒートポンプコストの20%削減を達成する。	○模擬地中熱源を用いたハイブリッドシステムにより検証 ○市販機器との簡単な接続による地中熱システムのフィールド試験により検証 ○ハイブリッドシステムの導入により25%削減、上記③と併せて2,000m <sup>2</sup> クラス事務所の試算で30%削減	○

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発では、従来の地中熱システムに比べて浅い地中での熱交換を想定し、これに合わせて掘削機や熱交換器の小型化を図った。この小型化は単なる掘削費削減効果だけでなく、掘削機価格および運搬コストの低減等につながり、エンドユーザだけでなく掘削事業者等を含めた業界全体へのコスト低減メリットを提案することで、地中熱システムの普及を促進する。

地中熱専用掘削機は、実証機を完成させており、生産販売に向け準備中である。地中熱交換器においては性能確認済みの新規地中熱交換器(同軸管)の販売に向け開発協力メーカーと協議中である。汎用機にハイブリッド熱交換器を組み込んだヒートポンプシステムについては、システムとしての有効性が確認できたため、実用化に向けた協力メーカーを模索中である。



## 個別テーマ(2.1)

### (2.1)地下水循環型地中採熱システムの研究開発

共同研究先:株式会社守谷商会

#### II. 研究開発マネジメントについて

##### (2.1.1)事業の目的と目標

東日本大震災以降、我が国では再生可能エネルギーに対する期待が高まっている。石油等の化石燃料に依存しない「地中熱」という自然エネルギーを有効活用した低炭素型社会に適合した空調システムが注目されている。地中の温度は年間を通じてほぼ一定で、かつ無尽蔵の自然エネルギーを有する。「地中熱」を有効活用し、気候や外気温度などに左右されることなく冷暖房をより少ない電力で快適かつ持続可能な生活環境を創出して行く必要がある。

しかしながら、それに応える技術基盤の整備に遅れを認めざるを得ない状況にある。特に地中熱源の利用促進に関しては、初期導入コストが高い、導入コストを回収できる運用効率を実現されていない等の理由により、その普及が進んでいないのが現状である。

初期導入コストが高い一要因として、地中採熱装置の建設費用が高価であることが挙げられる。従来型技術の一つであるボアホールの構築は、大型のボーリング掘削機や基礎杭施工重機を所持する専門工業者に限定されていた。地中熱利用の拡大には、従前のボアホール構築の技術と比してより一般的な土木・建築の技術及び施工能力で高効率な地中採熱装置を構築することが必要である。さらに、地中採熱装置のプレキャスト化を実現し、設置作業の簡便化、設置場所の省スペース化、採熱装置の堅牢化が可能とすれば、中・小規模の建設施工業者の請負機会の創出も可能となる。このようなことから、地中熱採熱工事を請負う施工者の裾野を広げることで、地中採熱装置の構築コスト削減を実現する必要がある。

本研究開発の目的は、従来のクローズド型水平式及びクローズド型垂直式の地中熱採熱システムよりも熱交換量が多く、かつ建設コストが廉価な地中熱採熱システムを提供することであり、具体的な到達目標は、地中採熱装置設置コストの40%削減、システム全体で初期導入コストの20%削減することである。

本研究開発の成果は、従前のボアホール構築の技術と比してより一般的な土木・建築の技術及び施工能力で高効率な地中採熱装置を構築することを可能とするもので、地中熱採熱工事を請負う施工者の裾野を広げることで、中・小規模の建設業者の請負機会の創出も可能となる。このようなことから、再生可能エネルギーに関するインフラ整備投資においても、より地域に密着した経済の波及効果を実現することができる。

また、地中採熱装置のプレキャスト化が可能となれば、設置作業の簡便化、設置場所の省スペース化、採熱装置の堅牢化が可能となり、採熱装置の堅牢化等で耐久性・形状安定性が担保されることから、現在未利用となっている河川、湖沼、海岸及び港湾等の所謂ウォーターフロントでの水熱源の利活用を飛躍的に拡大するものと考えられる。

##### (2.1.2)研究開発の概要

特許出願済みの特願2014-026665「地中熱採熱システム及び地中冷暖房又は給湯システム」をベースに再委託者との協働のもと新たに要素技術を確認して実証プラントを建設し、実証運転を実施してその効果を検証する。

本事業では、地中浅層部に埋設したクローズド型水平式地中熱採熱システムを実現する。能力100kW規模施設において、従来技術である垂直式ボアホール方式と比較して、設置コスト20%低減は、採熱量向上及び施工技術の確立で、運用コスト5%低減は採熱量向上と井戸ポンプ運転制御方法の確立による相乗効果で実現する。

##### ①地中採熱槽の地下水流動に伴う熱伝導解析

「熱枯れ」が発生しないことを地中の熱移動の数値解析により、熱伝導・熱分散・熱交換・熱対流などの複雑な現象を理論的に検証し、合理性を示す。

②地中熱交換槽構成材料の研究開発

- (1) 熱交換槽を構成する浸透性材料の粒度及び空隙率に関して有望な組み合わせを検証する。
- (2) 地下水の地下浸透量を人為的に制御する技術を開発し、長期的な使用による浸透能力の劣化を検証する。
- (3) シート状採熱管とポーラスコンクリートによりプレキャスト化を実現し、ポーラスコンクリートの配合技術・製造方法を確立する。
- (4) 現場敷設コスト低減と施工時間の短縮を図るプレキャスト化製品を製造する。
- (5) 現場における地中採熱管の配管工事の省力化技術を確立する。

③地下水循環型地中採熱システムの研究開発

水浸透性を有する熱交換槽に埋設された熱交換パイプから熱交換槽に地下水を供給するクローズド型水平式の地中熱採熱システムを開発する。熱交換槽は地下水の地盤浸透速度が自然対流速度より速くなる浸透性材料で構成し、内部にジオテキスタイル(土木シート等)を配設する。

ヒートポンプ運転情報と地中採熱槽内の水位・温度情報とを連動させた井戸ポンプ運転制御システムを構築する。実証プラントは、株式会社守谷商會が所有する既存の建物に付随した地中熱冷暖房装置として新設する。

表Ⅱ (2.1)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①地中採放熱槽の地下水流動に伴う熱伝導解析	1) 地中における熱移動の数値解析を用い、熱枯れが発生しない事、および熱伝導・熱分散・熱対流などの複雑な現象を理論的に検証し、装置構造の優位性を定性的に示す。	1) 熱交換槽を構成する材料は、地下水の地盤浸透の速度を $v_g$ とし、熱交換槽内の地下水の自然対流速度を $v_f$ としたとき、 $v_g > v_f$ なる関係を満たす(熱枯れが発生しない)事の特徴としているか検証されていない。
②a. 採放熱装置構成材料(スリンキー部)の開発	1) 難透水層を含む熱交換槽構成材料において透水係数や熱伝導率等の相違による、熱交換性能への影響に関し技術基準を確立する。 2) GカーペットとPE管の最大採放熱量を比較検証する。	1) 基礎地盤上への難透水層の設置を含む、熱交換槽構成材料の透水係数や熱伝導率等の相違により、熱交換性能がどの程度影響を受けるのか不明。 2) 当研究開発システムにおける各熱交換パイプの最大採放熱量を確認する。
②b. 採放熱装置のプレキャスト化の開発	1) ポーラスコンクリートの配合打設製造技術を確立し、プレキャスト化した熱交換装置の施工要領をまとめる。	1) GカーペットやSUS管を内挿した、ポーラスコンクリート2次製品(熱交換装置)は従前技術にない。
③a. 地下水供給制御システムの研究開発	1) ヒートポンプ運転情報と熱交換槽内の水位・温度情報とを連動させた井戸ポンプ運転制御システムを構築する。	1) 熱交換槽を地中浅層部に埋設するため、気候による温度変化の影響で、採放熱量が不足する事が考えられる。よって、そのような状況になった時だけ井戸ポンプを作動させ、揚水した地下水を熱交換槽に供給(散布)する。
③b. 実証プラントの建設、及び暖房運転時の1次側循環液温度によるHPの運転制御	1) 水浸透性を有する熱交換槽の上部に散水パイプを設置し、そこから熱交換槽に地下水を供給(散水)するクローズド型水平式の地中熱交換システムを設計・建設する。 2) 一次側循環液に真水を用いるため、暖房時における凍結防止制御を確立する。	1) 熱交換槽に浸透樹の機能を組み込み、さらにその上部に散水パイプを設置した地中熱交換システムはこれまでに前例がない。 2) 寒冷地である長野においては、暖房時に一次側循環液が0℃を下回る。よって、一次側循環液には通常不凍液を用いる。しかし、それを真水とするため、凍結によるヒートポンプの故障が想定される。

<p>③c-1. 地下水循環型地中採放熱装置における採放熱量の検証</p>	<p>1) スリンキータイプの採放熱目標量を 50W/m 以上とし、従前技術：5W/m の 10 倍以上を目指す。</p> <p>2) G-カーペットおよび SUS 管による熱交換装置 1 回路当たりの採放熱目標量を 1.5kW 以上とし、従前技術の地中浅層埋設時における 5 倍以上の採放熱を目指す。</p>	<p>1) 2012 年 10 月イノアック住環境の資料「水平埋設方式について」では、その採放熱量を 5W/m と設定している。また、岩田宜己らの論文「地下水流動を考慮した地中採熱利用ヒートポンプの実証試験」日本地熱学会誌第 27 巻第 4 号 (2005 年) において、ボアホールタイプの場合、地下水流動速度 <math>1.4 \times 10^{-2} \text{cm/sec}</math> の地盤では、地下水流動が無い地盤に比して約 10 倍の採放熱が可能としている。これらを踏まえ、本研究開発におけるスリンキーの目標値を 50W/m に設定した。</p> <p>2) G-カーペット販売元から提供された資料によると、地中浅層埋設時における G-カーペットの採放熱量は 1 枚当たり 0.3kW 程度としている。スリンキータイプと同様に地下水流動の効果を考えると従前技術の 10 倍となるが、本研究開発では PoC の品質性能等を勘案し、半分の 5 倍と想定。目標値を 1.5kW に設定した。</p>
<p>③c-2. 地下水散水量の最適化及び井戸ポンプ運転時間の最適化の検証</p>	<p>1) 採放熱量を検証する中で、地下水散水（供給）量の最適化のためのデータを得て、揚水量の低減を図る。</p>	<p>1) 熱交換槽内の水位・温度データとヒートポンプの運転情報により、井戸ポンプ運転時間および散水量を制御し、井戸ポンプの消費電力を低減するため。</p>
<p>③c-3. (1) ③c-4. (2) 採熱装置の耐久性検証</p>	<p>(1) 浸透性材料、およびポーラスコンクリートに目詰まり等が発生し、地下水浸透能力低下による熱交換効率の低下を検証する。</p> <p>(2) 地下水を意図的に連続散水し、劣化促進を実施。地下水浸透能力低下による熱交換効率の低下を検証する。</p>	<p>(1)、(2) 浸透性材料、およびポーラスコンクリートは、以下の要因による目詰まりが想定されるため。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水中に含まれる微細な砂・不純物</li> <li>・地下水の流動に伴う熱交換槽内の細粒分の移動</li> <li>・ポーラスコンクリート内で発生する恐れがあるエフロレッセンス等の生成</li> </ul>

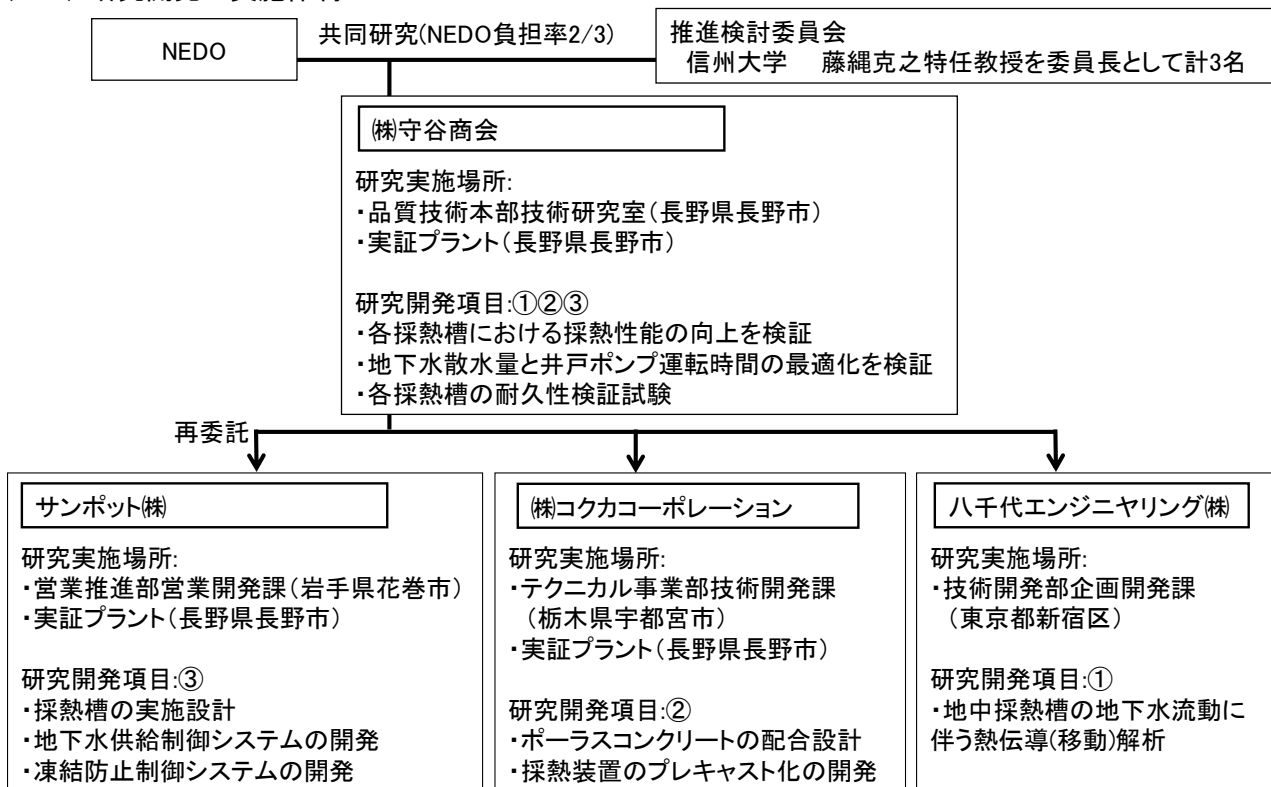
(2.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年7月24日より平成31年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.1)-2に示す。

表Ⅱ(2.1)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①熱伝導解析と評価		→	→																	
②a.装置構成材料の開発		→												→					→	
②b.プレキャスト部材の開発		→	→																	
③a.ポンプ制御装置開発		→																		
③b.採熱装置の実設計		→												→					→	
③b.実証プラントの建設			→	→	→	→	→	→												
③c-1.採熱量の検証									→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
③c-2.最適散水検証													→	→	→	→	→	→	→	→
③c-3.c-4.耐久性検証(1)(2)									→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

(2.1.4) 研究開発の実施体制





### (2.1.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ(2.1)-3 地下水循環型地中採熱システムの研究開発 「地下水循環型地中採熱システムの研究開発」検討委員会

共同研究先:株式会社守谷商会

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	藤縄 克之	国立大学法人信州大学 工学部研究特任教授
副委員長	成田 樹昭	西日本工業大学 デザイン学部建築学科 教授
委員	遠藤 典男	独立行政法人国立高等専門学校機構長野工業高等専門学校 教授

所属は、開発会議組織時点のもの

## Ⅲ. 研究開発成果について

### (2)地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

#### (2.1)地下水循環型地中採熱システムの研究開発

##### 【成果概要】

平成 26 年 7 月から実施した共同研究開発において、事業全体目標である設置コスト：20%削減に対して約 40%、運用コスト：5%削減に対して約 10%の削減となる事が確認できた。また、各研究開発項目に関してはそれぞれ次に示す成果が得られた。

##### 【項目別成果】

#### ①地中採放熱槽の地下水流動に伴う熱伝導解析

従来方式の水平ループに比べ、地下水浸透流による移流効果で、安定して高い採放熱性能を発揮できる(熱枯れが発生しない)可能性を示した。

#### ②a. 採放熱装置構成材料(スリンキー部)の開発

熱交換装置の浸透性能が熱交換効率に与える影響を検証するため、基礎地盤上に難透水層を設置した熱交換槽を築造した。検証の結果、難透水層を設置した熱交換槽では、効率の良い熱交換が困難である事を確認した。また、冷暖房時の 1 槽当り最大採放熱量は、共に G カーペットの方が PE 管(スリンキー)を上回る事が確認された。

#### ②b. 採放熱装置のプレキャスト化の開発

ポーラスコンクリートは供試体による透水係数以外の次に示す要因により、採放熱管と散水した地下水の接液状況が悪く、効率の良い熱交換が困難である事を確認した。よって、熱交換装置のプレキャスト化は事業途中において開発から外した。

- ・単位セメント量過大による採放熱管へのセメントペーストの付着。
- ・製造時に浸透上面の空隙が閉塞され、その浸透面積が減少。
- ・浸透水はその表面張力により空隙側面を流下。
- ・さらに浸透水は、PoC 内の連続空隙を流下。

#### ③a. 地下水供給制御システムの研究開発

ヒートポンプと井戸ポンプの連成運転手法を確立させ、制御システムを実証プラントに組込んだ。

#### ③b. 実証プラントの建設、及び暖房運転時の 1 次側循環液温度による HP の運転制御

熱交換装置の実施設計を行い、地下水循環型地中採放熱システムの実証プラント(20kW 級)を建設した。1 次側循環液の温度管理による間欠散水等を行い、凍結防止制御システムを開発した。

#### ③c-1. 地下水循環型地中採放熱装置における採放熱量の検証

スリンキー、G カーペットの熱交換性能は共に目標を達成した。なお、各採放熱管の熱交換性能とそれらから試算したイニシャルコスト削減率を考慮すると、それらに関し熱交換性能等の優劣をつける事は困難であることが分かった。

#### ③c-2. 地下水散水量の最適化及び井戸ポンプ運転時間の最適化の検証

1 次側循環液量の 0.34~0.46 倍の槽当り散水量とすれば、熱枯れの発生しないシステム運転が可能であり、これに伴い最適な井戸ポンプの運転ができるようになった。また、熱枯れの発生しない槽

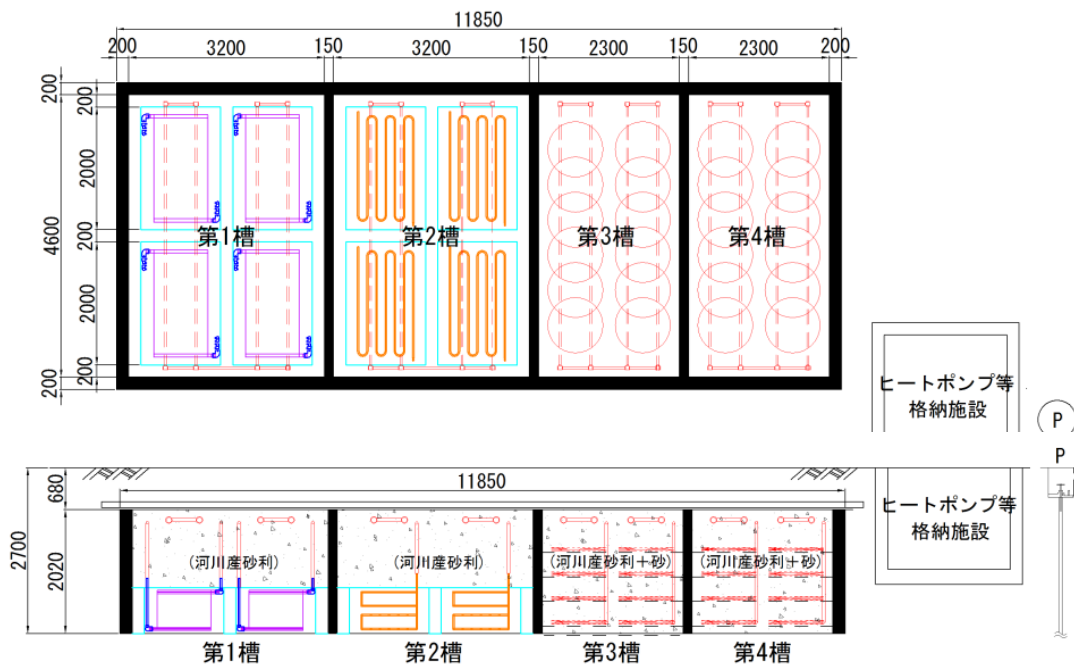
当り散水流量が想定できた事で、地盤の透水係数による浸透（散水）流量との関係から、熱交換槽の必要最小規模（必要面積）が決定できた。

③c-3. (1) 採熱装置の耐久性検証

ポーラスコンクリートの熱交換効率が良好でない事を確認後、実証プラントから撤去する際、供試体を採取した。その供試体内のエフロッセンスと考えられる白色物質中の成分に関し、粉末 X 線回析を行った。その結果、同定された物質はエフロッセンスに多く含まれる炭酸カルシウムと、骨材由来のものであることを確認した。これにより、ポーラスコンクリートを浸透性材料として長期供用した場合、エフロッセンスによる浸透性能低下の可能性がある事がわかった。

③c-4. (2) 採熱装置の耐久性検証

浸透性材料を砂とした第 1、2 槽において、地下水を意図的に散水後、浸透能力試験を実施した。その結果、現時点において浸透性材料を含む基礎地盤は長期浸透性能が確保でき、これに伴い熱交換効率も維持できる事を確認した。また、当研究開発システムの熱交換槽は、埋戻しによる嫌気性環境下での地下水散水であるため、地下水中の鉄分と酸素との接触による発錆が非常に少ない装置である事がわかった。以上より、地下水循環型の浸透性材料を含む基礎地盤は、目詰まりの起こり難いシステムであるといえる。



III (2.1)-1 実証プラント概略図

III (2.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	3 件	6 件	3 件
H27FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	0 件
H28FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成 31 年 2 月 28 日現在

[成果の最終目標の達成可能性]

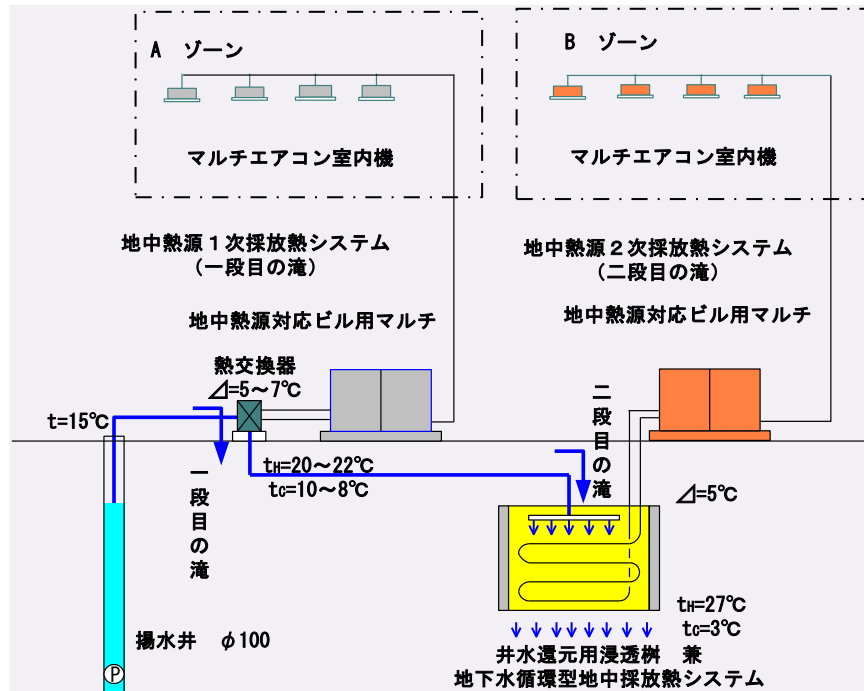
表Ⅲ(2.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	最終目標	成果	達成状況	
①地中採熱槽の地下水流動に伴う熱解析	地中における熱移動の数値解析を用い、熱枯れが発生しない事、および熱伝導・熱分散・熱対流などの複雑な現象を理論的に検証し、装置構造の優位性を定性的に示す。	従来方式の水平ループに比べ、地下水浸透流による移流効果で、安定して高い採放熱性能を発揮できる(熱枯れが発生しない)可能性を示した。	○	
②地中熱交換槽構成材料の研究開発(熱交換槽のプレキャスト化を含む構成材料の開発)	②a. 採放熱装置構成材料(スリンキー部)の開発	1) 熱交換槽構成材料(難透水層設置を含む)の透水係数や熱伝導率等の相違による、熱交換性能への影響に関し技術基準を確立する。	1) -1 基礎地盤上に難透水層を設置した場合、見掛けの透水係数は基礎地盤の10-3cm/sec オーダーに対し、10-4cm/sec オーダーとなる事を確認した。難透水層を設置した熱交換槽では、設置していない熱交換槽と同散水量であっても滞水するため、散水した地下水の熱エネルギーが槽上部のみに供給されるだけで、効率の良い熱交換が困難である事を確認した。	○
			1) -2 熱交換槽構成材料である砂と、容積比1:1の砂利+砂の透水係数、および熱伝導率等を確認した。	
		2) GカーペットとPE管の最大採放熱量を比較検証する。	2) 1槽当り最大採放熱量 ・冷房(日中12時間運転) Gカーペット: 8.89kW PE管: 7.43kW ・暖房(日中15時間運転) Gカーペット: 11.48kW PE管: 10.42kW	△
	②b. 採放熱装置のプレキャスト化の開発	1) ポーラスコンクリートの配合打設製造技術確立し、プレキャスト化した熱交換装置の施工要領をまとめる。	1) -1 ポーラスコンクリートは、供試体による透水係数以外の、次に示す要因により、採放熱管と散水した地下水の接液状況が悪く、効率の良い熱交換が困難である事を確認した。	○
			1) -2 ポーラスコンクリート2次製品に関する施工要領書(配合・作業標準)を作成した。	○
③地下水循環型地中採熱システムの研究開発	③a. 地下水供給制御システムの研究開発	1) ヒートポンプ運転情報と熱交換槽内の水位・温度情報とを連動させた井戸ポンプ運転制御システムを構築する。	1) ヒートポンプと井戸ポンプの連成運転手法を確立させた制御システムを実証プラントに組込んだ。	○
	③b. 実証プラントの建設、及び暖房運転時の1次側循環液温度に	1) 水浸透性を有する熱交換槽の上部に散水パイプを設置し、そこから熱交換槽に地下水を供給(散水)するクローズド型水平式の地中熱交換システムを設計・建設する。	1) 熱交換装置の実設計を行い、地中熱交換実証プラント(20kW級)を建設した。	○

よる HP の 運転制御	2) 一次側循環液に真水を用いるため、暖房時における凍結防止制御を確立する。	2) 一次側循環液の温度管理による間欠散水等を行い、凍結防止制御システムを開発した。	
③c-1. 地下水循環型地中採放熱装置における採放熱量の検証	1) スリンキータイプの採放熱目標量を 50W/m 以上とし、従前技術：5W/m の 10 倍以上を目指す。	1) PE 管：1 槽当り最大採放熱量 ・冷房（日中 12 時間運転） 7.43kW ⇒50w/m ・暖房（日中 15 時間運転） 10.42kW ⇒69w/m	○
	2) G-カーペット 1 回路当たりの採放熱目標量を 1.5kW 以上とし、地中浅層埋設時における従前技術の 5 倍以上を目指す。	2) G-カーペット： 1 槽当り最大採放熱量 ・冷房（日中 12 時間運転） 8.89kW ⇒2.22kw/回路 ・暖房（日中 15 時間運転） 11.48kW ⇒2.87kw/回路	○
③c-2. 地下水散水量の最適化及び井戸ポンプ運転時間の最適化検証	1) 採放熱量を検証する中で、地下水散水（供給）量の最適化のためのデータを得て、揚水量の低減を図る。	1) 熱枯れの発生しないシステム運転には、1 次側循環液量の 0.34～0.46 倍の槽当り散水量が必要であることを確認した。また、熱枯れの発生しない槽当り散水流量が想定できた事で、地盤の透水係数による浸透（散水）流量との関係から、熱交換槽の必要最小規模（必要面積）が決定でき、熱交換槽の設計が可能となった。	○
③c-3. (1) ③c-4. (2) 採熱装置の耐久性検証	(1) 浸透性材料、およびポーラスコンクリートに目詰まり等が発生し、地下水浸透能力低下による熱交換効率の低下を検証する。 (2) 地下水を意図的に連続散水し、劣化促進を実施。地下水浸透能力低下による熱交換効率の低下を検証する。	(1) ポーラスコンクリート内にエフロレッセンスが確認されたため、熱交換槽の浸透性材料として長期供用した場合、エフロレッセンスによる浸透性能低下の可能性がある事がわかった。 (2) 浸透性材料を砂とした場合の実験では、浸透性材料を含む基礎地盤は長期浸透性能が確保できることが明らかになり、これに伴い熱交換効率も維持できる事を確認した。	○

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

本研究開発において基本技術を開発し、試験運転結果より当初予定より多くの採熱量を確保できる見通しを得た。そして、共同開発技術の適用範囲を発展的に拡大する目的で、従来型のオープンループ方式技術を複合したCASCADEタイプを試作した。製造プロセスの妥当性検証・製品化技術の確立並びに運転性能の検証を実施し、更に高効率で安価な地中熱システムの実用化を目指す。また、これを主力商品と位置づけ、地中熱源装置の更なる廉価化と運用コストの低減を実現して行く。図IV(2.1)-1に商品のイメージ図を示す。



図IV(2.1)-1 Heat-Gw-Power CASCADE のイメージ図



## 個別テーマ(2.2)

### (2.2) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発

委託先: 国立大学法人福井大学  
三谷セキサン株式会社

#### II. 研究開発マネジメントについて

##### (2.2.1) 背景と目的

地中熱は、欧米に比べて普及が遅れている。これは、崩れやすく硬軟複層の日本の大地では地中熱集熱のための掘削工事に費用が嵩むことが最大の原因である。沖積平野に都市が発展した日本ではビルや住宅で多用されている杭や地盤改良の兼用、さらに建築現場にあるその機械の併用で、熱交換杭や井戸をつくるのが大幅なコスト縮減になる。その実現に向けて、解決すべき漏水・目づまり・腐食・温度応力・施工性などの課題を解決し、20%以上の導入コスト縮減を実現する。また、杭や冷暖房メーカーからみると、熱交換杭や水熱源ヒートポンプだけの営業では採算が合わない。これが、それぞれ、杭・柱状地盤改良、給湯・太陽熱温水器・床暖房などが一緒に販売されれば全体では採算が合って普及に繋がる。この視点から地中熱交換では杭・柱状地盤改良との連携（共生）、システム開発では地中熱以外の再生可能熱との連携（共生）を目指す。

また、電気 비해熱は輸送が困難だが、貯めるには容易である。実際にも電気を深夜電力で熱に変換し、輸送容易な建物内蓄熱槽に貯めたシステムは広く普及している。しかし、建物の身近な地中蓄熱の取り組みはまだ少ない。そこで、今回のシステム開発では地中蓄熱に留意した開発を行う。

以上、日本の都市が集積する沖積平野の特性を活かして、構造を支える杭と熱交換杭との共生、地中熱・空気熱・太陽熱などの各種熱源の共生、給湯や融雪冷暖房などの用途との共生をコンセプトに技術開発を行う。大地に根ざした再生可能熱エネルギーのイノベーションを起こすべく、都市のビルや住宅の熱利用、エネルギー利用に適用して普及していく技術やシステムを開発する。こうして、地球環境と共生する日本の大地が実現される。

##### (2.2.2) 研究開発の概要

###### ①ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発

ビルで最も多用されているPHC (Prestressed High Strength Concrete) 基礎杭を兼用した貯水直接循環による熱交換システムを開発し、漏水・炭酸カルシウム析出防止を行う。これにより、地中熱ヒートポンプシステムにおいて従来のボアホールとの価格性能比で設置コストの60%を削減する。

また、工場でWUチューブをPHC杭内壁に固定し、現場で上杭と下杭の接続箇所でのUチューブの接合を安全確実にを行う施工法を開発することにより、同様に比較して設置コストの50%を削減する。

また、基礎杭兼用による温度変化に伴う杭の温度応力を見積り、その応力でも強度的に対処できる兼用杭での使い方の基準と支持力と温度応力を考慮した杭設計法を確立する。試験用PHC杭WUチューブでの熱応答試験の実測値で当該WUチューブの集熱性能と開発計算ソフトとを検証する。さらに、地中熱ヒートポンプ冷暖房のトータルシステムで導入コストを20%削減する。

###### a)珪酸ソーダによる PHC 杭の $Ca^{2+}$ 遮断、漏水防止

(分担 実験装置作成：三谷セキサン(株)、水質検査等：福井大学)

ビルで最も多用されている PHC 基礎杭を兼用した貯水直接循環方式は、これまでの実施事例で漏水が生じたことで、鋼管杭ですら貯水した中に WU チューブを挿入するなどのリスク対策をコストと性能を犠牲に行っている。この漏水は、杭内水位を地下水水位まで下げることで解決できる。ただし、地下水水位が低い地域では杭内水位を下げることは能力の低下となる。また、コンクリート内からの  $Ca^{2+}$ と大気や地下水からの二酸化炭素と反応し炭酸カルシウムが析出し、熱交換器・管路の目づまりとなるリスクも残る。既に、杭内壁を樹脂塗装で対処した融雪と冷暖房の2施設を実用に供しているが、2年経過で  $Ca^{2+}$ が約 90ppm と完全ではなかった。そこで、より安価で、確実に、漏水対策にもなる次の技術を開発する。

コンクリートのひび割れに、ケイ酸ソーダなどを塗布するとコンクリート表面やひび割れ部の

細孔が  $\text{Ca}^{2+}$  と水の反応でのケイ酸カルシウム水和物 (C-S-H) で充填される。この補修法は広く使われている。PHC 杭に貯水しケイ酸ソーダを添加し、電子顕微鏡でコンクリート表面での C-S-H 結晶の形成を確認する。次いで、ケイ酸ソーダ添加の有無での PHC 杭での水圧試験から遮水性を明らかにする。また、1000ppm 以上となる貯水の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度がケイ酸ソーダ添加で無害な 10ppm 以下になることを確認する。また、この杭内の水をそのまま使用することや水道水に入れ替えて、その水質の長期安定性と熱交換器や管路で使用が考えられる金属片を杭内に吊してその重量変化からの腐食速度 (mm/year) などを明らかにする。

b) 杭の温度応力の解析 (分担 実験：三谷セキサン(株)会社、解析：福井大学)

熱交換杭は温度変化すると地中バネで膨張収縮が拘束されているので応力が生じる。この冷暖房などに伴う温度応力は大きくはないが無視できないと推測される。だが、兼用杭で、十分検討した事例はない。そこで、これまで開発の熱利用ソフトからの温度場から、歪み・変位・応力を計算できるようにする。また、実験杭を設置し、載荷試験を行い、歪みなどからバネ定数を求め、次に杭に熱負荷を与えて、このバネ定数と開発計算ソフトから温度場・歪み・杭頭変位を求める。その計算値と実測値との比較で計算ソフトの確からしさを検証する。このバネ定数を既往研究の標準貫入試験値から推定しても、温度応力の推定が実用的に行えることも確認する。

その他、利用しない杭と利用杭を隣接させることでの杭頭での相対変位による影響、杭底を鋼板閉塞する構造での強度、杭頭部配管貫通の強度影響などの課題を平成29年度以後に行い、基礎杭兼用化での温度応力を考慮し安全性が担保される設計法を確立する。これらの設計法と合わせて支持と熱利用の融合による最適な杭の選定を平成30年度に開発する。

c) PHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発(分担 三谷セキサン(株))

既に開発した杭壁内へのロッドによるUチューブ圧入工法や杭底からのワイヤーでのWUチューブ引き込み工法では、東京など杭長が70m以上にもなる現場で確実に施工できる保証が得られなかった。

またa)の貯水直接循環方式の杭長40m以上では、杭底が閉塞となるため杭圧入時にセメントミルクが杭壁外側だけからでは地上に溢れ出なくて施工が不可能になる。こうしたリスクを無くして、施工時のチューブ破損もないPHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発をも行う。セメントミルクを杭壁に入れる通常のボーリング杭設置工法を前提に、工場でWUチューブをPHC杭内に固定し、建築現場で上杭と下杭の接続箇所となるポリエチレンチューブを接合する施工技術を開発する。施工時のポリエチレン管相互の間隔の保持や接合の信頼性、作業者の安全を総合的に考慮した上で、杭打ち機の拘束時間を減らして施工費を縮減する。

②戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発

戸建住宅から中規模施設での基礎は、柱状地盤改良やH型プレストレスコンクリート基礎杭となることが多い。そこで地盤改良機によるジョイントレスWUチューブ攪拌・圧入工法の開発とH型杭埋設WUチューブ設置工法の2タイプを開発する。攪拌圧入WUチューブの開発により、従来のボアホールと価格性能比で設置コストの65%を削減する。また、H杭埋設WUチューブ設置工法の開発により、同様に比較して設置コストの55%を削減する。さらに、後段のヒートポンプ等含めたトータルシステムで導入コストを20%削減する。

a) 地盤改良機でのWUチューブ攪拌・圧入工法の開発 (分担 三谷セキサン(株))

柱状地盤改良やH型プレストレスコンクリート基礎杭では、ボーリング工法の掘削長100mに比べて浅い10m~5mの施工になるためUターン箇所が約10倍に増える。このUターン箇所は、従来のボーリング工法では樹脂U字継手と直線管を電気融着接合している。この方法ではコスト増となり、継手で漏水リスクも増える。これをUターン曲げ部分だけポリエチレン管を鋼管に通してバンダーで曲げることで同時に解決する。また、圧入時に損傷となりやすいUターンは、この鋼鞘管で保護され、半円の大きな曲げで流速損失も減らせる。ポリエチレン管メーカー積水化学工業(株)の協力で曲げた状態でのクリープ破壊試験で耐久性を検証する。こうしてジョイントレスの施工技術の開発を、次項のシステム開発での保育園での設置を通じて行う。

また、この工法は、地盤を攪拌しセメントミルクで泥孔とした中に、Uチューブの行き戻りの間隔を20cm以上に広げて圧入することで集熱能力を高めている。地中で、その間隔が保持されて



いるかを施工したWUチューブを引き抜く等で確認する。

- b) 戸建て住宅H型コンクリート杭でのWUチューブ設置（分担 三谷セキサン(株) 漏水修繕：福井大学）

H型プレストレスコンクリート基礎杭利用にも対応できるように、配管は鋼管と樹脂管の材質選定や熱交換器の設置箇所のH杭の内部と外部の選定を、防錆性・耐久性・施工性・集熱能力・費用から総合的に行い、工場でUチューブ埋設H杭を試作する。その基礎杭兼用としての強度確保を確認する。これを地中に設置し、施工性や耐久性、集熱性能を次項のシステム開発での保育園での設置を通じて検証する。

- ③地中蓄熱システムの開発

①②の地中技術の試作を利用して、空気・地中熱のハイブリッドの床暖房と夏の深夜電力給湯・日中冷房のシステム、地中熱冷暖房と太陽熱を地中蓄熱で組み合わせたシステム開発を行う。これらのシステムでは、従来のボアホール地中熱ヒートポンプ床暖房システムに比べ運用コスト20%の縮減を実現する。

地中蓄熱融雪システムにおいて、ポンプのインバータ流量半減化や間欠運転などで、年間循環消費電力3割縮減の技術開発を行う。

①の技術開発を活かし専用薄肉PHC杭での地中蓄熱等の実現可能性調査を行う。ビルの外での設置による防火防災との兼用効果を含めることで、現状の地中梁空洞利用貯水槽とボアホール方式に比べて、それぞれ20%のコスト縮減を目標とする。

- a) ハイブリッドヒートポンプ床暖房・給湯蓄熱冷房システムの開発

（分担 工事：三谷セキサン(株)、システムの構築・効果検証・数値解析：福井大学）

②開発で設置する地盤改良機による攪拌圧入WUチューブとH型プレストレスコンクリート基礎杭内蔵WUチューブを、ヒートポンプメーカー株式会社コロナの空気熱・地中熱の2熱源ハイブリッドヒートポンプ床暖房システム(各出力8kW、各床暖房面積約50㎡)に繋いで、それぞれ性能検証を行う。

次に、冬以外は深夜電力で給湯予熱を行い、その冷廃熱は地中冷却で昼間の冷房の成績係数を向上させる。夏、昼の冷房時には地中への温排熱を貯湯槽経由で給湯の予熱とする。この床暖房・昼夜間蓄熱給湯冷房システムは、病院でのPHC杭貯水WUチューブ間接循環で冷房時COPを3.7から4.2に向上させている。今回のような住宅規模での実施や空気とのハイブリッドでは実施がなく、昼の冷房での貯湯槽経由も実施例がない。

この実験は平成27年3月竣工の福井市内の保育園にて実施し、約8年間設備の破損や地中温度の著しい偏った上下などが生じないかなどを検証する。

- b) 地中熱ヒートポンプ・ソーラー給湯システム（実現可能性調査：福井大学）

ソーラー給湯システムでの晴天の午後からの実質未利用のソーラー熱を地中熱ヒートポンプシステムと繋ぎ地中蓄熱すれば給湯の予熱には利用できる。冷房は省エネルギー性も高くして安価なエアコンに任せる株式会社コロナの空気熱・地中熱ハイブリッド床暖房のようなシステムでは、蓄熱は実用可能性が見込まれる。実現可能性調査を行い、コスト縮減を確認した上で福井市での保育園でのa)のハイブリッドヒートポンプ床暖房・給湯蓄熱冷房システムを改造して平成29年度に実施する。その結果と数値シミュレーションで、②のWUチューブ方式だけでなく①のPHC杭での貯水直接循環方式でのケースの効果を平成30年度にまとめる。

マンションでのソーラー温水給湯を実用化し、近年は地中熱ヒートポンプシステムを展開している株式会社大阪テクノクラートは、このシステムは実用性があると公表提案しているが、国内での実施例はない。

- c) 地中蓄熱時の熱媒体循環量削減で節電（分担 福井大学）

地中に長時間熱を移動させる地中蓄熱では、蓄熱時は供給（利用）時に比べて流量を半減化しても、蓄熱は変わらないとの数値シミュレーション結果が得られていた。そこで実用供用している地中熱蓄融雪システムを利用して、インバータでの回転数低減あるいは約10分間の間欠運転によって蓄熱での循環流量を半減化しても、熱移動量が減じないことを検証する。また、安定した

運転となるかも検証し、年間運転の大半を占める蓄熱運転の節電効果を実測する。また、既開発の汎用融雪数値シミュレーションソフトに、この機能を追加する。

#### d) PHC杭での地中蓄熱技術の開発

(分担 製造法施工法開発：三谷セキサン(株) 蓄熱の効果算出など：福井大学)

ビルや大都市の地域冷暖房では、深夜の冷暖房運転による冷温水の貯水蓄熱システムは電力・冷暖房のピークカット効果などから普及している。その貯水槽の多くは、地下2重スラブの空洞利用であるため深さが浅くて温度混合での熱ロスが生じる。そこで近年ビル内の吹き抜け利用縦型鋼製貯水層も実用化している。①a)で漏水等が解決されるので、ビル外で防火・防災水槽兼用の薄肉PHC杭を多数密着する蓄熱貯水などの実用可能性を従来システムとの蓄熱費用比較で明らかにする。また、これを基礎杭兼用だけでは不足するビルでの熱交換専用杭の補填としての実現可能性も同様な方法で合わせて検討する。

#### ④地下水循環利用技術の開発

沖積平野の浅層地下水に多く含まれる鉄分や遊離炭酸による、熱交換器や注水井戸の目づまりを防止する技術を確認する。検証は、3箇所以上で実施する。また、浅い帯水層での揚水可能性を小型井戸掘削により事前推定する調査技術を開発する。20mほどの深さで1カ所当たり約40万円の調査費を目標とする。これら技術を活用し、太陽熱・夜間放射熱・融雪熱・空気熱の季節間帯水層蓄熱で、放射板などの活用でヒートポンプなし、もしくは空気熱ヒートポンプアシストの冷暖房を要求水準の低い場所で試作実施し、シミュレーションと合わせて開発する。実施検討の帯水層蓄熱システムにおいて、これらの技術開発と杭打ち機による井戸掘削技術と合わせて、従来技術のシステムに比べシステムトータルでコスト削減20%の目処を付けて、事業化可能であることを示す。

#### a) 地下水循環での目づまり抑制と耐食検証

(分担 工事：三谷セキサン(株)、システムの構築・効果検証・数値解析：福井大学)

沖積平野の浅い地下水は鉄分が多く、それが酸化析出し、熱交換器や注水井戸の目づまりを招く。これは、井戸内での酸素遮断と酸素透過のない管路にすることで対処できる。また、遊離炭酸の気泡化による目づまりも、気泡を流速低下タンクで浮上させ逆止弁付き空気抜き弁で自動排気させれば解決する。現在1カ所で水処理なしで、悪水の地下水をヒートポンプ併用で冷暖房運転を2年継続している。後述の熱利用システム開発と合わせて、箇所数を増やして信頼性を高める。この地下水での熱交換器(金属)の腐食性を現場設置のサンプルの重量の変化などで計測する。

#### b) 地下水揚水量の事前調査技術の開発

(分担 施工法開発：三谷セキサン(株)、解析・評価：福井大学)

浅い砂層帯水層では、柱状図やサンプルからの粒度試験などでは揚水(注水)可能性が設計時に推測できない。そこで、圧縮空気による井戸洗浄が掘削と並行してできるエアハンマ方式調査用小型井戸掘削で揚水量を事前推定する技術開発を行う。平成26年度に福井市内の保育園と工場の2カ所で、それぞれ上下2層の砂層砂礫層を対象に、揚水量の推定を行う。この小口径の事前調査から大口径への口径補正は既往研究と平成27年度の杭打ち機での大口径井戸施工での揚水量との比較で検証する。これらによって造られる2カ所の井戸は、次項のシステム開発の井戸として活用する。

#### c) 帯水層蓄熱システムの開発

(分担 工事：三谷セキサン(株)、システムの構築・効果検証・数値解析：福井大学)

低質な冷暖房でも使用可能な工場作業場と保育園を対象に、ガルバリウム鋼板屋根融雪やソーラー温水器での太陽熱・融雪熱・夜間放射熱の自然熱集熱と床暖房等での熱抵抗縮減でヒートポンプなしの季節間帯水層蓄熱の冷暖房システムの開発を行う。こうして温度的に利用困難な暖房用水温を上げて上層に蓄える。冷熱も同様に下層帯水層に、夜間放射などを利用して冷蓄熱する。また、フローリングでは高熱伝導木材の使用等も考えられるが、今回の現場では制約がある

ため大学内での実験・解析で費用対効果を試算する。これは、自然状態では地下水流れが1 mまで、帯水層が浅くに多層存在する平野中心部の条件を活かしたシステムである。

近年、深夜電力ヒートポンプでの冷温水を帯水層蓄熱するシステムは関西電力らによって実用的なことが示された。また、ヒートポンプ使用での2層での季節間蓄熱は東京で実施例がある。ただし、ヒートポンプなしでの実験は季節間蓄熱には適しない地下水流れのある山形での実施例のみであった。地下水流れがない浅い帯水層を活かした帯水層蓄熱での季節間蓄熱では、開発者らが駐車のある駐車場融雪面を太陽熱集熱面にした夏の蓄熱運転で2013年1月11日に地中より5℃高い21℃を得た事例のみである。今回の熱利用しない時間での隣接井戸利用での蓄熱は事例がない。これは、浅い沖積平野の帯水層の多くは水質が悪くて、地下水循環や熱交換には適さないとされてきたことによる。

表Ⅱ(2.2)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発	PHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発、ボアホール比で杭設置費の約50%削減を示す。	性能を数値シミュレーションし、設置コストを試算した結果による。
②戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・攪拌圧入WUチューブの開発により、従来のボアホール方式との価格性能比で設置コスト65%を削減する。</li> <li>・H杭埋設WUチューブ設置工法の開発により、同様に価格性能比で設置コスト55%を削減する。</li> </ul>	性能を数値シミュレーションし、設置コストを試算した結果による。
③地中蓄熱システムの開発	ハイブリッドヒートポンプ床暖房・給湯蓄熱冷房システムを開発、現状の地中梁空洞利用貯水槽とボアホール方式に比べて、設置と運用コスト20%削減。	②の開発と空気熱源併用で設置費削減が見込まれ、蓄熱槽設置での夏期廃熱蓄熱や杭本数増で成績係数を挙げれば達成できると想定した。
④地下水循環利用技術の開発	季節間蓄熱の効果をシミュレーションから予測し、運転する	ソーラーや廃熱のコストを含めて実用性に課題があるので、検討だけとする。

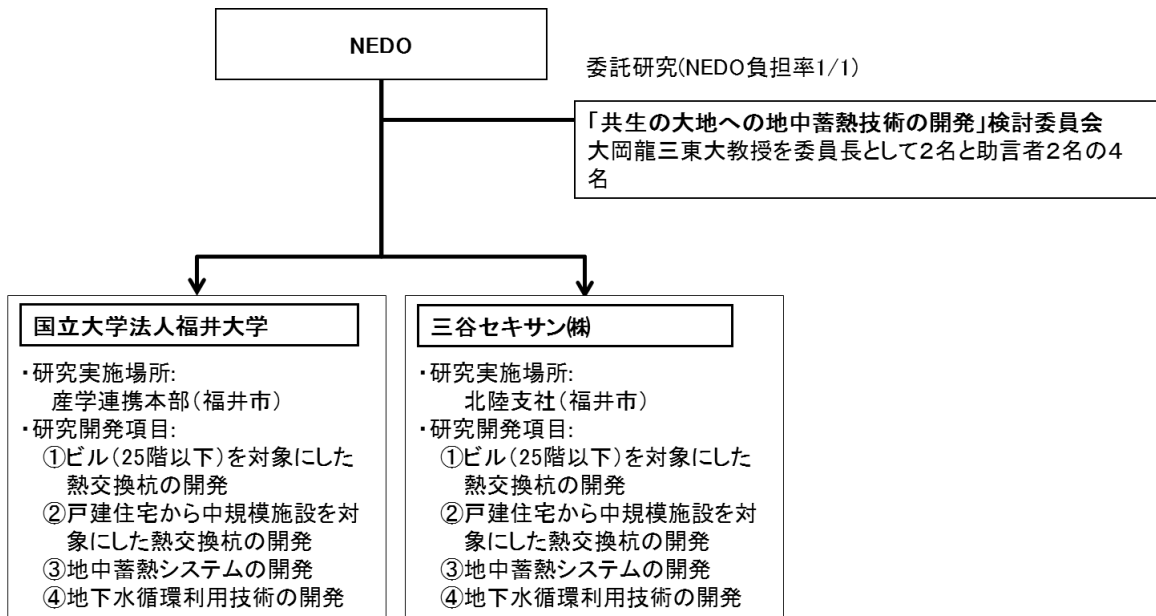
### (2.2.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年7月24日より平成31年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(2.2)-2に示す。

表Ⅱ(2.2)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発			PHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発																	
②戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発		地盤改良機でのWUチューブ攪拌・圧入工法開発				施工試験			寒冷地での支持力低下検証				実用化							
③地中蓄熱システムの開発									ハイブリッドシステムの運転検証								実用化			
④地下水循環利用技術の開発					シミュレーション					既存設備改良で運転実施										

### (2.2.4)研究開発の実施体制



### (2.2.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ 2.2-3「共生の大地への地中蓄熱技術の開発」検討委員会

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	大岡 龍三	東京大学生産技術研究所 教授
委員	水谷 国男	東京工芸大学工学部建築学科 教授

国立大学法人福井大学  
三谷セキサン株式会社

所属は、委員会組織時点のもの

## Ⅲ. 研究開発成果について

### (2.2)地中熱利用要素技術の開発

#### 【成果概要】

本事業では、沖積平野の特性を活かして、構造を支える杭と熱交換杭との連携、地中熱・空気熱・太陽熱などの各種熱源の連携、給湯や融雪冷暖房などの用途との連携をコンセプトに技術開発を行い、以下の結果を得た。

#### 【項目別成果】

#### ①ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発

貯水循環法での珪酸ソーダによる PHC 杭 Ca<sup>2+</sup>遮断、漏水防止に関する開発を行い、杭内水位を下げて漏れなくし、上下杭接合の漏水も無くし、ケイ酸ソーダで Ca<sup>2+</sup>を削減し 68%コスト低減した。

PHC 杭壁内側 U チューブ設置法の開発および現場杭打ち機利用 U チューブ専用杭施工法開発では、U チューブ損傷無く安価な施工法を確立、地表面熱収支考慮 3 次元数値シミュレーション U チューブ、ビル住宅ヒートポンプ数値シミュレーションソフトの開発を行い、それぞれ 50%、49%コスト低減した。

基礎杭兼用での温度応力などの構造安全性に関する開発では、開発専用ソフトを実験で検証し、杭頭の数 mm 上下や熱応力を計算予測できた。兼用利用の安全性を検証した。

②戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発

地盤改良機での WU チューブ攪拌・圧入工法の開発を行い、改良地盤内部に空洞が生じることが判明し、兼用利用はできないことから専用杭での 62%のコスト低減に止まった。

H 型コンクリート杭での U チューブ工法に関する開発では、Uチューブ外付けと鋼製鞘管でのUチューブ曲げと保護で安価な施工を実現し、77%のコスト低減を実現した。

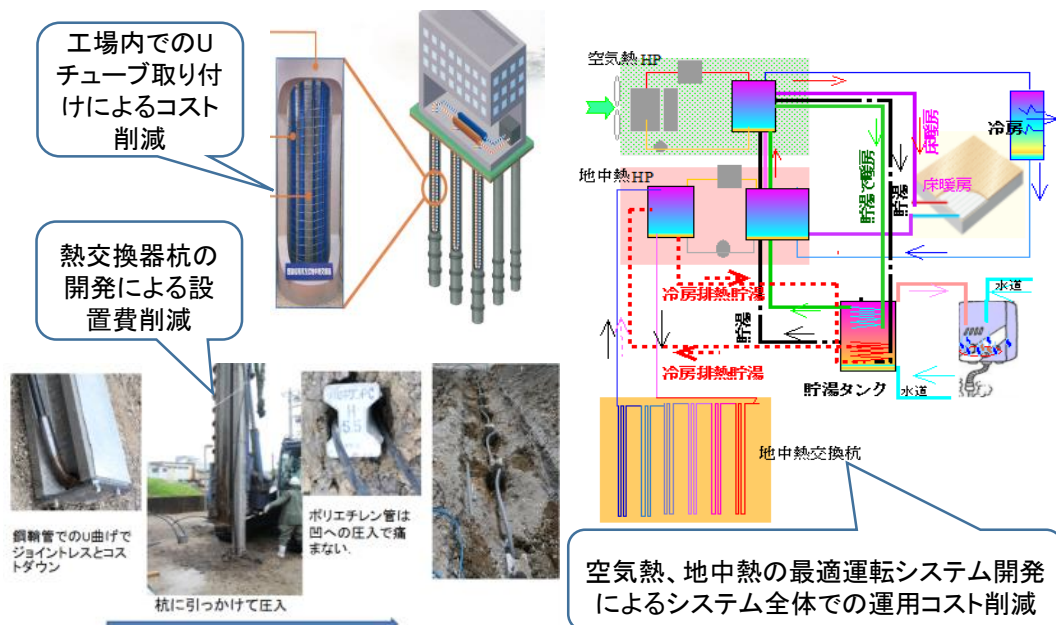
③システムの開発

空気熱・地中熱ハイブリッドヒートポンプ床暖房・給湯蓄熱冷房システムの開発では、実証試験で空気熱と開発した地中熱の併用ヒートポンプ床暖房を給湯にも兼用し、その給湯貯湯を床暖房立ち上げ時に利用することなどで、H型コンクリート杭外付けUチューブ利用では設置費と15年間の運用費で55%の削減を得た。運用コストは37%低減で、空気とのハイブリッドを除く地中熱だけの設置コストでは21%低減を実現した。

群杭効果での地中蓄熱融雪、夏の熱循環流量削減で節電に関する開発では、実証先にて COP が 7.3 から 19 に向上し 60%のコスト低減を実現した。

④地下水循環利用技術の開発

地下水循環での目づまり抑制と防食に関する開発では、福井平野 2 カ所で行った実証試験を実施し、浅層における条件の悪い水質でメンテナンスフリー運用が見込めることが分かった。



図Ⅲ(2.2)-1 成果の概要

表Ⅲ(2.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	2件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	5件	0件	0件
H29FY	1件	0件	0件	0件	0件	6件	0件	0件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	6件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成 31 年 2 月 28 日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(2.2)-2 成果の最終目標と達成度  
 ※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

開発大項目	開発小項目	成果	達成状況
ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発	貯水循環法での珪酸ソーダによるPHC杭Ca <sup>2+</sup> 遮断, 漏水防止	杭内水位を下げて漏れなくし, 上下杭接合の漏水も無くし, ケイ酸ソーダでCa <sup>2+</sup> を削減した.	○目標60% (達成68%)
	PHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発	Uチューブ損傷無く安価な施工法を確立. 地表面熱収支考慮3次元数値シミュレーションUチューブ, ビル住宅ヒートポンプ数値シミュレーションソフトの開発	○目標50% (達成50%)
	現場杭打ち機利用Uチューブ専用杭施工法開発		○追加開発 (達成49%)
	基礎杭兼用での温度応力などの構造安全性	開発専用ソフトを実験で検証し, 杭頭の数mm上下や熱応力を計算予測できた. 兼用利用の安全性を検証した.	○
戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発	地盤改良機でのWUチューブ攪拌・圧入工法の開発	改良地盤内部に空洞が生じることが判明し, 兼用利用はできないことが判明した.	×目標65% (専用利用で達成62%)
	H型コンクリート杭でのUチューブ工法	Uチューブ外付けと鋼製鞘管でのUチューブ曲げと保護で安価な施工を実現した.	○：目標55% (達成77%)
システムの開発	空気熱・地中熱ハイブリッドヒートポンプ床暖房・給湯蓄熱冷房システムの開発	保育園で空気熱と上記開発地中熱の併用ヒートポンプ床暖房を給湯にも兼用し, その給湯貯湯を床暖房立ち上がり利用などを実現.	○目標設置費20% (達成24%), 運用費20% (達成35%)
	群杭効果での地中蓄熱融雪, 夏の熱循環流量削減で節電	実用施設で夏の蓄熱で流速を1/2にしたが計算通り蓄熱は下がらず, 通年COPは7.3が19に向上した.	年間運用費目標30% (達成60%)
地下水循環利用技術の開発	地下水循環での目づまり抑制と防食	福井平野2カ所で循環検証, 鉄とバクテリア, 防食は井戸と管路での酸素遮断, 遊離炭酸や細砂は井戸内の長布袋で処理.	○悪水質浅層地下水でのメンテ無し循環利用

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発では、建築物の構造を支える杭と熱交換杭との共生をテーマ等にして、技術開発を進めてきたが、上記のような成果が得られ今後事業化に向けて開発を進める見込みである。

特に、ビル用杭の開発に関しては、ボーリング工法に比べて約1/2の設置コスト低減を実現した。三谷セキサン(株)はPHC杭では国内市場26%の首位企業であり、北海道から鹿児島まで12の生産工場を所有しており、全国にPHC杭を出荷対応できる体制を備えている。今後、開発技術の成果を量産化するために生産体制を整えることで事業化を推し進めていく。

## 個別テーマ(2.3)

### (2.3) 再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発

委託先: 国立大学法人東京大学  
鹿島建設株式会社  
ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

## II. 研究開発マネジメントについて

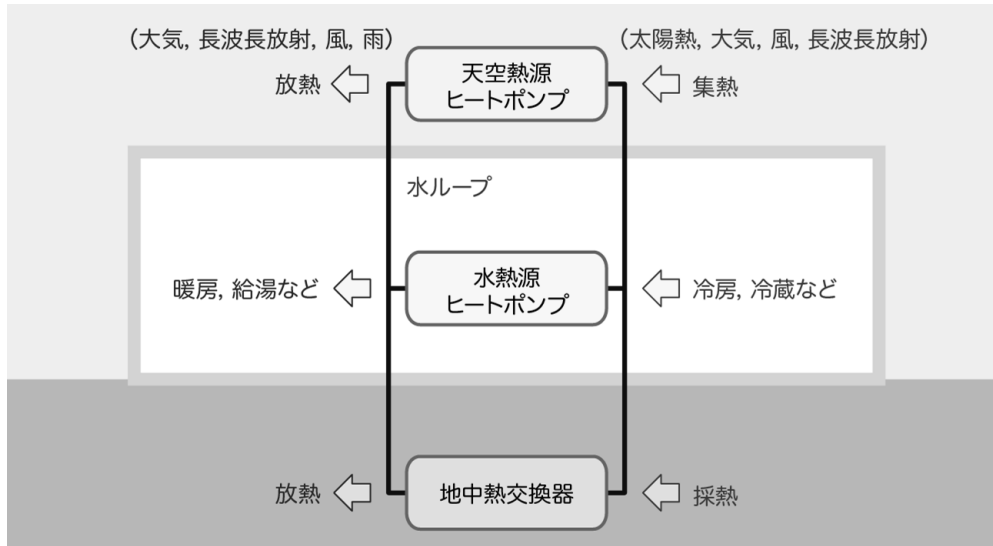
### (2.3.1) 背景と目的

本事業は、再生可能エネルギーを利用して建物の熱需要を賄う革新的な技術の開発でコストダウンを促し、熱利用の普及拡大に貢献することを目的とする。建物の熱需要は、業務用ビル等では冷暖房空調が大きな比率を占め、住宅等ではこれに給湯が加わり、さらに冷蔵や冷凍のニーズもある。このように、熱需要には温熱と冷熱があるため、集熱と放熱の両面から再生可能エネルギーの利用技術を開発する必要がある。

本事業では、水ループを用いて地中熱、太陽熱、河川熱、下水熱等、様々な再生可能エネルギー熱のネットワークを構成し、これを集放熱源とするヒートポンプを用いて冷暖房や給湯などの多目的な熱需要に対応し、コスト低減、高効率な運転を可能にする要素及びシステム技術を開発し、従来システムと比較して、導入コスト18%低減及び運用コスト20%低減を達成する。

### (2.3.2) 研究開発の概要

本システムの基本的な構成は図II(2.3)-1に示すとおりである。大地の再生可能エネルギーは地中熱交換器で、天空と大気の再生可能エネルギーは天空熱源ヒートポンプで利用し、両者を水ループで統合して、水熱源ヒートポンプで温熱や冷熱を供給するシステムである。



図II(2.3)-1 本研究開発システムの基本構成

本事業では、東京大学が中心となり (i) 先導的要素技術開発を行い、鹿島建設とゼネラルヒートポンプ工業が中心となり (ii) 早期の市場投入を目指す実用的技術開発を行う。

#### (i) 先導的要素技術開発(主担当: 東京大学)

本システムの可能性を最大限に発揮するために、近未来を想定した要素技術、システム、運転法などを目指して、従来の設計慣習や技術常識に制約されない先導技術を開発する。

具体的な事例として、冷暖房と給湯を行う住宅用のシステムをターゲットとする。そして、導入コストは将来的に合理的な価格まで下げることが可能であること、さらにライフサイクルコス

トの経済性は高くなることを検証する。特に全体システムとして、通年エネルギー消費効率 (APF) 7.0の達成可能性を検討する。

循環水温度を地温前後に維持することにより、水熱源ヒートポンプの加熱運転と冷却運転の両面で高いCOPを実現する。本システムは、個別分散型機器(水熱源ヒートポンプ)を熱のネットワーク(水ループ)に接続した構成である。このため、利用の自由度と拡張性が高く、端末の故障が全体に影響しない利点がある。

天空と大気の再生可能エネルギーを利用する天空熱源ヒートポンプは、屋外機が平板状の天空熱源パネルで構成され、集熱運転では冷媒を蒸発させて太陽熱と空気熱を集熱し、放熱運転では夜間に天空熱源パネルで冷媒を凝縮させて自然通風と放射冷却で放熱する技術である。

天空熱源パネルは太陽熱と光発電のハイブリッド利用を想定しており、本事業で実用化を図る。地中熱利用と土壤蓄熱の機能を有する高密度でコンパクトな地中熱交換技術を開発する。本システムは、天空熱源ヒートポンプの集放熱機能を利用して一日周期の地温再生を行う。通常の地中熱利用は年間(冬と夏)で地温回復するものであり、これと比較して、必要な土の量は2桁少ない。こうした理由から、本システムでは地中熱交換器の高密度コンパクト化が可能になる。

本事業では、既存の技術を基本から見直してコストダウンと性能向上を図ると共に、本システムの新しい可能性についての研究開発及び実用化を目指した製品開発を行う。本事業は具体的には個々の要素技術の開発になるが、最終的な目標はトータルシステムとして評価する。ここではトータルシステムとして、従来システムと比較して、導入コスト18%低減及び運用コスト20%低減を達成することを最終目標とする。また、性能目標として、年間性能係数APFを7.0とする。

本テーマは以下の実現可能性調査と、①～⑥までの開発を実施し目標の達成を目指した。

#### 実現可能性調査

本システムは、従来にない再生可能エネルギー熱利用技術の実用化と普及を目指すため、その実現可能性の調査を実施し、本システム導入によるユーザーのコストメリットを従来採用される一般的な方式と比較検討し、最適な実用化システムと及びその前提条件、運用条件を明確にすると共に、システム各構成要素の課題を整理して実用システムとして採算が取れるコストの見通しを平成26年度内に立てる。

#### ①水ループシステム構築技術の開発

設備費の低減、熱搬送動力の削減、熱交換性能の向上について技術開発を行う。水ループの動力には各ヒートポンプの専属ポンプで行い、インターロックして無駄な運転を避け、効率の高いDCポンプを用い、制御弁等に起因する圧力損失を減らし、必要な場合はインバータで流量制御する。

#### ②天空熱源ヒートポンプの開発

太陽電池一体型天空熱源ヒートポンプの開発を行う。また円滑な冷媒循環を図り、性能を向上させる。さらにアルミ使用量を削減させるとともに、冷媒配管の接続にも新しい技術を開発して、製作コストを20%低減させる。冷媒系の課題を解決するためにオイルフリーの小型遠心式圧縮機を開発する。さらに集熱専用の天空熱源ヒートポンプも開発し、冷媒には温暖化係数が小さいオレフィン系の新冷媒を検討する。

#### ③高密度地中熱交換器の開発

高密度地中熱交換器のコンパクト性を活かして、掘削を含めたコスト低減を目指す。ヘリカルコイル形状のコンパクトな地中熱交換器を開発し、実証試験により、日周期で地中温度が回復することを示し、システムコスト40%低減を達成する。また、蓄熱性能を有する地中熱交換器の実証試験により、地中熱交換器の施行コスト20%低減を達成する。

#### ④空調用水熱源ヒートポンプの開発

本システムに適合する高効率な空調用水熱源ヒートポンプを開発する。空調では快適性も重要な開発目標となる。本事業では、高いCOPで床暖房を可能にする水熱源ヒートポンプと、水ループを予冷と再熱に用いる高効率な除湿技術も開発を行う。更に、水熱源式ビル用マルチヒートポン



プの高効率化技術も開発する。

#### ⑤給湯用水熱源ヒートポンプの開発

水ループに接続する水熱源式エコキュートを開発して、従来のエコキュートに比べ年間給湯効率の30%改善を目指す。また、利用温度(40℃程度)までヒートポンプで加熱する瞬間式給湯技術も開発する。COPは8程度を目標とする。また、給湯機能を有する水熱源式ビル用マルチヒートポンプを本システムの温度条件に適合させ、COPを向上させた製品を開発する。

#### ⑥運転性能予測手法の研究開発

運転性能予測手法を研究開発し、システムのエネルギー消費量や経済性を予測して比較評価する。具体的には、開発目標性能や各試作機の実測性能に基づいて各要素技術の運転性能計算モデルを作成し、これをシステムとして連結し、建物仕様と気象データを与えて年間の運転予測計算を行い、計算結果の評価法を研究開発する。

#### (ii)実用的技術開発(主担当:鹿島建設(株)、ゼネラルヒートポンプ工業(株))

早期の市場投入を目的とし、現在、鹿島建設が商品化している実用システムに対し、平成30年度に導入コスト18%削減、運用コスト20%削減を目指す。

本テーマは以下の①～⑥までの開発を実施し目標の達成を目指した。

#### ①水ループシステム構築技術の開発

水ループシステム構築技術のうち、天空熱源ヒートポンプの運転制御アルゴリズム構築に向けシミュレーションモデルを開発し、これを用いて制御アルゴリズムの初期検討と効果試算を行う。平成26年度には下記③で開発する天空熱源ヒートポンプのシミュレーションモデルを用いて制御アルゴリズムの初期検討と効果試算を行い、目標性能に対する見通しを得る。平成28年度終了時には制御アルゴリズムを構築し、シミュレーションによりコスト削減目標(運用コスト20%減)の検証を終えることを目標とする。

#### ②天空熱源ヒートポンプの開発

比較的廉価で早期に実現可能な集熱専用の天空熱源ヒートポンプモデルの開発を行う。集熱専用機とすることで構成要素を必要最小限に抑え、低コスト化を図る。併せて、冷媒流路や制御を集熱に特化して最適化することで高効率化と低コスト化を図る。さらに、高効率な小型コンプレッサーを開発し、集熱量の増加を図る。また、無給油軸受採用によって潤滑オイルを不要とし、オイルバック機構の削減やメンテナンス費用の低減を目指す。冷媒には地球温暖化係数GWPの小さいオレフィン系の新冷媒を検討する。熱量単価40%削減を目標とする。

#### ③高密度地中熱交換器の開発

既に開発した2重管方式(専用坑タイプ)のプロト機を活かし、蓄熱性能を有する地中熱交換器の開発を行う。本熱交換器は大口径(φ200~250mm)の配管を使用することで、大きな蓄熱効果が期待できる。また、蓄熱型地中熱交換器の掘削・埋設コストの低減方法についても検討を行う。施工コスト20%削減を目標とする。

#### ④空調用水熱源ヒートポンプの開発

水ループ対応小型業務用マルチヒートポンプ(想定容量は6~8馬力相当)を開発する。高効率熱交換器、DCインバータ圧縮機、DCインバータポンプを内蔵した機器を開発するとともにシステム効率最大化制御開発を行う。また、高機能化、コンパクト化等によるコスト削減も行う。

#### ⑤給湯用水熱源ヒートポンプの開発

水ループ対応小型業務用給湯機(想定容量は3~10馬力相当)を開発する。性能及びコストを含めた機器の基本設計を行い、初期検討・効果試算のための性能データを作成する。試作機の詳細設計、製作し、性能試験を行う。試作機を水ループシステムに適用したフィールド試験を行う。

⑦運転性能予測手法の研究開発

集熱専用天空熱源ヒートポンプを構成する圧縮機、蒸発器・凝縮器、冷媒などの特性を考慮した性能予測モデルを開発する。性能予測モデルは設計時の仕様検討、改良方法の検討、上記①運転制御アルゴリズムの検討、全体システムの実証実験の検討等に用いる。開発終了後には実務における設備設計に用いる。

表Ⅱ(2.3)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	目標	目標レベル設定の根拠
①水ループシステム構築技術開発	導入コスト18%低減及び運用コスト20%低減を達成する。	設備費低減、熱搬送動力削減、熱交換性能向上の技術開発を行う。
②天空熱源ヒートポンプの開発	従来機と比較して、運転効率20%向上を達成する。	太陽熱と光発電のハイブリッド天空熱源パネルを利用するヒートポンプ開発を進める。
③高密度地中熱交換器の開発	蓄熱性地中熱交換器の実証により、熱交換器施行コスト20%低減を達成する。	地中熱利用と土壤蓄熱能を有する地中熱交換技術の開発を進める。
④空調用水熱源ヒートポンプの開発	冷房COP10、暖房COP7を示し、ヒートポンプ廻りの工事コスト20%低減を達成する。	高いCOPで床暖房する水熱源ヒートポンプと、水ループを予冷と再熱に用いる除湿技術を開発する。
⑤給湯用水熱源ヒートポンプの開発	空気熱源式と比較して、電力消費量30%削減を示し、ヒートポンプ廻り工事コスト20%低減を達成する。	水ループに接続する水熱源式CO2冷媒貯湯給湯機エコキュートを開発する。
⑥運転性能予測手法の研究開発	全体システムのエネルギー消費量、経済性を示す運転性能予測手法を確立、運用コスト20%低減を示す。	建物仕様と気象データを与えて年間の運転予測計算を行い、計算結果の評価法を開発する。

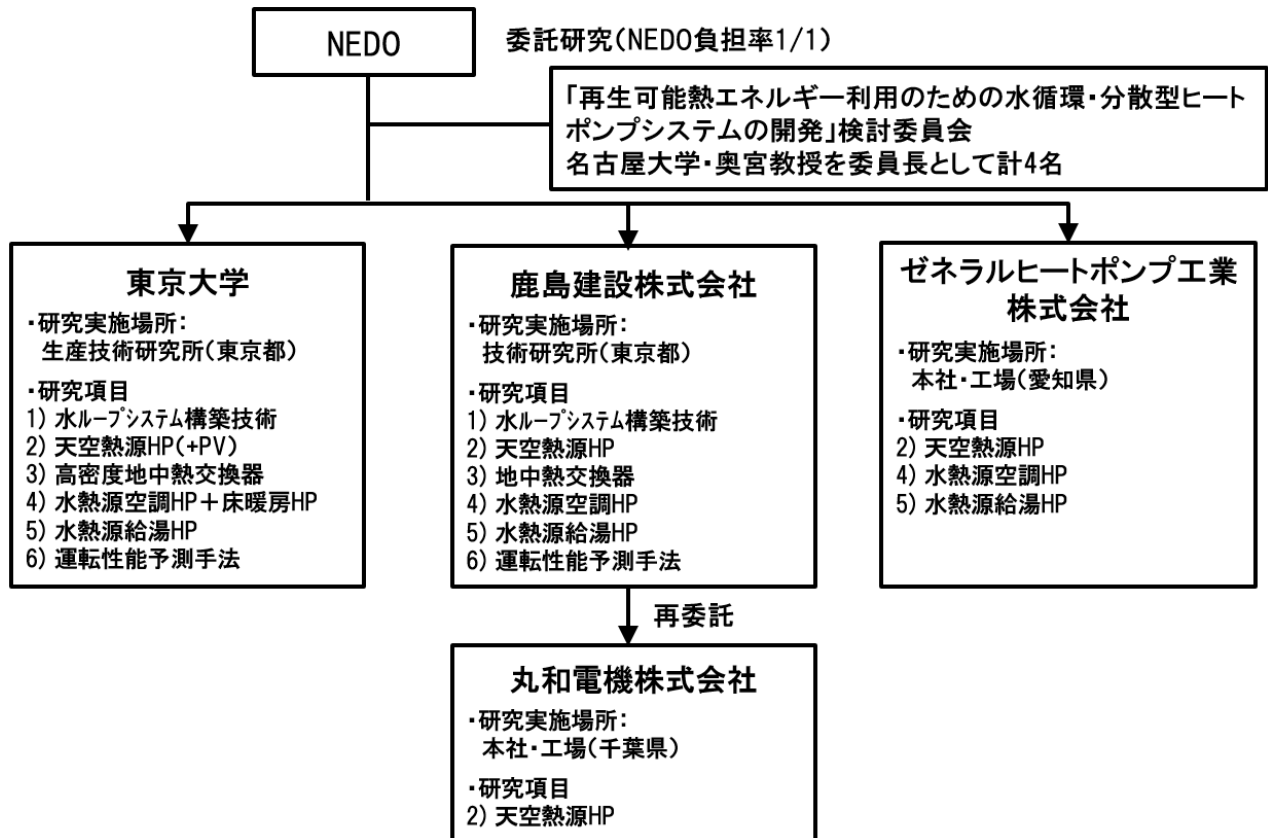
(2.3.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年7月24日から平成31年2月28日までである。事業スケジュールの概要を表Ⅱ(2.3)-2に示す。

表Ⅱ(2.3)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①水ループシステム構築技術開発			FS				試作・実験				実証				新技術				実用化	
②天空熱源ヒートポンプの開発			設計				試作・実験				改良・実証				新技術				製品化	
③高密度地中熱交換器の開発			設計				試験施工・実験				改良				新技術				製品化	
④空調用水熱源ヒートポンプの開発			設計				試作・実験				改良				新技術				製品化	
⑤給湯用水熱源ヒートポンプの開発			設計				試作・実験				改良				新技術				製品化	
⑥運転性能予測手法の研究開発			要素技術				統合技術				改良				設計法検討				標準化	

(2.3.4)研究開発の実施体制



(2.3.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ(2.3)-3 再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発「再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発」検討委員会  
国立大学法人東京大学  
鹿島建設株式会社  
ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	奥宮 正哉	国立大学法人名古屋大学 大学院環境学研究科 教授
委員	笹田 政克	NPO法人地中熱利用促進協会 理事長
委員	堀川 晋	株式会社日建設計 執行役員
委員	柳井 崇	株式会社日本設計 執行役員

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### (2.3) 再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発

##### 【成果概要】

本事業では以下 6 項目の実用的技術開発と先導的技術開発の 2 本立てで研究開発を行い、試行的な施工結果から、コスト低減、高効率な運転を可能にする要素技術を検討し、従来型同等システムと比較して、「導入コスト 18%低減」の見通しを得た。また運転実験結果から、「運用コスト 20%低減」を確認した。

##### 【項目別成果】

##### 実現可能性調査

新技術の実現可能性を調査するために、住宅を想定した経済性のスタディを行った。住宅の狭い敷地面積に対応可能な高密度地中熱交換器の埋設費用を低減するために、中深度（15 m程度）ポアホールの掘削にアースオーガーを使用する施工法を考案した。試掘削の結果90分以内に掘削が完了できることを確認した。2～4本の地中熱交換器が必要な住宅への適用では、掘削埋設工事を1日で完了させることも可能となるため、従来型の地中熱交換器より導入コストが18%削減できることを確認した。さらに、技術開発を予定するシステムの技術的な実現可能性を調査した。

##### ①水ループシステム構築技術の開発

実証システムの設計と要素技術の開発を行った。具体的には、水ループ配管の基礎実験と熱搬送動力および配管材工費の低コスト化の検討を行った。PVC配管を施工して材工費の削減可能性を確認し、循環水に不凍液を用いない方策を検証した。また水ループ熱搬送動力の低減可能性を検討するために水配管実験装置を製作し、従来の中央ポンプ方式と分散ポンプ方式の比較を行った。配管内の流体の流れと、それに伴う圧力損失を高精度で再現できるCFD（数値流体力学）モデルを作成・検証し、多様なシナリオに関する検討を行った。その結果、分散ポンプの導入により、13～43%の省エネルギーになることを確認した。東京大学柏キャンパスに建築した再生可能エネルギー環境試験建屋（以降REハウス）に実装し、その基本性能を測定した。また各水熱源ヒートポンプ流れを改良するために小型DCポンプの変更や二方弁を設置し、性能計測のために水温センサーの追加などを行った。

##### ②天空熱源（スカイソース）ヒートポンプの開発

天空熱源ヒートポンプの屋外集放熱パネル押し出し金型と薄板ガラス封止型太陽電池モジュールの製作を行うとともに、太陽電池と一体化した屋外集放熱パネルを製作した。また平成29年度以降は天空熱源ヒートポンプの屋外集放熱パネルをREハウスの屋根に設置し、冷媒圧縮機ユニットと冷媒配管を連結し、運転制御プログラムを開発して試験運転を開始した。採熱運転のCOPは期間平均で14.9、放熱運転のCOPは期間平均で4.5を得た。

##### ③高密度地中熱交換器の開発

二重らせん地中熱交換器を考案して熱交換性能を解析するとともに、製作性と埋設施工性を高める試作検討を行った。東京大学柏キャンパスにおいて、考案したアースオーガーを用いた掘削法と結合し、二重らせん地中熱交換器の導入コストが40%低減できることを確認した。

##### ④空調用水熱源ヒートポンプの開発

空調用水熱源ヒートポンプの部品選定と調達を行った。平成29年度は、REハウスに本試作機等を設置して水ループに接続し、試験運転を行って、運転データの収録と解析を開始した。空調用水熱源ヒートポンプをREハウスのロフトに設置し、ダクトとノズルを施工して運転実験を行った結果、冷・暖房時それぞれCOPが11.3、8以上になることを確認した。床暖房用水熱源ヒートポンプを運転し、11.6程度の高いCOPを確認した。

##### ⑤給湯用水熱源ヒートポンプの開発

貯湯式給湯用水熱源ヒートポンプの製作と性能製作性と埋設施工性を高める試作検討を行った。給湯用水熱源ヒートポンプをREハウスに設置して運転を行い、5.6程度のCOPを確認した。

⑥運転性能予測手法の研究開発

運転性能予測手法では、REハウスを対象にポンプ制御システムの流れ予測シミュレーションを行い、基礎実験結果と整合させた。また天空熱源ヒートポンプでは、循環水温度を制御する運転プログラムを改良した。運転性能予測手法に用いる各種機器性能のモデリングについては、計算負荷を小さくするために、ANN (Artificial neural network) を用いた。

表Ⅲ(2.3)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT* 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	2件	2件	0件
H27FY	2件	0件	0件	2件	0件	10件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	9件	0件	0件
H29FY	2件	0件	0件	1件	0件	12件	2件	1件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	14件	1件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[成果の最終目標のに対する成果と達成度]

表Ⅲ(2.3)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
①水ループシステム構築技術	導入コスト18%減, 運用コスト20%減 年間COP7.0	・不凍液不使用PVC配管で導入コスト18%超減、小型分散DCポンプで運用コスト20%超減, 年間COP7.0を予測。 ・初年度FS検討及び実証実験の結果、コスト、性能目標を達成できる見込みを得た。	○
②天空熱源(スカイソース)ヒートポンプの開発	製作コスト20%以上減 熱量単価40%低減 年間COP8	・アルミ・銅接続管、断面形状、架台を改良して製作コストを20%以上減。 ・熱量単価75%低減(スクロール)、年間COP8.0達成。	○
③高密度地中熱交換器の開発	システムコスト40%低減(ヘリカル型) 施工コスト20%低減(蓄熱型)	・二重らせん地中熱交換器の中深度埋設(15m)でシステムコスト40%減。 ・施工コスト37%低減(駐車場下)。	○
④空調用水熱源ヒートポンプの開発	暖房COP7 冷房COP10 床暖房COP8	・暖房COP7程度、冷房COP10程度、床暖房COP8程度以上を確認。	○
⑤給湯用水熱源ヒートポンプ	年間COP5 (約30%向上) 瞬間給湯COP7	・冷房+貯湯給湯COP5.4 ・冷房+瞬間給湯COP10.4	○
⑥運転性能予測手法	性能予測モデル及び制御アルゴリズムの構築	・プロトタイプの開発は終了。試験建屋システムで性能を確認。 ・線形計画法とモデル予測制御を組み合わせた最適制御ロジックのプロトタイプを構築。	○

#### IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本プロジェクトで研究開発したSSHP（天空熱源ヒートポンプ）は、従来の地中熱システムに比べて浅い地中での熱交換を想定し、これに合わせて掘削機や熱交換器の小型化を図る。この小型化は単なる掘削費削減効果だけでなく、掘削機価格および運搬コストの低減等につながり、エンドユーザだけでなく掘削事業者等を含めた業界全体へのコスト低減メリットを提案することで、地中熱システムの普及を促進する。

