

# 「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 7
I. 事業の位置付け・必要性について.....	I-1
I.1 事業の背景・目的・位置付け.....	I-1
I.1.1 事業の背景.....	I-1
I.1.2 事業の目的、意義.....	I-1
I.1.3 事業の位置付け.....	I-1
I.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	I-1
I.2.1 NEDO が関与することの意義.....	I-1
I.2.2 実施の効果.....	I-2
II. 研究開発マネジメントについて.....	II-1
II.1 事業の目標.....	II-1
II.2 事業の計画内容.....	II-2
II.2.1 研究開発の内容.....	II-2
II.2.1.1 事業全体の研究開発の内容.....	II-2
II.2.1.2 研究開発テーマ毎の研究開発の内容.....	II-3
(1.1)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.....	II-3
(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.....	II-5
(1.3)地中熱利用要素技術の開発.....	II-7
(2.1)地下水循環型地中採熱システムの研究開発.....	II-11
(2.2)共生の大地への地中蓄熱技術の開発.....	II-16
(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.....	II-21
(2.4)地中熱・流水熱利用型クローズドシステム技術開発.....	II-25
(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.....	II-27
(2.6)都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発.....	II-31
(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.....	II-35
(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.....	II-44
(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.....	II-49
(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.....	II-55
(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.....	II-60
(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.....	II-67
(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.....	II-73
(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.....	II-78
(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.....	II-85
(4.4)太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発.....	II-89
(5.1)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-93

II. 2. 2 研究開発の実施体制.....	II-98
II. 2. 3 研究開発の運営管理.....	II-109
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-118
II. 3 情勢変化への対応.....	II-118
II. 4 評価に関する事項.....	II-118
III. 研究開発成果について.....	III-1
III. 1 事業全体の成果.....	III-1
III. 1. 1 研究開発項目毎の成果 (H28.8 現在).....	III-1
III. 1. 2 知的財産等の取得、成果の普及.....	III-3
III. 1. 3 個別テーマ毎の成果(まとめ).....	III-4
III. 2 個別テーマの成果の概要.....	III-10
(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.....	III-10
(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.....	III-12
(1. 3)地中熱利用要素技術の開発.....	III-14
(2. 1)地下水循環型地中採熱システムの研究開発.....	III-16
(2. 2)共生の大地への地中蓄熱技術の開発.....	III-18
(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.....	III-20
(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.....	III-22
(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.....	III-24
(2. 6)都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発.....	III-27
(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.....	III-28
(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発化.....	III-32
(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.....	III-36
(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.....	III-39
(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.....	III-41
(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.....	III-44
(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.....	III-46
(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.....	III-48
(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.....	III-51
(4. 4)太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発.....	III-53
(5. 1)食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生.....	III-54
IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	IV-1
IV. 1 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	IV-1
IV. 1. 1 事業全体の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	IV-1
IV. 1. 2 研究開発テーマ毎の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	IV-3

(添付資料)

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

# 概要

		最終更新日	平成 28 年 8 月 15 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	<p>新エネルギー部／</p> <p>統括研究員 生田目 修志 (平成 26 年 4 月～平成 28 年 8 月現在)</p> <p>主査 上村 和孝 (平成 26 年 4 月～平成 27 年 1 月)</p> <p>主査 太田 勝啓 (平成 26 年 4 月～平成 27 年 3 月)</p> <p>主査 吉田 明生 (平成 26 年 4 月～平成 27 年 8 月)</p> <p>主査 高橋 正樹 (平成 26 年 4 月～平成 27 年 9 月)</p> <p>主査 田中 彰 (平成 27 年 2 月～平成 28 年 8 月現在)</p> <p>主査 実島 哲也 (平成 27 年 4 月～平成 28 年 8 月現在)</p> <p>主査 田中 順 (平成 27 年 4 月～平成 28 年 8 月現在)</p> <p>主査 井出本 穰 (平成 27 年 5 月～平成 28 年 8 月現在)</p> <p>主査 和田 圭介 (平成 27 年 10 月～平成 28 年 8 月現在)</p> <p>主査 谷川 大致 (平成 28 年 7 月～平成 28 年 8 月現在)</p> <p>主任 安生 哲也 (平成 26 年 4 月～平成 28 年 5 月)</p> <p>主任 丸内 亮 (平成 28 年 5 月～平成 28 年 8 月現在)</p> <p>職員 村上 慶 (平成 27 年 1 月～平成 28 年 8 月現在)</p>		
0. 事業の概要	<p>(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))</p> <p>(2)事業期間：平成 26 年度～30 年度(5 年間)</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>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て大量導入することが急務となっている。</p> <p>平成26年4月11日に公表された「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。</p> <p>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、パッケージやシステムインテグレータの育成が促進され、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。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>中間目標(平成28年度)</p> <p>平成29年度以降継続するテーマについては個別に中間目標を定めている。</p> <p>最終目標(平成30年度)</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</p> <p>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。</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</p> <p>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> <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> <p>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。</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</p> <p>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。</p>		

	(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 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。						
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						
	(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						
	(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						
	(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						
	(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						
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				1723
	総予算額	564	1159				1723
	(委託)	494	1064				1558
	(共同研究) : 負担率 2/3	70	95				165
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)	(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」 株式会社東亜利根ボーリング ・「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」 旭化成建材株式会社 ・「地中熱利用要素技術の開発」 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 ・「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 ・「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 ・「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					

		<p>ゼネラルヒートポンプ工業株式会社</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>・「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> <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        ジーエムラボ株式会社</li> <li>・「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」        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</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」        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</li> <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」        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</li> </ul>
--	--	--

		<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」 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</li> <li>・「太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発」 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</li> </ul> <p>(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</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」 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</li> </ul>
情勢変化への対応	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。	
中間評価結果への対応	—	
評価に関する事項	事前評価	平成 25 年度実施 担当部 新エネルギー部 平成 26 年度 NEDO POST 実施
	中間評価	—
	事後評価	—
Ⅲ. 研究開発成果について	<p><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 28 年度末)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発 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%低減になりうる可能性を基本技術研究開発、試作等で達成見込みである。</li> <li>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 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%低減になりうる可能性を基本技術研究開発、試作等で達成見込みである。</li> <li>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 各熱の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マップを作成できる容易な操作性を備えたシステム、並びに設置前に実施する簡易な評価の基本技術を達成見込みである。</li> <li>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 導入コスト 10%低減になりうる可能性を基本技術研究開発、試作等で達成見込みである。</li> <li>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 導入コスト 10%低減になりうる可能性を基本技術研究開発、試作等で達成見込みである。</li> </ul> <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> <p><b>(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</b> 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の低減見込みを示した。 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。</p> <p><b>(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</b> 開発工法の羽根付き掘削鋼管、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することを確認した。 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。</p> <p><b>(1.3) 地中熱利用要素技術の開発</b> 地中熱専用掘削機および周辺機器のロッドチェンジャー、Uチューブ挿入機を開発した。小型の浅部掘削機は、概略設計が完了した。地中熱交換器の研究開発では、3種類の地中熱交換器のシミュレーション解析を行い、そのうち被覆銅管制水平スリキー地中熱交換器を用いたフィールド試験を実施中である。熱源機の研究開発では、蒸気圧縮式空調機に地中熱交換システムを組み込んだハイブリッドシステムの装置を実験中である。</p> <p><b>(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</b></p>	

## (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の構築に際し、①熱交換槽の地下水流動に伴う熱伝導(移動)解析、②熱交換槽のプレキャスト化を含む構成材料の開発、③地下水供給制御システムの開発を完了した。またこれらの技術を適応した実証プラント(能力 20kW)の建設を完了した。平成 28 年 7 月より夏期データの収集を開始し、採熱量向上を目的とした地下水散水の最適条件を検討する。

## (2.2) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発

ビルを対象にPHC杭壁内側に4組のUチューブを固定し、杭と同時設置する工法を確立した。戸建住宅用コンクリートH杭へ簡易にUチューブが固定可能な外付け圧入法を確立し、床暖房利用で実証運転を行った。

## (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に関して各構成要素の試作機を製作し、設計用データ整備のための運転性能評価を実施した。集熱システムの性能予測モデルを構築し、年間シミュレーションにより性能評価を実施した結果、給湯を含めたシステムはCOP5.0前後と高い性能を示した。

## (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

農業用水等の流水熱や浅層地下水熱利用方法検証のため製作した実験水路、実験水槽を用いて、熱交換器の基礎データを取得した。

実証試験場所に浅層地下水熱利用クローズドシステムのための熱交換器を埋設した。この熱交換器を用いて熱交換性能、埋設方法を検討し、設置コストをボアホール熱交換器と比較した。

導入適地マップ作成のため、実証試験場所の現地調査、地下水流れの数値解析、及び選定した農業用水路の流速予測式の開発を行った。

## (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

既往地中熱ヒートポンプ熱源機器、および既往地中熱交換器調査として、機器のラインナップ調査、代表機器の性能特性調査を実施した。

## (2.6) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

施工手法、熱交換器の配置や設置間隔等について試験を行うため、全6パターンを試験用地中熱交換器を土留壁方式で試験フィールドに構築した。地中熱一体型エアコンとポンプユニットに関して設計業務を開始した。

## (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

排土速度を向上させるインナーロッドの形状を模型実験により検討し、速度の速いインナーロッドを試作した。ドリルロッド交換作業の自動化を検討した。新形状採熱管について採熱試験(熱応答試験)を実施し、従来のUチューブ型採熱管と比較した。

量産型30kW級インバータ機と30kW級ノンインバータ試作機を組み込んだ60kW級ヒートポンプモジュールを試作、性能評価を実施した。太陽熱集熱タンク、冷却塔等を連結した制御システムを試作した。

多用途の地中熱熱回収ヒートポンプシステムに対応したフィージビリティスタディを行い、熱回収利用における制御要件を明確化して制御ロジックを構築した。本ロジックを組み込んだ基本制御ソフトを試作、フィールド試験設備に導入して制御ロジックの検証を開始した。

地理地盤データベースを活用した三次元地盤情報推定ツールを開発し、複層地盤の計算が可能な設計・性能予測手法へ地盤情報を連成可能とした。

## (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発化

太陽熱集熱器を用いた帯水層の温度回復が可能であること、また温度回復の数値モデルと実測値が概ね合致することを確認した。半開放式地中熱利用システムの長期暖房運転を行い、運転性能と総合エネルギー効率の評価を行った。ボーリングによりオールコア試料を採取し、熱物性データを測定した。あわせて熱応答試験による有効熱伝導率を測定し、熱物性データとの関係性を評価した。

## (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

浅部地中熱利用及び従来型ボアホール式地中熱利用システムの運用を開始し、その特性の違いを把握した。また、熱交換器及び室内機制御のシーケンス開発並びに循環熱媒向けポンプの制御試験を実施した。

## (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

長野、仙台の実証データを収集・整理し、三次元地質構造モデルを構築した。実証地域のマルチスケール国土水・熱循環モデル及び地中熱利用評価技術を検討し、検証用データに基づいてシミュレーション結果とポテンシャル評価結果を検証した。上記の評価結果をデータベース化して情報シス



	<p>テムのモックアップを作製した。</p> <p><b>(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</b>        最適逆洗技術開発を進める実証サイトにおいて地層の初期状態を把握し、還元井目詰まりの原因とさせる細粒成分を多く含む地層では、井戸内調査により地下水の透明度が低いことを確認した。浸透ますを用いる地下水還元技術について、地下浅層の不飽和帯への現場浸透試験を各種の方法で行い、適切な試験法を見いだした。地中熱利用システムの運転に伴う地下温度変化を数値シミュレーションにより推定し、地下水流速が速い地域では温度変化が 1℃以上となる領域が小さいことを明らかにした。</p> <p><b>(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</b>        観測井による地下水管理技術が、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システム運用時のリスク回避に対する有効性を検証した。</p> <p><b>(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</b></p> <p><b>(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</b>        8種類の泉質にて材料浸漬試験によるスケール付着、腐食状況の違いを把握した。把握した泉質下での温泉熱利用に適した流下液膜式熱交換器用材料の選定を行った。選定した熱交換器用材料を用いてミニチュアの流下液膜式熱交換器を試作し、選定したスケール付着や腐食が激しい泉質に対して試験、評価に着手した。</p> <p><b>(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</b>        従来の雪冷房施設に使用できない都市徐排雪を用いた冷熱回収システムを設計し、排雪中の不純物の影響を受けずに冷熱回収できることを実証実験により確認した。またフリークーリングを併用することで、従来の雪山型と比べてトータルコストを 25%削減可能な冷熱回収システムを設計した。さらに雪山冷熱回収システムおよびデータセンター実証棟、食料生産実証施設を整備し、雪冷房による夏期のサーバ冷却、サーバ廃熱による冬期の暖房効果を確認した。</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>        熱音響冷凍機の最適化シミュレーションを行い、1kW の冷熱を得るための周波数や細管径などを明らかにするとともに、入力温度と冷熱出力、熱効率の関係を整理した。また太陽入熱装置について、集熱管配置や反射板による効果を試算した。</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>        太陽熱利用システムの省エネ性能最適化手法に係る技術開発に必要なデータ取得のための実証試験に着手した。</p> <p><b>(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</b></p> <p><b>(5.1)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>        ラジカル補足剤を添加した場合の焼酎残渣のガス化反応式をラボスケール装置で決定した。パイロットプラントにラジカル補足剤高圧注入装置を設置し、ガス化反応式の有効性を確認した。</p>						
	<table border="1"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>「査読付き」16件、「その他」22件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>「出願済」4件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願1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」147件、「新聞・雑誌等への掲載」65件、「展示会への出展等」34件</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」16件、「その他」22件	特許	「出願済」4件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願1件)	その他の外部発表(プレス発表等)	「研究発表・講演」147件、「新聞・雑誌等への掲載」65件、「展示会への出展等」34件
投稿論文	「査読付き」16件、「その他」22件						
特許	「出願済」4件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願1件)						
その他の外部発表(プレス発表等)	「研究発表・講演」147件、「新聞・雑誌等への掲載」65件、「展示会への出展等」34件						
<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>本事業に係る「実用化・事業化」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システムやポテンシャルマップ、シミュレーションツール等の評価技術が社会的利用(顧客への提供等)されることである。        開発している熱利用システムについて、商用システムとしての運転、開発技術の利用者への提供開始に向けてプロジェクト毎に取り組んでいる。</p>						
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<table border="1"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成 26 年 3 月 作成</td> </tr> <tr> <td>変更履歴</td> <td>なし</td> </tr> </table>	作成時期	平成 26 年 3 月 作成	変更履歴	なし		
作成時期	平成 26 年 3 月 作成						
変更履歴	なし						

## 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。貯雪氷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	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。
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。

LC <del>EM</del>	<u>L</u> ife <u>C</u> ycle <u>E</u> nergy <u>M</u> anagement 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 <u>L</u> ogic <u>C</u> ontroller) 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( <u>S</u> ubsurface <u>W</u> ater and <u>T</u> hermal <u>E</u> nergy <u>R</u> esources)。
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 <u>S</u> oil <u>M</u> ixing <u>W</u> all で連続土留壁を構築し遮水する工法。
TRT	<u>T</u> hermal <u>R</u> esponse <u>T</u> est の略。地盤の熱伝導率を求める熱応答試験。
U チューブ	先端をU字状に接合した主に樹脂製の管。

## 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「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。

#### 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でなく、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、さらに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。

#### **(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について**

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**

- ・システムの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。
- ・これまでの主な暖房需要の大きい地域だけでなく、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、システムの導入効果を分かりやすく提示することが可能になる。

## 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、技術開発を推進している。

#### (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

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。

#### (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

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。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5年間とし、共同研究事業(NEDO負担率：2/3)として以下の研究開発項目を実施する。なお、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」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研究開発については、原則としてNEDO負担率1/1の委託で実施することとする。

#### (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)]

- (i) 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
- (ii) 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
- (iii) 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)]

- (i) 地下水循環型地中採熱システムの研究開発
- (ii) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発
- (iii) 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
- (iv) 地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発
- (v) 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
- (vi) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発
- (vii) 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
- (viii) 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
- (ix) 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)]

- (i) 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
- (ii) 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
- (iii) 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

[委託]

- (i) 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
- (ii) 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
- (iii) 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
- (iv) 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発

#### (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

[委託]

- (i) 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.2.1.2 研究開発テーマ毎の研究開発の内容

### (1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

#### (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

##### (1.1.1)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り、そのために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。

地中熱利用は、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、打撃エネルギーを従来機比の約1.76倍(能力の約81%)とし、掘削可能であることを見込んでいる。

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、掘削技術の平準化と作業の安全・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	最終目標(平成28年度末)	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図Ⅱ(1.1)-1に示す。

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①騒音・振動測定					(進捗に合わせて実施)							
②低騒音化技術開発		機械内構造設計				改良			最終仕様設計			
③自動化技術開発		熟練技術者ヒアリング					自動化制御設計					
④製造・組立									新型機製造・組立			
⑤自社構内 実地試験									掘削・性能試験			

図Ⅱ(1.1)-1 研究開発スケジュール

## (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

### (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。導入コストが高いため、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、孔壁を保護しないと崩壊性がある地盤が多いため、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、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。
- (iii)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	最終目標(平成27年度末)	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。	
	発生排土量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29日までで、主な事業スケジュールの概要を図 II(1.2)-1に示す。

事業項目	H26年度				H27年度				H28年度	
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q
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					
②施工方法確立					施工試験×4現場 施工性、排土量評価					
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					

図 II(1.2)-1 研究開発スケジュール

### (1.3)地中熱利用要素技術の開発

#### (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きており、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ー、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ー、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、通常の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linky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壤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壤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、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。

表Ⅱ(1.3)-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地中熱専用掘削機及び周辺機器の開発	掘削工事費 30%削減する 目途をつける。 1)Uチューブ挿入機 実証試験完了。 2)地中熱専用掘削機 実証試験開始。	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	開発完了。掘削工事費 30%を削減する目途をつける。	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	地中熱交換器機部材コスト 20%を削減する目途をつける。小型化による小流量の運用により、配管工事費 10%を削減する目途をつける。	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・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	液ポンプ内蔵ヒートポンプなどの熱源機開発により、ヒートポンプのインシヤルコスト 20%を削減する目途をつける。	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29年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(1.3)-1に示す。

事業項目	H26年度				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	1Q	2Q	3Q	4Q
①地中熱専用掘削機 の開発					—————				—————				—————				—————			
②ロッドチェンジャー の開発					—————				—————				—————				—————			
③Uチューブ挿入機器 の開発					—————				—————				—————				—————			
④浅部専用掘削機(小 型機)の開発					—————				—————				—————				—————			
⑤地中熱交換器の高 性能低コスト化の研 究開発					—————				—————				—————				—————			
⑥熱源機の低コスト化 の研究開発					—————				—————				—————				—————			

図Ⅱ(1.3)-1 研究開発のスケジュール

## (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

#### (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が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事業者に限定されている。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が可能と考えている。また、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。

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、システム全体で所期導入コストの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。

#### (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。

### 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、株式会社守谷商会在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。

#### 1) 地中採熱槽の地下水流動に伴う熱伝導解析

(実施体制:(株)守谷商会—八千代エンジニアリング(株)再委託)

本共同研究開発で具現する地下水循環型地中採熱槽が有する合理性(熱枯れが発生しない)を評価確認する手段の一つとして、藤縄克之信州大学研究特任教授が開発した数値解析ソフト sWATER を用いて事前の評価検証を実施する。

解析の実務は八千代エンジニアリング株式会社に再委託し、解析ソフトの開発者である藤縄克之信州大学研究特任教授より指導・助言を得る。

#### 2) 地中熱交換槽構成材料の研究開発(実施体制:(株)守谷商会—(株)コクカコーポレーション再委託)

##### (1) 採熱装置構成材料(スリンキー部)の開発

地下水循環型地中採熱システム構築に必要となる地下水浸透槽構成材料に関して、自然対流の発生を抑制し地下水の有する熱エネルギーの効率的取得を目的として透水性能の異なる2タイプの採熱装置を構築し性能検証を実施する中で、以下に挙げる要素技術に関して最適技術の確立を図る。

##### 1. 河川産砂利の粒度及び空隙率の最適化

熱交換槽を構成する浸透性材料に関し、粒度試験、密度試験並びに室内透水試験を実施して最適化に関する技術基準を確立する。

##### 2. 土木安定シート等の配置方法の最適化

地下水の地下浸透量を人為的に制御する技術としてのジオテキスタイル材料(土木安定シート等)の配置方法(材料選定を含む)の最適化に関する技術基準を確立する。

##### (2) 採熱装置のプレキャスト化の開発

採熱効率が優れるシート状採熱管(G-カーペット)を、透水性能が優れるポーラスコンクリートブロックに内装してプレキャスト製品化を実現して、採熱装置の高品位化を図る。

そのために必要となるポーラスコンクリートが具備すべき基本性状、つまり透水係数

$5 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 、空隙率 20%程度の透水性能を具体化する配合技術を確立するとともに、均等質な透水性能を実現するコンクリートブロックの製造方法を確立する。

#### 3) 地下水循環型地中採熱システムの研究開発(実施体制:(株)守谷商会—サンポット(株)再委託)

##### (1) 地下水供給制御システムの研究開発

地下水循環型地中採熱装置に供する井戸ポンプとヒートポンプの連成運転手法を確立し、井戸ポンプ運転の最適化を図る技術の確立に使用する制御装置を設計・製造する。

この開発に使用する地中熱ヒートポンプ機器は、サンポット株式会社が既に製品化し販売しているGSHP-1002URとして、本機器が有する制御・操作ユニットGSHP-PC-HAに改良を加え実用化を目指す。

##### (2) 実証プラント設備の建設

水浸透性を有する熱交換槽に埋設された散水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ことを目的に、建設する実証プラント設備に必要な装置及び機器の仕様を決定するとともに、基準類に準拠し、参画する再委託者の協力を得ながら実施設計する。

この建設作業中に確立した地中採熱装置の構築に掛かる施工手順と工数(施工歩掛り)をとりまとめ、施工に関する技術資料を作成する。具体的には、採熱装置にプレキャスト製品を用いた施工の手順、技術の要点を現場敷設コストの低減と施工時間を短縮並びに地中採熱管の配管工事の省力化技術を中心に取りまとめる。

また、建設作業中には、確認試験を実施し構築した地中採熱装置の品質及び性能を確認する。これには、確認試験の実施に先立ち試験要領書を作成することとする。

### (3)実証プラント運転による研究開発効果の確認と評価

建設した実証プラントを運転し、前項で挙げた各種計測装置で計測したデータを分析し、以下に挙げる4項目について性能検証を行う。

#### 1)地下水循環型地中採熱装置の基本採熱量の検証

目標の達成度確認のための採熱性能の検証を実施する。

a)水平式採熱管(スリンキータイプ)の採熱目標量を50W/m以上

b)シート状採熱管(G-カーペット)1枚当たりの採熱目標量を1.5kW

運転を実施して得られたデータより季節変動も加味した上で評価を行う。

#### 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

採熱効率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。得られたデータより井戸ポンプ最適運転、つまり地下水散水量の最適化を検証する。これに基づき、採熱槽内の水位・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帯を制御し、全電力消費量の低減と日ピーク時間帯の井戸ポンプの運転を抑制する技術を確認する。

#### 3)採熱装置の耐久性検証①

地下水循環型採熱装置が、持続的な地下水涵養能力を有し、かつ長期的に採熱性能が担保できることを検証するために運転検証を実施する。

なお検証が必要なリスクは以下のとおりである。

(1)地下水の流動に伴って多孔質体内の細粒分が移動することに起因する、地盤や熱交換槽内に発生すると懸念される目詰まり等による透水性能の経時低下

(2)井戸水中に含まれる微細砂等による目詰まりで生じる装置の透水性能の低下

(3)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の発生

(4)周辺地盤を含む熱交換装置の沈下等の変状発生

#### 4)採熱装置の耐久性検証②《参考》

採熱装置の耐久性検証試験として、平成29～30年度にヒートポンプの高付加運転を実施し地下水の散水量を意図的に増量して、劣化促進試験を実施する。評価検証項目は、上記の耐久性検証①のものと同様とする。最終年度には、最熱装置にコアボーリング等を実施して、槽を構成する多孔質体内の目詰まりやエフロレッセンスの発生状況を目視にて観察するほか、室内試験等により透水係数及び空隙率を実測して、劣化の進行状況を確認・評価する。

表Ⅱ(2.1)-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)熱伝導解析と評価	・熱移動の数値解析を用い、熱伝導・熱分散・熱対流などを理論的に検証し、装置構造の優位性を示す。	地下水散水量や熱媒体の循環方向等の条件の違いによるシステム性能を、実証試験によって定量的に評価する。	・採熱槽を構成する材料は、地下水の地盤浸透の速度を $v_g$ 、採熱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。
2)採熱槽構成材料の開発	採熱槽構成材料の透水係数と空隙率の相違による、採熱量への影響を実証試験により確認・評価する。	・スリンキータイプの採熱目標量を $50\text{W/m}$ 以上とし、従前技術 $5\text{W/m}$ の 10 倍以上の採熱を目指す。 ・G-カーペットおよび SUS 管による採熱装置1回路当たりの採熱目標量を $1.5\text{kW}$ 以上を目指す。	・ボアホールタイプでは、地下水流動速度 $1.4 \times 10^{-2}\text{cm/sec}$ の地盤で地下水流動のない地盤に比べ採熱量が約 10 倍とされる。 ・G-カーペットの地中浅層埋設の採熱量は $0.3\text{kW/枚}$ 程度。地下水流動効果と、採熱槽構成材料ポーラスコンクリートの性能等を勘案して半分の 5 倍を想定する。SUS 管も同様の目標とする。
3)地下水循環型地中採熱システムの研究開発	・採熱槽構成材料の透水係数、空隙率の相違による採熱量への影響に関し技術基準を確立する。 ・プレキャスト化した採熱装置の施工要領をまとめる。		・採熱槽構成材料の透水係数と空隙率の相違により、採熱量がどの程度影響を把握する必要がある。 ・G-カーペットや SUS 管を内挿した、ポーラスコンクリート採熱装置は従来にない。
4)採熱量および地下水最適散水量の検証	地下水散水(供給)量の採熱量の検証、データ取得。	地下水散水(供給)量の最適化を図る。	システム効率最適運転のために、最適化する必要がある。
5)耐久性検証試験	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採熱効率の低下を検証する。	採熱槽の劣化(目詰まり)促進試験を実施する。採熱装置にコアボーリング等を実施して、槽を構成する多孔質体内の目詰まりやエフロレッセンスの発生状況を目視にて観察、室内試験等により透水係数及び空隙率を実測して、劣化の進行状況を確認・評価する。	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。 ・地下水中に含まれる微細な砂・不純物 ・地下水の流動に伴う採熱槽内の細粒分移動 ・ポーラスコンクリート内でのエフロレッセンス等生成

(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29年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.1)-1に示す。

事業項目	H26年度				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	1Q	2Q	3Q	4Q
①熱伝導解析と評価			—	—																
②採熱槽構成材料の開発			—	—																
③採熱装置の実施設計と実証プラント建設			—	—																
④採熱量および地下水最適散水量の検証					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
⑤耐久性検証試験																	—	—	—	—

図Ⅱ(2.1)-1 研究開発のスケジュール

## (2.2)共生の大地への地中蓄熱技術の開発

### (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ことが大幅なコスト削減になる。漏水・目詰まり・腐食・温度応力・施工性などの課題を解決し、20%以上の導入コスト削減を実現する。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、電気に比べ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) ケイ酸ソーダによる 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、コンクリート内の  $Ca^{2+}$  と大気や地下水の二酸化炭素が反応することで、炭酸カルシウムが析出し、熱交換器・管路の目詰まりとなるリスクがある。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、確実で、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  $Ca^{2+}$  と水の反応でケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)結晶で充填される。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  $Ca^{2+}$  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。PHC 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)、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、十分対応した事例はない。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、継手での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ブ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チューブの行き回りの間隔を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詰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)地下水循環での目詰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詰まりを招く。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詰まりも、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1m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	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%縮減を示す。	ボアホール価格性能比で地中熱システム設置費を20%削減、維持費を20%削減する。杭への熱応力を検証する。	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	・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。 ・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。	ボアホール価格性能比で地中熱システム設置費を20%削減、維持費を20%削減する。	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に関して、従来の地中梁空洞利用貯水槽とボアホール方式に比べ、設置と運用コスト20%削減を示す。	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、従来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%削減する。	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	数値シミュレーションから帯水層蓄熱システムを構築する。	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29年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図 II (2.2)-1に示す。

事業項目	H26年度				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	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											

図 II (2.2)-4 研究開発のスケジュール

## (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

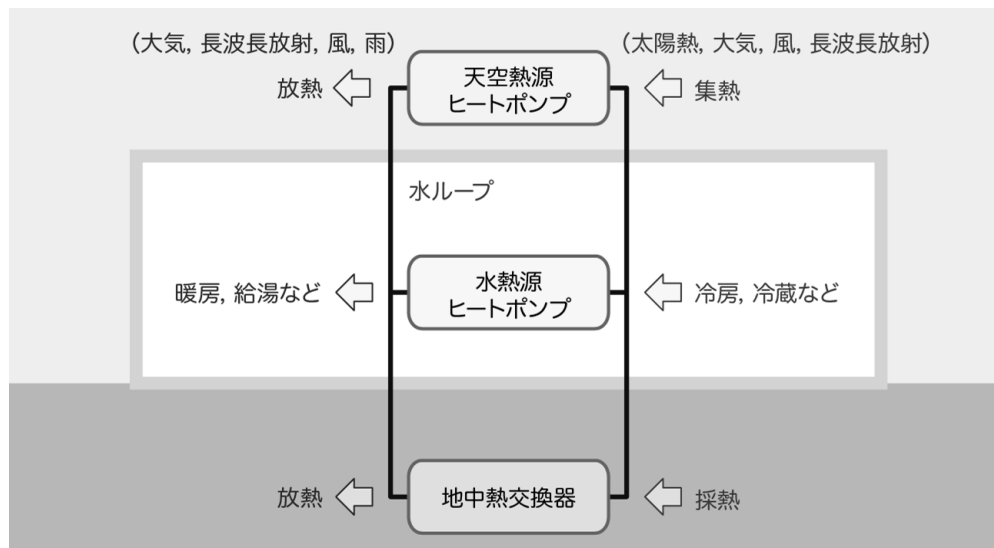
### (2.3.1)背景と目的

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研究開発し、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のようになる。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。地中熱利用と土壌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。

#### ①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。

#### ②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。

#### ③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。

#### ④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、蓄熱機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。

#### ⑤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。

#### ⑥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。

#### ⑦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。

#### 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( $\phi$ 200~250mm)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。

#### ⑥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	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水ループシステム構築技術開発	導入コスト12%及び運用コスト12%低減することを示す。	導入コスト18%低減及び運用コスト20%低減を達成する。	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%向上見通しを示す。	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験により、熱交換器施工コスト14%低減を達成する。	蓄熱性地中熱交換器の実証により、熱交換器施工コスト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の達成見通しを示し、ヒートポンプ廻りの工事コスト14%低減を示す	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%削減見通しを示し、工事コスト10%低減を示す。	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	各要素技術の運転性能予測モデルを試作、全体システム運用コスト20%低減の見通しを示す。	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29年3月20日までである。事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.3)-2に示す。

事業項目	H26年度				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	1Q	2Q	3Q	4Q
1) 水ループシステム構築技術の研究開発			FS		試作・実験				実証				新技術				実用化			
2) 天空熱源HPの研究開発			設計		試作・実験				改良・実証				新技術				製品化			
3) 地中熱交換器の研究開発			設計		試施工・実験				改良				新技術				製品化			
4) 水熱源空調HPの研究開発			設計		試作・実験				改良				新技術				製品化			
5) 水熱源給湯HPの研究開発			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				評価				設計法検討				標準化			

図Ⅱ(2.3)-2 研究開発のスケジュール

## (2.4)地中熱・流水熱利用型クローズドシステム技術開発

### (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	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流水熱利用型熱交換器の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>流水路設置熱交換器の開発・性能評価</li> <li>地下水熱交換器の開発・性能評価</li> <li>数値モデル化による性能評価</li> <li>用水路、地下水内に設置し実証試験を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	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發揮する熱交換器形状と設置方法を確立する。
②ヒートポンプシステムの運用最適化手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>水冷ビルマルの低負荷率負荷制御法の開発</li> <li>不凍液不使用ヒートポンプシステム運転制御法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>不凍液不使用HPの適用範囲を明確にする。</li> </ul>	地中熱ヒートポンプシステム運用コストを低減する。
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>水理地質調査に基づく資源量評価</li> <li>ポテンシャル評価手法およびマッピング技術の開発。</li> </ul>	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。

(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図Ⅱ(2.4)-1に示す。

事業項目	H26年度				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	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																		
			扇状地・用水路での実証試験											流水熱交換器の他熱源への適用							
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																		
			不凍液不使用システム制御手法の開発										適用拡大								
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																		
			導入適地マッピング技術の開発										実設計への適用								
													他熱源のポテンシャル手法開発								

図Ⅱ(2.4)-1 研究開発のスケジュール

## (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

### (2.5.1)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ニシャ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、最適な運転条件を指示できるツールとすることで運用時のランニングコストの削減をする。

### (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シ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、以下の検討が可能なツールとする。空調熱源トータルシミュレーションツールは、LCCEM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イスの開発を行う。

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。

#### 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。

#### ③LCCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発

LCCEM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。

#### ④LCCEM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。

#### ⑤LCCEM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、LCCEM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。



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

LCEM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イスの開発(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イスを開発する。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イスを作成する。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

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既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査	熱源機器ラインナップ調査、代表10種程度の性能把握		既往熱源機器の代表的な機種とした
②既往地中熱交換器調査	地中熱交換器ラインナップ調査、代表3種の性能調査		地中熱交換器の代表的なものとした
③LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発	主要な熱源機器4機種の熱源モジュール作成	主要な全熱源機器の熱源モジュール作成	代表的な平野を選定し、汎用性を高める
④LCEM用地中熱物性取得モジュールの開発	試作モジュールの基本設計及び開発(テスト地域:石狩平野、大阪平野)	主要平野(仙台、関東、濃尾、福岡)のモジュール作成完了。	地中熱物性取得モジュール開発
⑤LCEM地中熱熱交換器熱交換計算手法の構築	熱交換器代表1種のLCEMに適用可能な熱交換器計算手法を構築	熱交換器代表2種の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	熱交換器のLCEMに適用可能な熱交換器計算手法を構築
⑥LCEM地中熱熱交換器モジュールの開発	熱交換器代表1種のモジュール作成、モジュール動作内容を確認	全熱交換器方式のモジュール作成、モジュール動作内容を確認	熱交換器モジュールを開発する
⑦空調熱源トータルシステムの開発	主要1種の地中熱ヒートポンプモジュールと空冷ヒートポンプを組合せたシステム構築が可能なツールを作成	地中熱ヒートポンプモジュールと空冷ヒートポンプ、ターボ冷凍機を組合せたシステム構築が可能なツールを作成	汎用性向上のため、主要な空調設備を網羅する
⑧既往ツールとの比較	主要2種の地中熱ヒートポンプモジュールで既往ツールと、エネルギー消費量の計算結果を比較する。	主要2種の地中熱ヒートポンプモジュール、3地域程度で、既往ツールとエネルギー消費量の計算結果を比較	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存ツールで、ヒートポンプシステムのエネルギー消費量計算結果が同等となることを確認
⑨空調熱源トータルシステムシミュレーション計算値と実測値との比較	地中熱ヒートポンプシステムのエネルギー消費量実測値と空調熱源トータルシステムシミュレーション計算値とを比較	ヒートポンプシステムのエネルギー消費量実測値とシミュレーション計算値との誤差5%以内を確認	高精度なツールとするため、精度目標5%を設定した
⑩ユーザーインターフェイスの開発		簡易操作可能なユーザーインターフェイス構築	幅広く成果を普及するため分かり易いインターフェイスにする必要がある
⑪既往設計手法との比較	1建物について既存手法と本ツールでの設計を実施して比較	既存手法と本ツールでの設計を実施し比較	既存手法と本ツールによる設備容量及び消費エネルギーを算出、設計手法の違いによるコストを比較

(2.5.3)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図Ⅱ(2.5)-1に示す。

研究開発項目	平成27年度		平成28年度				平成29年度(予定)				平成30年度(予定)			
	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	◆		調査											
② 既往地中熱交換器調査	◆		調査											
③ LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発			主要機器モジュール作成				全機器モジュール作成							
④ LCEM用 地中熱物性取得モジュールの開発	基本設計		データ取得モジュール作成				全地域モジュール作成							
⑤ LCEM地中熱 熱交換器熱交換計算手法の構築	計算手法構築(主要方式)		計算手法構築(全方式)				高速化修正							
	熱交換器単体1方式		熱交換器単体全方式											
⑥ LCEM地中熱 熱交換器モジュールの開発	熱交換器単体1方式		熱交換器単体全方式											
			複数埋設1方式				複数埋設全方式							
⑦ 空調熱源トータルシステムの開発			空冷HP複合システム構築				その他の機器複合システム構築							
			既往ツール計算				既往ツール計算							
⑧ 既往ツールとの比較			結果比較				結果比較							
			実測値分析				実測値分析							
⑨ 実測値との比較			結果比較				結果比較							
			仕様検討				プログラミング							
⑩ ユーザーインターフェイスの開発			仕様検討				プログラミング							
			既往設計手法計算				既往設計手法計算				既往設計手法計算			
⑪ 既往設計手法との比較			結果比較				結果比較				結果比較			
			結果比較				結果比較				結果比較			

図Ⅱ(2.5)-1 研究開発スケジュール

## (2.6)都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

### (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。

特許工法が①-1であり、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。

特許工法が②-1であり、改良型が②-2と②-3。

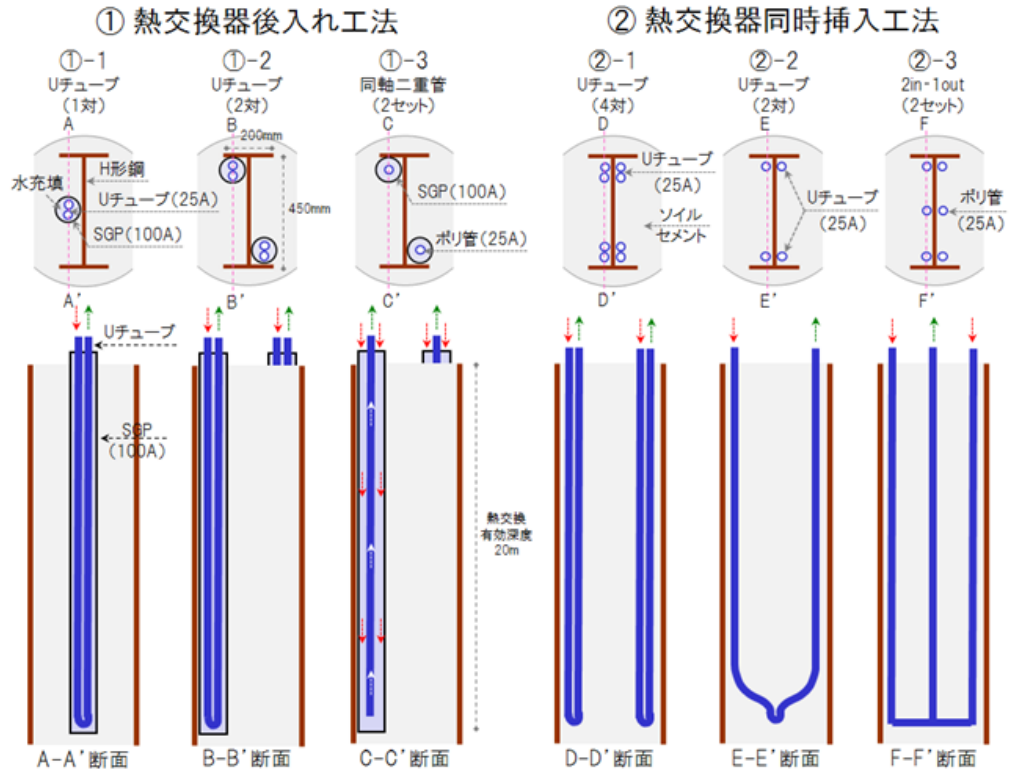


図 II(2.6)-1 土留壁方式地中熱利用システム

役割分担としては、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する。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す。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予定であるが、以下の解体研究が含まれている。

通常地中熱利用の場合、土中埋設のため酸化によりH型鋼や保護管等の鋼材は、腐食しやすい環境下となるが、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が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℃)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) プ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ニシャルコストの低減、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	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土留壁方式の開発	地中熱交換器設置工事で対ボアホール方式50%削減	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	改良型地中熱一体型エアコンの性能把握	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	ポンプユニット試験機を製作	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図Ⅱ(2.6)-2に示す。

事業項目	27年度				28年度(予定)				29年度(予定)				30年度(予定)				
	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									
																	シミュレーションモデル構築
																	シミュレーション最適化
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

図Ⅱ(2.6)-2 研究開発スケジュール

## (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

### (2.7.1)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

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、鈦研工業株式会社、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ブロヘッドや、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ダの開発を行う。

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)可変型バイブ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、バイブロヘッドと称す)が開発されて、近年多く使用されるようになってきた。バイブ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が使用できないため、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内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、低コストの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ー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が、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、汎用コントローラー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ーとして与えて、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ー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地中熱ヒートポンプ+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%以上のイニシャ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)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ード、高効率で低コストの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行える設計・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。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図Ⅱ(2.7)-1に示す。

事業項目	H26年度				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	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							