地中熱専用掘削機の開発では、実証機を完成させており、人員削減や工事期間短縮による掘削工事費の削減を達成する見込みである。地中熱交換器の開発では、水平スリンキー型は垂直Uチューブ型と同程度の性能であることを確認しており、小口径二重管型はシミュレーションから所定の性能が期待できるので、実用化の見込みである。熱源機について、汎用機にハイブリッド熱交換器を組み込んだヒートポンプシステムの設計を終了し、所定の成果が期待できるので、実用化の見込みである。

## 個別テーマ(2.4)

### (2.4) 地中熱・流水熱利用型クローズドシステム技術開発

委託先: ジオシステム株式会社  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
国立大学法人東北大学未来科学技術共同研究センター  
八千代エンジニアリング株式会社

## II. 研究開発マネジメントについて

### (2.4.1) 背景と目的

再生可能エネルギーである地中熱や流水熱などの利用拡大には、地域により異なる熱エネルギーの存在形態を把握し、その地域に適した利用方法を選択することが重要である。我が国には、扇状地などに浅層地下水が豊富に存在する。また、農業用水路は総延長で40万kmに達し農地に網の目のように配置されており、浅層地下水熱とともに、その未利用熱の利用は節電やCO2排出抑制、化石燃料輸入量削減に効果が期待できる。

これらの熱を有効に活用するには、浅層地下水や流水という環境に適した効率と経済性に優れた熱交換器の開発が必要である。また、飲用水や農作物に使用する浅層地下水や農業用水では、地中側熱媒に不凍液を使用せず、より環境影響が低いシステムを必要とされている。さらに、システム設計を最適化するためには現地データに基づく導入適地に関する情報が重要となる。

本事業では地中熱・流水熱利用型クローズドシステムについて、①流水熱利用型熱交換器の開発及びモデル化、②ヒートポンプシステムの運用最適化手法の開発、③流水熱利用型熱交換器の導入適地マッピング技術の開発を実施し、地中熱・流水熱利用システムの設置コスト、運用コスト削減のみでなく、標準システムや導入適地マップを確立することにより、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大を目的とする。

### (2.4.2) 研究開発の概要

#### ①流水熱利用型熱交換器の研究開発

流水熱利用型熱交換器として、a) 農業用水路等を熱源とした流水路内設置型熱交換器、b) 浅層地下水等を熱源とした地下水流動地盤内設置型熱交換器を開発する。先ず流水熱利用型熱交換器として必要な仕様と技術課題、コストを明確にする。それに基づき熱交換器の採放熱性能を水路実験や数値モデルで明らかにし、c) 設置場所において最適な採放熱特性を発揮する熱交換器形状と設置方法を確立して実証する。

目標は、流水路内設置型熱交換器、地下水流動地盤内設置型熱交換器を含むシステム全体の設置コストをボアホールなどの従来工法との比較で20%以上削減することである。

#### ②ヒートポンプシステムの運用最適化手法の開発

a) 地中熱ヒートポンプシステム運用コスト低減として、水冷ビル用マルチ型地中熱ヒートポンプの室内機配置や運転制御を見直し、低負荷率でのシステムCOP向上に着目した負荷側制御法を開発するとともに、水熱源ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプとのハイブリッドシステムの最適制御方法を開発する。いずれも運用コスト20%以上削減を目標とする。

b) 飲用水や農作物に使用される浅層地下水や農業用水では、より高い環境性能をユーザーから強く求められている。そのため、地中を循環する熱媒に不凍液を使用せず、水を使用した場合(水熱媒)の凍結防止対策として、熱源水の温度管理に基づくヒートポンプの運転制御方法を確立する。また、水熱媒ヒートポンプの適用範囲を明確にすることを目標とする。

#### ③流水熱利用型熱交換器の導入適地マッピング技術の開発

a) 地中熱(浅層地下水)、湧水、農業用水を熱源とし、熱源毎に導入可能性評価に必要な地下水流速、水温等のデータの種類と精度を、事業内容①で実施する数値解析・基礎調査・実証試験の結果を解析することで明確化・可視化して、ポテンシャル評価手法を確立する。

b) 机上調査、現場調査、数値解析手法等、異なる調査方法によるポテンシャル評価結果への影

響度を把握する。目標は、流水熱利用型システムの設計と普及に資するポテンシャル評価手法と導入適地マッピング技術の確立である。

表Ⅱ(2.4)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	細目	最終目標	目標レベル設定の根拠
①流水熱利用型熱交換器の研究開発	開発仕様の検討	システム全体の設置コストをボアホールなど従来工法と比較して、20%以上削減する	熱交換器の採放熱性能を水路実験や数値モデルで明らかにし、設置場所において最適な採放熱特性を発揮する熱交換器形状と設置方法を確立する。
	a) 流水路内設置型熱交換器の開発、モデル化		
	b) 地下水流動地盤内設置型熱交換器の開発、モデル化		
	c) 流水路内設置型熱交換器の農業用水路への設置方法の研究開発		
②ヒートポンプシステムの運用最適化手法の開発	a) ヒートポンプ運転最適化のための負荷制御法の開発	a) 低負荷率でのシステムCOP向上に着目した負荷側制御法を開発、水熱源と空気熱源ヒートポンプとのハイブリッドシステムの最適制御方法を開発し、運用コスト20%以上削減する。	地中熱ヒートポンプシステム運用コストを低減する。
	b) 不凍液不使用熱源制御法の開発	b) 不凍液不使用HPの適用範囲を明確にする。	
③流水熱利用型熱交換器の導入適地マッピング技術の開発	a) 水理地質調査に基づく資源量評価	流水熱利用型システムの設計と普及に資するポテンシャル評価手法と導入適地マッピング技術を確立する。	地中熱（浅層地下水）、湧水、農業用水を熱源とし、熱源毎に導入可能性評価に必要な地下水流速、水温等のデータ種類と精度を明確化・可視化する。
	b) ポテンシャル評価手法及びマッピング技術の開発		

### (2.4.3)事業スケジュール

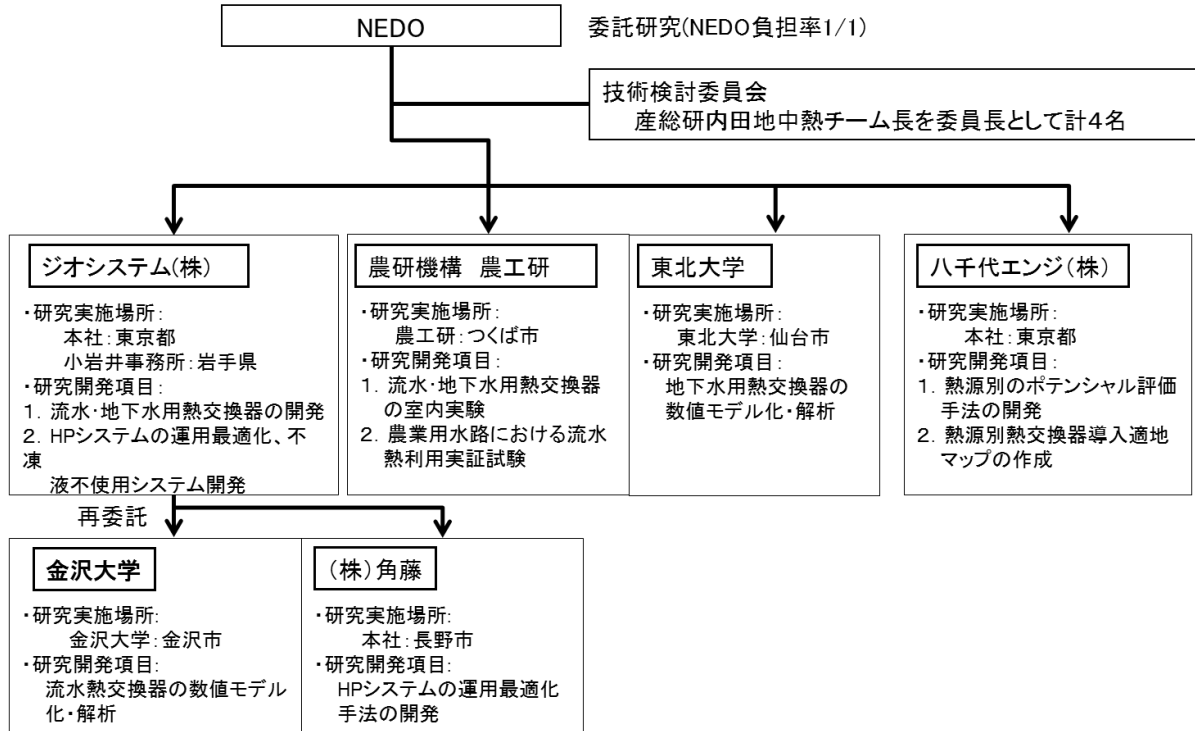
本事業の研究期間は、平成26年7月24日より平成31年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(2.4)-2に示す。

表Ⅱ(2.4)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①流水熱利用型熱交換器の研究開発			流水熱交換器の開発										流水熱交換器の他熱源への適用							
					扇状地・用水路での実証試験															
②ヒートポンプシステムの運用最適化手法の開発			ヒートポンプ運用最適化										適用拡大							
					不凍液不使用システム制御手法の開発															
③流水熱利用型熱交換器の導入適地マッピング技術の開発			導入適地ポテンシャル評価手法開発									実設計への適用								
			導入適地マッピング技術の開発									他熱源のポテンシャル手法開発								



(2.4.4)研究開発の実施体制



(2.4.5)研究開発の運営管理

表 II (2.4)-3 「地中熱・流水熱利用型クローズドシステム技術開発」検討委員会

ジオシステム株式会社  
 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
 国立大学法人東北大学未来科学技術共同研究センター  
 八千代エンジニアリング株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	内田 洋平	産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム チーム長
委員	島地 英夫	東京都農林総合研究センター 研究企画室
委員	山本 雄二	NPO 法人 地中熱利用促進協会 理事
委員	手計 太一	富山県立大学 工学部環境工学科 准教授

所属は、委員会組織時点のもの

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### (2.4) 地中熱・流水熱利用型クローズドシステム技術開発

##### 【成果概要】

地中熱利用のコスト削減のため、以下の通り、流水熱と浅層地下水熱の利用促進に関する熱交換器の開発や、ポテンシャル評価手法の研究開発を実施し、当初予想した成果を得ることができた。しかし、ヒートポンプ運用最適化により COP を向上させて運用コストを 20%削減する目標は、若干達成できていない。今後、本プロジェクトで得られた成果を実物件に適用し、普及に努める予定である。

##### 【項目別成果】

##### 1) 流水熱交換器の開発

農業用水熱などの流水熱利用に適した熱交換器を開発するため、農研機構の実験棟に流水路（長さ 15m、高さ 1.6m、幅 1.6m）を設置し、室内実験で性能を評価した。熱交換器は長さ 5.6m、高さ 0.9m の平板形状のものを使用した。同時に数値モデルによる性能評価も実施した。熱交換器の性能を実証するため、都内の用水路に熱交換器を設置し、農業ハウスの空調熱源として利用した。結果、設置コスト 20%削減できている。

##### 2) 浅層地下水熱交換器の開発

浅層地下水熱のクローズドループ利用に適した熱交換機を開発するため、農研機構の実験棟に地下水流動を再現する水槽（長さ 4.1m、高さ 1.8m、幅 1.0m）を構築し、内部に直径 0.9m、高さ 1.2m の熱交換器を設置して熱交換性能を評価した。同時に数値モデルによる性能評価も実施した。この熱交換器を、黒部川扇状地の浅層地下水中に埋設し、事務所の空調熱源として利用した。結果、設置コスト 20%削減できた。

##### 3) ヒートポンプの運用最適化手法の開発

ヒートポンプの運用コスト低減のため、低負荷率での効率向上に着目した負荷制御法を開発した。また、地中を循環する熱媒に不凍液を使用しない地中熱ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプのハイブリッド運転制御方法を開発し実証試験を実施した。ヒートポンプの COP4~7%改善の結果を得た。

##### 4) 導入適地マッピング技術の開発

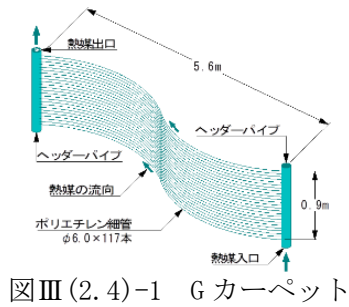
浅層地下水および農業用水について、熱利用の導入適地評価のパラメータである飽和 不飽和、流速、水温等について、モデル地域において現地調査や数値解析により面的に推計した。さらに、実証試験の結果を踏まえ、これらのパラメータから熱交換量を算出するポテンシャル評価手法を確立するとともに、GIS を用いて導入適地マップを作成した。

##### 5) 未利用熱交換器の開発

未利用熱として、ため池、排水槽、海水、湖水、小水力発電利用水等の熱利用に適した運搬、設置、メンテナンス性に優れ、安価な熱交換器を開発した。熱交換器の形状は、平板型、円筒型の 2 種類である。

##### 6) 未利用熱ポテンシャルマッピング技術の開発

未利用熱の一つである湧水について、農業用水のポテンシャル評価手法を基に、湧水の特徴を考慮した導入適地（ポテンシャル）マッピング技術を開発した。また、導入適地マップが多くの方に利用されるよう、WEB ブラウザで起動する情報提供ツールを開発した。



図Ⅲ(2.4)-1 Gカーペット



図Ⅲ(2.4)-2 導入適地マッピング

表Ⅲ(2.4)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌等へ の掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	6件	0件	1件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	5件	0件	1件
H29FY	0件	0件	0件	0件	0件	5件	0件	1件
H30FY	1件	0件	0件	2件	0件	4件	0件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(2.4)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
1. 流水熱交換器の開発・実証試験	流水熱利用に適した熱交換器の開発と性能評価	想定した熱交換性能、施工性、設置コストを確認 流水熱交換器はボアホールの約50%で導入可能と確認。システム全体では、熱交換器とHPのコストを同等と仮定すると、設置コストは、ボアホールを使用したシステムと比較して約25%削減を確認。	○
2. 浅層地下水熱交換器の開発・実証試験	浅層地下水熱利用に適した熱交換器開発と性能評価	想定した熱交換性能、施工性、設置コストを確認。浅層地下水熱交換機としてのフレコン熱交換器の設置コストは、ボアホールの約50%で導入可能であることを確認。システム全体では、熱交換器とHPのコストを同等と仮定すると、設置コストは、ボアホールを使用したシステムと比較して約25%削減を確認。	○
3. ヒートポンプの運用最適化	HP運用最適化と、不凍液不使用制御法開発	不凍液不使用制御は達成、運用最適化は7割	△
4. 導入適地マッピング技術の開発	ポテンシャル評価手法およびマッピング技術の確立(浅層地下水・農業用水)	精度と簡便性のバランスの取れた導入適地マッピング技術の確立(浅層地下水・農業用水)	○
5. 未利用熱交換器の開発	未利用熱源の調査と熱交換器の開発	未利用熱の採放熱量と最適熱交換器形状確認 熱交換ユニットは水を強制攪拌するためのエアレーション機構を搭載し、既存の樹脂製投げ込み式熱交換器と比べて熱交換性能を約6倍に高めた。また、多数細管構造の熱交換器を採用し、既存の樹脂製熱交換器と比べて循環水の圧力損失を約1/10に抑え、流水からの安価な熱回収を実現した。	○

6. 未利用熱マッピング技術の開発	ポテンシャル評価手法の確立（湧水）およびマッピング技術の精度向上（農業用水）、情報提供ツールの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精度と簡便性のバランスの取れた導入適地マッピング技術の確立（湧水）</li> <li>・水温の年による違いを踏まえたマッピング技術の精度向上（農業用水）</li> <li>・ユーザーが利用しやすく自治体が導入しやすい導入適地情報提供ツールのソフトウェア作成</li> </ul>	○
-------------------	---------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

#### IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発では、浅層地下水熱、流水路熱、未利用熱の利用に関し研究開発を進めてきたが、ユーザーの認知度は低く、今後、積極的な広報活動や提案が必要である。本テーマで開発した未利用熱熱交換機は、従来の投込み式熱交換器と比較し、コストパフォーマンスを上げることができた。今後、熱交換器の認知度向上、利用方法の広報、製造/販売体制の確立が必要である。また作成した各種熱源の導入適地マップについての地方自治体のニーズを把握するとともに、情報提供ツールを含めたマップ作成のメリットを提案する必要がある。

## 個別テーマ(2.5)

### (2.5)地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発

委託先:株式会社日建設計総合研究所  
公立大学法人名古屋市立大学

## II. 研究開発マネジメントについて

### (2.5.1)背景と目的

地中熱ヒートポンプの普及促進を図るためのシステムシミュレーションの開発を行う。本開発システムシミュレーションツールによって、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ることを目的とする。更に、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熱源のトータルシステムシミュレーションを行うことができるツールを開発する。これにより、設計建物への地中熱ヒートポンプの導入検討・採用する建物数が増加することが期待される。年間のシステムシミュレーションによる最適な機器容量の算定で、過大な設備容量の機器の導入の抑制によるインシヤルコスト削減が可能である。

本開発システムシミュレーションツールを、運用時の性能検証にも活用し、最適な運転条件を検討できるツールとすることで運用時のランニングコスト削減する。

### (2.5.2)研究開発の概要

地中熱ヒートポンプ及び設計建物に導入される全ての空調熱源システムを組み込んだ建物空調熱源トータルシステムシミュレーションツールを開発する。開発ツールは、設備設計者が設計時に使用すると共に、同じツールを運用後の性能検証にも活用できるものとする。開発ツールは、以下の検討が可能ツールとする。空調熱源トータルシミュレーションツールは、LC EMツール（国土交通省 大臣官房 官庁営繕部）をベースに開発する。熱源の運転パターンを設定し、年間空調エネルギー消費量の算出が可能であると共に、各種の運転パターンの比較を行い、最適な運転パターンの提示ができるものとする。設計者が使用するためのユーザーインターフェースの開発を行う。

以下に研究開発内容を示す。

#### ①既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査

地中熱ヒートポンプ熱源機器の既存製品のラインナップ、性能特性の調査を行う。シミュレーションのモジュールとするためには、機器の定格性能だけでなく、部分負荷効率（負荷率毎の効率、消費電力、出力）などが必要であるため、これらの調査を行う。必要に応じて、メーカーへの試験を依頼する。

性能特性調査の主な調査項目を以下に示す。

- ・ 定格能力（冷却時） [kW]
- ・ 定格能力（加熱時） [kW]
- ・ 定格COP（冷却時）
- ・ 定格COP（加熱時）
- ・ 定格冷温水流量（冷却時） [L/min]
- ・ 定格冷温水流量（加熱時） [L/min]
- ・ 定格熱源水流量（冷却時） [L/min]
- ・ 定格熱源水流量（加熱時） [L/min]
- ・ 消費電力（冷却時） [kW]
- ・ 消費電力（加熱時） [kW]

#### ②既往地中熱交換器調査（NSRI）

地中熱交換器の既存製品のラインナップ、性能特性の調査を行う。熱交換器方式の分類毎に性能特性を整理し、シミュレーションのモジュールとするための基礎情報とする。

主な熱交換器方式の分類を以下に示す。

- ・ ボアホール方式(Uチューブ型、二重管型)

- ・基礎杭方式(場所打ち杭、既製杭)
- ・水平ループ方式

性能特性調査の主な調査項目を以下に示す。

- ・一次側流量、二次側流量
- ・一次側(流体)HEX入口水温、一次側(流体)HEX出口下限水温、二次側流体HEX設定出口温度
- ・冷温水還温度
- ・熱交換量

### ③ L C E M地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発

L C E M地中熱ヒートポンプ熱源モジュールを作成する。既存製品のラインナップを概ね網羅するモジュールを作成することを目的とする。

地中熱ヒートポンプの分類毎に、地中熱ヒートポンプのモジュールを作成する。既存の機器・容量毎に各機器の特性(定格性能や部分負荷性能等)と一致するように各種特性を設定し、各機器(容量別)のモジュールを作成する。

主な地中熱ヒートポンプの分類：水-水ヒートポンプ、水-空気ヒートポンプ

### ④ L C E M地中熱物性取得モジュールの開発 (北海道大学)

北海道大学が開発中の地点、深度ごとの地質、熱物性値、及び水理特性からなる3次元地盤・地下水データベースを、本事業で開発する空調熱源トータルシステムシミュレーションツールに活用するための、Microsoft Excelベースの入力モジュールを開発する。

### ⑤ L C E M地中熱交換器の熱交換計算手法の構築

地中熱交換器の熱収支計算、及び任意配置で複数埋設した地中熱交換器に対する地中温度の計算ロジックを、L C E Mツールに組み込むための計算手法を構築する。地中熱交換器の熱収支計算の計算ロジックは、既往のプログラム(Ground Club)で使用している計算ロジックを活用し、Microsoft Excelで作動させるためのプログラムを作成する。また、計算を高速化させるための改良を実施する。

### ⑥ L C E M地中熱熱交換器モジュールの開発 (名古屋市立大学、NSRI)

L C E Mの地中熱交換器モジュールを作成する。前項の熱交換器熱交換計算手法を導入し、単体及び複数埋設の熱交換器での計算を可能な、既存の熱交換器方式を概ね網羅するモジュールとする。モジュールは、システムの企画・設計段階に適するマクロな計算手法を用いるマクロモジュール、施工・運用段階に適するミクロな計算手法を用いるミクロモジュールに分けて開発を行う。マクロな計算手法は、地中の熱交換特性を深さ方向で一定とし、代表点での計算とする手法である。ミクロ手法は、地中の熱物性値を深さ方向で、それぞれ設定し、地中熱交換器との熱収支計算も、深さ方向の熱物性値の違いを考慮して計算する手法である。

### ⑦ 空調熱源トータルシステムの開発

前項までに開発した地中熱ヒートポンプモジュール(地中熱ヒートポンプ熱源モジュールと熱交換器モジュール)を含む主要な空調熱源システムを組み込むことができる空調熱源システムシミュレーションツールを作成する。地中熱ヒートポンプの他、空冷ヒートポンプ、ターボ冷凍機、冷温水発生機など、主要な空調熱源を組み込むことができるツールとする。

### ⑧ 既往ツールとの比較

空調熱源トータルシステムシミュレーションツールと既往のシミュレーションツールによるヒートポンプシステムのエネルギー消費量を計算する。エネルギー消費量の計算結果が同等となることを確認する。Ground Club、平成25年省エネ基準Webプログラムを既往ツール想定し、基本的な同一条件にて、各ツールでの計算を行い、比較検討する。

### ⑨ 実測値との比較

既往の地中熱ヒートポンプシステムの実測データを利用し、空調熱源トータルシステムシミュレーションツールによるヒートポンプシステムのエネルギー消費量計算値の検証を行う。検討対

象の実測地として、事務所ビル(東京都、東北地方)などのデータを活用予定とする。

⑩ユーザーインターフェースの開発 (参考)

設備設計者だけでなく、建築設計者などへの利用も想定して、簡易に設定を行うことができるユーザーインターフェースを開発する。熱源機器の種類、台数、能力等の変更のみで、設計建物の全体システムの構築と一次エネルギー消費量等の計算が実施できるユーザーインターフェースを作成する。また、計算結果を分かりやすく表示する画面を作成する。

⑪既往設計手法との比較

既存の計算手法と本ツールについて、機能・操作性・多様性・一般性を比較する。その上で、既存の設計手法で計算した結果と空調熱源トータルシステムシミュレーションツールで算出した結果を比較し、設備容量、消費エネルギーについて、手法による違いについて比較検討する。検討結果を基に、イニシャルコスト削減効果及びランニングコスト削減効果を算出する。

表Ⅱ (2.5)-1 研究開発目標と根拠

開発項目	目標	目標レベル設定の根拠
①既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査	主要な全熱源機器の性能特性を把握、調査結果のデータベースを構築	より多くの建物に対応するため既存の主要な全機種を調査対象とした。
②既往地中熱交換器調査	主要な全地中熱交換器の性能特性の調査を行う	より多くの建物に対応するため既存の主要な全種類を調査対象とした。
③LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発	主要な全熱源機器の熱源モジュールを作成する。	より多くの建物に対応するため既存の主要な全機種を調査対象とした。
④LCEM用 地中熱物性取得モジュールの開発	全国主要平野(石狩、大阪、仙台、関東、濃尾、福岡)のモジュールを作成	建設地を問わず検討を可能とするため全国を作成対象とした。
⑤LCEM地中熱 熱交換器熱交換計算手法の構築	代表的な8種類の熱交換器のLCEMに適応可能な熱交換器計算手法構築、計算手法の高速化を実施	主要な熱交換器の種類が8種類程度であるため、この全種類の作成を目標とした。
⑥LCEM地中熱 熱交換器モジュールの開発	主要な全熱交換器方式のモジュール作成	より多くの建物に対応するため既存の主要な全方式を作成対象とした。
⑦空調熱源トータルシステムの開発	地中熱ヒートポンプモジュールと主要なその他の熱源を組み合わせたシステム構築が可能なツール作成	より多くの建物に対応するため、その他の主要な熱源と組み合わせることができることとした。
⑧既往ツールとの比較	主要な地中熱ヒートポンプモジュール(4機種)程度で、既往ツールとの比較を実施。エネルギー消費量で5%以内の精度を目標	LCEMツールは高い精度での計算が可能であるため、目標精度も5%以内の高い目標とした。
⑨実測値との比較	実測値(5件以上)と実測値の比較を実施。エネルギー消費量5%以内の精度を目標	LCEMツールは高い精度での計算が可能であるため、目標精度も5%以内の高い目標とした。
⑩ユーザーインターフェースの開発	設計者が簡易に操作できるユーザーインターフェースを構築	開発ツールの利用者は、設計者を想定しているため、設計者が簡易に操作できることを目標とした。
⑪既往設計手法との比較	モデル建物で既存の計算手法と本ツールでの設計を実施して比較。イニシャルコスト、ランニングコスト20%削減を目標	普及を推進するためには20%削減が必要レベルと想定した。

(2.5.3)事業スケジュール

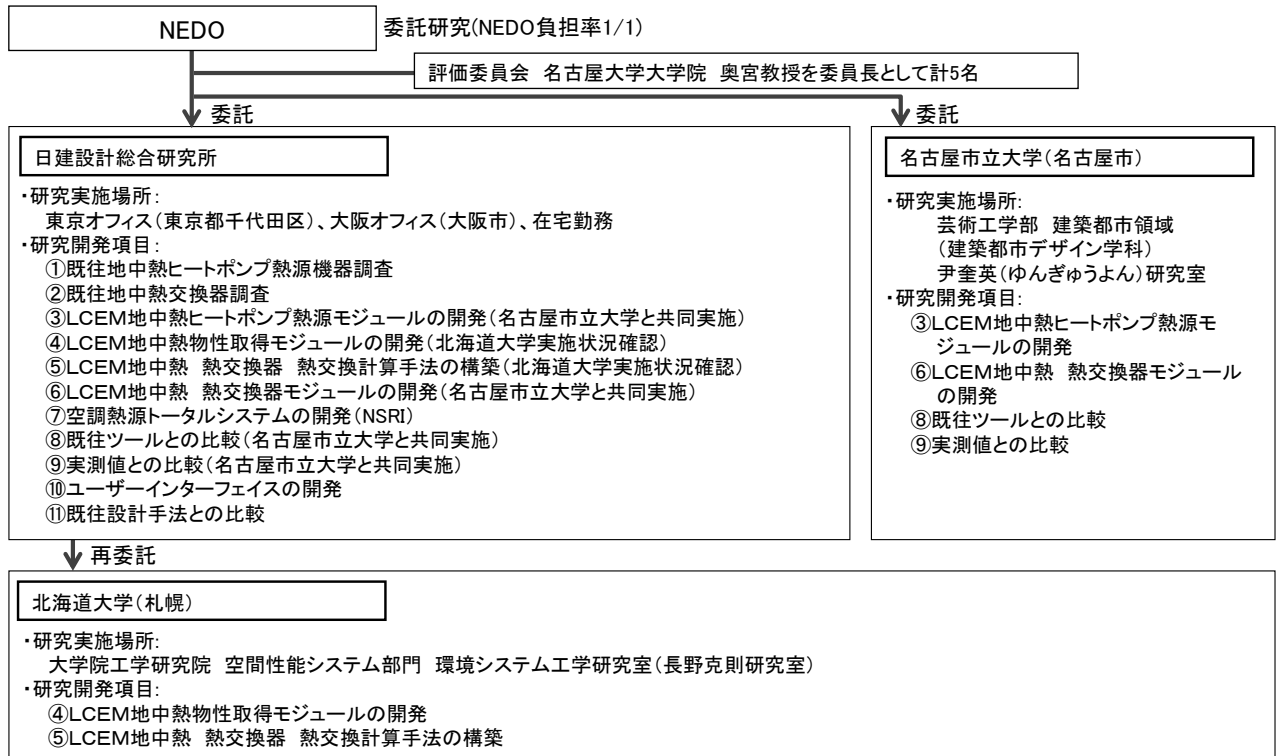
本事業の研究期間は、平成26年7月24日から平成29年3月20日までである、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(2.5)-2に示す。

表Ⅱ(2.5)-2 研究開発スケジュール

事業項目	H27年度				H28年度				H29年度(予定)				H30年度(予定)							
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q				
①既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査	→												→							
②既往地中熱交換器調査	→												→							
③LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発					→															
④LCEM地中熱物性取得モジュールの開発			→												→					
⑤LCEM地中熱 熱交換器 熱交換計算手法の構築			→																	
⑥LCEM地中熱 熱交換器モジュールの開発			→																	
⑦空調熱源トータルシステムの開発			→												→					
⑧既往ツールとの比較					→						→				→					
⑨実測値との比較					→						→				→					
⑩ユーザーインターフェイスの開発									→											
⑪既往設計手法との比較					→						→				→					



(2.5.4)研究開発の実施体制



(2.5.5)研究開発の運営管理

表 II 2. 5-3 地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発 「地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発」評価委員会  
株式会社日建設計総合研究所  
公立大学法人名古屋市立大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	奥宮 正哉	国立大学法人名古屋大学 大学院環境学研究科 教授
委員	笹田 政克	NPO法人地中熱利用促進協会 理事長
委員	時田 繁	一般社団法人公共建築協会 理事
委員	赤司 泰義	東京大学大学院工学研究科建築学専攻 教授

所属は、委員会組織時点のもの

Ⅲ. 研究開発成果について

(2.5)地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発

【成果概要】

情報収集調査から始めた研究開発では、シミュレーションツールの要素開発と、ユーザーインターフェースの開発を完了した。また、実績や他のツールとの比較による精度検証を実施し、既往設計手法との比較では、既往設計手法での設計方法の整理を行った。モデル建物を設定し、従来の設計手法での設計とコスト試算を実施し、一定条件下におけるインisialコスト、ランニングコスト 20%削減目標を達成した。

【項目別成果】

(1) 既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査

既往の地中熱ヒートポンプ機器調査では、各社のラインナップをHP等で調査。メーカーへのヒアリングとHP調査により、最終的に11社の性能特性の情報を収集。主要な76機種程度の性能特性の情報を入手、整理した。

(2) 既往地中熱交換器調査

既往の地中熱交換器調査では、10社（101種類）の地中熱交換器のラインナップをHPにて調査。メーカーへのヒアリング及びHP調査により、主要メーカーの性能特性情報を収集、整理した。

(3) LCEM 地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発

LCEM 地中熱ヒートポンプモジュールの開発では、熱源モジュールのエネルギー消費量計算ロジックの考え方を検討した。機器特性の調査結果を用いて、検討した計算ロジックに従い熱源機器モジュールの作成を完了した。

(4) LCEM 用地中熱物性取得モジュールの開発

LCEM 用地中熱物性取得モジュールの開発では主要平野を含む全国を網羅するデータベースを完成した。

(5) LCEM 地中熱交換器 熱交換計算手法の構築

LCEM 用地中熱熱交換器熱交換計算手法の構築では、ボアホール型（ダブル・シングルUチューブ）、二重管型、PHC杭（水充填・個体充填）、鋼管杭（水充填・個体充填）、場所打ち杭、水平チューブの9種類の地中熱交換器のLCEMに適用可能な温度計算手法を構築した。

(6) LCEM 地中熱 熱交換器モジュールの開発

LCEM 地中熱熱交換器モジュールの開発では、計算手法を構築した9種類の熱交換器のLCEM 地中熱交換器のモジュールの開発を行った。

(7) 空調熱源トータルシステムの開発

空調熱源トータルシステムの開発では、地中熱ヒートポンプモジュールと冷温水発生機、空冷ヒートポンプ、ターボ冷凍機等を組み合わせたトータルシステムを構築した。

(8) 既往ツールとの比較

既往ツールとの比較では、6物件（4種類）での既往ツールの計算を完了。全てにおいて計算精度5%以内であることを確認した。

(9) 実測値との比較

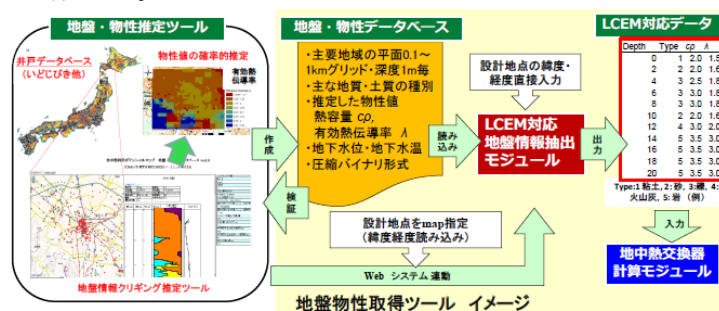
実測値との比較では、実測建物の熱源に基づく計算値を比較。両社の年間のエネルギー消費量の差異は2.2%を確認した。この他、熱交換器モジュール6施設の比較を実施した結果、3件は目標達成。残りの3件については、誤差が大きくなったが、現地の横引き配管が長いことによる影響や、地盤物性値が計算値より良い値となっている可能性が高いことなどが原因と思われる。ただし、LCEMの計算結果の方が安全側で試算されたため、実用上は問題ないと判断する。

(10) ユーザーインターフェースの開発

ユーザーインターフェースの開発では、開発した地中熱源モジュール、熱交換器モジュールを追加したトータルシステムを簡易に構築するツールとしての、ユーザーインターフェースの作成を完了した。

(11) 既往設計手法との比較

既往設計手法との比較では、既往設計手法での設計方法の整理を完了。モデル建物を設定し、従来の設計手法での設計とコスト試算を実施し、一定条件下におけるイニシャルコスト、ランニングコスト20%削減目標を達成した。



図Ⅲ(2.5)-1 平均有効熱伝導率データベースおよび地中熱物性取得モジュールのフロー

表Ⅲ(2.5)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件
H29FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[結果の最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(2.5)-2 成果の最終目標の達成可能性  
※達成状況[◎大きく上回って達成 ○:達成 △:一部達成 ×:未達成]

事業項目	現状	最終目標	達成度
①既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査	主要な熱源機器の性能特性を把握、調査結果のデータベースを構築	各社ラインナップをHP等で調査。メーカーへのヒアリングとHP調査により、最終的に11社の性能特性の情報を収集。主要な76機種程度の性能特性の情報を入手。主要な全熱源機器の性能特性を把握。	○
②既往地中熱交換器調査	主要な地中熱交換器の性能特性の調査を行う	10社(101種類)の地中熱交換器のラインナップをHPにて調査。メーカーへのヒアリング及びHP調査により、主要メーカーの性能特性情報を収集。	○
③LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発	主要な熱源機器の熱源モジュールを作成する。	熱源モジュールのエネルギー消費量計算ロジックの考え方を検討した。機器特性の調査結果を用いて、検討した計算ロジックに従い熱源機器モジュールの作成を完了。	○
④LCEM用 地中熱物性取得モジュールの開発	全国主要平野のモジュールを作成	主要平野を含む全国を網羅するデータベースを完成した。	○
⑤LCEM地中熱熱交換器 熱交換計算手法の構築	代表的な8種類の熱交換器のLCEMに適用可能な熱交換器計算手法構築、計算手法の高速化を実施	ボアホール型(ダブル・シングルUチューブ)、二重管型、PHC杭(水充填・個体充填)、鋼管杭(水充填・個体充填)、場所打ち杭、水平チューブの9種類の地中熱交換器のLCEMに適用可能な温度計算手法を構築した。	○
⑥LCEM地中熱熱交換器モジュールの開発	主要な全熱交換器方式のモジュール作成	汎用性の高い熱交換器の種類を整理し、開発を行う熱交換器を検討した。主要な全熱交換器に対して、地中熱交換器のモデル化を行った。	○
⑦空調熱源トータルシステムの開発	地中熱ヒートポンプモジュールと主要なその他の熱源を組み合わせたシ	地中熱ヒートポンプモジュールと冷温水発生機、空冷ヒートポンプ、ターボ冷凍機等を組み合わせたトータルシステムを構築した。	○

	システム構築が可能なツール作成		
⑧既往ツールとの比較	主要な熱交換器（4機種）程度で、既往ツールとの比較を実施。エネルギー消費量で5%以内の精度を目標	6物件（4機種）での既往ツールの計算を完了。 1物件のみデータ欠損のため解析していないが、当初の目標4機種以上で5%以内の計算精度は達成した。	○
⑨実測値との比較	実測値（5件以上）と実測値の比較を実施。エネルギー消費量5%以内の精度を目標	実測建物の熱源に基づく計算値を比較。両社の年間のエネルギー消費量の差異は2.2%を確認した。この他、熱交換器モジュール6施設の比較を実施した結果、3件は目標達成。残りの3件については現地の横引き配管が長いことによる影響や、地盤物性値が計算値より良い値となっている可能性が高いことにより、LCEMの方が安全側で試算されたため、誤差が大きくなった。	△
⑩ユーザーインターフェースの開発	設計者が簡易に操作できるユーザーインターフェースを構築	開発した地中熱源モジュール、熱交換器モジュールを追加したシステムとし、ユーザーインターフェースの作成を完了した。	○
⑪既往設計手法との比較	モデル建物で既存の計算手法と本ツールでの設計を実施して比較。イニシャルコスト、ランニングコスト20%削減を目標	既往設計手法での設計方法の整理を完了。モデル建物を設定し、従来の設計手法での設計とコスト試算を実施、一定条件下におけるイニシャルコスト、ランニングコスト20%削減目標を達成した。	○

#### IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

事業終了後には、日建設計により成果の普及活動を計画しており、グループ会社内において、シミュレーションツールの計算結果を反映させた設計やエネルギー会社、デベロッパーへの地中熱ヒートポンプシステム等の最適運転検証業務を検討している。

## 個別テーマ(2.6)

### (2.6)都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

委託先:三菱マテリアルテクノ株式会社  
国立大学法人秋田大学  
日本ピーマック株式会社

## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

### (2.6.1)背景と目的

再生可能エネルギーの利用拡大には、電力に加え、地中熱、太陽熱、雪氷熱等の再生可能エネルギー熱利用も重要である。しかしながら、これらの熱の利用においては導入コストや運用コストが高いことが課題として挙げられる。特に、地中熱は、暖房主体の寒冷地（北海道や北東北）での導入事例が多く、冷房主体の温暖な地域では普及が遅れている。

そこで、本事業では、温暖地の代表格である「都市部」での地中熱の普及拡大を目的に、都市部で多数採用されているSMW工法(\*)と地中熱を組み合わせることで、導入コストの低減を行う。更に、運用コストの低減には、省エネ性能に優れる地中熱一体型エアコンと、コンパクトに補機類が収納されたポンプユニットを組み合わせることで、狭小な都市部での施工性にも配慮するものである。これらにより、コストのみならず施工での制約条件が最も厳しい、狭小な都市部でも導入可能な“低コスト型高効率地中熱利用システムの開発”を通じて、地中熱の普及が遅れる冷房主体の温暖な地域に展開していくことを目的としている。

本事業では、地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化として、「都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発」を実施する。

\*)SMW工法：地下水位が高い地域で地下建築物を施工する際、地下水の影響を排除する目的で開削工事前にSMW (Soil Mixing Wall) で連続土留壁を構築し遮水する工法。

### (2.6.2)研究開発の概要

新たな都市インフラ活用型地中熱交換システムを構築すべくSMW工法による「土留壁方式の開発」を行い、導入コスト20%低減を目指す。「地中熱一体型エアコンの改良」と、補機類（循環ポンプや膨張タンクなど）と制御を屋外パッケージ化した「ポンプユニットの開発」により、運用コストで20%低減を目指す。これらにより、狭小な都市部でも導入可能な低コスト型高効率地中熱利用システムの開発を行う。

#### ①土留壁方式の開発（担当：三菱マテリアルテクノ株式会社、ヒロセ株式会社、成幸利根株式会社、国立大学法人秋田大学）

土留壁方式は、以下の2つの特許工法をベースに、本事業の最終目標である導入コスト20%削減を目標に、フィールド試験と数値シミュレーションモデルの構築を通じて、施工手法、熱交換器の配置や設置間隔等について最適化を行う。

##### ・特許工法①「熱交換器後入れ工法」:

保護管を建て込み後、保護管内に熱交換器を降下するヒロセ株式会社の特許工法。

図Ⅱ(2.6)-1中の①-1が特許工法、その改良型が①-2と①-3。

##### ・特許工法②「熱交換器同時挿入工法」:

H形鋼に熱交換器を直接取り付け降下する三菱マテリアルテクノ株式会社・成幸利根株式会社・中村土木株式会社の特許工法。

図Ⅱ(2.6)-1中の②-1が特許工法、改良型が②-2と②-3。

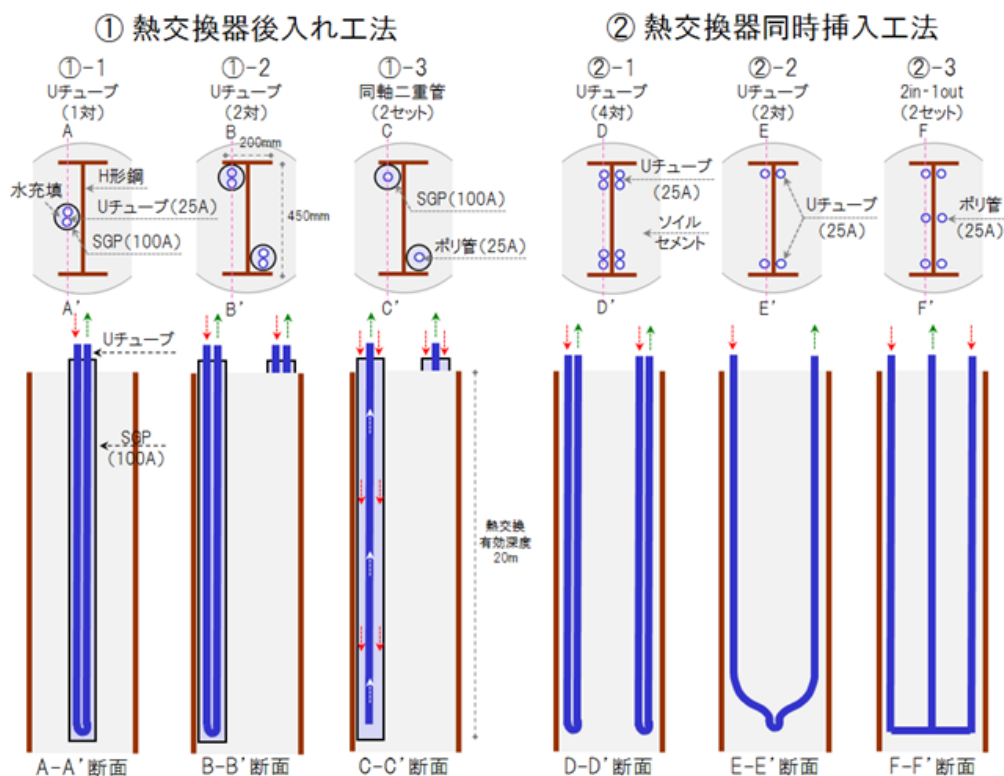


図 II (2.6)-1 土留壁方式地中熱利用システム

研究開発の役割分担は、試験フィールド構築を再委託先であるヒロセ株式会社と成幸利根株式会社を中心となり実施し、サーマルレスポンス試験 (TRT) 実施や取得データ整理・解析を三菱マテリアルテクノ株式会社が実施。数値シミュレーションモデル構築と、熱交換器の配置や設置間隔の最適化を秋田大学が担当する。4 者にて、土留壁方式の開発を目指した。なお、試験フィールドは借地のため、事業終了時に地中熱交換器等を撤去するため、以下の解体研究を実施する。

通常的地中熱利用の場合、土中埋設のため酸化により H 型鋼や保護管等の鋼材は、腐食し易い環境下となるが、土留壁方式の場合、ソイルセメント中に埋設され、アルカリ性のため、鋼材等が腐食し難い環境下にある。これらを検証するために、フィールド試験終了後には撤去時に解体研究を実施し、鋼材類の腐食状況を目視にて確認する。観察内容は、鋼材に発生した孔蝕及びその他の腐食兆候の有無とし、それらの観察結果を埋設深度との関係で記載し、評価する。この解体研究を通じて、鋼材類が腐食していないことを確認できれば、土留壁方式における熱交換部材に直接鋼材を活用できることが示される。なお、このような解体研究を地中熱利用で行われた事例は存在しない。

## ②地中熱一体型エアコンの改良 (担当：日本ピーマック株式会社)

地中熱一体型エアコンの、更なる地中熱利用(クローズドループ)への適合に向け、現行機種を改良し、ポンプユニットを組み合わせることで、運用コスト 20%低減を目指す。

地中熱一体型エアコンへのプレート型熱交換器の適用、地中熱交換器出入口の温度差を一定にする制御方法、フリークーリングコイルの適用等、以下の項目について設計を実施し、運用コスト低減効果を評価する。

- 1) 熱交換器の変更(二重管→プレート式)による COP の向上
- 2) 熱源水変流量(温度差一定制御)対応による SCOP の向上
- 3) 熱源水大温度差(例えば 6~7°C)対応による SCOP の向上
- 4) フリークーリングコイルの追加による中間期の COP 向上
- 5) ブライン対応への改良に伴う、寒冷地市場等への対応

上記で有効と判断された改良事項を地中熱一体型エアコン試験機に組み込み、製作し、工場にて性能確認試験を実施する。この試験を通じて、中間目標値(性能目標値)に対する達成度を検証

する。平成 29 年度には、平成 28 年度の工場性能試験結果に応じて、地中熱一体型エアコン試験機の改良を実施する。

地中熱一体型エアコン試験機を試験フィールドの冷暖房試験室に設置し、実際に土留壁方式で構築した地中熱交換器とポンプユニット、地中熱一体型エアコン試験機を接続することで、暖房運転データ、冷房運転データを取得、評価し、地中熱一体型エアコン試験機を完成する。

③ポンプユニットの開発（担当：三菱マテリアルテクノ株式会社、日本ピーマック株式会社）

狭小な都市部でも導入し易くするためにインシヤルコストの低減、コンパクト化、機械室レス、現地施工期間の短縮を目的に以下の項目についてポンプユニットを設計開発する。

- 1) 補器類(熱源水ポンプ、膨張タンク、加圧給水ユニットなど)と制御を含めた屋外パッケージング化
- 2) ポンプユニットに内蔵された循環ポンプと地中熱一体型エアコンの連動制御とインバータ制御(温度差一定制御)の装備

設計開発したポンプユニット試験機を平成 28 年度に製作する。平成 29 年度には、土留壁方式で構築した地中熱交換器及び地中熱一体型エアコン試験機とポンプユニット試験機を接続し、試験フィールドに設置し、試運転調整を実施する。試運転調整結果に応じて、ポンプユニット試験機の改良を行う。

暖房運転データ及び冷房運転データを取得し、ポンプユニットを開発し、制御方法の確立及びポンプユニット試験機を完成する。

表Ⅱ(2.6)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	最終目標	設定根拠
①土留壁方式の開発	システムトータルで導入コスト20%削減	施工手法、熱交換器の配置や設置間隔等について最適化を行う。
②地中熱一体型エアコンの改良	地中熱一体型エアコン試験機を完成し、システムトータルで運用コスト20%削減。	地中熱利用への適合に向け、地中熱一体型エアコンを改良、ポンプユニットを組合せたシステムを構築する。
③ポンプユニットの開発	制御方法の確立及びポンプユニット試験機を完成	ポンプユニットに内蔵された循環ポンプと地中熱一体型エアコンの連動制御とインバータ制御(温度差一定制御)の組合せシステムを構築する。

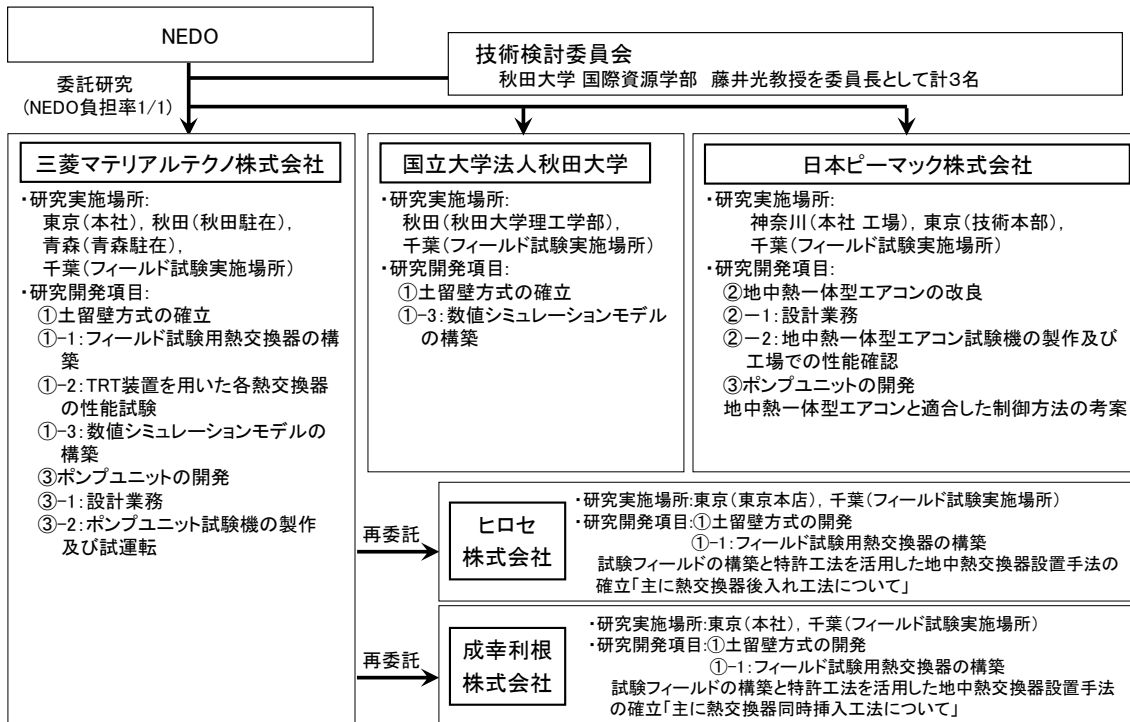
(2.6.3) 事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成28年1月26日から平成31年2月28日までである。主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(2.6)-2に示す。

表Ⅱ(2.6)-2 研究開発スケジュール

事業項目	平成27年度				平成28年度				平成29年度				平成30年度				
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
①土留壁方式の開発				地中熱交換器設置			TRT試験										
②地中熱一体型エアコンの改良					設計			開発									実証試験
③ポンプユニットの開発					設計			開発									実証試験

(2.6.4) 研究開発の実施体制



(2.6.5) 研究開発の運営管理

表Ⅱ (2.6) -3 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

「都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発」検討委員会

三菱マテリアルテクノ株式会社  
 国立大学法人秋田大学  
 日本ピーマック株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	藤井 光	国立大学法人秋田大学 国際資源学部 教授
委員	大谷 具幸	国立大学法人岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 教授
委員	及川 喜代文	東京都市大学 工学部 建築学科 教育講師

所属は、委員会組織時点のもの

Ⅲ. 研究開発成果について

(2.3) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

【成果概要】

下記3項目の研究開発要素を組み合わせた都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発により、導入コストは、土留壁方式における熱交換器後入れ工法で22%、熱交換器同時挿入工法で29%削減と目標値(20%削減)を達成することができた。運用コストは、都市部で代表的な事務所ビル(東京)の負荷パターンを対象に数値シミュレーションモデルより行い、消費電力量の年間削減率(=運用コスト削減率)は30%となり、目標値(運用コスト20%削減)を達成することができた。

【項目別成果】

① 土留壁方式の開発

土留壁方式の地中熱交換器試験装置を構築し、TRT装置を用いた温水循環試験より、各地中熱交換器の性能評価を単位採放熱係数(長さ・温度差あたりの採熱量)より行った。土留壁方式の単位採放熱係数はボアホール方式より優れる結果となり、中間目標値(地中熱交換器設置工事で対ボアホール方式50%削減)を達成した。同様に温水循環試験結果より、土留壁方式の数値シ



ミュレーションモデルを構築し、地中熱交換器の配置や配管径等を感度計算から最適化した。本最適化要素と施工手法の改良により、ボアホール方式に対する地中熱交換器設置工事費を熱交換器後入れ工法で52%、熱交換器同時挿入工法で66%削減した。

②地中熱一体型エアコンの改良

地中熱一体型エアコンの改良は、水熱交換器の変更、送風機の変更、圧縮機の変更、中間期COP向上のためフリークーリングコイルの追加を行った。現行機種と試験機の比較性能試験結果は最大負荷想定での中間目標の定格COP比10%向上に対し、冷房定格COP比18%向上、暖房定格COP比24%向上となり、部分負荷想定での中間目標の定格SCOP比15%向上に対し、冷房定格SCOP比16%向上となり、中間目標を達成した。地中熱一体型エアコン試験機による冷暖房試験より、冷房時のSCOPはほぼすべての期間で10以上を達成した。現行機に対する試験機の消費電力削減率は冷房試験で41%、暖房試験で20%であった。

③ポンプユニットの開発

ポンプユニット(PU)は、循環ポンプのインバータ制御を通じて消費電力を削減し、補器類・計測装置・制御盤等を屋外仕様でパッケージング化することで、機械室レスの実現と省スペース化を実現できる。設計業務ではPUにより、42%の省スペース化(対機械室内設置実績)に繋がることを確認した。PU試験機による冷暖房試験より、循環ポンプのインバータ制御は、冷房運転のみに有効との結果を得た。PU単体(循環ポンプ単体)での消費電力削減効果は、暖房運転では同等でも冷房運転で57%と大きな削減効果があり、暖房負荷が冷房負荷を大幅に上回った試験フィールドでも年間21%削減を達成した。

表Ⅲ(2.6)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	4件	1件	0件
H29FY	0件	0件	0件	0件	2件	2件	2件	0件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	1件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.6)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○:達成 △:一部達成 ×:未達成]

開発項目		目標	成果	達成状況
①土留壁方式の開発	①-1 フィールド試験用 熱交換器の構築	土留壁方式全6パターン の地中熱交換器から熱源水ヘッダまでの「地中熱交換器試験装置」の設置	土留壁方式全6パターンを試験フィールドに設置 上記試験施工を通じて土留壁方式施工手法の改良を行い、工事費試算に反映	○
	①-2 サーマルレスポンス試験 (TRT)装置を用いた 各熱交換器の性能試験	地中熱交換器試験装置を対象に性能試験を実施し、地中熱交換器設置工事費で対ボアホール方式50%削減	地中熱交換器設置工事費(横引配管含む)を対ボアホール方式で、熱交換器後入れ工法では52%、熱交換器同時挿入工法では66%削減	○
	①-3 数値シミュレーション	TRTのデータを用いて、数値モデルによる地中	ヒストリーマッチングを通じて、土留壁方式	○

	モデルの構築	熱交換器周辺の熱移動シミュレーションを実施	の数値シミュレーションモデルを構築	
	①-4 数値シミュレーションによる最適化	地中熱交換器の配管径等の最適化を実施し、施工手法を含めた土留壁方式の経済的な最適設計を提案	熱交換器後入れ工法（同軸二重管）の直径比を最適化し、地中熱交換器設置工事費を最適化前より 10%削減 熱交換器同時挿入工法の熱交換器配置最適化により地中熱交換量 5%増加	○
②地中熱一体型エアコンの改良	②-1 設計業務	現行機種から以下を変更・追加 フリークーリングコイルの追加 水熱交換器の変更 送風機の変更 高効率圧縮機に変更 熱源水変流量への対応	左記の変更・追加により COP の向上に寄与する機器選定や配置を行い、設計業務を完了	○
	②-2 地中熱一体型エアコン試験機の製作及び工場での性能確認	最大負荷を想定した工場性能試験で、定格 COP 比 10%向上 部分負荷を想定した工場性能試験で、定格 SCOP 比 15%向上	最大負荷を想定した工場性能試験より、冷房定格 COP 比 18%向上、暖房定格 COP 比 24%向上、平均 21%向上を達成 部分負荷を想定した工場性能試験より、冷房運転時 SCOP 比 16%向上 ※上記 SCOP はポンプの消費電力を現行機種と同じとし、試験機単体での効果を推計したものの工場性能確認より負荷率および水温変動時の性能を明らかにした	○
	②-3 地中熱一体型エアコン試験機を用いた冷暖房試験	試験フィールドでの冷暖房試験を通じて、現行機種に対する 20%以上の SCOP 向上（ポンプユニットの開発と連携）	現行機に対する試験機の消費電力削減率（＝SCOP 向上）は、冷房試験で 41%、暖房試験で 20%を達成 ※消費電力削減率試算における比較対象は、現行機が計算値、循環ポンプはインバータ制御なし (ON/OFF 運転のみ)	○

③ポンプユニットの開発	③-1 設計業務	補器類（熱源水ポンプ、膨張タンク、加圧給水ユニットなど）と制御を含めた屋外パッケージング化 ポンプユニットに内蔵された循環ポンプと地中熱一体型エアコンの連動制御とインバータ制御の装備	屋外パッケージング化により 42%の省スペース化（対機械室内設置実績）を実現 事務所ビル（東京）の負荷パターンを対象に、循環ポンプ INV 制御による消費電力削減効果を試算	○
	③-2 ポンプユニット試験機の製作及び試運転	工場検査と試験フィールドでの試運転を通じて、試験機を改良	ポンプユニット試験機の設計・製作・工場検査を完了し、試験フィールドに設置 試運転を通じて各試験機との連動運転を確認	○
	③-3 ポンプユニット試験機を用いた冷暖房試験	試験フィールドでの冷暖房試験を通じて、制御方法の確立 循環ポンプインバータ制御により、インバータ制御なしの場合に比べ、20%以上の SCOP 向上（地中熱一体型エアコンの改良と連携）	変流量制御用信号に応じた制御、出入口温度差一定制御、末端差圧一定制御手法を確立 冷暖房試験結果より、循環ポンプのインバータ制御は冷房運転のみに有効 循環ポンプインバータ制御による消費電力削減効果は、暖房運転では同等でも冷房運転で 57%と削減効果が大きく、年間 21%削減を達成	○

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発の成果である土留壁方式は、SMW 工法と地中熱利用の融合技術であり、特に、当工法が多数適用されている関東、関西等の都市部を中心に実用化が見込める。また開発したポンプユニットを用いると、現地施工が熱源水ヘッダとポンプユニット、ポンプユニットとヒートポンプの接続のみで完了することから、施工を簡略化でき、実用化が期待される。これらを組み合わせた都市インフラ活用型地中熱利用システムとして提案することで地中熱利用の拡大を目指す。



## 個別テーマ(2.7)

### (2.7) コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発

委託先: 国立大学法人北海道大学  
株式会社日伸テクノ  
鉱研工業株式会社  
株式会社イノアック住環境  
サンボット株式会社  
日鉄エンジニアリング株式会社  
ジーエムラボ株式会社

## II. 研究開発マネジメントについて

### (2.7.1) 背景と目的

NEDOの「再生可能エネルギー熱利用技術開発」基本計画に示されている通り、東日本大震災を受けて、我が国のエネルギー政策は根本から見直しされることとなり、再生可能エネルギーに対する国民の期待はこれまでにないほど高まっている。再生可能エネルギーの中でも地中熱については、他の再生可能エネルギーと比較して場所の制約が少ない、安定した供給が見込めるなどのメリットを有している。しかしながら、地中熱については地中熱交換器の設置コストやシステム全体の高効率化などに未だ課題を有しており、これを解決することが地中熱利用の普及拡大にとって必要不可欠となっている。

### (2.7.2) 研究開発の概要

本研究開発では、以下の研究開発を行う。

上記課題を解決するためには、ヒートポンプのコストダウン並びにCOP 向上などの高性能化開発、地中熱交換器の採熱効率向上、地中熱交換器削孔技術開発などが必要である。また、我が国に適した地中熱交換器設計の高度化開発や地中採熱に適した土地を確実に見出す予測技術や地中熱ポテンシャルデータベースを構築することも必要である。

よって本研究開発事業では、以下に示す研究開発を実施する。

#### ① 低コスト化に寄与する地中熱交換器の削孔機・工法の開発及び高効率垂直地中熱交換器の開発 (株式会社日伸テクノ、鉱研工業株式会社、株式会社イノアック住環境、北海道大学)

我が国の地中熱交換器掘削に適合した削孔方法及び削孔機を開発する。具体的には、地層に合わせて最適な周波数を設定できるバイプロヘッドや、残土の排出を高速化するスクリー付インナーロッド、ドリルロッドの自動脱着装置の開発を行い、ボアホール削孔の高速化・低コスト化を実現する。また、Uチューブの断面の形状を従来の円筒型から扁平型に変更することにより、地盤との熱交換性能の向上を図るとともに、一次側の配管工事を簡略化することが可能なY字ブランチ継手や樹脂ヘッドの開発を行う。

これらの開発を実施するとともに、異なる地盤条件において地中熱交換器設置のフィールド試験を実施し、同等な地中熱交換性能を得るために必要な地中熱交換器設置コストの削減効果を明らかにする。

#### 1-1) 周波数(振動数)可変型バイプロヘッドの開発と周波数の最適化による削孔速度向上

本研究開発では、我が国の地層に適した最適な周波数(振動数)を設定できるバイブレーションヘッドを有する削孔機を開発を行う。高速削孔を目指すのであれば、ドリルヘッドに対して回転力だけではなく打撃力が必要となる。

従来、ドリルロッド上部にエアハンマを取り付けて打撃力を与えるものが多く用いられてきたが、激しい騒音と振動が問題となりわが国の市街地で用いるのは難しくなった。それに対して、縦振動により小刻みな打撃力を与える機構を持つバイブレーションヘッド(以降、バイプロヘッドと称す)が開発されて、近年多く使用されるようになってきた。バイプロヘッドから発振される高い周波数の縦振動と大きな起振力値は、削孔速度の向上をもたらす。反面、両者は使用機材の損耗を大きく加速させる。一方、地層ごとに、高速削孔を与える周波数も異なるといえる。

従って、機械損料も考慮した工事費を考えた場合、削孔する地層の条件ごとに最適なバイブロヘッドの振動周波数と起振力値があると考えた。

そこで、本開発では(1)各種の地層に応じたバイブロドリルヘッド周波数の選定、(2)大きな起振力を持ち、地質性状に合わせた周波数を選択できる周波数可変のバイブロドリルヘッドの開発、(3)バイブロヘッドを駆動する高圧な油圧機構を有するベースマシンの開発を行う。これらにより削孔機全体としての最適化(周波数、馬力、重量、コスト等)を図り、削孔速度を向上させつつも、バイブロドリルヘッド起振部部品や削孔ツール寿命を延ばすことにより、間接型垂直熱交換器(ボアホール)構築に関わるコストのうち掘削コスト10%削減を目標とする。

#### 1-2) スクリュー付インナーロッドによる削孔排土速度の向上

本研究開発では、二重管削孔方式の速度向上に必要な削孔排土を迅速に排出できるスクリー付内管(インナーロッド)を開発する。

ボアホール削孔において、掘削孔の崩落を防止するためにベントナイト泥水を使用した施工方法が多く採用されている。しかし、この施工方法では、有効熱伝導率の小さなベントナイト泥水がボアホール内でだけでなく周囲地層に浸透して固化することにより採熱効率の低下をもたらすばかりではなく、熱交換量の向上に大きく寄与する帯水層がある場合でも地下水流れが阻害されてその恩恵を受けることができない。加えて、掘削孔からのベントナイト泥水逸水による近隣土壌汚染や掘削後の泥水産廃処理コストが発生することから施工費の増大を招く要因ともなる。従って、地中熱交換器設置のためには、ベントナイト泥水を用いないで、清水を使用する削孔方法を採用するが望ましい。

清水を用いた場合の工法としては、掘削孔の崩壊を防止するための保孔ケーシングとしてアウトターロッドを、清水を底部まで送水するための内管としてインナーロッドを用いる、いわゆる二重管削孔を採用するのが一般的である。このとき、先端ビットで削られた土岩屑は、インナーロッドで送られた清水と混合して土岩泥水となり、環状部を通過して地上部に送られ、固液分離装置により削孔土石屑が分離された後の清水が再利用される。削孔工事においては、土石屑を底部から上部に迅速に、そして滞りなく排出しなければならないが、先端ビットの掘削能力を上げた場合には、それに応じて削孔土石屑の排出能力も高めなくてはならない。

そこで、本開発では、インナーロッド外周にスクリー状にスパイラル加工を施し、削孔土石屑の排出能力を高め、スムーズで確実な上部排出を目指す。実証試験では、種々の異なる地質条件のサイトで本スクリー付内管の排出速度向上を検証すると共に、ベントナイト泥水と清水により施工した地中熱交換の採熱性能試験も併せて行い、同じ単位長さあたりの熱交換量[W/m]を得るため必要な施工費[円/m]、すなわち[W/円]を指標として、本施工方法の優位性を実証する。間接型垂直熱交換器(ボアホール)構築に関わるコストのうち排土工程にかかるコスト10%減を目標とする。

#### 1-3) ドリルロッド脱着オートメーション化による削孔施工時間及び作業人工削減による施工費削減

施工費の大幅削減に寄与するボアホール削孔で使用されるドリルロッド自動脱着装置の開発を行う。ドリルロッド装着方法は、まず作業員がミニクレーンで吊られた電磁石をもつリフトワイヤーを用いて専用ラックに収納された1本3~4.5mの長尺ドリルロッドを吊り上げ、削孔機本体に位置まで移動させる。装着するロッドはオペレータにより削孔機本体に取り付けられた後、ボアホール上部で削孔機に固定されているドリルロッドに回転力で接続される。脱着方法は、この逆である。ここで、二重管削孔の場合、2本のドリルロッドの装脱着が必要になるため、一重管削孔に比べて施工時間が長くなる。そこで本開発では長尺ロッドに対応したドリルロッド脱着オートメーション装置を開発するものである。これは、ドリルロッドが収納される専用ラックとロボットアーム、自動装填装置、リモートコントローラーからなる。

#### 1-4) 扁平チューブを用いた新型Uチューブの開発；扁平パイプとUチューブ用先端部の開発

熱交換部分のパイプ形状を扁平形状としたUチューブを開発する。扁平チューブの形状からボアホール挿入時にチューブ間隔保持用のスペーサーを用いることでチューブ間隔をより大きく保つことができ、これによりボアホール熱抵抗の低減と行き管、返り管の温度相互干渉を小さくすることができるため、熱交換効率の向上が見込める。同時に、扁平チューブは表面積が同じでも断面積が20~30%小さくなるため、内部熱媒流速が大きくなり対流熱伝達率も高くなるため熱抵

抗のさらなる低減が期待できる。また断面積の減少はUチューブに充填する不凍液の使用量も減らすことができるため、地中熱交換器の設置費用の一部である不凍液費用の削減をもたらす。

第一に高密度ポリエチレン製の長尺扁平パイプを製作する。具体的には、扁平パイプ用のダイスを作成し、従来の円形パイプ同様に高温の樹脂からの押し出し連続成形を行う。次に、扁平チューブ用のUチューブ、及びダブルUチューブ先端継手の開発を行う。試作金型、または3Dプリンターによる開発となる。このとき、できるだけ流路抵抗が小さくなるような内部形状を設計する。また、先端部から扁平チューブへの接続においては、その間隔がボアホール内径に対してできるだけ大きく取れるように工夫する。

また、扁平パイプは従来の円形パイプ用の継手を使用できないため、扁平パイプから円形パイプへの変換できる、電気融着(EF)継手を開発する。

#### 1-5) Y字形状ブランチ継手の研究開発

ダブルUチューブを用いた場合、地上部で集約する継手数量と継手接合作業回数を削減できる専用のY字形状ブランチ継手の開発を行う。

一般にダブルUチューブ方式では、2組のUチューブの行き・還り管を1つに集約してヒートポンプへ接続を行っている。この方法では、電気融着式継手の総数が6～16個必要であり、施工時間、施工費も大きくなる。そこで、Y字形状ブランチ継手を開発する。これにより、電気融着式継手の総数が4個、電気融着接合の総作業回数が4回となり、部材個数・接合作業回数が大幅に削減できる。

#### 1-6) 樹脂製ヘッダの研究開発

本研究開発は、ヘッダ部材の導入費用の削減が出来る樹脂製ヘッダの開発を行う。

複数のUチューブをヒートポンプに接続する配管方式は、各Uチューブの流量を均一にするためにヘッダ方式が採用されている。現在、金属製ヘッダが現場ごとにオーダーメイドで製作されるのが一般的であるがコストが高い。そこで、樹脂製ヘッダの開発を行うものである。軽量、防錆塗装不要といった樹脂の特徴に加え、下記の仕様を有する樹脂ヘッダを開発することで、大きな施工費の削減を見込める。

地中熱交換器からのポリエチレン管をヘッダ枝管へのワンタッチで接続できるようにする。これにより作業時間を短縮できるだけでなく、枝管のピッチ間隔を狭く出来るためにコンパクトなヘッダが可能となり、ヘッダ部材価格の低減と設置スペース削減が実現できる。

ヘッダ同士を現地で接続できる拡張性をもたせる。樹脂製ヘッダの主管サイズは枝管の本数に対応できるように呼び径50～150Aとし、枝管サイズは地中熱交換器の主流である呼び径25A、枝数は4～12本の構成とする。また、呼び径が25A以外の地中熱交換器を接続する場合は変換アダプターを使用して接続できる。大規模物件は、施工現場でヘッダ同士を電気融着方式の継手で接続出来るように、拡張性を持たせる。これによって、ヘッダの長さを標準企画化が可能となり、ヘッダ部材価格の低減が実現できる。

メイン製品はカタログ記載の標準品とし、また、ヘッダに被覆する保温材、固定部材も標準アクセサリ部材化として、システム設計者の設計工数、施工時間の削減が実現できる。

#### 1-7) フィールド実証試験による熱交換器設置コスト・採放熱性能評価

数か所の試験フィールドにおいて地中熱交換器のコスト評価と性能試験を実施する。コスト評価については同地点において、今回開発した技術を導入した場合と、従来の方法双方で実施し、作業効率の改善効果やそれによる地中熱交換器設置コスト削減効果を検討する。また、性能評価は、熱応答試験を実施し、地中熱交換器の単位採放熱性能と熱抵抗を評価する。このとき、熱応答試験において、光ファイバー温度センサーにより地中熱交換器内の行き管、返り管内の詳細な温度分布を測定し、地層状況に応じたボアホールの深さ毎の採放熱性能と熱抵抗を解析すると共に、チューブ間の熱干渉の影響を明らかにする。この性能評価の結果を開発にフィードバックさせる。最後に、これらの技術開発による単位採放熱性能(係数)あたりの設置コストの削減効果を定量化する。

#### ②低コスト・高効率な多機能・多熱源対応連結型地中熱ヒートポンプの開発 (サンポット株式会社、北海道大学)

中小業務用建物や施設建物を対象とした、高効率で多機能、かつ多熱源対応の連結運転可能な量産型の地中熱ヒートポンプユニットを開発する。前述の建物においては30kWを超える冷暖房・給湯に対応することが望まれることから、低コストなノンインバータヒートポンプユニットを開発するとともに、従来のインバータヒートポンプユニットと連結させることで、低コスト化と高効率化を実現させる。さらには多機能化のために、給湯専用地中熱ヒートポンプユニットの開発を実施し、給湯需要に対しても対応できるようにする。

#### 2-1) サイクルシミュレーションによるヒートポンプ機器の基本設計

北海道大学が有するMatLab-Simulinkベースの地中熱冷暖房ヒートポンプユニットシミュレーターを基にして、多機能・多熱源対応連結型ヒートポンプシミュレーターを開発する。

基本構成要素として、まず想定される使用温度範囲と冷暖房給湯能力下で高効率を達成できる熱交換器、インジェクションや液-ガス熱交換器といった冷凍サイクルの仕様を検討する。

次いで、給湯取り出し用のデスーパーヒーター利用型、または冷暖房機と給湯単独機の併用運転による排熱融通型、温冷熱同時供給型などの多機能化と空気・排熱・井水・地中熱など温度レベルの異なる多熱源を効率よく利用のための検討を行うことができる冷凍サイクルシミュレーターを構築して、多熱源対応連結型多機能ヒートポンプの基本設計を行う。

#### 2-2) 多熱源対応連結型多機能ヒートポンプモジュール設計・開発品試作・性能評価

ここでは、低コストで高効率な多熱源対応連結型多機能地中熱ヒートポンプの開発を行う。

量産型の業務用冷暖房地中熱ヒートポンプ熱源機では、サンポット(株)はすでに30kW級の機器を上市場しているが、現在、30kWを大きく超える冷暖房・給湯負荷の建物・施設に地中熱ヒートポンプシステムが導入される事例も大きく増加している。従って、30kWを大きく超える冷暖房・給湯負荷にも対応できる大容量を有し、かつ低コストで高効率な地中熱ヒートポンプを開発が望まれている。

モジュール化による低コストを実現するため、現在の量産機で搭載されているインバータ制御方式に加えて、部品を共通化した低コスト型(目標従来機の30%コスト削減)の一定速運転のノンインバータ機を開発し、両者を組み合わせた60kW級ヒートポンプモジュールを開発する。このとき、標準条件(採熱0°C-温水出力35°C)におけるヒートポンプモジュールの暖房COPは4.3以上を目標とする。

インバータ機とノンインバータ機を組み合わせた60kW級のモジュールを1単位として、このモジュールをいくつか連結することにより数百kWの冷暖房負荷まで対応が可能となる。このとき、チラー部のヘッダはモジュール間で連結できるように工夫する。

一方、冷暖房用に加えて30kW級の65°C温水取り出しができる量産型の高効率な給湯専用ヒートポンプを開発してヒートポンプモジュールとして多機能化を図る。同時に、冷暖房機に10kW程度の給湯取り出し用熱交換器としてデスーパーヒーターを付帯した多機能モジュールの検討・開発も行う。標準条件(採熱10°C-給水17°C-給湯65°C)における30kW級給湯専用ヒートポンプのCOPは4.0以上を目標とする。量産化により大幅なコストダウンが可能となるといえる。

#### 2-3) 連結型の制御システムの開発

多熱源対応連結型多機能ヒートポンプモジュールの制御基盤を新たに開発して、1枚の制御基盤で30kW級ヒートポンプユニット2台を制御してヒートポンプモジュールのコスト低減を図る。

数百kWまでの連結型ヒートポンプシステムは別に開発する制御ユニットから60kW級ヒートポンプモジュールに出力指令を与えることで運転・制御できるようにする。複数台の冷暖房地中熱ヒートポンプモジュールを制御するには、台数が変動する冷暖房負荷の境界周辺の部分負荷運転・停止を決定する制御条件を機器の効率と消費電力量を考慮して設定する必要がある。基本となるヒートポンプの出力は30kWであるため、30kWの倍数にあたる負荷指令に対しては、インバータ制御機とノンインバータ制御機の運転切り替え時の出力変動があるため、この出力変動を抑えた制御シーケンスの構築が課題となる。負荷が増加する指令に対しては、ノンインバータ機の起動が完了するまではインバータ機の出力を定格以上(過負荷)で運転して対応するなどの方法を検討する。また、負荷が減少する指令に対しては、ノンインバータ機を停止する前に、インバータ機の出力を増加させたあとにノンインバータ機を停止するなどの方法により出力変動を抑制する制御方法を検討する。



また、複数台のモジュールの運転では、同じモジュールだけが連続して運転しないように、運転時間の平準化を行うことにより寿命の延長化を図る。そのために、モジュールの稼働の分散化機能を制御システムに取り入れる。省エネに対しては、負荷変動に応じて一次側、二次側の循環量を制御して循環ポンプの消費電力量の削減を図ることもシステムCOPの向上に必要な不可欠である。加えて、暖房・給湯同時取り出し、冷房排熱利用給湯取り出し、冷却加温同時取り出しのような多機能利用、さらには温度レベルの異なる熱源を同時利用する場合には、温度レベル毎の熱利用状況に応じて消費電力量が最小となる運転制御パラメータが指示値として出力される。

開発した連結型の制御システム導入後のエネルギー消費量削減効果は従来システムと比較して10%以上を目指す。本制御システムの性能評価はサンポット花巻工場にてサンポット(株)と北海道大学とで共同で実施する。60kW級ヒートポンプモジュール単体の評価は試作機で、起動、停止、負荷指令への応答、インバータ機、ノンインバータ機の切り替え動作などを確認するが、複数台の制御システムの確認は、制御基板を複数接続したシミュレーションモデルを構築して、シミュレーションで行う。

### ③低コスト・高効率化に寄与する地中熱ヒートポンプ最適運転制御システムの開発

(新日鉄住金エンジニアリング(株)、北海道大学、サンポット(株)、ジーエムラボ(株))

#### 1)ハイブリッド地中熱ヒートポンプ制御ユニットの開発

温暖地において、地中熱ヒートポンプシステムを導入した場合、冷房過多の負荷アンバランスにより、地中に対し暖房期の採熱よりも冷房期の放熱が過多となり、長期的な地中温度上昇が起きることが想定される。このことが、地中熱ヒートポンプシステムの温暖地における普及を阻害する一つの大きな要因となっている。

新日鉄住金エンジニアリング(株)は、次項で述べるように、地中熱ヒートポンプに補助熱源として冷却塔を加え、保有技術である地中温度予測技術を活用して、負荷アンバランスによる温度上昇を長期的に抑えつつ、高効率に運転させる地中熱ヒートポンプシステムの自律制御システムの開発を行ってきた。一方で、サンポット(株)は地中熱ヒートポンプシステムにおけるヒートポンプの出力制御や循環ポンプの運転制御ユニットの開発も行っている。

これらの知見や技術を活用して、制御ユニットの開発を行う。具体的にはサンポット(株)がこれまで開発してきた地中熱ヒートポンプシステムの制御ユニットについて、入出力点数を増やすことにより、地中温度の変化に応じて冷却塔の運転や太陽集熱器・熱回収タンクなどからの熱回収を自動的に行うことができるハイブリッド地中熱ヒートポンプ制御ユニットを開発する。

従来、負荷アンバランスに対応する方法としては、一部のメーカーより、地中熱ヒートポンプと空冷ヒートポンプを一体化して併用するシステムを適用することが挙げられる。このシステムでは、地中熱交換器出口からの熱源水温度より外気温度が低い中間期には空冷ヒートポンプを使用し、熱源水温度より外気温度が高くなった時に切り替えて地中熱ヒートポンプを使用する空冷・地中熱の切り替え式となっている。

それに対し、本提案システムでは、ヒートポンプの熱源水配管に地中熱交換器とともに補助熱源である冷却塔を接続し、従来システムとは逆に、冷却塔を通さない地中熱単独の運転から開始し、熱源水温度が任意の上限温度を超えた場合に冷却塔を通し、併用運転する。従来システムより優れる点は、汎用的なヒートポンプに汎用的な冷却塔を熱源水配管で接続するだけなので、負荷アンバランス特性に合った補助熱源の選定ができ、設計に柔軟性があり、最適な空冷・水冷分担が行える点である。もう1点は、本システムでは冷房ピーク期に冷却塔と地中熱交換器に放熱を分散させることができ、その地中温度上昇への抑制効果により高効率化が可能となること、これまでの自律制御システム実証により示されている。本研究開発については従来システム比べ、5%以上のエネルギー消費量削減効果を得ることを目標とする。

温暖地における冷房過多と同様、寒冷地においては暖房と給湯を合わせた温熱需要過多の問題が存在する。こちらについては温熱側の補助熱源として太陽熱や排熱回収タンクを併用する負荷アンバランス制御ロジックを構築し、汎用コントローラへの組み込みを行う。

#### 2)時間差のある負荷変動を考慮した地中蓄熱を活用する地中熱利用熱回収ヒートポンプ制御システム開発

本開発においては、地中温度変化予測・制御技術を活用して、冷熱及び温熱を製造し、温排熱及び冷排熱を発生する多用途、複数種のヒートポンプの運転を最適化し、可能な限りの排熱回収

による相互利用を行い、消費エネルギーを最小化する地中熱利用熱回収ヒートポンプ制御システムの開発を行う。

提案者らは、冷暖房の負荷アンバランスな条件に対して、地中熱ヒートポンプに補助熱源として冷却塔を加え、保有技術である地中温度予測技術を活用し、実際の負荷状況や地盤熱特性の変化が生じて、変化に追従して温度変化を上下限值内にコントロールし、長期安定的に高効率に運転させ得る地中熱ヒートポンプシステムの自律制御システムの開発を行ってきた。

ヒートポンプは2次側供給温度と1次側熱源温度の差が少ないほど高効率運転が可能である。したがって、冷房時の温排熱を給湯ヒートポンプに、給湯時の冷排熱を冷房ヒートポンプに熱回収相互利用できれば、どちらのヒートポンプもより高効率な運転が可能となる。必ずしも相互の排熱の発生時間は一致しないが、地中熱ヒートポンプにおいては、地盤が蓄熱体としての役割も果たすため、その発生時間差を吸収して相互利用することが可能である。

例えば、冷暖房負荷の他に年間給湯負荷がある場合、夏期において冷却塔で処理していた冷房負荷に対し、時刻差や月間差のある地中熱給湯ヒートポンプ冷排熱を地中に一旦蓄熱することにより、冷房負荷処理に利用することが可能であり、冷却塔の補機動力を低減することができる。しかしながら、地中熱給湯ヒートポンプを運転しすぎると、冬期に問題となる熱源水温度の低下、暖房効率の悪化を招くこととなる。そのため、実際の制御においては熱回収しながら、高効率な運転を維持するために、熱源水温度を適正な温度範囲に維持できるように給湯ヒートポンプ等の最適運転制御を行う必要がある。

提案者らはこれまでに、空調と給湯、2種類の異なる用途をもつ地中熱(水熱源)ヒートポンプや補助熱源を含めた地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムにおいて、他の熱源機と併用されている地中熱ヒートポンプの運転期間を制御パラメータとして与えて、システム全体のエネルギー消費量が最小となる最適運転制御ロジックを検討してきた。しかしながら、最適運転制御ロジックをベースとした制御システムを構築し導入を図るには、制御システムの低コスト化が必要となっている。また、複合施設や産業施設などの利用では、多用途(3種類以上)の地中熱(水熱源)ヒートポンプの導入も考えられるため、多用途のヒートポンプを想定した制御ロジックの構築も課題として挙げられる。

現状の地中熱利用熱回収ヒートポンプ制御システムは、計測データを入力する入出力モジュール、データを蓄積するデータ蓄積モジュール、簡単な演算や制御の判定を行うCPUモジュールを内蔵しているPLCと、計測データをもとに地中温度変化の予測を行い構成機器の運転を判断するパラメータを決定するソフトウェアがインストールされているPCで構成すると考えられる。現状ではPLCとPCが高コストの要因として考えられるため、PLCの標準化・ユニット化と、地中温度変化の予測と構成機器の運転判断を行うソフトウェアとPCをクラウド化することにより制御システムの低コスト化を図る。