図Ⅱ(2.7)-1 研究開発スケジュール



## (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

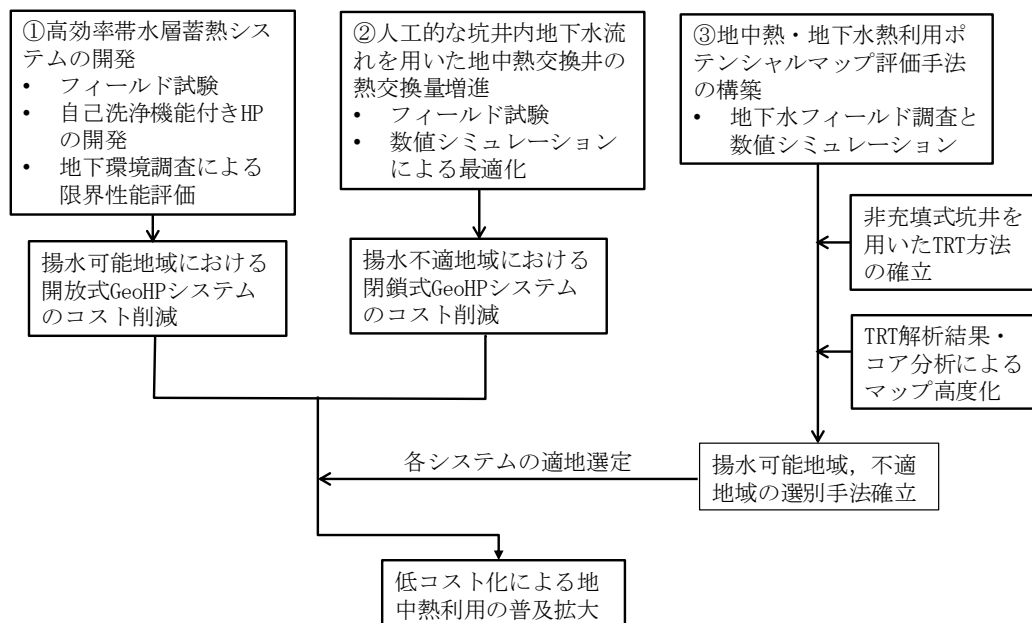
### (2.8.1)背景と目的

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。

以上の取り組みによる成果により、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としている。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:日本地下水開発株式会社)

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、熱効率は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。

#### 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て効果を検証する。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って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。

#### 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。

#### (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:中外テクノス株式会社)

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。しかしながら、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。

##### 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。

## 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。

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。

最終的には、本システムを全国の設置適地に導入した場合の省エネルギー効果について定量的に検討を行い、一次エネルギー消費量削減効果、CO<sub>2</sub> 排出量削減効果について評価する。

## 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、地下水流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・熱移流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(平成 29 年度以降)

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マップ評価手法の構築	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。	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、マップを高度化する	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図Ⅱ(2.8)-2に示す。

事業項目	H26年度				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	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				既存井戸利用TRTによる多地点の採熱量推定				ポテンシャルマップの高度化							

図Ⅱ(2.8)-2 研究開発のスケジュール

## (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

### (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の普及・拡大を図るためには、公共施設や商業施設はもちろんではあるが、一般住宅への導入が必須である。しかしながら導入コストが極めて高く、システム全体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/地中熱熱交換器本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、大幅なコスト低減が図れ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でコストダウンおよび高効率化を実現することを通じ、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を目的とする。

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のが実態である。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、多くの解決すべき課題があることも事実であるが、事業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。従って技術開発後において、大量生産によるコストダウンという量産効果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金制度を基本的には不要とするものであり、開発終了時点で市場投入が可能である。また事業者も、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する。さらに技術開発においても、継続的事業が可能で、かつより広がり可能な標準化を目指している。

これらのことは従来とは異なる観点での技術開発、事業形態であり、かつユーザーが自己資金で購入する価格で提供することから、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・拡大が実現できるとともに、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、一般住宅向け地中熱冷暖房システム設置コストを現状の240万円/5kW(販売表示価格)から150万円/5kW(販売表示価格)に低減し、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
- 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/kW)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、地中温度さらには土壌熱物性値を低めに見積り、設定した代表採熱パターンによって得られた採熱量を、熱交換井長さをパラメーターとして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は、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から、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。それにより、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、埋設現場で熱交換井を自動的に組み立てる技術を開発する。これは熱交換井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熱交換井施工に適用できる新たな方法を開発して、狭隘な現場で自動的に組立/埋設を行う機構に導入する。狭隘地を想定して、本機構のサイズ限界(幅、奥行き 1m以内)に収まるように装置の試作を行う。

##### I-1-1)打撃・振動機構の開発

打撃/振動を有する熱交換井回転埋設機構を試作する。日商テクノが開発した現行の小型回転埋設機設計技術に、地盤調査用簡易ボーリング機のような回転と同時に打撃・振動を加える機構部分を参考とした粘土層や砂礫層への打撃と振動によって埋設促進を行う油圧機構を加える。

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。

本試験を実施する。具体的には、平均粒径や打撃力などもパラメーター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ー値を定める。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。

##### 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を試作する。また狭隘地を対象とした埋設機移動機構を試作する。

上記機構を有する部分試作機の予備試験を行い、計測装置や機構に問題がないかを確認する。一方、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。

無溶接接合された熱交換井部材を、上記の部分試作機によってかしめ、かしめられた部材のねじり試験、曲げ試験を実施する。かしめ力と捻りモーメントとの関係図を作成し、実用上必要なかしめ力や、かしめ位置を決める。また埋設機移動機構の動作確認を行い、改善点を明確にする。

##### 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の一部に簡便に、熱交換井となる小口径の鋼管井を低振動、低騒音、残土なしに、軟弱な地盤だけでなく、住宅建築では地盤対策を必要としない程度の地耐力を持つ砂層、礫層にも施工可能(深度 15m以上を狙う)な施工装置を日商テクノと共同で開発するが、貫入可能な地盤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、軽量鉄骨造住宅の場合この程度の地盤では、地盤改良、杭地業を実施することは少なく、既存住宅での熱交換井設置では必要な性能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・振動機構を保有する錐先端評価試験機を製作する。

上記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。

上記試験装置と複数の錘先端を使い、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錘先端形状を求める。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。

## 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、以下のステップで開発する。

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。作成した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。試験パラメーターは、循環熱媒の流量と温度である。またこのヒートポンプの製作を通じて、製造コストを算出する。

### 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、5m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)を設置する。5kW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ー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。

この一連の試験によっ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。

### 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5kW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な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。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て、赤津実験場において自動運転を行い、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。

### 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、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、地中熱交換井戸長さは同一とする。またボアホール式熱交換井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。

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。

時刻に対して同一目標制御室温になるように、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、熱交換井群ごと3カ所程度、計測出来るようにする。  
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。

### 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以下のような扱いを行う。地中温度は、不易層温度を代表温度として考える。

滞水層の充填層としての伝熱促進効果は考慮するが、地下水流動速度を立証が困難なため、流速を0として考える。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。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。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。3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、最大採熱量を与えるパターンなど最も妥当と考え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を行い、上記採熱標準パターンによる採熱試験を行う。採熱解析を行い、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。

複数の採熱パターンにより採熱実験を行い、採熱解析との比較評価を行う。また尤度が大きい場合はその原因も検討する。また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	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
①2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発  ・熱交換井の小型組立・埋設技術の開発  ・砂礫層対応2重管方式熱交換器低価格錐先端の開発	幅、奥行き1m以内の小型組立/埋設技術による試作機が完成し、狭隘地でも施工可能である。	幅、奥行き1m以内の小型組立/埋設複合機による20m級の熱交換井の施工において、連続運用が問題なく実現できる。施工時のコスト提示でき、耐久性の見込みを示せる。	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である。
	礫層の平均粒径および層厚さに対応した、錐先端の形状、材質、ストローク、周期及び打撃力と埋設速度との関係を示し、適用範囲と施工方法を確立する。	熱交換井を構成する小口径2重管先端に簡易に取り付け可能で、礫層への掘削が可能な低価格先端錐の効果を実証する	低コスト化を目的とする小口径採熱管向け錐先端では、N値が大きい礫層が顕在化する場合に強度が課題となる。
	・鋼管の無溶接接合による一連の熱交換井組立および埋設機能が問題なく実現する。	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回転埋設可能な採熱管組立および埋設技術の施工性能を実証する。	建築基準法により、一般住宅敷地内の通路幅員は1.5m以下前後である。 住宅用地は沖積層が多く、平均的にN値20程度とされている。
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	ヒートポンプ製作コスト算出。	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以下を実証すること。	エアコンなど競合機器に伍して受け入れられる価格を、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。
	ライン流量変動に対応したブライン式ヒートポンプの制御シーケンスの開発。	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。	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。
	浅部地中熱利用システムの高効率化レベルの確認。	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。	浅部地中熱利用では高効率化も必要であり、明確な高効率化として10%以上の目標設定が必要である。
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開発	複数の採熱パターンにより採熱実験を行い、採熱解析との比較評価を行う。尤度が高い場合はその原因も検討する。検討した地域での採熱期待値マップをWEB上で表示する。	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。	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。

(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29年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(2.9)-1に示す。

事業項目	H26年度				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	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	・小型回転埋設機構設計試作				・転造ねじ加工での連続接続				・共同研究施設での連続組立機構の試作と評価				・ビットと鋼管の接続試験 ・漏れ試験および強度試験							
	・既存ビット特性比較と貫入特性試験				・改良ビット設計と模型製作、評価				・鋳鋼によるハイブリッドビット試作と評価				・熱交換井実用化検討 ・施工性および信頼性評価							
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 ・熱負荷環境整備				・要素コスト評価				・システム統合試験・評価							
	・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				・探熱パターンモデル開発 ・探熱解析				・表示インターフェース試作				・実用化モデル検討							

図Ⅱ(2.9)-1 研究開発のスケジュール

### (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

##### (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ー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、透水性の高い砕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。 <u>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。</u>	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 <u>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。</u>

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ーを検討・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2万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に、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イスを作成する。

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	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地中熱利用実績の調査とデータベース化	公開報告書や文献などを基に、100件(100地点)前後の調査事例を収集し、反映したデータベースを構築する。	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を基に、広域自治体、都市部2地域エリアの三次元地質構造モデルを試作する。	上記①を基に、広域自治体、都市部2地域以上のエリアの三次元地質構造モデルを構築する。	・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。
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・熱循環モデルを試作する。広域自治体は水平解像度500m以下、都市部2地域重要街区は水平解像度50m以下を達成する。	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。	・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。
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、都市部2地域以上の地下浅層、深層を含めた深度別の地中熱ポテンシャルを基本評価し、ポテンシャルマップを作成する。	広域自治体、都市部2地域以上の地下浅層、深層を含めた深度別の地中熱利用ポテンシャルの評価技術を確立し、ポテンシャルマップを作成する。	・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、エンドユーザーの実用に耐える見通しを立てる。	ポテンシャルマップに関し、エンドユーザー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日より平成29年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(3.1)-1に示す。

事業項目	H26年度				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	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製										モデル構築								
③国土水・熱循環モデル開発			地域ごとのモデル試作										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					

図Ⅱ(3.1)-1 研究開発のスケジュール



## (3.2)オープンループ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

### (3.2.1)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されているにすぎず、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・最適化を目指すことが必要である。

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、還元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。還元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元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 경우가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水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、研究開発項目⑥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があり、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。

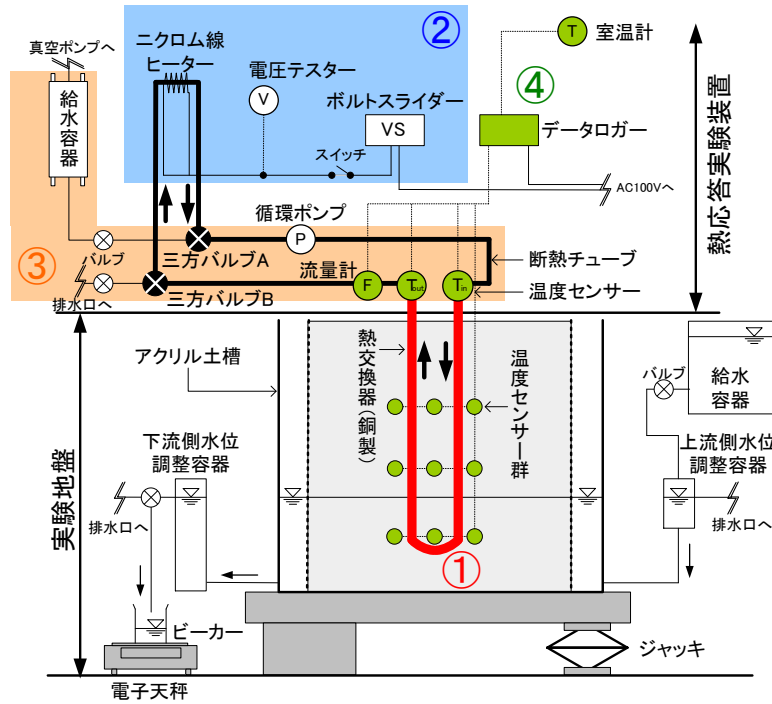


図 II (3.2)-1 流動地下水中の熱移動挙動解析装置の概要

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>地下水循環型オープンループ方式の設計手法の確立</li> <li>地下水熱交換ユニットの完成</li> <li>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>適地選定技術と長期利用技術の確立による20%削減の実現</li> <li>各システムのデータ解析とシステムの最適化</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10%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>ポテンシャルマップ作成</li> <li>TRT試験の季別実施と広域地下水流動・熱移動シミュレーション用パラメーターの算定</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29年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(3.2)-2に示す。

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
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				

図Ⅱ(3.2)-2 研究開発のスケジュール

### (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

#### (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を27年度末目途に示す。

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。

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ーになる。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。

マルチレイヤー観測井構築のために、最適なボーリングマシンと工法選定、改良により、低コストな構築技術を検討する。地下水熱源利用に最適な帯水層を評価するため、ケーシング・スクリーン径に対応した大孔径用フローメータ機器を開発する。

#### a)情報収集・文献調査

観測井の構造、構築手法、土質採取法、掘削工法について論文や聞き取り等の調査を行い、観測井構造や掘削技術の概観と技術的な要点を明らかにする。

#### b)サンプリングツール開発

地盤調査に用いられるロータリー式ボーリングでは、深度が増すと地盤試料を採取するサンプラーの上げ下げに時間を要する他に、掘進中に砂礫や玉石層に遭遇すると、日掘進量が低下し、掘削期間が長くなることで、費用がかさむことになる。

本事業では、足場仮設が不要で掘削準備を簡略化できる自走式ロータリーパーカッション掘削機またはロータリーバイブレーション掘削機を活用して高速掘削が可能な方式を検討し、ロータリー式ボーリングでの掘削ロッドの上げ下げを不要とするサンプラーのみを地上回収できるワイヤーラインサンプリングツールの開発を行い、28年度末を目処に試作機を完成させる。

#### c)観測井拡孔工法、全層ケーシング・スクリーン仕様検討

地盤試料採取後に最終的な観測井構築に向けて孔径拡孔を行うが、拡孔時には掘屑を含む泥水が孔壁に浸透すると目詰まりが発生して帯水層に影響を与え、観測井の機能や寿命を損なことになるため、削屑の地層への拡散防止と泥水による孔壁破壊の低減を図る拡孔工法を検討する。また、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し、帯水層の透水性を高精度に把握することを目指す。

#### d)フローメータ設計・開発・実験

帯水層の地下水を確認する電磁流量式フローメータを開発する。従来のフローメータは、岩盤内の水みちを調査するための仕様であるために孔径も小さい。今回は土質用の大孔径対応機

器を開発し、全層ケーシング・スクリーンを設置した観測井内から一定量を揚水し、各深度における孔内流速を測定する。これにより各地層の透水性を把握し、熱源井として活用可能な帯水層を選定する。機器仕様は、ケーシング・スクリーン内部で深度 100m程度まで測定可能なものを目標とし、28 年度末を目処に試作機を完成させる。

e)試験掘削(サンプリング+拡孔)

ワイヤーラインサンプリングツール開発品を用いて、サンプリング試験を実施し、施工性、サンプリング品質等を確認し、問題点を明確にする。サンプリング後に拡孔を実施し、ストレーナ・スクリーンを設置する。その後、採水、水質分析により深度毎の水質データを取得し、マルチレイヤー観測井構築後の計測項目を選定するための基礎データとする。

f)フローメータ試験測定

フローメータ開発品を用いて、e の試験孔内で測定を実施し、施工性、測定品質等を確認し、問題点を明確にする。

g)サンプリングツール改良

e で明確にした問題点を解決する検討を実施し、サンプリングツールを完成させる。

h)フローメータ改良

f で明確にした問題点を解決する検討を実施し、フローメータを完成させる。

i)マルチレイヤー観測井の設計・施工

1 孔で複数帯水層の観測・評価が可能になる構造を有した観測井の設置を検討する。観測井の仕様は、設置コスト、工期等を考慮し、ケーシング・スクリーン内にφ50mm程度の細管を複数本設置する構造を予定する。

観測項目としては、水質・水温・地下水位を軸に、帯水層の変化や地盤沈下評価等を定期測定にするために必要な機器を検討し、必要に応じて設置することで熱源井利用に最適な観測井システムを構築する。

開発したワイヤーラインサンプリングツール及び拡孔により、実フィールドにおいて試験用マルチレイヤー観測井を設置する。都市域では比較的地盤構造が分かっている地域においても、地下水に関するデータが多いとは言えず、観測井による地下水情報に関してデータベース化を実施する。また、観測井構築時に得られる情報から、最適な帯水層の選定方法を検討し、今後の地下水の熱源利用時に良好（揚水量および持続性）な採水が望める帯水層の候補を抽出する。

j)観測井構築技術、マルチレイヤー観測井の評価

掘削結果を基に、現地実証試験及び比較検証試験を通じて性能評価を実施し、品質、工期、コストに関する優位性を検証する。観測井構築時のサンプリングデータ、掘進データ並びに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を評価する。

また、マルチレイヤー観測井システムの計画・設計・施工・運用手法に関する成果、掘削技術やサンプリング手法などの技術、観測井の標準化などを通じ、本事業により得られた成果を技術基準にまとめる。

(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リング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。

表Ⅱ(3.3)-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実現可能性調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>成果実用化時のビジネスプラン、本観測方式採用時の経済性に関する調査</li> <li>オープンループ型地中熱システムの普及シナリオ作成</li> </ul>		経済性について検討する。
②観測井の構築技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>採取率を向上させたサンプリングツール開発</li> <li>観測井の地盤透水性評価用フローメータを開発</li> <li>試験観測井施工</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発機器改良</li> <li>観測井構築</li> <li>構築技術確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>土質試料採取率20~30%の従来技術比2倍目標のサンプリングツールを開発。</li> <li>透水性を連続把握できるフローメータを開発。</li> <li>観測井を施工、有効性を確認して技術进行评估する。</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>帯水層の特性抽出</li> <li>データベース化とデータシステム構築</li> </ul>	地下水管理・観測システム構築	大規模熱源利用可能な揚水量の確保できる帯水層を絞り込むための特性抽出と観測システム研究を行う。
④地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価手法構築</li> <li>予測評価システム設計</li> </ul>	予測評価システム構築	砂層の面的広がり観測井データを用いた帯水層としての揚水能力について評価方法を検討、一定基準を示す。

(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29年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(3.3)-1に示す。

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
実現可能性調査				■	■											
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								
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								
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								

図Ⅱ(3.3)-1 研究開発のスケジュール

#### (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

##### (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

###### (4.1.1)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。

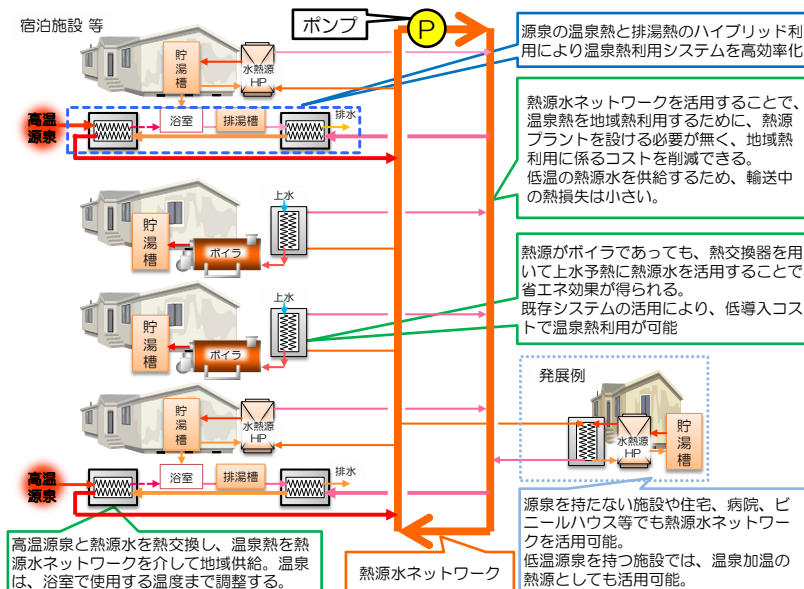


図 II (4.1)-1 温泉熱と排湯熱によるハイブリッド熱源水ネットワークシステム

#### (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。

##### (1)調査

##### (1-1)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(担当:(株)総合設備コンサルタント、大阪市立大学)

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。

##### (1-2)温泉街における宿泊施設のエネルギー利用実態調査 (担当:大阪市立大学、(株)総合設備コンサルタント)

熱源水ネットワークの詳細な導入効果を検討するため、温泉施設モデルとして、実フィールドを予定している地域における2施設以上の温泉施設の熱源システムの現状調査を行い、使用しているエネルギー消費量を把握する。なお、計測のためのセンサーは、運用中の施設に一時的に設置しているため、研究開発終了後に現状復帰をするため撤去する。