多用途(3種類以上)の地中熱(水熱源)ヒートポンプを想定した制御ロジックの構築については、これまでの2用途の地中熱ヒートポンプの最適制御運転ロジックをベースに確立する。

確立した制御方法をベースに開発する制御システムの検証については、制御対象システムを模擬したフィールド試験装置を構築して行う。フィールド試験装置は、ボアホール地中熱交換器と異なる用途をもつ複数の地中熱ヒートポンプ、補助熱源(冷却用補助熱源、加熱用補助熱源)、補助熱源機、模擬負荷装置(蓄熱タンクとAHP)などで構成され、制御の対象となる地中熱ヒートポンプシステムを模擬した装置を構築する。また、本装置は必要に応じて、1)の制御ユニットの検証試験も行う。

さらには、熱源水配管回路に蓄熱タンクの設置を設置することにより、ピーク時地中採放熱量の増大効果が期待できるため、この検証試験を行う。また、ヒートポンプ同士の熱回収をより効率的に行う配管ループの検討なども行う。

これにより、多種の異なる用途をもつ地中熱(水熱源)ヒートポンプと補助熱源、補助熱源機を含めたシステムを導入した場合について、従来方式(従来の冷却塔などを併用した空調用ヒートポンプ+空気熱源ヒートポンプ給湯機)と比較して、15%以上のランニングコスト削減を目指す。(制御ユニットと同じ、冷却塔と地中熱交換器への放熱分散～地中温度上昇抑制～高効率化による削減効果はこちらにも含む。)

また、制御システムについては上記の内容(PLCの標準化・ユニット化、ソフトウェア・PCのクラウド化)により、20%以上のインシヤルコスト削減を図る。

### 3) GSHP システム導入物件への地中熱利用熱回収ヒートポンプ制御システムの導入による実証

GSHP システムを実際に導入する物件に対して、設置可能な地中熱交換器の長さに対し最大限の地中熱ヒートポンプを設置し、補助熱源もしくは補助熱源機の設置を必要とする設計を実施した上で、最適運転制御システムを導入する。そのGSHP システムの性能検証を実施して、実導入物件についても、最適運転制御システムからの補助熱源の運転指令が適切に行われているかを検証する。

### ④地理地盤情報を活用した設計・性能予測シミュレーションツールの開発とポテンシャル評価手法・評価マップの作成

(北海道大学、ジーエムラボ(株)、産業技術総合研究所、新日鉄住金エンジニアリング(株))

我が国における地域ごとの地盤地層データ及び地下水・地盤データを500m～1kmメッシュ単位で作成し、データベース化する。また、これまでに開発してきた地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールについて、複層地盤の地下水流動の影響を考慮できるようにするとともに、上記の地盤情報の活用を可能とすることや、Webブラウザで利用できるようにすることで、簡便かつ現地の地盤条件に即した設計ができる地中熱ヒートポンプシステムの設計ツールを開発する。

さらには、地中熱ヒートポンプシステムのポテンシャル評価手法を構築するとともに、ポテンシャル評価マップを作成し、計画地における対象施設の地中熱交換器使用や規模を簡易に算定することができるポテンシャル評価マップを作成する。

### 1) 地理地盤情報を活用した設計・性能予測シミュレーションツールの開発

本研究開発においては、地中熱ヒートポンプシステム設計高度化と掘削コスト削減を目的とし、ヒートポンプシステム設計・性能予測ツール「Ground Club」と地理地盤情報を取り入れた地下水同定・予測システム「ジオモデラー」を連成させたツールの開発を行う。

- ・Webブラウザで広く利用可能で、複層地盤の地下水流動の影響も考慮できる地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測ツール
- ・サイトレベルの地下水流動・熱流動解析を行う地中熱利用システム評価ツール

これらツールの開発により、地中熱交換器を設置する地中の平均的な地下水流速が25m/年以上となる地域において10%以上の地中熱交換器設置コスト削減を実現させる。また、サイトレベルの熱流動解析を可能とすることにより、地中熱の持続的利用の検討を可能にする。

以下に具体的な研究開発内容を示す。

#### a) 地盤地層データベース及び地下水・地盤物性データベースの構築

地域ごとの地盤地層データ及び地下水・地盤物性データを500m～1kmメッシュ単位で作成する。このデータをもとに、ジオモデラーによって地域毎の地下水流速と地盤物性をデータベース化して、可視化できるようにする。

#### b) 複層地盤の計算が可能な設計・性能

予測手法の構築と並行してGround Clubについては、深さ毎に地下水流動の有無や地盤の熱特性を選択し、それに応じた計算を行えるよう改良する。

#### c) Webブラウザで利用可能な設計・性能予測ツールの開発

さらには、a)作成したデータベースをもとに、任意の地点における地層や地下水流動の条件を読み取り、Ground Clubの計算条件として与えることができるように、Ground Clubとジオモデラーを連成させる。

上記によって連成させたGround Club-ジオモデラーの予測精度の検証については、GSHPシステムの導入済み物件(新日鉄住金エンジニアリング(株)北九州技術センターE館、北九州寮)などでBEMSを用いて取得しているデータを活用して実施する。

それに加えて、上記によって連成させたGround Club-ジオモデラーについてプログラミング言語の変更、インターフェースの改良を実施し、ユーザビリティの高いものに拡張する。さらに、Ground Clubをジオモデラーインターネットサービス(GMIS)に組み込むことで、アクセス

権を与えられたユーザーがWebブラウザにより広く活用できるようにする。

#### d) サイトレベルの地下水流動・熱流動解析を行うシミュレーションツールの開発

大規模な建物・施設や地域的なGSHPシステムの導入を想定した場合の、サイトレベルの経年的な地中温度変化の予測を行えるようにする。これについてはGround Clubの地盤モデルを除いた計算モデルを抽出して、地盤モデルに与えていた地中熱交換器の採放熱量をジオモデラーの境界条件として与え、ジオモデラーの3次元地下水・熱輸送シミュレーターを用いて地中温度変化の計算を行う。そしてジオモデラーで計算した地中熱交換器表面温度をGround Clubの境界条件として与え、GSHPシステムの運転シミュレーションを含めた地域レベルの経年的な地中温度変化の予測を行えるようにする。また、この際にサイトレベルの地下水・熱流動の予測シミュレーションが可能となるように、数十mメッシュ単位でのシミュレーションモデルの作成を検討するとともに、モニタリング機能等、必要となるジオモデラーの改良も並行して行う。

サイトレベルの経年的な地中温度変化予測については、地中熱交換器と観測井で構成されるフィールド試験施設を構築し、地下水流速・流向の測定を行うとともに地中熱交換器周囲地盤の温度を測定し、3次元地下水・熱流動シミュレーションを検証する。

### 2) ポテンシャル評価手法の構築

下記3)や研究開発①の地中熱交換器性能評価で用いる、地中熱交換器の採放熱量のポテンシャル評価手法について構築する。具体的には地中熱交換器の採放熱性能(採放熱量)に影響を与えるパラメータとして、地盤の有効熱伝導率、地下水流速、地中熱交換器の口径や仕様、地中熱交換器内部の循環流量、1日のGSHPシステムの運転時間、GSHPシステムの暖冷房の運転期間などが挙げられるため、これらのパラメータを与えることによって、地中熱交換器の採放熱性能の指標となる単位採放熱係数(長さ・温度差あたりの採放熱量)を計算する方法を構築する。

また、地中熱交換器の必要長さに影響を与える要素としては、地中熱交換器の採放熱量の他に、建物側の暖冷房負荷が挙げられる。建物側の暖冷房負荷は建物用途などによって決められるため、用途ごとの代表的な負荷パターンを文献調査やシミュレーションによって検討し、それによって決定する暖冷房負荷と、上述した単位採放熱係数より、建物用途別の地中熱交換器の必要長さを検討できる手法を構築する。

### 3) ポテンシャル評価マップの構築

上記2)で構築した地中熱交換器の採放熱量のポテンシャル評価手法をジオモデラーの地理地盤情報システムに組み込むことにより、地理地盤情報システムから与えられる各地点の地層、地盤熱伝導率、地下水流速などの情報を計算情報として与え、GSHPシステム運転条件毎、地中熱交換器仕様毎の単位採放熱係数を計算する。その計算結果をコンター図などによって表示し、地中熱交換器の採放熱量が大きい地点の把握が容易に可能となるポテンシャル評価マップを構築する。

表Ⅱ (2.7)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	中間目標 (平成28年度末)	最終目標 (平成30年度末)	目標レベル設定の根拠
①低コストに寄与する地中熱交換器の掘削機・工法の開発、及び高効率地中熱交換器の開発	間接型垂直熱交換器構築に関わるコストのうち掘削コスト10%削減、排土工程コスト10%削減、地中熱交換器設置コスト20%以上削減を実現できる可能性を示す	導入コスト18%低減及び運用コスト20%低減を達成する	最適な振動数を設定できるバイブレーションヘッド、外周にスクリーンを設置したインナーロッド、高効率で低コストな地中熱交換器を開発する。
②低コスト・高効率な多機能・多熱源対応連結型地中熱ヒートポンプの開発	60kW級ヒートポンプモジュールの開発	冷暖房ヒートポンプ、給湯専用ヒートポンプ、太陽集熱器、冷却塔の連結型制御システムを完成させる。	多熱源対応型の多機能・連結型の制御システムの開発を進める。
③低コスト・高効率化に寄与する地中熱ヒートポンプ最適運転制御システムの開発	制御システムPLCの標準化・ユニット化を行い、システムのコストダウンの道筋をつける。	ハイブリッド地中熱ヒートポンプ制御ユニットを開発する。	冷却塔・太陽集熱器・熱回収タンクを併用するハイブリッド地中熱ヒートポンプシステムの制御ユニットの開発を進める。
④地理地盤情報を活用した設計・性能予測シミュレーションツールの開発とポテンシャル評価手法・評価マップの作成	深さ毎に地下水流動や地盤熱特性を考慮した地中熱交換器の性能予測を与える設計・性能予測シミュレーションを開発する	設計・性能予測シミュレーションツールについて、アクセス権を与えられたツールをWebブラウザにより活用できるようにする。	地理地盤情報を活用した設計・性能予測シミュレーションツールを開発する。また地中熱交換器の採放熱量のポテンシャル評価手法を構築する。

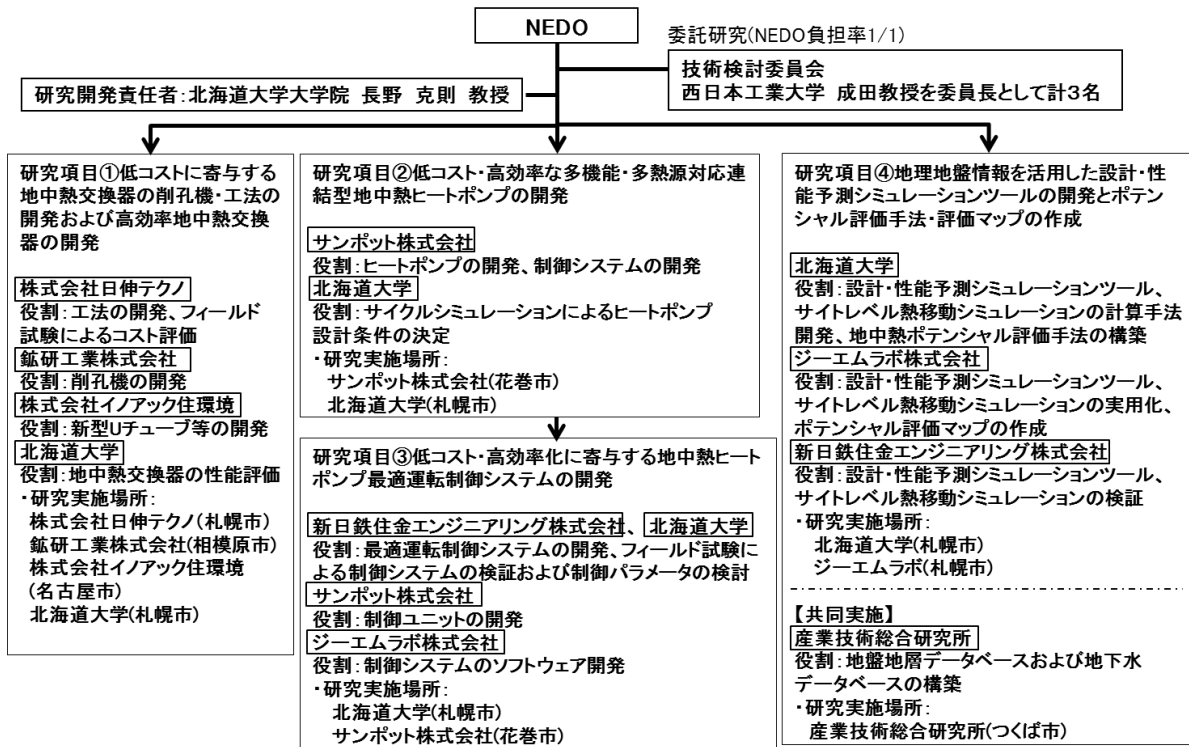
(2.7.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年7月24日より平成31年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ (2.7)-2に示す。

表Ⅱ (2.7)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①低コストに寄与する地中熱交換器の掘削機・工法の開発、及び高効率地中熱交換器の開発					施工最適化検討・掘削機部品開発				工法確立、掘削機の開発・改良											
	交換器設計・試作				評価・改良				採放熱性能評価				評価・改良				事業化検討			
②低コスト・高効率な多機能・多熱源対応連結型地中熱ヒートポンプの開発					冷暖房用・給湯専用ヒートポンプ試作								製品化検討							
③低コスト・高効率化に寄与する地中熱ヒートポンプ最適運転制御システムの開発					制御ロジック検討・制御ユニット開発								製品化検討							
④地理地盤情報を活用した設計・性能予測シミュレーションツールの開発とポテンシャル評価手法・評価マップの作成					設計・性能予測ツールの開発								ツールの改良・検証・実用化							
					ポテンシャル評価手法の構築								ポテンシャルマップ作成							

(2.7.4)研究開発の実施体制



(2.7.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ (2.7)-3 「低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発」

国立大学法人北海道大学  
株式会社日伸テクノ  
鉦研工業株式会社  
株式会社イノアック住環境  
サンポット株式会社  
日鉄エンジニアリング株式会社  
ジーエムラボ株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	成田 樹昭	西日本工業大学・教授
委員	笹田 政克	地中熱利用促進協会・理事長

所属は、委員会組織時点のもの

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### (2.7)地中熱利用要素技術の開発

##### 【成果概要】

本事業では、ヒートポンプのコストダウン並びに COP 向上などの高性能化開発、地中熱交換器の採熱効率向上、地中熱交換器削孔技術開発など実施して、以下の通り成果を上げ、トータルコスト 20% の削減を実現した。

##### 【項目別成果】

###### (1) 地中熱交換器の新型削孔機および工法の開発

バイブレーション式削孔機の振動周波数最適化による削孔速度向上として、平成 27 年度に振動パラメータ(振動周波数、起振力)可変のバイプロヘッドを製作、同年度のフィールドテストを通じ、振動パラメータの変化に対する削孔時間の変化を検証、掘削の困難な礫層において、従来機に比較して最大50%以上、高掘進率とされるT社製機と比較しても25%以上の掘削時間削減効果を確認することができた。

スクリー式インナーロッドによる排土速度の向上として、1/2 モデルを製作し、掘削スライム(堀屑)の『排出量』『排出時間』『掘り屑の流れ』を検証、ロッドを『直線羽根(1本)』(羽付ロッド)製作し、平成 27 年度のフィールドテストにて、従来ロッドによる工法と比較し、概ね 5%の排土時間削減効果を確認した。又、排土工程の標準化を進め、マシンガイド機能を組み込むことにより作業の無駄時間を排除して、羽付インナーロッドの効果と合わせ約20%の洗浄時間の削減を確認した。ドリルロッド脱着オートメーション化による工事速度の向上として、平成28年度に既存の掘削機に3mロッド、22本搭載可能なロッドコンテナ、ロッドの補給、内管の回収を機械にて実施可能なシステムを搭載、同年度のフィールドテストによりシステムの有効性を確認、29年度に100m掘削に対応の2重管ロッド脱着システムを製作、同年度に製作の地中熱井戸掘削の搭載し、30年度のフィールドテストにより掘削機オペレータ1名の作業員でロッドの補給、内管、外管の回収が実施できることが確認できた。

###### (2) 高効率 U チューブおよび部材の開発

扁平Uチューブを用いた新型Uチューブの開発では、平成 26 年度に新型形状パイプの形状設計と北海道大学による熱抵抗シミュレーションにより形状を確定した後、設備設計・製作を行い、3回のパイプ試作を行った。平成 27 年度は、5回のパイプ試作を行った。また、先端U字継手の形状設計と設備設計とを行い試作を行った。平成 27 年度末に扁平Uチューブ 80mの試作品を北海道大学構内に敷設し施工評価を実施した。平成 28 年度は、1回のパイプ試作を行った。平成 29 年度には、扁平パイプ 1260mのロングランを行い、扁平 U チューブのシングル 100m、ダブル 100mを製作し、岩手県花巻市内に敷設し施工評価を行った。平成 30 年度は、扁平パイプ 510mのロングランを行い、扁平 U チューブのシングル 80mを製作し、北海道美唄市内に敷設し施工評価を行った。併せて熱応答試験を札幌市北海道大学構内、岩手県サンポット敷地内、美唄市北海道イノアック敷地内にてそれぞれ実施するとともに、ボアホール熱抵抗の比較から扁平 U チューブの優位性を確認した。また CDF 解析も併せて実施し、熱応答試験と同様、ボアホール熱抵抗の扁平 U チューブの優位性と、必要地中熱交換器長さの削減に寄与できることを評価した。

Y字形形状ブランチ継手の開発では、平成 26 年度に形状設計、金型製作を行い、試作を行った。平成 27 年度は、金型修正と 3 回の製品試作を行い、融着条件評価、製品の基本性能評価を行った。平成 28 年度は、金型修正と 2 回の製品試作を行い、最終評価を行った。

樹脂製ヘッダの開発では、平成 28 年度に製品設計、ヘッダ用パーツの形状設計、金型製作を行った。平成 29 年度は、ヘッダ用パーツの金型修正と 2 回の試作を行った。そのパーツを用いて樹脂製ヘッダを試作し、性能評価を行った。平成 30 年度は、ヘッダ用パーツの別サイズの形状設計、金型製作、試作を行い、樹脂製ヘッダを試作し、性能評価、施工評価を行った。

###### (3) 低コスト・高効率なヒートポンプ熱源機の開発

ヒートポンプサイクルシミュレーション構築では、多機能対応連結型ヒートポンプユニットの各構成要素(圧縮機、蒸発器、凝縮器)のモデル化を実施し、ヒートポンプを組合せたサイクルシミュレーションを構築した。また試験機を作成し、シミュレーション結果と比較し、誤差 10%以内であることを確認した。プレート熱交換器の高さ・幅・プレート枚数をパラメータとすることで COP 向上が期待できる結果が得られることから、本シミュレーションモデルをヒートポンプ機器開発に用いることとした。

60kW 級冷暖房ヒートポンプ開発では、圧縮機をインバータ制御したヒートポンプ(以下、インバータ機と

いう。)と圧縮機を一定速で運転したヒートポンプ(以下、ノンインバータ機という。)を組合せた 60kW 級冷暖房ヒートポンプを開発し、暖房 COP(成績係数)4.3、冷房 COP 4.5 の目標を達成した。コストは 56 千円/kW(税抜)の目処をつけた。また、30kW 級給湯専用ヒートポンプを開発し、給湯 COP 4.0 の目標を達成した。コストは 63 千円/kW(税抜)の目処をつけた。

連結型の制御システムでは地中熱ヒートポンプ、冷却塔及び太陽熱集熱器を接続可能な簡易コントローラを開発した。最大接続可能台数はヒートポンプ 52 台、冷却塔 4 台、太陽集熱器 4 台接続可能である。

また、簡易コントローラ試験装置で、模擬的な負荷を与え採熱流体と冷温水流体の行き戻り温度差を一定( $\Delta T = \text{const}$ )にして、負荷の変化に応じて採熱流量・冷温水流量を変化させ、それぞれの循環ポンプ動力を削減する制御について動作確認と応答性の改良を行った。

冷暖房ヒートポンプにおいてボアホール試験による性能( $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ )データ及び実際の物件例で本制御における省エネルギー試算を行った結果、目標とする電力消費量 20%以上削減の見込みを得た。

#### (4) 低コスト・高効率に寄与する最適制御システムの開発

ハイブリッド地中熱ヒートポンプ制御ユニットの開発では、補助熱源(冷却塔や太陽集熱)を有するハイブリッド地中熱ヒートポンプシステムの制御ユニット(コントローラ)を開発した。またヒートポンプや地中熱交換器、補助熱源やポンプなどを模擬する制御ユニットの試験装置を構築し、制御ユニットの動作検証試験を実施した。

地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムおよび最適制御システムの開発では、複数用途の地中熱ヒートポンプを、地中熱交換器を有する一次側熱源に接続して、ヒートポンプの同時運転や短時間内の運転による熱回収効果を得ることができる地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムについて、システムを最大限に活用し、最大限の省エネルギー効果を得ることができる最適設計手法を開発した。また、システムの安全性を担保した上で、最適設計手法を再現できる最適制御システムの開発を行った。

フィールド試験による最適制御システムの実証として、地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムのフィールド試験を構築し、地中熱利用熱回収ヒートポンプの最適制御システムの制御動作検証試験の実施、最適制御システムに必要な制御運転の検証を行った。最適制御システムを導入した地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの運転結果について、最適設計手法およびシミュレーションで得られる運転結果と比較を行い、最適設計手法との比較で 85%以上の高い再現率を達成することが確認できた。また、地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの導入ケーススタディを実施し、複合施設や食品工場においては、補助金なしの条件でもコスト回収年数が 10 年以内に収まることが分かった。

#### (5) 地盤・地下水データベースおよびポテンシャル評価マップの開発

地盤地層データベースおよび地下水・地盤物性データベースとして、平成 26 年度に全国約 5 万本のボーリングデータを収集整理し、平成 27 年度にインディケータクリギングによる地質の分布確率とその重ね合わせによる有効熱伝導率などの物性値推定手法を開発し、地下水シミュレーションと併せて、データベースを構築した。

ポテンシャル評価技術として、平成 28 年度に、地盤物性データベースと GroundClub による GSHP シミュレーションを組み合わせ、必要温度条件と目標性能条件を満足する地中熱交換器規模を決定し、それに基づくグリッドでポテンシャル評価手法を確立した。開発した手法を用いて、戸建て住宅への GSHP システム導入を想定し、10 km グリッドの全国ポテンシャルマップとして、必要地中熱交換器長さや導入に伴う CO2 排出量削減効果マップを完成させた。更に、平成 30 年には、本手法に地下水流動解析を組み合わせ、地下水流れを考慮した場合の削減効果を試算するとともに、主要都市圏での 500m グリッドマップを構築した。

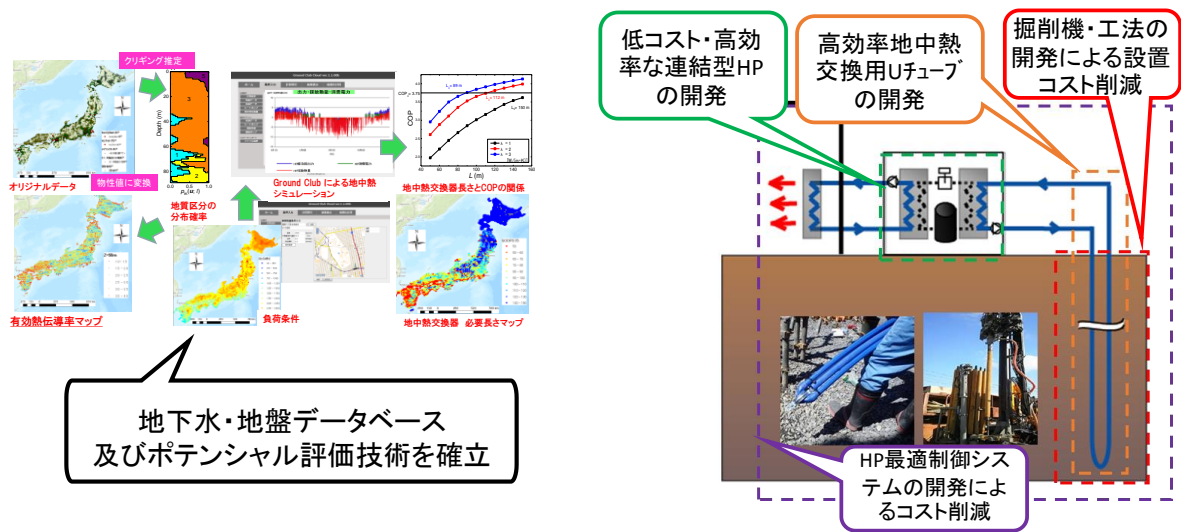
#### (6) シミュレーションツールのクラウド化とサイトレベルシミュレーションの開発

Web ブラウザで利用可能な設計・性能予測ツールの開発では、平成 26 年度から 27 年度にかけて単層地盤計算ツールを開発し、平成 28 年度に複層地盤の計算を組み込んだ。その後、ツール改良を行い、平成 29 年度に GUI の改良及び地中熱交換器種類を追加した。また平成 30 年度に最適化計算機能及びインターフェースの多言語化を実施した。

サイトレベルの地下水移動、熱輸送解析を行うシミュレーションツールの開発では、平成 26 年度に地中熱交換器を 3 次元モデル化するボアホール地中熱交換器(BHE)モジュールを開発し、地下水流動解析と GSHP システムの連成計算モデルを構築した。平成 27 年度は、扁平 U チューブのモデル化を行えるようにモデル化機能を改良、平成 27 年度から平成 28 年度にかけて、サイトレベル(数 10m メッシュ)のモデル



作成を行い計算の検証を実施した。その後、実用化に向け計算速度を向上させる為、平成 29 年度にマルチスケールモデルを開発した。また、平成 30 年度には、フィールド試験による検証及び土壌凍結計算ロジックの実用性検討を行った。



図Ⅲ(2.7)-1 研究開発概要

表Ⅲ(2.7)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	9 件	0 件	0 件
H27FY	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件	28 件	0 件	2 件
H28FY	2 件	0 件	0 件	2 件	0 件	8 件	1 件	1 件
H29FY	1 件	0 件	0 件	5 件	0 件	14 件	0 件	0 件
H30FY	5 件	0 件	0 件	8 件	0 件	16 件	1 件	2 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成 31 年 2 月 28 日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(2.7)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○:達成 △:一部達成 ×:未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
バイブレーション式削孔機振動周波数の最適化による削孔速度向上。	ボアホール構築に関わる掘削コストの 10%を削減。	投入馬力、振動数、起振力と掘進率関係に着目、試験掘削を実施、高効率の新型バイブプロヘッドを開発、35%以上の掘削時間削減をフィールドテストにて実証。	○
スクリー式インナーロッドによる削孔排土速度の向上。	ボアホール構築に関わる排土工程コストの 10%を削減。	1/2モデルによる排土実験を実施、フラットバーロッドを製作、フィールドテストにより 4%の排土時間削減を実証。排土工程の定量化を進めフラットバーロッドと併せ 25%の排土時間削減を実証。	○
ドリルロッド脱着オートメーション化による工事速度の向上。	ボアホール構築に関わるロッド脱着コストの 10%を削減。	100m 掘削に対応の二重管脱着システム搭載の専用掘削機を製作、フィールドテストによりロッド脱着の工数、30%以上の削減を実証。	○
新型形状熱交換器	扁平Uチューブの事業化検討が完了	扁平Uチューブ S・W の開発は完了。フィールド試験Ⅱで性能試験Ⅱを実施完了。	○

新型形状熱交換器用 E F 継手	E F 継手の事業化検討が完了。	施工・性能試験完了。	○
Y ブランチ E F 継手	事業化・販売を行う	開発完了。H31 年 4 月～ 販売開始予定。	○
樹脂製 ヘッド	事業化検討が完了	最終品試作完了	○
サイクルシミュレーションによるヒートポンプ機器の基本設計	サイクルシミュレーションの開発 シミュレーションによる高効率化検討	冷暖房・給湯用の HP のサイクルシミュレーションを開発 サイクルシミュレーションにより熱交換器面積増大の HP 高効率化への寄与を定量化	○ ○
多熱源対応連結型多機能ヒートポンプモジュール設計・開発品試作・性能評価	60kW 級冷暖房ヒートポンプ 暖房 COP4.3 冷房 COP4.5 30kW 級給湯専用ヒートポンプ COP4.0	60kW 級冷暖房ヒートポンプ 暖房 COP4.3 冷房 COP4.5 30kW 級給湯専用ヒートポンプ COP4.2 (目標より 0.2 アップ)	○ ○
連結型の制御システムの開発	簡易コントローラの開発	簡易コントローラ (ヒートポンプ接続台数最大 52 台) を開発	○
ハイブリッド地中熱ヒートポンプ制御ユニット	事業化検討が完了	簡易コントローラを開発	○
地中熱熱回収ヒートポンプ制御システム	事業目標を達成する制御システムの最適化と標準化	制御システムの最適化についてはほぼ完了。それを基に標準化を実施	○
制御システムの実証試験	事業目標であるシステム導入効果を実証	導入効果実証試験を実施	○
地盤地層データベース、地下水・地盤熱特性データベース構築	我が国における地域ごとの地盤地層データおよび地下水・地盤データを 500m~1km メッシュ単位で作成し、データベース化する。	500 m メッシュによる有効熱伝導率、体積熱容量、地中温度、地下水流速の深度 200m、解像度 5 m でのデータベースを完成	○
ポテンシャル評価手法の構築	地中熱ヒートポンプシステムのポテンシャル評価手法を構築する。	データベースとグリッドシミュレーションを組み合わせ、持続稼働温度条件と目標性能条件を満たす必要地中熱交換器長さ計算手法を開発	○
ポテンシャル評価マップの構築	全国各地域におけるポテンシャル評価マップを作成する。	全国 10km グリッドおよび主要都市 500m のポテンシャルマップを作成	○

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発では、ヒートポンプのコストダウン並びに COP 向上などの高性能化開発、地中熱交換器の採熱効率向上、地中熱交換器削孔技術開発など実施して、トータルコスト 20% の削減を実現した。今後は以下の課題に取り組む予定である。

本事業において開発した技術の導入により、目標とする設置コスト 20%、運用コスト 20% を達成可能な研究開発目標を達成する見込みが得られた。一方、本事業において技術的課題が残されたものもあり、それらについて今後も研究開発を継続することにより更なるコストダウンも可能である。以下に、更なるコスト削減に向けた本事業における課題についてまとめる。

##### (1) 地中熱交換器の新型削孔機および工法の開発

本事業における技術開発は掘削、洗浄の効率化、ロッド脱着の自動化に取り組み掘削機オペレータと泥水管理者 2 名でのボアホール構築を実証し、一定の成果を上げることができた。しかし更なる地中熱交換器の設置費用の削減に向け取り組むべき課題を下記に挙げる。

- ・ボアホールの構築作業については 2 名の作業員で実施出来たが U チューブの挿入作業には 3 名の作業員を要した。

- ・掘削を安全に進めるために、振動ヘッドによる掘進作業の他、孔壁形成の作業に多くの時間を費やしている。しかもオペレータの判断に依存しており、掘削状況と併せて、洗浄工程に影響を与えている。掘削についても標準化、自動化を進めることにより更なる施工時間の短縮が可能と考える。

- ・掘削機、泥水設備、掘削ポンプを現場内ネットワークで接続、各要素の情報を共有化することにより泥水管理者の負担を軽減して複数台の掘削機を小人数で運用しての施工が可能である。施工現場全体視野に置いたシステムを開発することにより大規模現場における施工の更なる効率化が可能と考える。

- ・不整地での走行性能を向上することにより本開発機の適用条件を緩和することができる。

## (2) 高効率 U チューブおよび部材の開発

高効率 U チューブとして、パイプの断面形状を従来の円形から扁平型に変更した扁平 U チューブを開発し、また、一次側の配管工事を簡略化することが可能な Y 字形状ブランチ継手や樹脂製ヘッドの開発を行い、一定の成果を上げることができた。今後、開発成果を普及させるためには下記の課題がある。

- ・扁平 U チューブ

年間を通じた採放熱特性の評価が必要であり、長期実証試験が必要である。本製品が普及すると扁平/円変換電気融着継手の施工時に扁平専用のスクレーパー・ツールが必要になり、その開発が必要である。行き還り管の間隔を保持する安価な専用スペーサーの開発が必要である。

- ・Y 字形状ブランチ継手

行き還りの Y 字形状ブランチ継手 2 個を 1 個にした製品を次の開発とすることで、融着作業工数がさらに削減が可能になる。

- ・樹脂製ヘッド

システム設計者の設計工数、施工時間の更なる削減の実現化には、ヘッドに被覆する専用の保温材、固定部材等のアクセサリ部材の開発が必要になる。

## (3) 低コスト・高効率なヒートポンプ熱源機の開発

- ・60kW 級冷暖房ヒートポンプ開発では暖房 COP (成績係数) 4.3、冷房 4.5 の目標を達成し、コストは 56 千円/kW (税抜) の目処をつけた。また、30kW 級給湯専用ヒートポンプの開発は、給湯 COP4.0 の目標を達成し、コストは 63 千円/kW (税抜) の目処をつけた。連結型制御システムとしては最大接続可能台数をヒートポンプ 52 台、冷却塔 4 台、太陽集熱器 4 台とする簡易コントローラを開発し、一定の成果を上げることができた。今後、本事業の開発成果を製品化させるためには下記の課題がある。

- ・生産・組立では 60kW 級冷暖房ヒートポンプ及び 30kW 級給湯専用機は大・中規模向けのため、熱交換器や配管は大型で重量物であることから生産設備・組立性の検討が必要である。また、ヒートポンプ能力は大出力のため運転音も大きい。施工面の課題として騒音の低減化を図る必要がある。

- ・品質については、ヒートポンプ関連の規格適合の他、異常条件の想定試験の実施や故障時のフェールセーフ機構により安全性を確立する。

- ・コスト削減については低コスト・高効率なヒートポンプ熱源機に本事業で開発した高効率 U チューブと、簡易コントローラによる循環温度一定による採熱、冷暖房循環ポンプの可変制御を組み合わせることにより、更なるランニングコスト削減が見込まれる。H30 年度に構築したボアホール試験装置で冬期条件については実証試験を行い、高効率 U チューブの採熱特性の評価を完了したが、年間を通じた運転についても SCOP に注視し実証試験を継続する。また、製品化を実現するために 60kW 級冷暖房ヒートポンプと 30kW 級給湯ヒートポンプ併用運転時の地中熱量の安定供給や簡易コントローラを含めたヒートポンプシステムの信頼性を実証試験で確認する必要がある。

## (4) 低コスト・高効率に寄与する最適制御システムの開発

最適制御システムを導入した地中熱利用熱回収ヒートポンプシステム (HR-GSHP システム) については

実建物への導入が目標となるが、それを達成するための今後の課題としては以下が挙げられる。

- ・熱利用実態の調査

標準的な負荷パターンは、事務所ビル、ホテル等の業務施設は用途毎にあまり変わらないが、生産施設(工場)においては生產品目(工場用途)により全く異なる(事業内で検討を行った工場用途は食肉加工工場のみ)。生産機器における熱利用方式も以下のように種々のものがある。ヒートポンプ利用が可能な冷水利用、温水(低温)利用等であれば導入しやすい。

- ・冷熱：冷水方式(冷凍機)、冷却水方式(冷却塔)、冷媒直膨方式(エアコン、冷凍・冷蔵設備等)等

- ・温熱：温水(低温・高温)方式、蒸気方式、電熱方式、直火方式(等注) HR-GSHP システムが導入可能な熱利用方式まずは、既存施設における以上の熱利用実態の調査を行い、比較的 HR-GSHP システムの適用性が高い工場用途を抽出する。

- ・実施設計レベルでの既存施設導入検討

上記による調査結果をもとに、抽出された工場用途について、実施設計レベルの詳細適用検討を行い、HR-GSHP システムの適用性が高い事業ターゲットとなる工場用途を明確化する。

(5) 地盤・地下水データベースおよびポテンシャル評価マップの開発

- ・地下水・地盤物性データベースでは、ボーリングデータの収集を進め、地質の分布確率推定精度向上を図る。また有効熱伝導率を確率加重平均法で推定する場合に用いる基本地質の固有有効熱伝導率は、熱応答試験結果を全国で収集し、地域毎に決定することが望まれる。地下水流速の推定については、全国主要流域について地下水流動シミュレーションを実施したが、これらシミュレーション結果の実測値との比較による妥当性評価が必要である。また、シミュレーションを実施していない小流域についても今後、解析を行う必要がある。地中温度についても、特に地温勾配について地域毎で値が異なるため、全国各地の温度検層データを収集・分析し、地域毎の分布を推定していく必要がある。

- ・確立したポテンシャルマップ評価技術について、本事業では主に戸建住宅を対象に適用したが、今後は非住宅を含む様々な建物、地中熱交換器の種類や仕様、更に、SPF だけでなく LCC など異なる性能指標に対し、その適用性について検討し、ポテンシャルマップとして順次、整備公開していく。

- ・これら様々な条件の組み合わせでの個別シミュレーション決定を繰り返し、全国地中熱交換器規模のデータベースを構築することが地中熱利用の推進に向けて有用と考える。また、より実務的な要望として、シミュレーションを経ずに任意条件に対し、地中熱交換器規模を決定する手法が求められることから、上記データベースから回帰モデルを導き、任意条件に対応するダイレクト回帰決定法を確立することが次の目標となる。

(6) シミュレーションツールのクラウド化とサイトレベルシミュレーションの開発

本事業においては、Web ブラウザで利用可能な地中熱ヒートポンプ設計・性能予測ツール「Ground Club Cloud」を開発し、シミュレーションツールのクラウド化を実施した。また、地下水同定・予測システム「ジオモデラー」を改良し 3 次元地下水流動解析と GSHP システムの連成計算モデルを構築した。より広く地中熱利用を普及するにあたり、取り組むべき課題を下記に挙げる。「Ground ClubCloud」の課題は、次の 2 点がある。

- ・LCC 計算機能において、条件として入力できる機器が予め定められているので、機能を改良し実際の設備に合わせた機器選定及び条件入力ができるようにする。また、条件の自動入力(推定)機能についても検討し、操作を簡易とする。

- ・工務店レベルのユーザーを対象とし、作成したモデル(入力条件)の概要や LCC 計算結果、地中熱利用ヒートポンプシステムの性能予測計算結果を評価・確認しやすく整理して一覧表示できる機能を開発する。また、表示された画面をプリントする機能を追加する。これにより、地中熱利用ヒートポンプシステムの試算及び提案が容易となる。「ジオモデラー」の課題は、次の 2 点がある。

- ・連成計算モデルにおいて、サイトレベルの実証解析を行い広範囲におけるシミュレーション精度を検証する。

- ・土壌凍結計算において、実用的なモデルにおける検証を進め、必要に応じ計算プログラムを改良する。また、土壌凍結計算固有のパラメータを入力する GUI を整備する。

## 個別テーマ(2.8)

### (2.8)地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化

委託先：日本地下水開発株式会社  
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

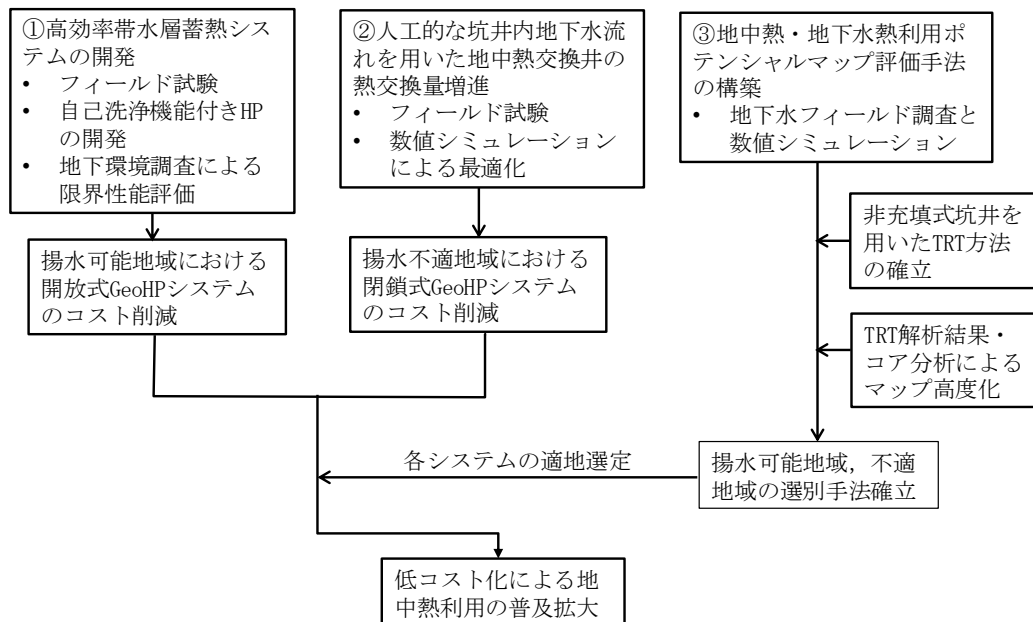
#### (2.8.1)背景と目的

本事業は、産学官による取り組みにより、地下水を利活用することによって地中熱利用システムの高効率化を達成して日本全国への普及を図り、日本全体での省エネルギーとCO2排出量の大幅削減を実現させることを最終目的としている。

本事業のフローは図Ⅱ(2.8)-1に示す通りであり、大別して3つの流れに区分される。

- ①日本地下水開発株式会社は、地中熱利用システムのオープンループを対象として高効率化を進め、日本全国の揚水可能地域における開放式GeoHP(地中熱ヒートポンプ)システムの設置コスト20%削減、運用コスト20%削減を実現する。
- ②国立大学法人秋田大学は、地中熱利用システムのクローズドループを対象として25%の高効率化を進め、日本全国の揚水不適地における閉鎖式GeoHPシステムのコスト削減を実現する。
- ③国立研究開発法人産業技術総合研究所は、東北の主要地域について三次元地下水流動・熱輸送モデルの構築と熱交換量予測シミュレーションを実施し、その結果に基づいて、クローズドループ、オープンループそれぞれに対応するポテンシャルマップを構築することで地中熱利用システムの適地選定ができるようにする。また、既存水井戸にU字管を仮設置したTRT(熱応答試験)解析結果とコア分析結果からポテンシャルマップの更なる高度化を実現する。

以上の成果により、高効率地中熱利用システムの日本全国への普及拡大が可能になる。



図Ⅱ(2.8)-1 本事業のフロー図

## (2.8.2)研究開発の概要

本事業は産学官による取り組みにより、日本における地下水を有効活用した高効率の地中熱利用システム（オープンループとクローズドループ両方）の導入検討段階、工事段階、稼働段階までトータルでのコストダウンを実現させるほか、最終的には設計・施工・稼働のマニュアルを構築し、東日本大震災被災地をはじめとして日本全国への普及を推進し、日本のCO2排出量の大幅削減を実現することを目標にしている。具体的な取り組みは以下の通りである。

### ①高効率帯水層蓄熱システムの開発（担当：日本地下水開発(株)）

帯水層蓄熱システムは地中熱利用システムのオープンループの応用型に分類される。オープンループは地下水熱を直接利用するためクローズドループよりも熱効率が格段に優れているのに加えて、本システムは帯水層に季節毎に冷温熱を蓄熱することから、熱効率が更に向上するメリットがある。

平成26年度～平成27年度は、山形市内に帯水層蓄熱システムの試験施設を設置するためのシステム設計を進め、同時に以下1)～4)の検討を進める。平成28年度以降は構築した試験施設を実際に稼働させて長期運転挙動のモニタリングを実施して効率・性能評価を行い、より高効率で運用コストを低減できるようなシステム改良や制御方法についても検討を進める。

#### 1)地下水注入方法の検討

日本の帯水層に最適な地下水注入方法を見いだすことを目標として、これまで日本で実施されたことのない密閉式注入井戸での注入試験を実施する。平成26年度は、山形市内に注入方法検討のための同一帯水層を取水・注入対象とする井戸を2本設置し、密閉式注入方法と従来型の開放式注入方法での注入状況を調査・比較する。密閉式注入のための井戸構造については、海外等の実際例を参考にして決定する。平成27年度には、前年度の比較結果に基づいて帯水層蓄熱システムに使用する3、4本目の井戸を設置する。日本の帯水層に最適な井戸構造と注入方法については、平成28年度に決定し提案するものとする。地下水の注入状況は、平成28年度～平成29年度にかけて、構築した帯水層蓄熱システムのモニタリングでも確認・検証するものとする。平成29年度～平成30年度にかけては、構築した帯水層蓄熱システムにおいて継続的に実施するモニタリング結果に基づき、適切な注入方法の検証を行い、制御方法についても検討する。

#### 2)太陽光集熱器を用いた帯水層の温度回復

日本の東北地方以北に設置される帯水層蓄熱システムでは、冬期暖房時間の方が夏期冷房時間よりも1.5～2倍以上も長時間となることから、帯水層内には冬期に注入される冷熱塊が卓越して形成されることになる。この冷熱塊と夏期に注入される温熱塊とのバランスをとることを目的として太陽光集熱器を用いた帯水層の温度回復に取り組む。

平成26年度は、井戸掘削や揚水・注入試験結果に基づいて試験地の地下水流動熱輸送解析モデルを構築し、シミュレーションにより太陽光集熱器による地下水温度上昇と帯水層への注入による冷温熱塊の挙動を推定し、施設の稼働計画を立案する。平成27年度には試験地に太陽光集熱器を設置して、実際にシミュレーションで得られた計画通りに稼働させ効果を検証する。稼働は、夏期だけでなく冬期の無散水消雪としての稼働も行い施設の稼働効率を向上させるだけでなく、その際の冷温熱塊の挙動を調査する。平成29年度～平成30年度は、帯水層蓄熱システムの長期稼働モニタリング結果に基づいて太陽光集熱器利用による効果検証を行い、シミュレーション結果の妥当性・整合性の確認・検証を行う。

#### 3)帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプ開発（担当：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社）

オープンループ型の地中熱利用での地下水は、空調や給湯などの用途での省エネを実現する水熱源ヒートポンプシステムの極めて有効な熱源(温熱源・冷熱源)である。しかし、地下水には無機物、有機物が多く含まれており、浄化をしない限りそれが原因で水熱源用の熱交換器にスケールやスライムが付着するため、熱交換器の伝熱性能が低下するとともに、熱交換器の目詰まりの原因ともなる。通常、熱交換器の洗浄は分解洗浄や薬液洗浄といったメンテナンスが定期的に必

要であり、メンテナンスコストがかかる。そこで本事業では、地下水熱源の熱交換器を自動洗浄する機能をもった今までにないモジュール型ヒートポンプユニットを開発する。

#### (1) 地下水熱交換器自動洗浄方法の開発

自動洗浄方法についての技術開発としては、洗浄用樹脂材を地下水熱交換器部分に通過させる方式と、短時間大流量逆洗方法の2方式を検討し開発する。これにより、熱交換器のメンテナンスコストが大幅に削減できるとともに、地下水熱源ヒートポンプシステムの性能低下を防ぐことが可能である。また、自動洗浄の機構をヒートポンプ内に組み込む(ユニット化することにより機器設置工事コストを削減する。必要に応じて他方式の検討を行う。

#### (2) 帯水層蓄熱対応ヒートポンプユニットの開発

帯水層蓄熱対応ヒートポンプユニットとしての技術開発としては、ヒートポンプに採用する自動洗浄し易いコンパクトで高性能な熱交換器(蒸発器・凝縮器)の開発、新型高性能二次側熱交換器の採用、新型高効率DCブラシレスモーターインバーター圧縮機採用など最新技術を取り入れた帯水層蓄熱システムに対応した冷暖房等に利用できるヒートポンプユニットの開発を行う。

### 4) 温度変化による帯水層蓄熱システムの運転限界評価 (担当：中外テクノス(株))

温度変化による帯水層蓄熱システムの運転限界評価は、中外テクノス(株)が再委託先として実施する。帯水層蓄熱システムの稼働による温度付加が地下圏微生物の活動に与える影響について、実環境、ならびに実環境を模擬した室内試験を通じ評価する。

#### (1) 帯水層蓄熱システム稼働時の温度負荷が地下微生物活動に与える影響評価とモニタリング

微生物の増殖速度の指標の一つである倍加時間は、ある温度帯では影響を受けないが、ある温度を境に急激に強く影響を受け、倍加時間が多大になる。すなわち、ある温度帯以上になると微生物の増殖が抑制され微生物活動に影響を与えると考えられる。元々地下水中に生息する微生物群集にも上記と同様に倍加時間に適した温度帯と適さない温度帯が存在し、帯水層蓄熱システム稼働に伴う地下環境の温度変化によって微生物の倍加時間・増殖に多大な影響を与えると考えられる。しかし、日本国内で地下水の温度変化が地下微生物に与える影響を評価した事例は極めて少ない。

ここでは、室内試験により地下環境の温度変化が地下微生物に与える影響について評価する。具体的には、帯水層蓄熱システムによる地下環境の温度負荷を模擬し、複数の温度帯で地下環境試料を培養し、それぞれの温度帯における試料中の微生物群集構造解析を行う。検出される微生物種の数や種類の差異などの得られた微生物情報に基づき、微生物群集(有害微生物を含む)に影響を与えない温度負荷帯について評価する。

これらの試験・調査は、平成26年度～平成28年度に東北地方の複数地域から採取した複数の地下水試料を用いて実施するものとする。また、帯水層蓄熱システム稼働に伴う水温変化を室内試験において再現し、長期的な温度変動が地下圏微生物活動に与える影響についても微生物群集構造解析を行い調査する。帯水層蓄熱システム稼働時の実環境におけるモニタリングは、平成29年度に実施するものとする。

#### (2) 帯水層蓄熱システムによる地下環境への影響評価手法の確立

平成30年度に、上記の(1)で得られた知見を活用し、帯水層蓄熱システム利用にかかる影響評価手法を確立する。また、(1)で実施する微生物群集の分析をより安価な手法で代替することも視野に入れる。

### 5) 設計・施工・稼働マニュアルの作成 (担当：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、中外テクノス株式会社)

平成30年度は、上記1)～4)で得られた知見や成果を取りまとめ、一般的なオープンループシステムと比較して、設置コスト・運用コストを20%低減可能な帯水層蓄熱システム構築のための設計・施工・稼働マニュアルを作成する。



## ②人工的な坑井内地下水流れを用いた地中熱交換井の熱交換量増進（担当：国立大学法人秋田大学）

閉鎖型地中熱利用システム（クローズドループ）では地下水流速が大きい場合、その熱移流効果により熱交換井における採排熱が速やかに周辺地盤に拡散するため高効率な運転が可能である。一方、国内に多く見られる難透水性・低熱伝導性を示す堆積地盤や丘陵地などでは、熱交換井周辺に熱が滞留して熱交換井能力が低下し、必要な井戸長さが増加するため、従来型エアコンに対する競争力が弱い。そこで、本研究では難透水性を示す地盤における地中熱利用の普及を促進するために、地中熱交換井における揚水と注水の組み合わせた半開放式地中熱利用システムの開発を目指す。同システムでは、熱交換器としては通常用いられる HDPE（高密度ポリエチレン）製 U 字管を用いるが、いずれの井戸でも熱交換井内に人工的な垂直方向の地下水流れが発生し、注水井では熱移流により効果的に地層中に処分して熱交換能力を増進され、揚水井では新鮮な地下水が井戸内に導入されて U 字管を循環する熱媒体の温度変化を抑えることができる。

本システムでは、地下水を直接ヒートポンプの熱源に用いる開放式システムのように 100L/min 以上の地下水産出能力を必要としないため、地盤状況を問わず設置可能であり、汎用性が高い。同様の研究が国内外で実施された例はなく、沖積平野に人口密集地が集中する我が国の国土を省エネルギーに有効利用する研究と考えられる。

### 1) 揚水・注水による熱交換量改善の検討

半開放式地中熱利用技術の性能評価と環境影響調査のための実験的及び数値的検討を行なう。

### 2) 半開放式地中熱利用システムの長期運転試験とその評価

性能評価に関しては、平成 26 年度から平成 28 年度において透水性と熱伝導性が低い沖積平野である秋田市において長期フィールド試験を行う。フィールド試験では、揚水・注水を行う地中熱交換井各 1 本において揚水・注水量を変化させてサーマルレスポンス試験（以降 TRT と略す）を実施し、揚水・注水量と熱交換井能力との相関を評価する。その後、両熱交換井をヒートポンプに接続して長期冷暖房試験を行い、本システムの長期運転性能と総合エネルギー効率（成績係数 = 供給熱量 / (ヒートポンプ消費電力 + 揚水ポンプ消費電力)）を評価する。また、注水を伴うシステムにおける操業上の最大の課題は注水井の目詰まりによる注水量の低下であり、鉄分や溶存成分が多い地下水を用いたシステムでは対策が必要である。秋田平野の試験予定地の地下水は鉄分や微粒子を含み、目詰まり対策が必要と考えられるが、本研究ではこれを防止するために、揚水井と注水井を切り替えることにより逆洗浄（注水井において揚水を行い、詰まった微粒子を除去すること）を運転プログラムに組み込み、その効果を評価する。逆洗浄で不十分な場合は、地下水フィルターの設置などの検討を行う。平成 29 年度および平成 30 年度には、透水性と地下水位が低い地域で、平成 26～28 年度と同様の長期フィールド試験を行い、地質条件の異なる地盤における本システムの適用性を詳細に検討する。特に、地下水位が低い立地では、揚水ポンプ消費電力が総合エネルギー効率に大きく影響するため、揚水井と注入井の間に密閉配管を用いてヘッド差を最小化し、揚水ポンプ消費電力を低減するシステムの構築を行う。

### 3) フィールドデータに基づく数値モデル構築・感度計算と経済性の検討

本システムの運転挙動を再現する熱交換井の数値モデルを地質データに基づいて構築し、様々な運転条件で運転挙動の長期予測計算を行い、本システムにおける最適な揚水量、揚水深度などの条件を提案する。特に、本システムでは揚水ポンプの消費電力（揚水量の 3 乗に比例）がエネルギー効率に大きく影響するため、最適な揚水量について詳細な分析を行う。

## ③地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築（担当：産業技術総合研究所）

### 1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成

平成 26 年度～平成 28 年度には、東北主要地域における既存の水文地質資料の収集及び対象地域における地質調査・地下水調査を実施する。また、平成 27 年度～平成 29 年度には、オールコアボーリング試料を用いて様々な第四紀層の地質の熱物性分布を測定し、さらに同地点において熱応答試験 (TRT) を実施することで有効熱伝導率と地質構造、地下水動の関係を明らかにする。



これらのデータを用いて、3次元地下水流動・熱遺留モデルの構築を実施する。最後に、構築したモデルを用いて熱交換量予測シミュレーションを実施し、その結果に基づく地中熱ポテンシャルマップを作成・提供する。対象地域は東北各県の主要地域とし、地中熱(クローズドループ型)・地下水熱利用(オープンループ型)に対応するポテンシャルマップを構築する。

2) 既存水井戸にU字管を仮設置した TRT による多地点における採熱量推定

TRT を行うには、掘削費を含めると 2~3 百万円の費用を要し、現状においては多地点での実施が困難である。そこで、本研究では平成 27 年度~平成 30 年度には、既存水井戸にU字管を仮設置した TRT により、同一地域で多地点における熱伝導率分布の推定技術を開発する。この手法の問題として、従来の研究では非充填式水井戸での TRT の精度が確認されていない点が挙げられる。そこで、本研究ではフィールド試験で充填井、及び非充填井における TRT に基づく熱伝導率の比較を実施し、補正が必要な場合は補正方法を確立する。

3) TRT 結果に基づくポテンシャルマップの高度化

従来の地中熱ポテンシャル研究の中で構築されたポテンシャルマップの結果について十分な検証が行われた例はない。そこで、平成 29 年度~平成 30 年度には、上記 2) で求めた同一地域・多地点における熱伝導率分布を構築したポテンシャルマップへフィードバックすることにより、モデル対象地域内におけるポテンシャルマップの精度を向上させ、マップの高度化技術を確立する。

表 II (2.8)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	中間目標 (平成28年度末)	最終目標 (平成30年度末)	目標レベル設定の根拠
①高効率帯水層蓄熱システムの開発	日本の帯水層に適する地下水注入方法を提案し、帯水層蓄熱システムの運転挙動モニタリングを実施して効率・性能評価を行う。	帯水層蓄熱システムの井戸構造や注入方法、制御方法を確立する。	帯水層蓄熱システムの設置コスト・運用コスト共に20%低減させ、その設計・施工・稼働のマニュアルを完成させる。
	地下水流動熱輸送解析モデルを構築し、太陽光集熱器の有無での帯水層内の温度回復を推定する。	太陽光集熱器を追加設置した帯水層蓄熱システムにて、シミュレーション結果の妥当性・整合性を確認し、最適な稼働方法を確立する。	
	実用段階モデルの帯水層蓄熱システム用ヒートポンプを、帯水層蓄熱システムに組み込み、効率や性能を実稼働データに基づいて検証する。	ヒートポンプについては、普及に向けた製品化を実現する。	
	温度変化による帯水層蓄熱システムの運転限界評価について、室内試験結果に基づく評価基準を設定し、フィールド試験準備段階を確立する	温度変化による帯水層蓄熱システムの運転限界評価では、地下環境に悪影響を与えない注入地下水温度基準を確定させる。	
②人工的な坑井内地下水流れを用いた地中熱交換井の熱交換量増進	注水・揚水を行わないケースと行うケース(半開放式地中熱利用システム)において、それぞれの成績係数を求め、システムCOP25%増加(消費電力20%)を達成する。	注水・揚水を行わないケースと行うケースの成績係数を求め、地下水位が低い台地においても、システムCOP25%増加を達成、システム汎用性を実証する。	揚水・注水による熱交換量改善、半開放式地中熱利用システムの長期運転試験評価、フィールドデータに基づく数値モデル構築・感度計算と経済性を検討する
③地中熱・地下水熱利用ポテンシャル	東北各県における3次元地下水流動・熱輸送モデルモデルを用いて、熱交換量予	構築したポテンシャルマップへTRTデータをフィードバックすることにより、	東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップ作成、既存水井戸にU字管を仮設

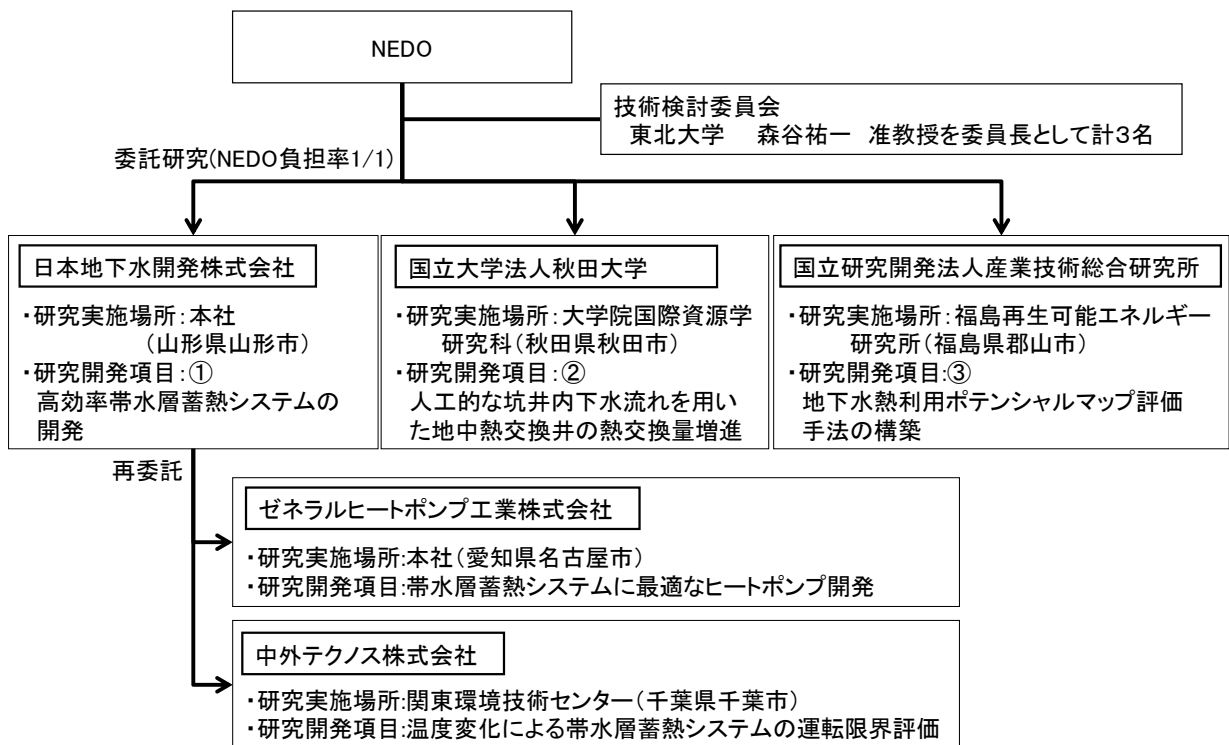
マップ評価手法の構築	測シミュレーションに基づく地中熱ポテンシャルマップを作成する。	マップを高度化する	置したTRTによる多地点における採熱量推定、TRT結果に基づくポテンシャルマップを高度化する。
------------	---------------------------------	-----------	-------------------------------------------------

(2.8.3)事業スケジュール

本研究開発の事業期間は、平成26年7月24日から平成31年2月28日までである。主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(2.8)-2に示す。

表Ⅱ(2.8)-2 研究開発のスケジュール(2.8.4)研究開発の実施体制

事業項目	平成26年度				H27年度				平成28年度				平成29年度				平成30年度							
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q				
①高効率帯水層蓄熱システムの開発		検討・設計			設置工事				検証・評価				実システム検証								実稼働データによる効率、経済性の検討			
②人工的な坑井内流れを用いた地中熱交換井の熱交換量増進		検討・実験			設計・設置				検証・評価				追加検証・評価								長期運転データによる評価 経済性評価			
③地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築		モデル構築							データ収集・マップ作成												ポテンシャルマップの高度化			
																					既存井戸利用TRTによる多地点の採熱量推定			



### (2.8.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ (2.8) -3 地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度発化

「地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度発化」技術検討委員会

日本地下水開発株式会社  
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

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	森谷 祐一	国立大学法人東北大学 大学院工学研究科 准教授
副委員長	井岡 聖一郎	国立大学法人弘前大学 北日本新エネルギー研究所 准教授
委員	石上 孝	三菱マテリアルテクノ株式会社 資源・環境・エネルギー事業部 ドリリング部 係長

所属は、委員会組織時点のもの

## Ⅲ. 研究開発成果について

### (2.8)地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化

#### 【成果概要】

本事業での取り組みにより、高効率地中熱利用システムにおいてこれまで課題とされていた以下の4件をクリアすることができた。

- 1) 地下水100%注入を実現
- 2) 帯水層内で卓越する冷熱塊の打ち消し可能であることを実証
- 3) 専用ヒートポンプを開発して高効率を実現
- 4) システム稼働による帯水層への環境影響はないことを確認

地中熱ポテンシャル評価は、クローズドループシステムとオープンループシステム及び帯水層蓄熱システムについて、東北5地域でポテンシャル評価解析を実施してマッピングした。実施した熱応答試験結果をポテンシャル評価解析に反映させて、高精度のポテンシャルマップ構築方法を開発した。

#### 【項目別成果】

##### (1) 高効率帯水層蓄熱システムの開発

###### 1) 地下水注入方法の検討

ソニックドリル(SD-175)を使用したプルバック工法による密閉式注入可能な構造の井戸4本を設置し、井戸構造と設置工法の検証を行った。井戸完成後に実施した揚水試験結果から、昨年度設置した井戸と同等の200 L/min以上の揚水能力を有していることを確認した。また、開放式注入試験と密閉式注入試験結果から、密閉式で加圧することにより開放式の注入量を倍増できることが再確認された。加圧注入試験時には井戸周囲から地下水が噴出することなく、安定的に加圧注入することが可能であったことから、採用した設置工法が密閉式井戸構造に有効であることが確認された。

###### 2) 太陽光集熱器を用いた帯水層の温度回復

太陽光集熱器を完成させ、地下水を送水、夏期は温熱を、冬期には冷熱を井戸に注入する冷温熱注入試験を実施した。その結果、施設の運転効率を向上させるために、太陽光集熱器（無散水消融雪施設）による蓄熱の強化は非常に有効であることが明らかになった。

三次元地下水流動熱輸送解析モデルを構築し、井戸2本の掘削結果と揚水試験結果に基づいて修正を加えた。また、冷温熱注入試験データを用いてヒストリーマッチングを繰り返し実施し、モデル地層の諸物性値を設定した。その結果、実測データとヒストリーマッチング結果は概ね一致することが確認され、当面の検討を行うための解析モデルを完成した。構築したモデルをベースとして輸送モデルをベースとして、井戸の配置や地下水流動方向および地下水流動速度を様々な設定できる拡張型のモデルを構築して、地下水流動方向と速度の違いによって、揚水井と注入

井の最適な配置や、地下水流動速度における帯水層蓄熱方式の適応限界について検討を行った。  
その結果から、帯水層蓄熱方式を導入する場合の地下水流動について下記のような条件を提示することができる。

**条件1**

地下水流動速度は 20 m／年以下であること。ある程度の効率低下を折り込む場合でも24m／年程度が限界であると見られる。

**条件2**

冬期揚水夏期注入井および夏期揚水冬期注入井の配置は、地下水流動方向に対して直交する方向に配置することが望ましい。

**条件3**

冬期揚水夏期注入井および夏期揚水冬期注入井の間の距離について、敷地条件等から考えた最大の距離を取る必要がある。また、必要とされる井戸間距離は、揚水量および注水量のよって変わる。そのため、事前に地質調査やシミュレーション等によって十分な検討を行うことが必要である。

3) 帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプ開発

地下水熱交換器自動洗浄システム開発のため、大流量による逆洗、電磁式、超音波式などによるスケール洗浄方法の検討、および、一部は地下水熱交換器を模した試験装置による実証試験を行った。その中で、電磁式による方法では、熱交換器に付着した地下水由来のスケールの剥離・除去が進んでいることが、目視および水質試験により確認された。

帯水層蓄熱対応ヒートポンプユニットの開発としては、フィールド試験に供するための、DCインバータ圧縮機等を採用した冷暖房能力30kWの電磁処理装置付き高効率ヒートポンプユニットの設計を行い、フィールド試験を実施した。その結果、開発した帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプユニットにおいて、井戸の密閉構造+電磁処理によりスケール付着を抑制できた。

4) 温度変化による帯水層蓄熱システムの運転限界評価

帯水層蓄熱システムによる地下環境に対する運転影響の検討を目的として、地下水温の変化が地下微生物に与える影響について調査した。すなわち、地下水試料を複数の温度で培養し、温度変化が地下微生物に与える影響について、①病原性細菌とその近縁細菌種、②群集構造変化、③微生物代謝に関連する化学種、に着目して分析し統計的に評価した。

病原性細菌とその近縁細菌種は環境中に普遍的存在するため、全ての試料から極めて低頻度で検出されたが、原位置地下水温度(15℃)とその他の培養温度における当該細菌種の経時変化は、統計的に有意な差異は認められなかった。また、微生物群集構造の変化や微生物代謝に関連する化学種濃度の変化にも、同様に統計的な差異は認められなかった。

以上の培養試験結果では、本事業の運転条件(採水時地下水水温: 運転前平均地下水水温-5℃~+8℃)において、帯水層蓄熱システム稼働による地下環境への影響は認められないことが分かった。

5) 設計・施工・稼働にかかる技術資料の作成

高効率帯水層蓄熱システムと従来型オープンループシステムのコスト比較を行った。なお、インシヤルコストの積算項目は直接費のみとし、積算単価は実行レベルに準じて設定したが、ヒートポンプについては量産段階に進んだ場合の目標単価とした。また、ランニングコストにおいて高効率帯水層蓄熱システムでは本事業における実稼働データの消費電力量に基づいて、東北電力の電力量単価を乗じて電力料金を算定した。従来型オープンループシステムのランニングコストについては、高効率帯水層蓄熱システムと同時間稼働した場合の電力料金に加えて冷房時・暖房時共に2週間に1回の頻度で逆洗運転を実施するものとし際の電力料金と排水される地下水の下水道料金を加えて算定した。その結果、設置コスト21%低減、運用コスト31%低減を実現し、設計・施工・稼働にかかる技術資料が完成した。

(2) 人工的な坑井内流れを用いた地中熱交換井の熱交換量の増進

1) 揚水注水による熱交換量改善の検討

秋田大学構内の試験井(深度102m)において、揚水または注水を伴ったサーマルレスポンス試

験 (Thermal Response Test:TRT)を行い、通常のTRTと比較して、熱媒体温度上昇がどの程度抑制できるかを検証した。新規掘削井において行った揚水を伴うTRT結果から、地下水の揚水により熱媒体平均温度が8℃減少し、COPは26%向上した。

## 2) 半開放式地中熱利用システムの長期運転試験とその評価

半開放式地中熱システムの実証試験を実施するため、秋田大学構内に試験井(熱交換井2本、観測井1本)を新規に掘削した。その後、熱交換井において透水試験および熱応答試験(TRT)を実施したのち、半開放式地中熱システムを構築し、長期運転試験を実施した。実証試験結果より、地下水の揚注水により熱交換能力の一定の改善効果は得られたが、試験地盤における天然の地下水流れによりその効果は限定的であった。また異なる地質構造の地盤への本システムの適用性は確認できたが、地下水位の低い地盤については水中ポンプを導入するなどの対策が必要であると判断された。

## 3) フィールドデータに基づく数値モデル構築・感度計算と経済性の検討

異なる地層・地下水流動条件、運転条件における半開放式地中熱利用システムの性能評価を行うことを目的として、地中温度挙動を再現する数値シミュレーションモデルを地下水・熱輸送シミュレーションソフトFEFLOWを用いて構築した。モデルサイズは20m×25m×80mとし、地質はフィールド試験位置と同一とした。最初にモデルの妥当性を実証するために平成27年度に実施した暖房試験において測定した熱交換井入口温度、流量を用いて熱交換井出口温度のマッチング計算をすべての暖房試験について行い、測定値を実測値の良好な一致を得た。当モデルを用いて地下水の揚注水によるGHE出口温度の比較した場合、揚注水を行うことにより熱交換可能量が2kWから10kW以上に大きく向上すると推測されCOP、SCOPの改善効果は、地下水流れがない場合ではCOPが100%以上、SCOPが60%以上と大きく改善する結果となったことから揚注水による顕著な熱交換能力の改善が期待されることが明らかとなった。

次に、構築した数値モデルを用いて、半開放式地中熱システムを20年間使用した導入した場合の経済性検討を行った。その結果、揚注水の効果は冷房負荷の大きい地域においてコスト削減効果が顕著であり、また0.1m/day程度の遅い地下水流れが存在する地盤では20~30%、地下水流れが無視できる地盤では総コストの30~40%を削減できる可能性があることが示された。

## (3) 地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築

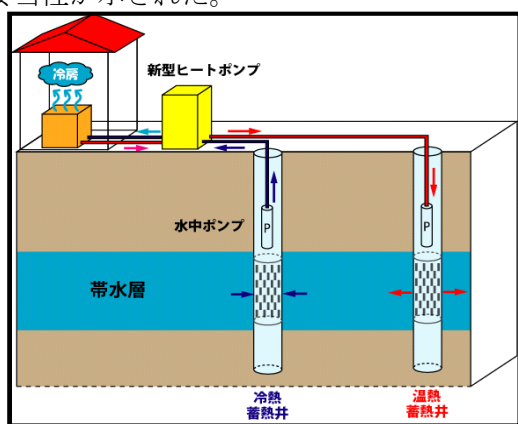
### 1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成

ポテンシャル評価の高度化に資する地下地質情報調査のため、研究対象地域内において地質資料の採取および熱応答試験を実施した。実施した場所は、青森県中泊町、秋田県秋田市、宮城県仙台市、福島県郡山市、山形県山形市および石川県金沢市の計6か所である。コア試料を採取した後、同孔を熱交換井仕上げとし、熱応答試験を実施した。熱応答試験では、①自然地中温度分布の測定、②温水循環試験、③温度回復試験の3種類を実施した。また、地中熱ポテンシャル評価に先立ち、研究対象地域(5地域)における3次元地下水流動・熱輸送モデルの概念モデルを構築した。研究対象地域について、モデル領域の水平境界は平野の分水嶺、下面境界は、深度方向に十分なクッションゾーンが必要となるため、新第三系まで含めた。モデル構築においては、事前に地層の上下面境界の標高データおよび地下水流動の程度にかかる情報を収集した。解析方法は定常解析とし、ソースコードは(FEFLOW ver. 7.0以上)を用いた。地下水流動解析の水収支誤差は0.1%以内とした。地下水流動に関する結果は現地で測定された水位データを用いて比較・検証を行い、熱輸送モデルの検証については、現地で測定された温度-深度プロファイルを用いた。地中熱ポテンシャル評価については、クローズドループシステムとオープンループシステムおよび帯水層蓄熱システム(ATES)の3種類について、東北5地域において、それぞれのポテンシャル評価解析を実施しマッピングを行った。

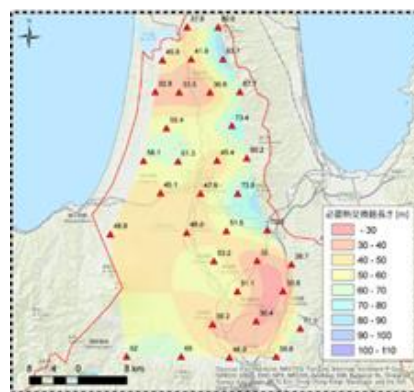
### 2) 既存水井戸にU字管を仮設置したTRTによる多地点における採熱量推定

非充填熱交換井におけるTRT解析方法について検討を行った。秋田市内に設置した深度102m、口径179mm、ケーシング内径100mmの熱交換井において、非充填状態および充填状態でTRTを実施し、地層全体の平均熱伝導率および深度毎の熱伝導率の解析結果を比較した。その結果、非充填および充填状態で実施したTRTでは平均熱伝導率および深度ごとの熱伝導率のいずれにおいても

解析結果に良好な一致が見られ、ケーシング内径100mmまでの非充填熱交換井のTRTにおける仕様の妥当性が示された。



図Ⅲ(2.8)-1 高効率帯水層蓄熱システム



図Ⅲ(2.8)-2 ポテンシャルマップの一例 (クローズドループシステムにおける必要熱交換器長さの分布)

表Ⅲ(2.8)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	8件	2件	0件
H27FY	0件	0件	0件	2件	2件	12件	2件	1件
H28FY	1件	0件	0件	2件	0件	8件	5件	0件
H29FY	0件	0件	0件	2件	0件	13件	4件	1件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	17件	7件	2件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.8)-2 成果の最終目標の達成可能性

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○:達成 △:一部達成 ×:未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
①高効率帯水層蓄熱システムの開発 1) 地下水注入法検討 2) 太陽光集熱器による帯水層の温度回復 3) 最適なヒートポンプの開発 4) 温度変化による運転限界評価 5) 設計・施工・稼働にかかる技術資料の作成	1) 帯水層蓄熱システムに適する井戸構造、地下水注入方法、井戸構築方法、注入の制御方法の確立	1) ソニックドリルを使用した密閉式井戸の築造方法を確立。構築した帯水層蓄熱システムの稼働時に密閉式井戸での100%注入を確認(夏期も冬期も)	○
	2) 太陽光集熱器を加えた実稼働データに基づき、最適稼働方法を確立	2) 構築した高精度シミュレーションモデルでの解析結果と、稼働データによる最適稼働方法の設定。イニシャルコスト21%削減、年間ランニングコスト31%削減達成	○

	3) 熱交換器の総括熱伝達率の低下が初期値の10%以内。ヒートポンプの性能低下が初期値の2%以内。冷却 COP 5.5 加熱 COP 5.0			3) 熱交換器内部確認では、顕著なスケール付着なし。要素技術の評価において総括熱伝達率の低下が初期値の10%以内。工場内の性能試験結果、冷却 COP 6.45、加熱 COP 5.82。フィールド試験の COP も目標値を上回る結果。	○
	4) 地下水温度変化が地下環境(微生物群集・水質)に及ぼす影響を評価し、地下環境に影響を与えない地下水注入温度基準を提案。			4) 室内試験、現場モニタリング結果より、蓄熱システム運転による地下水温度の変化は地下微生物群集・水質に影響しないことが示された。現場モニタリングの結果、地下水注入温度は、平均地下水温度 $-5^{\circ}\text{C}$ から $+8^{\circ}\text{C}$ の範囲で地下環境に影響を与えないことが示された。	○
	5) 設置コスト 20%低減、運用コスト 20%低減 設置・運用コスト 20%低減可能な高効率帯水層蓄熱システム構築のための設計・施工・稼働にかかる技術資料を作成			5) 設置コスト 21%低減運用コスト 31%低減。設計・施工・稼働にかかる技術資料が完成。	○
②人工的な坑井内流れを用いた地中熱交換井の熱交換量増進 1) 揚水注水による熱交換量改善の検討 2) 半開放式地中熱利用システムの長期運転試験とその評価 3) フィールドデータに基づく数値モデル構築・感度計算と経済性の検討	1) 地下水流速が遅い地盤において、地下水を揚水注水し人工的な地下水流れを起こすことによる熱交換量改善を検討			1) 新規掘削井において行った揚水を伴う TRT 結果から、地下水の揚水により熱媒体平均温度が $8^{\circ}\text{C}$ 減少し、COP は 26%向上した。	○
	2) 地下水の揚水注水を伴う半開放式地中熱利用システムにおいて、長期冷暖房試験による熱交換井の能力改善効果を評価			2) 長期冷暖房試験の結果、15L/min 揚水注水時において COP は暖房運転で約 8%、冷房運転では約 14%の改善が見られたが、自然の地下水流れの影響により SCOP の改善はわずかであった。	○
	3) 数値モデルにより、様々な運転条件で運転挙動の長期予測計算を行い、本システムにおける最適な揚水量などの条件を検討するとともに、トータルコストの 20%削減を目標とする			3) 感度計算では、地下水流れがない地盤においては COP が 100%以上、SCOP は 60%以上と大きく改善。経済性検討では、秋田市と東京都に半開放式地中熱システムを導入した場合、秋田市では最大約 34%、東京都では最大約 44%の総コスト(初期コスト+運転コスト)を削減可能であることが示された。	○
③地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築	1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャル	広域地下水流動・熱輸送モデリング	水文地質データおよび上記熱物性データに基づく三次元地下水流動・熱輸送モデルの構築	津軽平野、秋田平野、仙台平野、郡山盆地、山形盆地、金沢平野にて完了	○

1) 東北主要地域におけるポテンシャルマップ作成 2) 既存井戸利用 TRT による多地点の採熱量推定 3) TRT 結果に基づくポテンシャルマップ高度化	マップの作成	クローズドループポテンシャルマップ	国交省 H25 年省エネルギー基準に準拠した建物の冷暖房負荷条件に基づくポテンシャル評価	津軽平野、秋田平野、仙台平野、郡山盆地、山形盆地、金沢平野にて完了	○
		オープンループ適地マップ	地下水流速、揚水・還元の可能性等に基づくシステム適地の選別手法確立	津軽平野、秋田平野、仙台平野、郡山盆地、山形盆地、金沢平野にて完了	○
	2) 既存井戸に U 字管を仮設置した TRT による、同一地域で多地点における熱伝導率分布の推定技術開発			H27 年度業務で、秋田大学と共同研究結果から、小口径井戸では多地点での検証は不要と結論	○
3) オールコアボーリング試料による熱物性データの測定および同地点での熱応答試験によるみかけ伝導率の関係を評価				津軽平野、秋田平野、仙台平野、郡山盆地、山形盆地、金沢平野にて完了	○

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発した高効率帯水層蓄熱システムにおいて、同規模のクローズドループと比較した場合、設置コスト全体で大幅なコストダウンを実現した。

事業終了後の 5 年間程度を目途にして、日本地下水開発株式会社を中心となり、主に東北地方を対象として高効率帯水層蓄熱システムと半開放式地中熱利用システムの普及活動を推進する予定である。東北地方で人口が集中する平野部や盆地部の多くは地下水が豊富であることから、高効率帯水層蓄熱システムの導入を推進し、丘陵地や中山間地のように地下水が余り豊富ではない地域には半開放式地中熱利用システムの導入を推進、地下水が望めない地域には従来型の地中熱利用システムを提案するなど、本研究開発で得られた成果を生かして、各地域の水文環境に最適なシステムを提案することが可能である。

高効率帯水層蓄熱システムが中規模～大規模施設で高い経済性を発揮することをアピールするため、東北地方の公共団体が保有するシンボリックな公共施設への導入を推進する。経済効果の見える化により、本システムの地域住民への啓蒙と経済効果のアピールを進める。その後、一般商用施設への普及を推進し、段階的に普及活動を進めていく予定である。

半開放式地中熱利用システムは小規模施設への導入が可能であることから、戸建住宅への普及促進のために住宅メーカーと連携を検討する。新築される高気密高断熱住宅に本システムを組み込めば更なる経済効果が発揮されることをアピールできる。

本研究による開発技術は当事者のみの固有技術とはせず、本事業の最終段階で導入マニュアルを作成した。導入マニュアルを日本国内のボーリング事業者や冷暖房設備事業者に広めることで、全国に普及させる。このため、日本の産業・業界全体に対して経済的・技術的な波及効果が期待できる。さらに、水文地質構造が日本に類似する東南アジア諸国に対しても、将来的に事業展開が可能とみている。



## (2.9)一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究

委託先:学校法人日本大学工学部  
有限会社住環境設計室  
日商テクノ株式会社

### II. 研究開発マネジメントについて

#### (2.9.1)背景と目的

再生可能エネルギーとして位置づけられる地中熱利用において、その飛躍的な普及・拡大を図るためには、公共施設や商業施設はもちろん、一般住宅への導入が不可欠である。しかしながら地中熱利用システムの導入コストは一般空調市場で支配的である空気熱利用に対して極めて高く、普及拡大を図るためにはシステム全体での低減化が必須である。特に施工費の大きな割合を占める地中熱交換器のコスト低減は最重要課題とされている。このような背景から地下20m程度までの比較的浅い地中の熱を有効に利用する浅部地中熱利用に着目している。この方式は採熱量/地中熱交換器数は比較的小さいものの、地中熱交換器の施工法が容易となり、大幅な施工コスト低減が期待できるので一般住宅向けとしてその実用化が望まれている。

そこで浅部地中熱利用に関する技術開発において、ヒートポンプも含めたトータル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むことにより、設置コストの低減、ならびに高効率化を通じた運用コスト低減を実現する。これにより、地中熱利用の自立的普及を達成することを狙った一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化に貢献すること、さらには再生可能エネルギー熱利用の普及拡大を促進することを目的としている。

地中熱利用の有効性が叫ばれてから久しく既に15年以上が経過している。当初から初期導入コストが大きな問題とされていたが未だに解決していない。これは従来のスキーム、事業者構成および従来の視点に立った技術開発では解決できないということでもある。