##### (1-3)材料浸漬試験によるメンテナンスコスト低減のための温泉熱利用流下液膜式熱交換器用材料の調査の調査と選定(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))

塩化物泉や硫酸塩泉など、大きく大別される泉質にて、熱交換器材料(チタン、ステンレス、樹脂等)のテストピースを製作し、全国6施設以上に設置して、浸漬試験を行う。また、水質の成分分析調査を実施し、各材料の腐食やスケール付着状況を把握する。これにより、各泉質温泉に適した流下液膜式熱交換器に適合する材料を選定し、低コストの熱交換器の開発に活用する。

また、様々な成分を処理する濾過機等の機器に用いられる材料について、腐食やスケール付着に関する知見のヒアリング調査する。

##### (1-4)国内外温泉熱利用及び熱源水ネットワーク導入技術動向調査((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))

本技術開発で開発するハイブリッド熱源水ネットワークシステムを低コストで汎用性のあるものとして確立するために、国内技術の調査を行い、温泉熱利用における知見や課題点を調査する。北海道洞爺湖の排水熱を利用した集中プラント型や群馬県の草津温泉の温水熱供給事業等、また、熱源水ネットワークに関してカナダのウィスラー選手村等における熱源水ネットワーク導入事例等を調査し、本プロジェクトにおける技術開発へ役立てる。

##### (2)個別技術の開発

##### (2-1)温泉熱利用に適した熱交換器の低コスト化と高効率化((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、泉質の成分を考え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。

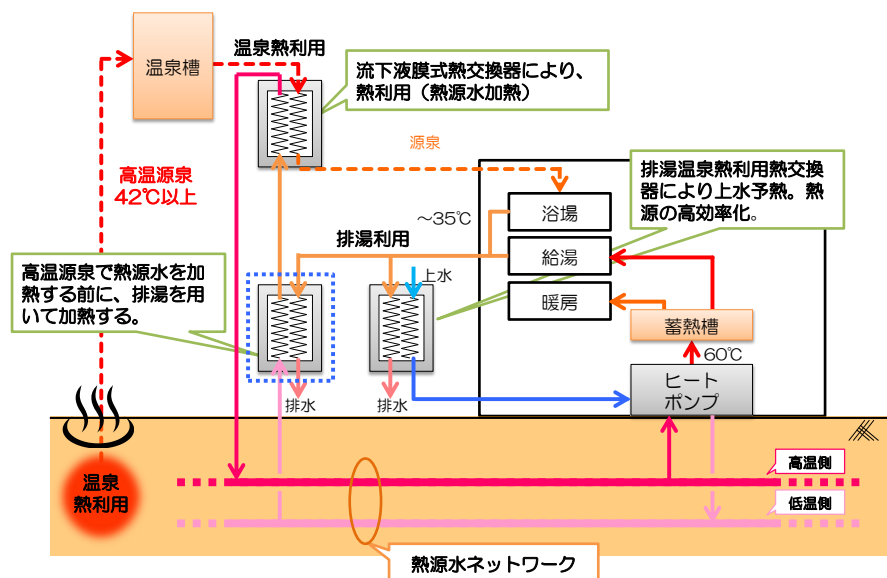
流下液膜式熱交換器では、他の熱交換器と比較して少流量で熱交換を行うことができるように、伝熱管内に熱媒体を流し、伝熱管外表面に潜熱交換流体(温泉)を液膜状に流下させる。また、プレート式熱交換器の様な目詰まりによる圧力損失を抑制させ、かつ、自浄作用機能を持たせるため、伝熱管表面を自然流下させる。

(2-2)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の活用した、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 温泉排湯による温泉熱利用高効率化のための熱源水予熱及び上水予熱システム

(2-3)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。

#### (2-4)個別技術の小規模性能把握試験装置の構築 (担当:(株)総合設備コンサルタント)

温泉熱利用システムを構築するために必要な個別技術についての性能把握試験を実施する。性能把握試験装置は、熱源水と熱源を一定温度で循環させ、流下液膜式熱交換器の性能や均一な液膜構成状態などを把握する試験装置と、配管の保温性を把握するため、管路内を一定温度の水を通し、その熱通過率を計測できる試験装置、及び圧力試験等が行える試験装置を構築する予定である。

#### (3)実フィールドにおける温泉熱利用システムの導入効果試験 (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))

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。

#### (4)システム評価

##### (4-1)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 (担当:(株)総合設備コンサルタント、大阪市立大学)

「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」の結果をベースにシステム評価を行い、導入コスト10%低減、一次エネルギー消費量20%低減を示す。

本提案で考えられるシステムは、個別技術の適用場所やその組み合わせによって、複数パターンのシステム構成が考えられる。このようなシステムの複数パターンについて経済性、展開性を検討し、事業化に有望なシステム構成を示し、システム導入効果の一般化を目指す。また、通常の設定や配管を用いた場合に比べて本事業で開発する熱交換器や、配管の導入コスト、運用コストを含めたトータルコストの比較検討を行う。

##### (4-2)GISを用いた採算性の取れる温泉熱利用熱源水ネットワーク適用可能エリア検討手法の開発 (担当:(株)総合設備コンサルタント、大阪市立大学)

温泉街においては複数の温泉源が存在することが多い。それらの温泉源を熱源として熱源水ネットワークを用いて地域熱利用する場合、配管工事費を低コスト化しても、ネットワーク配管が長くなるほど配管敷設費は増大する傾向は変わらない。また、断熱性能の良い配管でも、管路長が相当の距離となれば、熱損失が発生する。本研究開発では、温泉源が存在する位置と熱需要施設の位置関係等を考慮して、GIS(地理情報システム)を活用し、採算性の取れる温泉熱利用熱源水ネットワークの適用可能エリアを検討する手法を開発する。

##### (4-3)運用段階を想定した採算性の取れる事業スキームの検討 (担当:(株)総合設備コンサルタント、大阪市立大学)

ハイブリッド熱源水ネットワークシステムを導入する地域では、ユーザーは、温泉熱を供給する施設と熱を使用する施設との熱量に対する課金制度についても、従量制による方式や、運営会社として、特定目的会社の設立など事業化には重要な検討を行う必要がある。そのため、システム検討、基本設計、実施設計、施工、運用までの各段階における実施主体の体制や、構築するシ

システムの所有事業者、責任分担、法的な規制の検討、エネルギー会社等へのヒアリングなどから事業化スキームを提案する。

表Ⅱ(4.1)-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実現可能性調査の実施	実用システムとして採算が取れるコスト見通しを平成26年度内に立てる。		ハイブリッド熱源水ネットワークシステムにおいて、従来の集中プラント型熱供給システムに比べて、システム導入が促されるコスト低減とした。
②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パターン以上試作し、理論的及び基礎的試験により、5万円/kW以下を示す。	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。	
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	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パターン以上試作し、配管と継手のコスト合計が5万円/m以下を示す。	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開発し、実証試験により、コスト合計が5万円/m以下を達成する。	
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パターン以上試作、①で掲げた目標コストの見通しを示す。	排湯熱直接回収用熱交換器のシステムの実証試験で、①で掲げた目標コストを達成する。	
⑤システム導入適用可能エリア検討システムの開発		実証試験により、熱源水ネットワークシステムが、従来の集中管理方式システムに比べて、導入コスト10%低減を達成する。	

#### (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29年3月20日までで、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(4.1)-3に示す。

事業項目	H26年度				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	1Q	2Q	3Q	4Q	
①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																
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		構成部材試験			小型実験器試作・評価				熱交換器試作・性能評価				改良・低コスト化検討								
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・継手設計			試作・ラボ試験 施工性検討				断熱性能試験				改良・性能試験、コスト検討								
④浴場における排湯熱回収用熱交換器の開発		仕様検討			試作・ラボ試験				熱交換器試作・性能評価				改良・性能試験、コスト検討								
⑤ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの実フィールドにおける導入効果検証													試験システム構築				実フィールド試験				

図Ⅱ(4.1)-3 事業スケジュール

## (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

### (4.2.1)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1万円程度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

一般的に雪の保存に使われる貯雪庫に代えて、本事業ではそれより構築費用の安い雪山貯蔵方式(以下：雪山)を採用するが、本事業の最も重要なポイントは、行政の排雪予算を集雪コストに転嫁することにより、雪山構築コストを大幅に低減することである。

一方で、雪山は雪堆積場の機能を兼ね備える必要があり、雪堆積場としての構造的強度の確保と、排雪の中の不純物に耐えうる熱交換システムの開発が必要であるが、これらによる建設費のコストアップを含めてもトータルの設置コストを大幅に低減した雪冷房システムを開発する。

試験に用いる雪山下の熱交換路盤のモジュールサイズは10m×10mとし、各モジュールも雪山下部に熱交換パイプを埋設し、循環ポンプ、攪拌回路を設置する。熱交換パイプは、腐食しない架橋ポリエチレン管とし、土砂や融雪剤に代表される雪中の不純物による悪影響を最小化する。熱交換パイプの上層には、ダンプカーなどの車両荷重(要求強度20ton/m<sup>2</sup>)と熱交換機能の確保のため、透水性、耐荷重性を兼ね備えた舗装材を敷設する。この舗装材には、アスファルトに比べて構造強度が高く、空隙率もアスファルトの17%に対し、約40%と高い浸透性を有するホタテの貝殻再生材を用いる。同材はアスファルトより透水性が高く、熱交換効率の向上が期待される上に安価である。また、アスファルト材の様に施工時に高温とならないため、耐熱性の低い架橋ポリエチレン管の被覆材として適している。構造的強度を更に高めるために、繊維補強材混入を計画する。配管の径や設置間隔、設置段数(2段の場合は直行方向に積み重ねる)、補強材の

混入量については、平成 26 年度内の FS において、熱計算および、設置コスト、施工性等の検討を実施して決定する。

FS においては、雪下路盤を想定した試験体(テストピース)を作製し、外部試験機関において透水性能ならびに構造強度に関する試験の評価を実施する。また、都市除排雪中に含まれる不純物により、透水性能に影響がないかどうか、舗装内部の目詰まりの影響、洗浄による性能の回復効果などについても、テストピースを作製し透水試験、洗浄試験を実施する。

上述 FS を経て、小規模実験として試験装置を設置し、細部の施工性を確認、上部に除排雪を堆積し、27 年度夏期後半に 1 ヶ月間程度、冷熱の抽出試験を実施し、熱交換性能を測定する。27 年度の冷房期終了後、実証試験設備として拡大整備する。モジュールを 2 面増設し、実証試験設備として、おおよそ 45m×35m、高さ 4.5m の大きさの雪山(データセンター実証設備においての 1 シーズン分の冷房利用雪量を確保する大きさ)を構築する。

雪山下部の熱交換部の試験体は、FS の試験体モジュールに加え、より高性能のモジュール 1 面、対照実験モジュール 1 面の合計 300 m<sup>2</sup> を製作し、周囲に土手を盛り、雪堆積場として使用可能なように整備する。27 年度末の冬からは、通常の雪堆積場と同様に、散水凍結を行い、ダンプカーの車路を形成しながら雪山を築造する試験運用を実施する。対照実験区は、従来の雪山下構造とし、雪解け水を舗装面で受け止め、熱交換器により熱交換後、再度雪山下へ冷水を戻す冷水循環方式である。

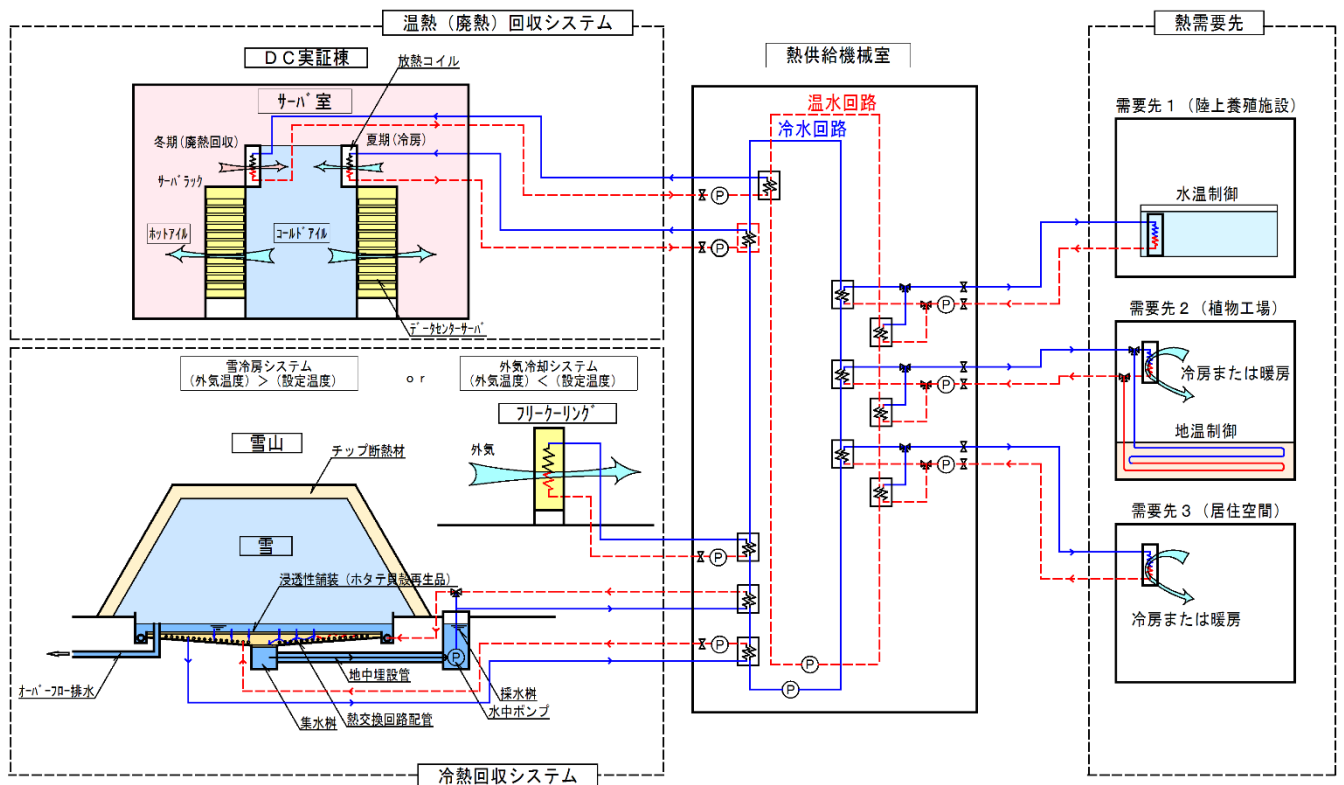
本研究開発では、従来方式も含め 3 パターンについて試験・評価し、各々熱回収効率(単位面積あたりの冷熱出力)と施設整備コスト(単位面積あたりの施工金額)の関係、雪水の散水流量の最適値等を整理する。

毎シーズン、冬期には上部に雪を堆積し、夏期には雪からの冷熱回収(=雪冷房の冷熱供給)を実施する。初年度は本事業で手配する運搬車両により道路排雪を搬入するが、27 年度以降は、美唄市の道路除排雪システムの改革により排雪の一部を持ち込み堆積し、下部構造の強度について検証を行う。

## 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。冷熱の供給源として、都市排雪を利用した雪冷房のほか、外気による冷却システム(フリークーリング)を併用し、外気温度の状況により冷却熱源を切り替える。

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。本事業では、実際に美唄の気候下で、フリークーリングで冷熱がまかなえる運転時間や供給熱量、雪の冷熱利用量を実測し、今後の設計指標を得る。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。



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。

雪冷房によりサーバを冷却するための冷却コイルや配管は、夏期のみで使用される機器であり、年間を通じての稼働効率を上げ、コスト低減を図るため、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に研究開発を行う。熱回収の効率やコスト、サーバへの適応性など研究し、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)や経済性を試算し、実用化を目指す。これらの数値を正確に掌握することで、将来的な廃熱の販売価格を決定する際の指標とする。

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。

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

事業形態の異なるIT事業者2社により、各々の事業立場において、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。

従来型データセンターでは、電気冷凍機による多量の電力を消費するため、多量で安定的な都市排雪を活用した低ランニングコストの超高効率データセンターを研究開発する。雪冷房を導入したデータセンターは、世界に例がないため、本研究開発では、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う。

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、室内温度は25℃以下で維持するものとし、コールドアイル側からサーバに25℃で供給され、ホットアイル側に35℃で排気する目標とする。また、相対湿度は20～80%を適切環境とする。サーバ内部の通過(冷却)空気量を制御し、雪冷熱による冷却が、サーバ機器の

安定稼働に適した上述の適正範囲を通年で維持できるように、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。

本研究では、20万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(空調設備のインシヤルコストと15年のランニングコストの計)に比較し、50%の削減を目標とし、都市排雪利用型雪冷房を導入したデータセンターの優位性を開発成果として得る。また、データセンターの高効率エネルギー運用の指標として、PUE=1.1以下を目指す(PUE=1.1とは、データセンターサーバの運転用電気エネルギーを100とした場合、空調などのサーバ運転以外に利用される電力消費が10であるという意味)。

平成26年度はFSを行う。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き平成26年度にとりまとめ、経済的導入可能性を証明する。経済的導入可能性が証明されたら、平成27年度以降、実証システムの設計・製作、実証実験を実施する。

研究開発設備として、実験棟(試験用サーバ室と機械室)を建設する(担当：(株)雪屋媚山商店)。データセンターを想定した実験棟の大きさは、112㎡(10.3m×10.8m)。内部には、コンピューティングサーバを格納するラックを20(OCPサーバ1ラックを含む)収容し、(株)共同通信デジタルとNHNテコラス(株)が一般的IUサーバ格納用として10ラック分ずつ実証利用する。サーバについては、各々自社仕様のもを提供する。NHNテコラス(株)では、OCPサーバ1ラックを用いてOCPの雪冷房の適応性についても研究開発する。OCPサーバは、Facebook社が導入している仕様で、今後、海外において導入が加速し、日本国内で使用されていくであろうことから、事業終了時の5年後の事業化を見据えて技術開発を行う。

(株)共同通信デジタルは、世界規模の報道通信網を背景とした高速ビッグデータ処理関連の立場からの実証を行い、NHNテコラス(株)は、ホスティング事業を基軸とした次世代データセンター運用設計関連の検証を行うとともに、高密度化するOCP(Open Compute Project)準拠サーバに対して、雪冷房と廃熱回収の高効率熱利用空調システムとのベストミックスを研究開発する。

平成27年度以降の実証開発においては、それぞれの立場より以下の研究開発を実施する。

- 1) 用意した計測ツールを用いて、年間を通しての消費電力のデータの計測を行う。
- 2) 現在運用しているPUE値1.8のデータセンターに対し、雪冷房、外気冷房技術を用いて冷却媒体温度、給排気量、圧力等調整し、実験用DCのPUE値1.3以下を目指す。
- 3) DCの吸排気機構に加え、ラック周囲環境の状態を元にラック内蔵の送風ファン、サーバ内蔵送風ファン回転数とDC側送風ファンもしくは冷却水ポンプ出力を総合的調整し、PUE値1.1を目指す。
- 4) さらにCPU温度の高いサーバ上のアプリケーションインスタンスをCPU温度の低いサーバへリアルタイムマイグレーション仕組みを開発し、冷却対象であるサーバのCPU温度の平均化する事によって冷却媒体の効率的利用を測り、PUE値を1.1未満とする事を目標とする。

#### 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き平成26年度末を目途にとりまとめ、その経済的優位性を立証する。比較対象として、従来型の雪山システム(対照実験区と同仕様)で、雪量8万トン(美唄市の平均の排雪量)の規模の施設を設計し、インシヤルコスト、ランニングコストを積算して比較する。平成26年度の試算においては目標を、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、実験による実証、更なる改良、改善を検討し、平成30年度には、トータルコストに対し、30%の削減を目標とする。

経済的導入の可能性を示したうえで、各々実証実験の実施に移行する。

#### 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%削減の可能性につき平成26年度にとりまとめ、その目標達成見込みを立証し、個別に実証実験を行う。

1) 雪冷熱・産業廃熱を利用した作物栽培システムの開発(担当:(株)雪屋媚山商店、(株)ズコーシャ)

作物の品質や収量、ボイラーに要する燃料等を基に、ボイラー熱利用施設に対する廃熱・冷熱利用棟でのエネルギー削減効果を定量的に算出するとともに、廃熱・冷熱を利用した作物栽培システムを研究開発する。

2) 雪冷熱・産業廃熱を利用した閉鎖循環式陸上養殖工場の開発

(担当:(株)雪屋媚山商店、(株)環境技術センター)

従来、採算性が低かった陸上養殖施設において、雪冷熱と廃熱エネルギーの有効利用によって、コスト削減を目指すとともに、水温制御方法の違い(水温調(直接制御)と空調(間接制御))を比較することによって、水温調と空調のベストミックスによる効率的な水温制御システムの開発を目指す。

3) 雪乾燥装置の開発(担当:室蘭工業大学)

都市排雪からの冷熱と産業温廃熱を組み合わせた、雪風による低温乾燥の技術開発を行う。

⑦都市除排雪の利活用システムの検討

都市部の除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法の開発として、プロジェクト期間(26年度～30年度)において、美唄市関係部署(経済部、都市整備部等)及び市内関係団体(除排雪協議会、建設業協会等)等と協議を行い、プロジェクト委員会、外部有識者、関係機関の助言等を踏まえて、効率的な除排雪体制の検討及び試算等を行う。

具体的には、

- ・効率的な除排雪体制の検討組織の構築
- ・除排雪体制及び方法等の見直しによる効率的な集雪システムの検討
- ・市の除排雪事業の範囲内における排雪の無償提供の検討
- ・自治体等の関係機関に対して、雪エネルギー利用への理解と協力を求め、効率的な集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、作物栽培システムの構築。

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し、適正価格を定める。冷熱の価格は、電気料金ベースに比べ 50%の削減、産業廃熱の価格は、灯油ベースに比べ 30%の削減価格を目指す。

⑧全空気式冷熱回収方式の検討

空気式冷熱回収方式について開発検討を行う。都市排雪を利用した雪貯蔵設備によるデータセンターの空調において、冷熱回収に空気を媒体とした全空気式冷熱回収方式を採用した場合、外気を雪で直接冷却してサーバ室へ導入する際、調湿が必要となる。気化熱を利用した水噴霧冷房を併用しつつサーバ室の環境維持するシステム開発を行って設計指標を作成する。その上で、本事業で採用する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得る。

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

(株)雪屋媚山商店と北海道情報大学との共同研究とする。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。

表Ⅱ(4.2)-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	FSにより都市排雪から冷熱を回収する雪山下路盤の仕様を検討し、実証試験によって、性能を確認する	雪堆積場として利用できる強度を確保した上で、高い熱交換性を持つ路盤をより安価に開発する。	雪堆積場機能保持のため、20ton/m <sup>2</sup> 以上の耐荷重性を保ち、汚れた都市排雪から効率良く冷熱回収できる性能を持つ雪山下路盤開発が必要。
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	雪量を70%削減し、その削減コスト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、トータルコスト10%削減。	低コスト化、効率向上により、トータルコスト10%以上削減。	サーバ給気を25℃設定する場合、外気温度が低く外気冷却が可能な期間をフリークーリング使用として雪量を減らし、雪山造成コスト、雪山下路盤整備コストの削減を見込む
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	廃熱回収のシステムを別途構築する場合と比較して、コスト10%削減。	低コスト化、効率向上により、トータルコスト10%以上削減。	冬期にサーバ廃熱回収用のコイルとして利用し、通常夏期しか使われない冷却コイルや配管の稼働効率を上げ、コスト低減を図る。
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	都市排雪20万トンを利用したデータセンターで、従来型首都圏データセンターと比較して空調コスト50%削減。また、PUE=1.1以下とする。	低コスト化、効率向上により、トータルコスト10%以上削減。	従来型データセンターでは、電気冷凍機による電力を消費するため、多量で安定的な都市排雪を活用した低ランニングコストの超高効率データセンターを開発する。
⑤コスト削減見込み量の試算	従来型雪冷房のトータルコストに対し、25%削減。	従来型雪冷房のトータルコストに対し、30%削減。	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イニシャルコストと15年間のランニングコストの計)の削減比
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設置・運用コスト10%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事業化検討。	各システムの温熱源としてサーバ廃熱、冷熱源として都市除排雪冷熱を利用し、従来技術による施設に対し、維持費の削減を図る。
⑦都市除排雪の利活用システムの検討	都市部除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法として、効率的な除排雪体制の検討及び試算を行う	都市部除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法の開発。	除排雪体制及び方法等の見直しによる効率的集雪システムの検討を行い、市の除排雪事業範囲内の排雪無償提供について検討する。
⑧全空気式冷熱回収方式の検討	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	全空気式冷熱回収方式について開発検討を行う。	気化熱を利用した水噴霧冷房を併用しつつサーバ室の環境維持するシステム開発を行う
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		経済評価報告書をアウトプットとし、地域経済効果300%を目指す。	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。



(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29年3月20日であり、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(4.2)-2に示す。

事業項目	H26年度				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	1Q	2Q	3Q	4Q
都市除排雪利用型雪氷熱集熱方法及び集熱設備の開発(雪山)			FS		試験設備構築・実証試験評価								開発技術改良・検証							
フリークーリング併用ハイブリッドシステムの開発(データセンター)			FS		試験設備構築・実証試験評価								開発技術改良・検証							
相互供給型事業モデルの検討(食料生産施設)			FS		試験設備構築・実証試験評価								開発技術改良・検証							
その他関連技術の開発	全空気式冷熱回収方式検討				雪乾燥技術の開発								開発技術改良・検証							
					都市除排雪の利活用システムの検討												地域経済効果検討			

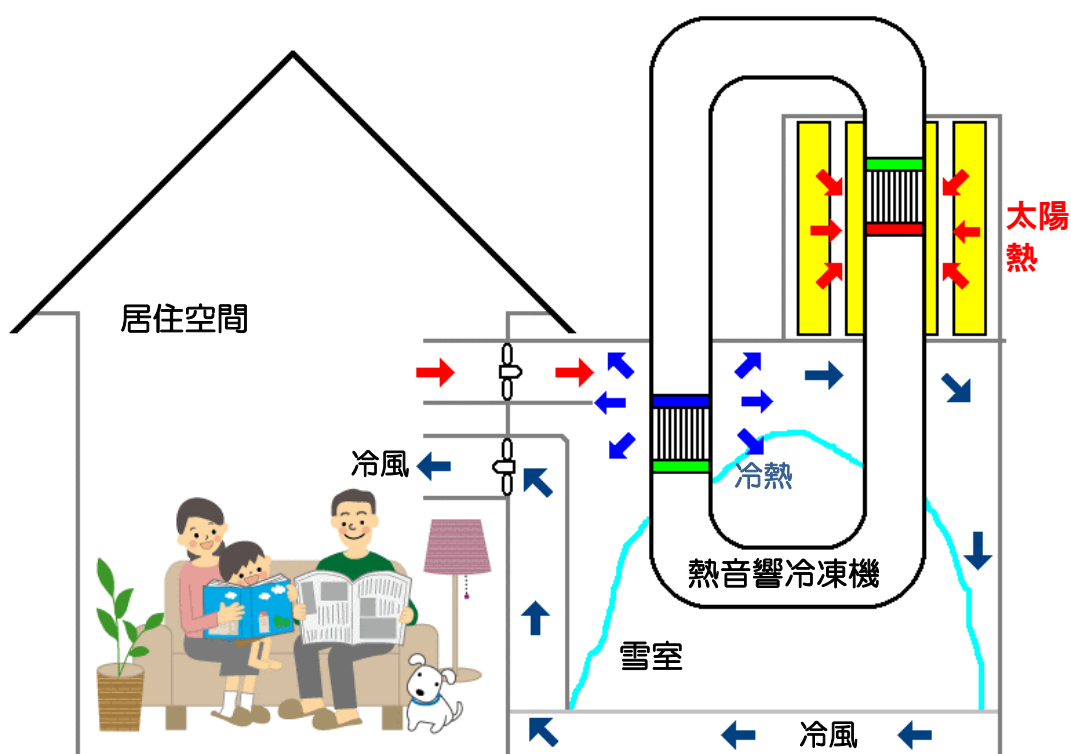
図Ⅱ(4.2)-2 研究開発のスケジュール

### (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

#### (4.3.1)背景と目的

雪の多い日本海側、東北、北海道では、冬季に降った雪を雪室に貯蔵し、その冷気を夏季の冷房に使ったり、野菜、米、酒の貯蔵に利用したりしている。この雪氷熱エネルギーを使った冷房は適度な湿気があるため人の肌に優しく、また食品を熟成させ旨味を増す効果があるため、少しずつ普及している。冷気の送風のみで電気を使うため、運用コストは非常に安いですが、導入コストの高いことが課題になっている。導入コストのうち、雪を貯蔵する雪室建築コストが半分、残り半分が雪の冷気を居住する部屋まで送る配管、送風機、制御装置等のコストである。そのため、この雪室の容積を削減できれば、導入コストを低減できる。

そこで、太陽熱を使用した熱音響冷凍機で雪室を冷却してその容積を減らし、汎用のプレハブ冷蔵庫の断熱壁を雪室用に改良し、雪室の導入コストを低減する。開発する装置の概要を図Ⅱ(4.3)-1に示す。熱音響冷凍機の能力は太陽熱が強い時ほど大きくなるため、雪融けを防ぐ用途には最適である。また、雪冷房に必要な雪の量を減らせるため、雪の少ない地域にも雪冷房装置を普及させることができる。



図Ⅱ(4.3)-1 開発する雪冷房装置の概要

#### (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。そのために、次の研究開発を実施する。

##### ・熱音響冷凍機の開発

太陽熱を利用した出力1kWの熱音響冷凍機を設計開発する。熱音響冷凍機は、大きなパイプの中に小さなパイプの束（蓄熱器）を入れ、これに温度差を与えると音波が発生し、逆に音波から温度差が発生する。そのため、図Ⅱ(4.3)-2に示すとおり、ループ管の中に蓄熱器を2個設置し、1個目の蓄熱器で音波を発生させ、2個目の蓄熱器で温度差を発生できるため、高熱から冷熱を作ることができる。温度差から音波が発生する原理を図Ⅱ(4.3)-3に、音波から温度差が発生す

る原理を図Ⅱ(4.3)-4に示す。図Ⅱ(4.3)-3に示すとおり、蓄熱器に進行波音波が入力されるとパイプの中の気体は、

- 1→2：高温の気体が振動により低温側に移動しながら熱を放熱する。気体の温度は下がる。
- 2→3：気体は温度を変化させず壁に熱を放出し収縮する。
- 3→4：低温の気体が振動により高温側に移動しながら熱を吸収する。気体の温度は上がる。
- 4→1：気体は温度を変化させず壁から熱を吸熱し膨張する。

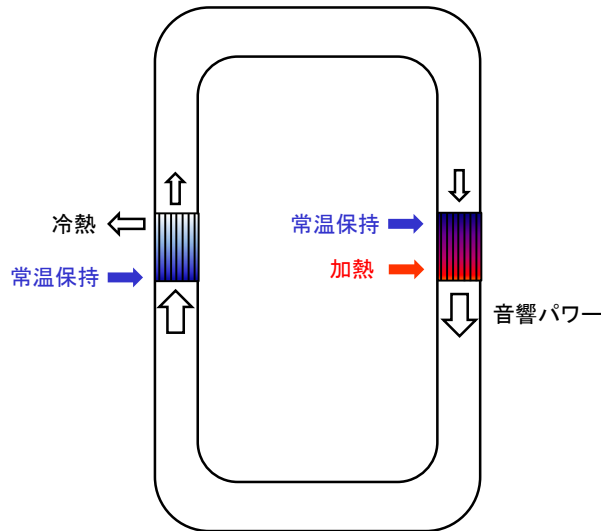
よって閾値以上の温度勾配が存在すると音波が発生する。

逆に蓄熱器に進行波音波を入力すると図Ⅱ(4.3)-4に示すとおり、パイプの中の気体は、

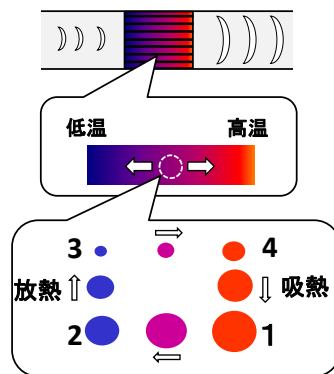
- 1→2：高温の気体が振動により高温側に移動しながら熱を放熱する。気体の温度は上がる。
- 2→3：気体は温度を変化させず壁に熱を放出し収縮する。
- 3→4：低温の気体が振動により低温側に移動しながら熱を吸収する。気体の温度は下がる。
- 4→1：気体は温度を変化させず壁から熱を吸熱し膨張する。

よって吸熱側では温度が下がり周囲はマイナスに冷却される。

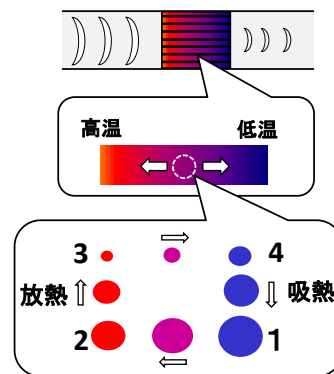
パイプの長さ、蓄熱器の数と位置、その径と長さを適切にし、パイプの中に分子量の小さなヘリウムを高気圧に封入し、パイプの直径を大きくすると冷凍能力は大きくなる。これまで、蓄熱器の研究は進んでいるが、蓄熱器の両端を加熱・冷却する熱交換器の研究は進んでおらず、その形状を改良することで粘性散逸を低減し、熱授受を大きくできれば、冷凍出力は大きくなる。



図Ⅱ(4.3)-2 ループ型の熱音響冷凍機



図Ⅱ(4.3)-3 温度差から音響パワーが増幅する原理



図Ⅱ(4.3)-4 音響パワー入力から温度差が発生する原理

・太陽熱入熱装置の開発

熱音響冷凍機を駆動するため、太陽熱を集熱してこれに入熱する装置を開発する。太陽熱集熱機は、低価格で高性能の製品が普及しており、日本熱源システム(株)の太陽熱集熱機は、ガラス製の真空集熱管の中にヒートパイプが納められており、熱の取出し部分が最高 290℃まで上昇する。金属製の反射板の上に集熱管を設置し、太陽光を反射させ集熱管全体で多くの熱を集める。

・能動断熱技術の開発

太陽熱を利用した熱音響冷凍機で雪室を冷却することは、壁から入ってくる熱を弱めることであり、能動断熱の新しい手法を提案するものである。熱音響冷凍機の冷気をどのように流せば、最も雪融けを防ぐことができるか検討し、シミュレーションで検証する。雪冷房は居室の暖気をファンで雪室に吸い込み、冷たい空気を居室に送風するが、この暖気と雪室の壁から入ってくる熱によって雪が融ける。これらも考慮し、熱音響冷凍機の冷気を、①壁伝いにはわせる、②直接冷気を雪山に吹きかける、③居室から入ってくる暖気を冷やす、など方法をシミュレーションし、コスト面も含めてどの方法が有効か検討し、この結果を受けて実証試験装置を製作する。

・実証試験装置の開発と実証試験

雪を保存する雪室は、汎用のプレハブ冷蔵庫の壁に断熱材や断熱塗料で性能を向上させる。また、太陽熱を利用した熱音響冷凍機を製作し、これを雪室に取り付けた実証試験装置を開発する。一般家庭では、夏季の冷房として使う場合、従来 60m<sup>3</sup> (W4m×D5m×H3m)の雪室が必要になり、これを 41.7%程度減容し 35m<sup>3</sup> (W4m×D4m×H2.2m)になっても9月末まで雪が残るか確認する。冷凍機単体の試験と雪室に取り付けての実証試験の結果を受け、熱音響冷凍機、太陽熱入熱装置および雪室を改良する。

表Ⅱ(4.3)-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熱音響冷凍機の開発	ヒータで加熱し1kWの冷熱を作る熱音響冷凍機を開発する。	より低コストで高性能な熱音響冷凍機に改良する。	太陽熱を利用した出力1kWの熱音響冷凍機を設計開発する。
②太陽熱入熱装置の開発	熱音響冷凍機と太陽熱入熱装置を組合せて1kWの冷熱を得る見込みを立て、熱音響冷凍機と太陽熱入熱装置による雪室導入コストを10.3%削減するための道筋を立てる。	熱音響冷凍機の冷凍出力が1kWになる十分な熱を入熱する装置に改良する。	熱音響冷凍機を駆動するため、太陽熱を集熱してこれに入熱する装置を開発する。
③能動断熱技術の開発	熱音響冷凍機の冷気をどのように流せば、最も雪融けを防ぐことができるかシミュレーションで検証する。	実証試験を行い、断熱効果とコストを加味して最も総コストを削減可能な冷却方法を決定する。	熱音響冷凍機で雪室を冷却、壁から入ってくる熱を弱める、能動断熱の新しい手法を開発する。
④実証試験装置の開発と実証試験	プレハブ冷蔵庫用の断熱壁に断熱材や断熱塗料を付加し、雪室用断熱壁に改良する。断熱壁で中に熱源を入れて断熱壁を評価、雪室導入コストを7.4%削減する見込みを立てる。	実証試験を行い、熱音響冷凍機を雪室に取り付けることで雪室容積を35m <sup>3</sup> に減容しても夏季の冷房として利用できることを確認する。太陽熱を利用した1kWの熱音響冷凍機を開発を完了し、これを活用して雪室導入コストを17.7%削減する。	雪を保存する雪室は、汎用のプレハブ冷蔵庫の壁に断熱材や断熱塗料で性能を向上させる。太陽熱を利用した熱音響冷凍機を製作し、これを雪室に取り付けた実証試験装置を開発し、実証試験を実施する。

(4.3.3)事業スケジュール

本事業の契約期間は、平成 28 年 1 月 28 日より平成 29 年 3 月 20 日であり、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(4.3)-5 に示す。

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熱音響冷凍機の開発				設計			試験装置開発						改良			
②太陽熱入熱装置の開発				設計			試験装置開発						改良			
③能動断熱技術の開発							シミュレーション						改良			
④実証試験装置の開発と 実証試験				調査			雪室断熱壁改良	低コスト雪室試作								実証試験・評価
								太陽熱利用の熱音響冷凍機の試作								

図Ⅱ(4.3)-5 研究開発スケジュール

## (4.4)太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発

### (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、パラメーターとは以下の添え字のことを指す。パラメーター毎、内容を以下に示す。

##### 【太陽熱温水器パラメーター】

$L_{sun}, d$  : 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)

#### (1-1)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。

## (1-2)実証結果の分析・解析

### (1-2-1)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。

一秒ごとの取得生データ ⇒ 時間データ(1min、1hour) ⇒ 日データ ⇒ 期データ

項目例:日射量、集熱量、給湯負荷、補助熱源燃料消費量、各消費電力量等

### (1-2-2)パラメーターの追加及び修正

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ーの課題を整理し、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ーについては今後検討する。

#### 【パラメーター改善予定項目】

- ・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<sub>0</sub>、b<sub>1</sub> および外気温、日射データより詳細に算出

### (1-3)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す。

- ・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)

### (1-4)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、パラメーターの整合、統合を図る。また、決定した算定式、パラメーター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。

## (2)最適化手法(シミュレーション技術)開発(担当:名城大学)

### (2-1)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。

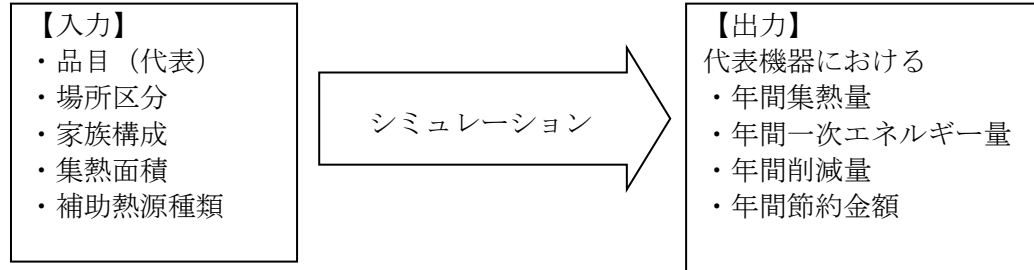
### (2-2)一般で利用可能な設計ツールの構築(担当:名城大学、ソーラーシステム振興協会)

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】

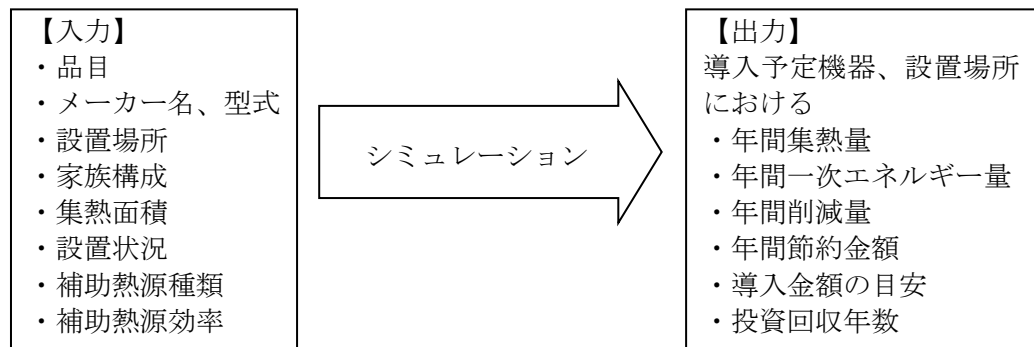
### ツール1：太陽熱導入効果を試算する簡易ツール

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。





表Ⅱ(4.4)-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実証実験	一部機種について実証実験を実施。	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ー・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。	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。
②実証結果の分析・解析	データを整理し、暫定パラメーターの分析・解析を行う。		
③パラメーターの抽出、算定式の導出	得られた解析結果から暫定パラメーターの抽出、暫定算定式の検討、導出を行う。		
④計算アルゴリズム構築	得られた暫定パラメーター、暫定算定式から他の設備との整合を検討し、暫定アルゴリズムを構築する。		
⑤最適化手法の確立	詳細シミュレーションのための与条件(インプット事項)の設定検討を行う。シミュレーションソフトのモジュールの基本構造設計を完了する。	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。	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。
⑥一般で利用可能な設計ツールの構築	設計ツール開発のために必要な入力項目及びアウトプットの検討を行い、仕様案を提示する		