浅部地中熱利用は従来とは全く異なる観点からスタートした地中熱利用システムであり、多くの解決すべき技術課題があることも事実であるが、事業開始時の初期導入コストを定めてから技術開発をスタートしている。従って技術開発後の大量生産によるコストダウンという量産効果への期待は当初から盛り込んでいない。このことは従来の導入補助制度を不要とするものであり、開発終了時点での市場投入が可能となることをねらっている。事業者についても、土木建築業界を主体とする従来の枠組みとは異なる業種からの参入であり、より競争原理が働き易いものとなる。技術開発においては、自律的普及による継続的事業化(商業化)が可能とすること、そのためには広がりをも可能とする標準化の実現を目指している。

以上のようにここでの目的は、従来とは異なる観点での技術開発ならびに事業形態である。り加えて、ユーザーが自己資金で購入できる価格で提供することにより、今まで極めて厳しいとされた自己資金による一般住宅向け地中熱利用の普及・拡大を実現するとともに、新しい産業としても確立できるものとする。

#### (2.9.2)研究開発の概要

浅部地中熱利用向け地中熱交換器およびヒートポンプの技術開発により、現状の240万円/5kW(販売表示価格)から150万円/5kW(販売表示価格)に低減することで一般住宅向け地中熱冷暖房システム設置コストを40%削減する。また、ヒートポンプによるシステム制御により、運転コストを現在の浅部地中熱利用方式(無制御方式)と比べて10%削減することを最終目標とする。

研究開発項目は以下の通りである。

##### I. 既存住宅向け2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発

- ・鋼管の無溶接接合技術と回転埋設技術を改良し、狭隘域での熱交換井施工の迅速化、低振動
- ・低騒音化および排出残土の無残土を可能とする施工法(熱交換井一本当たりの設置費5千円/m以下)の技術開発
- ・礫層にも対応できる掘削用錐先端(ビット)の開発
- ・2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の実用化開発

## II. 浅部地中熱利用向けヒートポンプ(HP)システム技術の開発

- ・熱需要に応じて運用熱交換井を選択する制御および室内機との連動制御機能を実装したヒートポンプの運転制御系の技術開発
- ・普及拡大を狙って大幅にコストダウン(30万円/5kW)したヒートポンプシステムの開発
- ・浅部地中熱利用システムの熱性能評価試験の実施

## III. 浅部地中熱利用向け地中熱リファレンスマップのマッピング技術の開発

- ・採熱に影響を与える地下水流動、地中温度および土壌熱物性値など、不確実なデータ群についてはその値を過少に評価することで地中熱交換器の採熱あるいは放熱量を安全側に見積もった事業適合性の高いマップづくりを実施し、設定した代表採熱パターンによって得られた採熱量について、熱交換井長さをパラメータとしてWEB上のマップに表示する技術開発

## I. 既存住宅向け2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発

### I-1) 熱交換井の組立/埋設機器の小型化/省力化技術の開発(担当:日商テクノ(株))

熱交換井の設置施工において、地中熱交換器が設置される地盤内部に礫層が存在する場合、回転埋設だけでは挿入が困難である。そこで地盤調査用簡易ボーリング機と同様に、回転と同時に礫層に打撃・振動を加えて水平方向の礫排除を促すことで回転埋設の掘削速度の向上を図り、小型軽量で低トルクであっても鉛直方向に鋼管を埋設できる技術を開発する。また日商テクノが保有する鋼管の無溶接接合技術を活用し、埋設現場で地中熱交換器を自動的に組み立てる技術を開発する。これは地中熱交換器用鋼管の管端の内面と外面に転造ネジ加工するものであるが、従来よりも大きな捻りモーメントがかかる地中熱交換器埋設施工に適用できる新たな鋼管継手方法を開発し、狭隘な現場で自動的に組立/埋設を行う機構を導入する。埋設機構においては、狭隘地での施工を想定し、本機構のサイズ限界(幅、奥行き1m以内)に収まるようにする。

#### I-1-1) 打撃・振動機構の開発

打撃/振動を有する2重管式地中熱交換器の回転埋設機構を試作する。日商テクノが保有する現行の小型回転埋設機設計技術に、粘土層や砂礫層に対する埋設促進を行うことを目的とした埋設促進を行う油圧機構を加える。この機構の開発においては地盤調査用簡易ボーリング機と同様な回転と同時に打撃・振動を加える機構部分を参考とする。

開発においては、粒径30mm以下の模擬礫層を設置し、地盤調査装置と同様な熱交換井の上下ストロークや振動周期および油圧を変数とする回転埋設試験の予備試験を行い、それにより計測や装置の不具合を調整する。

本試験において、具体的には平均粒径や打撃力などもパラメータにして埋設速度を計測し、最も埋設速度が早い回転数、ストローク、打撃力および振動/打撃周期を求める。さらにその際の振動・騒音を計測する。その事によって、埋設速度に最も効率的なパラメータ値を定める。なお平均粒径は使用した礫から代表サンプルをとり、礫の体積と個数を計測して決定する。

また掘削時の地層の状況により、回転埋設またはN値の高い地層でも埋設が可能となるような、回転部に着脱可能な反応力吸収装置付き自走式回転埋設機を試作する。当機構での試験を実施し、回転埋設時とのデータ比較などで埋設能力、機能範囲などを求める。

#### I-1-2) 熱交換井自動組立/回転埋設技術の開発

無溶接接合および配管かしめによる熱交換井自動組立機構、ならびに狭隘地を対象とした埋設機移動機構を検討し、上記機構を有する部分試作機の予備試験を通じて計測装置や機構に問題がないか否かを確認する。また、礫層や粘土層などの実土壌を用いて熱交換井の回転埋設試験を行い、埋設に必要な捻りモーメントを実験的結果から求める。

次に、反応力吸収装置付き自走式回転埋設試作機の動作確認を行い、改善点を明確にするとともに、反応力吸収装置付き自走式埋設機回転埋設機用の低騒音化を図る。また、無溶接接合部分用封入材の半自動注入機構を試作する。連続運用の実験により自動組立機構/回転埋設試作機の耐久性、安全性、振動騒音等を確認し、結果に基づき改良する。

熱交換井の設置コストを明確にし、耐用性および汎用性のある実機の製造に向けて仕様を検討する。

### I-2) 砂礫層対応 2重管式熱交換器低価格先端錐の開発 (担当: (有)住環境設計室)

既存住宅の比較的狭隘な敷地に、軟弱地盤だけではなく、住宅建築における地盤対策を必要としない程度の地耐力の砂層や礫層にも小口径の2重管式地中熱交換器を施工可能(深度15m以上を狙う)とする。低振動、低騒音、無排出残土な施工装置を日商テクノと共同で開発し、ここでは貫入可能な地盤の上限N値は、土質によらずN値15前後を想定している。これは、木造および軽量鉄骨造住宅の場合にこの数値以上の地盤では地盤改良や基礎杭設置を実施する例は少なく、既存住宅での熱交換井設置では最低の必要条件と考えられるからである。これを実現する開発ポイントの一つが錐先端の開発である。

具体的には、日商テクノが開発する打撃・振動機構を有する錐先端評価試験機を製作し、この試験装置に相応しい形状の錐先端を開発する。この錐先端は、低価格(1万円/個以下を狙う)で製造できることその他、残土を排出しないことによる無水での穿孔を可能とし施工装置の単純化、施工工事費の削減に寄与する機能を持つものとする。この錐先端は、施工により極端な変形、摩耗することなく、管の水密性を保つ強度を持つものとする。

試験方法として、上記試験装置と複数の錐先端を使い、種々の土質と想定される範囲のN値地盤における施工試験を行い、最適な施工装置の能力と錐先端形状を求める。その時、貫入速度20cm/分を狙って施工装置能力と最適形状を求める。次に、材質と鑄造方法の異なる錐先端を開発し、各種土質、N値の異なる地層における貫入施工試験を行い、価格と貫入性を評価する。貫入施工試験での評価を合わせて、これらの目標に合う材質と製造方法を検証する。引き続き各種土質、N値の異なる地層での貫入施工試験を行い、貫入性評価を基に性質の異なる地盤でも目標とする貫入速度が得られるビット形状を絞り込み改良を加えて、最適形状を開発する。

### I-3) 2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の実用化開発 (担当: 日本大学工学部)

両端に雄ねじと雌ねじを成型した鋼管を連続的につなぎ合わせて2重管式地中熱交換井を構成するという手法によって、システムの低コスト化という目標達成が実現できる。従ってI-1およびI-2での技術情報をもとに、実用化を加速するため2重管式熱交換井接続部の性能及び品質向上の技術開発が必要である。このための指標としては、2重管における管-管ならびに管-ビットの接合部におけるシール性ならびに耐トルク性があげられる。また回転埋設機構に関しては、埋設速度の性能を向上させるためには回転機構とチャック機構の技術開発が必要である。上記ねじ部の耐トルク性と同等(もしくはそれ以下)の回転トルクを実現するとともに、外部鉛直力(貫入力)を管に伝達する機構の設計精度確保が挙げられ、I-1およびI-2での技術情報を踏まえて実機を想定した再現性のある機構設計が必要である。

そこで、2重管方式熱交換井の接続部におけるねじ部形状と加工法の開発および熱交換井の埋設技術における回転埋設機構の改良を以下の通り行うものとする。転造ねじによる埋設施工結果を整理して実用機としての特性を評価するとともに、ねじ形状および加工法の改良開発を行う。評価指標としては、ねじ部のシール性、耐トルク性ならびに耐曲げ性である。改良型回転埋設機製作を可能とする設計データを提供することを目的に、2重管のトルク限界値以下にて耐回転摩擦トルクおよび鉛直方向保持力を適正に確保するための改良型回転埋設用チャック部の機構設計、チャック部の試作および評価を行い、設計案として取りまとめる。

## II. 浅部地中熱利用向けヒートポンプシステム技術の開発 (担当: 日本大学 工学部)

### II-1) 汎用品構成によるヒートポンプの単独制御技術の開発

リアルタイムでシステムの状態を把握するために開発したヒートポンプ内の冷媒サイクルをディスプレイ上に表示する手法と、パソコンを用いてヒートポンプ圧縮機と膨張弁を制御する技術を導入することによってヒートポンプの制御シーケンスを開発する。

負荷および循環熱媒流量を変数とした、循環熱媒温度の安定制御シーケンスを新たに作成する。独自開発したシーケンスをヒートポンプ制御基板に実装し、そのヒートポンプによる制御性確認試験を行う。試験パラメータは循環熱媒の流量と温度である。

### II-2) 熱交換井群とヒートポンプの連動制御技術の開発

熱交換井内の伝熱管構造に対応した最適流量を明らかにするとともに、その熱負荷に応じた熱交換井群を定めて、熱負荷、最適流量から運用する熱交換井群を選択するシーケンスをヒートポンプ制御基板に実装する。また制御シーケンスが高効率化において省エネ性が最も高いか否かを

検証するために、複数の運転パターンを仮定し、数値解析を用いて評価を行う。また、評価試験は主に赤津実験場で実施する。

具体的には、5 m超回転鋼管杭もしくは2重管を利用した熱交換井群(井総延長 100m超)とともに、5 kW 級ヒートポンプおよび可変熱負荷(0~5kW)を設置する。熱負荷をパラメータにして時刻別に変化させ、熱負荷量とヒートポンプの COP から熱交換井数を選択してシステム運用を行う。その際、熱交換井に流れる循環熱媒の流量が最適になるように循環ポンプを制御する。

この一連の試験を通じて熱負荷と熱交換井ならびに循環ポンプの制御シーケンスを開発する。上記で開発したシーケンスをヒートポンプ基板に組み込み、上記制御の有無による違いを試験運転から明らかにし、高効率化レベルを評価する。その際、全く同じ条件での運用は難しいので数値解析評価を併用して補正を行う。また制御機器設置のコストから、当該制御機器を入れた場合の市場投入時を想定したコスト評価も行う。さらに試験運転取得データから、環境試験室内部の3次元的温度分布の評価を含めた最終目標を達成するに十分な精度を有するデータが提供できることを示すとともに、内部熱負荷を任意に変更した場合における各システムの省エネ性への影響を評価する。これらを通じ、熱交換井-ヒートポンプ連動制御を自動的に行うヒートポンプシステムが完成し、数値解析および試験結果から熱交換井群が最適に運用されていることを示す。また導入時のコストも試算する。

#### II-3) 床暖房を含む複数室内機とヒートポンプ連動制御技術の開発

無負荷の室内機に対しては2次側循環熱媒流を遮断するとともに、室内機が作動している場合には、循環熱媒循環量を熱負荷に合わせて室内機、循環ポンプとヒートポンプを連動させる制御シーケンスを作成し、そのシーケンスをヒートポンプ制御基板に実装させる。また、評価試験は葛尾村実験場および赤津実験場で実施する。

具体的には、3~4個の複数模擬熱負荷が2次側(熱負荷側)に接続された5 kW ヒートポンプ試験装置を葛尾村実験場に設置する。室内機の ON/OFF も含む熱負荷を時刻別に変化させ、その時に最適な運用になるよう室内機個々に設置した電磁弁の作動や2次側循環熱媒量を制御するシーケンスを、試験結果を評価しながら作成する。また室内機(FCU)、床暖房の ON/OFF によってヒートポンプが作動/停止するようにする。

次に、開発したシーケンスを基板に実装した地中熱利用向けヒートポンプを用い、赤津実験場にて自動運転を行い、制御の有無による違いを試験運転から明らかにするとともに、高効率化レベルを評価する。また制御機器設置のコストから当該制御機器を入れた場合の市場投入時を想定したコスト評価を行う。さらに開発したシーケンス制御器を用いて室内機側ブライン循環ポンプと地中熱利用向けヒートポンプ(ポンプ別付)を稼働させ、システムとして稼働することを確認するとともに、赤津実験場にて試験を行うための FCU 自動入/切装置を開発する。赤津実験場では自動運転を行い、制御の有無による違いを試験運転から明らかにし、高効率化レベルを評価する。また制御機器設置のコストから、当該制御機器を入れた場合の市場投入時を想定したコスト評価を行う。これらを通じ、床暖房や室内機-ヒートポンプ連動制御を実装したヒートポンプが完成し、数値解析および試験結果から室内機が最適運用されていることを示す。

#### II-4) 浅部地中熱利用ヒートポンプシステムの性能評価

浅部地中熱利用の従来タイプ、高効率タイプおよびボアホール式地中熱利用熱交換器を平成26年度に赤津実験場に設置する。熱交換井総延長は 100m超とし、地中熱交換井の長さは同一とする。またボアホール式地中熱交換器との熱性能比較のため、地層分布の影響を考慮出来るように、熱交換井長が異なるボアホール式熱交換井を複数本設置する。さらに各地中熱利用システム(浅部地中熱利用ボアホールおよび空気熱源式システム)に対して熱的仕様が同一である各試験室(床面積 60m<sup>2</sup>超)を設置する。

これらの各試験室において時刻に対して同一目標制御室温になるように、各システムに対し制御系および計測系を構築する。その際、評価を容易にするため鉛直方向地中温度分布も、各システムの熱交換井ごと3カ所程度、計測出来るようにする。また浅部地中熱利用システムの総熱交換井長さに等しいボアホール式熱交換井における採熱流束との違いを調査し、ボーリング調査を含め、浅部地中熱利用における熱交換井の熱特性を明確にできるようにする。

熱交換井の熱評価にあたっては土壌熱物性の推定が必要であるが、年間地中温度計測結果や、TRT 試験法を用いた場合の3次元性熱移動による誤差を数値解析で補正するなどをして、試験箇

所での評価に必要な熱物性値を把握する。試験運転取得データから、最終目標を達成する十分な精度を有するデータが提供できることを示す。

長期の運転試験を行い、暖房期、冷房期や中間期における各システムの熱性能評価を行う。各システムの特性評価を実施することにより、空気熱源式、従来型ボアホール式および浅部地中熱利用の各システムの、省エネ性に関する客観的評価を行う。

### III. 地中熱リファレンスマップのマッピング技術開発（担当：日本大学 工学部）

当該マップを作成するにあたり、現象モデルが不確実な要素については次のように扱う。①地中温度は、不易層温度を代表温度として考える。②帯水層の充填層としての伝熱促進効果は考慮するが、今日でも立証が困難な地下水流動速度についてはその流速を0として考える。③評価に必要な地質の熱物性値は既存の熱物性研究データベースから選択する。熱交換井長さは20mより浅層での地層深さに応じた長さで評価する。④採熱パターンは一般住宅向けであるため、日々の気温と室温（冷房期、暖房期、中間期）との差から採熱パターンを決める。⑤ボーリングデータから3次元地質モデルを作成し、そのモデルから帯水層等の主要地質層を選択する。⑥3次元ボーリングデータによって軟弱地盤厚さを決定する。

作成方法としてボーリングデータを用いて3次元地質モデルを作成し、そのモデルから帯水層などの主要な地質層を選択する。具体的な情報提供方法はWEB上で表示するとし、代表地点にデータを軟弱地盤厚さも含めて割り付け、代表点がない場合にはデータ補間することで表示させる。具体的には、福島県内外において検証試験候補地を選択し、その中で早期事業化の可能性の高い地域周辺のボーリングデータから、砂層、粘土層や礫層等の代表的地層に分類し、地質モデルを2地域以上作成する。採熱標準パターンについては、最大採熱量を与えるパターンなど、最も妥当とみなせるパターンを決定する。

上記選定箇所において検証用熱交換井と設置し、上記採熱標準パターンによる採熱試験を行うとともに、採熱解析により採熱量および地中温度を求める。なお代表的地層の熱物性値を過去の文献データから与え、地中の不易層温度は平均気温を選択し、採熱能力を上記地域において求める。地中温度における地表面の熱的境界条件はAMeDAS気象データを利用する。

上記で定めた採熱パターンで上記選定箇所の予備試験を行い、採熱量および地中温度を求める。得られた結果と採熱解析結果を評価する。また、複数の採熱パターンにより採熱実験を行い、採熱解析と比較評価する。使用する土壌熱物性値については、マイクロ評価できる環境を整備する。なお、計測尤度が大きい場合はその原因も検討する。要すれば装置改造を行う。

選択した地点での複数箇所における採熱試験を実施し、改良点を含む採熱試験結果を評価する。また採熱解析においてもWEB上で表示するための解析の高速化を実施する。最終的には検討した地域での採熱期待値マップをWEB上で表示する。

表Ⅱ(2.9)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	目標	目標レベル設定の根拠
<p>①既存住宅向け2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱交換井の小型組立・埋設技術の開発</li> <li>・砂礫層対応2重管方式熱交換器低価格先端の開発</li> <li>・2重管方式熱交換井の接続部におけるねじ部形状と加工法の開発</li> </ul>	<p>採熱管の回転埋設・打撃振動付与機能を搭載する小型機構、および鋼管の無溶接接合技術による単管の簡易接続法を導入した採熱管組立技術の施工機能を実証すること</p> <p>住宅敷地に搬入可能な幅1m以内で、土壌N値20程度まで採熱短管を連続的に回転埋設可能とする採熱管組立技術および埋設技術の施工性能を実証すること</p> <p>熱交換井を構成する小口径2重管の先端に簡易に取り付け可能で、しかも施工時に礫層へ遭遇する場合にも掘削可能な低価格先端錐（ビット）の効果を実証すること</p>	<p>従来の小型回転埋設機では深さ5m程度が施工の限界であり、粘土層や礫層が部分的に混在する土壌では大きな鉛直力が必要となる。既存住宅敷地で新たに20m級の熱交換井を施工可能な採熱管組立技術が必須。</p> <p>一般住宅敷地内の通路幅員は条例等が指定する1.5m以下前後であり、また環境影響から重機搬入は困難。また日本建築学会データによれば我が国の住宅用途地には様々な土壌があるが地質年代的には沖積層が多く、変動は大きいものの平均的にはN値20程度。</p> <p>住宅基礎向け回転埋設鋼管杭は先端溶接処理のため強度があり部分礫層にも対応可能だが、その形状を小口径採熱管先端へそのまま適用すると、N値が大きく、かつ礫層が顕在化する場合には強度不足が懸念される。低コスト化をねらった小口径採熱管向けのビットでは解決策が必要。</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱交換井の埋設技術における回転埋設機構の改良</li> </ul>	<p>鍛造成形法によって製作した複数ねじ部の寸法計測による精度確認（誤差10%以内）、接合部のシール性の確認（水加圧0.5MPa環境下において漏れ無し）、およびねじ部の強度確認（耐ねじりおよび曲げ強度が素管のねじり強度の95%以上）</p> <p>試作チャック機構と鋼管との間の最大摩擦トルクが素管の耐ねじり強度の95%以上および鉛直方向における最大摩擦保持力が埋設機重量以上であること（500kgf以上）</p>	<p>転造ねじは鋼管材料を塑性加工によりねじを成形する加工法によるが、鋼管の片端面が自由境界であるために、成形したねじ山位置が成形中に移動することが不可避。この材料流動（ねじ山移動）を精密に制御することは簡単ではないため、代替手段として、簡易で確実なねじ加工法が必要。</p> <p>小型回転埋設機は、鋼管をチャックで保持しながら鉛直力および回転トルクを作用させるための力・モーメント伝達機構を用いて回転埋設を実現する。土壌反力によってはチャックのグリップ力が相対的に不足し、回転と方向の各自由度に対して鋼管とチャック部との相対的な滑りが生じる恐れがある。</p>
<p>②浅部地中熱利用向けヒートポンプシステム技術の開発</p>	<p>既設住宅向け浅部地中熱利用方式において、初期設置コスト30万円/kW以下（従来浅部地中熱利用方式と比較して40%削減）を実証すること</p> <p>熱需要に応じた熱交換井および室内機との連動制御技術を開発するとともに、それに対応した運転制御系を有するヒートポンプを開発。</p> <p>開発する制御系を実装した高効率浅部地中熱利用方式と従来方式の比較において、運用コスト10%以上の削減を実証すること。</p>	<p>エアコンなど競合機器に伍して受け入れられる価格を、工務店やハウスメーカーへのヒアリング調査から150万円/5kWが導入閾値と判断し、低価格化の目標とした。</p> <p>一般住宅の場合、熱需要は部分負荷であり、対応する室内側機器、地中熱交換器のみが稼動すれば十分である。</p> <p>浅部地中熱利用では高効率化も必要であり、明確な高効率化が判断できるとして10%以上の目標設定が必要である。</p>
<p>③浅部地中熱利用向け地中熱リファレンスマップのマッピング技術開発</p>	<p>国内の三カ所以上の都市において地中熱採熱量表示ができること。熱交換井が設置されている場所において、定めた標準採熱パターンに沿った採熱量試験と、当該手法による採熱量計算値を比較して尤度を評価すること。</p>	<p>地中熱熱交換器の長さの事前見積りは事業者にとって重要である。当該マップは最低採熱量(最大放熱量)を提示する。将来の全国的普及の観点からその気候、地質情報が異なる地点を選択。</p>

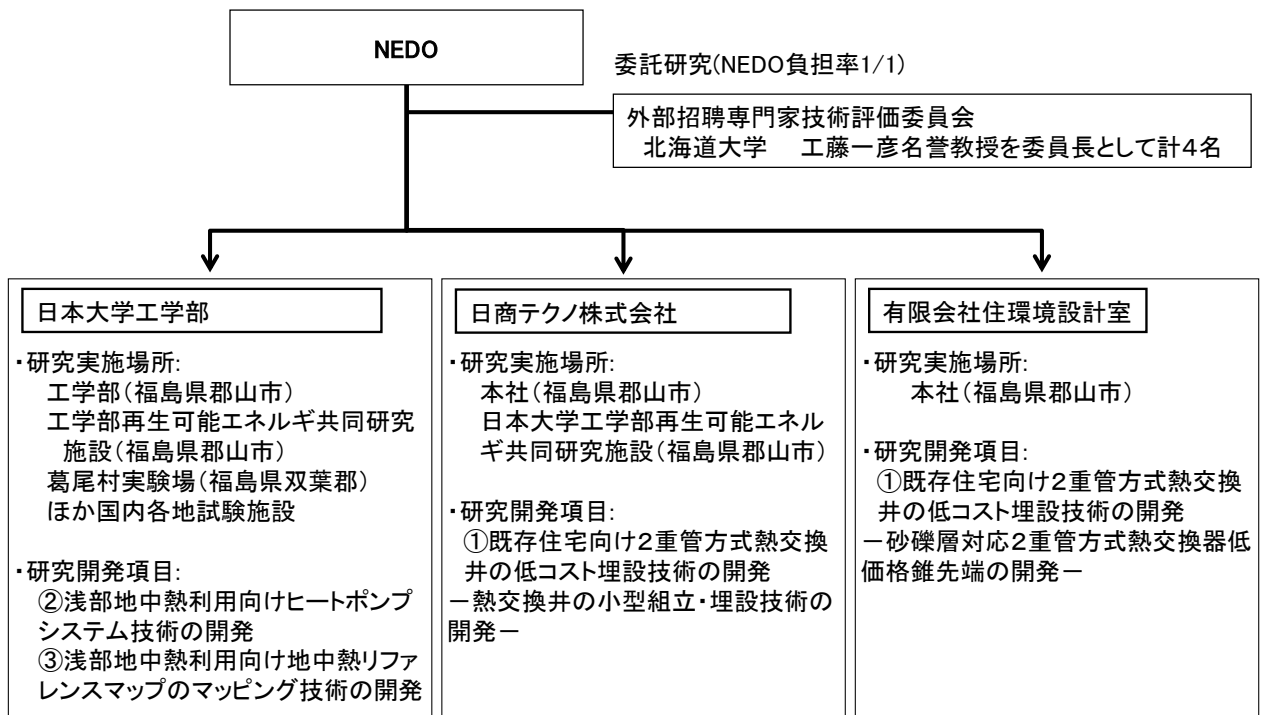
(2.9.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年7月24日より平成31年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を表(2.9)-2に示す。

表Ⅱ(2.9)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①既存住宅向け2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発	・小型回転埋設・転造ねじ加工・共同研究施設・連続組立機構・複数地点での 機構設計試作 での連続接続 回転埋設試験 の試作と評価 回転埋設試験 ・杭保持機構の改良 ・既存ビット特性比 ・改良ビット設計と ・鋳鋼によるハイブ ・ハイブリッド型 ・従来型/ハイブリッド 較と貫入特性試験 模型製作、評価 リッドビット試作と評価 ビット実装と評価 型ビットの適合性評価																			
②浅部地中熱利用向けヒートポンプシステム技術の開発	・試験環境整備 ・ブライン安定供給制御 ・要素コスト評価 ・システム統合試験・評価 ・熱負荷環境の整備 ・HP試験系整備・室内機設計試作 ・室内機制御シーケンス設計 ・従来HP活用試験																			
③浅部地中熱利用向け地中熱リファレンスマップのマッピング技術の開発	・3次元地質モデル開発 ・探熱ボタンモデル開発 ・表示インタフェース試作 ・マッピングモデル精度検証 ・探熱解析																			

(2.9.4)研究開発の実施体制



### (2.9.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ (2.9)-3 一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究 「一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究」評価委員会

学校法人日本大学  
日商テクノ株式会社学  
有限会社住環境設計室

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	工藤 一彦	東京電機大学 特別専任教授・北海道大学名誉教授
副委員長	宗像 鉄雄	国立研究開発法人産業総合技術研究所 福島再生可能エネルギー研究所 所長代理
委員	永井 二郎	国立大学法人福井大学 工学研究科機械工学専攻 教授
委員	塩冶 震太郎	石川島播磨重工株式会社 元主席技監

所属は、委員会組織時点のもの

## Ⅲ. 研究開発成果について

### (2.9)一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究

#### 【成果概要】

低価格化の検証やシステム比較実験により、既設住宅を対象に設置コスト「150万円/5kW（約30万円/kW）」を確認した。また、従来の浅部地中熱利用システムと比較して10%以上の運転コスト削減を達成したことから、当初の目標値は達成したと判断する。

#### 【項目別成果】

#### 1. 既存住宅向け2重管方式熱交換井低コスト埋設技術の開発

採熱管の回転埋設・打撃振動付与機能を搭載する小型機構、および鋼管の無溶接接合技術による短管の簡易接続法を導入した採熱管組み立て技術の機構と施工性能を確認した。また、地中熱交換井を構成する小口径2重管式地中熱交換器の先端に簡易に取り付け可能で、しかも施工時に遭遇する部分礫層の場合にも対応可能な低価格先端錐の効果を示した。

これらの結果を受けて、住宅敷地に搬入可能な幅1m以内で、N値20程度まで採熱管を回転埋設可能な採熱管組み立てと埋設技術の施工性能を実証した。なお施工の高信頼化のため、鋼管接続部におけるねじ部形状と加工法および回転埋設機構の改良については、所定の機能を確認するとともに今後の課題解決法を確認した。

- ・鋼管管端の内面外面のねじ加工によって現場での連続的かつ無溶接での接合が可能となること、施工速度0.2m/分以上での施工が可能であること、および埋設施工試験の結果から5千円/m以下になることを確認した。

- ・土壌圧密と穿孔を考慮した3Dハイブリッド型鑄造ビットの鑄造が可能であること、および2枚刃ハイブリッド型ビットについて従来ブレード型ビットと同等以上の貫入性を確認した。

- ・郡山市内などの福島各所ならびに関東ローム層地域で埋設試験を実施した。その結果、N値20程度までは回転埋設法で対応可能であることを確認した。

#### 2. 浅部地中熱利用向けヒートポンプシステム技術の開発

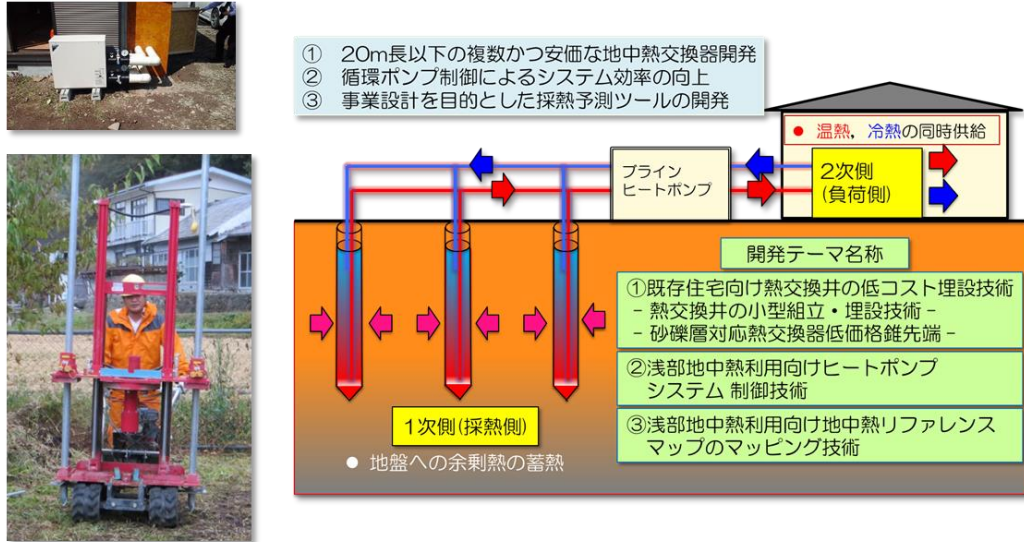
一般住宅向け浅層地中熱利用システムにおける、初期導入コストの低価格化の検証を行った。その結果、初期導入コストは既築住宅を対象とした実証システム導入において、プレハブ的施工法により初期導入コストは150万円/（5kW熱出力）が実現できた。しかしながら商用化を考えた場合、さらなるコストダウンならびに商用化を見据えた品質保証が求められる。配管部材の標準施工部品化ならびに設計ツールの最適化により部材コスト低減と作業工



程の短縮化を図り、標準施工マニュアルを作成することで品質保証が可能になるとともに、さらなる施工作業の短縮化も図る必要がある。

### 3. 浅部地中熱利用向け地中熱リファレンスマップのマッピング技術の開発

「日本国内の三カ所以上の都市において、1 kmおきに使用パターンや熱交換井長ごとの地中熱採熱量表示ができるようになる」ことについては、沖縄、高知ならびに福島地区を選択し、地中熱採熱量表示ができるようにした。なお「使用パターン」については、利用者が自由に設定できるようにした。また、表示においては地中熱の使用パターンを個人住宅、商店、アパートなどのように分類することについては上記のように利用者が自由に設定できるようにした。2次元表示を可能とし、かつWEB版として公開した。以上のことから最終目標は達成したと考える。



図Ⅲ(2.9)-1 研究開発、成果の概要

表Ⅲ(2.9)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT* 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	1件	0件	3件	14件	2件
H27FY	0件	0件	0件	1件	0件	10件	26件	8件
H28FY	0件	0件	0件	2件	0件	21件	6件	3件
H29FY	0件	0件	0件	3件	0件	10件	6件	1件
H30FY	0件	0件	0件	2件	0件	13件	17件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.9)-2 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度
①既存住宅向け2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発	採熱管の回転埋設・打撃振動付与機能を搭載する小型機構、鋼管の無溶接接合技術による単管の簡易接続法を導入した採熱管組立技術の機能と施工性能を実証すること	鋼管管端の内面外面のねじ加工によって、現場での連続的かつ無溶接での接合が可能となること、施工速度 0.2m/分以上での施工が可能であること、埋設施工試験の結果から、5千円/m以下になることを確認	○

	熱交換井を構成する小口径2重管の先端に簡易に取り付け可能で、しかも施工時に遭遇する部分礫層場合にも対応可能な低価格先端錐の効果を実証すること	土壌圧密と穿孔を考慮した3Dハイブリッド型鋳造ビットの鋳造が可能であること、2枚刃ハイブリッド型ビットについて従来ブレード型ビットと同等以上の貫入性を確認	○
	住宅敷地に搬入可能な幅1m以内で、N値20程度まで採熱管をなできる採熱管組立と埋設技術の施工性能を実証すること	郡山市内などの福島各所ならびに関東ローム層地域で埋設試験を実施。N値20程度までは回転埋設法で対応可能であることを確認	○
② 浅部地中熱利用向けヒートポンプシステム技術の開発	既設住宅向け浅部地中熱利用方式において、初期設置コスト150万円/5kW以下を実証すること	既設モデル住宅において、回転埋設工法による地中熱交換器を利用した場合、初期設置コストが150万円/5kWを達成できることを実際の施工を通じて確認	○
	熱需要に応じた熱交換井および室内機との連動制御技術を開発するとともに、それに対応した運転制御系を有するヒートポンプを開発すること	熱需要に応じて室内機の運用の台数、それと連動した地中側および室内側循環ポンプの流量制御、さらに地中熱交換器本数制御を連動させた制御系を開発し、動作を確認。当該制御によってヒートポンプシステムの効率が向上することも確認。	○
	浅部地中熱利用従来方式と、当該事業で開発した浅部地中熱利用方式の試験比較において、運転コスト10%の削減を実証すること	暖房期ならびに冷房期を通じた同一負荷条件下にて、開発制御系に対応する新ヒートポンプシステム等を実装した浅部地中熱利用方式と浅部地中熱利用従来方式とを比較。運転コスト10%以上の削減を実現。	○
③ 浅部地中熱利用向け地中熱リファレンスマップのマッピング技術の開発	国内の三カ所以上の都市において地中熱採熱量表示ができること。熱交換井設置場所にて規定の標準採熱パターンに沿った採熱量試験と当該手法による採熱量計算値を比較し尤度を評価すること	国内3カ所を選択。熱交換井が設置されている場所での採熱量を自動表示するプラットフォーム完成。比較検討試験は高知、福島終了。採熱計算に必要な地層熱物性計測手法が完成。	○

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

NEDO事業による研究開発成果を含む浅部地中熱利用システムは、各種実証実験を通じて地域への社会実装プロセスを着実に進めている。温熱冷熱併給特長を生かした暖地での給湯含む3Wayマルチ熱供給システムとしての優位性や、イニシャルコスト40%の低減により一般市場製品として競合技術に対する優位性が強みである。自治体及び福島県を拠点とする企業を中心とした研究開発のメンバーとアライアンスを組み、商業化に向けて計画をしており、成果の普及拡大が期待されている。

## 個別テーマ(3.1)

### (3.1) 地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発

委託先： 応用地質株式会社  
株式会社地圏環境テクノロジー

## II. 研究開発マネジメントについて

### (3.1.1)背景と目的

わが国では東日本大震災後、エネルギー政策の大きな転換を求められており、火力・原子力への依存を低減し、再生可能エネルギーの導入を進めようとの動きが活発化している。現在はエネルギー政策の大きな転換期であり、発電のみならず熱利用を含めた再生可能エネルギーの導入が急務となっている。

地中熱利用は他の再生可能エネルギーに比べて天候や時間帯の制約が少なく、日本中どこでも利用できるエネルギーである。一方、地中熱利用の効率は地盤や地下水状況によって変わり、システム導入時の評価やコストに大きな影響を及ぼす。

海外では熱利用の推進政策として、熱需要マップの策定に取り組んでいる事例もあり、地中熱利用についてもポテンシャルマップを整備していくことで、普及促進の一翼を担うことが可能と考えられる。

上記の背景から本研究では、地中熱利用のポテンシャル評価技術の開発の位置付けとして、「地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発」を行う。研究開発に当たっては、応用地質株式会社が保有する地盤地質情報や地下水情報並びに地盤モデル作成技術と株式会社地圏環境テクノロジーが保有する水循環に関する数値シミュレーション技術を組み合わせることにより、国土地中熱ポテンシャルのデータベースを構築していく。

### (3.1.2)研究開発の概要

地中熱は、普遍的に地盤中にあるエネルギーであるが、より効率的に利用するためには、地質構造・地下水流動・地盤の熱物性が重要な要素となる。地中熱利用における熱交換能力は地盤の熱伝導と地下水の移流効果に依存し、特に地下水の移流効果が大きな影響を及ぼすことが知られている。地下水流速100m/年の場合には流速0m/年の場合と比較して、長さ100mの地中熱交換器で2～3倍程度の熱交換能力の増大効果があるという研究成果も報告されている。導入コストに占める地中熱交換器の割合は大きく、事前に地下水の移流効果を考慮することができれば、導入コスト低減を図ることが可能となる。

しかしながら、現状地中熱交換器の長さを設計する際には、当該地のおおよその地質状況から推定することが多く、地下水流速まで考慮するケースは極めて稀である。また、地下水の移流効果がもたらす地中熱利用の適地を判定できるツールが存在しない。

本事業では、上記の課題を克服するツールとして、地中熱ポテンシャルマップの作成に取り組む。全国的に地中熱ポテンシャルマップを整備することで、地中熱利用の普及拡大並びに導入コスト低減に寄与できるものと考えている。これまで、応用地質株式会社と株式会社地圏環境テクノロジーとは共同で、首都圏を中心とした地中熱ポテンシャルマップの構築を実施してきたが、単一スケールのものでエンドユーザにとってはやや利用しにくい面があった。本事業では街区レベルから広域に及ぶ複数の異なるスケールを対象とし、最終的には日本全国をカバーした地中熱ポテンシャルマップの構築を目標とする。

#### ①地中熱利用実績の調査とデータベース化（担当：応用地質株式会社）

地中熱利用実績を調査し、ポテンシャルマップ構築の対象範囲の基礎資料とする。ポテンシャルマップは、広域自治体(約20万km<sup>2</sup>)及び都市レベル(約2万km<sup>2</sup>)以上での構築を考えている。地中熱の利用形態としては空調を想定しているが、最近ではハウス栽培などの農業分野への普及もみられることから、利用形態についても併せて調査を行う。調査方法は、公開されている報告書や文献を中心に収集し、必要に応じてヒアリング調査を実施する。

また、公開されている報告書や文献からサーマルレスポンス試験(TRT)等の実データを収集し、後述する④にて構築したポテンシャルマップの信頼性について検証する。地中熱利用の実績と収集したデータはデータベース化し、逐次構築されるポテンシャルマップの実証資料として整備し

ていく。

### ②三次元地質構造モデルの構築（担当：応用地質株式会社）

公開されている地盤情報及び応用地質株式会社が保有する地盤地質・地下水情報を集約し、三次元地質構造モデルを構築する。モデル作成には応用地質株式会社開発の「三次元地盤情報解析システム」を用いるが、地質学的な確からしさについては地形形成過程、地質構造発達史などをもとに地質技術者が評価する。

地中熱利用に有望な地質は、透水性の高い碎屑物からなる連続性の高い地層である。地下水位以下で飽和状態の地層であれば高い熱伝導性が期待でき、さらに地中熱交換井のバリエーションが増えるといったメリットがある。本事業では、特に帯水層となり得る地層の連続性と地下水位に着目し、三次元地質構造モデルを構築する。

モデル化に際しては、既存の地盤情報野のほか、人口密度や地中深度に比例するボーリング情報の粗密を考慮し、対象領域のスケールに応じた地質構造モデルを構築する。ここで構築する三次元地質構造モデルは、地中熱利用に手軽な深度数m～十数mを対象とした浅層地盤モデルであり、微地形分類、地盤改良・既存地中施設等の人工改変要因も取り入れたモデルとする。

モデルの精度向上を維持していくために、宅地造成や都市開発等で得られる地質情報を逐次更新できるシステムを念頭においた研究開発を行う。

### ③マルチスケール国土水・熱循環モデルの開発（担当：株式会社地圏環境テクノロジー）

陸域における水、熱循環系の数値シミュレーションとそれらをベースにした地中熱利用のポテンシャルや適地を表わしたマップの作成はこれまでに幾つかの地域に対して研究的試みが行われてきている。このようなマップは、地中熱利用を含めた再生可能エネルギーの導入を普及促進する行政側と実際にヒートポンプを設計・施工する事業者側で知りたい情報やそのスケールが異なるものである。すなわち、他の再生可能エネルギーを含めたトータルな電源開発や節電ポテンシャルの可能性試算のもとで助成制度の設計等を行う行政側と、ある地点の地下水流速や温度を参照しながら効率的なシステム設計を行う事業者側との相違である。

しかし、既往研究で作成されたマップは、例えば平野や盆地の主要地域を300～500m程度の水平解像度で表現するものであり、行政側、事業者側のいずれに対しても、その利活用がやや困難なスケールである。そこに含まれていない地域は参照することすらできない。加えて、それらは深度100m程度の地下水流動量が豊富な帯水層を対象としたものがほとんどであり、浅層地下や地表水などを含めた地域のもつ包括的な地中熱利用ポテンシャルとしての情報を得ることはできない。

そこで、本事業では街区レベルの局地から広域におよぶ複数の異なるスケールを対象とした地中熱ポテンシャルマップを作成するため、地域毎の水、熱循環系の時間・空間変動を解析し、その詳細な特徴分析と評価を可能とするシミュレーションモデルを構築する。また、従来は取り扱われてこなかった地上・地下間の水、熱移動現象(地上・地下カップリング、陸面で水・熱収支)をモデルに取り入れることにより、地上の河川水や浅層及び深層地下を含めた包括的な地中熱利用ポテンシャルの評価に資することを目指す。

表Ⅱ(3.1)-1に本事業と従来法の比較を示す。

表Ⅱ (3.1)-1 本事業と従来法の比較

項目	本事業	従来法
対象スケール	マルチスケール (広域自治体20万km <sup>2</sup> 、都市部2万km <sup>2</sup> 以上の異なるスケールを対象)	平野や盆地の単一スケール (数100km <sup>2</sup> のオーダー)
地上・地下カップリング	考慮する	考慮しない
陸面での水・熱収支	考慮する	考慮しない
特徴	地上、地下を分断しない一体化された水・熱循環系をモデル化する。地上の河川流れ、地下浅層、深層の地下水流動及び熱輸送の異なる場所、深さにおける包括的な地中熱利用ポテンシャルの評価を可能とする。	地上、地下が分断されるため、地表水や浅層地下水、熱輸送のモデル化が困難であり、精度が悪い。地上の影響を受けない比較的深層地下の地中熱利用ポテンシャルの評価のみを主とする。

本事業では、地上・地下を一体化した水、熱循環系の三次元モデリングとシミュレーションを実施し、ポテンシャル評価に用いる諸量の解析を行う。平成 30 年度までにカバーする領域は、広域自治体のスケールとして東北地方(約 20 万km<sup>2</sup>)、都市部のスケールとして東京区部、仙台、福島等の約 2 万 km<sup>2</sup> の範囲、さらに地下水が豊富な地域の代表例として、長野地域を選定し、その後、日本全国へ拡張する。

研究手順は次のとおりである。

まず、水・熱循環モデルの開発に必要な基礎資料を入手し、それらの分析とモデルへ組み込み可能なデータ形式へのコンパイルを行う。対象データは①気象、②地形、③土地利用・植生被覆、④地質、⑤現行の水利用、⑥モニタリングデータである。これらを上述の対象領域について、過去 20 年の年代変化が捉えられるよう時系列空間マップとして取りまとめる。モニタリングデータは、河川流量、地下水位、水温などの既存の観測データを示し、構築モデルの妥当性を検討するための検証資料として用いる。

次に、対象領域の三次元数値モデルを構築する。広域自治体のスケールは水平解像度 500m 以下、都市部 2 地域のスケールは市街地や農地などの地中熱利用が期待される重要地域における水平解像度を 50m 下とした三次元格子モデルとする。上記でコンパイルした基礎データは、ここで作成した三次元格子モデルへ組み込む。

次に構築モデルを用い、地上・地下を一体化させた水・熱循環挙動を数値シミュレーションによって解析する。本解析は過去 20 年以上を対象とした非定常シミュレーションを基本とする。シミュレーションの結果は、収集したできるだけ多数の観測データと比較し、再現性を検証する。シミュレーション結果と観測データの間には明らかな相違が認められる場合、それらの相違から推定される実際の水文水理過程や関連パラメータを検討・調整し、十分な再現性が得られるまでモデルを更新する。

検証済みのモデルとそのシミュレーション結果を用い、対象地域の水、熱循環系の特徴を分析し、定性的、定量的情報を用いて可視化する。分析対象は、対象地域の地表及び地下の水・熱環境(温度、水位、流量、熱量及び水・熱収支他)を中心とし、後述のポテンシャル評価結果との関連付けを検討可能な基礎資料とする。

④地中熱利用ポテンシャル評価技術とデータベース開発 (担当：株式会社地圏環境テクノロジー)

上述した水・熱循環系の数値シミュレーション結果をベースとし、地上及び地下(浅層、深層を含めた深度別)の包括的な地中熱利用ポテンシャルの試評価と地図上へのマッピングを行う。ポテンシャル評価に際しては、地上環境の変化を反映した評価結果を迅速に更新してユーザーへ提供できるよう、効率的なデータ処理手順を開発する。

ポテンシャル評価の対象範囲は、上述の広域自治体(約 20 万km<sup>2</sup>)、都市部(約 2 km<sup>2</sup>)の両スケールとし、それぞれのニーズ・用途に応じた評価手法を検討する。

研究手順は次のとおりである。

まず始めに、広域自治体、都市部のそれぞれのスケールに対して、地中熱利用ポテンシャル評価のための解析手順を検討する。使用データには、水・熱循環系の数値シミュレーション結果をベースとし、地域毎の様々な環境要因(気象、地形、地質など)や社会的・経済的条件(コスト、助成の有無など)を加える。ここで用いるデータは時間的、空間的に変化する膨大な情報を有しており、これらの情報を統合し地中熱ポテンシャルに変換するための時空間変動解析を開発する。開発した複数の異なる解析手順を適用し地中熱利用ポテンシャルを試評価し、上述のシミュレーション結果との比較・検証を行い、もっとも適切な解析手順を確定させる。

次に、確定した解析手順を実装したソフトウェアツールを開発する。これは、地上環境の変化等を迅速に反映・更新してユーザーへ提供できるよう、データ処理の自動化・効率化を検討するものである。本ツールの全体及びコンポーネント設計を行い、プログラミングとテストを実施する。

本事業で作成した地中熱利用ポテンシャルマップはそれらを容易に参照できるようデータベースへ登録するとともに、過不足のない適切な情報提供のためのユーザーインターフェースを作成する。

⑤ポテンシャルマップの信頼性検討(担当:応用地質株式会社)

上記①による地中熱利用実績データベース及び実際に稼働している、応用地質株式会社保有の地下水観測井や地中熱ヒートポンプシステムのモニタリングデータと比較し、ポテンシャルマップの信頼性を明らかにする。

表Ⅱ(3.1)-2 研究開発目標と根拠

事業項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①地中熱利用実績の調査とデータベース化	利用実績調査を継続し、120件前後の調査事例を収集し、それらを反映したデータベースを構築する。	・従来の研究ベースで構築されたポテンシャルマップは、定義やデータ作成手順が統一されておらず、エンドユーザの用途によっては利用しにくい面がある。
②三次元地質構造モデルの構築	上記①をもとに、下記③、④の解析モデルに資する広域自治体(関東-東北)、都市部2地域(関東、宮城)の三次元地質構造モデルを構築する。	・ポテンシャルマップの定義やデータ作成手順が統一されておらず、エンドユーザがどのようにマップを利用すれば良いか混乱する
③マルチスケール国土水・熱循環モデルの開発	上記②を基に、広域自治体、都市部2地域以上のエリアの地下浅層から深部の水・熱循環機構を可視化した、国土水・熱循環モデルを構築する。	・効率的なシステム導入の促進に資する、地中熱ポテンシャル簡易予測・評価技術を開発して、それを利用したポテンシャルマップを構築する。
④地中熱利用ポテンシャル評価技術とデータベース開発	広域自治体(関東-東北)、都市部2地域(関東、宮城)の地下浅層～深層を含めた深度別の地中熱ポテンシャルの評価技術を確立し、統一的手法によるポテンシャルマップを完成させる。	・高解像度地盤モデルと最先端シミュレーション技術によって、地上・地下を分断しない一体化された水・熱循環系をモデル化する。 ・統一的手法に地中熱ポテンシャルを深度別に算出し、市場における様々な関係者が利用できるとともに、一般の方々が容易に理解できる地図情報として提供する。
⑤ポテンシャルマップの信頼性検証	ポテンシャルマップに関し、エンドユーザの実用に耐えることを検証する。	

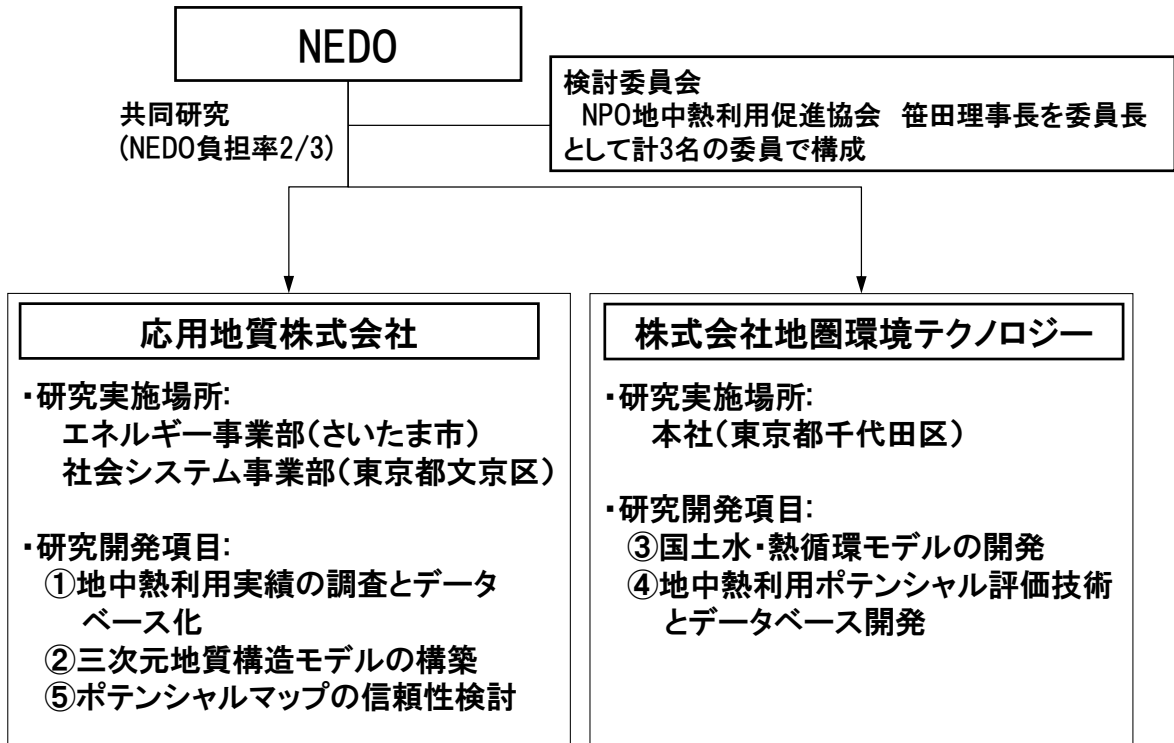
(3.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成 26 年 7 月 24 日から平成 31 年 2 月 28 日までである。事業スケジュールの概要を表Ⅱ (3. 1)-3 に示す。

表Ⅱ (3. 1)-3 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①利用実績調査とデータベース化					地域ごとの利用事例収集・データベース作成								利用事例追加収集							
②三次元地質構造モデル構築					地域ごとのモデル作成								モデル構築							
③国土・熱循環モデル開発					地域ごとのモデル作成								モデル開発							
④ポテンシャル評価技術・データベース開発									ポテンシャルマップ試作 ポテンシャル評価技術開発・マップ構築											
⑤ポテンシャルマップの信頼性検証									信頼性検証				最終検証							

(3.1.4)研究開発の実施体制



### (3.1.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ3.1-4 地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発

「地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発」検討委員会  
 応用地質株式会社  
 株式会社地圏環境テクノロジー

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	笹田 政克	NPO法人地中熱利用促進協会 理事長
委員	藤井 光	国立大学法人秋田大学 国際資源学部 教授
委員	内田 洋平	国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 地中熱チーム長

所属は、委員会組織時点のもの

## Ⅲ. 研究開発成果について

### (3.1) 地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベース

#### 【成果概要】

地中熱のポテンシャルを評価する上で、地質構造・地下水流動・地盤の熱物性が重要な要素となる。本研究では、応用地質株が保有する地盤地質・地下水情報並びに地盤モデル作成技術と、(株)地圏環境テクノロジーが保有する水循環に関する数値シミュレーション技術を組み合わせることにより、従来にはない精緻なポテンシャル評価技術を確立した。研究対象地域は都市部スケールとして3地域（関東広域、宮城広域、長野地域）と、自治体スケールとして関東-東北地域を選定した。

#### 【項目別成果】

#### ①地中熱利用実績の調査とデータベース化

ポテンシャルマップ構築の基礎資料とするために、地中熱利用の実績について調査した。地中熱利用設備情報として64件、TRT事例を68件収集し、整理した。地中熱利用の用途としては、冷暖房の他に給湯や融雪、床暖房に利用されている。また、業種別では商業施設やオフィスなど、多岐にわたって利用実績があることが判明した。

#### ②三次元地質構造モデルの構築

都市部スケールの3地域の浅層部について、三次元地質モデルを構築した。既存ボーリング柱状図を中心とした地質データをもとに、水平解像度50m、垂直解像度1mの精緻なモデルを構築した。

都市部スケールの3地域および関東-東北地域について、国土水・熱循環モデルを構築した。水平解像度は都市部スケールで50~500m、広域自治体スケールで500mとした。多相多成分流体を対象とした汎用地圏流体シミュレーターGETFLOWSを用いて、定常および非定常解析を実施した。定常、非定常解析ともに観測データの再現性が高いモデルを構築することができた。

#### ③マルチスケール国土水・熱循環モデルの開発

国土・水熱循環モデルをもとに地中熱交換シミュレーションを行い、異なる深度（50、75、100m）による見かけの平均有効熱伝導率マップを構築した。地下水の移流効果が期待できる長野地域では平均有効熱伝導率が高い結果が得られた。一方、地下水流速が比較的小さく、平均地下温度が高い関東広域では宮城広域、長野地域に比べるとやや見かけの平均有効熱伝導率が小さい傾向を示した。

#### ④地中熱利用ポテンシャル評価技術とデータベース開発

地中熱利用のポテンシャル評価技術のモデル建築物として戸建住宅（標準住戸）を採用した。標準住戸および対象地域の省エネ基準に基づく熱負荷を算出した。

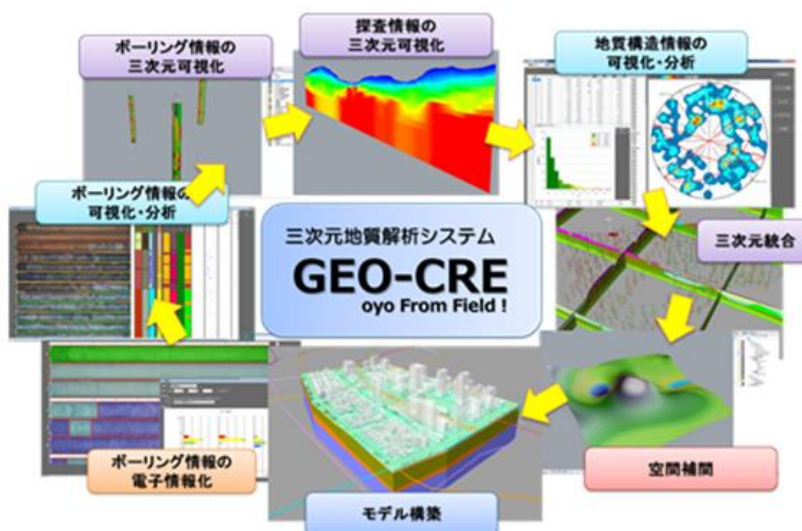
地下水流速、有効熱伝導率、地下温度を変数とし、地域性を考慮した地中熱交換量のサロゲートモデルを新たに開発した。開発したサロゲートモデルをもとに、研究開発対象地域の地中熱ポテン



シャルマップ（COP マップ、地中熱交換量マップ）を構築した。

⑤ポテンシャルマップの信頼性検証

地中熱ポテンシャルを評価する過程で発生する地中熱関連諸量をデータベース化したインターフェースを構築した。本インターフェースとポテンシャルマップを利用して、情報配信サービスや地中熱交換器の設計サービスといった事業化を図る。



図Ⅲ(3.1)-1 三次元地質構造モデル構築の概要

表Ⅲ(3.1)-1 特許、論文、外部発表等

年度	区分	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
H26FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY		0件	0件	0件	1件	0件	3件	0件	0件
H28FY		0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H29FY		0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	1件
H30FY		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)

平成31年2月28日現在

[成果の最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(3.1)-2 成果の最終目標と達成度  
 ※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	開発目標	成果	達成度
①地中熱利用実績の調査とデータベース化	120件前後の調査事例収集とデータベース化	・利用実績事例124件を収集。 ・その他、地盤、地下水情報等についてもデータ収集。	○
②三次元地質構造モデルの構築	広域自治体(関東-東北、約20万km <sup>2</sup> )、都市部2地域(関東、宮城、約2万km <sup>2</sup> )のモデル構築	・広域自治体(関東-東北)、都市部3地域(関東、宮城、長野)の三次元地質構造モデルの構築完了(当初計画に都市部1地域を追加)。 ・都市部3地域については、水平解像度50mの超高解像度浅層地盤モデルを構築。	◎
③マルチスケール国土水・熱循環モデルの開発	上記②をもとに地下浅層から深部の水・熱循環系モデルの確定 水平解像度は広域自治体500m以下、都市部2地域は重要街区50m以下を達成	・都市部3地域(関東、宮城、長野)の水・熱循環系モデルの構築完了。 ・広域自治体(関東-東北)の水・熱循環系モデルを構築中。 ・上記モデルで目標とする水平解像度を達成。	○
④地中熱利用ポテンシャル評価技術とデータベース開発	上記③をもとに地下浅層から深層を含めた深度別の地中熱ポテンシャルの評価技術確立	・上記③の地域について、従来無い手法によって自然資本としての地中熱ポテンシャルマップを提案。	◎
⑤ポテンシャルマップの信頼性検証	エンドユーザの実用に耐えることを検証	・上記①の実サイトのデータを利用し、上記④で作成した地中熱ポテンシャルマップの信頼性を検証済み。	○

#### IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

提供する地中熱ポテンシャル関連マップや熱交換器設計情報等は、高精度・高解像度(50m)で作成されたものであり、自治体管理者や土地開発者、個別ユーザー等、様々なステイクホルダーのニーズを満たすことができる。

また、この高精度・高解像度の情報は従来に無いものであり、膨大な地盤情報(応用地質)や最先端のモデリング・コンピューティング技術(地圏環境テクノロジー)は、我々のみが提供可能なサービスである。

既に、東北-関東地域を網羅しており、その技術は確立されているため、日本全国への拡大や量産についても目途が立っており、かつ、開発コストも抑えることができる。

## 個別テーマ(3.2)

### (3.2)オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発

委託先: 国立大学法人岐阜大学  
東邦地水株式会社  
株式会社テイク

## II. 研究開発マネジメントについて

### (3.2.1)背景と目的

オープンループ型地中熱利用システムは、揚水井で地下水を汲み上げて地上で熱交換を行うため、基本的には地層との間の熱伝導により地中熱交換を行うクローズドループ型システムと比べて、1本の孔井(ボアホール)でより広い範囲から熱を回収することが可能である。よって、孔井総延長を短くして、システム設置コストを低く抑えることが可能になる。また、帯水層が浅い地域においては設置コストのさらなる抑制が可能になる。さらに、クローズドループ型システムとは異なり、地下水は温度が基本的に一定であり、良質な熱源である。このような利点を有しているが、オープンループ型システムはクローズドループ型システムに比べて導入件数が少ないのが現状である。本事業は、オープンループ型地中熱利用システムに関する技術課題と適地選定課題を解決して低コスト化を進め、システムの普及拡大に貢献することを目的としている。

技術課題として、次の2点が挙げられる。1点目は、地下水還元の課題である。還元能力の低下を抑制する技術のひとつとして、逆洗技術が挙げられる。還元井の還元能力が目詰まりにより低下した際に、還元井において揚水することにより、還元井内の目詰まりを除去するものである。逆洗技術を確立することにより、オープンループ型の普及への障害のひとつを取り除くことができる。2点目は、ヒートポンプユニットの高効率化の課題である。現状のオープンループ型システムは、揚水井、井戸ポンプ、熱交換器、ヒートポンプ、還元井が単に組み合わせられているにすぎず、それぞれのパーツを有機的に組み合わせたシステム全体として高効率化が図られていない。そのために、オープンループ型システムでは、熱源温度が安定しているために高いCOP(成績係数)が望めるのにもかかわらず、井戸ポンプの消費電力量が全体に対して大きな割合を占める場合があり、結果としてSCOP(システム成績係数)を下げてしまう事例が見受けられる。このため、パーツごとの高効率化を目指すだけでなく、ヒートポンプシステム全体として高効率化・最適化を目指す必要がある。

適地選定課題として、オープンループ型システムを導入する上で条件有利地域が十分に活用し切れていない点が挙げられる。オープンループ型の場合には、地下水の揚水・還元が必要であるが、地域によっては通常の井戸掘削ではなく、より安価な揚水・還元方式として打ち込み井戸や浸透ますを利用して、システム設置コスト低減が可能である。しかし、打ち込み井戸や浸透ますを利用するシステムが開発されておらず、また、適用可能な地域も整理されていないため、ユーザーに対する選択肢として提示できていない。さらに、地下水移流の良好な地域では、地下温度が夏季に低下して、冬季に上昇することが知られているものの、この調査方法が確立されておらず、また、オープンループ型システムを利用する効果も実証されておらず、条件有利地域のポテンシャル評価、ポテンシャルマップ作成技術が確立されていない。

### (3.2.2)研究開発の概要

本事業では、オープンループ型地中熱利用システムの低コスト化研究開発として、最適逆洗技術の開発、地下水熱交換ユニットの開発、打ち込み井戸と浸透ますの利用に関する研究開発、タンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発を実施する。さらに、オープンループ型システム適地選定のためのポテンシャル評価技術、ポテンシャルマップ作成技術、逆解析法サーマルレスポンス試験技術の開発を実施する。

#### (1)最適逆洗技術の開発と地下水熱交換ユニットの開発

(担当：東邦地水株式会社、再委託：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

#### ①最適逆洗技術の開発

##### 1)目詰まり機構の解明

オープンループ型地中熱利用システムでは、基本的には揚水した地下水を熱交換後に還元井へ

注水するが、長期間の注水による還元井の目詰まり等が原因で、還水能力が低下して還元井への注水が出来なくなる問題がある。還水能力の改善手段として、還元井から揚水を行う逆洗による還元能力回復があるが、目詰まり発生後の対応策として実施することが一般的であり、システム設計段階での最適な還水能力の改善法は確立されていない。

熱利用後の地下水を還元井に長期間注入すると、懸濁物や酸化鉄、土粒子の再配列などによる目詰まりが井戸の近傍(アニュラス部)から次第に帯水層地盤内へと拡大形成され、比注水量(注水量/水位上昇量)が低下して、還元井内の注水水位が徐々に上昇する。最終的には還元井への注入が出来なくなり、注水水位がオーバーフローすることになる。この対策として、還元井から揚水を行い、注水時に生成された目詰まりを取り除く逆洗方法が用いられる。注入量が過剰な場合には、地盤内に形成される目詰まりが広範囲に拡大するために、逆洗法による効果は低減、最終的には還元能力の回復がなされないまま注入不能になる。これらの現象は、地下水・地質状況や井戸の形状により異なるため、目詰まりの機構は定量的に評価されていない。

本事業では、地下水が豊富で水質も良好な扇状地に位置する岐阜サイト、浅部砂層から取水可能であるが一部で水質が問題な(地下水中の砂分が多い)四日市サイト、並びに浅い深度で豊富に地下水取水が可能であるが水質が劣悪な(地下水中の鉄分が多い)名古屋サイトの水質や帯水層の状況が異なる3地域で目詰まりを解析する。具体的には、還元地下水と逆洗に伴う揚水地下水の濁度モニタリングと混入物の粒径・化学組成・鉱物組成の測定、地層内の目詰まりを把握するための各種検層を行い、還元や逆洗により還元井近傍の地層中で生じる現象を解明する。

## 2) 技術的課題の抽出と設計手法の検討

現状は目詰まり機構が解明されないまま、井戸設置時に実施されている段階揚水試験や連続揚水試験結果から循環水量を決定するケースが多く、定期的に揚水井と還元井を交互運転する、還元井のオーバーフロー時に揚水井と切り替えるなど様々な方式が採用されている。よって、安定かつ効率的な地下水循環方式を設計するには下記項目を定量評価する必要がある。

- ・熱干渉を考慮した井戸の設置間隔
- ・最適な循環水量の設定
- ・逆洗により目詰まりゾーンが解消される注水時の水位上昇量
- ・上記の結果に基づいた井戸内自動逆洗作動センサーの設置深度
- ・逆洗時間、逆洗揚水量
- ・アニュラスの設計
- ・井戸材料や付帯装置

本事業では、逆洗により初期の還元能力(比注入量)の80%以上の機能回復を達成するために上記の課題についての設計方法についての検討を行う。

## 3) コスト削減に向けた課題の明確化

オープンループ型地中熱利用システムのコスト削減には、還元井長寿命化と、ヒートポンプや地下水熱交換ユニット開発の結果を含めたシステム全体の評価が必要となる。

本事業では、実際のシステム運転時での地下水循環状況を評価してトータルコスト削減に向けた課題を明確化する。

### ② 地下水熱交換ユニットの開発

水冷式ビル用マルチエアコンを地下水熱源とする場合、直接地下水を利用すると地下水の水質により腐食やスケールの問題があるとともに、ビル用マルチエアコンの特性により運転開始時などに蒸発器温度が0℃以下になることがあるため、熱交換器と不凍液を利用することになる。しかし、熱交換器、循環ポンプ、温度センサー、流量センサー、圧力センサー、井戸ポンプ制御盤、ポンプ制御盤、配管、不凍液などの各機器を施工する場合、個別に工事費が必要になる。また、井戸ポンプー循環ポンプーヒートポンプの全体システムとしての最適運転制御をさせるために、別々の制御盤をリンクさせる費用がかかることに加えて、必要のないポンプ動力が無駄となっていることも多い。

本事業では、熱交換器、循環ポンプ、センサー類、配管、不凍液、並びに制御盤をすべて一体

化した地下水熱交換ユニットを開発するとともに、井水還元システムを含む井戸ポンプ・循環ポンプ・ヒートポンプインバータ連携制御と最適逆洗制御を開発して、地下水熱交換ユニットに組み込む。

設置現場における配管や機器をユニット化することにより、現場設置費用を削減することを目指す。また、井戸ポンプに必要な動力は、動水位、配管抵抗、必要流量により決定されるが、揚水ポンプのインバータ直接制御による流量調整システムを開発することにより、井戸ポンプ定速運転と比べて低負荷運転時の揚水量減少による動水位上昇およびバルブを用いないことによる配管抵抗低減により大幅な井戸ポンプ動力削減を目指す。さらに、最適逆洗制御により井戸のメンテナンス費を大幅に低減させることを目指す。

水冷ビル用マルチエアコン室外機は 10、12、14、16、18 馬力の型式が存在し、単一冷媒系統で 2 連結、3 連結までの連結が可能であるため、単一冷媒系統で 10 馬力から 54 馬力までの容量に対応している。地下水熱交換ユニットをすべての容量に対応させるために、容量に応じた設計と製品化を実施する。

## (2) 打ち込み井戸と浸透ますの適用技術の開発と、タンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発

(担当：株式会社テイコク、再委託：ヤマカトラストホームズ株式会社)

### ① 打ち込み井戸と浸透ますの適用技術の開発

本事業では、1) 条件有利地域選定技術の開発、2) 浸透ます適用技術の開発を行う。

これらとタンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発と合わせて、浅部地下水を利用する打ち込み井戸の構成と揚水能力、揚水した地下水を地中に還元する浸透ますの構造と浸透能力、タンク式熱交換器の構造と材質仕様を明確にし、打ち込み井戸と浸透ます、タンク式熱交換器を利用する地中熱利用システムを開発する。

#### 1) 条件有利地域選定技術の開発

オープンループ型システムを導入する場合、地盤や地下水の状況によっては、設置コストが安く簡易に設置できる打ち込み井戸や浸透ますの利用が期待される。このうち、打ち込み井戸を利用したオープンループ型の先行研究では、地層中に細粒土が少なく実験期間中に還元井での目詰まりが発生しない事例や、細粒土が多く還元井が目詰まりして使用不能になる事例が報告されている。しかし、オープンループ型における打ち込み井戸の適用可否について、ある地域を対象として面的に地下情報が整備されている事例はなく、一般的な水利用のための打ち込み井戸の設置は、井戸業者による経験的な判断にゆだねられているのが現状である。本研究では、長良川扇状地で既にまとめられている 9,000 本以上の打ち込み井戸実績を地形・地質情報や地下水位、水質情報等と対比することにより、他地域でも利用できる打ち込み井戸の適用可否判定と設計情報を得るためのデータベース構築手法を開発する。これにより、通常の井戸設置に要する費用を 20% 以上削減することが可能となる。

#### 2) 浸透ます適用技術の開発

オープンループ型の還元方式では一般に井戸が用いられるため揚水井のほかに還元井の掘削が必要となる。しかし、透水性地盤が浅部から分布する場合には、簡易に設置でき井戸掘削に対して大幅にコストダウンが可能な浸透ますの利用が可能である。雨水浸透ますで代表される浸透施設の設計方法については各機関で設計基準がまとめられており、地盤の浸透性能に基づく手法が提案されている。しかし、長期間に渡って連続還元を行う地中熱利用の浸透ますについては施工実績がきわめて少なく、還元水量や水質特性に配慮した設計・施工技術が明確になっていない。

本研究では、地盤種別に複数の地点で現地浸透試験を実施し、地盤の透水性のほか還元水量や水質特性に配慮した浸透ますの適用技術を開発する。また、本事業では、長期的な還元機能の検証と課題の抽出を図るため、条件有利地域での実証試験施設に設置される、実物大の浸透ますを用いて実証還元を行う。還元期間中は、還元水量と水温及び浸透ます内部の残留水位等を連続計測するほか、還元に伴う周辺地域への水温影響を把握するため、観測井の設置と地中温度のモニタリングを行う。

一方、浸透ますによる地下水還元を計画する場合、周辺地下水温の変化に対応した揚水井と浸透ますとの離隔距離の検討や、周辺地下水環境への影響予測が必要となる。本事業では、周辺地下水環境への事前影響予測技術を確立するため、既存の浸透ます施設に観測井を設けて、地下水環境観測を行い、その結果に対する地下水流動と熱輸送をモデル化したシミュレーションによる検証を行う。

## ②タンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発

タンク式熱交換器は、オープンループ型地中熱利用システムにおける井水-不凍液間の熱交換器の一種で、地下埋設タンク内に地下水を満たし、タンク内に設置した採熱管内の不凍液との間で熱交換を行うものである。オープンループ型システムの揚水井として打ち込み井戸を用いる場合において、揚水に吸い上げ式の地上ポンプを使用するため、周辺地盤の地質条件によっては揚水に伴い砂分を吸引しやすく、プレート式熱交換器や還元井の目詰まり原因となる。プレート式熱交換器と異なり、タンク式熱交換器は井水が流れる空間を広く確保できることから、打ち込み井戸との親和性が高く、更なるコストダウンに向けて、タンク式熱交換器・浸透ます併用の地中熱利用システムを開発する。

システム1(浸透ます併用タンク型熱交換方式)では、浸透ますを掘削した孔に断熱タンクを設置し、熱交換後に浸透ますに排水して地下水還元を行う。熱交換後の地下水排水流量は25L/min程度と想定される。浸透ますの大きさは排水能力を超えない範囲で、最少にすることによりコスト低減を図る。タンクを設置する浸透ますの基礎部分は、排水時に軟弱地盤となり得るので、タンク荷重に耐える強度が必要である。浸透ますの排水浸透能力が足りない地盤環境では、地表排水管を設置する。

システム2(浸透ます一体型熱交換方式)では、浸透ます掘削孔にシート型熱交換器を埋設し、地下水を直接浸透ますに流して熱交換を行う。タンクの設置コストが不要で、浸透ますを活用して排水し、地下水還元を行う。浸透ます下部に防水シートを設置して地下水を貯水することで、浸透ます自体を熱交換器として機能させ、シート型熱交換器と地下水との熱交換効率を向上させる。防水シートは、地下水をある程度浸透させるために透水性シートも検討する。浸透ますの能力を超える排水や雨水を想定して、地表排水管も設置する。

この2つの方式の実証実験を行い、運転パターンを複数試みながら、地下水給水温度、地下水還元付近温度、浸透ます内部温度、浸透ます周辺温度、ヒートポンプへの循環液行き戻り温度、地下水流量等を観測することにより、最適な運転パターンを確立する。

## (3)オープンループ型地中熱利用システムのためのポテンシャル評価技術開発

(担当：国立大学法人岐阜大学、再委託 国立大学法人信州大学)

### ①ポテンシャル評価技術の開発

本事業では、1)調査手法の開発、2)条件有利地域での実証運転試験、3)ポテンシャルマップ評価技術の開発を行う。これらと逆解析法サーマルレスポンス試験技術の開発と合わせて、オープンループ型地中熱利用システムに対するポテンシャル評価に必要な地下水の調査方法を確立し、運用コストに与える地下条件の影響を把握するとともに、サーマルレスポンス試験を行い地下水流れの影響を加味した地層熱伝導率を算出する。

#### 1)調査手法の開発

調査手法の開発では、長良川扇状地をモデルフィールドとする。長良川の左岸側では、河川の涵養域から離れるに従い、地下温度の年変動の位相差が大きくなる傾向を確認しており、地下水流動と地下温度変化の関係が明確になっている。長良川右岸側では、旧河道や支流河川が地下温度場に影響を与えるために、地下水流動と地下温度変化の関係が明らかでない。

地下温度に関する有利地域を抽出する技術を一般化するためには、旧河川や支流河川がある条件でも適用可能であることが重要となる。このため、長良川右岸側で1年間の地下水の水位・水温測定を行い技術的な課題を整理するとともに、シミュレーションにより帯水層における地下水流動と熱輸送をモデル化することで、自然の季節間蓄熱を生じる地域の抽出技術を開発する。シミュレーションでは、以下の3)②の成果を活用して精度向上を図る。

#### 2)有利地域での実証運転試験

有利地域での実証運転試験では、オープンループ型地中熱利用システムを設置して、地下温度が年間を通じて一定である地域と比べて、より高効率な運転となることを実証する。実証運転による試験結果をヒートポンプのCOP線図から期待される結果と比較して、地下温度がCOPに与える影響を評価する。実証運転試験においてシステム運用コスト低減効果を評価するには、同等仕様の空気熱源ヒートポンプの使用を仮定した消費電力量を試算する必要がある。COP線図と気象データを用いて、同時期の空気熱源ヒートポンプ消費電力量を試算する方法を開発し、それとの比較において、地中熱ヒートポンプの消費エネルギー削減量、システム運用コスト低減効果等の評価を行う。

### 3) ポテンシャル評価技術の開発

上の1)と2)の成果、及び(1)、(2)と(3)の②の成果を統合して、オープンループ型地中熱利用システムのポテンシャル評価技術を開発する。地中熱利用ポテンシャル評価について様々な取り組みがあるが、多くはクローズドループ型を対象としており、オープンループ型を対象としたものは少ない。打ち込み井戸や雨水浸透ますの利用や、本事業で開発する逆洗技術を適用することで、地域によってオープンループ型システムの設置コストや運用コストに差異を生じることになる。建築物の設計者から最終的なシステム利用者まで利用可能なポテンシャルマップとして、その差異を可視化する評価技術を開発する。逆洗に関わるメンテナンス費用、打ち込み井戸や雨水浸透ますの利用の可否、地域で利用可能な地下水の温度や水量を考慮することにより、任意の場所でのオープンループ型地中熱利用システムのトータルコストを算出できる評価技術とする。

#### ②逆解析法サーマルレスポンス試験技術 (iTRT) の開発

クローズド型地中熱採熱事業では、採熱量を評価する目的でサーマルレスポンス試験を実施することが多い。サーマルレスポンス試験は、Uチューブを埋設した専用ボアホールにおいて一定の熱負荷をかけて、地層の熱伝導率を算出することであり、従来、試験データの解析に用いるケルビン線源関数における指数積分をべき級数展開して最初の2項のみを利用して熱伝導率を求めてきた。この方法では、パラメータの同定精度が悪くなることもあり、また試験時間も長い。さらに従来法には、静止地下水を想定したケルビン線源関数を用いているために地下水が流動している地層に適用できない課題もあり、地下水流動の影響が見かけ熱伝導率を過大にする原因となってきた。

これらの課題を解決するため、信州大学藤縄研究室において、地下水移流地域で実施されたサーマルレスポンス試験データを全く異なる原理であるハンタッシューヤコブ関数を用いる解析方法を開発し、室内実験を実施して妥当性を検証してきた。この関数は、流動地下水中の熱移動を支配する要因として、地層熱伝導に加えて、地下水流動による移流と熱分散による熱移動を考慮した点に特徴があり、サーマルレスポンス試験データ解析では、地層の熱伝導率、体積熱容量、縦・横分散長、地下水流速が求めるべきパラメータとなる。

複数パラメータを同時に同定するデータ解析には、最適化手法を用いる逆解析法が適しており、パウエルの共役傾斜法を用いる逆解析法を開発して、室内実験結果に適用して高い精度で複数パラメータを同定できることを実証している。

ハンタッシューヤコブ関数に含まれる複数の熱移動パラメータを求める逆解析法は、実現地でのサーマルレスポンス試験適用されることがないため、本事業において地下水流動が地中熱利用に大きな影響を与えることが予想される長良川扇状地で検証し、地下水流動の有無に関わらず適用可能な逆解析法を確立して、全国への普及を図る。広域熱移動シミュレーションには複数地点で評価した熱移動関連パラメータが不可欠であり、最終的には「ポテンシャル評価技術の開発」の数値モデルに提供して、数値シミュレーションをバックアップする。

本研究開発項目では、1)現地調査手法の開発、2)長良川扇状地への現地調査手法の適用を実施する。

#### 1) 現地調査手法の開発

信州大学では、流動地下水中の熱移動の挙動を調べるため、図II(3.2)-1に示す実験装置を製作し、ジャッキアップより地下水流動を発生させて模擬地層中の熱移動現象を調査した。

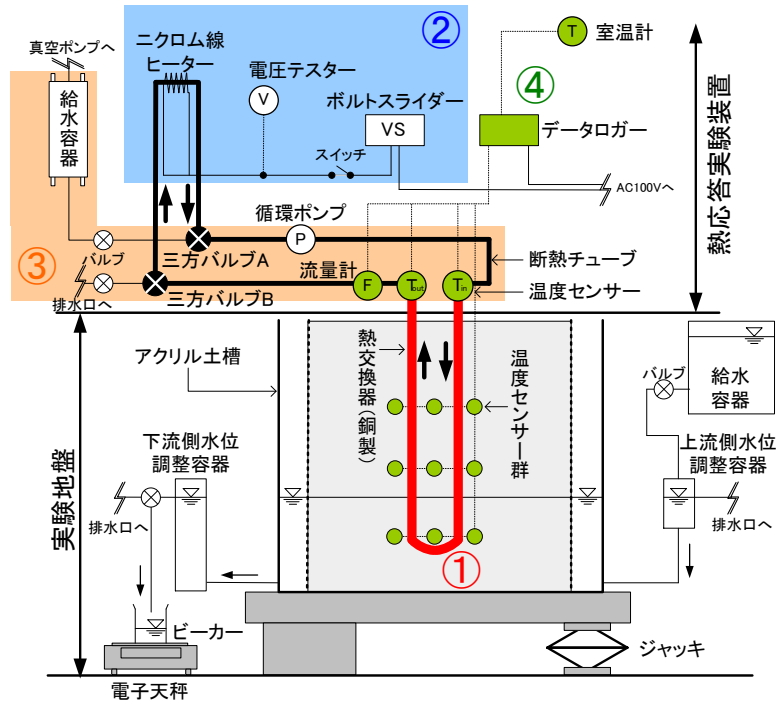


図 II (3.2)-1 流動地下水中の熱移動挙動解析装置の概要

室内実験で確立された逆解析法については、長良川扇状地においてサーマルレスポンス試験専用ボーリング孔を掘削し、サーマルレスポンス試験を実施するとともに、別途ボーリング孔直近に設置した観測井において温度変化を計測し、そのデータを使用して真流速や熱伝導率などのパラメータを逆解析する。

2) 長良川扇状地への現地調査手法の適用

1) で確立した現地調査手法を長良川扇状地における熱移動シミュレーション地域内の複数箇所に応用し、シミュレーションに必要なパラメータの空間分布を把握する。



表Ⅱ(3.2)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	中間目標 (平成28年度末)	最終目標 (平成30年度末)	目標レベル設定の根拠
①最適逆洗技術の開発と地下水熱交換ユニットの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>目詰まりの機構解明</li> <li>技術課題の抽出と設計手法の検討</li> <li>設置コストと運用コスト20%削減に向けた課題の明確化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来システムとの価格性能比で、設置コストと運用コスト20%削減の実現</li> </ul>	地下水が取水可能な地域において、安定した地下水還元技術を確立し、自動逆洗のユニット化により設置コストと揚水動力コストを削減する。
②打ち込み井戸と浸透ますの適用技術の開発と、タンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>20%削減に向けた浸透ます適用技術の課題の明確化</li> <li>タンク式熱交換器・浸透ます併用システムの従来方式より設置費10%の削減と課題の明確化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来システムとの価格性能比で、設置コストを20%削減する。</li> </ul>	対象地域では、打ち込み井戸が多く、タンク式熱交換器や浸透ます方式によるオープンループ型地中熱利用の実績もある。これらの技術に基づいて新規システム開発により、従来システムとの価格性能比で設置コストを20%削減することは可能である。
③ポテンシャル評価技術の開発と、逆解析法サーマルレスポンス試験技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水調査方法を確立</li> <li>条件有利地域におけるシステム運用コスト評価</li> <li>TRT試験地の選定</li> <li>試験専用孔の掘削及び逆解析法TRT試験技術(iTRT)の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポテンシャル評価技術の開発</li> <li>運用コストの削減率に基づくポテンシャルマップ作成</li> <li>地下水熱流動のモデル化によるシミュレーション技術の開発</li> </ul>	事業終了後、他地域への展開を図るのに必要な成果が得られることを根拠としている。

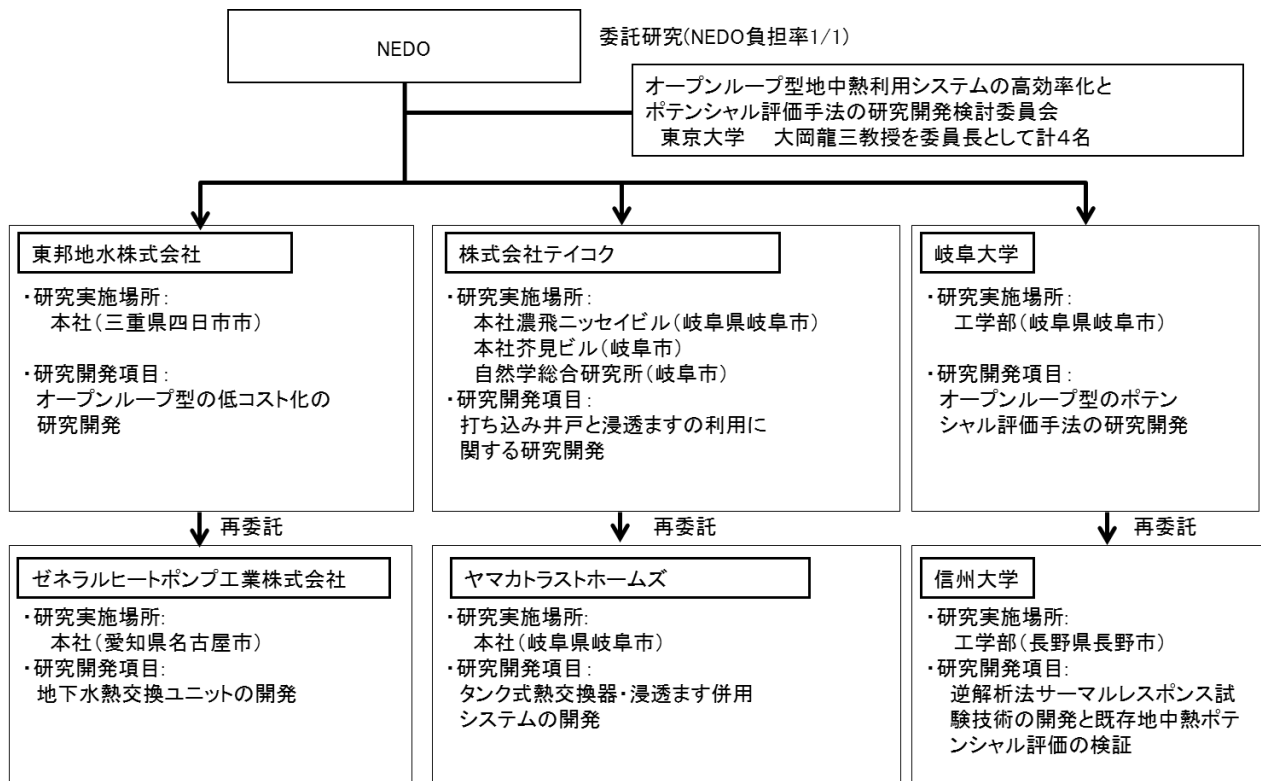
(3.2.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成28年1月26日より平成31年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(3.2)-2に示す。

表Ⅱ(3.2)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H27年度				H28年度				H29年度				H30年度				
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
最適逆洗技術の開発と地下水熱交換ユニットの開発				技術課題、コスト削減課題の検討						最適逆洗技術確立・ユニット開発							
打ち込み井戸と浸透ますの適用技術の開発とタンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発				技術課題検討、システム試作						利用適地選定技術確立、システム改良							
オープンループ型地中熱利用システムのためのポテンシャル評価技術開発				有利地域調査手法開発						ポテンシャル作成技術開発							

### (3.2.4)研究開発の実施体制



### (3.2.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ (3.2)-3 オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発  
 「オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発」検討委員会

国立大学法人岐阜大学  
 東邦地水株式会社  
 株式会社テイコク

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	大岡 龍三	国立大学法人東京大学 生産技術研究所 人間・社会系部門 教授
委員	奥宮 正哉	国立大学法人名古屋大学 大学院環境学研究科 教授
委員	吉岡 真弓 (2017年6月まで)	国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 研究員
	内田 洋平 (2017年6月から)	国立研究開発法人産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム 研究チーム長
委員	洞口 光和	中部電力株式会社 岐阜支店 部長代理

所属は、委員会組織時点のもの

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### (3.2) オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発

##### 【成果概要】

本事業では以下 3 項目の研究開発を行い、オープンループ型の技術課題である地下水還元、ヒートポンプの高効率化、小規模施設への対応、適地選定の課題を解決することにより、設置・運用コストを 20%以上の削減し、普及拡大のためのオープンループ専用のポテンシャル評価手法を開発した。

##### 【項目別成果】

#### 3.3.1 最適逆洗技術と地下水熱交換ユニットの開発

##### (1) 還元井の逆洗技術の開発

地質や地下水賦存状況、使用用途の異なる 3 つの実証サイト（四日市、名古屋、岐阜）に、循環井 2 井（揚水井・還元井各 1 井）と地下水熱交換ユニット・地中熱対応水冷式ビル用マルチエアコンからなる開発システムの実証実験装置を設置し、井水還元に伴う目詰まりの発生状況とその要因を調査した。この結果を基に、目詰まりの発生を抑制するための逆洗システムを構築し、安定的にシステムが稼働することを実証した。

##### (2) 井戸能力を維持した井戸掘削費の削減手法

本逆洗システムの開発により、従来の 3 本の井戸（揚水井 1 本+還元井 2 本）から循環井 2 本のシステムに変更したことにより、掘削費は単純におよそ 2/3 となったが、井戸掘削費をさらに削減するために、井戸掘削の従来工法であるロータリー工法およびパーカッション工法（一般的な掘削径約 300mm）に対し、掘削スピードが 4~5 倍であるソニックドリルを用いたロータリーバイブレーション工法（掘削径約 230mm）を用いることにより、システムとしての井戸能力を維持したまま、よりコストダウンに貢献できることを確認した。

##### (3) 地下水熱交換ユニットの開発

従来のオープンループ型地中熱利用システムでは現地施工されていた、熱交換器、循環ポンプ、センサー類、配管、揚水ポンプ制御盤など、それらをすべて一体化した地下水熱交換ユニットを開発し、井戸の揚水ポンプ・循環ポンプ・ヒートポンプインバータ連携制御機能を有する制御盤を地下水熱交換ユニットに組み込むことで、現場における設置費用を削減することを実証した。さらに、実用化（製品化）するにあたり、配管ルートや各部品の見直し、配管レイアウトの最適化による小型化の検討も実施した。

##### (4) インバータによる流量調整システム

従来は常に一定の動力で運転する井戸の揚水ポンプについて、インバータによる流量調整システムを開発し、低負荷時に必要な井水流量に合わせて揚水ポンプを直接インバータ制御することでポンプの消費電力を抑えた結果、従来型に比べて揚水ポンプのランニングコストの削減率が岐阜サイトでは冷暖房総合で 48%、四日市サイトは 44%、名古屋サイトは 21%となり、いずれのサイトも目標である 20%以上削減を達成した。

##### (5) ライフサイクルコストの試算

本開発システムを導入後、システム全体のコスト試算（15 年供用時）を実施した結果、導入コスト 20.2%削減、運用コスト 20.0%削減により、ライフサイクルコスト 20.1%削減を達成することを実証した。

#### 3.3.2 打ち込み井戸・タンク式熱交換器・浸透ますの利用に関する研究開発

##### (1) 打ち込み井戸・タンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発

戸建住宅や小規模建物を対象としたオープンループシステムの導入コスト削減を目的に従来の揚水井と還元井に代わる簡易な打ち込み井戸と浸透ますを併用した 3 方式を提案し、実証システムによる性能評価を行った。”浸透ます併用タンク型熱交換システム”、”浸透ます一体型熱交換システム”、”不凍液バッファタンクシステム”について冷房運転時および暖房運転時の負荷一定試験実施した結果、SCOP による評価では中間負荷運転（消費電力：200~300W）や低負荷運転（消費電力：100~200W）

に対して SCOP が 3~6 程度の高い値を示すことを確認した。また、長期稼働実証試験においても、外気温に関係なく室内平均温度は設定温度に維持されており各システムとも空調設備としての性能が発揮できることを確認した。また、経済性の比較では、導入コストの削減率が従来システムに対して 31.7~42.3%となり、目標である 20%以上の削減を達成した。

#### (2) 打ち込み井戸適用可能抽出条件の明確化

打ち込み井戸の適地 選定に資するため岐阜地域における 9,000 本以上の打ち込み井戸実績のほか地形・地質情報や地下水情報に関するデータベースを作成し汎用的な適地抽出条件の検討を行った。その結果帯水層上面深度と打ち込み井戸深度との関係N値 50 以上を示す上面深度と打ち込み井戸深度との関係及び地下水面深度と打ち込み井戸深度との関係に基づく 3 項目の抽出条件を提案した。さらに岐阜県西濃地域を検証エリアとしてデータベースを作成し岐阜地域の抽出条件にもとづいて適地判定を行ったところ検証エリアの打ち込み井戸実績と調和する結果が得られ提案した諸条件が汎用的な適地抽出条件として妥当であることを確認した。

#### (3) 浸透ます還元能力評価方法及び周辺地下水温環境評価手法の検討

浸透ますの還元能力を評価するのに必要な地盤の飽和透水係数を求めるため既往指針案に示される試験法をベースに簡易でかつ地盤の透水性や孔壁の崩壊性が大きい場合でも適用出来る現地浸透試験方法を考案した。岐阜地域と西濃地域の扇状地面で計 7 箇所の試行を行った結果礫質地盤でも試験が可能であり地盤の透水性の評価に問題が無いことを確認した。また 3 箇所の浸透ます実証施設では試験結果に基づき推定した最大還元能力は実績還元量にほぼ類似することを確認した。浸透ますでの還元による周辺地下水温への影響評価手法を検討するため既往浸透ます施設を利用した周辺地下水温のモニタリングと熱移流解析を実施した。その結果地下水流動場における周辺地下水温への影響予測が数値解析モデルによって可能であることを確認した。

### 3.3.3 オープンループ型システム適地選定のためのポテンシャルマップ作成技術の開発

#### (1) 条件有利地域における省エネ性の実証試験

地下温度が夏季に低下し冬季に上昇する条件有利地域において、オープンループ型地中熱利用システムの実証試験を行った。その結果、暖房 COP、SCOP がそれぞれ 3.5、3.0、冷房 COP、SCOP がそれぞれ 6~9、4.5~6.5 であることを確認した。

#### (2) 地下温度が省エネ性に与える影響の評価手法の開発

実証試験の結果に基づいて、任意の地下温度・井水出入口温度差・空調負荷率におけるヒートポンプの COP を重回帰分析により得られた重回帰式を用いて推定した。その結果、暖房運転では地下温度が 1℃上昇することにより COP が 0.08 向上し、冷房運転では地下温度が 1℃低下することにより COP が 0.17 向上することを見いだした。また、ポンプ動力の推定方法を確立させるとともに 4 種類の建物用途における空調負荷率分布を用いて、任意の地下温度、地下水温度、建物用途における消費電力量比を求める手法を開発した。

#### (3) ポテンシャルマップ作成技術の開発

条件有利地域の調査手法の開発として、観測点の空間分布を高密度とした地下温度観測を長良川扇状地対象として行い、それにより従来の調査では見いだされなかった旧河川・支流河川が地下温度場に与える影響を確認することができた。また、広域地下水流動・熱輸送シミュレーションに用いる地層の熱物性値を得るために、iTRT 試験のフィールド実証を行った。その結果、iTRT により TRT では得られなかった詳細な地層の熱物性値を得るための有効な手段であることが確認できた。さらに、これらの成果を統合してポテンシャルマップを GIS 上に作成し、任意の地点を選択することにより、その地点における建物用途別の年間消費電力量を基準値からの比として表すデータベースを構築した。

表Ⅲ(3.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT* 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	11件	2件	1件
H29FY	1件	0件	0件	0件	1件	12件	3件	2件
H30FY	0件	0件	0件	1件	0件	10件	7件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[成果の最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(3.2)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
最適逆洗技術と地下水熱交換ユニットの開発	従来システムとの価格性能比で、設置コスト・運用コストを20%削減する。	設置コスト・運用コストをそれぞれ20.2%、20.0%削減し、ライフサイクルコストを20.1%削減	○
打ち込み井戸・タンク式熱交換器・浸透ますの利用に関する研究開発	従来システムとの価格性能比で、設置コストを20%削減する。	設置コスト・運用コストをそれぞれ32.0%、33.6%削減	○
オープンループ型地中熱利用システムのためのポテンシャル評価技術開発	ポテンシャル評価技術を開発し、運用コストの削減率に基づくポテンシャルマップを作成する。地下水熱流動のモデル化によるシミュレーション技術を開発する。	運用コストの削減率に基づくポテンシャル評価手法と地下水熱流動のモデル化によるシミュレーション技術を開発した	○

#### IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発では、オープンループ型地中熱利用システムの低コスト化研究開発として、最適逆洗技術と地下水熱交換ユニットの開発、打ち込み井戸・タンク式熱交換器・浸透ますの利用に関する研究開発、オープンループ型システム適地選定のためのポテンシャルマップ作成技術の開発を実施した。最適逆洗技術と地下水熱交換ユニットに関しては、条件有利地域にて2019年度中に施工・販売を開始する。打ち込み井戸・タンク式熱交換器・浸透ます利用システムに関しては、本事業で作成したオープンループ型システム適地選定のためのポテンシャルマップより抽出した岐阜・西濃地域を主たるターゲットとして2020年度から施工・販売を開始する。



## 個別テーマ(3.3)

### (3.3)都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発

委託先：一般財団法人地域地盤環境研究所  
株式会社環境総合テクノス  
国立大学法人岡山大学

#### (3.3.1)背景と目的

大規模ビルが密集して熱エネルギー需要の高い都市域において、電力ピークカット、省エネルギー、空調の人工排熱抑制などの課題を解決する大容量の熱源システムとして、都市域に豊富に存在する地下水を大規模に活用するオープンループ型地中熱利用システムが有望である。本システムを都市域で普及促進させるには、地下水揚水による地盤沈下影響を回避するため、長期的に安心・安全・安価に活用できる揚水・還水熱源井を適正に設計することが重要である。このためには、予め熱源井に必要な揚水と還水を確保できる帯水層の位置、透水性、地下水位といった地質学的、水文学的な情報や、地盤沈下影響を評価する地盤情報などを対象地域で空間的に把握できる地下水観測・管理の観測井システムが、熱源井とともに必要である。しかしながら、このような観測技術は未開発であり、観測網についても未整備であるため、地下水の熱源利用は十分に図られていない。

本事業では、都市域における地下水の大規模熱源利用のための技術的基盤として、低コスト・高機能な観測井の構成と構築手法を検討、システムティックな地下水の観測・管理技術を確立、計画地点の地盤環境と事業性を予測評価するシステムを開発することにより、従来の観測井との性能比でコスト削減を実現して、都市域におけるオープンループ型地中熱利用システムの普及に貢献することを目的とする。

#### (3.3.2)研究開発の概要

本事業においては、掘削性能を向上することで工期を短縮でき、観測井孔壁の目詰まりを抑制して地下水位変動を確実に捉えることで観測井の品質を向上できる、観測井の掘削工法技術開発を推進する。観測井設置用地を削減でき、熱源利用に最適な帯水層を選択することで観測井の信頼度を向上できる、観測井1孔で複数帯水層の地下水流動や水質を観測・管理可能なマルチレイヤー観測井システムの構築技術開発を推進する。地下水と地盤特性などの情報を統合して一元的に情報を管理できる総合データベースシステムの技術開発を推進する。帯水層情報や地下水熱源利用ポテンシャル情報を可視化し、地下水利用計画地点でのオープンループ型地中熱システム導入コストや採算性などを試算できる地盤環境・事業性予測評価システム技術開発を推進する。

#### ①実現可能性調査（担当：(株)環境総合テクノス、岡山大学、(一財)地域地盤環境研究所）

本事業の観測井システムが、都市域で地下水を大規模熱源に利用するオープンループ型地中熱利用システムに対して、コスト、開発リスク回避等で有効か否か、27年度末を目途に示す。

成果実用化時のビジネスプランと本観測方式採用時の経済性に関する実現可能性調査と、今後のオープンループ型地中熱システムの普及シナリオ作成を28年度上期内に実施する。本事業の有効性を確認した上で研究用観測井構築に進む。

#### ②観測井の構築技術開発（担当：(株)環境総合テクノス、岡山大学）

##### (1) 構築工法の開発

これまでオープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用に関しては、本井戸の設計のために調査ボーリングを実施することはまれであり、文献等により地層を想定している。その結果、正確な地層構成を含む帯水層を把握することなく、熱源井の構築がなされていることが多い。また、井戸構築に必要なデータ取得には時間を要するとともに正確な位置でのデータ収集ができないことが多々見受けられた。

低コスト・大容量の揚水・還水井を完成させるためには、事前の調査ボーリングは不可欠であるが費用と工期がかかるため、効率的な情報収集と調査ボーリングの利活用を図り、全体に低コストとなるシステムティックな観測技術を構築する必要がある。具体的には、掘削高速化、地層と帯水層確認の検層高度化、熱源井掘削設計に必要な試験高度化、掘削時に掘屑を含んだ泥水の孔壁浸透低減化等により、確実な熱源井構築の設計に貢献するとともに、長期間の利活用を

想定した観測井の構築を目指す。

まずは、地中熱利用の現状調査を実施し、地中熱用熱源井の構築方法を整理し、課題を抽出する。また、井戸掘削技術に関する文献調査・情報収集を実施し、地域特性を考慮した技術開発の基礎資料として整理する。さらに、地中熱用熱源井設計に必要なデータ収集を行い、最適な試料の採取方法、試験項目について検討する。

地下水熱源井設計には、対象層の粒度分布と透水係数が重要なパラメータになる。地下水熱源利用において、帯水層の土質試料を確認して、適切な採水位置を選定することが重要となる。土質試料採取に関しては、従来の調査ボーリングでは標準貫入試験による方式や特殊サンプラーを用いる方式が採用されているが、段取り替え等による工程ロスの課題がある。

本事業では、掘削性能向上による観測井構築工期の短縮を目的に、ロータリーパーカッションまたはロータリーバイブレーション法等を活用した急速穿孔工法を検討するとともに、足場仮設を伴わない自走式掘削マシンを活用して作業の効率化を進める。また、穿孔と同時に土質試料を採取できるワイヤーラインサンプリングツールを開発して、土質試料の目視観察と室内粒度試験への試料提供を可能にする。これにより、従来のロータリー式ボーリング工法よりも高速に観測井を構築することを目指す。掘削深度として、3層程度の複数帯水層を貫通する観測井を構築するために100m程度を超えることを想定する。

従来の現場透水試験では、掘進中に透水試験を行うために、掘削泥水を清水に置き換える孔内洗浄やポンプ等の機材段取りが必要であり、帯水層1層に対する試験でも時間を要していた。本事業では、現場透水試験に替わって高精度(連続測定)に地下水流量を計測することを可能にするために、物理探査で使用される電磁流量計を利用した観測井用フローメータを開発する。また、観測井の信頼度を上げて目詰まりの低減を目指すため、観測井孔壁への泥水浸透領域を低減させる掘削方法も検討する。さらに、フローメータでの測定や孔内計測を実施する際に弊害とならない全層ケーシング・スクリーン仕様についても検討する。従来は、対象の帯水層1層について仮ケーシング(開孔ケーシング)を設置して測定するため、深度の異なる複数の帯水層それぞれに対して新たな観測井を設置する必要があり、時間と費用が発生していた。本事業で開発する観測井では、1孔で複数の帯水層について地下水の観測・評価を可能にするマルチレイヤー観測に適した構造を検討する。

観測井構築のための新たな技術開発や工法検討により、観測井の信頼度を上げ、各帯水層においてデータ取得可能な構造のマルチレイヤー観測井システムを構築する。

## (2) 開発機器の性能評価

掘削性能向上による工期短縮並びに構築工法の工夫により開発するマルチレイヤー観測井と、従来のロータリー式ボーリングを利用し構築した観測井とを比較して、品質向上とトータル調査コストの低減について評価する。

これまでの地下水の熱源利用実績や最新の掘削技術動向を収集・分析することで、観測井掘削についての技術評価をする。フローメータ開発に当たっては、水理的観点から測定原理を中心に機器仕様の検討を実施するとともに、試作機の性能評価を実施する。

これまでの熱源井、観測井の調査実績をもとに、複数帯水層の評価が可能なマルチレイヤー観測井の設計評価を行う。また、観測井構築時のサンプリングデータ、掘進データおよび運用後の計測データを分析し、マルチレイヤー観測井の有効性について評価を行う。

## ③地下水管理のための観測井データ解析と継続利用可能な帯水層の特性研究

(担当：(一財)地域地盤環境研究所、再委託先 大阪市立大学)

大阪平野の特に市街地近傍は、旧淀川の河床及びその氾濫原であり、河川堆積物が堆積する際に比較的粗粒な砂礫層となる場合が多い。また、平野全体が沈降場であり、数百万年前以降周期的に繰り返す海水準変動のために繰り返し海が拡大している。そのため、大阪平野中心部においては、海成粘土層と砂礫層が互層状に分布する。このような堆積構造は反射法地震探査などの物理探査結果からも理解できるが、基本的に粘土層特定とその土質特性の把握が検討項目である。

当該地には、「関西地盤ネットワーク」協議会による、過去の地質調査や施工調査などの情報を電子化したデータベースがある。また、地下水地盤環境の研究協議会が大阪平野内の地下水情報を幾つか保有しており、表層から何層かの帯水層に関連する情報もある。本事業では、これら



の情報を集約するとともに、検討地域の新規情報を収集して、地質や土質特性、地下水に関する情報を統合して、各帯水層の特性を検討する。

研究内容は大きく2つに分かれる。

- (1) 観測井構築時の調査データ解析及びデータ解析による持続利用可能な帯水層の特性抽出  
観測井構築時に採取した地層の土質特性調査による帯水層の特性の検討と観測井の構築後のモニタによる各種データを合わせて、持続利用可能な帯水層の特性を検討する。
- (2) 観測井構築時の地盤データ集積とデータベース化情報一元管理による特性抽出と地下水データの体系的な取得、管理方法を検討する。

(1)では、収集データから得られる情報と、観測井構築時に現地採取した土質試料について、室内試験を行い砂礫層の透水性を推定するために必要なデータ(粒径分布、かさ密度等)を取得する。なお、原位置における揚水試験等もあわせて実施し、観測井の構築後に得られる観測データと合わせて、地盤特性～帯水層の流動特性の相関性についての検討を行う。また、大阪平野中心部においては、掘進長が数百m以上の地質学術調査ボーリングが実施されており、その際に採取した地盤コア試料が博物館や大学施設において保管されている場合がある。帯水層に該当する砂～砂礫層の部分の詳細な観察や情報とともに、コア試料からも情報を取得し、持続利用可能な帯水層の特性を検討する。

大阪市立大学において、保有する情報や試料の整理を行い、帯水層の特性および帯水層前後の難透水層についての特性について検討する。

(2)では、各機関や各プロジェクトの研究として個別に収集された既存の地下水情報及び地盤情報に関して、統合的・一元的に管理可能なデータベース、すなわち地下水・地盤情報総合データベースのシステムを開発する。この総合情報を、地下水利用の可能性評価とともに、地盤沈下影響の評価に活用することを目指す。また、観測井構築時の原位置地盤情報及び地下水情報データを追加更新することにより、総合データベースの高度化(精度向上)を図る。データベース化する情報は、これまでに各協議会が収集したデータの一部を変換して利用するとして、対象地域について本事業に有用な地質や構造物などの情報を新規に収集、取得してデータに追加する。大阪地域ではかつての地下水の過剰くみ上げによる地盤沈下が多数観測され、規制や今後の地中熱利用に際しての懸念事項となるので、地盤情報は、帯水層の関連のみならず難透水層についても収集し、地盤沈下予測に必要なデータも取得する。また、地下水観測井で取得される各種データをリアルタイムに監視、管理できるような観測システムについても検討を行う。

大阪市立大学において、保有する沖積粘土層や洪積粘土層に関する地盤データ(特に試験データ)、特に西大阪地域で独自の研究として実施したボーリング孔や試験データについて、情報を取りまとめて、潜在的な地盤沈下の危険性について地域分けを行う。

#### ④観測井データ等を用いた地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発

(担当：(一財)地域地盤環境研究所、再委託先 大阪市立大学、共同実施先 大阪市)

③で集積したデータベースを基に、(1)評価手法の構築、(2)地盤環境・事業性予測評価システムの開発と進める。

##### (1)評価手法の構築

従来の地盤情報では帯水層は砂礫層として分類されているが、熱源利用の地下水管理においては、持続可能かつ熱源利用に有効な帯水層の特徴を抽出してその分布を検討する必要がある。同時に、帯水層上下に分布する難透水層の圧密状態を基に、潜在的に地盤沈下が発生する危険性を把握することで、安全な地下水管理を行うことを可能にする。

熱源利用計画時に必要となる帯水層の深度、層厚等の既知情報に加えて、観測井データの解析結果から得られる透水性や粘土含有率等から、安定的に得られる揚水量を正確に把握することで、事業性の評価を容易にするとともに、帯水層の弾性係数や帯水層上下に分布する粘土層の圧縮特性等を把握することで、地下水位や地盤沈下量等、地盤環境への影響予測を可能とする演算手法を構築する。

良好な帯水層は、粒度が粗く、透水性の高い地層であるとともに、このような地層が広範囲に分布していることが望ましい。しかしながら、平野部の河川デルタ堆積物は側方への粒径変化が

激しいことが多く、側方に細粒層が存在する場合に、連続して地下水を汲み上げると時間経過とともに目詰まりが発生する可能性が高い。目詰まりは、汲み上げ水量や汲み上げ熱源井の径と関係があると考えられる。このため、どの数値をどのように組み合わせて判定すれば予測につながるかを検討する。透水性や粘土含有率については、観測井構築時に採取する地盤試料の実測と合わせて、粒度分布等による推定方法を検討する。このような手法の構築は、海外事例なども参考にして取り組む。

(2) 地盤環境・事業性予測評価システムの開発

構築したデータベースや上記評価手法を用いて、熱利用が可能な帯水層の位置情報を地図上に表示、安定的に利用可能な揚水量や得られるエネルギー量、地盤沈下の可能性、さらに導入コストや回収年数等の採算性を試算、表示させる性能予測評価システムを開発する。

既存の予測システムや参考となる他のデータベースについては、調査を行い当該検討地に最適な方法を模索する。

予測評価システムにおいては、熱源井を設置する地点の地盤沈下の潜在的な危険度を検討することと、十分に還水できない場合にどの程度までの還水量で地盤沈下を回避できるかを検討することが必要である。

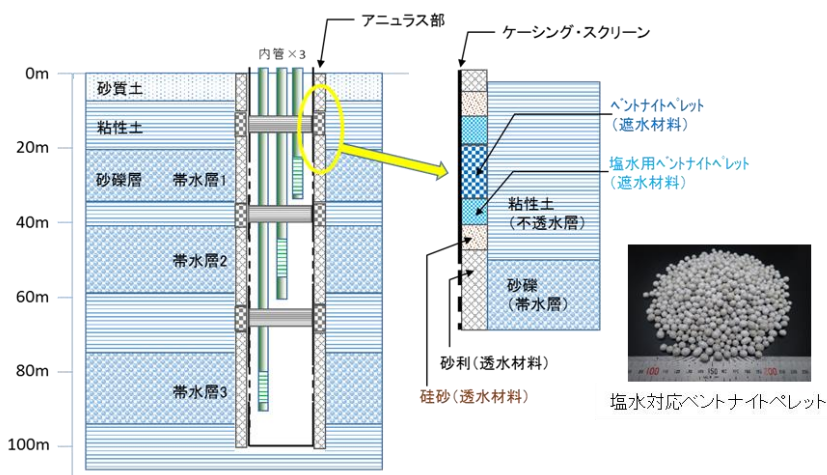


図 II (3.3)-1 研究開発の概要

表 II (3.3)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	目標	目標レベル設定の根拠
①実現可能性調査	本観測井システムが、都市域におけるオープンループ型地中熱利用システムに対して、コストや開発リスク回避等の観点から有効であるかどうかを検討する。	本事業の有効性を確認した上で、観測井システムの構築技術の開発に進む。
②観測井の構築技術開発	熱源井構築の設計に資するデータを取得することで、帯水層の位置を反映した高性能で低コストな熱源井の構築に寄与すると共に、低コストな観測井の構築技術を開発する。	本事業では、熱源井構築時の事前調査のコスト削減のため、高性能な熱源井の設計に資するデータが同時に取得できる観測井構築技術を開発することを目標とした。さらに、観測井自体も、複数の帯水層の水位を1箇所測定することにより、土地利用の高度化に資すると共に、観測井構築コストを低減する技術開発を行う。
③観測井のデータ解析と継続利用可能な帯水層の特性研究	既存の情報を集約するとともに、新たに構築したマルチレイヤー観測井によるデータ解析により、地質・土質特性、地下水	当該地には既存の研究成果が多数あり、これらの情報を集約することで本事業の推進に資する情報を得ることができる。また、マルチレイヤー観測井から新たに取得した情報を追

	に関する情報を統合して、オープンループシステムに利用可能な帯水層の特性を検討する。	加することで、地域の地盤特性（有効な帯水層の分布特性）を網羅的に把握することが可能となる。
④地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発	統合的に管理可能なデータベース、すなわち地下水・地盤情報総合データベースのシステムを開発する。また、大阪市が公表している「帯水層蓄熱情報マップ」の情報を更新し、より現実的な事業性予測が可能なシステムを構築する。	収集した各種情報を統合的に管理するシステムを開発することで、ATESの利用に適した帯水層の分布特性や、地下水の性状を把握することが可能となる。 また、すでに大阪市が公開している「帯水層蓄熱情報マップ」の地盤情報（地層分布や層厚等）を更新し、計算から得られる熱量および掘削コストを高精度化することで、より具体的で現実的な事業性予測が可能となる。

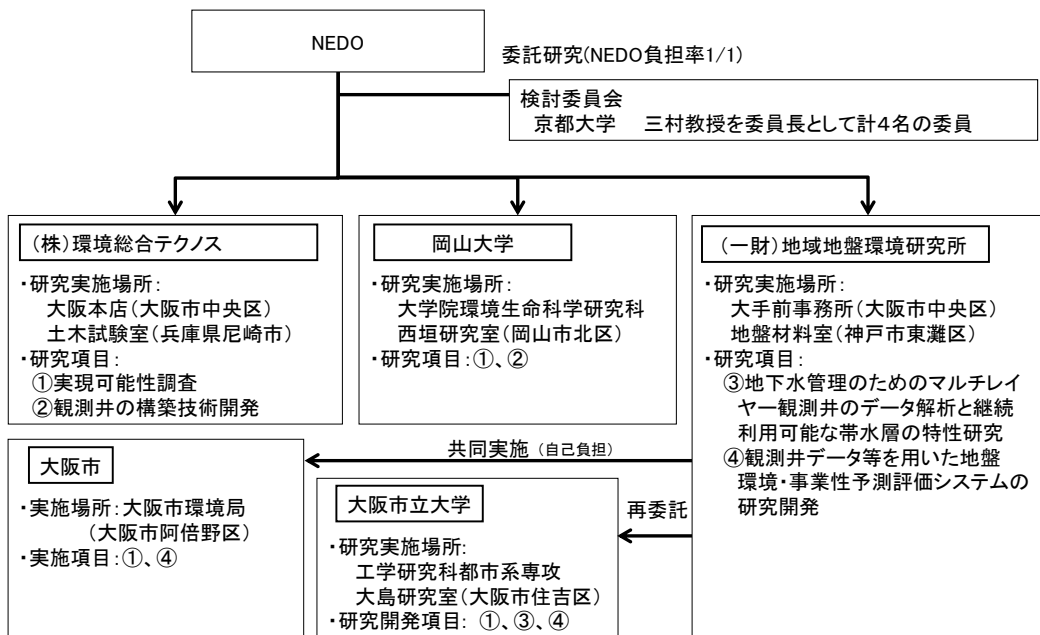
### (3.3.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成28年1月26日より平成31年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(3.3)-2に示す。

表Ⅱ(3.3)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①実現可能性調査				■	■	■	■									
②観測井の構築技術開発				■ サンプルングツール・フローメータ開発				■ 観測井の構築、開発技術評価								
③観測井のデータ解析と継続利用可能な帯水層の特性研究					■ 帯水層の特性研究				■ 観測井データ収集・解析							
④地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発					■ システム設計				■ システム構築							

### (3.3.4) 研究開発の実施体制



### (3.3.5) 研究開発の運営管理

表Ⅱ (3.3) -3 都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発「都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発」検討委員会

一般財団法人地域地盤環境研究所  
株式会社環境総合テクノス  
国立大学法人岡山大学  
大阪市(共同実施先)

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	三村 衛	国立大学法人京都大学 工学研究科都市社会工学専攻 教授
委員	中屋 眞司	国立大学法人信州大学 工学部土木工学科 教授
委員	小林 晃	関西大学 環境都市工学部都市システム工学科 教授
委員	町田 功	国立研究開発法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 主任研究員

所属は、委員会組織時点のもの

## Ⅲ. 研究開発成果について

### (3.3)都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発

#### 【成果概要】

本事業では「地下水の豊富な大阪平野において、熱利用効率の良い帯水層蓄熱型オープンループ地中熱利用システム（ATES）を導入する」という目標に対して、着実に具現化するために必要な「低コスト・高品質な観測井システムの開発」と「地下水・地盤環境の基礎情報の集積」を行った。その結果、今後の課題についてもより具体的に明確化することができた。

つまり、「水が豊富」であることが ATES の適地条件であるとは限らず、蓄熱が可能な「地下水流動が停滞している環境」であることが重要である。また、特に大阪平野など地盤沈下のリスクが懸念される地域においては、地盤沈下に対するリスク評価を慎重に検討しなければならない。仮に、地盤沈下のリスクが低い帯水層の地下水を利用する場合であっても、予測評価の不確実性を考慮して ATES 運用時の地下水・地盤環境の監視が必要である。

本事業において「低コスト・高品質な観測井システム」の構築手法を確立できたことは、今後の ATES の普及拡大に寄与するとともに、地下水観測網の整備の向上にも貢献が期待される。また、従来は複数の被圧帯水層を一括評価されることが多かったが、本事業において帯水層 1、2、3 に賦存する地下水の特徴を個別に、かつ詳細に明らかにした。これらの地下水データは、ATES 導入の際に設計等の基礎情報となるほか、導入後の影響評価の初期値としても大変重要である。また、今後の ATES 導入時のシステム設計や運用時の評価に資する非定常解析手法（地盤沈下量と蓄熱効果を同時に計算できる解析手法）を開発した。更に、ポテンシャルマップの作成と事業性を予測評価するシステムの開発を行い、ATES 導入時の実務的な検討に資する技術や情報を提供することができた。

#### 【項目別成果】

##### (1) 実現可能性調査

開発するマルチレイヤー観測井システムに関して、都市域において地下水を大規模熱源利用するための技術的基盤としての有効性を検討した。

観測井システムは、オープンループ型地中熱利用システムの一部という位置づけではなく、高機能で包括的に地下水環境の観測を可能にして広域の観測・管理を行うことで、地中熱利用を促進させることができる。また、開発する地下水流量測定のプロメータ等を用いることで安定的な地下水利用が可能な帯水層の選定が可能となり、地中熱利用システムを開発する時のリスク回避につながる。

マルチレイヤー観測井システムでは、1孔で多層帯水層を観測できることから、観測井設置場

所の省スペース化が期待でき、地下水の性状に関する情報を集積することで、熱源利用にとどまらず、広範囲な地下水活用のための総合的な地下水環境を管理することで利便性が高まる。

マルチレイヤー観測井のモデルを1孔で3層の帯水層観測が可能な構造とし、従来型はシングル観測井1孔で1層の帯水層観測のため3孔設置するとして、両者の構築コスト、施工日数、施工人数を比較検討した。

マルチレイヤー観測井の構築において、従来型観測井の3孔設置と比較して、条件にもよるが掘削日数で最大限71.7%、掘削時の人工数で最大限66.5%低減する試算となり、従来よりも人員削減や工期短縮による人件費の削減が可能である。一方、構築コストでは、従来と比較して、7.5%低減と試算した。これは、マルチレイヤー観測井では、3層分の帯水層測定ツールを1孔に入れる仕様であるため、観測井全体が大口径となるので大型の掘削機械による拡孔作業費用が高いことや、単価の高い大口径ケーシング・スクリーンを使用すること、井内面の仕上げ施工費用が大きいことが要因となっている。

## (2) 観測井の構築技術開発

サンプリングツールの開発等により、工期の短縮化とコア採取率の大幅な向上が同時に可能となった。また、高塩分濃度の地下水環境でも十分な膨潤性を発現する遮水材料（マルチプラグ）を開発し、一般に使用される遮水材料（バルプラグ）と併用することで、より質の高い観測井を構築することが可能となった。これらの検討を経て、マルチレイヤー観測井システムの低コスト化と構築技術の確立を達成した。さらに、観測井内マルチ検層装置の開発では、ゾンデの小型化・測定項目の多様化・ソフトの改良を行い、マルチレイヤー観測井構築時において連続的に帯水層や地下水の特性を把握することが可能となった。

## (3) 地下水管理のための観測井データ解析と継続利用可能な帯水層の特性研究

まず、特に透水性が高く、持続的な地下水の熱利用に有効であると考えられる砂礫層（有効帯水層）の分布状況を把握した。また、粒度組成から透水係数の概略推定が可能であることを確認した。

一方、Dg1～Dg3層の地下水位・水質・水温のモニタリング調査を実施した。水質分析の結果から、いずれの帯水層の地下水も季節変動はほとんどなく、還元的な水質組成を示した。特に、Dg2層の地下水では溶存鉄濃度が高く、水酸化鉄の沈殿によるストレナーの目詰まりを防止するためには、還元的な環境が保持されるシステムであることが必要である。また、各帯水層の地下水の水質組成は有意に異なることから、揚水した地下水は、確実に元の帯水層へ還水すべきである。地下水位のモニタリング調査結果からは、調査地域全体としてATES運用に適した、停滞的な地下水環境であることが示唆された。地下水温は、上町台地近傍を除く西大阪平野の観測井では、GL-10m以深の水温は年間を通じてほぼ18℃程度で安定していた。さらに、これらの取得データを登録（入力）し、地盤情報と地下水情報を同時に閲覧できるデータベースを構築した。

## (4) 地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発

地下水流動シミュレーションを実施し、ATES導入時のシステム設計や運用時の評価に資する解析手法を構築した。まず、大阪堆積盆地全体に対して、基盤岩と堆積層を4層に大きく区分した広域地盤モデルを作成し、広域的な流動シミュレーションを実施して大局的な地下水の流れを捉え、詳細解析に必要なパラメータを決定した。次に、大阪市域に対して、詳細な地層区分を行った局所地盤モデルを構築し、ATESシステムの導入・運用を想定した非定常解析（特に、揚水・還水による熱の移流・拡散状況の推定）を実施した。その結果、帯水層厚が薄い場合には蓄熱塊が水平方向に広がり、熱干渉を起こす可能性が示唆された。さらに、局所地盤モデルから得られた各帯水層の層厚分布と、概算利用可能熱量（賦存量）を250mメッシュ毎に算出した。また、1kWあたりの導入コストをシステム導入単価として設定することで、事前に事業性を予測評価するシステムの開発を行った。なお、地盤沈下リスク回避の観点からDg1層はATES利用には適さないため、Dg1層とDg2層が不透水層で遮水されている地域を明確化した。

表Ⅲ(3.3)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H29FY	0件	0件	0件	3件	0件	4件	0件	0件
H30FY	0件	0件	0件	5件	0件	2件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(3.3)-2 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	最終目標[2018年度]	成果	達成度
① 実現可能性調査	本観測井システムが、都市域におけるオープンループ型地中熱利用システムに対して、コストや開発リスク回避等の観点から有効であるかどうかを検討する。	既存の地盤情報から、大阪市内の中心部（大阪駅～中之島周辺）における帯水層の連続性を把握した。また、オープンループシステムの継続的な利用に必要な地盤や地下水の特徴を抽出し、当該地域での有効性を確認した。また、観測井構築の技術開発により、トータルコストが低減できることを確認した。	○
② 観測井の掘削工法、観測井の構造明確化	熱源井構築の設計に資するデータを取得することで、帯水層の位置を反映した高性能で低コストな熱源井の構築に寄与すると共に、低コストな観測井の構築技術を開発する	ロータリーバイブレーション工法のサンプリングツールを開発して、迅速かつコア採取率の高い掘削が可能となった。また、観測井内流速装置（フローメータ）を開発し、連続的に透水性を把握することが可能となり、高性能な熱源井設計のデータを提供した。また、複数の帯水層の水位等を1箇所測定できるマルチレイヤー観測井の構築技術を確立し、設置費を25%削減することができた。	○
③ 地下水管理のためのマルチレイヤー観測井のデータ解析と継続利用可能な帯水層の特性研究	既存の情報を集約するとともに、新たに構築したマルチレイヤー観測井によるデータ解析により、地質・土質特性、地下水に関する情報を統合して、オープンループシステムに利用可能な帯水層の特性を検討する。	持続的な地下水の熱利用に有効であると考えられる砂礫層（礫分が50%以上かつ細粒分15%未満：有効帯水層と呼称）の層厚分布を抽出した。さらに、水質・水温・水位の継続的なモニタリング調査を実施し、熱源井設計に資する情報を得るとともに、地下水流動シミュレーションの基礎データを蓄積した。 さらに地盤情報と地下水情報を同時に閲覧できるデータベースを構築し、地下水観測位置、地下水位の経年的変化、地下水の水質（ヘキサダイアグラム）、粒度による透水係数推定値等を整理した。これらの情報は図面上の観測位置を選択することで閲覧を可能とした。	○

<p>④ 観測井データ等を用いた地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発</p>	<p>統合的に管理可能なデータベース、すなわち地下水・地盤情報総合データベースのシステムを開発する。また、大阪市が公表している「帯水層蓄熱情報マップ」の情報を更新し、より現実的な事業性予測が可能なシステムを構築する。</p>	<p>評価手法の構築では、各帯水層の層厚分布図を作成しさらに原位置試験データと粒度組成の値から、透水係数の概略推定を可能とした。次に ATES システムの導入・運用を想定した非定常解析（特に、揚水・還水による熱の移流・拡散状況を推定するための解析）のプログラムを構築し、流動予測シミュレーションシステムを完成させた。</p> <p>また、各帯水層の層厚分布と概算利用可能量（賦存量）を 250mメッシュ毎に表示するポテンシャルマップを作成すると共に、各地域での掘削および井戸構築までのコストを作成する際のコスト計算が可能な地盤環境・事業性予測評価システムを完成させた。システムでは、導入を検討する地域のメッシュにカーソルを合わせてクリックすることで、ATES 利用可能な帯水層の下端までの深度や層厚、掘削コストなどが表示される利便性の高いものである。</p>	<p>○</p>
-------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

##### ① 実現可能性の見通し

ATES システムの今後の普及拡大のためには、地盤沈下やその他の地下水環境に及ぼす影響について十分検討した上で、これまでの揚水規制を基本とした地下水管理から一転し、揚水規制の緩和を前提として地下水の直接利用を推進できるような制度が必要である。大阪市では、大阪駅北側エリア（うめきた2期暫定利用区域内）において実施された ATES システムの実証試験の結果（大阪市、2018）をもとに、現行の用水二法の下では実現できない ATES システムの普及促進ができるよう、内閣府に対して特例措置の提案がなされた（2018年8月）。今後も引き続き国との協議を継続し、できるだけ早く ATES システムの導入が可能な制度を整備できるよう努める。

また、ATES システム導入に際しては、周辺地盤への影響を継続的に評価することが必要である。そのため、本事業で構築したマルチレイヤー観測井は、本事業終了後は大阪市に譲渡し、地下水観測を継続的に実施する。

##### ② 観測井の掘削工法、観測井の構造明確化に向けた取り組み

本事業で構築したマルチレイヤー観測井に対して、経年劣化等の課題や改良点などについても経時的に評価し、今後の設計・施工に反映する。大阪市とは今後とも情報を密にし、マルチレイヤー観測井の普及拡大に努める。

##### ③ 継続利用可能な帯水層の特性研究についての情報公開

本事業で得た地下水情報を広く一般に公開するため、地下水情報閲覧システムを構築した。出来上がったシステムは、関西圏地盤情報ネットワーク（KG-NET）が公開している「関西圏地盤情報ライブラリー」に取り込んで一般公開を行う予定である。今後、本事業以外の地下水データについても順次公開を進める場合には、データ所有機関（例えば、国交省や各自治体）に対して、情報公開についての手続きを継続的に行う。また、新しく得られた情報の取り込みや更新が必要であるため、その体制やしくみを整備する。

##### ④ 地盤環境・事業性予測評価システムについての取り組み

本事業で構築した「各帯水層の分布状況」「概算利用可能熱量」「システム導入単価の情報」を基に、大阪市が公表している「帯水層蓄熱情報マップ」を更新し、広く一般に公開する。この「帯水層蓄熱情報マップ」は、ホームページ上での操作によって任意の地域（250mメッシュごと）の情報

が表示されるといったような、利用者にとって操作性や利便性の高いシステムとする。

また、ATES システムの導入・運用を想定した非定常解析手法について、地盤モデルや解析条件を高精度化するなどの改良を加え、熱の移流拡散の状況や地盤沈下量をより高精度に予測できる手法の確立を目指す。



## 個別テーマ(4.1)

### (4.1) 温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発

委託先: 株式会社総合設備コンサルタント  
公立大学法人大阪市立大学

## II. 研究開発マネジメントについて

### (4.1.1) 背景と目的

温泉は、都市部から離れた山間部や海岸部など自然が多い地域に存在することが多く、息抜きや旅行として訪れることが多い。そのため、地球温暖化やヒートアイランド、省エネといった観点では都市部ほど焦点はあたらないが、使用されている温熱量は非常に大きい。

温度差エネルギーとしての温泉熱を給湯や暖房などの熱源に利用するには、熱交換器と水熱源ヒートポンプ(以下 HP と省す)を用いる利用が可能である。または、温泉の排湯から熱回収し、同じく水熱源 HP の熱源として利用するシステムも存在する。

しかし、この比較的容易なシステムと思われる温泉熱利用は普及が進んでいないのが現実である。この理由としては、技術的には、温泉の成分が源泉ごとに異なるため、特に、それぞれの源泉に応じて熱交換器の腐食や湯の花等のスケール付着防止の対策を施す必要があり、システムの一般化が困難であることがあげられる。また、メンテナンス回数の増加による運用コストの増加という点も普及が進んでいない理由としてあげられる。

また、温泉熱利用システムを考える際、宿泊施設単体での温泉熱利用または、浴場からの排湯利用による熱回収を行うだけの個別建物システムよりも、高温源泉がある一定の地域に点在する温泉街としての特徴を活かし、面的な温泉熱利用による熱供給システムも考えられる。しかし、このような熱供給システムは、広域での大規模な省エネ・省 CO<sub>2</sub> は図れるが、温水を供給することと、集中管理を行うが故に、保温工事を含めた配管の敷設コストが高価になってしまう点が課題である。また、高温源泉の温泉でしか温泉熱は利用できない点も課題であり、温泉施設側としては、降雪量など気象条件により、温泉の湧出量と温度が毎年季節ごとに変化することがあるため、枯渇が懸念される。

そこで、本事業においては、これらの課題を解決するための温泉熱と温泉排湯のハイブリッド方式での地域熱源水ネットワークシステムの開発を行い、従来の温泉熱利用による熱融通システムに対して、図 II (4.1)-1 に示す、温泉熱と温泉排湯のハイブリッド方式での地域熱源水ネットワークシステムを開発し、10%以上の導入コスト低減を実現させることを目的とする。

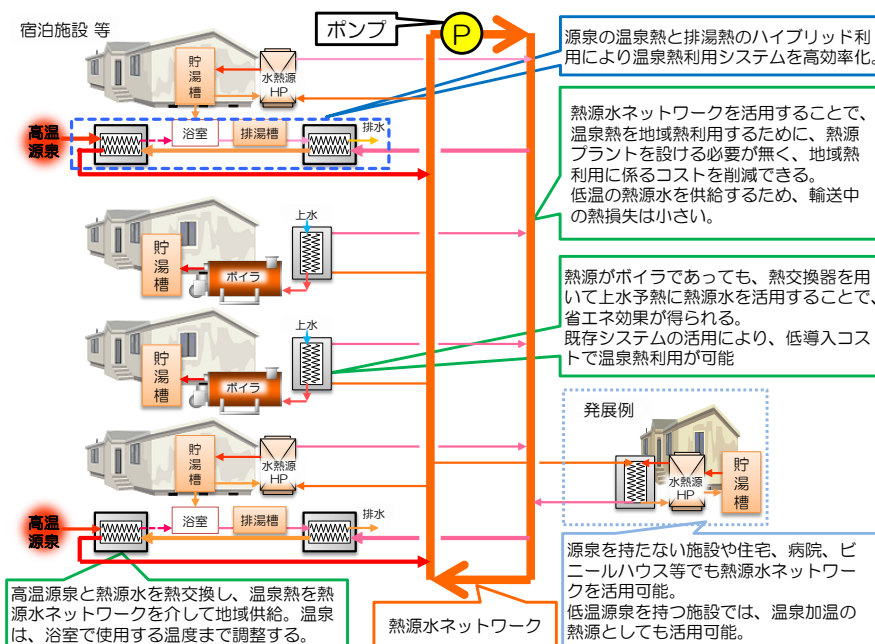


図 II (4.1)-1 温泉熱と排湯熱によるハイブリッド熱源水ネットワークシステム

#### (4.1.2)研究開発の概要

本研究開発では、温泉大国である我が国に適した温泉熱の面的な有効利用を実現し普及させるため、温泉熱利用に適した、ハイブリッド熱源水ネットワークシステム及び流下液膜式熱交換器の開発と、熱源水を循環させるための、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムに適した保温性能を持つ低コストな配管の規格化を目指す。また、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムのシステム評価を行い、実現可能性調査を実施する。調査の結果から、開発する熱交換器や配管を用いて実フィールドでの実証試験を行う。

研究開発項目としては、調査、個別技術の開発、実フィールドでの実証試験、システム評価に分類し、開発メンバーの相互協力により各研究開発を進める。

温泉熱利用に適した熱交換器等の低コスト化、規格化を可能にする要素及びシステム技術を研究開発し、従来システムと比較して、温泉熱を地域利用するためのトータルシステムの導入コスト低減を可能とする以下の技術開発を行う。

本テーマは以下の実現可能性調査と、①～④までの開発を実施し目標の達成を目指した。

##### 実現可能性調査

温泉熱及び他熱源利用も含めた熱源水ネットワークシステムの事業採算性を見極めるための実現可能性調査を行い、ハイブリッド熱源水ネットワークの実用システム導入によるユーザーのコストメリットを従来採用される集中プラント型のシステムと比較検討し、最適な実用化システムと実証装置の規模及びその前提条件、運用条件を明確にする。また、システム各構成要素の目標コスト、技術課題を整理して実用システムとして採算が取れる価格の見通しを平成27年1月末日までに提示する。

##### ①流下液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発（担当：(株)総合設備コンサルタント、大阪市立大学、再委託 (株)メタル・テクノ、東山工業(株)、大日本プラスチック(株)）

均一な流下液膜の形成が可能な構造の流下液膜式熱交換器を開発し、熱交換効率を向上させ、低コストの流下液膜式熱交換器の製造方法を確立する。

温泉熱利用によく使われる熱交換器は、泉質の成分を考へチタン製のプレート熱交換器が多い。しかし、源泉温度の低下に伴い、源泉の不溶成分がプレート熱交換器内部に析出・堆積してしまい性能低下を起し、頻繁な洗浄が必要となる。そのため、性能維持管理費がかかり、運用コスト高となる。また、伝熱性能の高いプレート式熱交換器は一般に圧力損失が大きく、温泉熱利用を行う場合、湯の花による目詰まりによりさらに圧力損失は大きくなる。それに伴い、搬送動力も大きくなる。

これら課題を解決するために、本提案での温泉熱利用には、流下液膜式熱交換器を開発する。

流下液膜式熱交換器では、他の熱交換器と比較して少流量で熱交換を行うことができるように、伝熱管内に熱媒体を流し、伝熱管外表面に潜熱交換流体(温泉)を液膜状に流下させる。また、プレート式熱交換器の様な目詰まりによる圧力損失を抑制させ、かつ、自浄作用機能を持たせるため、伝熱管表面を自然流下させる。

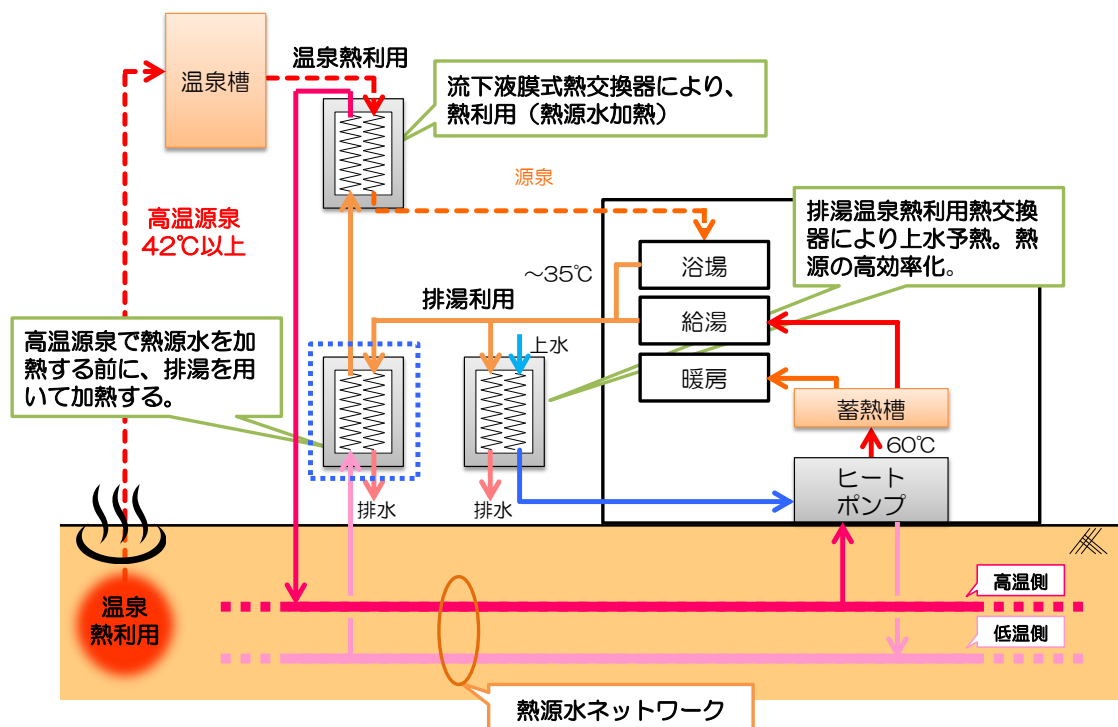
##### ②高効率化のための浴室排湯からの上水予熱用熱交換器の開発（担当：大阪市立大学、(株)総合設備コンサルタント、再委託 (株)メタル・テクノ、東山工業(株)）

温泉は季節によって温度が変動し、年間の降雪量や降雨量に影響を受けて源泉の量が変動する。そのため、温泉熱利用を最大限に行いシステム全体の安定性、安全性の確保のため、温泉を浴室で使用した後の排湯を活用した、熱源水ネットワークの高効率化技術を開発する。

図Ⅱ(4.1)-2の様に、高温源泉を用いた熱源水の加温の前に排湯による熱源水の加温で、システム全体の効率を向上させる。排湯による熱源水の加温では、流下液膜式熱交換器を適用する。

また、温泉排湯と浴場へ供給される給湯の排水系統が別となっている場合、排湯の温泉熱を活用してヒートポンプで使用する上水を加熱することで、ヒートポンプにおける加熱量を削減する。上水予熱システムとしては、排湯温泉熱の浴室床に熱交換器を設置することができる熱交換器を開発し、熱回収を行う。浴室の下部に熱交換層を設け、浴室の下部空間にて熱交換を行い、

熱損失を小さくする。また、熱交換面を洗浄する機構を設け、さらに浴室のフロア床を開放することにより容易に清掃が可能で熱交換性能の維持を行う。



図Ⅱ(4.1)-2 流下液膜式熱交換器の構成イメージ図

- ③低コストの保温性のある配管と継手の開発 (担当：(株)総合設備コンサルタント、再委託 大日本プラスチック(株)、東山工業(株))

樹脂配管等を用い、保温性のある配管及び配管同士の継手部材を低コストで開発する。

一般的な集中プラントからの温水供給システムにおいては、供給温度が高く熱損失が大きいため、高価であっても高い断熱性能を有する配管が必要である。しかし、本事業で開発の熱源水ネットワークシステムでは、熱源水の温度は上記集中プラント型の温水に比べて高温ではなく、熱需要先までの熱損失は小さい。熱源水ネットワーク配管が長距離であっても、温泉熱と排湯を利用することにより、各宿泊施設が熱供給施設として存在し、温度レベルの回復が可能であり、高断熱性の配管とする必要はない。そのため、低コストである程度の保温性がある配管を開発する。

- ④実フィールドにおける温泉熱利用システムの導入効果の実証試験 (担当：(株)総合設備コンサルタント、大阪市立大学)

開発する熱源水ネットワーク用配管を用いて、分散している熱源を繋ぎ、低コストで構築可能なハイブリッド熱源水ネットワークシステムを開発し、その実証試験を行う。

個別技術の規格化と低コスト化を行い、それらの技術を組み合わせた地域熱源水ネットワークシステムにより、トータルシステムのコストダウンを図り、単純な一元管理による温泉熱利用の熱供給システムに対し、10%の導入コストの低減を目指す。

表Ⅱ(4.1)-1 研究開発目標と根拠

開発項目	開発目標	目標レベル設定の根拠
①流下液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発	流下液膜式熱交換器を1パターン以上試作する 温泉熱利用に適した流下液膜式熱交換器を開発し、実証試験により、コスト3万円/kW以下を達成する。	開発着手時は10万円/kWであったため、既存の熱交換器(プレート式熱交換器など)と競争可能なように、半額以下の設定とした。
②高効率化のための浴室排湯からの上水予熱用熱交換器の開発	上水予熱用交換器の小型試作器の仕様を3パターン以上検討し、1パターン以上試作する 実証試験により、①実現可能性調査により明らかにした目標コスト(1万円/kW以下)を達成する。	排湯温度が高い浴場内にて高効率、コンパクト、低価格である必要があるため、提案システム全体(システムを構成する設備機器、工事費の合算費用)として10%低減となる価格設定を行った。
③低コストの保温性のある配管と継手の開発	空気層を設けた熱源水ネットワーク配管及び熱源水ネットワーク用配管継手を各2パターン以上試作する。 実証試験により、空気層を設けた熱源水ネットワーク配管及び熱源水ネットワーク用配管継手のコストが合わせて5万円/m以下を達成する。	提案システムでは、汎用品である断熱被覆配管(10万円以上/m)のような高性能な断熱性は求められないため、熱損失が多少あっても低価格となる設定とした。
④実フィールドにおける温泉熱利用システムの導入効果の実証試験	実証試験により、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムが、従来の集中型の熱供給システムに比べて、導入コスト10%低減を達成する。	検討結果を実証試験により確認するため。

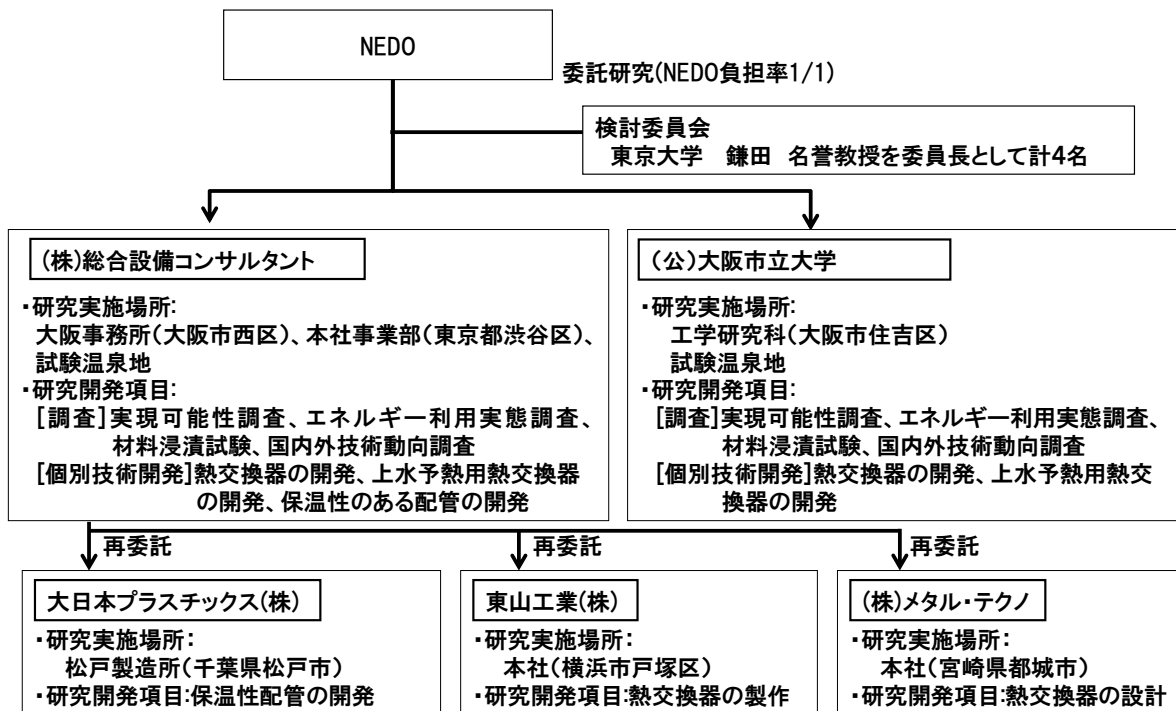
(4.1.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成26年7月24日より平成31年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(4.1)-2に示す。

表Ⅱ(4.1)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
実現可能性調査	→ 実現可能性調査				→ エネルギー利用実態調査															
①液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発	→ 小型モデルの製作・低コスト化検討 熱交換器配管継ぎ手の検討				→ 熱交換器の製作・試験 低コスト化検討				→ 改良・低テスト化検討											
②高効率化のための浴室排湯からの上水予熱用熱交換器の開発	→ 仕様検討				→ 試作・試験				→ 試験・改良設計				→ 実証試験設備での性能試験、価格設定の検討							
③保温性のある低コスト配管の開発とその接続継手の開発	→ 材料調査 配管・継手の構案検討				→ 試作・ラボ評価 施行性の検討				→ 断熱性能の確認試験				→ 実証試験設備での性能試験、価格設定の検討							
④実フィールドの実証試験	→ 設備システム調査												→ 実証試験設備の構築				→ 実証試験			

(4.1.4)研究開発の実施体制



(4.1.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ (4.1) -3 温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発  
「温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発」検討委員会

委託先：株式会社総合設備コンサルタント  
公立大学法人大阪市立大学

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員	鎌田 元康	国立大学法人東京大学 名誉教授
委員	水野 稔	国立大学法人大阪大学 名誉教授
委員	赤井 仁志	国立大学法人北海道大学 工学部環境社会工学科 客員教授
委員 (平成 26 年度)	中尾 正喜	大阪市立大学大学院工学研究科 特命教授
委員 (平成 27、28 年度)	南島 正範	一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 蓄熱技術部長
委員 (平成 27、28 年度)	西村 英樹	一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 蓄熱技術部長

所属は、委員会組織時点のもの

Ⅲ. 研究開発成果について

(4.1) 温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発

本事業では以下4項目の研究開発を行い、実フィールドでの実証試験にて取得した基礎データを用いて、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの実規模における導入効果検証のためのシミュレーションモデルの精度確認を行った。

精度確認を行ったモデルを用いて、実在する温泉街をモデルとして、実規模モデルのハイブリッド熱源水ネットワークシステムと比較対象の集中型の熱供給システムの導入コスト比較を行った結



果、集中型の熱供給システムに比べて導入コスト約13%低減となる結果となった。また、個別給湯システムに対しての投資回収試算の結果、補助金の適用を見込むと、ベースモデルでの投資回収年数は約11年となった。

【項目別成果】

①流下液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発

小規模性能把握試験において、流下液膜式熱交換器の長期試験を行った結果、試験開始後すぐにスケールの付着が確認されたが、試験開始後7週目には自浄作用により熱交換器表面に付着していたスケールの減少が確認され、その後、再度スケール付着が確認された。熱交換性能に関しては、試験終了時の11週間後まで、洗浄なしで約1.0kW/m<sup>2</sup>Kの熱通過率を保持することが確認できた。

また、実証試験装置にて、プレス成型によるプレートコイルを用いた流下膜式熱交換器の温泉熱交換試験を行った結果、熱交換器1基あたりの交換熱量が約152kWになることが確認された。また、ケース部分除いた熱交換器単価が2.5万円/kWであることから、当該研究開発における平成30年度目標である、3万円/kW以下であること実証試験により示すことができた。

②高効率化のための浴室排湯からの上水予熱用熱交換器の開発

浴場の側溝や排水系統への設置を想定した排湯用熱交換器について5種類の熱交換器を検討し、2種類を試作して源泉を用いた実験を実施した。試作機のひとつの平板型プレートコイル式熱交換器は、交換熱量は約7.6kW、価格（試作費、施工費含む）約7万円のため、熱交換器単価は目標価格である1万円/kW以下となることを確認した。

③低コストの保温性のある配管と継手の開発

ハイブリッド熱源水ネットワークシステムでは、中低温の熱源水を循環させるため、ある程度の保温性が有り、低コストな配管であることが重要であり、施工費までを考慮した低価格化を検討した。特注品から射出成形品とすることで、コストは目標である5万円/m以下の4.6万円/mとなり保温性としては、実験で得られた結果から10%未満となることを確認した。また、基幹ネットワーク配管は配管方式、搬送熱量によって配管径が決定されるが、市場調査をした結果、Φ200以下は汎用品でも対応可能であることがわかった。

④実フィールドにおける温泉熱利用システムの導入効果の実証試験

実フィールドでの実証試験として、別府市の公衆温泉施設敷地内に、縮小規模の実証試験装置を構築し実施した。想定する2つの温泉宿を基幹ネットワークで接続した構成の実証試験装置にて、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの実環境下における基幹ネットワークによる施設間の熱授受および設備等の挙動確認、制御動作の挙動を確認することができた。また、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの実規模における導入効果検証のためのシミュレーション精度の確認に用いる基礎データの取得を行った。

さらに、設備類への温泉成分の影響として、実証試験装置撤去後に、配管切断などにより観察を行った。源泉は流し続けていけばスケールの付着は少ないが、停止するとポンプの固着や配管変色等の影響が見受けられた。排湯系には、金属配管等に激しい腐食が見られ、洗浄メンテナンスの必要性を確認した。

表Ⅲ(4.1)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	4件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件
H29FY	0件	0件	0件	0件	0件	2件	0件	0件
H30FY	0件	0件	0件	1件	0件	2件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[成果の最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(4.1)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
①流下液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>流下液膜式熱交換器を1パターン以上試作する。</li> <li>温泉熱利用に適した流下液膜式熱交換器を開発し、実証試験により、コスト3万円/kW以下を達成する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2パターンの熱交換器を試作し、温泉下での試験を行った。</li> <li>実証試験により確認した性能で約2.5万円/kWとなることを確認した。</li> </ul>	○
②高効率化のための浴室排湯からの上水予熱用熱交換器の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>上水予熱熱交換器の小型試作器の仕様を3パターン以上検討し、1パターン以上試作する。</li> <li>実証試験により、①実現可能性調査により明らかにした目標コスト(1万円/kW以下)を達成する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型熱交換器5種類の仕様検討(形状、熱交換性能)を行い、2種類の実規模熱交換器を試作した。</li> <li>実証試験により確認した性能で約0.9万円/kWとなることを確認した。</li> </ul>	○
③低コストの保温性のある配管と継手の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気層を設けた熱源水ネットワーク配管及び熱源水ネットワーク用配管継手を各2パターン以上試作する。</li> <li>実証試験により、空気層を設けた熱源水ネットワーク配管及び熱源水ネットワーク用配管継手のコストが合わせて5万円/m以下を達成する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾燥土壌条件と含水率が高い土壌条件を想定した、2種類の管路と縮小サイズの継手を試作した。</li> <li>試作品によるラボサイズ試験とシミュレーションにより保温性能を確認した。また、その際のコスト検討を行い、配管継手を射出成型品とすることで目標価格を達成する見通しを確認した</li> </ul>	○
④実フィールドにおける温泉熱利用システムの導入効果の実証試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験により、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムが、従来の集中型の熱供給システムに比べて、導入コスト10%低減を達成する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験結果により精度検証を行ったシステムモデルを用いたシステム評価により、提案システムが比較システムである集中型の熱供給システムに比べ、導入コスト10%低減することを確認した</li> </ul>	○

#### IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発において、ソフト面では温泉街に向けて温泉熱利用の認知度向上や市場拡大など、下地作りをしつつ、温泉街としての面的な利用ができる提案システムでの適用先を探す。また、ハード面では、提案した熱源水ネットワークシステムが、実証試験にて、実環境で動作することを確認しているため、温泉事業者等へ営業活動を実施し、システム導入を目指すとともに、事業化検討を行い、事業化されればシステムの設計へ進むことができる。

流下液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発においては、実証試験にて熱交換性能と目標価格の達成を確認している。さらに、コンパクト化、低価格化の見通しが立ったため、メーカーと業務提携し、営業、販売体制やアフターフォロー等の体制について協議を重ねている。

なお、熱源水ネットワークシステムにおける熱売買等を含めたシステムの概念と流下液膜式熱交換器については、特許申請の準備中である。





## 個別テーマ(4.2)

### (4.2)都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発

委託先:株式会社雪屋媚山商店  
株式会社共同通信デジタル  
NHN テコラス株式会社

## II. 研究開発マネジメントについて

### (4.2.1)背景と目的

地中熱、太陽熱、雪氷熱等の再生可能エネルギー熱利用においては導入コストや運用コストが高いことが課題として挙げられる。本事業では、そこで、雪氷熱利用技術開発でコストダウンを促し、雪氷熱利用の普及拡大に貢献することを目的とする。

北海道を初めとする積雪寒冷地では、多額の税金を投じて道路除排雪事業を行っており、都市部では、人口一人当たり1万円以上の除排雪費用を投じている。年々堆積場の確保も困難になり、排雪運搬コストは上昇傾向で、排雪堆積場へ排雪を運搬した後は、雪はそのまま放置して融解させており、再生可能エネルギーである雪の冷熱エネルギーが全て無駄になっている。ただ運んで解かしてしまう現状の仕組みは、エネルギー的に“もったいない”状況である。

このもったいない雪堆積場の汚れた除排雪を使用可能にする高効率な雪氷熱交換技術や集雪・貯雪方法の最適化による雪冷房システムの研究開発を行い、システムの導入コスト及び運用コストを大幅に低減する。本事業では雪冷房システムの適用先として、必ずしも都市中心部に存在する必要がなく、冷熱需要が大きなデータセンターに対して都市排雪を用いて冷房する。また、この冷熱とデータセンターから排出される未利用の廃熱を有効活用し、熱利用トータルシステムを構築する。

美唄市、株式会社雪屋媚山商店を中心とする美唄自然エネルギー研究会によるホワイトデータセンター構想では、市の道路除排雪を受け入れ、不足分は周辺から雪を購入するなどして調達する。雪山を擁する熱供給事業として、データセンターや周辺施設に、安価に熱を売却し、また、データセンターなどから排出される廃熱を買い取り、需要施設に再分配販売する。雪冷熱と産業廃熱を核とした熱の相互利用による産業クラスター形成を目指す。美唄は、世界で初めて市民が持ち込んだ雪を購入する事業が開始され、世界でもっとも除雪の行き通った冬でも快適な街を目指す。これを「美唄モデル」とし、全国の積雪寒冷地に普及していく。

### (4.2.2)研究開発の概要

現状利活用する事が極めて困難な都市部の除排雪を集雪して構築した雪山を活用可能な雪冷房システム技術を開発し、雪を選別して新たに集雪・築山する従来方式に比べ、設置・運用コストを30%削減する。一般的なデータセンターへの設置を前提とした場合においては、暖房機能の開発により、雪を選別して新たに集雪・築山する従来方式に比べ、トータルシステムの設置・運用コストで50%削減することを目標とする。

また、雪冷熱・産業廃熱を利用した作物栽培システムや陸上養殖システム等の検討を通じ、都市除排雪を利用した相互供給型事業モデルの実現性を評価し、トータルコストで30%以上削減して、事業化の目処を立てる。

#### ①都市部の除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法及び集熱設備の開発

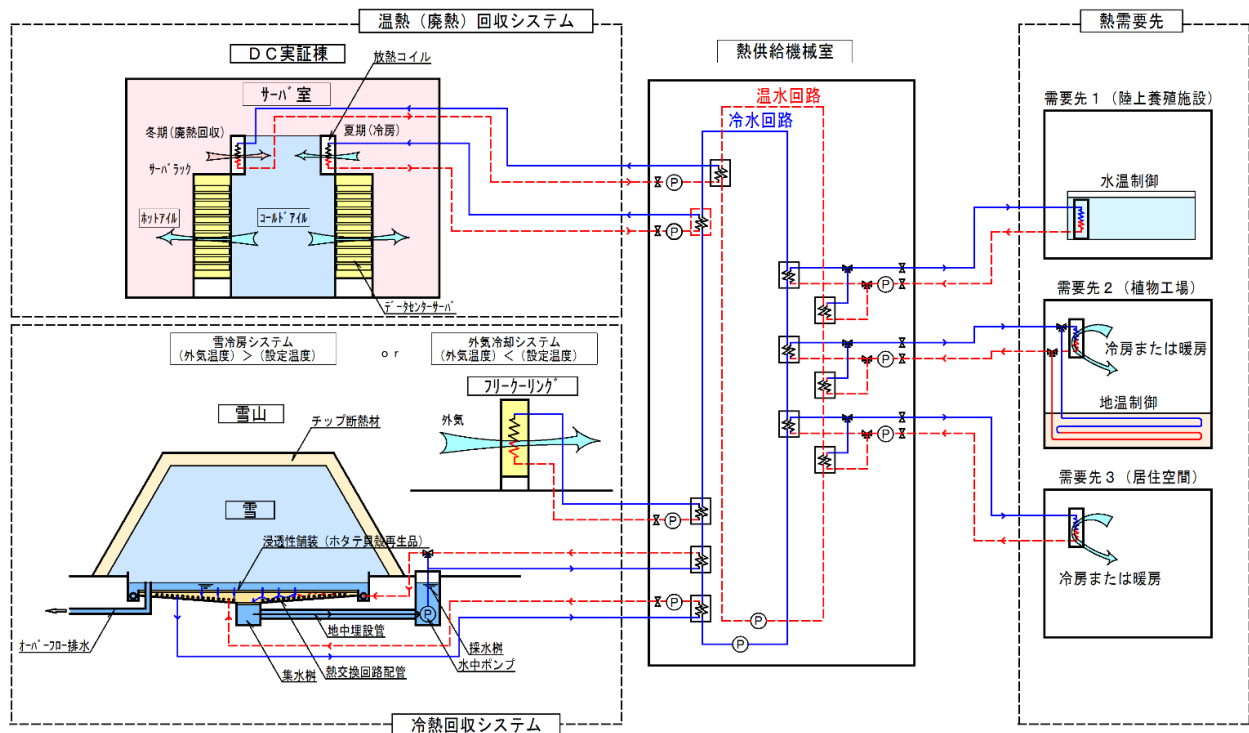
都市部の道路などから集めた除排雪は、非常に汚れており、従来の集熱設備では使用が困難である。この汚れた雪を使用可能な集熱の方法を検討し、小規模実験を通じて可能性を確認する。技術的可能性が充分見込める事を前提に、本技術を集熱部に活用した雪冷房システムの実証試験を行う。(実施体制:株式会社雪屋媚山商店)

#### ②フリークーリングを併用したハイブリッド雪冷房システムの設計

本事業で開発する熱利用システムを図II(4.2)-1に示す。設置候補地の特徴である冷涼な気候を活用したフリークーリングを併用して、通年で冷房が必要なデータセンターにおける冷房需要量と対応熱源の年間稼働スケジュールを想定して最適なシステムを設計する。

本研究開発項目は、図II(4.2)-1中、「冷熱回収システム」の部分にあたる。冷房利用する雪量

を極力減らし、雪山の大きさを小さくすることで建設コストの削減を目指す。外気温度が低い時（春秋期および春夏の夜間など）は外気により循環水を冷却するフリークーリングシステムを用い、雪冷房とフリークーリングの併用による冷房（ハイブリッド）を開発する。未利用エネルギー（外気熱利用）等の併用による高効率化を図り、通年で冷房が必要なデータセンターにおける冷房熱源と対応熱源の年間稼働スケジュールを想定し、適切なシステムを設計する。数値目標として、雪量を70%削減（年間を通じて全て雪冷房により冷却した場合と、使用する雪の重量で比較）し、その削減コストの範囲内でフリークーリングの建設コストを補填した上で、トータルとして10%のコスト削減を行う。（実施体制：株式会社雪屋媚山商店、共同通信デジタル、NHNテコラス株式会社）



図Ⅱ(4.2)-1 雪冷房と産業廃熱による熱供給システム

③サーバ廃熱を活用して冬期の居室暖房需要に対応するハイブリッド雪冷房システム暖房システムの併用方法の設計

本研究開発項目は、図Ⅱ(4.2)-1中、「温熱（廃熱）回収システム」の部分のデータセンターサーバ上部に設置される放熱コイルを中心とした設備機器の開発である。

冷涼地に立地したデータセンターの居室における冬期の暖房需要に対応するため、②で設計した、ハイブリッド雪冷房システムの放熱器を温熱集熱器として活用した冷暖房システムの設計を行い、その運転の柔軟性（サーバ室の冷房需要と居室の暖房需要量の変化への対応柔軟性）や経済性を試算する。サーバ排気は、35℃を目標に制御し、低コストにおいて、できるだけ温度の高い(35℃に近い)廃熱回収を行うための研究開発を行う。廃熱回収のシステムを別途構築する場合と比較して、10%のコスト削減を目標とする。（実施体制：株式会社雪屋媚山商店）

④データセンターにおけるフリークーリング併用雪冷房システムの運用技術の検討

フリークーリング併用雪冷房システムをデータセンターに適用する際、24時間365日稼働し続けるサーバに対して、温度分布の偏りを解消した最適な温度・湿度・風量コントロールの検討等を通じて空調仕様や運用方法を検討する。平成26年度末までに可能性評価を示し、その有効性を立証し、サーバ室内側の空調仕様・運用設計を行い実証実験を実施する。（実施体制：共同通信デジタル、NHNテコラス株式会社）

⑤コスト削減見込み量の試算

上記①、②、③のシステム設計結果を元に目標の達成可能性を試算し、民間企業における経済

的導入可能性についてとりまとめ、その経済的優位性を立証し、実証システムの設計・製作、実証実験の実施に移行する。また、従来型雪冷房のトータルコスト（雪山を併設した雪冷房導入施設の雪冷房部分のインシヤルコストと15年間のランニングコストの計）に対し、25%の削減を目標とする。その後、更なる改良、改善を検討し、最終目標としてトータルコストに対し、30%の削減とする。（実施体制：株式会社雪屋媚山商店）

⑥雪冷熱・産業廃熱を利用した相互供給型事業モデルの検討

データセンターから回収したサーバ廃熱と雪氷熱を利用した作物栽培システムや陸上養殖システム、雪風による低温乾燥システムの実用化可能性検討を行い、それぞれのシステムでのエネルギー削減効果を定量的に算出し、設置・運用コスト10%削減の可能性をとりまとめ、その目標達成見込みを立証する。

次に実証設備を導入し、ハウス内に実際に農作物の定植および海産物を養殖して、夏場の雪冷房の利用実験、冬場のDC廃熱利用実験を行い、システムの安定稼働を確認する。さらにシステムの性能評価として、冬期の急激な外気温変化による追従性確認、負荷変更による許容温度値の検証を行う。また、日射・放射を含めたシステム全体の熱収支を把握し、それらの結果を踏まえたシステムの期間負荷、最大負荷を確認し、上記で示したそれぞれのシステムでの設置・運用コスト10%削減を実証する。

（実施体制：株式会社雪屋媚山商店、株式会社ズコーシャ、株式会社環境技術センター、国立大学法人室蘭工業大学）

⑦都市除排雪の利活用システムの検討

都市除排雪を利用した冷房システムと当該システムのインフラを利用した他の産業廃熱関連システムの複合システムについて検討し、その実現性やコスト削減効果の試算と評価を行う。

（実施体制：株式会社雪屋媚山商店、共同研究者：美唄市）

⑧全空気式冷熱回収方式の検討

全空気式冷熱回収方式（雪山による外気の直接冷却、および噴霧冷房の組合せによる空気調和方式）の検討を行い冷水循環方式と比較し、都市排雪を利用した雪山からの熱回収方式について設計指標をまとめる。また、本事業で採用する冷水循環方式の妥当性について検証する。

（実施体制：国立大学法人室蘭工業大学）

⑨ホワイトデータセンター構想の地域経済効果に関する検討

経営学的・経済学的な知見より、本事業で提案するビジネスモデルが道内及び国内の自治体で実現した場合の経済効果分析を産業連関分析等の手法を用いて、生産誘発効果、雇用効果、税収効果などを定量的に検討・評価する。

経済評価報告書をアウトプットとし、地域経済効果として300%の効果をを目指す。

（実施体制：株式会社雪屋媚山商店）

表 (4.2)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	最終目標	目標レベル設定の根拠
①都市部の除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法及び集熱設備の開発	30%のコスト削減	都市部の除排雪を集雪して構築した雪山を活用可能な雪冷房システム技術を開発し、雪を選別して新たに集雪・築山する従来方式と比較
②フリークーリングを併用したハイブリッド雪冷房システムの設計	10%のコスト削減	フリークーリング導入により消費雪量を削減することで雪山導入費を削減。トータルコスト（導入費＋維持費15年）で従来方式と比較
③サーバ廃熱を活用して冬期の居室暖房需要に対応するハイブリッド雪冷房システム暖房システムの併用方法の設計	10%のコスト削減	廃熱回収のシステムを別途構築する場合と比較