(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29年3月20日であり、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(4.4)-1に示す。

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実証試験データ取得・解析					試験・データ分析								解析			
②パラメータ及び算定式の改良					パラメータ・算定式導出											
③計算アルゴリズム構築					計算アルゴリズム構築											
④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							
⑤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							
⑥設計ツール開発					仕様案検討				ツール開発							

図Ⅱ(4.4)-1 研究開発スケジュール

## (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

### (5.1)食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生

#### (5.1.1)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燃料ガス化する超臨界水ガス化を利用すれば、効率良く燃料ガス化し、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燃料ガス化して水と分離、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。

#### (5.1.2)研究開発の概要

食品廃棄物の超臨界水ガス化には超臨界状態を実現するための加熱が必要となるが、この熱は回収して再利用でき、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創生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

(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)

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。

平成 26 年度には、以下のように経済性評価を行う。実用システム導入によるユーザーのコストメリットを、従来採用される安価な方式と比較検討し、実用化装置のプロセス全体でのエネルギー効率の定義を明確化したうえで、採算性のある装置の開発見込みを提示する。さらに、最適な実用化システムと、実証装置の規模をその前提条件、運用条件とともに明確にする。また、実用システムとして採算が取れる価格の見通しを立て、システム各構成要素の目標コストと技術課題を整理するとともに実証装置設置サイトを決定する。

なお、従来採用される方式のキャッシュフローは、焼酎メーカーへのヒアリング結果等に基づき整理する。

また、実用システムのキャッシュフローは、ラボスケールでのラジカル補足剤濃度の条件(②)と、1 t/day プラントでの運転結果(③)、実用化装置の設計(④)を踏まえた運転・整備費、平成 28 年度実施予定の焼酎残渣超臨界水ガス化プロセス実証試験(⑥)のマテリアルフローならびに樹脂製造工場等へのヒアリングで把握する添加剤として用いる廃酢酸などのラジカル補足剤のコスト等を踏まえた処理費、及び焼酎残渣の飼料分析・飼料販売先へのヒアリングを踏まえ設定する乾燥飼料の販売価格等に基づき整理する。飼料販売先及び樹脂工場等へのヒアリングについては、平成 26 年度は電話等により簡易に行い、キャッシュフローの整理及び経済性評価を行う。ヒアリングは主に九州地方を対象とする。

平成 27 年度には、実施するパイロットプラントにおけるラジカル補足剤添加実験結果及び精査した実用化装置の設計結果をふまえ、平成 26 年度に設定した実用システムのキャッシュフロー及び経済性評価を精査する。

平成 28 年度以降には、原料を食品廃棄物全般に拡大するために、焼酎残渣の場合と同様の事業モデルが成立するかを検討するため、食品廃棄物のリグニン等含有量分析及び近畿・中国・四

国・九州地方でヒアリング調査を行い、その経済性評価を行う。あわせて、中・大規模メーカー（処理量 20t/day 程度以上）だけでなく、小規模メーカーへの普及を図るために、「複数メーカーからの収集・処理」や「他の廃棄物との混合処理」等の普及計画を検討し、研究開発に反映する。

### 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。

平成 26 年度には、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を用いてノータールガス化を実現するために求められるラジカル補足剤濃度の条件を確定する。既存装置に高圧ポンプを追加し、ラジカル補足剤を別途供給する。また、米国化学工学会に参加し、バイオマス反応工学の最新研究情報を確認する。

平成 27 年度には、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を用いてノータールガス化を実現するために最適な昇温速度の条件を確定する。また、欧州に存在する世界最大の超臨界水ガス化装置の動向ならびにこの分野の最新研究情報を確認して研究に活かすために欧州バイオマス会議に参加する。

平成 28 年度には、モデル化合物についてタール抑制効率を確認し、タール除去効果を表す定量的な式を導出する。また、欧州バイオマス会議に参加し、欧州に存在する世界最大の超臨界水ガス化装置の動向と最新研究情報を調査する。

### ③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認（実施体制：広島大学、中国電力）

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。

#### ③-1)ラボスケール試験（実施者：広島大学）

平成 26 年度には、焼酎残渣のガス化反応速度式のラジカル補足剤を添加しない場合について決定する。平成 27 年度には、焼酎残渣のガス化反応速度式のラジカル補足剤を添加した場合について、ラジカル補足剤を原料に混入して決定する。平成 28 年度には、焼酎残渣のガス化反応速度式のラジカル補足剤を添加した場合について、ラジカル補足剤を原料とは別途反応器に供給して決定する。

#### ③-2)パイロット試験（実施者：中国電力）

平成 26 年度には、1 t/day のパイロットプラントを用い、ラジカル捕捉剤を添加しない場合でガス化条件（焼酎残渣濃度、ガス化反応器滞留時間等）を変えた試験を行い、ラボスケール試験から得られる焼酎残渣のガス化反応速度式の有効性を確認する。原料速度変化によってガス化反応

器滞留時間を変える。触媒攪拌状態を変えるために1 t/day パイロットプラントのガス化反応器を取り換え、また、現状のパイロットプラントで装置不調の多い送液ラインの改造を行う。また JCREN(タイ)に参加し、本研究開発結果の発表と超臨界水ガス化に関する最新の研究情報を調査する。

平成 27～28 年度には、ラジカル捕捉剤を添加した場合でガス化条件(ラジカル捕捉剤濃度等)を変えた試験を行い、ラボスケール試験から得られる焼酎残渣のガス化反応速度式の有効性を確認する。このため、ラジカル捕捉剤高圧注入設備や高精度ガス流量計等を設置する。また、連続運転試験を行う

#### ④実用化装置の設計(実施体制：東洋高圧)

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。

平成 26 年度には、経済性を評価できるように必要な実用化装置の設計、図面、リストなどを作成しコスト検討を行う。

#### ⑤実証装置の詳細設計、製造設置検討(実施体制：東洋高圧)

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構造を試作し、構造的に製作可能なこと、品質的に問題ないことをパイロット装置等で確認する。

実証装置の詳細設計並びに検討結果に基づき継続年度以降、装置の製造設置を計画する。

平成 28 年度以降に実証装置の製作を行うための設計、製図を行う。パイロット装置において、二重管型熱交換器の改造とともに、クーラー、連続運転試験用サービスタンク、ガス化原料調整装置等を設置する。なお、設置設備の一部は研究終了時に除却する。平成 28 年度以降は実験の状況に応じて改修や追設、メンテナンスを主として行うことを想定している。

#### 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)(参考)

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たノータールガス化実証運転を実施する。平成 29 年度以降に東洋高圧が製造し設置する上記実証装置の試運転に協力するとともに、実際の焼酎残渣をノータールガス化する実証運転を行う。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。なお東洋高圧は試運転及び実証試験に必要な修理改造等を行う。

表Ⅱ(5.1)-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	FSにより事業採算性の見込みを確認する。	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	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。	タール生成量を1%以下とする。	実用装置の設計に求められる条件。
③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認	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のタール生成率が10%以下の誤差で予測する。	装置設計に最低必要な誤差である。
④実用化装置の設計	得られた暫定パラメーター、暫定算定式から他の設備との整合を検討し、暫定アルゴリズムを構築する。	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。	実用化装置の設計に求められる条件。
⑤実証装置の設計検討・製造設置	実用化装置の設計技術で熱回収装置の最適化により確立し、プロセス全体でのエネルギー効率を60%以上とする。	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(参考)	設計ツール開発のために必要な入力項目及びアウトプットの検討を行い、仕様案を提示する	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の実施、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。

(5.1.3)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29年3月20日であり、主な事業スケジュールの概要を図Ⅱ(5.1)-10に示す。

事業項目	H26年度				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	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			タール生成抑制検証																	
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	ラボスケールでの超臨界水ガス化検証																			
	パイロットスケールでのガス化検証												超臨界水ガス化最適化							
④実用化装置の設計	設計検討																			
⑤実証装置の設計検討・製造設置	設計検討												製作				改良			
⑥焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実証試験(参考)													試運転				実証試験・評価			

図Ⅱ(5.1)-1 研究開発スケジュール

## II.2.2 研究開発の実施体制

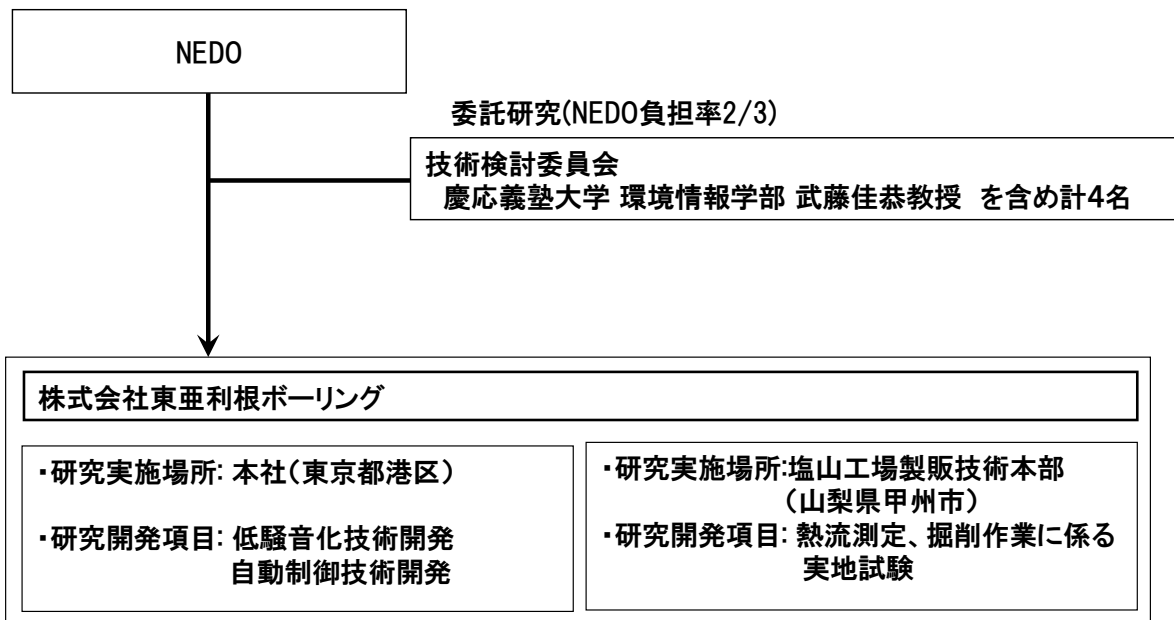
本研究開発は、NEDO が単独ないし複数の企業、大学等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定し、委託または共同研究により実施する。