④データセンターにおけるフリークーリング併用雪冷房システムの運用技術の検討	50%のコスト削減	20万トン規模の都市除排雪を利用したデータセンター単体で、首都圏に建設される従来型データセンターの空調トータルコストと比較
⑤コスト削減見込み量の試算	30%のコスト削減	上記①、②、③の結果を元に試算。都市除排雪を利用した相互供給型事業モデルのトータルコストを従来雪山方式に比較
⑥雪冷熱・産業廃熱を利用した相互供給型事業モデルの検討	10%のコスト削減	作物栽培システムや陸上養殖システム、雪風による低温乾燥システムの実用化可能性検討を行い、それぞれのシステムでのエネルギー削減効果を定量的に算出し、設置・運用コストを比較
⑦都市除排雪の利活用システムの検討	冷熱価格 50%の削減 産業廃熱価格 30%の削減	各々単体（熱供給事業、データセンター事業、周辺施設事業）で事業性を検討し、事業体内の、雪冷熱の取引価格、廃熱の取引価格、外部からの雪の購入価格などを試算。冷熱の価格は、電気料金ベース、産業廃熱の価格は、灯油代ベース。
⑧全空気式冷熱回収方式の検討	設計指標策定	都市排雪を利用した雪山からの全空気式熱回収方式について検討し、冷水循環方式と比較する
⑨ホワイトデータセンター構想の地域経済効果に関する検討	地域経済効果 300%	経営学的・経済学的な知見より、本事業で提案するビジネスモデルが実現した場合の経済効果分析を産業連関分析等の手法を用いて、生産誘発効果、雇用効果、税収効果などを定量的に検討・評価する

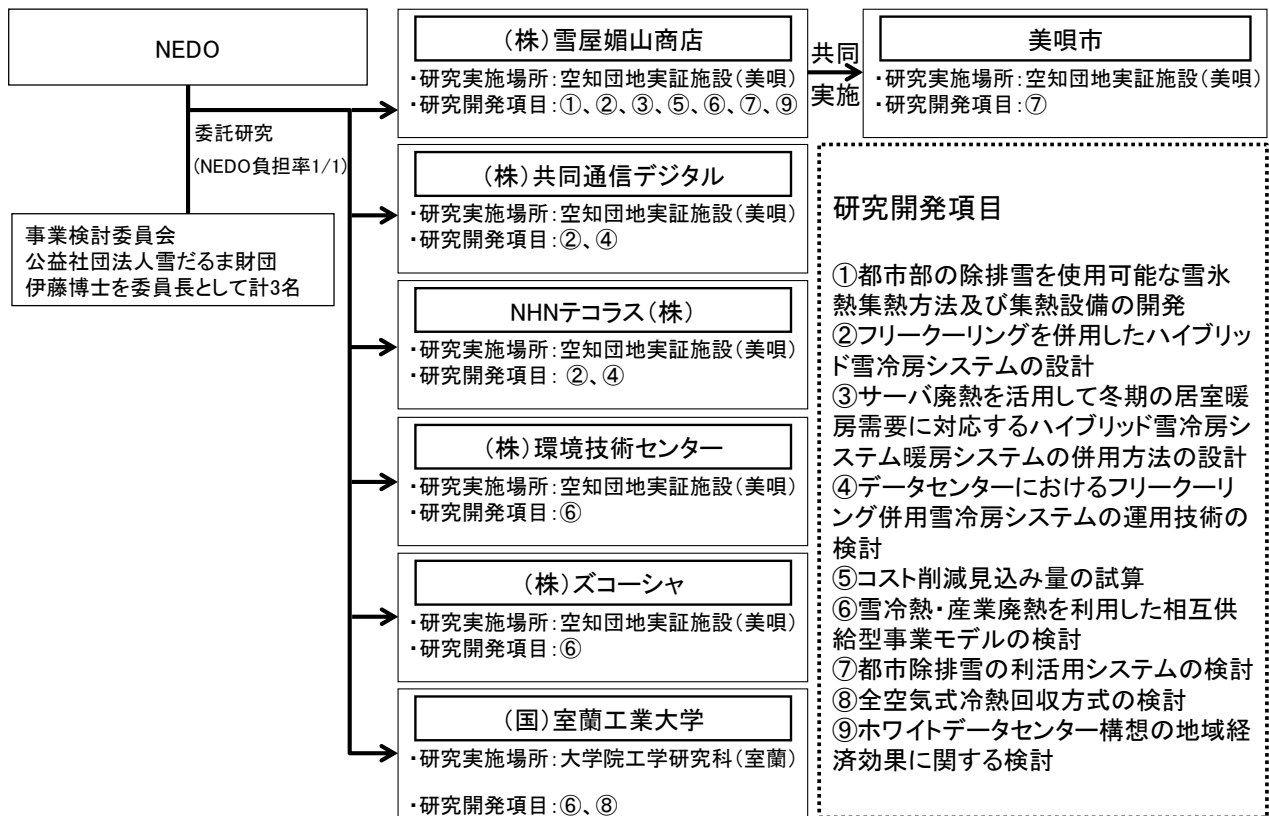
#### (4.2.3)事業スケジュール

本事業の契約期間は、平成26年7月24日より平成31年2月28日であり、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(4.2)-2に示す。

表Ⅱ(4.2)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度											
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q								
①都市除排雪利用型雪氷熱集熱方法及び集熱設備の開発			FS		試験設備構築・実証試験評価								開発技術改良・検証								コスト評価							
②フリークーリング併用ハイブリッドシステムの発			FS		試験設備構築・実証試験評価								開発技術改良・検証								コスト評価							
③ハイブリッド雪冷房システム暖房システムの併用方法の設計			FS						実証試験												コスト評価							
④データセンターにおけるフリークーリング併用雪冷房システムの運用技術の検討			FS						実証試験												コスト評価							
⑤コスト削減見込み量の試算																					コスト評価							
⑥相互供給型事業モデルの検討			FS						実証試験								開発技術改良・検証								コスト評価			
⑦都市除排雪の利活用システムの検討					都市除排雪システムの検討																コスト評価							
⑧全空気式冷熱回収方式の検討					全空気式システムの検討																設計指標策定							
⑨ホワイトデータセンター構想の地域経済効果に関する検討																					経済性評価							

(4.2.4) 研究開発の実施体制



(4.2.4) 研究開発の運営管理

表Ⅱ(4.2)-3 都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発 「都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発」検討委員会

- 株式会社雪屋眉山商店
- 株式会社共同通信デジタル
- NHNテコラス株式会社
- 株式会社環境技術センター
- 株式会社ズコーシャ
- 国立大学法人室蘭工業大学
- 美唄市(共同実施先)

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	伊藤 親臣	公益財団法人雪だるま財団 チーフスノーマン
委員	片野 浩司	国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 技術開発調整監付 寒地機械技術チーム 総括主任研究員
委員	杉田 正	国立研究開発法人産業技術総合研究所 情報技術研究部門研究員

所属は、委員会組織時点のもの

#### (4.2.4) 研究開発成果

##### 【成果概要】

本事業により、雪氷冷熱エネルギーを利用する冷房システムで都市除排雪を活用し、低コストで冷熱を回収するシステムを開発した。様々な開発工夫や実証により、自治体の都市除排雪（道路除排雪）システムを転用して、冷熱源としての雪を集めるシステムを開発し、大幅なコストダウンを達成した。

本事業では、大きな冷熱負荷を持つ施設例としてデータセンターを冷却したが、一般的な冷凍機空調に頼ることなく、都市除排雪の冷熱と外気冷却（フリークーリング）のみで夏期の冷却に成功した。また、サーバ廃熱を回収利用する例として、植物工場や陸上養殖などの食料生産を行うハウスを暖房し、一般暖房機器を使用することなく廃熱のみで冬季間の暖房を実施することに成功した。各事業性について評価を実施し、各事業の採算性を確認したほか、従来技術に対しコストダウンを図り、各目標を上回るコストダウンを達成した。データセンター冷却に必要なトータルコストでは、都市除排雪利用型高効率雪山を導入した場合、従来方式雪山に比べ64.1%のコストダウンが図れることが判った。

実証試験では、冷水式の雪冷房システムを導入したが、全空気式の雪冷房システムについて検討および評価を行った。また、都市除排雪冷熱とIT廃熱の利用例としての乾燥システムについても検討を実施した。事業実現時の経済波及効果について試算を行った。

##### 【項目別成果】

###### 1. 都市部の除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法及び集熱設備の開発

雪山下熱交換路盤を用いて都市除排雪から冷熱を回収する実証試験を行った。

###### 2. フリークーリングを併用したハイブリッド雪冷房システムの設計

フリークーリングの導入により雪量を87%削減した（目標：70%削減）。その削減コストの範囲内でフリークーリングの建設コストを補填した上で、トータルとして62.9%削減した（目標：10%削減）。

###### 3. サーバ廃熱を活用して冬期の居室暖房需要に対応するハイブリッド雪冷房システムおよび暖房システムの併用方法の設計

雪冷房によりサーバを冷却するための冷却コイルを冬期にサーバからの廃熱回収用のコイルとしても利用できるよう研究開発を行った。廃熱回収のシステムを別途構築する場合と比較して35.0%削減した（目標：10%削減）。

###### 4. データセンターにおけるフリークーリング併用雪冷房システムの運用技術の検討

IT事業者の立場において、排雪を利用した雪冷房とサーバ廃熱を回収する低コストデータセンターを開発するため、経済優位性の立証、サーバ機器の安定稼働を実証し、雪冷房の適応性の実証を行った。また、22.8万トンの都市排雪を利用したデータセンター単体で、首都圏に建設される従来型データセンターの空調コスト（空調設備のイニシャルコストと15年のランニングコストの計）と比較して、54.8%を削減した（目標：50%削減）。

###### 5. コスト削減見込み量の試算

上記1、2、3のシステム設計結果を元にコスト計算した結果、従来型雪冷房のトータルコストに対し、76.0%削減（目標：30%削減）した。

###### 6. 雪冷熱・産業廃熱を利用した相互供給型事業モデルの検討

データセンターから回収したサーバ廃熱と雪氷熱を利用した、作物栽培システムや陸上養殖システム、雪風による低温乾燥システムの実用化可能性検討を行った。

###### 7. 都市除排雪の利活用システムの検討

都市排雪供給により64.1%削減、廃熱供給システム導入により76.0%削減を達成した。

8. 全空気式冷熱回収方式の検討

都市排雪を利用した雪山からの全空気式熱回収方式についてシミュレーションを実施し、雪からの全空気式の熱回収方式について気化効率を再計算し、必要な雪量の設計指標を得た。

9. ホワイトデータセンター構想の地域経済効果に関する検討

経済学的な知見より、本事業で提案するビジネスモデルが道内及び国内の自治体で実現した場合の経済効果分析を産業連関分析等の手法を用いて、生産誘発効果、雇用効果、税収効果などを定量的に評価した。

表Ⅲ (4.2)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	査読 なし	学会発表・ 講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	12件	1件
H27FY	0件	0件	0件	0件	1件	0件	12件	1件
H28FY	0件	0件	0件	0件	2件	2件	3件	1件
H29FY	0件	0件	0件	0件	1件	4件	3件	3件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	4件	2件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ (4.2)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

開発項目	最終目標	成果	達成度
①都市部の除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法及び集熱設備の開発	30%のコスト削減	都市部の除排雪を集雪して構築した雪山を活用可能な雪冷房システム技術を開発した。 コスト64.1%削減	○ ◎
②フリークーリングを併用したハイブリッド雪冷房システムの設計	10%のコスト削減	フリークーリング導入による消費雪量の削減量を得た。 コスト62.9%削減	○ ◎
③サーバ廃熱を活用して冬期の居室暖房需要に対応するハイブリッド雪冷房システム暖房システムの併用方法の設計	10%のコスト削減	廃熱回収システムについて実証を行った。 コスト35.0%削減	○ ◎
④データセンターにおけるフリークーリング併用雪冷房システムの運用技術の検討	50%のコスト削減	データセンターへのフリークーリング併用雪冷房システムによる冷却を実証した。 コスト54.8%の削減	○ ○
⑤コスト削減見込み量の試算	30%のコスト削減	コスト57.5%の削減	◎
⑥雪冷熱・産業廃熱を利用した相互供給型事業モデルの検討	10%のコスト削減	作物栽培システムの実証を行った。 陸上養殖システムの実証を行った。 雪風による低温乾燥システムの実用化可能性検討を行った。 作物栽培システム：コスト41%の削減 陸上養殖システム：コスト35.6%の削減	○ ○ ○ ◎ ◎
⑦都市除排雪の利活用システムの検討	冷熱価格 50%の削減 産業廃熱価格 30%の削減	自治体排雪事業を検証し、都市排雪の供給システムを検討した。 冷熱価格 50%以下、産業廃熱価格30%以下での熱供給事業の事業性を確認した。	○ ○

⑧全空気式冷熱回収方式の検討	設計指標策定	都市排雪を利用した雪山からの全空気式熱回収方式についてシミュレーションを実施した。 設計指標を得た。	○  ○
⑨ホワイトデータセンター構想の地域経済効果に関する検討	地域経済効果 300%	300%以上の経済効果を推計した。	○

#### IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

いずれの研究開発項目も当初目標値を大幅に達成しており、早期事業化が期待される。除排雪を提供する自治体やデータセンター事業者との共同開発のため、協力体制は整っている状況である。

今後は旧実証施設を小規模データセンター施設として運用しながら、サーバ廃熱を回収して、植物工場、陸上養殖施設を稼働する。自治体の企業誘致に向けたPR施設として活用し、IT関係者や熱利用事業者などの視察を受け入れ、広報活動を継続していく。



## 個別テーマ(4.3)

### (4.3)太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発

委託先:新潟県工業技術総合研究所  
学校法人東海大学  
新潟機器株式会社

## II. 研究開発マネジメントについて

### (4.3.1)背景と目的

積雪の多い地域では、雪を冷熱源とした雪室が夏季の食糧貯蔵や冷房に利用されている。雪室は運用コストが低いという利点があるが、導入コストが高いことが課題である。

本事業では、熱音響冷凍機と太陽熱集熱装置を製作し、それらを個別に評価することで、太陽熱からの冷熱供給の実現性について検討する。冷熱の供給による雪室の小型化を検討するとともに、プレハブ冷蔵庫に使用される低コスト断熱壁を使用することで導入コスト低減を目指す。

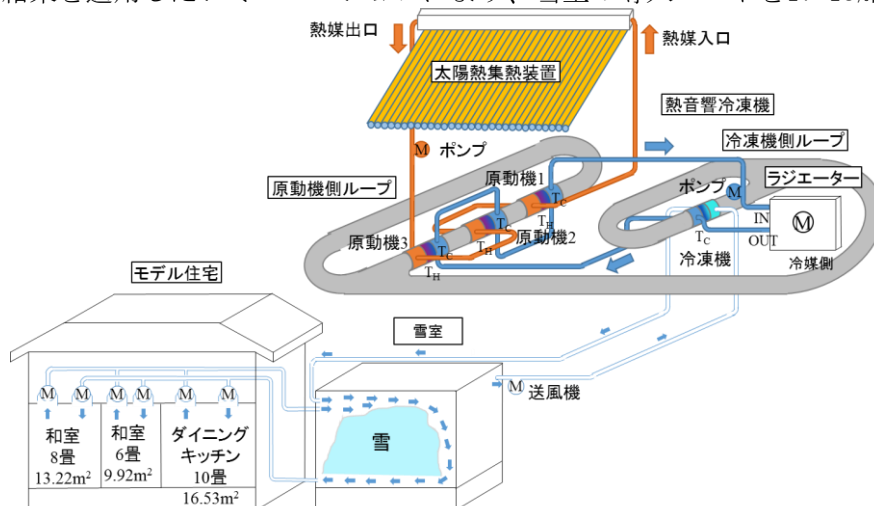
熱音響冷凍機については、実用レベルの冷凍出力1kWに対して、100Wの小型熱音響冷凍機を製作し、入熱制御ができる電熱ヒーターを使用して性能を評価する。太陽熱集熱装置については、太陽熱で熱媒を加熱し循環させる装置を製作し、屋外で性能を評価する。それぞれの評価結果をもとに、太陽熱による熱音響冷凍機の駆動が可能かをシミュレーションによって検証する。

また、実用レベルの冷凍出力1kWの熱音響冷凍機を接続することによって小型化した雪室が、夏季の冷房として成り立つことを熱流体シミュレーションで示す。さらに、導入コストの削減について検討する。

### (4.3.2)研究開発の概要

本事業では、太陽熱を利用した熱音響冷凍機を開発し雪室を冷却して従来の雪室容積を41.7%削減し、低コストの汎用プレハブ冷蔵庫の断熱壁を雪室用に改良して雪室の導入コストを従来の17.7%低減を目指す。研究開発目標項目を以下に記す。

- ① 熱音響冷凍機の開発  
198℃以下の入熱温度で、マイナス20℃の冷熱100W程度が得られる熱音響冷凍機を開発し、シミュレーションとの整合を確認する。
- ② 太陽熱集熱装置の製作と評価  
太陽熱集熱器で熱媒を210℃以上に加熱し、これを循環させて熱音響冷凍機に熱を伝達する太陽熱集熱装置を開発する。
- ③ 太陽熱集熱装置から熱音響冷凍機への入熱シミュレーション  
①と②のシステムを結合し、太陽熱を利用した熱音響冷凍機による冷熱の供給をシミュレーションする。
- ④ システムのトータルシミュレーション  
雪室に③の結果を適用したシミュレーションにより、雪室の導入コストを17-18%削減する。



図II (4.3)-1 概要図

表Ⅱ(4.3)-1 研究開発目標と根拠

開発項目	目標	目標レベル設定の根拠
①熱音響冷凍機の開発	198℃以下の入熱温度で、マイナス 20℃の冷熱 100W 程度が得られる熱音響冷凍機を開発し、シミュレーションとの整合を確認する。	太陽熱を利用した熱音響冷凍機を開発し雪室を冷却して従来の雪室容積を 41.7%削減し、低コストの汎用プレハブ冷蔵庫の断熱壁を雪室用に改良して雪室の導入コストを従来の 17.7%低減を目指す。
②太陽熱集熱装置の製作と評価	太陽熱集熱器で熱媒体を210℃以上に加熱し、これを循環させて熱音響冷凍機に熱を伝達する太陽熱集熱装置を開発する。	
③太陽熱集熱装置から熱音響冷凍機への入熱シミュレーション	①と②のシステムを結合し、太陽熱を利用した熱音響冷凍機による冷熱の供給をシミュレーションする。	
④システムのトータルシミュレーション	雪室に③の結果を適用したシミュレーションにより、雪室の導入コストを17-18%削減する。	

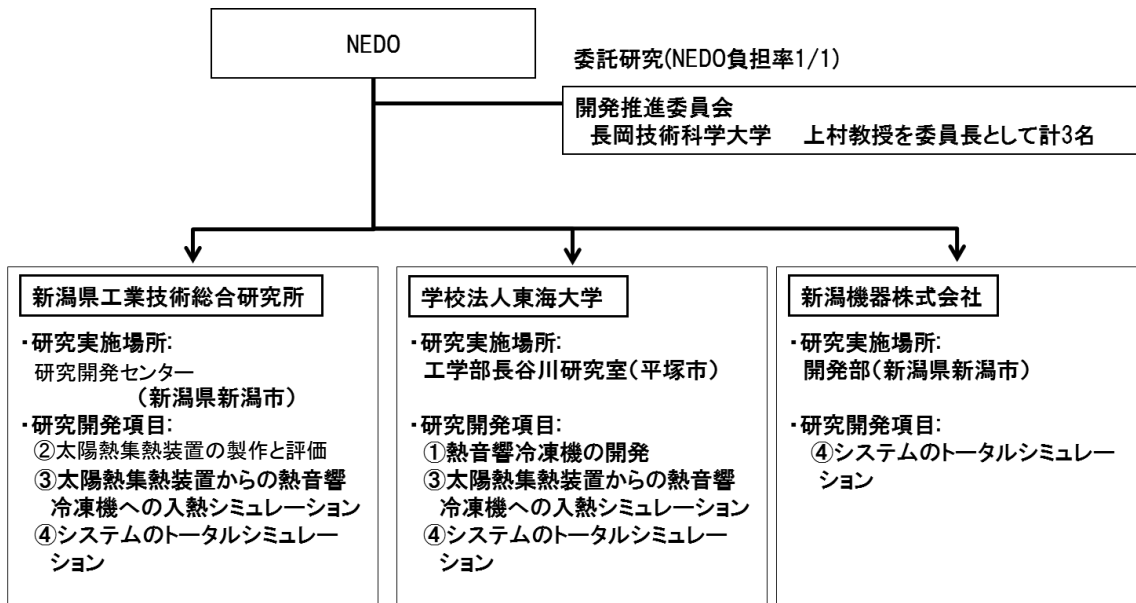
(4.3.3)事業スケジュール

本事業の研究期間は、平成28年1月28日より平成31年2月28日までで、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(4.3)-2に示す。

表Ⅱ(4.3)-2 研究開発のスケジュール

事業項目	H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①熱音響冷凍機の開発	諸元計算、詳細設計と製作、電熱ヒータ加熱試験、熱媒体加熱試験							
②太陽熱集熱装置の製作と評価	試験装置製作、熱損失の評価、性能の評価							
③太陽熱集熱装置から熱音響冷凍機への入熱シミュレーション	装置接続条件の計算、入熱シミュレーション							
④システムのトータルシミュレーション	雪室設計、装置全体のシミュレーション							

#### (4.3.4) 研究開発の実施体制



#### (4.3.5) 研究開発の運営管理

表Ⅱ (4.5)-2 「太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発」検討委員会

新潟県工業技術総合研究所  
学校法人東海大学  
新潟機器株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	上村 靖司	長岡技術科学大学 教授
委員	井上 龍夫	株式会社コンポン研究所 研究部 特別研究員
委員	関本 大輔	株式会社アドハウス・パブリック 代表取締役社長 (にいがた雪室ブランド事業協同組合 事務局長)

所属は、委員会組織時点のもの

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### (4.3) 太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発

##### 【成果概要】

本事業では以下 4 項目の研究開発を行い、太陽熱を利用した熱音響冷凍機からの冷熱供給により雪室の冷却が可能であることを示すとともに、従来の雪室容積を 46%削減した小型雪室について、熱流体シミュレーションにより夏季の冷房需要を満足することを示した。

##### 【項目別成果】

##### ① 熱音響冷凍機の開発

低出力の小型熱音響冷凍機を製作し、ヒーター加熱により性能を評価した結果、入熱温度 200℃では、冷凍温度マイナス 20℃で冷凍出力 101W、冷凍温度 0℃で冷凍出力 217W が得られることを実証した。

##### ② 太陽熱集熱装置の製作と評価

太陽熱集熱装置を製作し、太陽熱で熱媒を 210℃以上に加熱できることを実証した。さらに加熱した熱媒によって、熱音響冷凍機に 200℃、2kW 以上の入熱が可能であることを示した。

##### ③ 太陽熱集熱装置から熱音響冷凍機への入熱実証試験シミュレーション

①と②のシステムを結合し、太陽熱を利用した熱音響冷凍機による冷熱の供給を実証シミュレーション

ションし、日射量 0.97kW/m<sup>2</sup> の条件で、冷凍温度マイナス 20℃で 39W、冷凍温度 0℃で 78W の冷凍出力が得られることが分かった。

④ システムのトータルシミュレーション

従来の雪室に対して 46%容積を削減した小型雪室に冷凍出力 1kW の熱音響冷凍機を付属させたモデルについて、熱流体シミュレーションにより夏季の冷房需要を満足することを示した。

また、小型雪室のコストを試算し、システム導入コストを削減するための太陽熱集熱装置と熱音響冷凍機のコスト目標を示した。

表Ⅲ(4.3)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT* 出願	査読 付き	その 他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H28FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H29FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件
H30FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成 31 年 2 月 28 日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(4.3)-2 成果の最終目標と達成度

※達成状況 [◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	最終目標	成果	達成度
①熱音響冷凍機の開発	198℃以下の入熱温度で冷熱-20℃100Wの出力を得る (入熱 2kW で出力)	電気ヒーターの入熱実験により、 ・入熱温度 170℃で-20℃の冷凍温度発生を実証 (入熱温度 200℃で冷凍出力 101W) ・必要入熱量は 6kW を超過	△
②太陽熱集熱装置の製作と評価	太陽熱で熱媒を 210℃以上に加熱 (2kW 以上の入熱)	熱媒流量 3~7L/min で、 ・210℃以上の加熱を実証 ・2kW 以上の入熱を実証	○
③太陽熱集熱装置から熱音響冷凍機への入熱シミュレーション	太陽熱で加熱した熱媒により-20℃100Wの冷熱が発生することを示す	試作した熱音響冷凍機と太陽熱集熱装置の評価結果から日射量 0.97kW/m <sup>2</sup> の条件で、 ・冷凍温度 0℃で 78W ・冷凍温度-20℃で 39W の出力が可能。目標の-20℃100Wには熱効率の向上が必要	△
④システムのトータルシミュレーション	1kW 出力の熱音響冷凍機の設置により雪室導入コストを 17~18%削減する	・既存より 46%減容した雪室と熱音響冷凍機で夏季の冷房需要に対応可能 ・熱音響冷凍機と太陽熱集熱装置は試作段階で高額なため、導入コストについては目標未達	×

IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本研究開発では、太陽熱を利用した熱音響冷凍機で雪室を冷却することで、従来の雪室容積を削減し、雪室導入コスト低減により当該技術の普及拡大に取り組んだ。

熱音響冷凍機は、入熱温度 200℃において、冷凍温度マイナス 20℃で冷凍出力 101W、冷凍温度 0℃で冷凍出力 217W が得られることを実証し、太陽熱集熱装置は、太陽熱で熱媒を 210℃以上に加熱できることを実証した。試作した熱音響冷凍機と太陽熱集熱装置を接続した場合についてシミュレーションした結果、日射量 0.97kW/m<sup>2</sup> の条件で、冷凍温度マイナス 20℃で 39W、冷凍温度 0℃で 78W の冷凍出力が得られることがわかった。

熱流体シミュレーションにより、従来の雪室に対して容積を 46%削減した小型雪室に冷凍出力 1kW の熱音響冷凍機を接続することにより夏季の冷房需要を満たすことを示した。

今後は、技術の普及拡大に向け、太陽熱集熱装置と熱音響冷凍機の性能向上やコストダウンに取り組む実用化につなげる見込みである。

## 個別テーマ(4.4)

### (4.4)太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発

委託先:一般社団法人ソーラーシステム振興協会  
名城大学  
国立研究開発法人建築研究所

## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

### (4.4.1)背景と目的

再生可能エネルギー熱利用をより効果的に活用するため、太陽熱利用分野において、省エネ性能判定プログラム(以下「判定プログラム」と称す)の最適化を行うことにより、トータルシステムのコストダウンを図ると共に、産学協調して基盤的技術である最適化手法(シミュレーション技術)開発によって詳細な評価方法を確立し、適切な設備選定ができるようにすることを事業目的とする。

### (4.4.2)研究開発の概要

現在、住宅等の太陽熱利用の導入検討に当たって、省エネ法で適用される簡易評価手法としての判定プログラムがあり、各方面で利用されており今後も利用拡大が見込まれている。この判定プログラムでの太陽熱の省エネ評価が必ずしも最適化されたものではなく、比較的過小に見積もられるプログラムになっていることから、必要な省エネ性能を得るために算出された太陽熱設備が大きめの規模となり、イニシャルコストが高くなる傾向がある。

また一方、導入設計時等に必要となる太陽熱の詳細評価手法として、使用実態に沿ったシミュレーションの手法が確立されていないため適切な設計がされているとは必ずしも言えない実状がある。

本事業においては、これら簡易評価手法、詳細評価手法をシミュレーション技術開発により確立しようとするもので、太陽熱利用システムの性能評価を適正に行い、最適化されたシステムが導入可能とし、導入のコストダウンを図ることを目指すものである。

#### (1)省エネ性能判定プログラムの最適化

判定プログラムのシミュレーションにおいて修正が必要な条件項目(集熱面積、蓄熱槽容量、集熱性能等(以下「パラメータ」))の抽出、算定式の導出、アルゴリズムの構築を行う。上記を反映することで判定プログラムを改良した簡易シミュレーションツールの開発を行う。

例として現状の判定プログラムに使用されている太陽熱温水器算定式を以下に挙げる。

#### 【例：太陽熱温水器算定式】

$L_{sun}, d = \min(Qd, (Lk, d'+Ls, d'+Lw, d'+Lb1, d'+Lb2, d'+Lba1, d') \times fsh)$

この算定式で、パラメータとは以下の添え字のことを指す。パラメータ毎、内容を以下に示す。

#### 【太陽熱温水器パラメータ】

$L_{sun}, d$  : 日付 $d$ における1日当たりの太陽熱利用給湯設備による補正集熱量(MJ/日)

$Qd$  : 日付 $d$ における1日当たりの基準集熱量(MJ/日)

$fsh$  : 太陽熱温水器の分担率上限値

$Lk, d'$  : 日付 $d$ における1日当たりの台所水栓における節湯補正給湯熱負荷(MJ/日)

$Ls, d'$  : 日付 $d$ における1日当たりの浴室シャワー水栓における節湯補正給湯熱負荷(MJ/日)

$Lw, d'$  : 日付 $d$ における1日当たりの洗面水栓における節湯補正給湯熱負荷(MJ/日)

$Lb1, d'$  : 日付 $d$ における1日当たりの浴槽水栓湯はり時における節湯補正給湯熱負荷(MJ/日)

$Lb2, d'$  : 日付 $d$ における1日当たりの浴槽自動湯はり時における節湯補正給湯熱負荷(MJ/日)

$Lba1, d'$  : 日付 $d$ における1日当たりの浴槽水栓さし湯時における節湯補正給湯熱負荷(MJ/日)

①実証実験（担当：ソーラーシステム振興協会、建築研究所）

実証実験を行い、日々のデータを取得する。システム条件は、太陽熱温水器（給湯方式：接続ユニット、三方弁、落とし込みの3方式）、ソーラーシステム（給湯方式：接続ユニット、三方弁、給水予熱の3方式）、エコキュートソーラーシステム（貯湯タンク2缶式と1缶式の2方式）。気候条件を夏期、冬期、中間期の3期として、取得するデータは、温度、流量、消費電力、補助熱源の燃料消費量、日射量とする。

②実証結果の分析・解析

②-1 データの整理（担当：ソーラーシステム振興協会、建築研究所）

それぞれの実施場所において、得られた実証結果（日々のデータ）をルールに従い分類、整理、統合する。

②-2 パラメータの追加及び修正

実証実験取得データを用いて判定プログラムに用いられている既存のパラメータの課題を整理し、改善案を検討する。改善を予定する項目は以下の通り。その他、改善及び追加が必要なパラメータについても検討を行う。

【パラメータ改善予定項目】

- ・集熱面積：有効面積基準（現行）⇒総面積基準（JIS 準拠）
- ・蓄熱槽容量：太陽熱温水器は設定なし⇒追加提案
- ・給湯方式：分担率で新たな指標を提案
- ・循環ポンプ方式：単純な消費電力⇒消費電力+配管損失等も入る指標を提案
- ・タンク放熱損失：一律値⇒他の設備に準拠した算定方法等
- ・集熱器の集熱性能：一律値⇒集熱器特性値  $b_0$ 、 $b_1$  および外気温、日射データより詳細に算出

③算定式の導出（担当：ソーラーシステム振興協会、東京大学、建築研究所）

簡易シミュレーションツールにて一次エネルギー量等のシミュレーションに必要な算定式を導出する。現状算定式の見直しのため、修正・追加の検討が必要な情報を例示する。その他の項目についても実証試験結果等を考慮して見直した。

- ・太陽熱システムの分担率の見直し（現状技術は一律 0.9）
- ・集熱系 COP 提案（現状技術は循環ポンプの種類別に一律 40W、80W）
- ・集熱効率の見直し（現状技術は一律 0.4）
- ・システム効率の見直し（現状技術は一律 0.85）
- ・補助熱源推定効率提案（現状は考慮なし、他の設備機器で導入実績あり）

④計算アルゴリズム構築（担当：建築環境・省エネルギー機構（以下「IBEC」））

住宅全体及び他のエネルギー使用設備との算定式、パラメータの整合、統合を図る。また、決定した算定式、パラメータを用いて判定プログラムへ反映させるためのアルゴリズムを構築する。

⑤簡易シミュレーションツールの開発（簡易算定式から成る計算手法）

上記①～④の成果を反映し、省エネ判定プログラムの最適化につながる簡易シミュレーションを提案する。

(2)最適化手法（シミュレーション技術）開発（担当：名城大学）

⑥詳細シミュレーション技術の確立（担当：名城大学）

世界標準の温熱解析シミュレーションソフト「TRNSYS」を用いて詳細シミュレーションを行うため、名城大学において詳細シミュレーションのための与条件抽出とインターフェース、モジュール構造のプログラム群を構築する。詳細シミュレーションの結果の妥当性を検証するため、実証実験のデータを用いる。また、省エネ判定プログラム最適化の妥当性検証も行う。

⑦一般で利用可能な設計ツールの構築（担当：名城大学、ソーラーシステム振興協会）

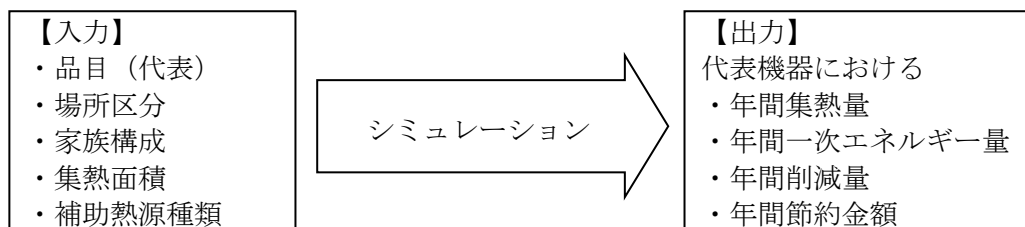
最適化手法で確立されたシミュレーション技術を用いて、導入検討者や設計者などの利用に広

く応じられるような設計ツールの構築を行う。

【設計ツール】

ツール1：太陽熱導入効果を試算する簡易ツール

太陽熱の導入を検討するユーザー(施主など)が、概略の省エネ効果を知るために、場所、システムの概要(集熱面積)、家族構成、使用燃料などを入力して、代表的なシステム構成での1年間の省エネ効果等の目安を知ることができるツール。



ツール2：詳細な効果を試算する設計者向けツール

設計段階において、導入検討対象の機器の詳細な性能データ、場所、使用状況などを入力してより詳細な省エネ効果等を知ることができるツール。設計上要求される省エネ量を実現するための機器選択、設置条件選択などの検証に用いることもできる。

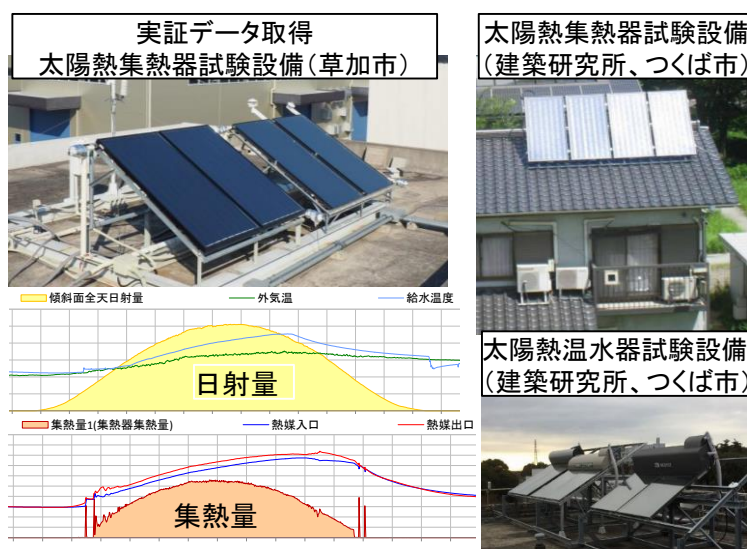
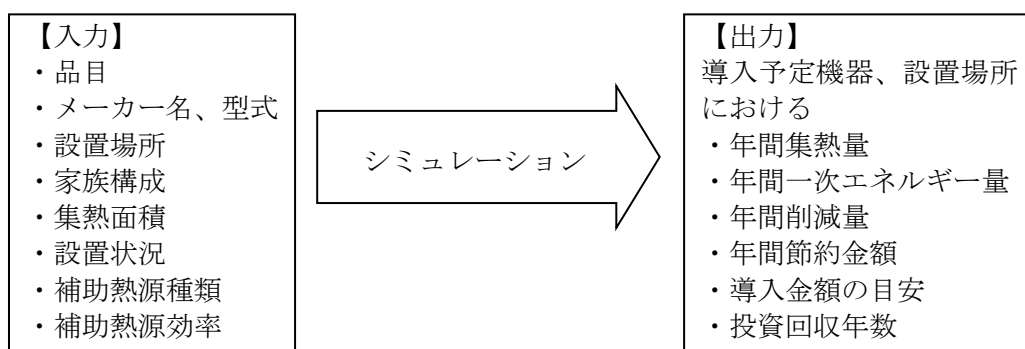


図 II (4.4)-1 実証実験状況

表Ⅱ(4.4)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	最終目標	目標レベル設定の根拠
(1)省エネ性能判定プログラムの最適化	①実証実験	実証データ分析・解析により、判定プログラムで使用されるパラメータ・算定式を導出、アルゴリズムを構築し、判定プログラムを見直す条件を提示する。見直した判定プログラムを使用し太陽熱集熱システムの省エネ性及び適正な設備容量を判断する。
	②実証結果の分析・解析	
	③パラメータの抽出、算定式の導出	
	④計算アルゴリズム構築	
	⑤簡易シミュレーションツールの開発	
(2)最適化手法(シミュレーション技術)開発	⑥シミュレーション技術の確立	最適化手法(シミュレーション技術)を確立して、実態に即した精度の高い太陽熱集熱システムの最適化を行うことを可能にする。確立した最適化手法を用いて、設計ツールの構築を行う。
	⑦設計ツールの構築	
		判定プログラム見直しにより、機器選定の自由度が増し、最適でより小型システムでの機器選定が可能となり、導入コストの低減に寄与する。トータルシステムコストダウンは20%が見込まれ、本事業のアウトプット目標であるシステム導入コスト10%低減を達成することが期待できる。
		与条件抽出とインターフェース、モジュール構造のプログラム群を構築、シミュレーション結果の妥当性、省エネ判定プログラム最適化の妥当性を検証する。その成果を用いた設計ツールを構築、広く成果を利用する上で有効なツールとなる。

(4.4.3)事業スケジュール

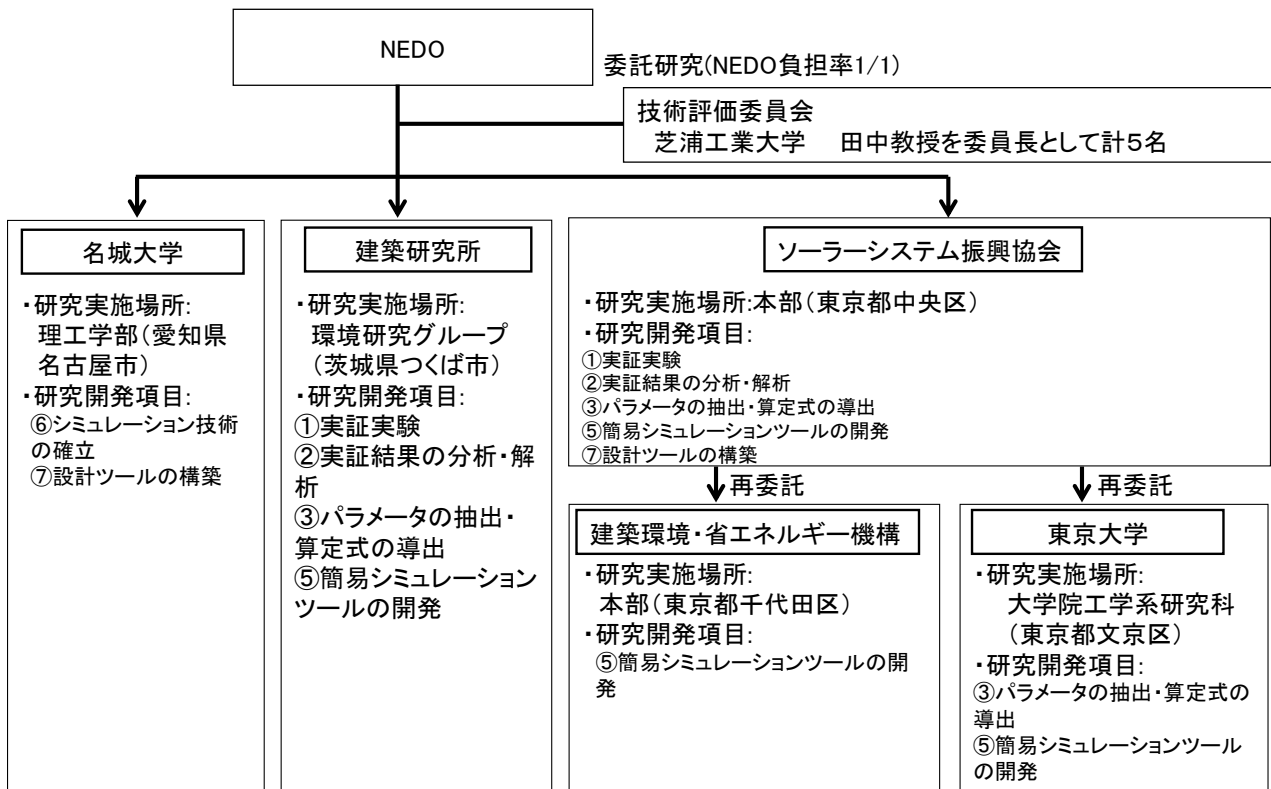
本事業の契約期間は、平成28年1月26日より平成31年2月28日であり、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(4.4)-2に示す。

表Ⅱ(4.4)-2 研究開発スケジュール

事業項目	H27年度				H28年度				H29年度				H30年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①実証試験					予備試験				試験・データ分析							
②実証試験データ取得・解析									解析							
③パラメータ及び算定式の改良					パラメータ・算定式導出											
④計算アルゴリズム構築					計算アルゴリズム構築											
⑤簡易シミュレーションツール					ツール試作				改良・ツール構築							
⑥最適化手法の確立					与条件抽出基本設計				モジュール構築・ツール開発							
⑦設計ツール開発					仕様案検討				ツール開発							



(4.4.4)研究開発の実施体制



(4.4.5)研究開発の運営管理

表Ⅱ (4.4)-3 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発 「太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発」技術評価委員会

一般社団法人ソーラーシステム振興協会  
名城大学  
国立研究開発法人建築研究所

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	田中 耕太郎	学校法人芝浦工業大学 工学部 機械機能工学科 教授
委員	秋澤 淳	国立大学法人東京農工大学 工学研究院先端機械システム部門 教授
委員	村上 知徳	三井ホーム株式会社 技術研究所 マネージャー
委員	関家 一弘	株式会社エックス都市研究所 シニアコンサルタント
委員	中本 啓之	株式会社長府製作所 営業開発部 主事

所属は、委員会組織時点のもの

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### (4.4)太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発

##### 【成果概要】

省エネ性能判定プログラム最適化につながる簡易シミュレーションツールの開発と、シミュレーション技術開発により導入コスト20%低減の見通しが立った。ただし、判定プログラムへの反映は別途 IBEC との継続的な協議が必要となる。

##### 【項目別成果】

##### (1) 省エネ性能判定プログラムの最適化

簡易シミュレーション開発に必要な太陽熱システム運転データ取得のための実証試験を行い、得られたデータの整理及び分析を行った。また、従来はパラメータの一つである集熱性能値が固定値でしか評価されないなどの課題があったため、簡易シミュレーションでは、設備の実力に近い性能値で評価可能になるように、必要なパラメータを検討し、省エネ性能判定プログラムに反映させるための算定式を導出した。

##### (2) 最適化手法開発

詳細シミュレーション技術の開発については、まず太陽熱温水器3機種、ソーラーシステム2機種、およびCO2冷媒ヒートポンプ一体型ソーラーシステム2機種について、TRNSYS18によるシミュレーションモデルを構築し、一年間の実証試験結果をもとにシミュレーションの精度検証を実施した。その結果、いずれのシステムについても、高い精度で太陽熱利用量と消費電力量を計算できることが確認できた。さらに、このモデルをもとに拡張アメダス気象データとエネルギー消費性能計算プログラムに準じた負荷条件を与えた年間性能のシミュレーションを可能とした。例えば太陽熱温水器の接続ユニット方式では、年間の太陽熱依存率（太陽熱利用量/給湯負荷）がほとんどの地域で30%以上であること、同じ機種でも二次側接続方式で性能が変化すること、などを明らかにした。また、詳細な地域・日射量別の特性傾向の確認、負荷条件に見合ったシステム容量での年間性能の検証、またポンプの消費電力量も考慮した1次エネルギー基準での性能分析を行った。

表Ⅲ(4.4)-1 特許、論文、外部発表等

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
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	1件	0件	1件	0件
H29FY	0件	0件	0件	0件	7件	7件	0件	0件
H30FY	0件	0件	0件	2件	4件	3件	0件	2件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ(4.4)-2 成果の最終目標の達成可能性  
 ※達成状況[◎大きく上回って達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達成]

事業項目	目標	成果	達成状況
①実証実験	3期(夏期・冬期・中間期)2年間の実証実験を実施	3期(夏期・冬期・中間期)2年間の実証実験の完了(SH・SS・ES)	○
②実証結果の分析・解析	得られたデータを集計、整理し必要なパラメータ等の検討	省エネ性能に係るパラメータの検討(集熱性能、蓄熱槽容量、放熱、ポンプ方式等)(SH・SS・ES)	○
③パラメータの抽出・算定式の導出	パラメータを抽出し、シミュレーションに必要な算定式を定める	パラメータと算定式の導出(SH・SS・ES)	○
④計算アルゴリズム構築	省エネ性能判定プログラムに反映させるため、計算アルゴリズムを作る	他の設備とのパラメータや算定式の整合を図り、計算アルゴリズムを確立(SH・SS・ES)	○
⑤簡易シミュレーションツールの開発(簡易算定式から成る計算手法)	省エネ判定プログラム最適化につながる簡易シミュレーションツールの開発	①～④の成果を反映し、省エネ判定プログラムの最適化につながる簡易シミュレーション(判定プログラムに入力する機器の性能値をパラメータにして計算される手法)を提案する。 SH・直圧式以外は簡易シミュレーションを提案 SS・簡易シミュレーションを提案 ES・機器の構造毎にシミュレーション手法が違ってくる可能性があり提案される簡易シミュレーションが判定プログラムに反映できるものか流動的	△ 判定プログラム最適化の反映はIBECと継続協議
⑥シミュレーション技術の確立	詳細シミュレーション技術の確立	TRNSYSを用いた与条件の抽出、モジュールの開発と精度検証を行い、シミュレーション技術を確立 SH・TRNSYSによる手法を確立(直圧式以外) SS・TRNSYSによる手法を確立 ES・実証機についてのシミュレーション手法は確立(与条件(パラメータ)の抽出が機器ごとに異なる可能性があり、普遍的なシミュレーション手法までには至らない)	○
⑦設計ツールの構築	簡易ツールと詳細ツールの開発	導入検討者が、導入効果等のめやすを知る簡易ツールと、設計者が詳細な計算に用いる詳細ツール類の開発を完了	○

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

実用化、事業化に向けた取り組みとしては以下2点を進める。

##### ①省エネ性能判定プログラム

省エネ性能判定プログラムの最適化に向けて国交省、I B E Cとの調整を継続する（2020年度の実現見込み）。プログラムの最適化が実現することにより、住宅や建築物のエネルギー設計に当たっては、太陽熱の評価アップにより導入のきっかけが増大し、また、適切な規模の太陽熱利用機器の導入が図られることによるコストダウンが期待できる。

##### ②省エネ性能判定プログラム

完成したツールを広く一般に利用可能とするため公開方法の検討（ホームページ等）を進め、最適な方法で公開を予定している。

## 個別テーマ(4.5)

### (4.5)食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生

委託先: 国立大学法人広島大学  
株式会社東洋高圧  
中国電力株式会社

## II. 研究開発マネジメントについて

### (4.5.1)背景と目的

食品廃棄物は再生可能エネルギーとしてのポテンシャルを有するが、その有効利用が進んでいない。含水性が高いことがその主な理由であるが、これを高温高圧の水中でガス化する超臨界水ガス化を利用すれば、効率良くガス化し、熱エネルギーとして利用することが期待できる。そこで、食品廃棄物を超臨界水中でガス化して生成ガスと水を分離、生成ガスを燃焼することによって有効な再生可能熱を創生する。本技術実用化を目指す上での研究開発課題として、タールによる反応器の閉塞防止と熱回収装置の最適化ならびに実証運転が求められており、原料を直接高温反応器に供給する直接混合急速加熱ならびに酢酸を添加してメチルラジカルと水素ラジカルをその場生成し、ラジカル補足を行って高温タールの抑制を行う新規ノータールガス化を提案、熱回収の最適化を行った上で、実証運転をすることを目的とする。

### (4.5.2)研究開発の概要

食品廃棄物は再生可能エネルギーとしてのポテンシャルを有するが、その高い含水率のために熱利用することができない。そこで、超臨界水中でガス化して生成ガスと水を分離、生成ガスを燃焼することによって有効な再生可能熱を創生する。超臨界状態を実現するために加熱が必要となるが、この熱量は回収して熱利用でき、さらに従来廃棄されていた食品廃棄物の発熱量分を再生可能熱として利用することが可能となる。実用化を目指す上での研究開発課題として、タールによる反応器の閉塞防止と熱回収装置の最適化ならびに実証運転が求められるが、これらについて、急速昇温と添加物を用いたノータールガス化、超臨界流体の熱回収設計、実証装置の建設ならびに実証運転を行うことによって対応する。実証運転には、焼酎残渣を原料とし、実証装置を運転、酒造メーカー所有の既設ボイラで製造する蒸気(蒸留工程で使用)をより安価に製造、得られる熱を残渣の一部の乾燥・飼料化に用いる。

#### ①焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実用(商用)化実現可能性調査

焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの採算性のある装置開発の見込みを検討するとともに、本開発におけるシステム構成要素の目標コストと技術課題を整理する。また、開発システムの普及計画を立案する。(実施体制：東洋高圧、広島大学、中国電力、共同実施：復建調査設計)

#### ②焼酎残渣からのタール生成の抑制に関する基礎特性の確認(実施体制：広島大学)

ラボスケール装置を用いて、焼酎残渣からのタール生成への影響を昇温速度とラジカル補足剤の濃度を変えて把握し、ノータールガス化を確認する。

タール抑制の原理は確認されているが、その定量的な効果の基礎データを取得することは、焼酎残渣を用いた実用化運転のために必要不可欠である。このため、昇温速度ならびにラジカル補足剤の濃度を変えた場合に、焼酎残渣からのタール生成がどのような影響を受けるかを確認する。また、ラボスケールでのノータールガス化の確認を行う。

低温でタールを生成するグルコースと高温でタールを生成するグアヤコールの混合物、ならびに焼酎残渣について、昇温速度とラジカル補足剤である酢酸の濃度を変えた時のタール生成量に及ぼす影響を確認する。ラボスケールでのノータールガス化の実証を行う。設計に用いることのできる相関式の提供ならびにタール生成量を2%以下とする。これは実用に求められるタール濃度である。

#### ③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認

ラボスケール装置で焼酎残渣のガス化速度を把握し、既存の1 t/day パイロットプラントを用

いて実証スケールでの有効性を確認する。

実証装置作製のためには、焼酎残渣のガス化速度を確認する必要がある。ラボスケール装置を用いて反応速度を確認するとともに、1 t/day パイロットプラントによってその実証スケールでの有効性の確認を行う。

ラボスケール装置を用いて焼酎残渣のガス化反応速度式を、酢酸を添加した場合と添加しない場合について決定する。パイロットプラントによってその実証スケールでの有効性の確認を行う。反応速度式を提出し、その適用によってパイロットプラントのタール生成率が 10%以下の誤差で予測する。これは装置設計に最低必要な誤差である。なお、平成 30 年度までにラボスケール装置を用いて各種含水性バイオマスのガス化反応速度式を決定し、その適用による実証装置でのタール生成率予測誤差を 10%以下とする。(実施体制：ラボスケール試験【広島大学】、パイロット試験【中国電力】)

#### ④ 実用化装置の設計(実施体制：東洋高压)

実用化装置の効率改善に効果的である熱回収装置を最適化し、設計技術を確立する。

ノータールガス化を実用化規模で実現するための装置設計は、必要不可欠である。直接混合急速加熱・ラジカル補足剤添加・高压ポンプシステム簡素化・反応炉最適化・制御システム最適化・熱回収装置最適化等の検討を行い、低コスト設計を行う。特に、プロセス全体としてのエネルギー効率を改善するため、熱回収装置の最適化設計を行う。

プロセス全体としてのエネルギー効率を改善するための熱回収装置の最適化設計を行う。エネルギー効率を 60%とする。これは事業採算性から求められる値である。

#### ⑤ 実証装置の詳細設計、製造設置検討(実施体制：東洋高压)

実証装置を詳細設計し、実フィールドに設置することを前提に検討を行う。また、実証装置に導入する部品の一部の構造を試作し、構造的に製作可能なこと、性能に問題ないことを中国電力エネルギー研究所が所有するパイロットプラント等で確認する。なお、パイロットプラントは超臨界水ガス化を行う中規模設備で、計画に合わせて改造設計と改造を行う。

#### ⑥ 焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実証試験(実施体制：中国電力)

中国電力エネルギー研究所が所有するパイロットプラントを改造した上記実証装置を利用して、実際の焼酎残渣を用いたノータールガス化実証試験を実施する。(実施体制：中国電力)

実施項目は以下とする。

- ・ 自動制御システムの運転確認
- ・ 1ヶ月のDSSによる連続運転試験
- ・ 発生熱エネルギー(蒸気)の回収
- ・ 実証装置でのエネルギー効率の測定

なお、タール生成量を 2%以下とする。これは実用に供する最低のタール濃度である。

表 II (4.5)-1 研究開発目標と根拠

事業項目	最終目標	目標レベル設定の根拠
① 焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実用(商用)化実現可能性調査	実証運転によるプロセス評価と低コスト設計技術の確立により、実用システムの導入と運用でのユーザーメリットと事業採算性を明確にする。	研究開発段階の技術であることを踏まえ、FSによる事業採算性の確認、プロセス評価と低コスト設計技術の確立した上での事業採算性の明確化を目標とした。
② 焼酎残渣からのタール生成の抑制に関する基礎特性の確認	タール生成量を 1%以下とする。	長時間運転に必要な

③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認	パイロットプラントのタール生成率が10%以下の誤差で予測する。	長時間運転に必要な
④実用化装置の設計	実用化装置の低コスト設計技術を直接混合急速加熱、ラジカル補足剤添加、高圧ポンプシステム簡素化、反応炉最適化、制御システム最適化、熱回収設備最適化により確立し、システム設置コストを既存技術から10%程度低減する。	設備コストを実用化レベルとするため
⑤実証装置の設計検討・製造設置	実証装置で焼酎残渣による1ヶ月のノータールガス化実証運転を添加材に廃酢酸を用いて行う。実証装置の耐久性とメンテナンス性を評価し、実用化の見通しを得る。	実証装置の設計に求められる条件。
⑥焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実証試験	実フィールドに設置したシステムで、実際の焼酎残渣を用いてノータールガス化実証運転を実施、タール生成量を2%以下とする。	実用に供する最低のタール濃度である。

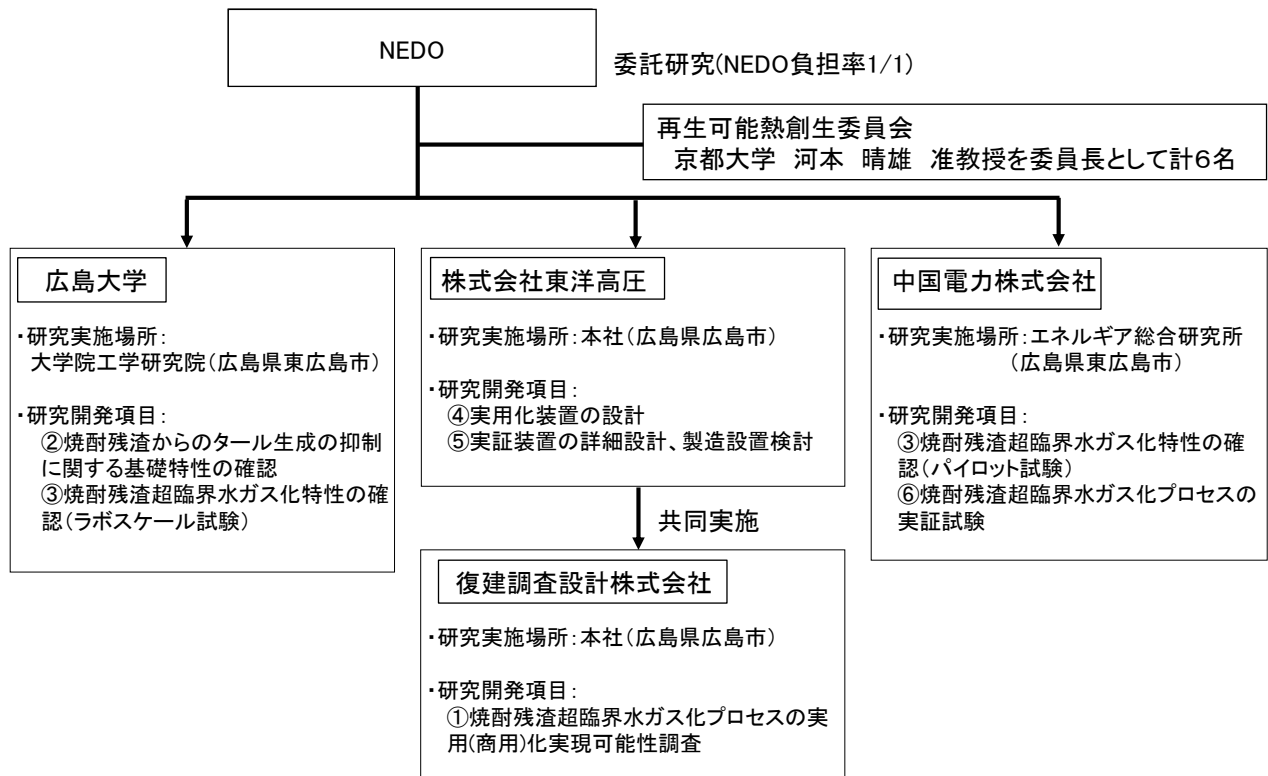
#### (4.5.3)事業スケジュール

本事業の契約期間は、平成26年7月24日より平成31年2月28日であり、主な事業スケジュールの概要を表Ⅱ(4.5)-2に示す。

表Ⅱ(4.5)-2 研究開発スケジュール

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度				H30年度								
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q					
①実用(商用)化実現可能性調査			FS						FS						FS						FS				
②焼酎残渣からのタール生成の抑制に関する基礎特性の確認			▲昇温速度・ラジカル捕捉剤とタール生成量相関式								▲ノータールガス化の最適条件														
③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認 1. ラボスケール試験 2. パイロット試験			▲ラボでのガス化反応速度式(焼酎残渣)の決定																						
			▲パイロットでの反応速度式の検証 設計諸元▲																						
④実用化装置の設計																	実証試験データ		実証装置の物質収支						
⑤実証装置の設計検討					設計検討																				
⑥焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実証試験														▲改造検討		▲連続運転									

(4.5.4) 研究開発の実施体制



(4.5.5) 研究開発の運営管理

表Ⅱ (4.5) -3 食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生 「食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生」 再生可能熱創生委員会

国立大学法人広島大学  
株式会社東洋高圧  
中国電力株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	河本 晴雄	国立大学法人京都大学 大学院エネルギー科学研究科 准教授
副委員長	井上 貴至	株式会社三菱総合研究所 環境・エネルギー研究本部 副本部長 (平成 27 年 7 月 1 日まで)
副委員長	小島 浩司	三菱総合研究所 環境・エネルギー事業本部 主席研究員 (平成 27 年 7 月 1 日より)
委員	大谷 智一	みずほ情報総研株式会社 コンサルティング業務部 事業開発チーム チーフコンサルタント (平成 30 年 8 月 24 日まで)
委員	松本 信行	大阪ガス株式会社 エンジニアリング部 プロセス技術チーム水熱ガス化プロジェクト リーダー
委員	橋本 康平	中国醸造株式会社 製造部 蒸留課 課長補佐
委員	田原 秀隆	霧島酒造株式会社 生産本部 グリーンエネルギー部 副部長

所属は、委員会組織時点のもの



(4.5.6) 食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生

【成果概要】

本研究では、再生可能エネルギーのポテンシャルを有する食品廃棄物の有効利用に着目し、食品廃棄物を超臨界水中でガス化して生成ガスと水を分離、生成ガスを燃焼することで再生可能熱を創生する技術の実現化に向け、タールによる反応器の閉塞防止、熱回収装置の最適化ならび実証運転のために、急速昇温と添加物を用いたノータールガス化、超臨界流体の熱回収設計、焼酎残渣を原料とした実証運転を実施し一定の成果を得た。

【項目別成果】

①実証試験によるプロセス評価と低コスト設計技術の評価する

焼酎メーカーへの調査結果に基づく焼酎残渣の発生量等をふまえ事業採算性を評価した結果、中小規模の工場においても事業採算性があることが明らかとなった。また、焼酎残渣以外の食品廃棄物について、含水率が低く固形分濃度が高いことからシステムの改造が必要にはなるが、より多くのガス回収に期待でき、事業採算性の確保が可能となることも確認した。

②各種含水性バイオマスについてラボスケールでのノータールガス化最適条件を決定する  
フィルタにおいて確認されるタールは1%以下であることを確認した。

③ラボスケール装置を用いて各種含水性バイオマスのガス化反応速度式を決定する

試験の結果、出口流れの有機炭素濃度に基づいてガス化率を決定した結果は、ラボスケール試験データによって得られた反応速度式で計算した結果と10%以内の誤差で一致した。

④実用化装置の低コスト設計技術を急速加熱、ラジカル捕捉剤添加、高圧ポンプシステム簡素化、反応炉最適化、制御システム最適化、熱回収設備最適化により確立する  
試算では14%の削減を確認した。

⑤試験を通じて実証装置の耐久性とメンテナンス性を評価する  
運用方法の改善により長時間運転の見通しを得られた。

⑥実証装置で焼酎残渣による1ヶ月のノータールガス化実証試験を添加剤に酢酸を用いて行う  
試験条件（原料濃度、ラジカル捕捉剤濃度）を変えて行い、延べ33日間・ガス化時間147時間30分を達成した。また、廃熱回収ボイラによる蒸気の発生（0.2~0.3 L/min）の確認ができた。

表Ⅲ(4.5)-1 特許、論文、外部発表等

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読付 き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その 他
H26FY	0件	0件	0件	2件	0件	8件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	1件	17件	0件	1件
H28FY	0件	0件	2件	1件	0件	18件	0件	0件
H29FY	0件	0件	0件	4件	0件	24件	0件	0件
H30FY	0件	0件	0件	2件	0件	9件	0件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成31年2月28日現在

[最終目標に対する成果と達成度]

表Ⅲ (4.5)-2 成果の最終目標と達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度
各種含水性バイオマスについてラボスケールでのノータールガス化最適条件を決定する	タール生成量を 1%以下とする。	フィルタにおいて確認されるタールは 1 %以下	○
ラボスケール装置を用いて各種含水性バイオマスのガス化反応速度式を決定する	その適用でパイロット改造実証装置でのタール生成率予測誤差を 10%以下とする。	試験の結果、出口流れの有機炭素濃度に基づいてガス化率を決定した結果は、ラボスケール試験データによって得られた反応速度式で計算した結果と 10 %以内の誤差で一致した。	○
実用化装置の低コスト設計技術を急速加熱、ラジカル捕捉剤添加、高圧ポンプシステム簡素化、反応炉最適化、制御システム最適化、熱回収設備最適化により確立する	システム設置コストを既存技術から 10%程度低減する。	試算では 14%の削減を確認した。	○
実証装置で焼酎残渣による 1ヶ月のノータールガス化実証試験を添加剤に酢酸を用いて行う	自動制御システムの運転確認 1ヶ月 D S S 連続運転試験 発生熱エネルギーの回収 実証装置エネルギー効率測定 タール生成量 2%以下	試験条件（原料濃度、ラジカル捕捉剤濃度）を変えて行い、延べ 35 日間・ガス化時間 154 時間 37 分を達成した。また、廃熱回収ボイラによる蒸気の発生 (0.2~0.3 L/min) の確認ができた。	○
試験を通じて実証装置の耐久性とメンテナンス性を評価する	実用化の見通しを得る	運用方法の改善により長時間運転の見通しを得られた。	○
実証試験によるプロセス評価と低コスト設計技術の評価する	トータルでの事業採算性を評価する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 焼酎残渣について事業採算性があることを確認</li> <li>・ 食品廃棄物についてシステムの改造が必要だが事業採算性があることを確認</li> </ul>	○

#### IV.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

食品廃棄物は、再生可能エネルギーとしてのポテンシャルを有するが、含水率が高いために熱利用を妨げとなっていたが、超臨界水中で品廃棄物をガス化し、水と分離して生成ガスを取り出し、燃焼させることで有効な再生可能熱を創生することが可能になる。

パイロットプラント試験において、タール抑制が可能であることを確認しており、得られた成果を実証設備試験に適用してプラントの信頼性が確保し、設備稼働率が見込める運転条件であればプラントの経済性も確保が見込まれ、実用化が期待される。

## 添付資料 2

### プロジェクト基本計画

## 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

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を受けて、我が国のエネルギー政策は根本から見直しされることとなり、再生可能エネルギーに対する国民の期待はこれまでにないほど高まっている。

平成 26 年 4 月に公表された「エネルギー基本計画」の中で、再生可能エネルギーは「現時点では安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できるためにエネルギー安全保障に寄与できる有望かつ多様な国産エネルギー源」と位置付けられている。また、「太陽熱、地中熱、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述べている。

#### ② 我が国の状況

我が国では、東日本大震災後、エネルギー政策の大きな転換を求められており、電気利用のみならず、熱利用を含めた再生可能エネルギーをこれまでの政策よりも前倒しで導入していくことが急務となっている。

#### 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。

#### ④ 本事業のねらい

本事業では、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、蓄熱利用等を含むトータル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むことで、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に貢献することを目的とする。

## (2) 研究開発の目標

### ① アウトプット目標

本事業では、地中熱利用については地中熱システム向けヒートポンプ（以下HP）のコストダウン並びにCOP（成績係数）向上等の高性能化開発、地中熱交換器の採熱効率向上、井戸掘削の技術（小口径、掘削速度、作業効率向上）開発を行う。加えて、採熱長さや深さを工夫した我が国に適した井戸設計の高度化開発に取り組むと共に、地中採熱に適した土地を確実に見出す予測技術や地中熱ポテンシャルデータベースを構築することにより、設置ユーザーが必要とする空調能力に対して、最小限の設備と工事に対応できるための総合的技術を開発する。

#### 最終目標（平成30年度）

地中熱利用については、システムトータルで、導入コスト20%低減、及び運用コスト20%低減を目指す。

その他再生可能エネルギー熱（太陽熱、雪氷熱、未利用熱等）利用システムについては、蓄熱・断熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムの高効率化に資する革新的技術開発及び規格化を推進し、システムの導入コストを10%程度低減する。

#### 中間目標（平成28年度）

地中熱利用については、システムトータルで、導入コスト20%低減、及び運用コスト20%低減になりうる可能性を実験等で示す。

その他再生可能エネルギー熱（太陽熱、雪氷熱、未利用熱等）利用システムについては、システムの導入コストを10%程度低減になりうる可能性を実験等で示す。

なお、個々の研究開発項目の目標は、別紙1「研究開発計画」に定める。

### ② アウトカム目標

本事業で開発した各種の機器や工法及びアプリケーションにより、再生可能エネルギー熱利用の導入加速に貢献し、2020年までに一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合を10%とする目標に寄与する。

### ③ アウトカム目標達成に向けての取組

技術開発後の市場導入を円滑に進めるべく、以下に取り組む。

- ・ システムの規格化やパッケージ化に向けたポテンシャルマップ等の各種ツール活用ガイドの作成
- ・ 複雑なシステムをワンストップで受注するインテグレータの育成に向けたロードマップの作成

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。なお、本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術または革新的技術に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。ただし、産学官連携体制を構築しない場合は、共同研究事業（NEDO負担率：2/3）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にNEDO新エネルギー部 権藤浩統括主幹を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、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が公募によって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、単独又は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又は国際標準獲得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

NEDO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

NEDO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

平成26年度から平成30年度までの5年間とする。

#### 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成28年度、事後評価を平成31年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

#### 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

委託研究開発及び共同研究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。

##### (2) 基本計画の変更

NEDO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おこなう。

##### (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号イ及びロに基づき実施する。

##### (4) その他

産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行う等、密接な連携を図ることにより、円滑な技術移転を促進する。

#### 6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成26年3月、制定。
- (2) 平成29年2月14日、「(2) 研究開発の目標 ③ アウトカム目標達成に向けての取組」記載内容を改訂。
- (3) 平成30年6月18日、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

20～30年後には、化石燃料の枯渇懸念とそれに伴う化石燃料価格の不安定が顕在化すると予測され、エネルギーセキュリティー確保の必要性がいつそう高まると共に、地球温暖化対策といった、環境に対するいつそうの配慮が求められる社会の到来が予測されることから、再生可能エネルギーの導入推進の流れはますます強まると考えられる。

この“エネルギーセキュリティー確保”や“地球温暖化対策”といった社会的課題を解決するために、再生可能エネルギー利用における様々な技術開発がなされている。中でも、熱利用技術は、熱を直接利用するため、電力への変換や送電等のロスを伴わないことから、電気利用と比較して効率が高い。また、電力供給事業とは異なり、太陽光発電や風力発電の拡大に伴う電力システムの安定性の懸念が無いこと、エネルギー利用形態の多様化を図れることにより、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。

我が国では、東日本大震災後、エネルギー政策の大きな転換を求められており、電気利用のみならず、熱利用を含めた再生可能エネルギーをこれまでの政策よりも前倒しで大量導入することが急務となっている。

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、課題も多い。一般に、熱利用技術は、得られる性能に比べて導入コストが既存技術より割高であること、要素技術の組合せで検討されているため、システム全体の最適効率の検討がなされていないこと等がある。これらの課題を克服しつつ、我が国の総合的なエネルギー安全保障や地球温暖化対策に貢献し、さらなる再生可能エネルギー導入を実現するためには、トータルシステムのコストダウンと高効率化技術の研究開発が必要である。本事業により、今後、再生可能エネルギー熱利用の導入コストの低減、効率の向上および安定的な運転が実現し、さらには新分野で再生可能エネルギー熱の直接利用を開拓することができる。最終的に再生可能エネルギー熱利用の大量導入が期待される。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

我が国の利用に適合した掘削手法及び掘削技術、高効率地中熱交換器、地中熱の利用状態・温度等に適合したHPの開発や、地中熱交換器設置コスト低減化技術の開発等を通じて、導入コストを低減するための開発を行う。

#### (2) 地中熱利用トータルシステムの高効率技術開発及び規格化

個別機器の開発でなく、システム構成要素（掘削からHP、配管まで）を統合し

たトータルシステムの稼働効率化及び規格化によるコストダウンや、需要側の利用状況の特徴に対応したシステムの高効率開発等を通じて、さらに上記技術の効率向上による運用コストダウンのための開発を行う。

(3) 再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

再生可能エネルギー熱の採熱場所及び方法を明らかにし、効率的なシステム導入の促進に資する、ポテンシャル簡易予測・評価技術を開発し、それを利用したポテンシャルマップの構築を行う。

(4) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化

その他再生可能エネルギー熱(太陽熱、雪氷熱、未利用熱等)利用システムについては、蓄熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムのコストダウンと高効率化に資する革新的技術開発及び規格化を推進する。

運転時の利用率向上、効率向上を行うことで、再生可能エネルギーの熱利用価値の向上に資するべく、再生可能エネルギーの熱源の変動(瞬間、日間、年間等)に対応した技術の開発を行う。

また、個別機器の開発だけではなく、我が国に適したトータルシステムの高効率化及び規格化を推進する。

(5) 上記(1)から(4)以外でその他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する革新的技術開発

上記(1)～(4)以外でその他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する、我が国に適したシステムのコストダウンを考慮した革新的技術を開発する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標】

地中熱利用については、システムトータルで、導入コスト 20%低減、及び運用コスト 20%低減になりうる可能性を基本技術研究開発、試作等で示す。

その他再生可能エネルギー熱(太陽熱、雪氷熱、未利用熱等)利用システムについては、蓄熱・断熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムの高効率化に資する革新的技術開発及び規格化を推進し、システムの導入コストを 10%程度低減になりうる可能性を基本技術研究開発、試作等で示す。

また、ポテンシャル評価技術は、評価技術設計、開発、試作やポテンシャルマップ設計、開発、試作等により、基本技術を確立する。

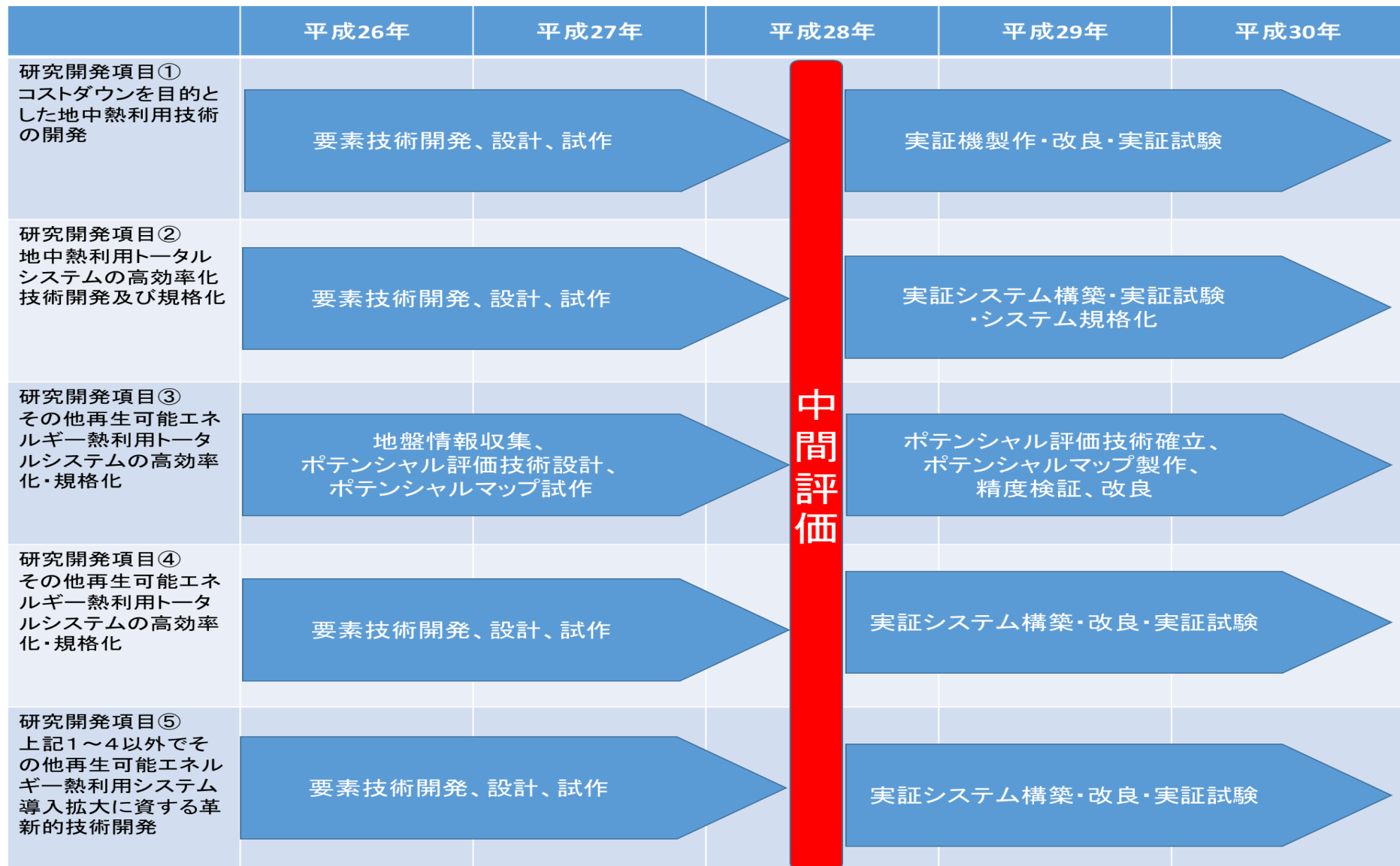
#### 【最終目標】

地中熱利用については、システムトータルで、導入コスト 20%低減、及び運用コスト 20%低減を目指す。

その他再生可能エネルギー熱利用システムについては、蓄熱・断熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムの高効率化に資する革新的技術開発及び規格化を推進し、システムの導入コストを 10%程度低減することを目指す。

また、ポテンシャル評価技術を用いた再生可能エネルギー熱利用全国（想定される重要集積地、3 地域以上）適地マップを構築する。

(別紙2) 研究開発スケジュール



添付資料 3

事前評価書

# 事前評価書

	作成日	平成 26 年 2 月 10 日
1. プロジェクト名	再生可能エネルギー熱利用技術開発	
2. 推進部署名	新エネルギー部	
3. プロジェクト概要 (予定)		
(1) 概要		
1) 背景		
<p>平成23年3月11日に発生した東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を受けて、我が国のエネルギー政策は根本から見直しされることとなり、再生可能エネルギーに対する国民の期待はこれまでにないほど高まっている。</p> <p>平成25年12月13日には、資源エネルギー庁の設置する基本政策分科会の場において発表された、新たなエネルギー基本計画の基となる報告書の中で、再生可能エネルギーは「安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出しない、国内で生産できる有望な国産エネルギー源」と位置付けられている。また、「河川熱、下水熱、太陽熱、地中熱、雪氷熱等の再生可能エネルギー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述べている。しかしながら、再生可能エネルギー等の熱利用には、経済的、技術的課題等があり、再生可能エネルギー等の熱利用に共通して見られる課題と、それぞれの熱源に特有の課題がある。再生可能エネルギー等の熱利用に共通する課題としては主に経済性の問題が挙げられる。経済性の問題はイニシャルコストが高いことに起因するものであり、これは、地中熱のように熱源までのアクセス（地中熱交換器、配管の掘削・施工）が難しいことのほか、再生可能エネルギー等の熱利用市場が小さく、太陽熱等の汎用システムについても大量生産によるコスト削減が図られないでいること等が主な要因であると考えられる。そのため、再生可能エネルギーを熱として利用することは、そのポテンシャルに比べて十分に進んでいるとは言いがたい。</p> <p>そこで、本事業では、導入コスト削減に係る技術開発、主要機器の高性能化技術開発、設備利用率向上技術を推進することで、再生可能エネルギーの熱利用の拡大を促進する。</p>		
2) 目的		
<p>本事業では、コストダウンを目的とした地中熱利用技術及びシステムの開発を行う。また、太陽熱、雪氷熱、未利用熱等、その他の再生可能エネルギー熱の利用も含めて、蓄熱利用等を含むトータルシステムの高効率化・規格化、熱量評価技術の高精度化等に取り組むことで、コストダウンを促し、熱利用の普</p>		

及拡大に貢献することを目的とする。

### 3)実施内容

以下の①～⑤の内容についてプロジェクト型技術開発を実施すると共に、一部テーマ公募型技術開発も検討する。

#### ① コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

我が国の利用に適合した掘削手法及び掘削技術、高効率地中熱交換器、地中熱の利用状態・温度等に適合したヒートポンプ（以下HP）の開発や、地中熱交換器設置コスト低減化技術の開発等を通じて、初期コストを低減するための開発を行う。

#### ② 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

個別機器の開発でなく、システム構成要素（掘削からHP、配管まで）を統合したトータルシステムの稼働効率化及び規格化によるコストダウンや、需要側の利用状況の特徴に対応したシステムの高効率開発等を通じて、さらに上記技術の効率向上による運用コストダウンのための開発を行う。

#### ③ 再生可能エネルギー熱のポテンシャル評価技術の開発

再生可能エネルギー熱の採熱場所及び方法を明らかにし、効率的なシステム導入の促進に資する、ポテンシャル簡易予測・評価技術を開発し、それを利用したポテンシャルマップの構築を行う。

#### ④ 再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化

その他再生可能エネルギー熱（太陽熱、雪氷熱、未利用熱等）利用システムについては、蓄熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムのコストダウンと高効率化に資する革新的技術開発及び規格化を推進する。

運転時の利用率向上、効率向上を行うことで、再生可能エネルギーの熱利用価値の向上に資するべく、再生可能エネルギーの熱源の変動（瞬間、日間、年間等）に対応した技術の開発を行う。

また、個別機器の開発だけではなく、我が国に適したトータルシステムの高効率化及び規格化を推進する。

#### ⑤ 上記①から④以外でその他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する革新的技術開発

上記①～④以外でその他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する、我が国に適したシステムのコストダウンを考慮した革新的技術を開発する。

(2)規模 総事業費（需給）40億円（委託、共同研究2／3）

(3)期間 平成26年度～平成30年度（5年間）

#### 4. 評価内容

##### (1) プロジェクトの位置付け・必要性について

###### 1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

2012年の「革新的エネルギー・環境戦略」や「日本再生戦略」において再生可能エネルギーの熱利用拡大が掲げられているものの、具体的な導入目標が盛り込まれていない。また、2010年の「エネルギー基本計画」においては、熱利用の導入課題として、コストが高いことが上げられているが、具体的な目標は盛り込まれていない状況であり、今後、国家的な導入目標等を掲げる必要性が考えられる。

本事業では、コストダウン及びシステム全体の高効率の視点にたつて、開発を進め、システムの規格化やパッケージ化等を促進する事で、再生可能エネルギーの熱利用の拡大を促進させる。また、今後の再生可能エネルギーの熱利用に関する目標策定にも有効である。

本事業を進めることで、規格化やパッケージ化等の促進や、パッケージャーあるいはシステムインテグレータの育成が進むことにより、コスト競争力が強化され、我が国での導入普及だけでなく国際競争力の確保を実現できる。

以上より、再生可能エネルギーの熱利用の拡大促進を目的とした、導入コスト削減に係る技術開発、主要機器の高性能化技術開発、設備利用率向上技術は、我が国の施策と整合するもので有り、NEDOプロジェクトとして妥当である。

###### 2) 目的の妥当性

20～30年後には、化石燃料の枯渇懸念とそれに伴う化石燃料価格の不安定が顕在化すると予測され、エネルギーセキュリティー確保の必要性がいつそう高まると共に、地球温暖化対策といった、環境に対するいつそうの配慮が求められる社会の到来が予測されることから、再生可能エネルギーの導入推進の流れはますます強まると考えられる。

この“エネルギーセキュリティー確保”や“地球温暖化対策”といった社会的課題を解決するために、再生可能エネルギー利用における様々な技術開発がなされている。中でも、熱利用技術は、熱を直接利用するため、電力への変換や送電等のロスを伴わないことから、電気利用と比較して効率が高い。また、電力供給事業とは異なり、太陽光発電や風力発電の拡大に伴う電力系統の安定性の懸念が無いこと、エネルギー利用形態の多様化を図れることにより、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。

我が国では、東日本大震災後、エネルギー政策の大きな転換を求められて



おり、電気利用のみならず、熱利用を含めた再生可能エネルギーをこれまでの政策よりも前倒しで大量導入することが急務となっている。

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、課題も多い。一般に、熱利用技術は、得られる性能に比べて導入コストが既存技術より割高であること、要素技術の組合せで検討されているため、システム全体の最適効率の検討がなされていないこと等がある。

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”では、これらの課題を克服しつつ、我が国の総合的なエネルギー安全保障や地球温暖化対策に貢献し、さらなる再生可能エネルギー導入を実現することを目的としており、極めて妥当である。

## (1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本事業では、コストダウン及びシステム全体の高効率の視点に立ち開発を進め、システムの規格化やパッケージ化等を促進する事で、今後の再生可能エネルギーの熱利用に関する目標策定にも有効である。

本事業を進めることで、規格化やパッケージ化等の促進や、パッケージャーあるいはシステムインテグレータの育成が進むことにより、コスト競争力が強化され、我が国での導入普及が期待できる。また、現状、欧米と比較して、我が国での再生可能エネルギーを熱として利用することは、そのポテンシャルに比べて十分に進んでいるとはいいがたいが、コスト低減（例えば、現状の我が国の掘削費を米国の掘削費なみの1/2に低減）、規格化やパッケージ化等の促進により国際競争力の確保を実現できることを期待している。

また、再生可能エネルギーの熱利用技術は、建設業界、ハウス業界等、他業種が参入しており、他分野への波及効果が大きいことから、プロジェクトの位置付け・必要性は妥当である。

## (2) プロジェクトの運営マネジメントについて

### 1) 成果目標の妥当性

本提案事業では、地中熱利用については地中熱システム向けHPのコストダウン並びにCOP（成績係数）向上等の高性能化開発、地中熱交換器の採熱効率向上、井戸掘削の技術（小口径、掘削速度、作業効率向上）開発を行う。加えて、採熱長さや深さを工夫した我が国に適した井戸設計の高度化開発に取り組むと共に、地中採熱に適した土地を確実に見出す予測技術や地中熱ポテンシャルデータベースを構築することにより、設置ユーザーが必要とする空調能力に対して、最小限の設備と工事に対応できるための総合的技術を開発する。具体的には、システムトータルで、導入コスト20%低減、及び運用コスト20%低減を目指す。

その他再生可能エネルギー熱（太陽熱、雪氷熱、未利用熱等）利用システム

については、蓄熱・断熱などの要素も考慮して我が国に適したトータルシステムの高効率化に資する革新的技術開発及び規格化を推進し、システムの導入コストを10%程度低減する。以上より、システム全体の高効率化やコストダウンが進み、市場における熱利用を選択する場面が増え、普及拡大につながる。

また、各テーマの提案時に具体的な数値目標を設定させ、外部有識者で構成する採択審査委員会でのその妥当性を評価し、採択結果に反映する。

## 2) 実施計画の想定と妥当性

原則、1～2年目に設計、開発、試作、3～4年目に実証と評価、5年目に最終仕様の実証を実施する。また、評価実施時期を中間評価は平成28年度、事後評価は事業終了後の平成31年度に実施するスケジュールである。

## 3) 評価実施の想定と妥当性

各要素技術及び全体システムに精通する研究者らを中心に体制を組むことで、有効かつ効率的に本事業を実施し、総合的な開発となることを目指す。研究開発内容、目標達成度、成果、実用化の可能性、産業への波及効果等を上記体制の基で随時確認し、必要に応じて研究開発内容の見直し等を行う。また、外部有識者による事後評価を実施する。また、評価実施時期を中間評価は平成28年度、事後評価は事業終了後の平成31年度に実施する。

## 4) 実施体制の想定と妥当性

地中熱利用技術においては、地中熱の掘削や地中熱交換器等の地中技術及びHP等の機器、全体システムに精通する研究者らを中心に体制を組むことで、有効かつ効率的に本事業を実施し、総合的な開発となることを目指す。また、コンソーシアムには我が国を代表する地中熱を専門とする大学、施工事業者、掘削機器メーカー、HP機器の供給メーカー、地中解析の技術者等、複数の事業者を参画させることで、総合的に事業を推進する。また、その他の熱(太陽熱、雪氷熱、未利用熱等)利用の全体システムの高効率化においては、各分野を専門とする大学を含めた、上記同様のコンソーシアムを形成し事業を推進する。

## 5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

本事業を進めることで、規格化やパッケージ化等の促進や、パッケージーあるいはシステムインテグレータの育成が進むことにより、コスト競争力が強化され、我が国での導入普及だけでなく、国際競争力の確保を実現できることを想定している。また、再生可能エネルギーの熱利用技術は、建設業界、ハウス業界等、異業種が連携して、熱利用技術に取り組むため、その波及効果は大きいことを想定している。

## 6) 知財戦略の想定と妥当性

公募時に開発技術の知的財産の有無及び本事業への障害の有無を提出させ、外部有識者で構成する採択審査委員会でその妥当性を評価し、採択結果に反映するものとする。本事業実施中に生じた要素技術やシステム技術について知財戦略及び知財取扱いを検討し、必要に応じて知財化を促進する。その際、実施者間における試作品の取り扱い、実証に備えた知財の実施許諾のルール等を規程する。

#### 7) 標準化戦略の想定と妥当性

要素技術やシステム技術について、必要に応じて（国際）標準化を促進する。

### (2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本事業の目的、実施計画等は、再生可能エネルギーの熱利用の導入拡大及び早期実用化を図る取り組みとして適当と考えられる。

### (3) 成果の実用化・事業化の見通しについて

#### 1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

既に国内外の市場で一定のシェアや実績を有している企業による実用化や事業化に資する研究開発を想定しており、成果の実用化・事業化可能性が明確である。

提案時に目標達成までのマイルストーンを設定させ、外部有識者で構成する採択審査委員会でその妥当性を評価し、シナリオに反映させることとする。

#### 2) 成果の波及効果

本事業を進めることで、規格化やパッケージ化等の促進や、パッケージーあるいはシステムインテグレータの育成が進むことにより、コスト競争力が強化され、我が国での導入普及だけでなく、国際競争力の確保を実現できる。

### (3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

本事業では、コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発及び地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発等によるコストダウンや、太陽熱、雪氷熱、未利用熱等、その他の熱利用の全体システムの高効率化を推進する。また、ハード単体の技術開発の推進に加えて、再生可能エネルギーの熱利用の拡大に寄与するビジネスモデル構築に資する技術開発を行う。

本事業により、システム全体の高効率化やコストダウンが進み、市場における熱利用を選択する場面が増え、普及拡大につながることを想定しており、成果の実用化・事業化の見通しは明示されている。

## 添付資料 4

### 特許論文リスト

1. 事業全体の論文・外部発表等の件数

(平成 31 年 2 月 28 日現在)

【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
H26FY	1 件	0 件	0 件	3 件	0 件	35 件	36 件	4 件
H27FY	2 件	0 件	0 件	11 件	4 件	101 件	42 件	18 件
H28FY	3 件	0 件	0 件	12 件	3 件	100 件	19 件	11 件
H29FY	8 件	0 件	0 件	21 件	11 件	123 件	25 件	13 件
H30FY	4 件	0 件	0 件	21 件	4 件	108 件	37 件	17 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 2. 個別テーマ毎の論文・外部発表等の件数

(1-1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発／高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発

### 【件数・内訳】

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
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	1件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	1件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	1件	0件	2件
H29FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	4件	1件
H30FY	1件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

### 【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	株式会社 東亜利根 ボーリング	特願 2018- 102639	国内	2018年5月 29日	出願 中	制御装置	伊藤春彦 山下誠 藤原圭佑

(※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	伊藤春彦	東亜利根 ボーリング	ボーリングマシンの高度化 —再生可能エネルギー熱 の普及に向けた取組み—	(一社)日本トライボロ ジー学会誌「トライボロ ジスト」	有	平成 28 年 5 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	伊藤春彦	東亜利根 ボーリング	高性能ボーリングマシンの低騒音 化・自動化に向けた研究開発	2015NEW環境展	平成27 年5月
2	同上	同上	INNOVATION	地中熱等再生エネル ギー協会	平成27 年5月
3	同上	同上	高性能ボーリングマシンの低騒音 化・自動化に向けた研究開発	ENEX2016 第40回地球環境とエ ネルギーの調和展	平成28 年1月
4	同上	同上	高性能ボーリングマシンの低騒音 化・自動化に向けた研究開発(2)	2016NEW環境展	平成28 年5月
5	同上	同上	ソニックドリルの低騒音化・自動化	ENEX2017第41回地 球環境とエネルギー の調和展	平成 29 年2月
6	同上	同上	Change for the NEXT TONE	2017NEW環境展	平成 29 年5月
7	同上	同上	日本での地中熱利用状況と技術 革新	中華人民共和国 大 連理工大学 建設エ ンジニア学部	平成 29 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	伊藤春彦	東亜利根ボーリング	高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化	建設機械施工 Vol69 Vol69	平成 29 年 5 月
2	同上	東亜利根ボーリング	エンジン騒音 11dB 低減	日刊建設工業新聞	平成 29 年 6 月
3	同上	東亜利根ボーリング	自動化、低騒音化を実現	日刊建設通信新聞	平成 29 年 6 月
4	同上	東亜利根ボーリング	地中熱利用システムの導入 コスト削減への取り組み	建築設備と配管工 事 11月号	平成 29 年 11 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	東亜利根 ボーリング		高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発	ENEX2015第39回地球環境とエネルギーの調和展	平成 27 年 1 月
2	同上		同上	2015NEW環境展	平成27 年5月
3	同上		同上	第5回 全国地中熱利用促進地域交流2015 長野	平成27 年10月
4	同上		同上	ENEX2016第40回地球環境とエネルギーの調和展	平成28 年1月
5	同上		同上	2016NEW環境展	平成28 年5月
6	同上		同上	ENEX2017第41回地球環境とエネルギーの調和展	平成 29 年2月
7	同上		同上	2017NEW環境展	平成 29 年5月

(1-2)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発／戸建住宅及び小規模～中規模建築物を対象とした地中熱配管埋設工法の研究開発

**【件数・内訳】**

年度	区分	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
H26FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H29FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H30FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

**【特許】**

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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

**【論文】**

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

**【外部発表】**

**(a)学会発表・講演**

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1					

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

**(c)その他(展示会への出展など)**

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					



## (1-3) コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発／地中熱利用要素技術の開発

## 【件数・内訳】

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
H26FY	1件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	3件	0件	3件	0件	2件
H28FY	1件	0件	0件	3件	0件	3件	0件	2件
H29FY	0件	0件	0件	3件	0件	0件	0件	1件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	2件

## 【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	(株)ワイ ビーエム	特願 2014- 263688	国内	2014年 12月25日	取得	地盤穿孔装置の二 重管ロッド交換装置	ワイビーエム 上田晃
2	佐賀大学	特願 2017- 027348	国内	2017年 2月16日	出願中	ヒートポンプシステム	宮良明男, 仮屋圭史

(※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	S. Selamat, Akio Miyara and Keishi Kariya	Saga University	Analysis of Short Time Period of Operation of Horizontal Ground Heat Exchangers	Resources, 4, 507-523	有	平成 27 年 7 月
2	Jalaluddin, Akio Miyara	Saga University	Thermal performance and pressure drop of spiral- tube ground heat exchangers for ground- source heat pump	Applied Thermal Engineering, 90, 630- 637	有	平成 27 年 8 月
3	S. B. Selamat, Akio Miyara and Keishi Kariya	Saga University	Considerations for Horizontal Ground Heat Exchanger Loops Operation	Trans. of the JSRAE, 32(3),15-18RE	有	平成 27 年 9 月
	S. B. Selamat, Akio Miyara and Keishi Kariya	Saga University	Numerical study of horizontal ground heat exchangers for design optimization	Renewable Energy, 95, 561-573	有	平成 28 年 4 月
5	S. Selamat, Akio Miyara, Keishi Kariya	Saga University	Numerical study of horizontal ground heat exchangers for design optimization	Renewable Energy, 95, 561-573	有	平成 28 年 9 月
6	Jalaluddin, Akio Miyara	Saga University	Thermal Performances Of Vertical Ground Heat Exchangers In Different Conditions	Journal of Engineering Science and Technology, 11(12), 1771-1783	有	平成 28 年 12 月
7	Md. Hasan Ali, Akio Miyara, Keishi Kariya	Saga University	Numerical Optimization of Double Tube GHE for Ground Source Heat Pump	International Journal of Sustainable and Green Energy, 6(5),64-75	有	平成 29 年 8 月

8	Md. Hasan Ali, Akio Miyara, Keishi Kariya	Saga University	Performance Analysis of Slinky Horizontal Ground Heat Exchangers for a Ground Source Heat Pump System	Resources, 6(4), 56	有	平成 29 年 10 月
9	Md. Hasan Ali, Akio Miyara	Saga University	Analysis of Optimum Slinky Loop Arrangement for Horizontal Ground Heat Exchanger	日本冷凍空調学会論文集, 34(4), 473-483	有	平成 29 年 12 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	Salsuwanda Selamat, Akio Miyara, Keishi Kariya	Saga University	Comparison of heat exchange rates between straight and slinky horizontal ground heat exchanger	The 24th IIR Int. Cong. Refrig., Yokohama, 676	平成 27 年 8 月
2	中村勝太, S.B.Selamat, 仮屋圭史, 宮良明男	佐賀大学	水平設置地中熱交換器に関する検討	日本機械学会九州支部長崎講演会	平成 27 年 9 月
3	仮屋圭史, S. B.Selamat, 宮良明男	佐賀大学	水平設置型地中熱交換器に関する研究	日本冷凍空調学会第 16 回西日本地区技術交流会	平成 27 年 9 月
4	仮屋圭史, Md Hasan Ali, 中村勝太, 宮良明男	佐賀大学	水平設置スlinky型地中熱交換器に関する検討	第 50 回空気調和・冷凍連合講演会	平成 28 年 4 月
5	仮屋圭史, Md. Hasan Ali, 中村勝太, 宮良明男	佐賀大学	水平設置スlinky型地中熱交換器に関する検討	第 50 回空気調和・冷凍連合講演会	平成 28 年 4 月
6	Md. Hasan ALI, S. B. Selamat, Akio Miyara and Keishi Kariya	Saga University	Performance Analysis of Slinky loop Horizontal Ground Heat Exchangers	The 8th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning(ACRA2016)	平成 28 年 5 月
7	Md. Hasan Ali, Salsuwanda Bin Selamat, Keishi Kariya Akio Miyara	Saga University	Experimental Performance Estimations of Horizontal Ground Heat Exchangers for GSHP System	2016 Purdue Conferences	平成 28 年 7 月

### (b)新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

### (c)その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1	大久保博晃	(株)ワイビーエム	NEDO 事業への取り組みの紹介	2015地球温暖化防止展	平成 27 年 5 月
2	大久保博晃	(株)ワイビーエム	再生可能エネルギー熱利用技術開発事業紹介コーナー	ENEX2016	平成 28 年 1 月
3	川崎賢一郎	(株)ワイビーエム	地中熱専用掘削機および周辺機器の紹介	2016YBMグループ新商品展示会	平成 28 年 5 月

4	大久保博晃	(株)ワイビーエム	再生可能エネルギー熱利用技術 開発事業紹介コーナー	ENEX2017	平成 29 年 2 月
5	大久保博晃	(株)ワイビーエム	再生可能エネルギー熱利用技術 開発事業紹介コーナー	ENEX2018	平成 30 年 2 月
6	大久保博晃	(株)ワイビーエム	地中熱専用掘削機の展示	全国地中熱利用促進地 域交流2018	平成 30 年 10 月
7	福田康朗	(株)ワイビーエム	再生可能エネルギー熱利用技術 開発事業紹介コーナー	ENEX2019	平成 31 年 1 月

(2-1) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化／地下水循環型地中採熱システムの研究開発

【件数・内訳】

年度	区分	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
H26FY		0件	0件	0件	0件	0件	1件	6件	3件
H27FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY		0件	0件	0件	0件	0件	1件	1件	0件
H29FY		0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	2件
H30FY		0件	0件	0件	0件	0件	1件	1件	3件

【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	守谷商会	特願 2014- 026665	国内	2014年 2月14日	平成28 年7月8 日登録 特許第 5963790 号	地下水循環型地 中熱採熱システム 及び地中熱利用 冷暖房又は給湯 システム	宮下秀 樹 内山清 貴

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

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

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	宮下秀樹 中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	第一回地下水・地下熱資源強化活用研究会技術交流会	平成26年 12月
2	宮下秀樹 中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発成果について	第三回地下水・地下熱資源強化活用研究会技術交流会	平成28年 12月
3	宮下秀樹 中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの実証実験	第四回地下水・地下熱資源強化活用研究会技術交流会	平成29年 12月
4	宮下秀樹 中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発成果について	第五回地下水・地下熱資源強化活用研究会技術交流会	平成30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	守谷商会		冷暖房の新システム 守谷商会開発開始へ	信濃毎日新聞	平成26年 8月
2	守谷商会		浅い地中熱利用 守谷商会が実証実験	日本経済新聞(長野版)	平成26年 8月
3	守谷商会		地下水循環型地中採熱システム 守谷商会 実用化めざし実証試験に着手	新建新聞	平成26年 8月
4	守谷商会		地中熱と地下水を組み合わせ 守谷商会 冷暖房の新システム開発へ	建設タイムズ	平成26年 8月
5	守谷商会		浅い地中熱利用新冷暖房実証へ 守谷 商会	長野経済新聞	平成26年 8月

6	守谷商会		NEDO 共同研究 地下水循環型地中採熱システム	長野経済新聞	平成 27 年 2 月
7	守谷商会		NEDO 共同研究地下水循環型地中採熱システム	環境新聞	平成 28 年 12 月
8	守谷商会		エコロジー最前線	信越放送	平成 31 年 2 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	宮下秀樹	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	公益社団法人日本青年会議所 北陸信越地区 長野ブロック協議会 第45回長野ブロック大会	平成 26 年 9 月
2	中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	第4回全国地中熱利用促進地域交流 2014新潟パネル展示	平成 26 年 11 月
3	中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	ENEX2015	平成 27 年 1 月
4	中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	産業フェアin信州2017	平成 29 年 10 月
5	中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	ENEX2018	平成 30 年 2 月
6	中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	信州環境フェア2018	平成 30 年 7 月
7	中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	産業フェアin信州2018	平成 30 年 10 月
8	中村三昭	守谷商会	地下水循環型地中採熱システムの研究開発	ENEX2019	平成 31 年 1 月

(2-2) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化／共生の大地への地中蓄熱技術の開発

【件数・内訳】

年度	区分	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	
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件	
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	2件	0件	
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	5件	0件	0件	
H29FY	1件	0件	0件	0件	0件	6件	0件	0件	
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	6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	三谷セキサン(株)	特願 2017 -79472	国内	2016年 1月28日	審査請 求留保	熱交換パイプの埋設 装置、熱交換パイプ の埋設方法および熱 交換パイプの埋設治 具	橋詰善 光

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

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

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	宮本重信, 橋詰善光, 上田真典, 川上岳彦	福井大学, 三谷セキサン(株)コ ロナ	地盤改良での WU チューブ挿 入による地中熱交換杭の施工 と性能	地下熱利用とヒートポンプシ ステム研究会(蓄熱ヒートポン プ協会)	平成 27 年 3 月
2	宮本重信, 建石豊, 橋詰善光	福井大学, サンケン試 錐コンサル タント, 三谷 セキサン(株)	悪水浅層地下水循環による ヒートポンプ冷暖房の課題と対 応	地下熱利用とヒートポンプシ ステム研究会(蓄熱ヒートポン プ協会)	平成 27 年 3 月
3	宮本重信, 橋詰善光, 奥田 広行	福井大学, 三谷セキサン(株), 福井 県	PHC 基礎杭兼用貯水直接循 環の季節間蓄熱融雪の施工と 運転	地下熱利用とヒートポンプシ ステム研究会(蓄熱ヒートポン プ協会)	平成 27 年 3 月
4	宮本重 信, 永井 二郎, 建 石豊, 橋 詰善光, 西垣誠	福井大学, 三谷セキサン(株), 岡山 大学	浅層悪水質地下水の循環熱 利用に関する研究	日本地下水学会春季講演会	平成 27 年 5 月

5	宮本重信, 橋詰善光, 佐々木貴史, 川上岳彦, 上田真典	福井大学, 三谷セキサン(株)コロナ	住宅用地中熱Uチューブの開発 その1 施工法	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会(蓄熱ヒートポンプ協会)	平成 28 年 3 月
6	宮本重信, 竹内正紀, 橋詰善光, 川上岳彦, 上田真典	福井大学, 三谷セキサン(株), (株)コロナ	住宅用地中熱Uチューブの開発 その2 実測による解析の 検証	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会(蓄熱ヒートポンプ協会)	平成 28 年 3 月
7	橋詰善光, 加藤洋一, 宮本重信	三谷セキサン(株), 福井大学	住宅用基礎工法を利用した地 中熱交換杭の開発 その1 施 工法の開発	建築学会年次講演会	平成 28 年 8 月
8	宮本重信, 竹内正紀, 橋詰善光, 川上岳彦	福井大学, 三谷セキサン(株), (株)コロナ	住宅用基礎工法を利用した地 中熱交換杭の開発 その2 数 値シミュレーションの実測による 検証	建築学会年次講演会	平成 28 年 9 月
9	宮本重信, 永井二郎, 竹内正紀, 橋詰善光, 佐々木貴史	福井大学, 三谷セキサン(株)	基礎杭を用いた各種熱交換杭 の性能	冷凍空調学会年次講演会	平成 28 年 9 月
10	永井二郎, 坪田和土, 菅沼有人, 宮本重信, 川上岳彦, 橋詰善光	福井大学, (株)コロナ, 三谷セキサン(株), 福井県	浅層地下熱利用ヒートポンプ空 調システムの実証試験	冷凍空調学会年次講演会	平成 28 年 10 月
11	宮本重信, 佐々木貴史, 橋詰善光	福井大学, 三谷セキサン(株)	基礎杭兼用利用での熱交換杭 の熱応力(実測と解析)	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会(蓄熱ヒートポンプ協会)	平成 29 年 3 月
12	宮本重信, 佐々木貴史, 橋詰善光	福井大学, 三谷セキサン(株)	基礎杭の熱交換器兼用利用で の熱応力	建築学会年次講演会	平成 29 年 9 月
13	宮本重信, 橋詰善光	福井大学, 三谷セキサン(株)	コンクリート杭貯水循環での地 中熱融雪・冷暖房での漏水, 目 詰まりと腐食の抑制	空気調和衛生工学会年次講演会	平成 29 年 9 月
14	宮本重信, 建石豊, 橋詰善光, 多田幹男	福井大学, (株)サンケン 試験コンサルタント, 福日 機電(株)	浅層地下水の循環利用による 無散水融雪	ゆきみらい研究発表会	平成 30 年 2 月
15	宮本重信, 永井二郎, 竹内正紀, 橋詰善光, 奥田広行	福井大学, 三谷セキサン(株), 福井県	夏の熱を群杭効果で地中保存 した融雪	ゆきみらい研究発表会	平成 30 年 2 月

16	宮本重信, 永井二郎, 橋詰善光, 川上岳彦	福井大学, 三谷セキサン(株), (株)コロナ	地中熱空気熱ハイブリッドヒートポンプでの床暖房(実測と解析)	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会(蓄熱ヒートポンプ協会)	平成30年3月
17	宮本重信	福井大学	悪質地下水循環利用での二酸化炭素, 砂, 鉄の目詰まり対策	地下熱利用とヒートポンプシステム研究会(蓄熱ヒートポンプ協会)	平成30年3月
18	橋詰善光, 佐々木貴史, 加藤洋一, 宮本重信	三谷セキサン(株), 福井大学	基礎杭兼用や基礎工法を利用した地中熱交換杭の開発ビルと住宅その1 施工法の開発	建築学会年次講演会	平成30年9月
19	宮本重信, 橋詰善光	福井大学, 三谷セキサン(株)	基礎杭兼用や基礎工法を利用した地中熱交換杭の開発ビルと住宅その2 性能評価	建築学会年次講演会	平成30年9月
20	菅沼有人, 三原伸治, 宮本重信, 永井二郎, 川上岳彦, 橋詰善光	福井大学, (株)コロナ, 三谷セキサン(株)	浅層地中熱利用ヒートポンプ空調システムの暖房実証試験	冷凍空調学会年次大会	平成30年9月
21	宮本重信, 永井二郎, 菅沼有人, 川上岳彦, 橋詰善光	福井大学, (株)コロナ, 三谷セキサン(株)	浅層地中熱と空気熱を併用したヒートポンプ床暖房システムの開発 数値シミュレーション	冷凍空調学会年次大会	平成30年9月
22	三原伸治, 菅沼有人, 宮本重信, 永井二郎, 川上岳彦, 橋詰善光	福井大学, (株)コロナ, 三谷セキサン(株)	浅層地中熱利用ヒートポンプ空調システムにおける給湯利用の検討	冷凍空調学会年次大会	平成30年9月
23	宮本重信, 建石豊	福井大学, (株)サンケン 試験コンサルタント	浅層悪水質地下水の循環熱利用	地下水学会秋期講演会	平成30年10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				日本経済新聞	平成27年7月
2	橋詰善光 宮本重信	三谷セキサン 福井大学	住宅基礎杭を利用した地中熱試験施工	福井新聞	
3				朝日新聞	

**(c)その他(展示会への出展など)**

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					



(2-3) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化／再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発

【件数・内訳】

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
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	2件	2件	0件
H27FY	2件	0件	0件	2件	0件	10件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	9件	0件	0件
H29FY	2件	0件	0件	1件	0件	12件	2件	1件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	14件	1件	1件

【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	東京大学	特願 2015- 142264	国内	2015年 7月16日	出願中	コイル型熱交換器	日野俊之 大岡龍三
2	ゼネラルヒートポンプ工業、 鹿島建設	特願 2015- 149103	国内	2015年 7月29日	出願中	ヒートポンプシステム	柴芳郎、 塩谷正樹、 小野永吉
3	丸和電機株式会社、 鹿島建設	特願 2017- 010771	国内	2017年 1月24日	出願中	ヒートポンプ装置	二階勲、 立石仁、 谷口学、 塩谷正樹、 小野永吉、 柴崎康司
4	東京大学	特願 2017- 174557	国内	2017年 9月12日	出願中	コイル型熱交換器の設置方法及びそれに用いる組立体	日野俊之 大岡龍三

(※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	Wonjun Choi Ryozo Ooka	東京大学	Effect of natural convection on thermal response test conducted in saturated porous formation: Comparison of gravel-backfilled and cement-grouted borehole heat exchangers	Renewable Energy 891-903	有	平成 28 年
2	Wonjun Choi Ryozo Ooka	東京大学	Development of TPRT (Thermal Performance-Response Test) for Borehole Heat Exchanger Design	Proceedings of the IGSHPA	有	平成 29 年

【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	日野俊之	東京大学	建物熱供給の将来技術を考える	平成 28 年度日本建築学会大会	平成 28 年 8 月
2	大岡龍三	東京大学	空調用水搬送システムにおける分散ポンプ方式の省エネルギー性に関する研究 その1	平成 28 年度日本建築学会大会	平成 28 年 8 月
3	劉明哲	東京大学	空調用水搬送システムにおける分散ポンプ方式の省エネルギー性に関する研究 その2	平成 28 年度日本建築学会大会	平成 28 年 8 月
4	崔元準	東京大学	飽和多孔質地層の自然対流を把握するための多重注入熱量率熱応答試験とパラメータ推定法 その2:提案手法の数値的検証と追加実験	平成 28 年度日本建築学会大会	平成 28 年 8 月
5	日野俊之	東京大学	二重らせん地中熱交換器の開発	平成 28 年度空気調和・衛生工学会大会	平成 28 年 9 月
6	劉明哲	東京大学	再生可能エネルギー利用のための水循環分散型ヒートポンプシステムの開発(第3報)	平成 28 年度空気調和・衛生工学会大会	平成 28 年 9 月
7	塩谷正樹	鹿島建設	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発(第4報)	平成 28 年度空気調和・衛生工学会大会	平成 28 年 9 月
8	小野永吉	鹿島建設	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発(第5報)	平成 28 年度空気調和・衛生工学会大会	平成 28 年 9 月
9	劉明哲	東京大学	Comparison of the energy saving potential between centralized and decentralized pumping systems under various flow conditions	The Joint Seminar on Sustainable Built Environment in East Asia	平成 28 年 10 月
10	劉明哲	東京大学	変流量制御における集中型と分散型ポンプシステムの省エネルギー制に関する検討	第 51 回空気調和・冷凍連合講演会	平成 29 年 4 月
11	崔元準	東京大学	Development of TPRT (Thermal Performance-Response Test) for Borehole Heat Exchanger Design	IGSHPA Technical/Research Conference and Expo	平成 29 年 5 月
12	劉明哲	東京大学	Comparison of the energy saving potential between centralized and decentralized pumping systems under various flow conditions	The 2017 ASHRAE Annual Conference	平成 29 年 6 月
13	崔元準	東京大学	Application of TPRT (Thermal Performance-Response Test) in a Saturated Porous Formation	The 2017 ASHRAE Annual Conference	平成 29 年 6 月
14	日野俊之	東京大学	再生可能エネルギー熱利用システム試験建屋	平成 29 年度日本建築学会大会	平成 29 年 9 月
15	日野俊之	東京大学	多様な再生可能エネルギーを集放熱源とする水ループ式ヒートポンプシステムの構築	平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会	平成 29 年 9 月
16	日野俊之	東京大学	マルチソース・マルチユース・ヒートポンプシステムに関する技術開発(第1~4報)	平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会	平成 29 年 9 月
17	劉明哲	東京大学	空調用水搬送システムにおける分散ポンプ方式の省エネルギー性に関する研究 その3	平成 29 年度日本建築学会大会	平成 29 年 9 月
18	劉明哲	東京大学	再生可能エネルギー利用のための水循環分散型ヒートポンプシステムの開発(第6報)	平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会	平成 29 年 9 月

19	小野永吉	鹿島建設	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発 (第7報)	平成29年度空気調和・衛生工学会大会	平成29年9月
20	崔元準	東京大学	熱性能・応答試験 (TPRT: Thermal Performance-Response Test) の開発	平成29年度日本建築学会大会	平成29年9月
21	劉明哲	東京大学	Analysis of pressure loss in piping system based on computational fluid dynamics (CFD)	The Joint Seminar on Sustainable Built Environment in East Asia	平成29年10月
22	崔元準	東京大学	Comparison of Thermal Response Test and Thermal Performance Test	14th International Conference on Energy Storage	平成30年4月
23	日野俊之	東京大学	Water-Loop Heat Pump System that Stores Multiple Renewable Energies in the Ground	14th International Conference on Energy Storage	平成30年4月
24	日野俊之	東京大学	地中熱利用と地中蓄熱を統合するシステムのコンセプト	平成30年度日本建築学会大会	平成30年9月
25	劉明哲	東京大学	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発 その9	平成30年度日本建築学会大会	平成30年9月
26	文可	東京大学	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発 その8	平成30年度日本建築学会大会	平成30年9月
27	郭倩文	東京大学	床暖房システムを用いた環境試験建屋の温冷感・快適感の検討	平成30年度空気調和・衛生工学会大会	平成30年9月
28	劉明哲	東京大学	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発 第10報	平成30年度空気調和・衛生工学会大会	平成30年9月
29	文可	東京大学	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発 第11報	平成30年度空気調和・衛生工学会大会	平成30年9月
30	下泰蔵	鹿島建設	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発 (第12報)	平成30年度空気調和・衛生工学会大会	平成30年9月
31	小野永吉	鹿島建設	再生可能エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発 (第13報)	平成30年度空気調和・衛生工学会大会	平成30年9月
32	D.Palasz	Technical university of Denmark	Performance Evaluation for Heating Operation of a Novel Multiple-Source Multiple-Use Heat Pump (MMHP) System in Winter	平成30年度空気調和・衛生工学会大会	平成30年9月
33	崔元準	東京大学	熱性能試験データを用いた地中熱交換器設計パラメータのバイズ推論	平成30年度日本建築学会大会	平成30年9月
34	劉明哲	東京大学	Experimental performance evaluation of heating performance of a multiple source and multiple use heat pump (MMHP) system utilizing renewable energy	The Joint Seminar on Sustainable Built Environment in East Asia	平成30年11月
35	文可	東京大学	A study of predicting sample size required for regression performance using learning curves	The Joint Seminar on Sustainable Built Environment in East Asia	平成30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	柴 芳郎	ゼネラルヒートポンプ工業	着々と進む未利用熱活用	空調タイムス	平成 27 年 1 月
2	柴 芳郎	ゼネラルヒートポンプ工業	進化する再生可能エネルギー熱利用	環境新聞	平成 27 年 1 月
3	日野俊之	東京大学	マルチソース・マルチユースヒートポンプシステムに関する技術開発	建築エネルギー懇話会誌: 建築とエネルギー vol.56	平成 29 年 度 9 月
4	塩谷 正樹	鹿島建設、ゼネラルヒートポンプ工業	再生可能エネルギー利用ヒートポンプシステム	空調タイムス HVAC&R 特集	平成 30 年 1 月
5	大岡龍三	東京大学	コスト20%削減、続々達成 NEDO成果報告会で発表	空調タイムス 地中熱特集	平成 30 年 度 10 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	塩谷正樹	鹿島建設		空気調和・冷凍連合講演会	平成 29 年 4 月
2	塩谷正樹	鹿島建設		HVAC&R Japan 2018 (第40回冷凍・空調・暖房展)	平成 30 年 1 月

(2-4) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化／地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌等へ の掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	6件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	6件	0件	0件
H29FY	0件	0件	0件	0件	0件	5件	0件	0件
H30FY	1件	0件	0件	2件	0件	4件	0件	1件

【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	国立研究 開発法人 農業・食品 産業技術 総合研究 機構 ジオシステ ム株式会 社	特願 2018- 183856	国内	2018年 9月28日	出願中	ヒートポンプ装置	石井雅久 奥島里美 森山英樹 土屋遼太 高杉真司

(※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	吉田広人・富樫 聡・高橋努・館 野正之・小間憲 彦・高杉真司・ 後藤真宏	八千代エ ンジニヤ リング・ジ オシステ ム・農研機 構	浅層地下水を利用するた めの熱交換ユニットの開発 と導入適地の検討	地下水学会誌60(4)、 517-528	有	2018年 11月
2	後藤真宏・奥島 里美・三木昂史 (農研機構)・高 杉真司・館野正 之・小間憲彦 (ジオシステム)・ 木村繁男(公立 小松大学)・小松 信義(金沢大学)	農研機 構・ジ オシ ステ ム・ 公立小 松大 学・金 沢大 学	流水中に設置したシート 状熱交換器の熱交換特性 と農業用水路への設置方 法	農研機構農村工学研究 部門報告第3号、29-41	有	2019年 3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	吉田広人・富樫 聡・岩本淳・高橋努・館 野正之・高杉真司	八千代エ ンジニヤ リング・ジ オシステ ム	地下浅層部の熱利用技術 開発と導入適地評価に関 する研究(その1)	日本地下水学会 2015 春 季講演会講演予稿	2015年 5月23日

2	Yamamoto,A., Kimura,S., Komatsu,N., Kiwata,T., Kono,T. (金沢大学), Goto,M. (農研機 構)	金沢大学 ・農研機 構	Heat Transfer to a Sheet- type Exchanger placed in Running Water Flows	Proceedings of 26th International Symposium on Transport Phenomena	2015年 9 月
3	山本淳司, 木村繁 男, 小松信義, 木 綿隆弘, 河野孝昭 (金沢大学), 後藤 眞宏(農研機構)	金沢大 学・農研 機構	流水中に設置したシート状 熱交換器の熱伝達	日本地熱学会平成27年度 学術講演会講演要旨集	2015年 10月21日
4	舘野正之・高杉真 司	ジオシス テム	地下水流動地盤内設置型 熱交換器の現位置での熱 応答評価	日本地熱学会平成27年度 学術講演会講演要旨集	2015年 10月22日
5	後藤眞宏(農研機 構)・高杉真司・舘 野正之・小間憲彦 (ジオシステム)・木 村繁男・小松信義 (金沢大学)	農研機 構・ジオ システム・ 金沢大学	シート状熱交換器の流水条 件での熱交換性能試験結 果	日本地熱学会平成27年度 学術講演会講演要旨集	2015年 10月22日
6	山本淳司, 木村繁 男, 小松信義, 木 綿隆弘, 河野孝昭 (金沢大学), 後藤 眞宏(農研機構)	金沢大 学・農研 機構	数値モデルによる流水路内 設置型熱交換器の性能評 価	日本機械学会北陸信越支 部第53期総会・講演会講 演論文集	2016年 3月5日
7	後藤眞宏・奥島里 美(農研機構)・高 杉真司・舘野正之・ 小間憲彦(ジオシス テム)・木村繁男 (小松短期大学)・ 小松信義(金沢大 学)	農研機 構・ジオ システム・ 小松短期 大学・金 沢大学	流水中に設置したシート状 熱交換器の熱交換特性	2016年度農業施設学会大 会講演要旨集	2016年 8月29日
8	岩本淳・富樫聡・後 藤眞宏	八千代エ ンジニア リング・農 研機構	農業用水の熱源利用を想 定した導入適地評価手法 の開発	2016年度農業施設学会講 演要旨	2016年 8月29日
9	舘野正之・五十嵐 敬愛・小間憲彦・高 杉真司(ジオシス テム)後藤眞宏・奥島 里美(農研機構)	ジオシス テム・農 研機構	農業用水路等を熱源とした 流水路内設置型熱交換器 の設置と試運転	日本地熱学会平成28年度 学術講演会講演要旨集	2016年 10月19日
10	盛合孝司(金沢大 学), 木村繁男(小 松短期大学), 小松 信義, 木綿隆弘, 河野孝昭(金沢大 学), 後藤眞宏(農 研機構)	金沢大学 ・小松短 期大学・ 農研機構	水路底部に設置されたシー ト状熱交換器の性能評価	日本地熱学会平成28年学 術講演会講演要旨集	2016年 10月19日
11	富樫聡・吉田広人・ 岩本淳・高橋努・小 間憲彦・舘野正之・ 高杉真司	八千代エ ンジニア リング	地下浅層部の熱利用技術 開発と導入適地評価に関 する研究(その2)	日本地下水学会 2016秋季講演会	2016年 10月20日
12	岩本淳・主原加 菜・富樫聡・後藤 眞宏	八千代エ ンジニア リング	農業用水の熱源利用に関 する導入適地マップの開 発	2017年度農業施設学会講 演要旨	2017年 9 月11日

13	後藤眞宏・奥島里美・三木昂史(農研機構)・高杉真司・舘野正之・小間憲彦(ジオシステム)・木村繁男(小松短期大学)・小松信義(金沢大学)	農研機構・ジオシステム・小松短期大学・金沢大学	開水路へのシート状熱交換器の設置方法と熱交換特性	2017年度農業施設学会大会講演要旨集	2017年9月13日
14		金沢大学		日本地熱学会平成29年度学術講演会講演要旨集	2017年10月18日
15	舘野正之・高杉真司・五十嵐敬愛・小間憲彦	ジオシステム	シート状熱交換器を用いた未利用熱エネルギーの利用可能性調査 ー工場排水熱回収の例ー	日本地熱学会平成29年度学術講演会講演要旨集	2017年10月19日
16	富樫聡・岩本淳・吉田広人・伏見典晃・神谷貴文・村中康秀	八千代エンジニアリング	富士山周辺湧水の熱源利用に関する研究	日本地下水学会 2017 秋季講演会講演予稿	2017年10月24日
17	後藤眞宏・奥島里美・三木昂史(農研機構)・高杉真司・舘野正之・小間憲彦(ジオシステム)・木村繁男(公立小松大学)・小松信義(金沢大学)	農研機構・ジオシステム・公立小松大学・金沢大学	1/3 サイズのシート状熱交換器の熱交換特性	2018年度農業施設学会大会講演要旨集	2018年9月12日
18	舘野正之・高杉真司・五十嵐敬愛・小間憲彦	ジオシステム	シート状熱交換器を用いた未利用熱エネルギーの利用可能性調査 ー工場排水熱回収の例ー	日本地熱学会平成30年度学術講演会講演要旨集	2018年10月19日
19	後藤眞宏・奥島里美・三木昂史(農研機構)・高杉真司・舘野正之・小間憲彦(ジオシステム)・木村繁男(公立小松大学)・小松信義(金沢大学)	農研機構・ジオシステム・公立小松大学・金沢大学	シート状熱交換器の設置方法の違いによる熱交換特性計測結果	日本地熱学会平成30年度学術講演会講演要旨集	2018年11月15日
20	高橋周平(金沢大学), 木村繁男(公立小松大学), 小松信義, 木綿隆弘, 河野孝昭(金沢大学), 後藤眞宏(農研機構)	金沢大学 公立小松大学・農研機構	砂や砂利で覆われたシート状熱交換器の性能評価	日本地熱学会平成30年度学術講演会講演要旨集	2018年11月15日

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

**(c)その他(展示会への出展など)**

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1	後藤眞宏・三木昂史	農研機構	流水中でのシート状熱交換器の熱交換模型の展示	つくばサイエンスクラブ2018科学と環境のフェスティバル	2018年11月

(2-5) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化／地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発

【件数・内訳】

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
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件
H29FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件

【特許】

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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

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

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	近藤武士	日建設計総合研究所	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会第24回地中熱利用シンポジウム	地中熱ポテンシャルマップの標準化と活用	2017年3月
2	近藤武士	日建設計総合研究所	地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションツールの開発(第1報)開発概要および既存機器調査結果	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(高知)	2017年9月
3	斐昇龍	名古屋市立大学	地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションツールの開発(第2報)地中熱ヒートポンプモジュール開発	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(高知)	2017年9月
4	久保隆太郎	日建設計総合研究所	地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションツールの開発(第3報)実績値を用いたシステム運転性能評価と開発モジュールの精度検証	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(高知)	2017年9月
5	近藤武士	日建設計総合研究所	地中熱利用システムシステムシミュレーションの開発	一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 平成30年度第1回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	2018年5月



6	裊昇龍	名古屋市立大学	Evaluation of the Module for HVAC System Combining with Ground-source Heat Pump	Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition	2018年6月
7	尹奎英	名古屋市立大学	地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションツールの開発(第4報)地中熱ヒートポンプと熱交換器モジュールの開発	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(名古屋)	2018年9月

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

**(c)その他(展示会への出展など)**

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

(2-6) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化／都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

【件数・内訳】

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
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	4件	1件	0件
H29FY	0件	0件	0件	0件	2件	2件	2件	0件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	1件	1件

【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	石上孝*1, 木村篤*1, 干場智宏*1, 田子真*2, 大田睦夫*3, 篠澤崇浩*4, 浅海輝夫*5	*1:三菱マテリアルテクノ(株), *2:国立大学法人秋田大学, *3:日本ピーマック(株), *4:成幸利根(株), *5:ヒロセ(株)	《特集:地中熱利用の最新動向》都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発<土留壁方式の開発について>	建築設備と配管工事, 2017年10月号, p.6~11	無	平成29年10月
2	石上孝*1, 木村篤*1, 干場智宏*1, 田子真*2, 大田睦夫*3, 篠澤崇浩*4, 浅海輝夫*5	*1:三菱マテリアルテクノ(株), *2:国立大学法人秋田大学, *3:日本ピーマック(株), *4:成幸利根(株), *5:ヒロセ(株)	TECHNICAL REPORT 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発 土留壁方式の開発について	クリーンエネルギー, 2018年2月号, p.21~26	無	平成30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	赤田拓丈	国立大学法人秋田大学	土留壁方式におけるU字管型地中熱交換器の採熱性能	日本機械学会 東北支部 第52期秋季講演会	平成28年9月
2	石上孝	三菱マテリアルテクノ(株)	都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発 その1:土留壁方式の開発における地中熱交換器設置手法の検討	日本地熱学会 平成28年 学術講演会 郡山大会	平成28年10月
3	木村篤	三菱マテリアルテクノ(株)	都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発 その2:ポンプユニットの開発における試験機的设计	日本地熱学会 平成28年 学術講演会 郡山大会	平成28年10月
4	赤田拓丈	国立大学法人秋田大学	都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発 その3:土留壁方式におけるU字管型地中熱交換器の数値シミュレーション	日本地熱学会 平成28年 学術講演会 郡山大会	平成28年10月
5	赤田拓丈	国立大学法人秋田大学	土留壁内に設置したU字管型地中熱交換器の採熱特性	第54回日本伝熱シンポジウム	平成29年5月
6	石上孝	三菱マテリアルテクノ(株)	都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発~土留壁方式の開発について~	平成29年度 全国鉱山・精錬所現場担当者会議	平成29年6月

7	石上孝	三菱マテリアルテクノ(株)	都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発 その4:土留壁方式のフィールド試験	日本地熱学会 平成30年 学術講演会 東京大会	平成30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	杉山和稔, 石上孝	三菱マテリアルテクノ(株)	ポンプユニット開発進むノ機械室の設計不要に	空調タイムス・週刊, 8ページ	平成29年2月
2	杉山和稔, 石上孝	三菱マテリアルテクノ(株)	都市インフラに相乗り「土留壁方式」で導入コスト削減	空調タイムス・週刊, 15ページ	平成29年10月
3	日本ピーマック(株)	日本ピーマック(株)	地中熱一体型エアコンを改良「5項目でランニング大幅削減へ」	空調タイムス・週刊, 15ページ	平成29年10月
4	杉山和稔, 石上孝	三菱マテリアルテクノ(株)	地中熱の『インフラ化』へノ多彩な方式で他工種へ“相乗り”	空調タイムス・週刊, 7ページ	平成31年1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	石上孝	三菱マテリアルテクノ(株)	都市インフラ活用型地中熱利用システム(GeoCITY ～ジオシティ～)のご紹介	ENEX2019, NPO地中熱利用促進協会共同ブース	平成31年1・2月

(2-7) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価技術の開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌等へ の掲載	その他
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	9件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	2件	0件	28件	0件	2件
H28FY	2件	0件	0件	2件	0件	8件	1件	1件
H29FY	1件	0件	0件	5件	0件	14件	0件	0件
H30FY	5件	0件	0件	8件	0件	16件	1件	2件

【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	日伸テクノ、 鉦研工業	特願 2017- 034791	国内	2017年 2月27日	取得	二重管ロッド脱着装置	柴田和夫、 森広晃
2	北海道大 学、エヌケー システム	特願 2017- 069902	国内	2017年 3月31日	出願中	熱応答試験方法及びプログラ ム	阪田義隆、 長野克則、 葛 隆生、
3	日伸テクノ、 イノアック住 環境	特願 2017- 97070	国内	2017年 5月16日	出願中	熱交換器	柴田和夫 安江伸二 大江基明
4	日伸テクノ、 鉦研工業	特願 2019- 001869	国内	2019年 1月	出願中	掘削方法及び掘削装置	柴田和夫 森広晃 青山昌市 谷川祐紀
5	北海道大学	特願 2018- 109931	国内	2018年 6月	出願中	地盤物性推定システム、地 盤物性推定方法、三次元地 盤情報推定システム、三次 元地盤情報推定方法、プロ グラム及び記録媒体	阪田義隆、 長野克則
6	新日鉄住金 エンジニアリ ング、北海道 大学		国内	2019年 3月	出願中	地中熱利用熱回収ヒートポン プシステムの運転設計方法 および制御システム	中村 靖、 葛 隆生、
7	新日鉄住金 エンジニアリ ング、北海道 大学		国内	2019年 3月	出願中	地中熱ヒートポンプシステム および地中熱ヒートポンプシ ステムの運転方法	中村 靖、 葛 隆生
8	新日鉄住金 エンジニアリ ング、北海道 大学		国内	2019年 3月	出願中	地中熱利用熱回収ヒートポン プシステムおよび地中熱利 用熱回収ヒートポンプシステ ムの運転方法	中村 靖、 葛 隆生

(※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	葛 隆生 長野克則 中村 靖	北海道大学 新日鉄住 金エンジ ニアリング	複層地盤を考慮した地中熱 交換器のシミュレーション ツールの開発とその応用	日本冷凍空調学会論文 集	有	平成 27 年 9 月
2	葛 隆生 長野克則 中村 靖	北海道大学 新日鉄住 金エンジ ニアリング	冷却塔を併用したハイブリッド 地中熱ヒートポンプシステム の設計・性能予測ツール の開発とその応用	日本冷凍空調学会論文 集	有	平成 27 年 9 月
3	阪田義隆, 葛 隆生, 翟健, 長野克則	北海道大 学	地中熱交換器内の熱媒体 温度挙動を用いた地層別 有効熱伝導率の推定	土木学会論文集 G(環 境) 72(3), 50-60	有	平成 28 年 9 月
4	阪田義隆, 葛 隆生, 長野克則, 丸井敦尚,	北海道大 学 産業技術 総合研究 所	井戸データベースを用いた 地盤情報推定システムの開 発, 地質区分のクリギング 推定と逐次パラメータ決定 法	地下水学会誌 59(2),105-123	有	平成 29 年 6 月
5	Yoshitaka Sakata, Takao Katsura, Katsunori Nagano Manabu Ishizuka	北海道大 学	Field analysis of stepwise effective thermal conductivity along a borehole heat exchanger under artificial conditions of groundwater flow	Hydrology, 4(2), 1-12	有	平成 29 年 3 月
6	阪田義隆, 葛 隆生, 長野克則, 丸井敦尚,	北海道大 学 産業技術 総合研究 所	井戸データベースを用いた 地盤情報推定システムの開 発, 地質区分のクリギング 推定と逐次パラメータ決定 法	地下水学会誌, 59(2), 105-123	有	平成 29 年 5 月
7	阪田義隆 葛 隆生 長野克則	北海道大 学	全国地盤物性データベース を用いた地中熱利用ヒート ポンプ暖房システムの導入 効果分析	土木学会論文集 G(環 境), 73(5), 1,89-98	有	平成 29 年 8 月
8	Yoshitaka Sakata, Takao Katsura, Katsunori Nagano,	北海道大 学	Multilayer-concept thermal response test, measurement and analysis methodologies with a case study	Geothermics, 71, 178- 186	有	平成 29 年 10 月
9	阪田義隆 葛 隆生 長野克則,	北海道大 学	確率加重平均法による地盤 の有効熱伝導率の推定に 関する研究	日本地熱学会誌, 40(1)	有	平成 30 年 1 月
10	阪田義隆, 葛 隆生, 長野克則	北海道大 学	地中熱利用ヒートポンプシ ステム導入による CO2 排 出量削減の全国評価, 戸 建住宅への暖房利用を例と して	土木学会論文集 G(環 境), 74(5), 1,359-1,367	有	平成 30 年 8 月
11	阪田義隆 葛 隆生, 長野克則, 丸井敦尚	北海道大 学 産業技術 総合研究 所	井戸データベースを用いた 地盤情報推定システムの開 発その 2, 確率加重平均に よる平均透水係数推定法の 評価	地下水学会誌, 60(3), 273-287	有	平成 30 年 8 月
12	Ahmed A. Serageldin,	北海道大 学	Thermo-hydraulic performance of the U-tube borehole heat exchanger	Energy Conversion and Management 177, 406-415,	有	平成 30 年 9 月

	Yoshitaka Sakata, Takao Katsura, Katsunori Nagano,		with a novel oval cross-section, Numerical approach,			
13	Takao Katsura, Katsunori Nagano,	北海道大学	Simulation Tool for Ground Source Heat Pump System with Multiple Ground Heat Exchangers	ASHRAE Transactions, 124(2),	有	平成 30 年 9 月
14	阪田義隆, 葛 隆生, 長野克則	北海道大学	ライフサイクルコストに基づく地中熱交換器規模の算定と地下水流れがもたらす削減効果の分析, 戸建て住宅を例として	地下水学会, 60(4), 483-494	有	平成 30 年 10 月
15	Yoshitaka Sakata, Takao Katsura, Katsunori Nagano,	北海道大学	Importance of Groundwater Flow on Life Cycle Costs of a Household Ground Heat Pump System in Japan.	Transactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 35(4),89-94	有	平成 30 年 12 月
16	葛 隆生, 中村 靖, 長野克則, 阪田義隆,	北海道大学 新日鉄住金エンジニアリング 北海道大学	少水量対応地中熱ヒートポンプビルマルチシステム設計・性能予測ツールの開発とその応用	日本冷凍空調学会論文集 35(4), 313-324	有	平成 30 年 12 月
17	Takao Katsura, Katsunori Nagano, Yoshitaka Sakata, Hisashi Wakayama	北海道大学	A design and simulation tool for ground source heat pump system using energy piles with large diameter	International Journal of Energy Research, 1-17	有	平成 31 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	長野克則	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究 その1 研究プロジェクトの全体概要	第 49 回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会	平成 27 年 3 月
2	葛 隆生	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究 その2 地理地盤情報を活用した地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールの開発	第 49 回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会	平成 27 年 3 月
3	末次健太	鉾研工業	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究 その3 設置コストを含めた地中熱交換器の性能評価	第 49 回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会	平成 27 年 3 月

4	劉洪芝	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究 その5 地中熱源ヒートポンプの暖房時における高効率化検討	第49回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会	平成27年3月
5	長野克則	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究 その1 研究プロジェクトの全体概要	一般社団法人ヒートポンプ・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	平成27年3月
6	葛 隆生	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究 その2 地理地盤情報を活用した地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールの開発	一般社団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 地下熱利用とヒートポンプ研究会第12回研究発表会	平成27年3月
7	末次健太	鉦研工業	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究 その3 設置コストを含めた地中熱交換器の性能評価	一般社団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 地下熱利用とヒートポンプ研究会第12回研究発表会	平成27年3月
8	劉洪芝	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究 その5 地中熱源ヒートポンプの暖房時における高効率化検討	一般社団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 地下熱利用とヒートポンプ研究会第12回研究発表会	平成27年3月
9	阪田義隆	北海道大学	地盤・地下水DB構築に向けたモデリング手法の比較-札幌扇状地を例として-	一般社団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 地下熱利用とヒートポンプ研究会第12回研究発表会	平成27年3月
10	阪田義隆	北海道大学	地中熱利用ポテンシャル全国マップに向けて(その1)ビックデータからの地盤・地下水DB構築手法	日本地下水学会平成27年春季講演会	平成27年5月
11	Hongzhi Liu	北海道大学	Discussion on methods of achieving a high-efficiency ground source heat pump (GSHP) for space heating,	Greenstock the 13th International Conference on Energy Storage (Beijing, China)	平成27年5月
12	Takao Katsura	北海道大学	Analysis and performance improvement of heat recovery ground heat pump system by using simulation tool	Greenstock the 13th International Conference on Energy Storage (Beijing, China)	平成27年5月
13	長野克則	北海道大学	低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発	日本地熱学会平成27年度学術講演会	平成27年7月
14	葛 隆生	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究その1 研究プロジェクトの全体概要とプロジェクト1年目の研究成果概要	平成27年度空気調和・衛生工学会大会	平成27年9月

15	阪田義隆	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの低コスト・高効率化と設計・評価手法の開発に関する研究その3 地中熱利用ポテンシャルマップに向けた、地盤・地下水情報データベースの構築	平成 27 年度空気調和・衛生工学会大会	平成 27 年 9 月
16	長野克則	北海道大学	低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発	平成 27 年度第 2 回地中熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
17	末次健太	鉦研工業	低コスト・高効率垂直型地中熱交換器の構築	平成 27 年度第 2 回地中熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
18	大江基明	イノアック住環境	高効率で低コストな地中熱交換器と配管部材の開発	平成 27 年度第 2 回地中熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
19	久保田康幹	サンポット	低コスト・高効率な多機能・多熱源対応連結型ヒートポンプモジュールの開発	平成 27 年度第 2 回地中熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
20	葛 隆生	北海道大学	低コスト・高効率化に寄与する地中熱ヒートポンプ最適運転制御システムの開発	平成 27 年度第 2 回地中熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
21	阪田義隆	北海道大学	地中熱利用ポテンシャルマップに向けた、地盤・地下水情報データベースの構築	平成 27 年度第 2 回地中熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
22	阪田義隆	北海道大学	地下水流動を考慮した地中熱ヒートポンプシステムに関する最新の研究動向	第 23 回 衛生工学シンポジウムプログラム	平成 27 年 11 月
23	Katsunori Nagano	北海道大学	Prospects of R&D activities on heat pump and thermal energy storage in Nagano's Lab	Japan-China-Korea Innovative Heat Pump Seminar (Sapporo, Japan)	平成 28 年 1 月
24	Takao Katsura	北海道大学	Analysis and performance improvement of ground heat pump system by using monitoring data and simulation tool	Japan-China-Korea Innovative Heat Pump Seminar (Sapporo, Japan)	平成 28 年 1 月
25	Yoshitaka Sakata	北海道大学	A total design & management web system for use of ground thermal energy in Japan	Japan-China-Korea Innovative Heat Pump Seminar (Sapporo, Japan)	平成 28 年 1 月
26	小野雅敏	イノアック住環境	各種地中熱交換方式のご紹介	ENEX2016 特定非営利活動法人地中熱利用促進協会共同出展 協会会員企業紹介	平成 28 年 1 月
27	葛 隆生 阪田義隆	北海道大学	地理地盤情報を活用した設計性能予測ツールの開発とポテンシャル評価手法・評価マップの作製	平成 27 年度 NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発報告研究成果中間発表会	平成 28 年 3 月
28	森 広晃	鉦研工業	低コスト化に寄与する地中熱交換器の削孔機・工法の開発	平成 27 年度 NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発報告研究成果中間発表会	平成 28 年 3 月



29	大江基明	イノアック住環境	高効率で低コストな地中熱交換器と配管部材の開発	平成 27 年度 NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発報告研究成果中間発表会	平成 28 年 3 月
30	久保田康幹	サンポット	低コスト・高効率な多機能・多熱源対応連結型ヒートポンプモジュールの開発	平成 27 年度 NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発報告研究成果中間発表会	平成 28 年 3 月
31	中村 靖	北海道大学	低コスト・高効率化に寄与する地中熱ヒートポンプ最適運転制御システムの開発	平成 27 年度 NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発報告研究成果中間発表会	平成 28 年 3 月
32	鈴木輝彦	ジーエムラボ	設計・性能予測シミュレーションツールの開発	平成 27 年度 NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発報告研究成果中間発表会	平成 28 年 3 月
33	阪田義隆	北海道大学	地盤・地下水データベースに基づく地中熱利用ポテンシャルマップと設計性能予測ツールの開発	平成 27 年度第 4 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 28 年 3 月
34	中村 靖	北海道大学	地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの最適制御システムの開発	平成 27 年度第 4 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 28 年 3 月
35	阪田義隆	北海道大学	地盤・地下水データベースに基づく地中熱利用ポテンシャルマップと設計性能予測ツールの開発(その 1)3 次元地質情報の推定手法及びデータベースの構築	空気調和・衛生工学会北海道支部第 50 回学術講演会	平成 28 年 3 月
36	葛 隆生	北海道大学	地中熱熱回収ヒートポンプシステムの設計手法と最適制御システムの開発に関する研究(その 1)地中熱熱回収ヒートポンプシステムの最適制御システムとフィールド試験の概要	空気調和・衛生工学会北海道支部第 50 回学術講演会	平成 28 年 3 月
37	阪田義隆	北海道大学	全国地中熱利用ポテンシャルマップの構築	第 24 回地中熱利用シンポジウム「地中熱ポテンシャルマップ」	平成 28 年 3 月
38	阪田義隆	北海道大学	全国地中熱利用ポテンシャルマップに向けた取り組み, その 1 井戸データベースを用いた地盤情報推定システムの開発	日本地下水学会 2016 年秋季講演会	平成 28 年 10 月
39	松浦恭介	ジーエムラボ	全国地中熱利用ポテンシャルマップに向けた取り組み, その 3 地盤情報推定と地中熱設計シミュレーションが可能な Web システムの開発	日本地下水学会 2016 年秋季講演会	平成 28 年 10 月
40	中村 靖	新日鉄住金エンジニアリング	NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発地中熱熱回収ヒートポンプ(HR-GSHP)の最適制御システムの開発	平成 28 年度第 4 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 29 年 3 月
41	葛 隆生	北海道大学	最適化手法を応用した地中熱熱回収ヒートポンプシステムの設計手法の確立	平成 28 年度第 4 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 29 年 3 月

42	阪田義隆	北海道大学	全国地中熱利用ポテンシャルマップの構築その1, 土・水・熱の国土データベースの開発と, それを用いたポテンシャルマッピング手法	平成 28 年度第 4 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 29 年 3 月
43	阪田義隆	北海道大学	全国地中熱利用ポテンシャルマップの構築その2, 住宅向け冷暖房標準ヒートポンプシステムに必要な地中熱交換器長さとそのコスト・エネルギー性能に関する地域評価	平成 28 年度第 4 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 29 年 3 月
44	阪田義隆	北海道大学	地盤・地下水データベースに基づく地中熱利用ポテンシャルマップと設計性能予測ツールの開発 その3 地質区分の予測分布確率を用いた熱・水理物性値の推定	空気調和・衛生工学会北海道支部第 51 回学術講演会	平成 29 年 3 月
45	葛 隆生	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールにおける地中温度計算の高速化・高精度化に関する検討	空気調和・衛生工学会北海道支部第 51 回学術講演会	平成 29 年 3 月
46	Takao Katsura	北海道大学	Development of Optimum Design Method for the Heat Recovery Ground Source Heat Pump System	Proceedings of IEA Heat Pump Conference 2017	平成 29 年 5 月
47	Takao Katsura	北海道大学	Investigation of a Design and Operation Method for a Heat Recovery Ground Source Heat Pump System	Proceedings of ASHRAE Annual Conference, Conference Paper Session 12, Long Beach	平成 29 年 6 月
48	Yoshitaka Sakata	北海道大学	Assessment of efficiency and potential of a ground source heat pump system under geological complexity in Japan, Kobe	IASPEI Symposium	平成 29 年 8 月
49	中村 靖	新日鉄住金エンジニアリング	地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの設計手法と最適制御システムの開発に関する研究 (その1) 地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの概要と間接熱回収効果の定量評価	空気調和・衛生工学会大会論文集	平成 29 年 9 月
50	葛 隆生	北海道大学	地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの設計手法と最適制御システムの開発に関する研究 (その2) 最適化手法を応用した地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの設計手法の確立	平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会論文集	平成 29 年 9 月
51	長野克則	北海道大学	全国地盤物性データベースを用いた地中熱利用ヒートポンプ暖房システムの導入効果分析	第 25 回土木学会地球環境シンポジウム	平成 29 年 9 月
52	阪田義隆	北海道大学	三次元地盤情報システムと環境経済指標の最適化による地中熱利用ポテンシャルマップ(その1) 概要と手法	日本地下水学会 2017 年秋季講演会	平成 29 年 10 月
53	阪田義隆	北海道大学	全国地盤情報データベースを用いた地中熱ヒートポンプシステムの導入効果分析	日本地熱学会平成 29 年度学術講演会	平成 29 年 10 月

54	葛 隆生	北海道大学	層構造と有効熱伝導率分布を同時推定可能な熱応答試験法の開発	日本地熱学会平成29年度学術講演会	平成29年10月
55	阪田義隆	北海道大学	全国地中熱ポテンシャルマップ構築への取り組みー大阪平野における地中熱利用の可能性と課題ー	地下水技術協会大阪講演会	平成29年11月
56	Yoshitaka Sakata	北海道大学	A construction of nationwide 3D geodatabase using deep well data,	Special lectures on environmental groundwater systems in UAE university, Al-Ain, UAE	平成29年11月
57	長野克則	北海道大学	垂直埋設型スパイラル地中熱交換器の採放熱性能評価に関する研究その6 中京地区における既製コンクリート基礎杭内部に挿入されたスパイラル地中熱交換器を用いた地中熱源ヒートポンプ暖冷房システムの年間性能予測	空気調和衛生工学会北海道支部学術講演会	平成30年3月
58	Ahmed A. Serageldin	北海道大学	Numerical investigation on thermal performance of ground heat exchanger with different U-tube cross	空気調和衛生工学会北海道支部学術講演会	平成30年3月
59	阪田義隆	北海道大学	地盤・地下水データベースに基づく地中熱利用ポテンシャルマップと設計性能予測ツールの開発 その5 ライフサイクルコストと環境貢献効果に基づく地中熱交換器規模の決定	空気調和衛生工学会北海道支部学術講演会	平成30年3月
60	Yoshitaka Sakata	北海道大学	National-Scale Evaluation of Ground Source Heat Pump Systems Considering Geologic Complexity in Japan	6 <sup>th</sup> International Conference on Cryogenics & Refrigeration, Shanghai (China)	平成30年4月
61	Yoshitaka Sakata	北海道大学	Nation scale potential of CO2 emission reduction by ground source heat pump system in Japan with geologic complexity	Grand Renewable Energy, Yokohama (Japan)	平成30年6月
62	Ahmed A. Serageldin	北海道大学	Numerical simulations on thermal performance of ground heat exchanger with different U-tube cross sections	Grand Renewable Energy, Yokohama (Japan)	平成30年6月
63	Takao Katsura	北海道大学	Estimation of Groundwater Velocity Using Thermal Response Test Result	Grand Renewable Energy, Yokohama (Japan)	平成30年6月
64	Yoshitaka Sakata	北海道大学	Importance of groundwater flow on life cycle costs of a ground heat pump system in the standard residence of Japan	9 <sup>th</sup> Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning	平成30年6月
65	Takao Katsura	北海道大学	Simulation Tool for Ground Source Heat Pump System with Multiple Ground Heat Exchangers, ASHRAE Annual Conference	Technical Paper Session 3, Houston	平成30年6月

66	阪田義隆	北海道大学	三次元地盤物性情報に基づく地中熱利用システム導入による環境貢献効果の全国評価	土木学会年次学術講演会	平成30年8月
67	阪田義隆	北海道大学	地中熱利用ヒートポンプシステム導入によるCO2排出量削減の全国評価、戸建住宅への暖房利用を例として	第26回土木学会地球環境シンポジウム	平成30年9月
68	中村 靖	新日鉄住金エンジニアリング	地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの設計手法と最適制御システムの開発に関する研究(その4)最適制御システムの概要と動作検証試験	平成30年度 空気調和・衛生工学会大会論文集	平成30年9月
69	長野克則	北海道大学	既製コンクリート基礎杭内部に挿入されたスパイラル地中熱交換器の採放熱性能評価と中京地区における地中熱源ヒートポンプ暖冷房システムの年間性能予測例	平成30年度 空気調和・衛生工学会大会論文集	平成30年9月
70	阪田義隆	北海道大学	冷熱応答試験の紹介と実施例	日本地熱学会平成30年度学術講演会	平成30年10月
71	長野克則	北海道大学	地中熱ヒートポンプシステムの導入可能性の全国評価手法と評価例	日本地熱学会平成30年度学術講演会	平成30年10月
72	阪田義隆	北海道大学	必要地中熱交換器長さの全国評価と算定モデル構築に関する研究	日本地下水学会2017年秋季講演会	平成30年10月
73	Yoshitaka Sakata	北海道大学	Estimation of Required Lengths for a Borehole Heat Exchanger in a Household Ground-source Heat Pump System Considering the Varied Geology and Climate of Japan	6th Annual 2018 International Conference on Geo-Spatial Knowledge and Intelligence, Wuhan (China)	平成30年12月
74	阪田義隆	北海道大学	地盤・地下水データベースに基づく地中熱利用ポテンシャルマップと設計性能予測ツールの開発 その8 全国主要流域の地下水シミュレーション結果の高解像度化による最適地中熱交換器規模の決定法	空気調和衛生工学会北海道支部学術講演会	平成31年3月
75	中村 靖	新日鉄住金エンジニアリング	地中熱熱回収ヒートポンプシステムの設計手法と最適制御システムの開発に関する研究 その9 フィールド試験とシミュレーションによるシステムの導入効果検討	空気調和衛生工学会北海道支部学術講演会	平成31年3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	サンポット	サンポット	ヒートポンプ製造工場建設(平成30年度)による雇用創出	岩手日報	平成28年4月
2	鉦研工業	鉦研工業	地中熱利用システム専用の新型掘削機を開発一掘削時間と作業人員の大幅削減により、コスト低減に貢献一	NEDOホームページ	平成30年6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	サンポット		地中熱ヒートポンプ冷暖房システム GeoCON	サンポットホットミーティング2015	平成 27 年 5 月
2	イノアック住環境		「地中熱」を利用するヒートポンプシステムの熱交換器	第40回地球環境とエネルギーの調和展 ENEX2016	平成 28 年 1 月
3	サンポット		地中熱ヒートポンプ冷暖房システム GeoCON	サンポットホットミーティング2016	平成 28 年 5 月
4	鉦研工業		地中熱利用システム専用の新型削孔機のポスター(ビデオ)展示	bauma China	平成 30 年 11 月
5	北海道大学、ジーエムラボ		Ground Club Cloud の操作演習	地中熱利用促進協会第7回地中熱設計講座	平成 30 年 12 月

(2-7) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、及び、再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発/地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化

【件数・内訳】

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
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	8件	2件	0件
H27FY	0件	0件	0件	2件	2件	12件	2件	1件
H28FY	1件	0件	0件	2件	0件	8件	5件	0件
H29FY	0件	0件	0件	2件	0件	13件	4件	1件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	17件	7件	2件

【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(株)	特願 2016-222718号	国内	2016年 11月15日	出願中	ヒートポンプシステム	藤井 光 柴 芳郎 駒庭 義人

(※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	Fujii, H., Kosukegawa, H., Onishi, K.	Akita Univ.	Effect of water injection into a ground heat exchanger drilled in a low- $\lambda$ formation.	Proc. World Geothermal Congress 2015, CD.	無	平成 27 年 4 月
2	Kosukegawa, H., Fujii, H.	Akita Univ.	Development of thermal response test device with automatic control system.	Proc. World Geothermal Congress 2015, CD.	無	平成 27 年 4 月
3	Farabi, H.,Fujii, H.	Akita Univ.	Improvement of the capacity of ground heat exchangers by water injection,	Geothermal Resources Council Transactions, Vol.39, 109-115.	有	平成 27 年 8 月
4	藤井光,小助川洋幸, ハティファラビ,サイド ジャリナスラハティ	秋田大学	サーマルレスポンス試験の非充填型熱交換井への適用に関する実験的検討	日本地熱学会誌、Vol.38,2016	有	平成 28 年 6 月
5	Shrestha, G., Uchida, Y., Yoshioka, M., Fujii, H., Ioka, S.	AIST.	Assessment of development potential of ground-coupled heat pump system in Tsugaru Plain, Japan.	Renewable Energy, Vol.76, 249-257.	有	平成 27 年 1 月
6	シュレスタ ガウラブ,内田洋平,吉岡真弓,藤井光,井岡聖一郎	産業技術総合研究所	地中熱ヒートポンプシステムにおけるポテンシャルマップの高度化	日本地熱学会誌, Vol. 37,113-141.	有	平成 27 年 12 月
7	藤井光, 浅井寛明, 糸井龍一	秋田大学	坑井内での注水や揚水を伴う地中熱交換システムに関する数値シミュレーション	日本地熱学会誌, Vol. 39,39-48.	有	平成 28 年 12 月
8	Farabi, H.,Fujii, H., Kosukegawa, H.	秋田大学	Semi-open Loop Ground Source Heat Pump System: Heating Tests, Numerical Modeling and Sensitivity Analysis.	日本地熱学会誌, Vol. 39,81-92.	有	平成 28 年 12 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	内田洋平	産業技術総合研究所	福島再生可能エネルギー研究所地中熱チームの概要と研究計画	平成 26 年度 日本地熱学会弘前大会	平成 26 年 10 月 30 日
2	シュレスタ ガウラブ	産業技術総合研究所	広域における地中熱利用の適地評価	平成 26 年度 日本地熱学会弘前大会	平成 26 年 10 月 30 日
3	藤井 光	秋田大学	秋田平野における地中熱利用適地マップの作成	平成 26 年度 日本地熱学会弘前大会	平成 26 年 10 月 29 日
4	Shrestha ,G.	AIST	Evaluation of usage potential of ground-source heat energy in regional scale.	平成 26 年度 日本地下水学会熊本大会	平成 26 年 11 月 6 日
5	内田洋平	産業技術総合研究所	地中熱ヒートポンプシステムの普及状況と最近のトピックス	平成 27 年 第 1 回福島県さく井技術協会講演会	平成 27 年 1 月 29 日
6	山谷 睦	日本地下水開発	高効率帯水層蓄熱システムの開発－研究開発の概要－	平成 26 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 3 月 3 日
7	小助川洋幸	秋田大学	人工的な坑井内流れを用いた地中熱交換器の能力改善効果の評価	平成 26 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 3 月 3 日
8	藤井 光	秋田大学	熱交換井内への注水による熱交換能力向上に関する数値モデリング	平成 26 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 3 月 3 日
9	Fujii, H.	Akita Univ.	Effect of water injection into a ground heat exchanger drilled in a low- $\lambda$ formation.	World Geothermal Congress 2015	平成 27 年 4 月 20 日
10	Kosukegawa, H.	Akita Univ.	Development of thermal response test device with automatic control .	World Geothermal Congress 2015	平成 27 年 4 月 23 日
11	Shrestha, G.	AIST	Analysis of groundwater flow system for potential assessment of ground-source heat pump system in regional scale.	Japan Geoscience Union Meeting 2015	平成 27 年 5 月 27 日
12	Shrestha ,G.	AIST	Potential evaluation of ground-source heat energy use in Tsugaru Plain of Japan.	Grand Renewable Energy 2014 International Conference	平成 27 年 7 月 30 日
13	内田洋平	産業技術総合研究所	地中熱利用に関する産業技術総合研究所の取り組み	公益財団法人ちゅうごく産業創造センター 第 1 回環境・エネルギー技術事業化交流会	平成 27 年 8 月 7 日
14	シュレスタ ガウラブ	産業技術総合研究所	会津盆地における地中熱利用ポテンシャル評価	平成 27 年度 日本地熱学会別府大会	平成 27 年 10 月 21 日
15	藤井 光	秋田大学	秋田平野における地中熱利用適地マップの高度化	平成 27 年度 日本地熱学会別府大会	平成 27 年 10 月 21 日
16	山谷 睦	日本地下水開発	「日本の風土に適した地中熱利用システムの技術開発」、パネラー	平成 27 年 日本地熱学会学術講演会NEDOセッション	平成 27 年 10 月 22 日
17	山谷 睦	日本地下水開発株式会社	地下水を利活用した高効率地中熱システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化	平成 27 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月 28 日

18	山谷 睦	日本地下水開発株式会社	地下水を利活用した高効率地中熱システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化	平成 27 年度 NEDO 新エネルギー成果報告会 熱利用分野	平成 27 年 10 月 28 日
19	内田洋平	産業技術総合研究所	地中熱システムのポテンシャル評価	ENEX2016/Smart Energy Japan2016/新電力 EXPO2016 カンファレンス	平成 28 年 1 月 27 日～29 日
20	Shrestha, G.	AIST	Performance evaluation of ground-source heat pump system and development of suitability map for its installation.	2015 AGU Fall Meeting	平成 27 年 12 月 15 日
21	井上 純	日本地下水開発株式会社	帯水層蓄熱冷暖房システムの稼働を想定した帯水層内温度変化シミュレーション	平成 28 年度 日本地熱学会郡山大会	平成 28 年 10 月 19 日
22	正木一郎	ゼネラルヒートポンプ工業(株)	NEDO 技術開発について	平成 28 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 29 年 3 月 6 日
23	小助川洋幸	秋田大学	半開放式地中熱利用システムにおける熱交換能力改善効果の評価～実証試験	平成 28 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 29 年 3 月 6 日
24	藤井 光	秋田大学	半開放式地中熱利用システムによる熱交換能力改善効果の評価～数値解析と経済性の検討	平成 28 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 29 年 3 月 6 日
25	石原武志	産業技術総合研究所	郡山盆地で掘削されたオールコアの層序(第 1 報)	日本地理学会春季学術大会	平成 29 年 3 月 28 日
26	内田洋平	産業技術総合研究所	広域地下水流動・熱輸送モデルを用いた地中熱ポテンシャルマップの作成	第 24 回地中熱利用シンポジウム	平成 29 年 3 月 1 日
27	吉岡真弓	産業技術総合研究所	コア試料を用いた熱物性計測と見かけ熱伝導率の比較検討	平成 28 年度 日本地熱学会郡山大会	平成 28 年 10 月 19 日
28	吉岡真弓	産業技術総合研究所	NEDO プロジェクトにおける最近の研究成果 ポテンシャルマップの高度化を目指して	平成 28 年度第 2 回ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	平成 28 年 8 月 26 日
29	黒沼 覚	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研究開発	日本地下水学会 2017 年度秋季講演会	平成 29 年 10 月 12 日
30	井上 純	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おける地下温度の推定と効率的運用について	日本地下水学会 2017 年度秋季講演会	平成 29 年 10 月 12 日
31	黒沼 覚	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稼働と太陽光集熱器を用いた帯水層の温度回復	日本地熱学会平成 29 年度学術講演会	平成 29 年 10 月 18 日
32	井上 純	日本地下水開発株式会社	帯水層蓄熱冷暖房システムにおける地下温度挙動の推定と効率的運用について	日本地熱学会平成 29 年度学術講演会	平成 29 年 10 月 18 日
33	井上 純	日本地下水開発株式会社	帯水層蓄熱冷暖房システムにおける地下温度挙動の推定と効率的運用について	平成 29 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 30 年 3 月 2 日



34	黒沼 覚	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稼働と太陽光集熱器を用いた帯水層の温度回復	平成 29 年度 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 30 年 3 月 2 日
35	高橋 唯	中外テクノス(株)	細菌群解析を用いた環境影響評価	第 25 回日環協・環協セミナー全国大会千葉	平成 29 年 10 月 13 日
36	高橋 唯	中外テクノス(株)	細菌群解析を用いた環境影響評価	第 29 回環境測定技術事例発表会	平成 29 年 11 月 14 日
37	小助川洋幸	秋田大学	半開放式地中熱利用システムにおける熱交換能力改善効果および経済性の評価	日本地熱学会平成 29 年度学術講演会	平成 29 年 10 月 18 日
38	Hikari Fujii	Akita Univ.	Effect of Ground Source Heat Pump System	日本地熱学会平成 29 年度学術講演会	平成 29 年 10 月 18 日
39	吉岡真弓	産業技術総合研究所	東北地域における地盤の熱伝導率と見かけ熱伝導率の比較検討	日本地下水学会 2017 年度秋季講演会	平成 29 年 10 月 12 日
40	内田洋平	産業技術総合研究所	郡山盆地における地下温度プロフィールの特徴	日本地熱学会平成 29 年度学術講演会	平成 29 年 10 月 18 日
41	石原武志	産業技術総合研究所	会津盆地と郡山盆地における浅部地下地層層序と透水係数の対比	日本地熱学会平成 29 年度学術講演会	平成 29 年 10 月 18 日
42	J. Inoue	JGD. Co., LTD	Operating High-Efficiency Aquifer Thermal Energy Storage system cooling Heating system and recovering the temperatures of aquifers using solar collectors.	Ground Renewable Energy 2018	平成 30 年 6 月 8 日
43	加藤 渉	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システムの実証試験について	日本地下水学会 2018 年度秋季講演会	平成 30 年 10 月 26 日
44	井上 純	日本地下水開発株式会社	数値シミュレーションによる帯水層蓄熱システムの適正配置	日本地下水学会 2018 年度秋季講演会	平成 30 年 10 月 26 日
45	加藤 渉	日本地下水開発株式会社	高効率帯水層蓄熱システムの実証試験について	日本地熱学会平成 30 年度学術講演会	平成 30 年 11 月 14 日
46	井上 純	日本地下水開発株式会社	数値シミュレーションによる高効率帯水層蓄熱冷暖房システムの井戸配置の検討	日本地熱学会平成 30 年度学術講演会	平成 30 年 11 月 14 日
47	小助川洋幸	秋田大学	半開放式地中熱利用システムを用いた長期暖房試験	日本地熱学会平成 30 年度学術講演会	平成 30 年 11 月 16 日
48	Fujii, H	Akita Univ.	Improvement of Efficiency of GSHP Systems using Artificial Groundwater Flow	45 <sup>th</sup> IAHR Congress	平成 30 年 9 月 10 日
49	Shrestha, G.	AIST	Evaluation of suitable areas for ground-source heat pump system based on groundwater-heat transport analysis	日本地下水学会 2017 年度春季講演会	平成 30 年 5 月 19 日

50	吉岡真弓	産業技術総合研究所	水文地質環境に適した地中熱利用システムの選定	日本地熱学会平成30年度学術講演会	平成30年11月16日
51	内田洋平	産業技術総合研究所	仙台平野における地中熱ポテンシャル評価	日本地熱学会平成30年度学術講演会	平成30年11月16日
52	シュレスタガウラブ	産業技術総合研究所	寒冷地における季節間での熱応答試験結果の変化	日本地熱学会平成30年度学術講演会	平成30年11月15日
53	石原武志	産業技術総合研究所	仙台平野の地下地質構造と深度別有効熱伝導率分布図	日本地熱学会平成30年度学術講演会	平成30年11月15日
54	石原武志	産業技術総合研究所	地質情報を活用した有効熱伝導率の推定	平成30年度第2回ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	平成31年1月25日
55	内田洋平	産業技術総合研究所	地形・地質構造が地中熱ポテンシャルに与える影響要因	平成30年度第2回ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	平成31年1月25日
56	シュレスタガウラブ	産業技術総合研究所	NEDOプロジェクトにおける研究成果その1-東北地域の地中熱ポテンシャル評価-	平成30年度第2回ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	平成31年1月25日
57	吉岡真弓	産業技術総合研究所	NEDOプロジェクトにおける研究成果その2-オープンループの地中熱ポテンシャル評価-	平成30年度第2回ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	平成31年1月25日
58	Kosukegawa H.	Akita Univ.	Long-term heating using the semi-open Loop ground source heat pump system.	Stanford Geothermal Workshop 2019	平成31年2月11日

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1	日本地下水開発		11面【特集企画】「魅力的な熱源”地下水”を生かすために」	環境新聞	平成27年1月
2	日本地下水開発		15面【環境】「地中熱利用を高度化」	日刊工業新聞	平成27年2月
3	日本地下水開発		番組「えこいろ」で放映	テレビユー山形	平成27年6月
4	日本地下水開発		番組「NHKニュースやまがた6時」のニュース映像として放映	NHK山形放送局	平成27年7月
5	日本地下水開発		再生可能エネルギー特集号の事例紹介	環境新聞	平成28年6月
6	日本地下水開発		「市場をつくる面」に掲載	日刊工業新聞	平成28年12月
7	日本地下水開発		「NEDO事業」での取り組み紹介	環境新聞	平成29年2月
8	日本地下水開発		「特集企画面」でNEDO事業の紹介	環境新聞	平成29年2月