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

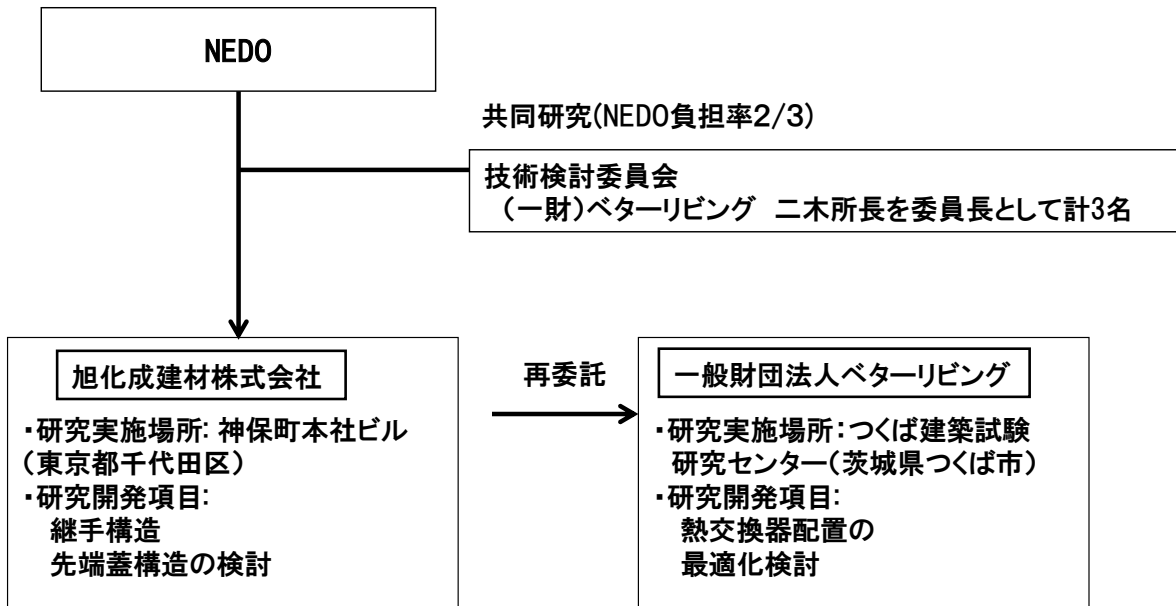
### 事業実施体制図

#### (1)コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

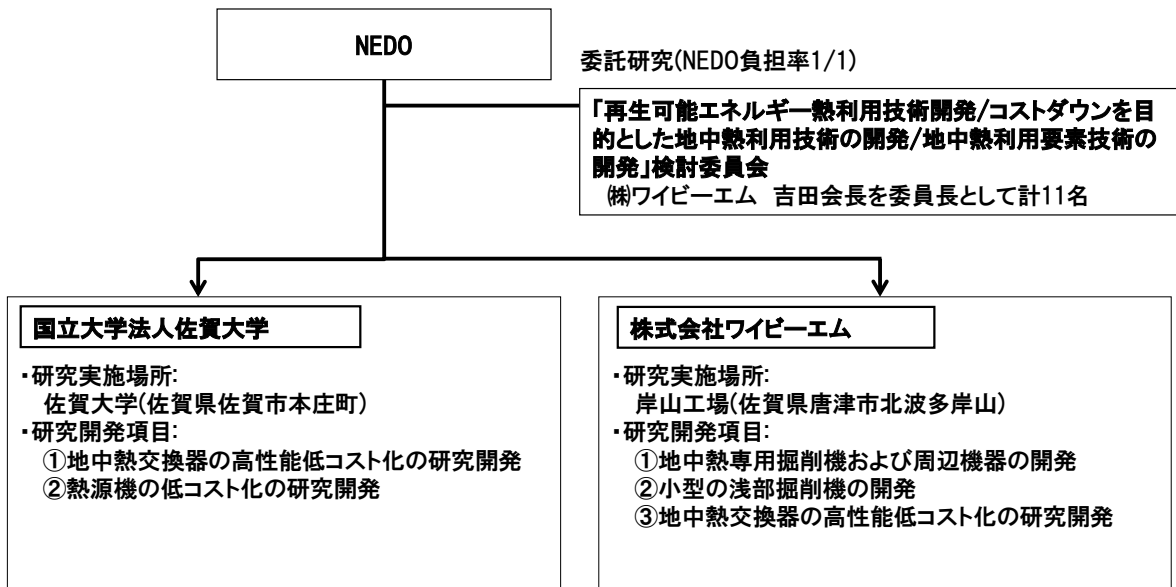
##### (1.1)高性能ボーリングマシンの低騒音化・自動化に向けた研究開発



(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



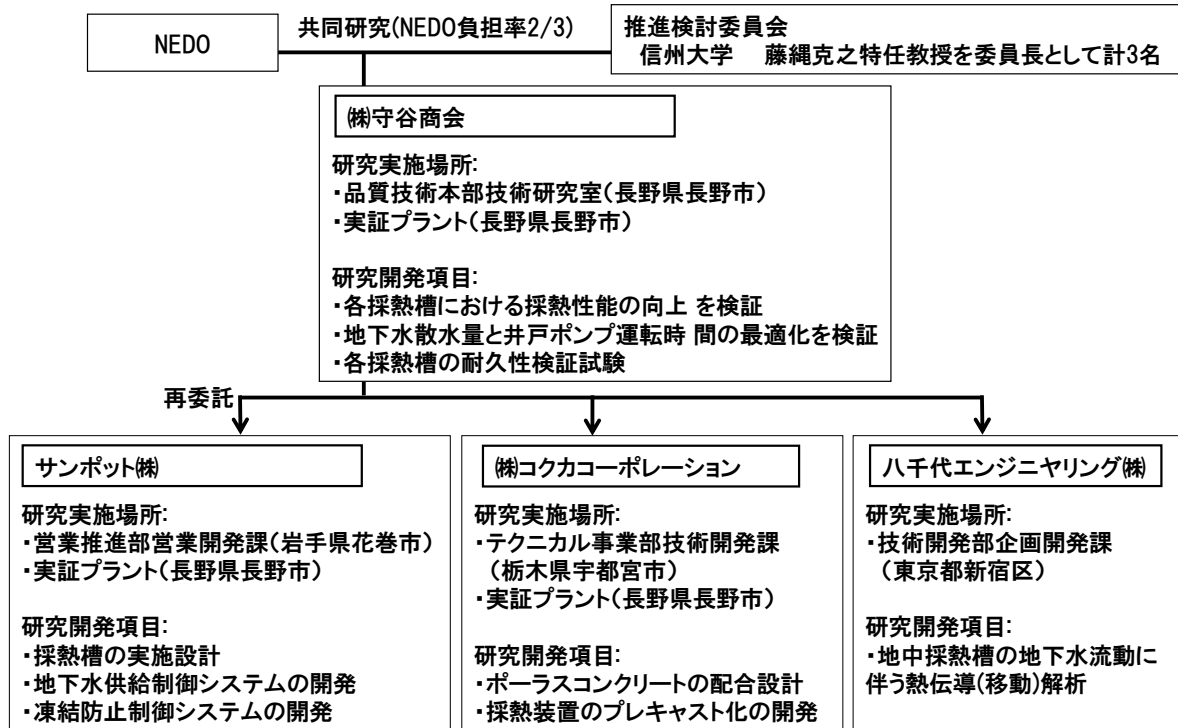
(1.3)地中熱利用要素技術の開発



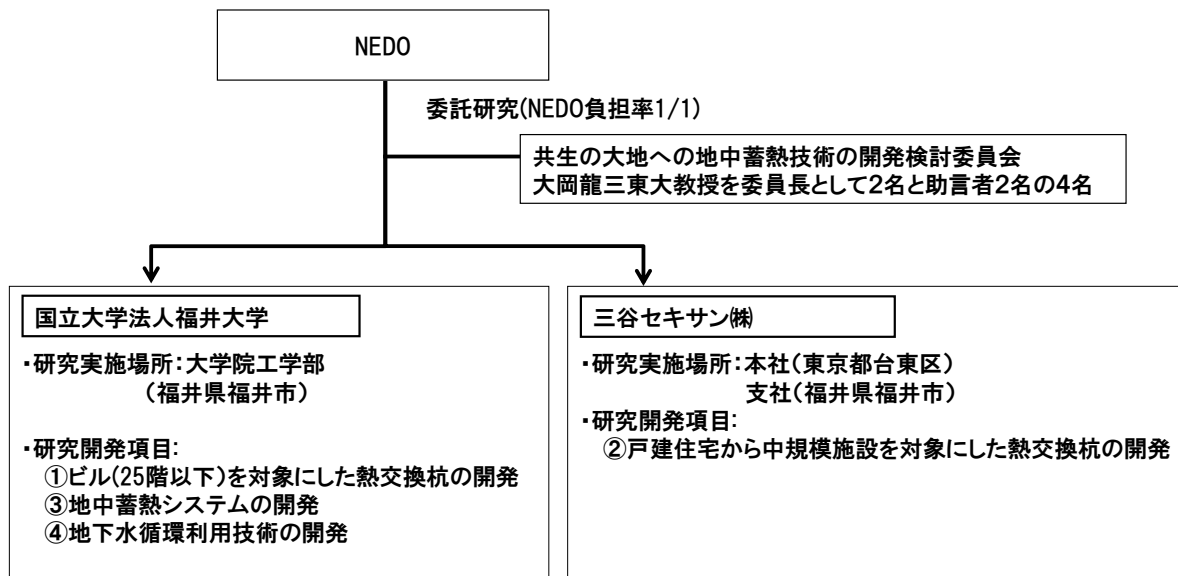


(2)地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化

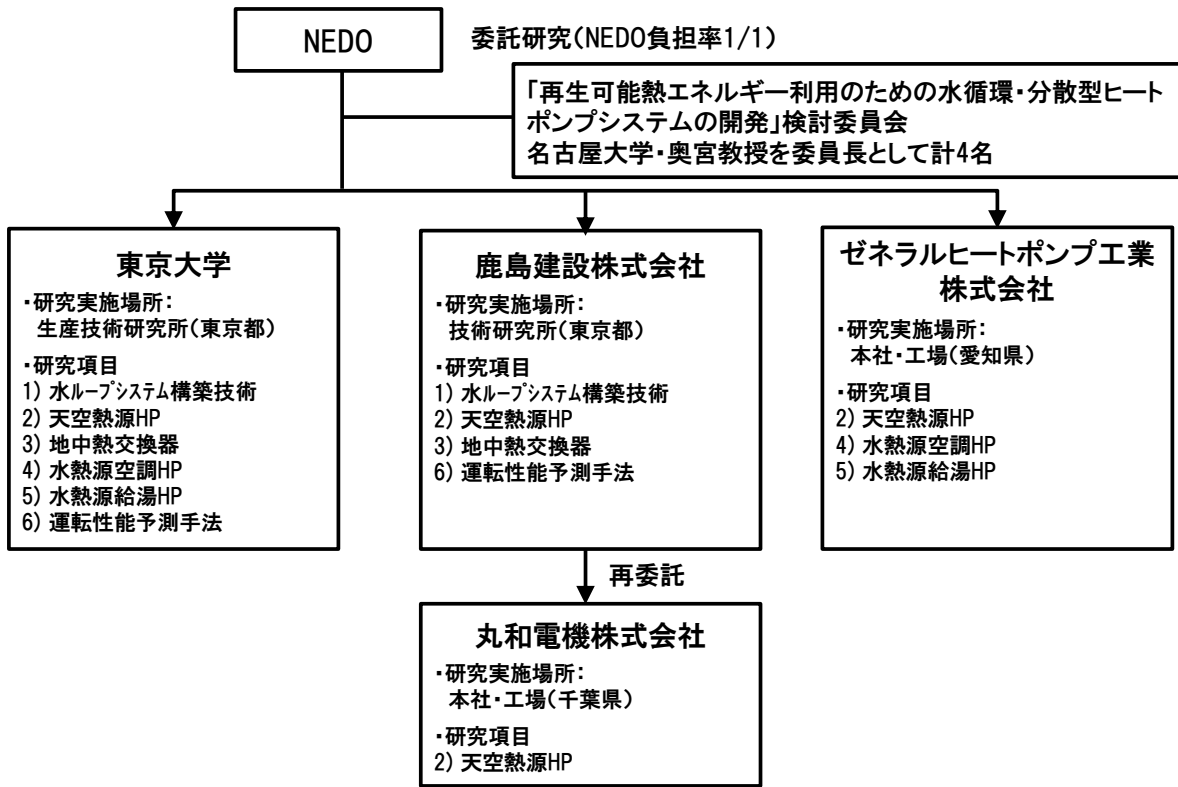
(2.1)地下水循環型地中採熱システムの研究開発



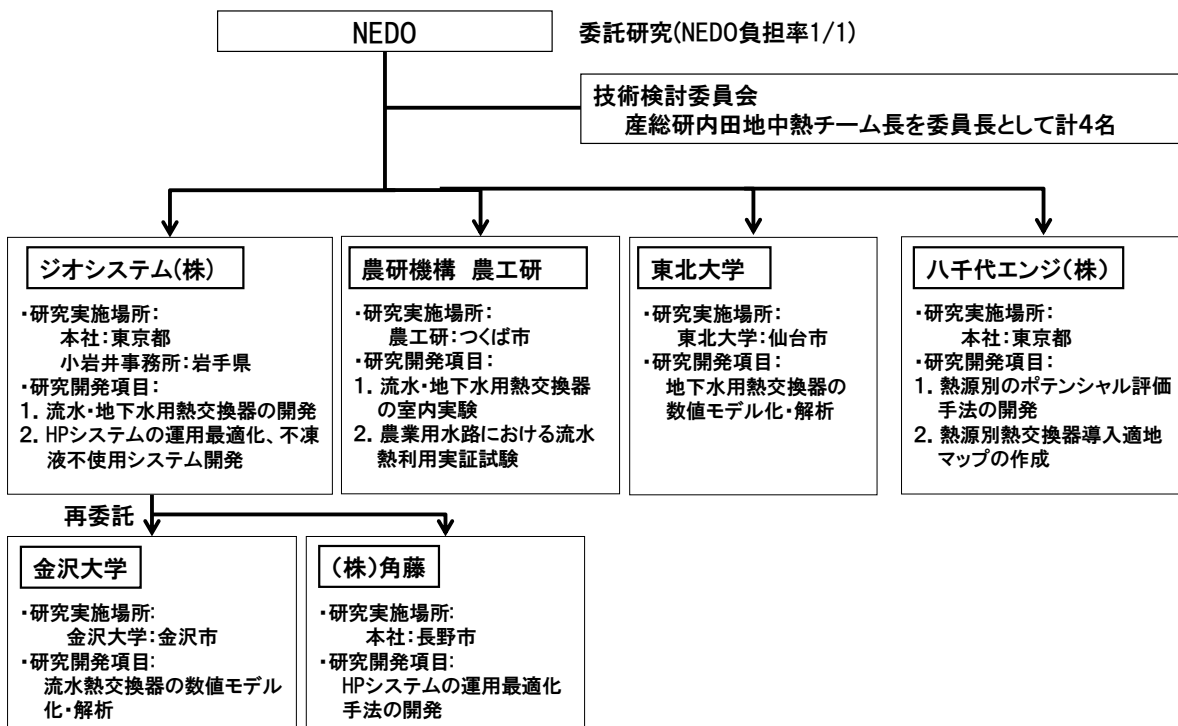
(2.2)共生の大地への地中蓄熱技術の開発



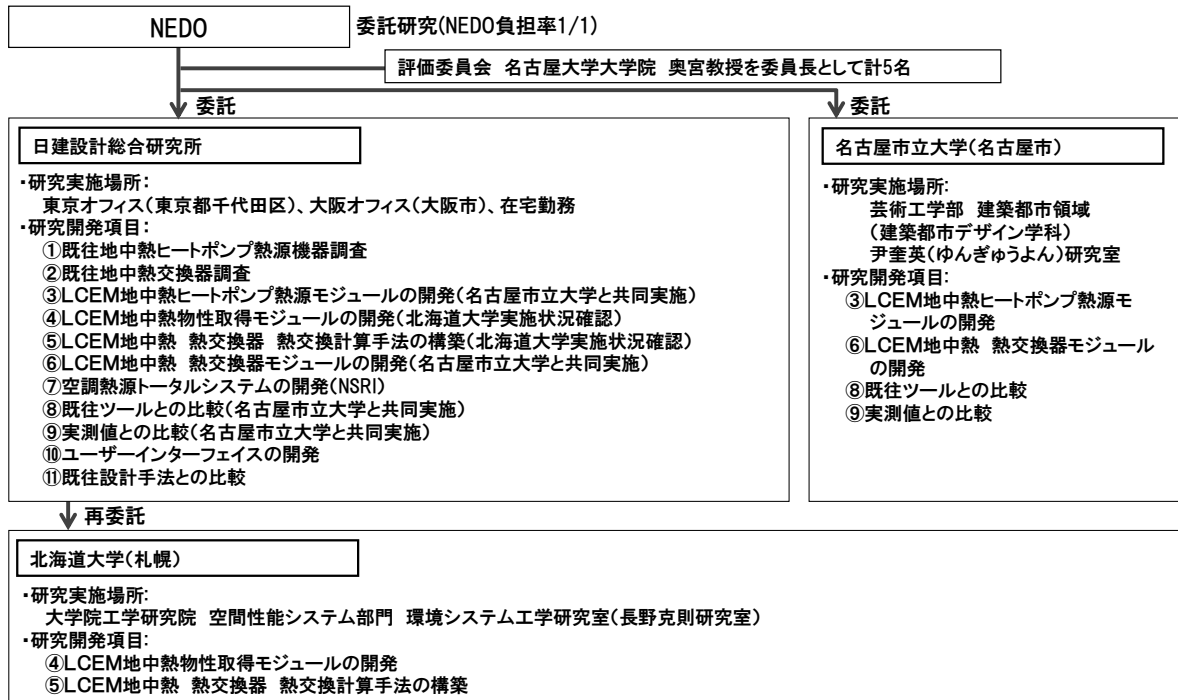
(2.3)再生可能熱エネルギー利用のための水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発



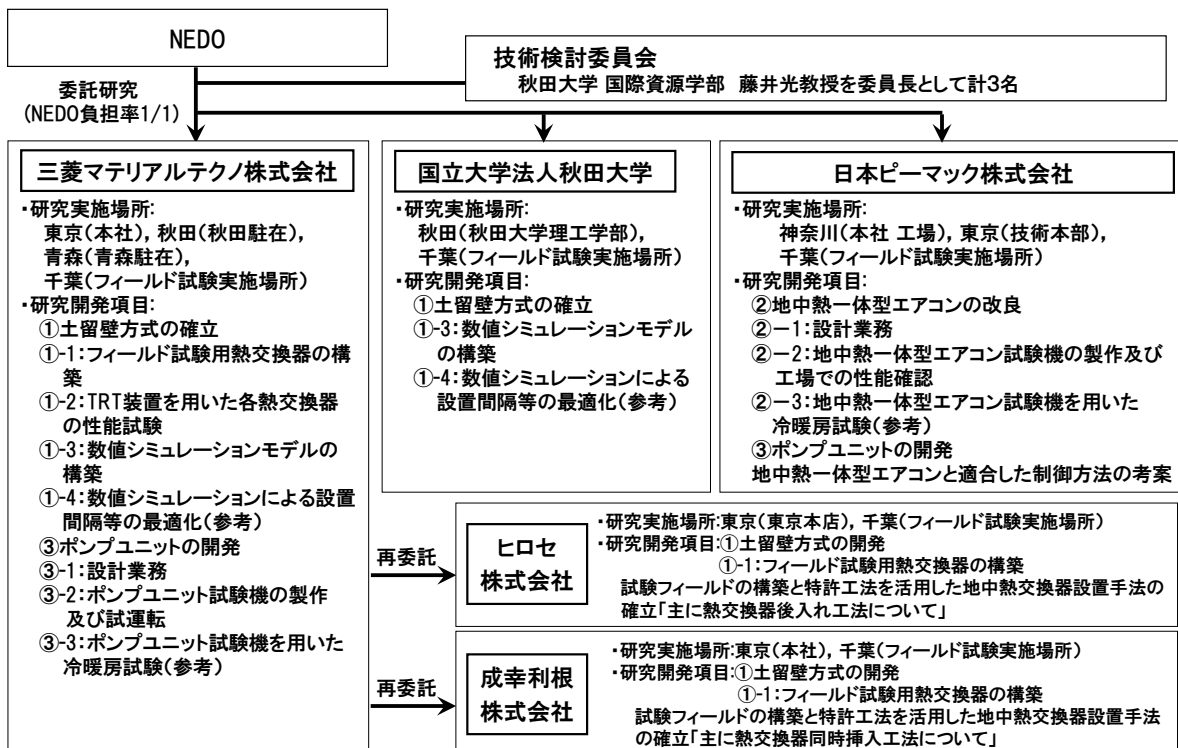
(2.4)地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発



(2.5)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



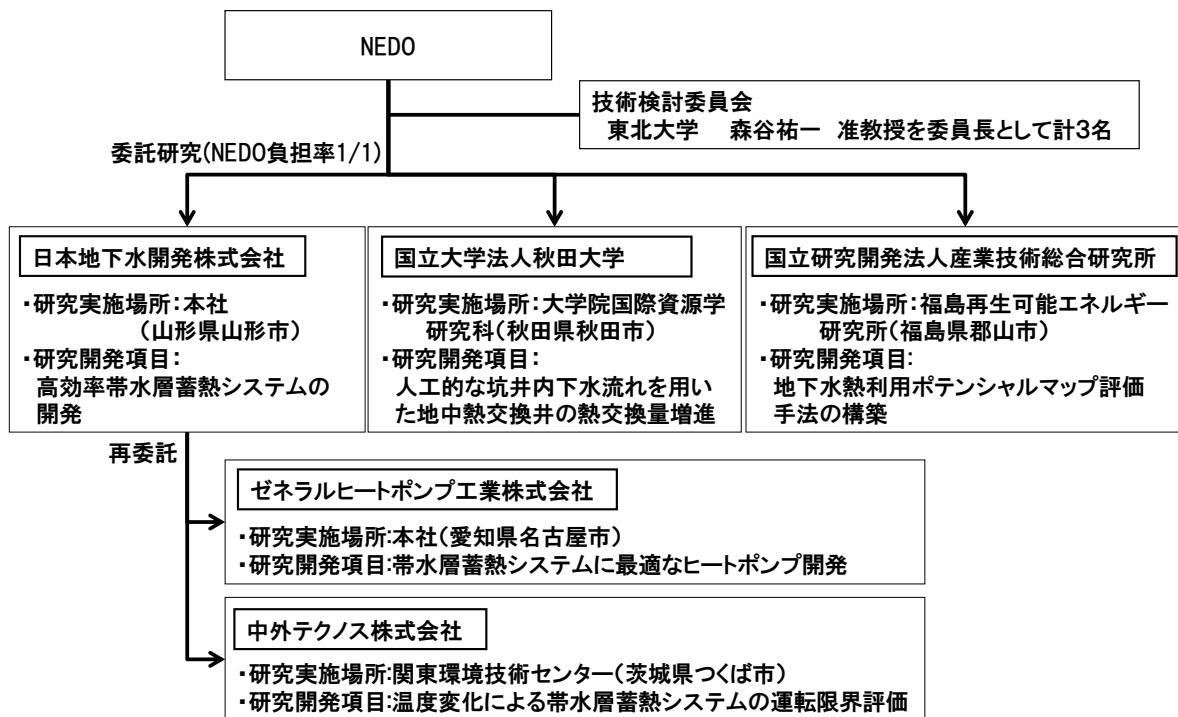
(2.6)都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発



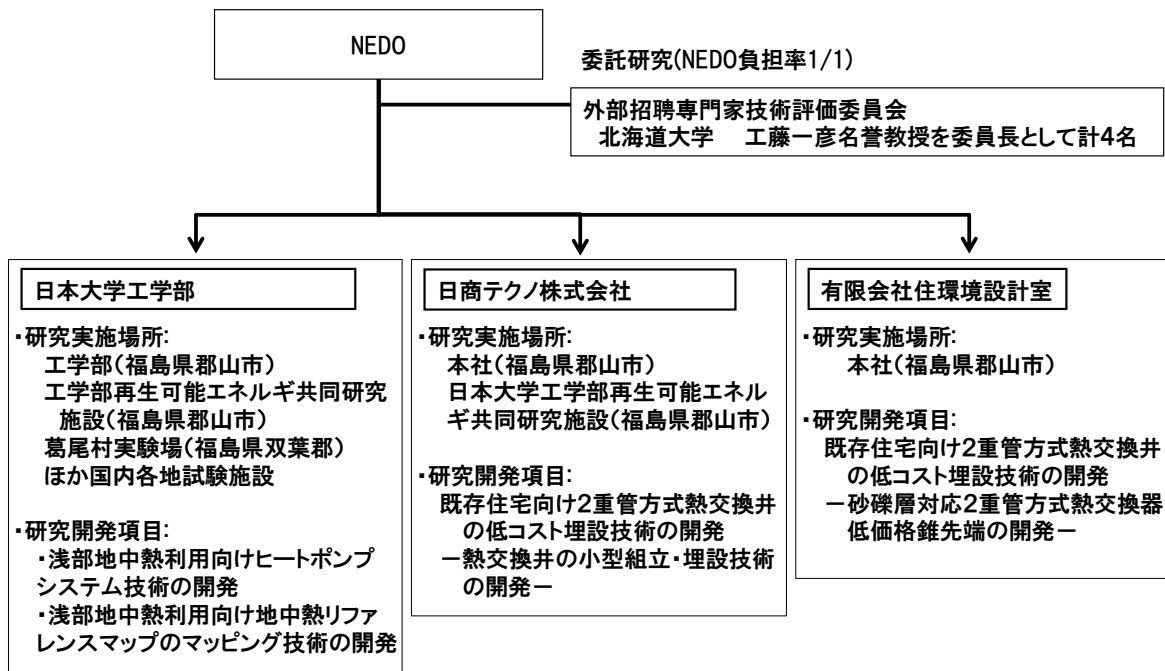
(2.7)低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発