9	日本地下水開発		番組「えこいろ」で放映	テレビユー山形	平成 29 年 3 月
10	日本地下水開発		5 面【特集企画】「NEDO 事業で開発進む高効率帯水層蓄熱システム」	環境新聞	平成 29 年 11 月
11	日本地下水開発		7 面「高効率帯水層蓄熱システム 密閉型井戸で全量注水」	空調タイムス	平成 30 年 2 月
12	日本地下水開発		山形版「地下水まわして快適冷暖房」	朝日新聞	平成 30 年 3 月
13	ゼネラルヒートポンプ工業		4 面「地下水利用ヒートポンプ開発」	中部経済新聞	平成 30 年 2 月
14	日本地下水開発		「国内初高効率帯水層蓄熱システムを開発」を掲載	環境新聞	平成 30 年 6 月
15	日本地下水開発		「地下帯水層冷暖房に活用国内初、作熱システム開発」	河北新報	平成 30 年 7 月
16	日本地下水開発		「蓄熱を循環冷暖房に、国内初高効率でコスト削減」	山形新聞	平成 30 年 8 月
17	日本地下水開発		社説放送「新帯水層蓄熱冷暖房システム」で放映	山形放送	平成 30 年 9 月
18	日本地下水開発		8 面【地中熱特集】「高効率帯水層蓄熱システム懸念事項をほぼ解決」掲載	空調タイムス	平成 30 年 10 月
19	日本地下水開発		高効率帯水層蓄熱システムの開発-NEDO 委託業務の概要と成果-	クリーンエネルギー Vol.27 No.1 48-54	平成 30 年 12 月
20	日本地下水開発		国内初高効率帯水層蓄熱冷暖房システム	建築設備と配管工事 Vol.57 No.1 48-54	平成 31 年 1 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	日本地下水開発		地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化	ENEX2016/Smart Energy Japan 2016/ 新電力 EXPO2016	平成 28 年 1 月
2	日本地下水開発		「高効率帯水層蓄熱システム」の紹介	ENEX2018/Smart Energy Japan 2018/ 新電力 EXPO2018	平成 30 年 1 月
3	日本地下水開発		「高効率帯水層蓄熱システム」の紹介	2019NEW 環境展	平成 30 年 5 月
4	日本地下水開発		「高効率帯水層蓄熱システム」の紹介	ENEX2019/Smart Energy Japan 2019/ 新電力 EXPO2019	平成 31 年 1 月

(2-9) 地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、及び、再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究

【件数・内訳】

年度	区分	特許出願			論文		その他外部発表		
		国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	査読 なし	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H26FY		0件	0件	0件	1件	0件	3件	14件	2件
H27FY		0件	0件	0件	1件	0件	10件	26件	8件
H28FY		0件	0件	0件	2件	0件	21件	6件	3件
H29FY		0件	0件	0件	3件	0件	10件	6件	1件
H30FY		0件	0件	0件	2件	0件	13件	17件	1件

【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	A.Funabiki, T.Sato and M.Oguma	日本 大学	Research & Development of the Ground Source Heat Reference Map	3rd International Conference on Renewable Energy and Applications	有	平成 26 年 10 月
2	A.Funabiki, T.Yabuki and M.Oguma,	日本 大学	Optimum Heating Pattern of a Ground Source Heat Reference Map	ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability collocated with the ASME 2015 Power Conference	有	平成 27 年 6 月
3	A.Funabuki and M.Oguma	日本 大学	Effects of Groundwater Flow on a Ground Source Heat Pump System	Journal of Thermal Science and Engineering Applications, TSEA-16- 1165, ASME	有	平成 28 年 12 月
4	M. Oguma, A. Funabiki and M. Endo	日本 大学	Evaluation of Measurement Accuracy of Underground Thermometers Using Steel-Pipe Piles	Journal of Energy and Power Engineering, 10 (2016), 385-391	有	平成 28 年 7 月
5	A. Funabiki and M.Seto	日本 大学	Late Quaternary alluvial fan formation and climatic change in the Konan District,Koriyama, Northern Japan	The 33rd International Geographical Congress (2017)	有	平成 28 年 11 月
6	T.Sato, M.Ikuta, T.Kakizaki and M.Oguma	日本 大学	System Dynamics of Ground Source Heat Pump System by Numerical Simulation (Basic Calculation Algorithm of Simulation)	The 9th JSME—KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (2017).	有	平成 29 年 10 月
7	T.Kakizaki, C.Kageyama and M.Oguma	日本 大学	Modeling the Drill Bit for Rotational Burying Steel Pipe for Ground Source Heat Exchanger	ASME International Mechanical Congress and Exposition 2017, IMECE2017-70020.	有	平成 29 年 11 月
8	H.Taira, T.Sato, T.Kakizaki and M.Oguma	日本 大学	Enhanced Ground Source Heat Pump System with Thermal Storage System	ASME 2018 Power and Energy Conference,ES2018- 7330.	有	平成 30 年 6 月

9	H. Taira, T. Sato, T. Kakizaki and M. Oguma,	日本大学	Enhanced Ground Source Heat Pump System with Thermal Storage	J. Energy Resour. Technol, 141(6), 061902, ASME	有	平成 31 年 1 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	発表年月日
1	柿崎隆夫	日本大学	浅部地中熱利用システムの研究開発	第3回 ふくしま復興 再生可能エネルギー産業フェア REIF2014	平成 26 年 12 月 3 日
2	小熊正人	日本大学	日本大学工学部における地中熱利用技術開発の現状	地中熱利用セミナー(白河市主催)	平成 27 年 2 月 18 日
3	柿崎隆夫	日本大学	ロハスの工学による再生可能エネルギーR&D 拠点の形成に向けて	第4回「ロハスの工学」市民公開シンポジウム	平成 27 年 3 月 15 日
4	小熊正人	日本大学	浅部地中熱利用の継続的事業化に向けた研究開発	日本大学熱工学研究会	平成 27 年 8 月 24 日
5	船引彩子	日本大学	地中熱利用における採熱量期待値表示システム	第 50 回地盤工学研究発表会	平成 27 年 10 月 9 日
6	柿崎隆夫	日本大学	一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究	NEDO 新エネルギー成果報告会	平成 27 年 10 月 28 日
7	柿崎隆夫	日本大学	一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究	日本地熱学会	平成 27 年 10 月 21 日
8	柿崎隆夫	日本大学	サステナブルな地中熱利用システム	地中熱利用シンポジウム	平成 27 年 12 月 8 日
9	柿崎隆夫	日本大学	回転埋設鋼管杭の貫入メカニズム可視化に関する実験的検討”	計測自動制御学会 SI 部門講演会 2015	平成 27 年 12 月 14 日
10	柿崎隆夫	日本大学	回転埋設鋼管杭の運動特性に関する実験的検討	日本機械学会 MSD 部門講演会 2016.	平成 28 年 3 月 14 日
11	小熊正人	日本大学	地中熱利用による省エネの基礎知識と技術解説	群馬県環境GSマネージャー研修会・省エネ技術セミナー	平成 28 年 1 月 26 日
12	小熊正人	日本大学	浅部地中熱利用の継続的事業化	ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	平成 28 年 2 月 2 日
13	小熊正人	日本大学	浅部地中熱利用の事業化における大学の役割と地域連携	日本大学地域連携シンポジウム	平成 28 年 7 月 15 日
14	小熊正人	日本大学	日大工学部の一般住宅向け地中熱利用システムの開発状況	エコハウス研究会福島大会	平成 28 年 5 月 29 日
15	柿崎隆夫	日本大学	サステナブルな地中熱利用システム	2016 STOP 地球温暖化！推進フォーラム	平成 28 年 5 月 26 日
16	小熊正人	日本大学	日大工学部の一般住宅向け地中熱利用システムの開発状況	エコハウス研究会福島大会	平成 28 年 5 月 29 日
17	小熊正人	日本大学	地中熱利用の継続的事業における展望と課題	群馬県地中熱利用研究会講演会	平成 28 年 7 月 6 日
18	柿崎隆夫	日本大学	浅部地中熱利用マルチ熱供給システムの研究開発【基調講演】	日本冷凍空調学会年次大会	平成 28 年 9 月 6 日
19	小熊正人	日本大学	浅部地中熱地中熱向けヒートポンプシステム開発—ブライン式ヒートポンプの性能	日本冷凍空調学会年次大会	平成 28 年 9 月 6 日

20	船引綾子	日本大学	地中熱リファレンスマップの研究—共通表示プラットフォームの開発	日本冷凍空調学会年次大会	平成 28 年 9 月 6 日
21	及川正義	日商 テクノ	2 重管式地中熱交換器の採熱特性	日本機械学会年次大会	平成 28 年 9 月 11 日
22	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用システムのモデリングに関する検討	日本機械学会東北支部 第52期秋季講演会	平成 28 年 9 月 17 日
23	柿崎隆夫	日本大学	回転埋設鋼管杭先端の運動特性に関する実験的検討	日本機械学会東北支部 第52期秋季講演会	平成 28 年 9 月 17 日
24	柿崎隆夫	日本大学	一般住宅用地中熱利用システムの動的熱特性の研究(システムモデルの検討)	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2016	平成 28 年 10 月 22 日
25	安藤広一	日本大学	地中熱リファレンスマップの開発(IDO法による1次元半径方向熱伝導解析)	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2016	平成 28 年 10 月 22 日
26	船引彩子	日本大学	地中熱リファレンスマップの開発(共通表示プラットフォームの開発)	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2016	平成 28 年 10 月 22 日
27	矢吹泰成	日本大学	一般住宅用地中熱利用システム評価(実装住宅の運用特性と課題)	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2016	平成 28 年 10 月 22 日
28	及川正義	日商 テクノ	浅部地中熱利用向け低コスト地中熱交換器の開発(2重管式地中熱交換器の施工性と採熱能力)	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2016	平成 28 年 10 月 22 日
29	小熊正人	日本大学	浅部地中熱利用に実装した場合の5kW 級冷暖房用ブラインヒートポンプの熱性能	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2016	平成 28 年 10 月 22 日
30	小熊正人	日本大学	浅部地中熱利用向け低コスト地中熱交換器の開発(熱流動数値解析による熱交換井採熱量の評価手法の構築)	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2016	平成 28 年 10 月 22 日
31	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用システムの統合化モデリングに関する研究	日本大学工学部平成 28 年 第 59 回学術研究報告会	平成 28 年 11 月 11 日
32	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用のための回転埋設鋼管杭の貫入特性に関する研究	日本大学工学部平成 28 年 第 59 回学術研究報告会	平成 28 年 11 月 11 日
33	小熊正人	日本大学	地中熱利用 1/2	ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	平成 28 年 7 月 12 日
34	小熊正人	日本大学	福島発の地中熱利用の状況	浅層の地中熱利用シンポジウム	平成 29 年 3 月 2 日
35	小熊正人	日本大学	浅部地中熱利用の将来	ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	平成 28 年 9 月 4 日
36	小熊正人	日本大学	葛尾村実験場の成果と今後の展望	葛尾村議会議員説明会	平成 29 年 9 月 5 日
37	小熊正人	日本大学	郡山市・日本大学工学部再生可能エネルギー共同研究施設における、地中熱を活用した省エネ技術の研究と事業化	郡山市議会議員説明会	平成 29 年 9 月 26 日
38	柿崎隆夫	日本大学	浅部地中熱利用システム開発の現況—全国展開を見据えた技術開発—	日本冷凍空調学会年次大会	平成 29 年 9 月 27 日
39	矢吹泰成	日本大学	浅層地中熱を活用した一般住宅向け暖房システムの実運用評価	日本冷凍空調学会年次大会	平成 29 年 9 月 27 日

40	小熊正人	日本大学	温暖地向け地中熱利用システムの開発	日本冷凍空調学会年次大会	平成 29 年 9 月 27 日
41	柿崎隆夫	日本大学	ロハスの工学および実践としての地中熱利用システム”,	第 7 回全国地中熱利用促進地域交流 2017 ふくしま	平成 29 年 9 月 28 日
42	小熊正人	日本大学	地中熱 (エコ・エネルギーを学ぶ)	郡山市民向け湖南公民館「ふるさと・良いとこ学級	平成 29 年 10 月 4 日
43	柿崎隆夫	日本大学	郡山市への企業誘致を支える日本大学工学部の活動	郡山市産業立地セミナー in Osaka	平成 29 年 11 月 15 日
44	小熊正人	日本大学	一般住宅規模向け省エネ型熱供給システム開発の現況	日本大学工科系校友会山形支部役員懇談会	平成 30 年 3 月 24 日
45	小熊正人	日本大学	実運用におけるブライン式ヒートポンプシステムの効率向上の検討	第 52 回空気調和・冷凍連合講演会	平成 30 年 4 月 18 日
46	小熊正人	日本大学	蓄熱利用によるヒートポンプシステム効率の向上	日本冷凍空調学会年次大会	平成 30 年 9 月 4 日
47	柿崎隆夫	日本大学	浅層の地中熱利用の将来像	日本冷凍空調学会年次大会	平成 30 年 9 月 4 日
48	小熊正人	日本大学	容量可変型地中熱利用システムの開発	日本冷凍空調学会年次大会	平成 30 年 9 月 4 日
49	矢吹泰成	日本大学	浅層型と従来型(ボアホール型)地中熱利用との性能比較	日本冷凍空調学会年次大会	平成 30 年 9 月 4 日
50	小熊正人	日本大学	浅層地中熱利用の低価格化・高効率化の検討	日本機械学会熱工学コンファレンス 2018	平成 30 年 10 月 20 日
51	田村慎太郎	日本大学	浅層の地中熱利用システムの低価格化の検討	日本機械学会熱工学コンファレンス 2018	平成 30 年 10 月 20 日
52	小熊正人	日本大学	寒地向け地中熱利用システムの熱性能評価	日本機械学会熱工学コンファレンス 2018	平成 30 年 10 月 20 日
53	矢吹泰成	日本大学	暖地向け地中熱利用システムの熱性能評価	日本機械学会熱工学コンファレンス 2018	平成 30 年 10 月 20 日
54	矢吹泰成	日本大学	小規模施設向け熱エネルギー供給設備における各種システムの性能比較	日本機械学会熱工学コンファレンス 2018	平成 30 年 10 月 20 日
55	小熊正人	日本大学	蓄熱装置を用いたブライン式ヒートポンプシステムにおける冷房ピーク負荷への冷熱供給の検討	日本機械学会熱工学コンファレンス 2018	平成 30 年 10 月 20 日
56	小熊正人	日本大学	地中熱リファレンスマップの開発 (土壌熱物性の測定)	日本機械学会熱工学コンファレンス 2018	平成 30 年 10 月 20 日
57	小熊正人	日本大学	沖縄県における地中熱リファレンスマップの作成事例	日本機械学会熱工学コンファレンス 2018	平成 30 年 10 月 20 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	柿崎隆夫	日本大学	再生エネで電力賄え 日大 家の杭から地中熱	日経産業新聞	平成 26 年 8 月 4 日
2	柿崎隆夫	日本大学	住宅で地中熱低価格利用	日刊工業新聞	平成 26 年 8 月 29 日

3	柿崎隆夫	日本大学	日大と産学連携 浅部地中熱住宅に利用	日刊工業新聞	平成 26 年 10 月 1 日
4	小熊正人	日本大学	浅部地中熱利用冷房システムの技術開発	らら・カフェ	平成 26 年 10 月 1 日
5	柿崎隆夫	日本大学	中熱をエネルギー供給に NEDO に研究採択	日本大学新聞	平成 26 年 10 月 20 日
6	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用で実験場	福島民報	平成 26 年 11 月 14 日
7	柿崎隆夫	日本大学	廃校で地中熱実証実験	福島民友	平成 26 年 11 月 14 日
8	柿崎隆夫	日本大学	日大と再生エネ協定 郡山市実験に未利用資産提供	日本経済新聞 東北版	平成 26 年 11 月 15 日
9	工学部	日本大学	地中熱利用システムの研究が世界から評価を受け講演論文賞に輝く	日本大学工学部広報 NO.242	平成 26 年 12 月 5 日
10	工学部	日本大学	浅部地中熱利用システムの研究が国の大型プロジェクトに決定	日本大学工学部広報 NO.242	平成 26 年 12 月 5 日
11	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用例を紹介郡山でフォーラム	福島民友	平成 27 年 2 月 5 日
12	柿崎隆夫	日本大学	地中熱導入事例を紹介	福島民報	平成 27 年 2 月 5 日
13	広報部	葛尾村	日本大学工学部と地中熱利用システムの共同実験契約を締結	広報かつらお	平成 27 年 3 月 1 日
14	柿崎隆夫	日本大学	震災原発事故 4 年 地中熱利用事業化目指し実証実験	福島民報	平成 27 年 3 月 12 日
15	工学部	日本大学	葛尾村と復興まちづくりに係る包括連携協定を締結	日本大学工学部広報 NO.244	平成 27 年 7 月 25 日
16	小熊正人	日本大学	GIS で浅部地中熱利用冷暖房システムの採熱期待値を知る「地中熱リファレンスマップ」	GIS NEXT 第 53 号	平成27年 10月26日
17	柿崎隆夫	日本大学	再生エネ事業化へ最新の知見を共有	福島民友	平成27年 5月13日
18	柿崎隆夫	日本大学	葛尾村と協定、復興を目指す	日本大学新聞社	平成 27 年 5 月 13 日
19	小熊正人	日本大学	再エネ活用、日大と協力	日本経済新聞	平成 27 年 5 月 13 日
20	柿崎隆夫	日本大学	再生エネ研究に理解	福島民報	平成 27 年 5 月 13 日
21	柿崎隆夫	日本大学	葛尾復興へ連携	福島民報	平成 27 年 5 月 16 日
22	柿崎隆夫	日本大学	葛尾村との地中熱利用を含む包括協定の締結	福島民友	平成 27 年 5 月 16 日
23	広報部	郡山市	旧赤津小学校で浅部地中熱利用システム実証実験	広報こおりやま	平成 27 年 6 月 1 日
24	広報部	葛尾村	葛尾村の復興まちづくりに係る包括連携協定	広報かつらお	平成 27 年 6 月 1 日
25	小熊正人	日本大学	再生エネ自給に挑む 住宅に地中熱、実験始動 葛尾村、日大と連携	日本経済新聞	平成 27 年 8 月 22 日
26	柿崎隆夫	日本大学	地中熱の研究施設 開所	福島民友	平成 27 年 9 月 17 日



27	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用実験始まる	福島民報	平成 27 年 9 月 17 日
28	工学部	日本大学	本大学工学部再生可能エネルギーシステム共同研究施設の開所式を行いました。	日本大学工学部トップ ニュース	平成 27 年 9 月 19 日
29	小熊正人	日本大学	再エネ・地中熱	日本物流新聞	平成 27 年 10 月
30	柿崎隆夫	日本大学	廃校で地中熱利用実証試験	福島民友	平成 27 年 11 月
31	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用で実験場	福島民報	平成 27 年 11 月
32	柿崎隆夫	日本大学	日大と再生エネ協定	日本経済新聞	平成 27 年 11 月
33	小熊正人	日本大学	新型熱交換器でコスト 1/2	空調タイムス	平成 28 年 1 月 27 日
34	小熊正人	日本大学	地中熱足湯で感じて 郡山の研究施設 今春、体験可能に	福島民報	平成 28 年 1 月 28 日
35	広報部	郡山市	日本大学工学部再生可能エネルギーシステム研究室地中熱利用の研究開発及び事業化の近況報告	郡山市報道資料	平成 28 年 2 月 1 日
36	小熊正人	日本大学	ユーザー目線の地中熱利用 マルチ熱供給システム開発	NUBIC NEWS	平成 28 年 2 月 1 日
37	広報部	日本大学	工学部が郡山市と連携 廃校活用、再生エネ開発	日本大学広報特別版	平成 28 年 2 月 1 日
38	小熊正人	日本大学	新年度下期に発売 低コスト地中熱システム	福島民報	平成 28 年 2 月 3 日
39	小熊正人	日本大学	人材養成の成果発表 再生エネ講座報告会	福島民報	平成 28 年 2 月 14 日
40	小熊正人	日本大学	再生可能エネルギーの地平 (地中熱の可能性を探る)	日本大学新聞社	平成 28 年 3 月 20 日
41	柿崎隆夫	日本大学	希望のかけら、示したいー葛尾村	日本大学新聞社	平成 28 年 4 月
42	小熊正人	日本大学	地中熱足湯に活用 国内初、郡山の研究所に完成	福島民報	平成 28 年 6 月 4 日
43	小熊正人	日本大学	知の現場 「地中熱の商業化実験」	福島民友	平成 28 年 6 月 14 日
44	小熊正人	日本大学	一般住宅向け開発 日大工学部と企業の地中熱利用システム	福島民報	平成 28 年 9 月 21 日
45	柿崎隆夫	日本大学	工学部 地中熱をエネルギー供給に NEDO に研究採択	日本大学新聞社	平成 28 年 10 月 20 日
46	小熊正人	日本大学	ニュースファイル 平成 28 年度第3回ふくしま地中熱利用情報交換フォーラム	福島民報	平成 29 年 3 月 2 日
47	小熊正人	日本大学	「マルチ熱供給」銘打ち実用目指す	空調タイムス	平成 29 年 5 月 3 日
48	広報部	郡山市	こおりやま市政なう！	福島放送 KFB	平成 29 年 5 月 27 日
49	広報部	郡山市	国内初の大規模な地中熱利用の実験施設	広報こおりやま	平成 29 年 6 月 1 日

50	小熊正人	日本大学	鋼管ねじ込み熱交換器に 日本大学再エネ研チーム 回転埋設工法、実用化へ着々	空調タイムス	平成 29 年 10 月 25 日
51	小熊正人	日本大学	「胎動する最先端の地中熱技術 (NEDO プロジェクト)」	空調タイムス	平成 29 年 10 月 25 日
52	柿崎隆夫	日本大学	日本大学工学部が推進する産学官連携活動	日本大学工学部校友会報	平成 30 年 3 月 1 日
53	小熊正人	日本大学	地中熱利用のデパートです！ハイッ！みんなぼう	福島民報	平成 30 年 4 月 1 日
54	工学部	日本大学	一般住宅向け浅層地中熱利用システムの低コスト化技術開発—導入コスト 40%減と運用コスト 10%減の大幅なコスト削減にめど—	ニュースリリース 日本大学工学部	平成 30 年 6 月 25 日
55	広報部	NEDO	一般住宅向け浅層地中熱利用システムの低コスト化技術開発—導入コスト 40%減と運用コスト 10%減の大幅なコスト削減にめど—	ニュースリリース NEDO	平成 30 年 6 月 25 日
56	柿崎隆夫	日本大学	日大工学部、一般住宅向け地中熱利用システムの低コスト化技術を開発—導入コスト 40%減—	インプレス ビジネスメディア	平成 30 年 6 月 25 日
57	柿崎隆夫	日本大学	NEDO と日大、一般住宅向け浅層地中熱利用システムの低コスト化技術を開発	日本経済新聞	平成 30 年 6 月 25 日
58	柿崎隆夫	日本大学	NEDO と日大など共同で住宅向け地中熱利用システムの低コスト化技術を開発	鉄鋼新聞	平成 30 年 6 月 26 日
59	柿崎隆夫	日本大学	一般住宅向け地中熱システム 低コスト化に成功 日大工学部、NEDO 技術開発	福島民友	平成 30 年 6 月 26 日
60	柿崎隆夫	日本大学	日大など、一般住宅向け浅層地中熱利用システムの低コスト化技術を開発	マイナビニュース	平成 30 年 6 月 26 日
61	柿崎隆夫	日本大学	NEDO と日大工学部、一般住宅向け浅層地中熱利用システムの低コスト技術を開発	新建ハウジング	平成 30 年 6 月 26 日
62	小熊正人	日本大学	一般住宅向け浅層地中熱利用システム NEDO 事業で日大工学部 低コスト化技術を開	空調タイムス	平成 30 年 7 月 11 日
63	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用の低コスト化	日本大学広報 NO.728	平成 30 年 7 月 15 日
64	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用の低コスト化	日本大学広報 NO.730	平成 30 年 10 月 1 日
65	柿崎隆夫	日本大学	住宅の地中熱冷暖房システム、日大が開発 事業組合が本格受注へ	日刊工業新聞	平成 30 年 10 月 12 日
66	小熊正人	日本大学	一般住宅向け浅層地中熱利用システムの低コスト化技術	クリーンエネルギー Vol.27 No.12	平成 30 年 12 月 5 日
67	小熊正人	日本大学	般住宅向け地中熱利用システムの低価格化・高効率化の開発	建築設備と配管工事 Vol.56 No.14	平成 30 年 12 月 10 日
68	柿崎隆夫	日本大学	沖縄など暖地に適した低コスト地中熱利用推進 日大工学部開発の技術普及へ	環境新聞	平成 31 年 1 月 30 日
69	小熊正人	日本大学	ロハス工学	日経 BP 社	平成 31 年 2 月 22 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	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	第3回 ふくしま復興 再生可能エネルギー産業フェアREIF2014	平成26年12月3日
2	浅部地中熱利用研究組合	日本大学	浅部地中熱利用	ENEX2015	平成27年1月25日
3	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	地域イノベーション成果報告会展示会	平成27年5月12日
4	柿崎隆夫	日本大学	浅部地中熱利用	福島中央テレビ-ゴジてれChu!	平成27年6月5日
5	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	郡山産業博	平成27年9月19日
6	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	すかがわ産業フェスティバル2015	平成27年10月24日
7	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	第4回 ふくしま復興 再生可能エネルギー産業フェア REIF2015	平成27年10月28日
8	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	JST成果発表・展示会「復興から新しい東北の創生へ in福島」	平成27年12月8日
9	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	産学官連携フェア2015みやぎ	平成27年12月9日
10	浅部地中熱利用研究組合	日本大学/日商テクノ	浅部地中熱利用	ENEX2016	平成28年1月27日
11	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	地域イノベーション成果報告会展示会	平成28年5月13日
12	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	第5回 ふくしま復興 再生可能エネルギー産業フェア REIF2016	平成28年10月19日
13	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	地域イノベーション最終成果報告会展示会	平成29年2月3日
14	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	全国地中熱利用促進地域交流会	平成29年11月20日
15	再生可能エネルギーシステム研究室	日本大学	浅部地中熱利用	第7回 ふくしま復興 再生可能エネルギー産業フェア REIF2018	平成30年11月7日

(3-1)再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／地圏流体モデリング技術による国土  
 土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発

【件数・内訳】

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
H26FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	1件	0件	3件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H29FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	1件
H30FY	0件	0件	0件	0件	0件	2件	0件	0件

【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	田原康博 他	地圏環境 テクノロジー	Estimating the water and heat budget as an indicator for water resources management using integrated watershed modeling tool	The 21 <sup>st</sup> International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM2015)	有	平成 27 年 12 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	発表年月日
1	竹島淳也 他	応用地質	地圏流体モデリング技術による国土 中熱ポテンシャルデータベースの開発	日本地熱学会 平成 27 年学術講演会	平成 27 年 10 月
2	田原康博 他	地圏環境テ クノロジー	水・空気・地盤系における地中熱交換 シミュレーションと有効熱伝導率の評価	日本地熱学会 平成 27 年学術講演会	平成 27 年 10 月
3	森康二他	地圏環境テ クノロジー	国土スケール水・熱循環モデリング	日本地熱学会 平成 27 年学術講演会	平成 27 年 10 月
4	竹島淳也 他	応用地質	地圏流体モデリング技術による国土 中熱ポテンシャルデータベースの開発 (2)	日本地熱学会 平成 28 年学術講演会	平成 28 年 10 月
5	森康二他	地圏環境テ クノロジー	地下熱量フラックスに基づいた新たな 地中熱利用ポテンシャル評価技術の開 発	日本地熱学会 平成 28 年学術講演会	平成 28 年 10 月
6	森康二	地圏環境テ クノロジー	地中熱利用の普及促進及び設計に利 用可能な地中熱ポテンシャルマップ	地中熱促進協会 第 24 回 地中熱利 用シンポジウム「地 中熱ポテンシャル マップ」	平成 29 年 3 月
7	松浦太一	地圏環境テ クノロジー	仙台平野を対象とした熱量フラックスに 基づく地中熱ポテンシャル評価の試み	日本地熱学会 平成 29 年学術講演会	平成 29 年 10 月
8	小林嵩丸	地圏環境テ クノロジー	熱・水連成シミュレーションに基づく地 中熱交換量に関するマップ作成とその 特徴量に関する一考察	日本地下水学会 2018 年春季講演会	平成 30 年 5 月

9	松浦太一	地圏環境テクノロジー	関東平野を対象とした地中熱ポテンシャル評価の試み	日本地熱学会 平成30年学術講演会	平成30年 10月
---	------	------------	--------------------------	-------------------	--------------

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

**(c)その他(展示会への出展など)**

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1	—	応用地質 地圏環境テクノロジー	地圏流体モデリング技術による 国土地中熱ポテンシャルデータ ベースの開発	ENEX2018(ポスター セッション)	平成30年 2月

(3-2)再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発

【件数・内訳】

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
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	11件	2件	1件
H29FY	1件	0件	0件	0件	1件	12件	3件	2件
H30FY	0件	0件	0件	1件	0件	10件	7件	0件

【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・岐阜大学	特願 2018-61366	国内	2018年 3月28日	出願中	地下水利用システム	柴芳朗・谷藤浩二・正木一郎・大谷具幸

(※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	奥村建夫	東邦地水	地下水利用ヒートポンプ	建築設備と配管工事	無	平成29年 10月
2	大谷具幸・三輪義博・香田明彦・藤縄克之・柴芳郎・松村誠司	岐阜大学、東邦地水、テイコク、信州大学、ゼネラルヒートポンプ工業、ヤマカトラストホームズ	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発	Kansai Geo-symposium 2018 論文集	有	平成30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	発表年月日
1	大谷具幸	岐阜大学	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発について	岐阜地中熱利用研究会	平成28年 5月26日
2	大谷具幸	岐阜大学	再生可能エネルギーのひとつである地中熱利用について	愛知県環境測定分析協会平成28年度環境月間講演会	平成28年 6月14日
3	大谷具幸	岐阜大学	扇状地地域の地下温度変化とその熱利用	第19回DHI水理研究会 2016 大阪	平成28年 6月23日
4	大谷具幸・柴芳郎・香田明彦・奥村建夫	岐阜大学、ゼネラルヒートポンプ工業、テイコク、東邦地水	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発(その1):オープンループ型システムの運転データの解析	日本地熱学会平成28年学術講演会	平成28年 10月19日

5	武藤高太郎・奥村建夫・三輪義博・大谷具幸・香田明彦	東邦地水、岐阜大学、テイコク	ポテンシャル評価手法の研究開発(その2):地下水利用空調システムにおける還元井での目詰まり発生に関する研究.	日本地熱学会平成28年学術講演会	平成28年 10月19日
6	大谷具幸	岐阜大学	オープンループ型システムの運転データの特徴	地下水・地下熱資源強化活用研究会第3回技術交流会	平成28年 12月2日
7	大谷具幸	岐阜大学	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発 プロジェクトの概要.	岐阜地中熱利用研究会,	平成29年 3月3日
8	奥村建夫	東邦地水	最適逆洗技術と地下水熱交換ユニットの開発	岐阜地中熱利用研究会	平成29年 3月3日
9	山田数貴 香田明彦	ヤマカトラスト ホームズ テイコク	打ち込み井戸と浸透ますの適用技術の開発とタンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発	岐阜地中熱利用研究会	平成29年 3月3日
10	大谷具幸	岐阜大学	オープンループ型地中熱利用システムのためのポテンシャル評価技術開発	岐阜地中熱利用研究会	平成29年 3月3日
11	正木一郎・柴芳郎・谷藤浩二・駒庭義人	ゼネラルヒートポンプ工業	NEDO 技術開発について	平成28年度第4回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成28年 3月6日
12	大谷具幸・水野貴仁・伏屋尚輝	岐阜大学	Underground temperature change in the alluvial fan of the Nagara River, central Japan.	JpGU-AGU Joint Meeting2017	平成29年 5月23日
13	大谷具幸	岐阜大学	扇状地地域におけるオープンループ型の普及拡大を目指した研究開発	北関東地中熱利用研究会平成29年度地中熱利用研究会地中熱普及講演会	平成29年 7月19日
14	藤縄克之	信州大学	NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発「オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発」の紹介.	日本地下水学会2017年秋季講演会(口頭発表)	平成29年 10月12日
15	武藤高太郎・奥村建夫・三輪義博、大谷具幸、香田明彦	東邦地水、岐阜大学、テイコク	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発(その3)還元井での逆洗運転技術に関する研究	日本地熱学会平成29年学術講演会	平成29年 10月19日
16	大谷具幸・伏屋尚輝、香田明彦	岐阜大学、テイコク	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発(その4):扇状地地域の旧河道と地下温度分布の関係	日本地熱学会平成29年学術講演会	平成29年 10月19日
17	大谷具幸	岐阜大学	地域の特性を活かした地中熱利用	びわ湖環境ビジネスメッセ地中熱セミナー	平成29年 10月20日
18	奥村建夫	東邦地水	オープンループ型地下水循環方式における逆洗技術の開発	地下水・地下熱資源強化活用研究会(AGREA)第4回技術交流会	平成29年 12月13-14日

19	藤縄克之	信州大学	真正熱応答試験を併用した熱応答試験による地中の熱移動特性の詳細計測	地下水・地下熱資源強化活用研究会 (AGREA) 第4回技術交流会	平成 29 年 12 月 13-14 日
20	香田明彦	テイコク	タンク式熱交換器・浸透ます併用システム開発の概要	地下水・地下熱資源強化活用研究会 (AGREA) 第4回技術交流会	平成 29 年 12 月 13-14 日
21	柴芳郎・谷藤浩二・駒庭義人・正木一郎	ゼネラルヒートポンプ工業	再生可能エネルギー熱に関するヒートポンプの技術開発と導入事例	地下水・地下熱資源強化活用研究会 (AGREA) 第 4 回技術交流会	平成 29 年 12 月 13 日
22	大谷具幸	岐阜大学	地中熱利用オープンループ(地下水利用)の新たな展開	ENEX2018 地中熱セミナー「地中熱利用の最新動向」	平成 30 年 2 月 14 日
23	大谷具幸	岐阜大学	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発	ENEX2018 地中熱利用促進協会 6-3 NEDO 事業紹介ステージ	平成 30 年 2 月 14 日
24	大谷具幸	岐阜大学	東海三県における地中熱利用の現状と研究開発の取り組み	2018 年度中部地中熱利用促進協議会特別講演会	平成 30 年 5 月 14 日
25	藤縄克之	信州大学	応答試験の基礎知識 多点 TRT および多点 iTRT の紹介。	平成 30 年度熱応答試験(TRT/TCP)・解析講習会	平成 30 年 10 月 29 日
26	武藤高太郎・奥村建夫・三輪義博、大谷具幸、香田明彦	東邦地水、岐阜大学、テイコク	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発(その 5):還元井での逆洗運転技術に関する研究	日本地熱学会平成 30 年学術講演会	平成 30 年 11 月 14 日
27	大谷具幸・山田瑠莉子	岐阜大学	オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発(その 6):地下水位と地下水温度による運用コスト試算方法の開発	日本地熱学会平成 30 年学術講演会	平成 30 年 11 月 14 日
28	大谷具幸	岐阜大学	岐阜市明德公民館地中熱空調システムの概要と省エネ性について	岐阜地中熱利用研究会・中部地中熱利用促進協議会第 4 回地中熱見学セミナー	平成 30 年 11 月 27 日
29	奥村建夫	東邦地水	オープンループ型地下水循環方式における逆洗技術の開発その 2	地下水・地下熱資源強化活用研究会 (AGREA) 第 5 回技術交流会	平成 30 年 11 月 29～30 日
30	香田明彦	テイコク	タンク式熱交換器・浸透ます併用システム及び打ち込み井戸と浸透ます適用技術の開発	地下水・地下熱資源強化活用研究会 (AGREA) 第 5 回技術交流会	平成 30 年 11 月 29～30 日
31	柴芳郎・谷藤浩二・駒庭義人・正木一郎	ゼネラルヒートポンプ工業	再生可能エネルギー熱に関するヒートポンプの技術開発と導入事例	地下水・地下熱資源強化活用研究会 (AGREA) 第 5 回技術交流会	平成 30 年 11 月 29～30 日
32	藤縄克之	信州大学	地下水流動が熱応答試験・真正熱応答試験に与える影響について	地下水・地下熱資源強化活用研究会 (AGREA) 第 5 回技術交流会	平成 30 年 11 月 29～30 日



33	大谷具幸	岐阜大学	地中熱利用の適地選定評価手法の開発	岐阜大学第15回インフラマネジメント講演会・第2回岐阜大学土木展	平成30年12月5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	発表年月日
1	奥村建夫	東邦地水	地中熱利用空調システム普及に注力 地下水の可能性探る	空調タイムス	平成28年4月20日
2	奥村建夫	東邦地水	地下水還元システム実用化へ。空調 タイムス(新聞発表)	空調タイムス	平成28年8月24日
3	香田明彦	テイコク	戸建向け地中熱システム開発へ	空調タイムス	平成29年10月18日
4	奥村建夫	東邦地水	地下水還元システムの低コスト化へ	空調タイムス	平成29年10月25日
5	藤縄克之	信州大学	NEDO 再生可能エネルギー熱利用 技術開発「オープンループ型地中熱 利用システムの高効率化とポテンシ ャル評価手法の研究開発」の紹介	メールマガジン GeoValue	平成30年1月
6	奥村建夫	東邦地水	オープンループ型を低コストで 地下 水の還元とポンプ動力低減開発技術 を実用化	空調タイムス	平成30年10月3日
7	柴芳郎	ゼネラルヒート ポンプ工業	地中熱利用システム向けの開発製品 ヒートポンプや熱交ユニット来春、相 次ぎ発売へ	空調タイムス	平成30年10月3日
8	香田明彦	テイコク	安価なオープンループ型戸建て向け システム開発に取り組む	空調タイムス	平成30年10月3日
9	大谷具幸	岐阜大学	地中熱利用における省エネ効果と導 入コストの削減に向けて	地中温暖化	平成30年11月号
10	大谷具幸	岐阜大学	地中熱ホット目線ー岐阜市で産官学 研究会が見学会	岐阜新聞	平成30年11月29日
11	大谷具幸	岐阜大学	条件有利地域におけるオープンルー プ型地中熱利用システムの高効率運 転を実証ー実証実験施設の既設空 調システムに対して運用コスト73%削 減を実現ー	NEDO ニュースリリー ス	平成31年2月7日
12	大谷具幸	岐阜大学	地中熱利用の適地評価技術ー運用 コストに基づくポテンシャルマップ開 発ー	中部経済新聞	平成31年3月26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	大谷具幸	岐阜大学	オープンループ型地中熱利用システ ムの高効率化とポテンシャル評価手 法の研究開発について	2016NEW環境展/地 球温暖化防止展 アカデミックコーナー	平成28年5月
2	香田明彦	テイコク	NEDO 再生可能エネルギー熱利用 技術開発「オープンループ型地中熱 利用システムの高効率化とポテンシ ャル評価手法の研究開発」の紹介	第52回地盤工学研 究発表会 (パネル展示)	平成29年7月12日 ～14日
3	藤縄克之	信州大学	NEDO 再生可能エネルギー熱利用 技術開発「オープンループ型地中熱 利用システムの高効率化とポテンシ ャル評価手法の研究開発」の紹介.	第52回地盤工学研 究発表会 (パネル展示)	平成29年7月12日 ～14日

(3-3)再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発

【件数・内訳】

年度	区分	特許出願			論文		その他外部発表		
		国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	査読 なし	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H27FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H29FY		0件	0件	0件	3件	0件	4件	0件	0件
H30FY		0件	0件	0件	5件	0件	2件	0件	0件

【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	北田奈緒子・伊藤浩子・藤原照幸・濱田晃之・越後智雄	一財)地域地盤環境研究所	大阪平野中心部における第二被圧帯水層の分布と特徴について	Kansai Geo-Symposium 2017－地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム－論文集, 94-97.	有	2017年11月
2	藤原照幸・北田奈緒子・濱田晃之・伊藤浩子・大島昭彦・加藤裕将	一財)地域地盤環境研究所 (株)環境総合テクノス	地下水観測井構築時の調査データに基づく帯水層の特性抽出(大阪市北西エリアにおける検討事例)	Kansai Geo-Symposium 2017－地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム－論文集, 98-101.	有	2017年11月
3	伊藤浩子・北田奈緒子・越後智雄・藤原照幸	一財)地域地盤環境研究所	西大阪平野における被圧地下水の性状とその特徴	Kansai Geo-Symposium 2017－地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム－論文集, 102-107.	有	2017年11月
4	藤原照幸・北田奈緒子・濱田晃之・伊藤浩子・柴田卓詞・加藤裕将	一財)地域地盤環境研究所 (株)環境総合テクノス	西大阪地域における帯水層の特徴と透水性の推定	Kansai Geo-Symposium 2018－地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム－論文集, 7-12.	有	2018年11月

5	伊藤浩子・北田奈緒子・越後智雄・藤原照幸	一財)地域地盤環境研究所	モニタリング調査結果からみた西大阪地域の被圧地下水の特徴ー地下水の熱利用を見据えた検討ー	Kansai Geo-Symposium 2018ー地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウムー論文集, 13-18.	有	2018年11月
6	西垣誠・柴田卓詞・加藤裕将・平田洋一	岡山大学 (株)環境総合テクノス (株)アースライズカンパニー	孔内流速検層装置(フローメータ検層)による多層帯水層の透水性評価	論文報告集「地盤と建設」	有	2018年12月
7	中村朋弘・皆瀬慎・柴田卓詞・加藤裕将・西山哲・西垣誠	岡山大学 (株)環境総合テクノス (株)ホーシユン	各種電解質水溶液で膨潤するベントナイトペレットの開発とその性能評価	論文報告集「地盤と建設」	有	2018年12月
8	西垣誠・柴田卓詞・加藤裕将	岡山大学 (株)環境総合テクノス	マルチレイヤー観測井システム・地下水マルチ検層 システムの開発	地下水・地盤環境に関するお知らせ 第28号 地下水地盤環境に関する研究協議会	無	2019年3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	発表年月日
1	北田奈緒子・伊藤浩子・越後智雄	一財)地域地盤環境研究所	観測井構築時の調査データに基づく帯水層の特性抽出に関する検討(大阪・うめきた周辺における検討事例)	日本地球惑星科学連合 2017年大会	2017年5月20日
2	伊藤浩子・北田奈緒子・越後智雄・藤原照幸・大島昭彦	一財)地域地盤環境研究所 大阪市立大学	大阪市内(西大阪平野)における被圧帯水層の特徴と地下水の性状について	日本地下水学会 2017年春季講演会	2017年5月20日
3	藤原照幸・北田奈緒子・濱田晃之・伊藤浩子・大島昭彦・片山辰雄・加藤裕将	一財)地域地盤環境研究所 (株)環境総合テクノス	大阪中心部の地下水の特徴について	第52回地盤工学研究発表会	2017年7月13日
4	北田奈緒子・伊藤浩子・越後智雄・藤原照幸	一財)地域地盤環境研究所	大阪平野における帯水層(Dg2層)の分布とその特徴について	平成29年度応用地質学会研究発表会	2017年10月13日
5	北田奈緒子・伊藤浩子・越後智雄・藤原照幸	一財)地域地盤環境研究所	大阪平野における地下水の分布とその特徴について	応用地質学会関西支部平成30年度研究発表会	2018年5月25日

6	藤原照幸・ 北田奈緒 子・濱田晃 之・伊藤浩 子・柴田卓 詞・加藤裕 将	一財) 地域地 盤環境研究 所 (株)環境総合 テクノス	観測井構築時の調査データに基づく帯 水層の特性抽出に関する検討(その2)	第 53 回地盤工学研 究発表会	2018 年 7 月 24 日
---	--------------------------------------------------------	------------------------------------------	-----------------------------------------	---------------------	--------------------

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

**(c)その他(展示会への出展など)**

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

(4-1)その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化/温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発

【件数・内訳】

年度	区分	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
H26FY		0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件
H27FY		0件	0件	0件	0件	0件	4件	0件	0件
H28FY		0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件
H29FY		0件	0件	0件	0件	0件	2件	0件	0件
H30FY		0件	0件	0件	1件	0件	2件	0件	0件

【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	鍋島美奈子、康尚義、中尾正喜、三毛正仁	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	Estimation of the energy-saving effect of introducing a heat source water network system with single-loop piping utilizing hot spring heat	Energy Procedia, 149, 519-528	有	2018年

【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	発表年月日
1	鍋島美奈子、大森雅貴、北野宏貴、三毛正仁、澤部孝一、西岡真稔	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉熱を活用したハイブリッド熱源水ネットワークシステムの構築-(第1報)宿泊施設の実測調査に基づくシステムシミュレーションによる効果試算	第44回空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会	平成27年3月10日
2	鍋島美奈子、大森雅貴、北野宏貴、三毛正仁、澤部孝一、西岡真稔、中尾正喜	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉と排湯を利用した熱源水ネットワークシステムの構築(第1報)宿泊施設における冬期熱利用実態調査	平成27年度空気調和・衛生工学会大会	平成27年9月16日
3	鍋島美奈子、柿田祐佑、中尾正喜、西岡真稔、三毛正仁、澤部孝一	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	浴室排水熱回収による上水予熱システムの開発 実験による平板型熱交換器の特性把握とシステム性能の試算	平成27年度空気調和・衛生工学会大会	平成27年9月18日
4	鍋島美奈子、康尚義、大森雅貴、三毛正仁、澤部孝一、西岡真稔、中尾正喜	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉熱を利用したハイブリッド熱源水ネットワークシステムの構築(第2報)宿泊施設の温泉・給湯需要および排度に関する実測調査	第45回空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会	平成28年3月9日
5	鍋島美奈子、大森雅貴、三毛正仁、澤部孝一、西岡真稔、中尾正喜	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉熱を活用したハイブリッド熱源水ネットワークシステムの構築(第3報)システム導入地域全体のエネルギー消費量削減効果の試算	第45回空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会	平成28年3月9日

6	澤部孝一、三毛正仁、澤田紗奈、康尚義、鍋島美奈子、西岡真稔、中尾正喜	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉と排熱を利用したハイブリッド熱源水ネットワークシステムの構築(第3報)システム導入による地域全体のエネルギー消費量削減効果の検討	平成28年度空気調和・衛生工学会大会	平成28年9月14日
7	鍋島美奈子、康尚義、西岡真稔、中尾正喜、三毛正仁、澤部孝一、澤田紗奈	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉地域の熱融通に関する研究(その1)システムシミュレーションによる熱源水ネットワークと集中型熱供給の比較(その2)熱源水ネットワークに繋がる熱需給施設の空間分析	第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス	平成30年1月25日
8	鍋島美奈子、康尚義、西岡真稔、中尾正喜、三毛正仁、澤部孝一、澤田紗奈	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉熱を活用したハイブリッド熱源水ネットワークシステムの構築(第4報)温泉熱量の変化によるシステム導入効果の試算	第47回空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会	平成30年3月13日
9	鍋島美奈子、椛本一成、西岡真稔、中尾正喜、三毛正仁、澤部孝一、澤田紗奈	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉排湯からの熱回収に関する実験的研究スケールや汚れによる熱交換器性能の経時変化	平成30年度空気調和・衛生工学会大会	平成30年9月12日
10	鍋島美奈子、椛本一成、西岡真稔、中尾正喜、三毛正仁、澤部孝一、澤田紗奈	大阪市立大学、総合設備コンサルタント	温泉未利用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と集中型の熱供給システムの導入効果の比較	第48回空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会	平成31年3月11日

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

**(c)その他(展示会への出展など)**

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

(4-2)その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化/都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発

【件数・内訳】

年度	区分	特許出願			論文		その他外部発表		
		国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	査読 なし	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H26FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	12件	1件
H27FY		0件	0件	0件	0件	1件	0件	12件	1件
H28FY		0件	0件	0件	0件	2件	2件	3件	1件
H29FY		0件	0件	0件	0件	1件	4件	3件	3件
H30FY		0件	0件	0件	0件	0件	4件	2件	1件

【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	本間弘達, 藤田徹, 伊勢幸一, 川瀬智久, 小泉嘉一, 媚山政良, 土屋貴久	雪屋媚山商店, 共同通信デジタル, NHN テコラス, ズコーシャ, 環境技術センター, 室蘭工業大学, 美唄市	美唄ホワイトデータセンタープロジェクトの実証試験中間報告	第31回寒地技術シンポジウム	無	平成 27年 11月
2	媚山政良	室蘭工業大学	雪冷熱および産業排熱を利用した低温乾燥システムの開発 第1報 可能性調査	第32回寒地技術シンポジウム	無	平成 28年 11月
3	媚山政良	室蘭工業大学	雪冷熱および産業排熱を利用した低温乾燥システムの開発 第2報 「対流/伝導/放射」乾燥モデルの解析	第32回寒地技術シンポジウム	無	平成 28年 11月
4	本間弘達, 藤田徹, 加藤僚太, 川瀬智久, 小泉嘉一, 大石義彦, 土屋貴久, 森田恭平	雪屋媚山商店, 共同通信デジタル, NHN テコラス, ズコーシャ, 環境技術センター, 室蘭工業大学, 美唄市	美唄ホワイトデータセンタープロジェクトの実証試験(第2報)	第33回寒地技術シンポジウム	無	平成 29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	発表年月日
1	本間弘達	雪屋媚山商店	Introduction of Bibai White Datacenter Project ~ Obstructive snow is utilized in the way of thinking of an inversion~	Datacenter Dynamics 2016(上海)	平成 28年 6月 15日

2	本間弘達	雪屋媚山商店	雪による高効率 DC 冷却」見方を変えて味方に！ 空知団地における NEDO 事業報告	データセンターの地域分散化に向けた北海道セミナー	平成 28 年 11 月 7 日
3	本間弘達, 土屋貴久	雪屋媚山商店, 美唄市	雪による高効率 DC 冷却 見方を変えて味方に！ 美唄ホワイトデータセンター	GUTP/JDCC 第 19 回「次世代データセンター勉強会」, 東京大学	平成 29 年 9 月 1 日
4	本間弘達	雪屋媚山商店	雪国ならではのローカル自然エネルギー「雪冷房」の現場最前線！ ～見方を変えれば味方になる～	真狩村地域資源エネルギー事業化研究会	平成 29 年 10 月 21 日
5	本間弘達	雪屋媚山商店	厄介ものの「雪」で地方創生！ ～見方を変えれば味方になる～	美唄商工会議所青年部 講演会	平成 29 年 11 月 6 日
6	本間弘達	雪屋媚山商店	雪国ならではのローカル自然エネルギー 「雪冷房」の現場最前線！ ～見方を変えれば味方になる～	自然エネルギーと泊原発を考える市民の会	平成 29 年 5 月 25 日
7	本間弘達	雪屋媚山商店	利雪の実態と展望	NPO利雪技術協会 第5回講演会	平成 30 年 7 月 13 日
8	本間弘達	雪屋媚山商店	雪国ならではのローカル自然エネルギー 「雪冷房」の現場最前線！ ～見方を変えれば味方になる～	北海道岩見沢農業高校スーパーサイエンスハイスクール	平成 30 年 8 月 30 日
9	本間弘達	雪屋媚山商店	雪国ならではのローカル自然エネルギー 「雪冷房」の現場最前線！ ～見方を変えれば味方になる～	NPO雪氷環境プロジェクト「自然エネルギー・見方を変えれば味方になる！」を学ぶ会	平成 30 年 11 月 18 日
10	媚山政良, 大石義彦	室蘭農業大学,	雪冷熱および産業排熱を利用した低温乾燥システムの開発	日本機械学会第 96 期 流体工学部門講演会	平成 30 年 11 月 29 日

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月日
1	土屋 貴久	美唄市	ニュース北海道	NHK	平成 26 年 9 月 5 日
2	土屋 貴久	美唄市	今日ドキッ！ 「売れる資源へ”雪冷房”の未来」	HBC	平成 26 年 9 月 5 日
3	土屋 貴久	美唄市	除雪の雪でサーバー冷却	朝日新聞	平成 26 年 9 月 6 日
4	土屋 貴久	美唄市	雪冷房＋アワビ養殖	読売新聞	平成 26 年 9 月 6 日
5	土屋 貴久	美唄市	受託研究成功へ結束	北海道新聞	平成 26 年 9 月 6 日
6	土屋 貴久	美唄市	データセンター雪冷房 設計会社などが美唄で実証実験	日本経済新聞	平成 26 年 9 月 9 日
7	土屋 貴久	美唄市	雪を冷房などに活用	毎日新聞	平成 26 年 9 月 9 日
8	土屋 貴久	美唄市	雪冷熱利用に着手	北海道建設新聞	平成 26 年 9 月 9 日
9	土屋 貴久	美唄市	雪冷熱活用データセンター事業成功を祈って	プレス空知	平成 26 年 9 月 10 日
10	土屋 貴久	美唄市	ホワイトデータセンター構想実現に向けた共同研究技術開発事業共同記者会見	美唄市広報「メロディ」10月号	平成 26 10 月 1 日



11	本間 弘達	雪屋媚山商店	雪の再生エネ活用実証	日刊工業新聞	平成 26 10月 29日
12	本間 弘達	雪屋媚山商店	雪国の未来を拓く「美唄ホワイトデータセンター構想」	「ゆき」No.102(公益社団法人雪センター)	平成 27年 3月
13	本間 弘達	雪屋媚山商店	社長INTERVIEW「雪に魅せられ雪冷房技術に取り組む」	帝国データバンク機関紙 TEIKOKU NEWS 北海道版	平成 27年 6月 25日
14	本間 弘達	雪屋媚山商店	北海道で進む「雪でサーバー冷却」	日経ビジネス	平成 27年 7月 20日
15	土屋 貴久	美唄市	雪冷熱活用スタート	北海道新聞	平成 27年 9月 30日
16	土屋 貴久	美唄市	雪冷熱活用「ホワイトデータセンター」	北海道新聞	平成 27年 10月 3日
17	土屋 貴久	美唄市	雪で冷却データセンター公開	室蘭民報	平成 27年 10月 3日
18	土屋 貴久	美唄市	雪でサーバー冷やせ！北海道美唄市など	日刊工業新聞	平成 27年 10月 26日
19	土屋 貴久	美唄市	NEDO共同研究事業・現地視察会他を行いました	美唄市広報「メロディ」11月号	平成 27年 11月 1日
20	本間 弘達	雪屋媚山商店	厄介者をエネルギーに 美唄の雪でデータセンター冷却	北海道建設新聞	平成 28年 1月 1日
21	本間 弘達	雪屋媚山商店	雪冷房の実証試験施設としてデータセンターを竣工	帝国データバンク機関紙「TEIKOKU NEWS 北海道版」	平成 28年 1月 25日
22	本間 弘達	雪屋媚山商店	雪国の未来を拓く「美唄ホワイトデータセンター構想」	公益社団法人雪センター機関誌「ゆき」	平成 28年 3月 1日
23	土屋 貴久	美唄市	ホットニュース北海道	NHK	平成 28年 3月 18日
24	土屋 貴久	美唄市	経済フロントライン	NHK-BS	平成 28年 3月 26日
25	本間 弘達	雪屋媚山商店	ここに注目！「企業ファイル」	プレス空知	平成 28年 4月 9日
26	本間 弘達	雪屋媚山商店	けいざいナビ「国際学部」	テレビ北海道	平成 28年 7月 10日
27	本間 弘達	雪屋媚山商店	挑む、雪を貯蔵 夏の冷熱に利用	日本経済新聞	平成 29年 1 月 23日
28	本間 弘達	雪屋媚山商店	雪国救う？ 「雪エネルギー」	読売新聞	平成 29年 4 月 17日
29	土屋 貴久	美唄市	雪エネルギーの活用事例を見学	読売新聞	平成 29年 9 月 10日
30	本間 弘達	雪屋媚山商店	雪冷熱で日本一のふるさと再生を	プレス空知	平成 30年 1 月 1日
31	本間 弘達	雪屋媚山商店	除排雪を冷房に利用	北海道建設新聞	平成 30年 10月 11日
32	本間 弘達	雪屋媚山商店	スタートアップ、雪冷房の設計 コスト抑え普及に力	北海道新聞	平成 31年 2 月 23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	誌名、ページ番号	発表年月
1	土屋 貴久	美唄市	空知団地説明会・視察会	北海道データセンター現地視察会	平成 27年 3月
2	土屋 貴久	美唄市	空知団地企業誘致PRブース	データセンター運用構築展	平成 27年 5月

3	土屋 貴久	美唄市	空知団地企業誘致PRブース	データセンター運用 構築展	平成 28 年 5 月
4	土屋 貴久	美唄市	空知団地企業誘致PRブース	データセンター運用 構築展	平成 29 年 5 月
5	本間 弘達	雪屋媚山商 店	PR展示	雪の市民会議	平成 29 年 7 月 7 日
6	土屋 貴久	美唄市	展示会PRブース	DCD(Data Centre Dynamics Ltd.)展示 会(北京)	平成 29 年 11 月 1～2 日
7	土屋 貴久	美唄市	空知団地企業誘致PRブース	データセンター運用 構築展	平成 30 年 5 月

(4-3) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化／太陽熱集熱システム最適化手法の開発

【件数・内訳】

年度	区分	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
H28FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H29FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	1件	0件
H30FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件

【特許】

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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

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

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1					

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1	新潟機器(株)	新潟機器(株)	雪室に貯蔵 活用探る	日本経済新聞	2017年11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	誌名、ページ番号	発表年月
1					

(4-4) その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化／太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発

【件数・内訳】

年度	区分	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
H27FY		0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H28FY		0件	0件	0件	0件	1件	0件	0件	1件
H29FY		0件	0件	0件	0件	7件	7件	0件	0件
H30FY		0件	0件	0件	0件	4件	3件	0件	2件

【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	城出浩作	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究 第1報 実証試験の概要	日本太陽エネルギー学会研究発表会(ポスター発表)	無	H28年11月
2	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用システムの評価及び効果予測シミュレーションに関する研究 その1 太陽熱温水器の冬期における性能試験と集熱性能のモデル化	日本建築学会	無	H29年9月
3	城出浩作	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第2報 春期および夏期における太陽熱温水器の実証試験報告	日本太陽エネルギー学会	無	H29年10月
4	浅井俊二	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第3報 ソーラーシステムの実証試験中間報告	日本太陽エネルギー学会	無	H29年10月
5	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第4報 太陽熱温水器とソーラーシステムのシミュレーション構築と精度検証	日本太陽エネルギー学会	無	H29年10月
4	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムの評価及び効果予測シミュレーションに関する研究その1 太陽熱温水器のモデル化と冬期・春期の精度検証	空気調和衛生工学会	無	H29年9月
6	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムの性能評価に関する研究その1. 太陽熱温水器の実証試験結果とシミュレーションによる再現	空気調和衛生工学会中部支部	無	H30年3月
7	浅井俊二	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムの性能評価に関する研究その2. 太陽熱対応型自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器の中間期・夏期実証試験結果	空気調和衛生工学会中部支部	無	H30年3月

8	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用システムの評価及び効果予測シミュレーションに関する研究その2 太陽熱温水器3種の実証試験結果とシミュレーション精度検証	日本建築学会	無	H30年9月
9	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第5報 太陽熱温水器とソーラーシステムの年間性能の計算と地域特性の分析	日本太陽エネルギー学会	無	H30年11月
10	城出浩作	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第6報 年間における太陽熱温水器の実証試験報告と給湯方式分析	日本太陽エネルギー学会	無	H30年11月
11	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムの評価及び効果予測シミュレーションに関する研究その2 太陽熱温水器のモデル化と年間精度検証	空気調和衛生工学会	無	H30年9月
12	吉永美香	名城大学	FIELD TESTS AND SIMULATION ANALYSIS OF THERMOSYPHONIC SOLAR WATER HEATERS	グランド再生可能エネルギー2018 国際会議 (GRE2018)	無	H30年6月
13	城出浩作	ソーラーシステム振興協会	PERFORMANCE OF COMBINED SYSTEMS WITH HEATPUMP AND SOLAR COLLECTORS	グランド再生可能エネルギー2018 国際会議 (GRE2018)	無	H30年6月

## 【外部発表】

### (a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用システムの評価及び効果予測シミュレーションに関する研究その1 太陽熱温水器の冬期における性能試験と集熱性能のモデル化	日本建築学会	H29年9月
2	城出浩作	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第2報 春期および夏期における太陽熱温水器の実証試験報告	日本太陽エネルギー学会	H29年10月
3	浅井俊二	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第3報 ソーラーシステムの実証試験中間報告	日本太陽エネルギー学会	H29年10月
4	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第4報 太陽熱温水器とソーラーシステムのシミュレーション構築と精度検証	日本太陽エネルギー学会	H29年10月
5	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムの評価及び効果予測シミュレーションに関する研究その1 太陽熱温水器のモデル化と冬期・春期の精度検証	空気調和衛生工学会	H29年9月
6	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムの性能評価に関する研究その1. 太陽熱温水器の実証試験結果とシミュレーションによる再現	空気調和衛生工学会中部支部	H30年3月
7	浅井俊二	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムの性能評価に関する研究その2. 太陽熱対応型自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器の中間期・夏期実証試験結果	空気調和衛生工学会中部支部	H30年3月

8	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用システムの評価及び効果予測シミュレーションに関する研究その2 太陽熱温水器3種の実証試験結果とシミュレーション精度検証	日本建築学会	H30年9月
9	吉永美香	名城大学	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第5報 太陽熱温水器とソーラーシステムの年間性能の計算と地域特性の分析	日本太陽エネルギー学会	H30年11月
10	城出浩作	ソーラーシステム振興協会	住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第6報 年間における太陽熱温水器の実証試験報告と給湯方式分析	日本太陽エネルギー学会	H30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	新聞記者	-	エネルギー消費性能プログラム 太陽熱評価を改善へ	空調タイムス (2019/8/24号)	H28年8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	吉永美香	名城大学	FIELD TESTS AND SIMULATION ANALYSIS OF THERMOSYPHONIC SOLAR WATER HEATERS	GRE2018 展示会 (ポスターセッション)	H30年6月
2	城出浩作	ソーラーシステム振興協会	PERFORMANCE OF COMBINED SYSTEMS WITH HEATPUMP AND SOLAR COLLECTORS	GRE2018 展示会 (ポスターセッション)	H30年6月

(4-5) その他再生可能エネルギー熱利用システム導入拡大に資する革新的技術開発／食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生

【件数・内訳】

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
H26FY	0件	0件	0件	2件	0件	8件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	1件	17件	0件	1件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	18件	0件	0件
H29FY	0件	0件	0件	4件	0件	24件	0件	0件
H30FY	0件	0件	0件	2件	0件	9件	0件	1件

【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	Thachanan Samanmulya, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Haruhito Kubota, Hiroto Munetsuna, Takashi Noguchi, Yukihiro Matsumura		Gasification characteristics of alanine in supercritical water	J. Jpn. Petrol. Inst., 57(5), 225-229	有	2014.09
2	Thachanan Samanmulya, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Haruhito Kubota, Hiroto Munetsuna, Takashi Noguchi, Yukihiro Matsumura		Gasification characteristics of amino acids in supercritical water	J. Jpn. Inst. Energy, 93(9), 936-943	有	2014.09
3	Nattacha Paksung, Yukihiro Matsumura		Decomposition of Xylose in Sub-and Supercritical Water	Ind. Eng. Chem. Res., 54(31), 7604-7613	有	2015.7
4	Thachanan Samanmulya, Obie Farobie, Yukihiro Matsumura		Gasification characteristics of aminobutylic acid and serine as model compounds for proteins under supercritical water conditions	Journal of the Japan Petroleum Institute, 60(1), 34-40	有	2017.3
5	Obie Farobie, Poomkawe Changkiendee, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa, Yukihiro Matsumura		Effect of the Heating Rate on the Supercritical Water Gasification of a Glucose/Guaiacol Mixture	Ind. Eng. Chem. Res. 56(22), 6401-6407	有	2017.5

6	Thachanan Samanmulya, Obie Farobie, Yukihiro Matsumura		Gasification characteristics of histidine and 4- methylimidazole under supercritical water conditions	Biomass Conversion and Biorefinery, 7(4), 487-494	有	2017.1
7	Apip Amrullah, Matsuura Yukihiro		Supercritical water gasification of sewage sludge in continuous reactor	Bioresource Technology, 249 (2018) 276-283	有	2018.2
8	Nattacha Paksung, Yukihiro Matsumura		Interaction among glucose, xylose, and guaiacol in supercritical water	Energy Fuels, 32(2), 1788-1795	有	2017.12
9	Yukihiro Matsumura, Satoshi Goto, Yusuke Takase, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa		Suppression of Radical Char Production in Supercritical Water Gasification by Addition of Organic Acid Radical Scavenger	Energy Fuels, 32(9), 9568-9571	有	2018.8
10	Pattraporn Changsuwan, Nattacha Paksung, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa, Yukihiro Matsumura		Conversion of guaiacol in supercritical water gasification	Detailed effect of feedstock concentration, J. Supercrit. Fluids, 142, 32- 37	有	2018.12

## 【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	発表年月日
1	Yukihiro Matsumura, Yusuke Takase		Interactive reaction between guaiacol and formic acid in supercritical water	O-Bm-10-1, Grand Renewable Energy 2014 International conference and Exhibition (GRE2014)	Jul. 27- Aug. 1, 2014
2	Thachanan Samanmulya, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Haruhito Kubota, Takashi Noguchi, Yukihiro Matsumura		Supercritical water gasification characteristics of serine and aminobutyric Acid	RE-10, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014)	Dec. 22-23, 2014



3	Yusuke Takase, Yukihiko Matsumura		Effect of formic acid on supercritical water gasification of guaiacol	PO-04, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014)	Dec. 22-23, 2014
4	Yasutaka Wada, Akifumi Nakamura, Keiji Oyama, Ichiro Uchiyama, Naohiko Taniguchi, Haruhito Kubota, Yukihiko Matsumura, Takashi Noguchi, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai		Fundamental study of reusing activated carbon catalyst in supercritical water gasification for the shochu (Japanese popular distilled liquor) residue treatment business	IT-03, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014)	Dec. 22-23, 2014
5	Thachanan Samanmulya, Yukihiko Matsumura		Supercritical water gasification characteristics of isoleucine	P18, 2nd Asian Conference on Biomass Science (ACBS2015)	Jan. 13, 2015
6	明山佳樹, 井上修 平, 松村幸彦, 井 上陽仁, 川井良 文, 久保田晴仁, 野口琢史		焼酎残渣の超臨界水ガス化に 関する反応工学的検討	P-19, 第10回バイ オマス科学会議	2015.1.14- 15
7	Thachanan Samanmulya, 松村 幸彦		Gasification characteristics of phenylalanine in supercritical water	P-20, 第10回バイ オマス科学会議	2015.1.14- 15
8	高瀬裕介, 井上修 平, 松村幸彦, 井 上陽仁, 川井良 文, 久保田晴仁, 野口琢史		バイオマスモデル化合物の超臨 界水ガス化に及ぼすギ酸添加の 影響	P-23, 第10回バイ オマス科学会議	2015.1.14- 15
9	Yasutaka WADA, Akifumi NAKAMURA, Yukihiko MATSUMURA, Takashi NOGUCHI, Takahito INOUE		The Creation of Renewable Energy by Supercritical Water Gasification with Food Waste	2CO.3.2, 23nd European Biomass Conference and Exhibition	2015.6.1-4
10	Y. Matsumura, S. Inoue, P. Changsuwan, Y. Akeyama, T. Inoue, Y. Kawai, T. Noguchi, H. Tanigawa		Gasification Characteristics of Solid And Liquid Components of Shochu (Japanese Distilled Liquor) Residue in Supercritical Water	2CV.3, 23nd European Biomass Conference and Exhibition	2015.6.1-4
11	Yoshiki Akeyama, Shuhei Inoue, Yukihiko Matsumura, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Haruhito Kubota, Takashi Noguchi		Determination of gasification rate for supercritical water gasification of shochu (Japanese distilled liquor) residue	2DV.1.76, 23rd European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE2015)	Jun. 1-4, 2015

12	Yusuke Takase, Shuhei Inoue, Yukihiko Matsumura, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Haruhito Kubota, Takashi Noguchi		Suppression of tarry material production in supercritical water by adding organic acids	2CO.6.5, 23rd European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE2015)	Jun. 1-4, 2015
13	和田泰孝, 中村昭 史, 尾山圭二, 内山 一郎, 谷口直彦, 谷 川博昭, 井上陽仁, 川井良文, 松村幸 彦, 野口琢史		食品廃棄物（焼酎残差）の超臨界 水ガス化による再生可能熱創生	Session 3-3, 第 25 回日本エネルギー 学会大会	2015. 8. 3-4
14	明山佳樹, 井上修 平, 井上陽仁, 川井 良文, 谷川博昭, 野 口琢史, 松村幸彦		焼酎残渣の超臨界水ガス化の反応 速度論的解析	Session3-3, 第 25 回日本エネルギー 学会大会	2015. 8. 3-4
15	高瀬裕介, 井上修 平, 井上陽仁, 川井 良文, 谷川博昭, 野 口琢史, 松村幸彦		焼酎残渣の超臨界水ガス化への酢 酸添加	Session 3-3, 第 25 回日本エネル ギー学会大会	2015. 8. 3-4
16	中島和希, 井上陽 仁, 縄田大輔, 野口 琢史, 松村幸彦, 和 田泰孝		焼酎残渣を原料とした超臨界水ガ ス化の商用化実現可能性調査	Session 3-3, 第 25 回日本エネル ギー学会大会	2015. 8. 3-4
17	Y. Akeyama, S. Inoue, T. Inoue, Y. Kawai, T. Noguchi, H. Tanigawa, Y. Matsumura		Supercritical water gasification of water soluble components in barley shochu residue (Japanese Distilled Liquor)	P24, 3rd Asian Conference on Biomass Science	2016. 1. 19
18	P. Changkiendee, S. Inoue, T. Inoue, Y. Kawai, T. Noguchi, H. Tanigawa, Y. Matsumura		Effect of heating rate on supercritical water gasification of shochu residue	P25, 3rd Asian Conference on Biomass Science	2016. 1. 19
19	Y. WADA, A. Nakamura, H. Tanigawa, K. Oyama, Y. Oouti, Y. Matsumura, T. Noguchi, Y. Kawai		The supercritical water gasification treatment of wet-biomass with actibated carbon	P26, 3rd Asian Conference on Biomass Science	2016. 1. 19
20	和田泰孝, 中村昭 史, 尾山圭二, 大内 優, 谷川博昭, 松村 幸彦, 井上陽仁, 川 井良文, 野口琢史		食品廃棄物の超臨界水ガス化によ る再生可能熱の創生	糖化・エネルギー セッション, 第 11 回バイオマス科学 会議	2016. 1. 20- 21
21	明山佳 樹, Pattraporn CHANGSUWAN, 井上 修平, 井上陽仁, 川 井良文, 谷川博昭, 野口琢史, 松村幸 彦		麦焼酎残渣の超臨界水ガス化反応 機構	超臨界水・水熱 セッション, 第 11 回バイオマス科学 会議	2016. 1. 20- 21
22	五藤聡, 井上修平, 井上陽仁, 川井良 文, 谷川博昭, 野口 琢史, 松村幸彦		焼酎残渣の酢酸添加超臨界水ガス 化に及ぼす原料濃度の影響	超臨界水・水熱 セッション, 第 11 回バイオマス科学 会議	2016. 1. 20- 21

23	高瀬裕介, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 谷川博昭, 野口琢史, 松村幸彦		焼酎残渣の超臨界水ガス化に及ぼす有機酸の添加効果	超臨界水・水熱セッション, 第11回バイオマス科学会議	2016. 1. 20-21
24	和田泰孝		超臨界水ガス化プロセスにおけるタール対策	第40回広島大学バイオマスイブニングセミナー	2016. 3. 2
25	和田泰孝		超臨界水ガス化プロセスにおけるタール対策	シンポジウム 実用化にせまる中国地域のバイオマス研究	2016. 3. 8
26	Changkiendee Poomkawe, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 谷川博昭, 野口琢史, 松村幸彦		超臨界水ガス化の昇温速度の生成物分布への影響	A232, 第53回日本伝熱シンポジウム	2016. 5. 24-26
27	Yukihiko MATSUMURA		Gasification Characteristics of Solid and Liquid Components of Shochu (Japanese Distilled Liquor) Residue in Supercritical Water	EU BC&E2016	2016/6/8
28	Yasutaka WADA		Weekday Continuous Gasification Test for Supercritical Water Gasification Treatment Business	EU BC&E2016	2016/6/8
29	松村幸彦		バイオマス利用技術の現状	特別講演, 環境バイオテクノロジー学会 2016 年度大会	2016. 6. 13-14
30	和田泰孝, 中村昭史, 尾山圭二, 大内優, 谷川博昭, 井上陽仁, 川井良文, 松村幸彦, 野口琢史		超臨界水ガス化技術による焼酎残渣の週日連続ガス化試験	Session 3-2, 第26回日本エネルギー学会大会	2016. 8. 9-10
31	松村幸彦, Obie Farobie, Poomkawe Changkiendee, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 谷川博昭, 野口琢史		超臨界水ガス化における原料昇温速度の影響	Session 3-2, 第26回日本エネルギー学会大会	2016. 8. 9-10
32	Yukihiko Matsumura		Supercritical water gasification -- Academic approach leading to commercial application, Plenary Session 1	Technology and Application, International Conference on Biomass	Oct. 10-11, 2016
33	和田泰孝, 中村昭史, 尾山圭二, 大内優, 谷川博昭, 松村幸彦, 井上陽仁, 川井良文, 野口琢史		食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生	エコテクノ 2016	2016. 10. 13
34	中村昭史, 和田泰孝, 尾山圭二, 大内優, 谷川博昭, 松村幸彦, 井上陽仁, 川井良文, 野口琢史		焼酎残渣超臨界水ガス化におけるラジカル捕捉剤によるタール抑制効果	熱工学コンファレンス 2016	2016/10/23

35	Obie Farobie, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 野口琢史, 谷川博昭, 松村幸彦		グルコースとグアヤコール混合物の超臨界水ガス化に対する加熱速度の影響	熱工学コンファレンス 2016	2016/10/22-23
36	Changsuwan Pattraporn, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 野口琢史, 谷川博昭, 松村幸彦		固体粒子の超臨界水ガス化	熱工学コンファレンス 2016	2016/10/22-23
37	Y. WADA, H. TANIGAWA, Y. MATSUMURA, T. NOGUCHI, T. INOUE, Y. KAWAI		Suppress Effect for Tar Plugging of Shochu Residue SCWG by Radical Scavenger	JCREN2016	2016/12/8-9
38	Yukihiko Matsumura, Satoshi Goto, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa		Char suppression of acetic acid on supercritical water gasification of shochu residue	JCREN2016	2016/12/8-9
39	Y. WADA, H. TANIGAWA, Y. MATSUMURA, T. NOGUCHI, T. INOUE, Y. KAWAI		Tar Suppress Effect of Rapidly Temperature Rising for Shochu Residue SCWG Business	4th Asian Conference on Biomass Science (ACBS2016b)	Dec. 13-14
40	Yukihiko Matsumura, Thachanan Samanmulya, Obie Farobie		Novel prediction of supercritical water gasification rate from gasification characteristics of components	4th Asian Conference on Biomass Science (ACBS2016b)	Dec. 13-14
41	和田泰孝, 中村昭史, 尾山圭二, 大内優, 谷川博昭, 松村幸彦, 井上陽仁, 川井良文, 野口琢史		超臨界水ガス化技術による焼酎残渣のDSS 60h ガス化試験	第12回バイオマス科学会議	2017. 1. 18-19
42	北川文哉, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 谷川博昭, 野口琢史, 松村幸彦		焼酎残渣の超臨界水ガス化におけるラジカル捕捉剤の添加効果	中国四国学生会第47回学生員卒業研究発表講演会	2017. 3. 6
43	Yukihiko Matsumura, Obie Farobie, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigaw		Effect of Heating rate on supercritical water gasification of model compounds of lignocellulose	The 1st Asian Conference on Thermal Sciences 2017 (ACTS2017)	2017/3/26-30
44	Nattacha PAKSUNG, Yukihiko MATSUMURA		KINETIC STUDY OF SUPERCRITICAL WATER GASIFICATION IN THE MIXTURE OF GLUCOSE, XYLOSE, AND GUAJACOL	25nd European Biomass Conference and Exhibition	2017/6/12-15
45	Akifumi NAKAMURA,		60 h DSS Supercritical water gasification for residue of	25nd European Biomass	2017/6/12-15

	Yasutaka WADA, Hiroaki TANIGAWA, Yukihiko MATSUMURA, Takashi NOGUCHI, Takahito INOUE, Yoshifumi KAWAI		Shochu (Japanese distilled liquor)	Conference and Exhibition	
46	Pattraporn Changsuwan, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa, Yukihiko Matsumura		Effect of Position of Acetic Acid Addition on Char Formation in Supercritical Water	The 1st International Symposium on Fuels and Energy (ISFE)	2017/7/10-11
47	Akifumi NAKAMURA		60 h DSS Supercritical water gasification for residue of Shochu (Japanese distilled liquor)	The 1st International Symposium on Fuels and Energy (ISFE)	2017/7/11
48	和田泰孝, 中村昭史, 谷川博昭, 松村幸彦, 野口琢史, 川合良文, 井上陽仁		焼酎残渣のDSS 60h 超臨界水ガス化処理試験における原料送液速度の影響	日本エネルギー学会第26回大会	2017/8/2
49	Thachanan Samanmulya, Yukihiko Matsumura		Supercritical water asification of aminobutyric histidine and 4-methylimidazole	The 6th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology	2017/10/12-14
50	Poomkawee Changkiendee, Chalita Ratanatawanate, Yukihiko Matsumura, Tawatchai Charinpanitkul		Simplified kinetic model of supercritical water gasification of glucose with Ni and Ru based catalysts	The 6th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology	2017/10/12-14
51	Apip Amrullah, Yukihiko Matsumura		Phosphorus behavior in supercritical water gasification of sewage sludge	The 6th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology	2017/10/12-14
52	Kunassanan Siribunyaroj, Yukihiko Matsumura		Glycine decomposition in supercritical water gasification	The 6th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology	2017/10/12-14
53	Soshi Hashimoto, Yukihiko Matsumura		Decomposition behavior of DNA in sub and supercritical water	The 6th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology	2017/10/12-14
54	Soshi Hashimoto, Yukihiko Matsumura		Total behavior of phosphorus in supercritical water gasification of deoxyribonucleic acid	The 9th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference	2017/10/27-30

55	Obie Farobie, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa, Yukihiko Matsuura		Gasification of glucose and guaiacol mixture in supercritical water	the Ninth JSME- KSME Thermal and Fluids Engineering Conference	2017/10/28- 30
56	Yukihiko Matsumura, Natta cha Paksung, Rahmat I. Main		Overall view of lignocellulosic biomass decomposition in supercritical water	2017 AIChE Annual Meeting	2017/10/29- 11/3
57	Yasutaka WADA, Hiroaki TANIGAWA, Yukihiko MATSUMURA, Takashi NOGUCHI, Takahito INOUE, Yoshifumi KAWAI		Rapidly temperature rising speed verification for Shochu residue SCWG treatment	5th Asian Conference on Biomass Science	2018/1/16
58	Rahmat Iman Mainil, Nattacha Paksung, Yukihiko Matsumura		Mechanism of retroaldol conversion in supercritical water	5th Asian Conference on Biomass Science	2018/1/16
59	Apip Amrullah, Yukihiko Matsumura		Identification of sewage sludge structure during hydrothermal treatment	5th Asian Conference on Biomass Science	2018/1/16
60	Nattacha Paksung, Yukihiko Matsumura		Supercritical water gasification of tomato residues	5th Asian Conference on Biomass Science	2018/1/16
61	Nattacha Paksung, Yukihiko Matsumura		Catalytic effects of phenol on hydrothermal decomposition of glucose	5th Asian Conference on Biomass Science	2018/1/16
62	Satoshi GOTO, Shuhei INOUE, Takahito INOUE, Yoshifumi KAWAI, Takashi NOGUCHI, Hiroaki TANIGAWA, Yukihiko MATSUMURA		Reaction Model for Supercritical Water Gasification of Shochu Residue	5th Asian Conference on Biomass Science	2018/1/16
63	Soshi Hashimoto, Shuhei Inoue, Tawatchai Charinpanitkul, Sanchai Kuboon, Yukihiko Matsumura		Levulinic Acid Production from Glucose by Hydrothermal Treatment	5th Asian Conference on Biomass Science	2018/1/16
64	和田泰孝, 大内優, 谷川博昭, 松村幸 彦, 野口琢史, 井上 陽仁, 川井良文		活性炭を利用した焼酎残渣の超臨 界水ガス化における酢酸濃度の影 響	第13回バイオマス 科学会議	2018/1/17- 18

65	五藤 聡, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 谷川博昭, 野口琢史, 松村幸彦		超臨界水ガス化反応器に対するスラリー供給に関する考察	第13回バイオマス科学会議	2018/1/17-18
66	山口智大, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 谷川博昭, 野口琢史, 松村幸彦		超臨界水ガス化における酢酸添加によるチャーとタールの抑制	日本機械学会中国四国学生会第48回学生員卒業研究発表講演会	2018/3/6
67	Yukihiko Matsumura, Satoshi Goto, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa		Suppression of heavy molecule production in supercritical water gasification	4th International Forum on Advanced Technologies	2018/3/8-9
68	Yasutaka WADA, Hiroaki TANIGAWA, Yukihiko MATSUMURA, Takashi NOGUCHI, Takahito INOUE		ONE MONTH DAILY START AND STOP SUPERCRITICAL WATER GASIFICATION TEST PLAN FOR RESIDUE OF SHOCHU (JAPANESE DISTILLED LIQUOR) TO CREATE RENEWABLE ENERGY	26th EU BC&E	2018/05/14-17
69	Nattacha PAKSUNG, Yukihiko Matsumura, Shuhei Inoue, P. Changsuwan, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa		EFFECT OF FEEDSTOCK CONCENTRATION ON SUPERCRITICAL WATER GASIFICATION OF GUAIACOL	26th EU BC&E	2018/05/14-17
70	Changsuwan Pattraporn, 井上修平, 井上陽仁, 川井良文, 谷川博昭, 野口琢史, 松村幸彦		グアヤコールの超臨界水処理における反応速度解析	第23回動力・エネルギー技術シンポジウム	2018.6.14-15
71	P. Changsuwan, S. Inoue, T. Inoue, Y. Kawai, T. Noguchi, H. Tanigawa, Y. Matsumura		The effect of residence time on char formation of guaiacol in supercritical water gasification	Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition (GRE2018)	Jun. 17-22
72	Pattraporn Changsuwan, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa, Yukihiko Matsumura		Effect of feed flow rate on product distribution and gas composition of guaiacol conversion in supercritical water	The 2nd International Symposium on Fuels and Energy (ISFE2018)	Jul. 2-4

73	和田泰孝, 内山一郎, 谷川博昭, 松村幸彦, 井上陽仁, 川井良文, 野口琢史		麦焼酎残渣の超臨界水ガス化1か月DSS連続試験について(活性炭による吸着の影響の推定)	日本エネルギー学会第27回大会	2018/8/9
74	Yukihiko Matsumura, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Takashi Noguchi, Hiroaki Tanigawa		Addition of Radical Scavenger to Supercritical Water Gasification	SICEST2018	Oct. 15-16
75	Yukihiko Matsumura		Solid production control in hydrothermal treatment of biomass	(ICB3)	Aug. 1-2 2018
76	松村幸彦, 井上陽仁, 川井良文, 谷川博昭, 野口琢史		触媒懸濁型超臨界水ガス化技術	第14回バイオマス科学会議	2019. 1. 16-18

(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	受賞者	所属	タイトル	名称	発表年月
1	松村幸彦、井上修平、久保田晴仁、野口琢史、川井良文、井上陽仁	広島大学ほか	バイオマスの超臨界水ガス化に関する熱工学・反応工学的研究	日本伝熱学会学術賞	2015. 6. 4
2	松村幸彦	広島大学	バイオマスの水熱処理に関する反応工学的研究	日本エネルギー学会学術賞(学術部門)	2019. 2. 26