(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

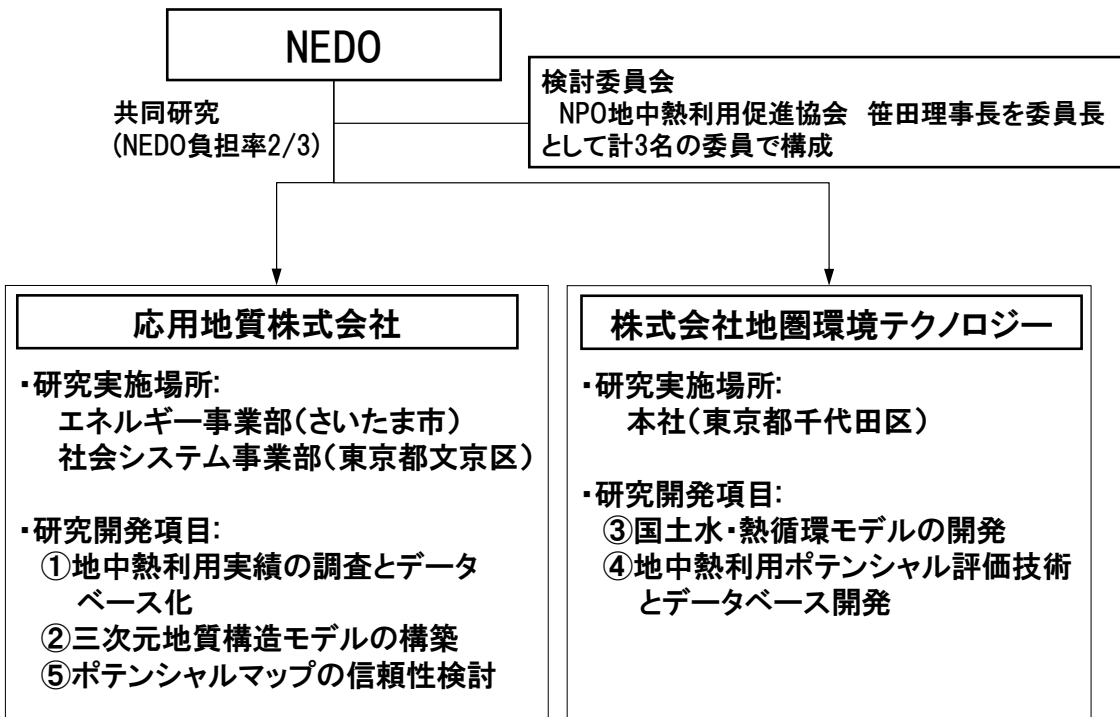


(2.9)一般住宅向け浅部地中熱利用システムの低価格化・高効率化の研究

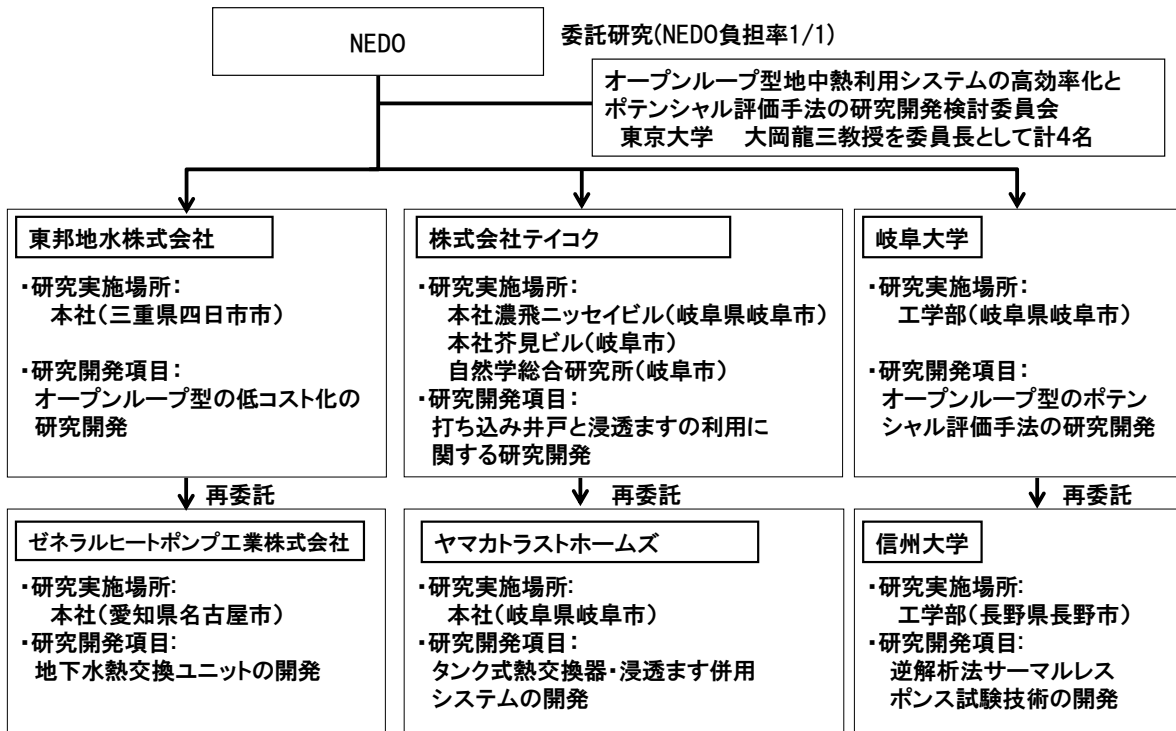


(3)再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発

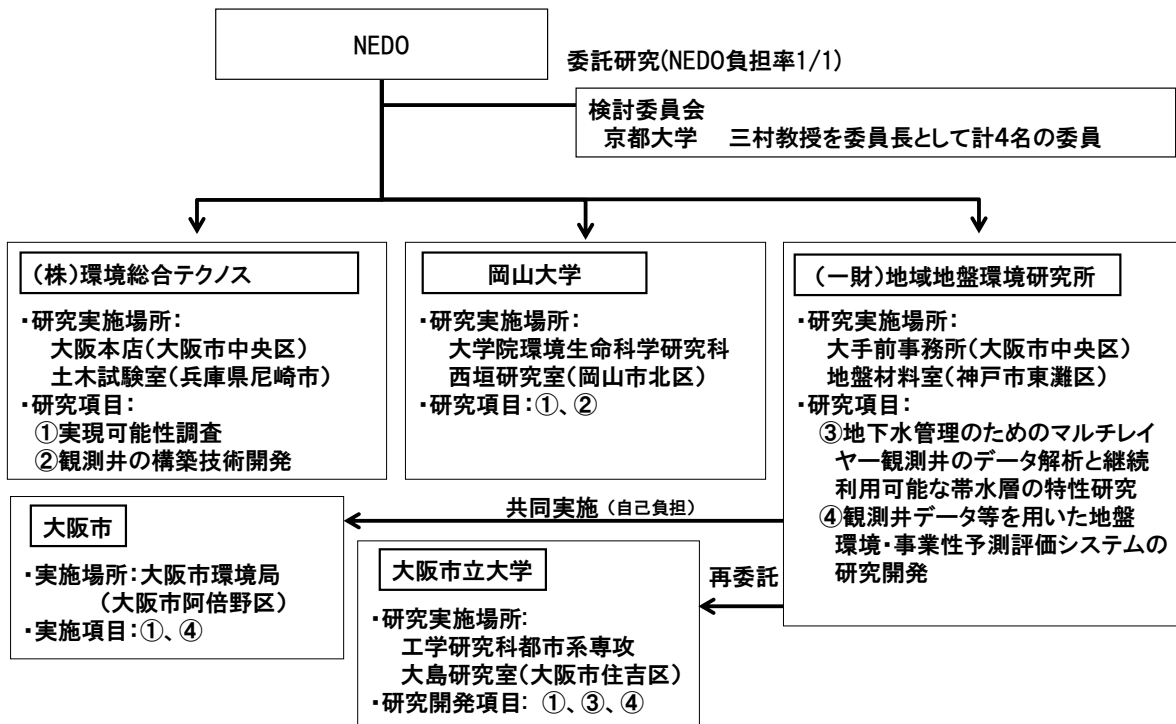
(3.1)地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発



(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

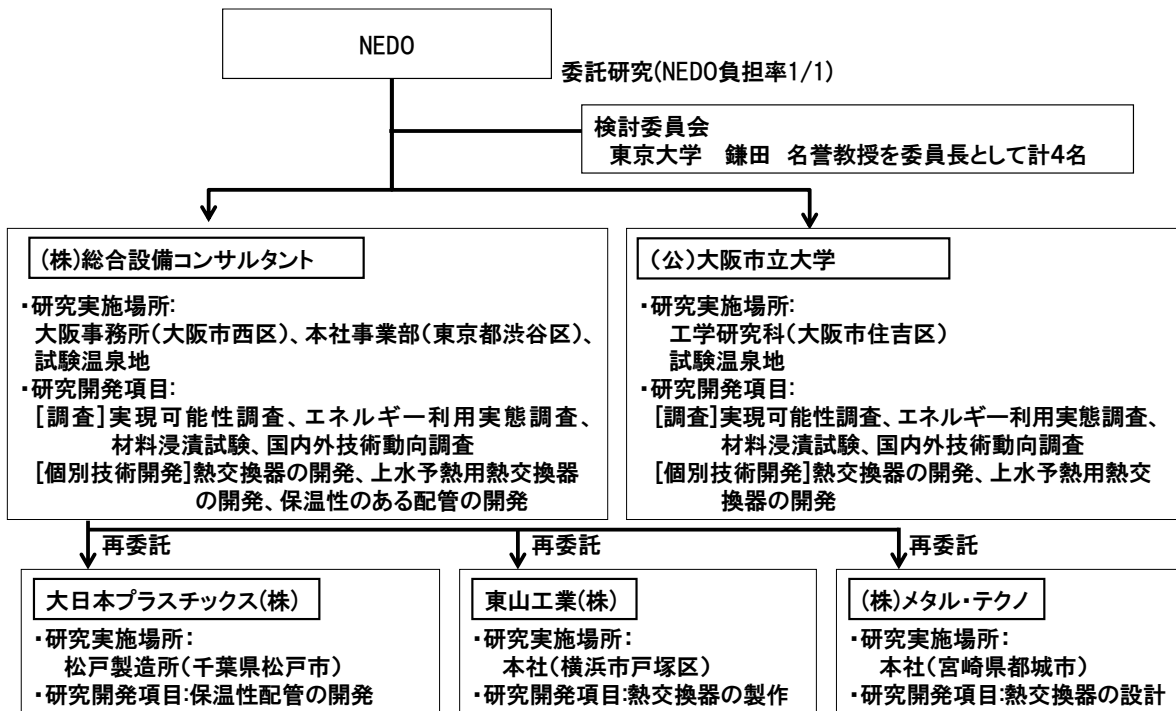


(3.3)都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発

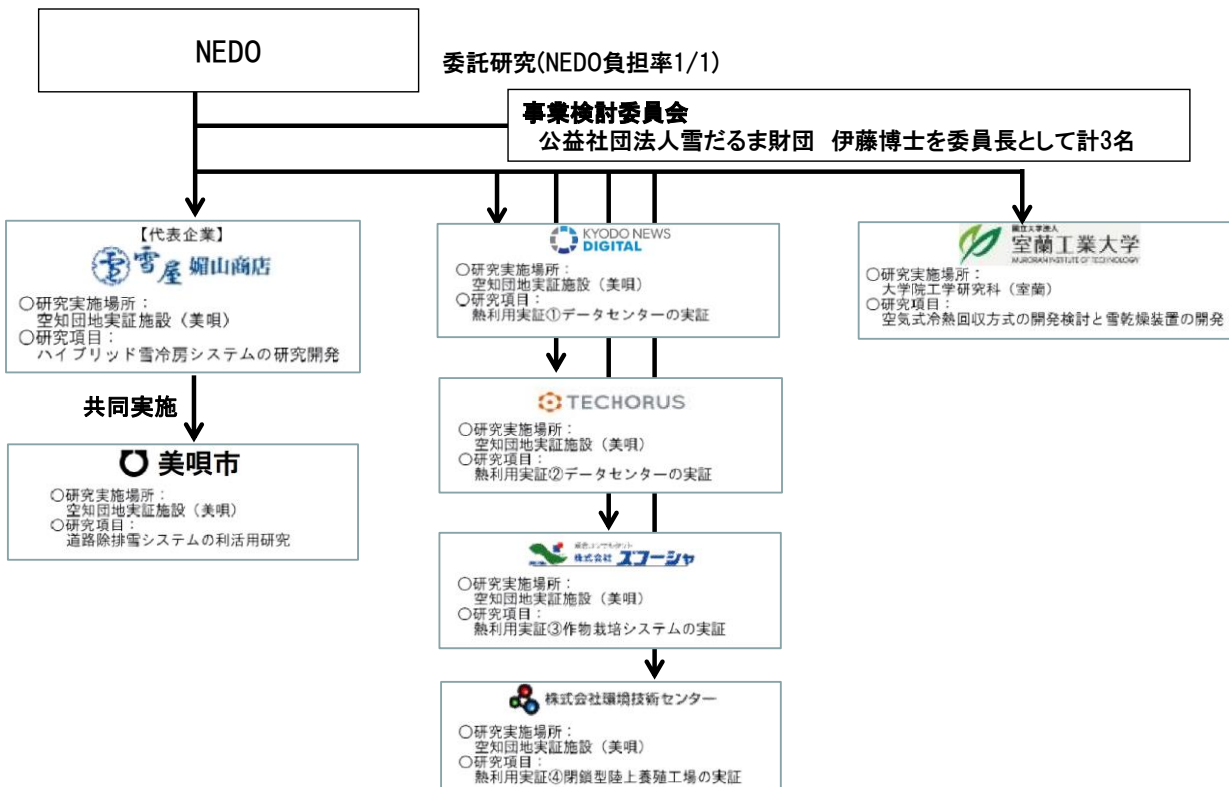


(4)その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化

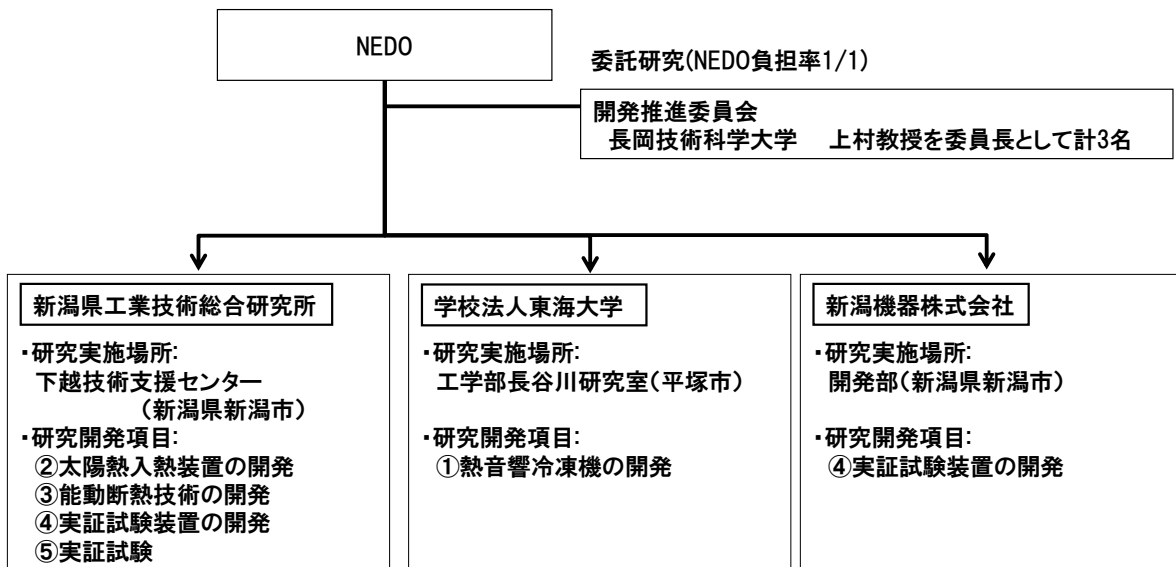
(4.1)温泉熱地域利用のためのハイブリッド熱源水ネットワーク構築技術の研究開発



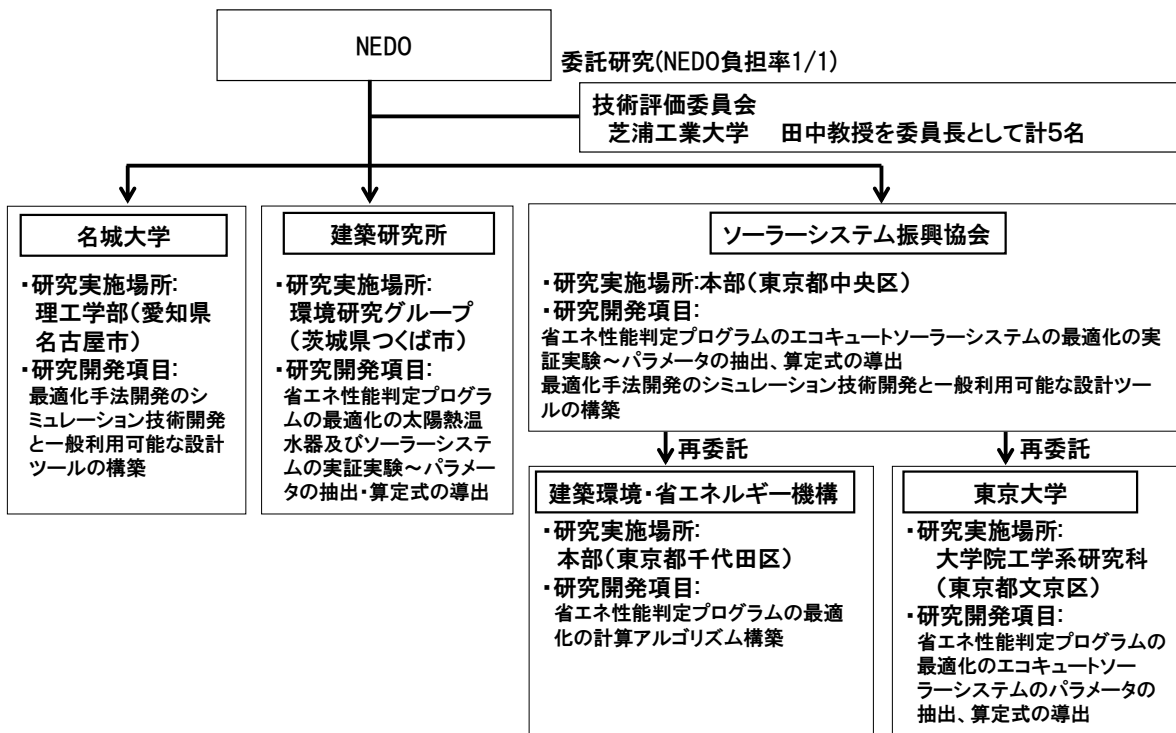
(4.2)都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発



(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



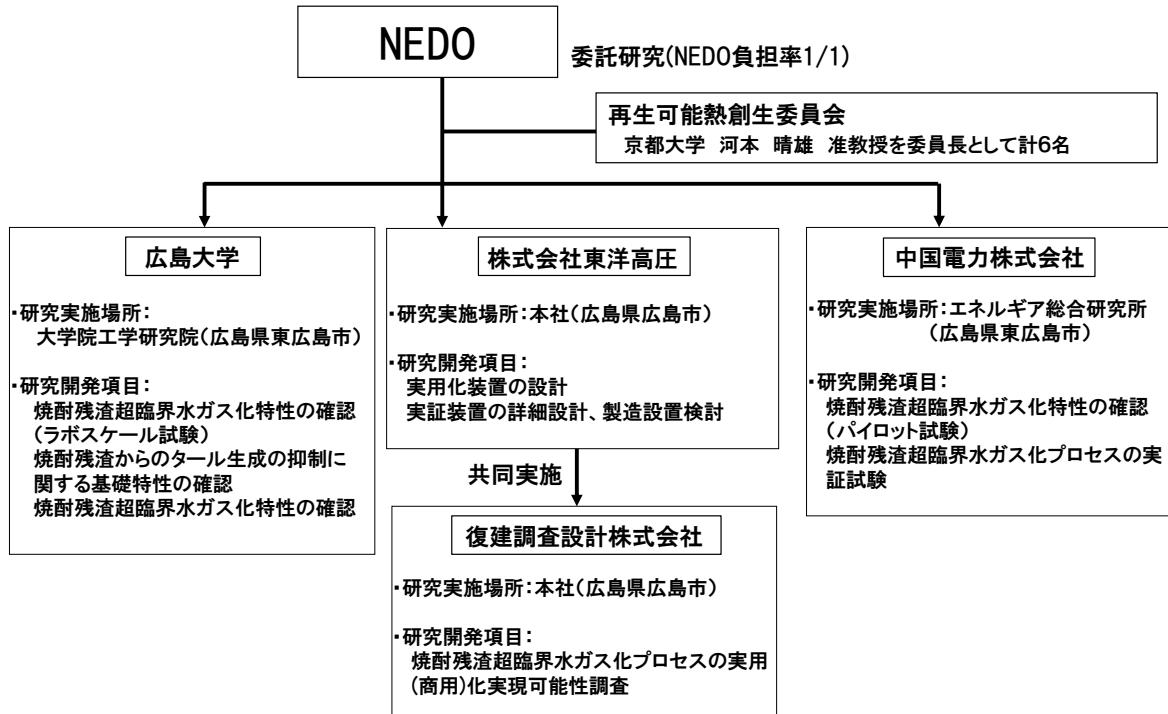
(4.4) 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発





(5)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

(5.1)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.2.3 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(表II.2.3-1.1~5.1)。

### (1) コストダウンを目的とした地中熱利用技術の開発

表II.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「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

表II.2.3-1.2 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「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」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 斉	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

表Ⅱ2.3-1.3 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	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	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

(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

表Ⅱ2.3-2.1 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の研究開発」  
検討委員会

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

表Ⅱ2.3-2.2 共生の大地への地中蓄熱技術の開発 「共生の大地への地中蓄熱技術の開発」検討委員会

国立大学法人福井大学  
三谷セキサン株式会社

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	大岡 龍三	国立大学法人東京大学 生産技術研究所 人間・社会系部門 教授
副委員長	水谷 国男	東京工芸大学 工学部建築学科 教授

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.3 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 「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

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.4 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・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発」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 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

担当	氏名 (敬称略)	所属
委員長	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
委員	岡澤 立夫	東京都農林水産総合研究センター 園芸技術科 主任研究員
委員	山本 雄二	ジェイアール東日本ビルテック株式会社 エネルギー本部エネルギーマネジメント部 部長
委員	手計 太一	公立大学法人富山県立大学 工学部環境工学科 准教授

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.5 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 「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	金田一 清香	国立大学法人広島大学 工学研究院 社会環境空間部門 助教
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

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.6 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 准教授
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

表Ⅱ2.3-2.7 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「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」検討委員会

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  
 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 デザイン学部建築学科 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	羽山 広文	国立大学法人北海道大学 大学院工学研究院 空間性能システム部門 建築環境学研究室 教授

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-2.8 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」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

表Ⅱ2.3-2.9 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「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	塩治 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

### (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

表Ⅱ2.3-3.1 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「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

表Ⅱ2.3-3.2 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	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
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

表Ⅱ2.3-3.3 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

#### (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

表Ⅱ2.3-4.1 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「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

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
委員長	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	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

所属は、委員会組織時点のもの

表Ⅱ2.3-4.2 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 「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  
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

表Ⅱ2.3-4.3 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 「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」開発推進委員会

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	国立大学法人長岡技術科学大学 工学部 機械創造工学専攻 教授
委員	井上 龍夫	株式会社コンボン研究所 研究部 主席研究員
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 (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

表Ⅱ2.3-4.4 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



(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

表Ⅱ2.3-5.1 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
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
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
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

(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、実用化に向けたマネジメントを行った（表II.2.4-1）。

表II.2.4-1 「地中熱利用ポテンシャル」関連技術交流会

開催日	場所	内容
平成27年7月13日	NEDO 分室	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
平成27年9月14日	NEDO 分室	標準化方針、標準モデルの策定、条件の共有化、課題の情報交換
平成27年12月7日	NEDO 分室	標準モデルの提案、条件の共有化、課題の情報交換

## 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年度に公募を実施した。

地中熱利用を推進する上で、地中熱利用ポテンシャルに対する評価技術、ポテンシャルマップ技術の重要性が認識されたため、技術交流会を開催し、事業者間の情報交換、地中熱ポテンシャル評価の結果出力値に関する基準策定の促進を図った。

## II.4 評価に関する事項

技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成31年度に実施する。

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### Ⅲ.1 事業全体の成果

##### Ⅲ.1.1 研究開発項目毎の成果(H28.8 現在)

###### (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中間目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-1に示す。

表Ⅲ.1.1-1 中間目標の達成度

FY28 末目標	成果	達成見込
導入コスト 20%低減、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。	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、地中熱交換器設置コスト低減化技術の開発等を実施。	○

最終目標達成の見通しを表Ⅲ. 1. 1-2に示す。

表Ⅲ. 1. 1-2 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
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%低減する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新型掘削機の製作</li> <li>・20%コスト低減の実証</li> </ul>	実証機製作完了予定であり、一部のプロジェクトでは H28 年度から性能試験を開始、コストダウン効果検証を実施する。試験結果を基に、改良を行い目標達成の見込み。

###### (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中間目標に対する成果と達成度を表Ⅲ. 1. 1-3に示す。

表Ⅲ.1.1-3 中間目標の達成度

FY28 末目標	成果	達成見込
導入コスト 20%低減、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。	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実施。	○

最終目標達成の見通しを表Ⅲ. 1. 1-4に示す。

表Ⅲ.1.1-4 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
導入コスト 20%低減、運用コスト 20%低減する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高効率トータルシステム制御技術の確立</li> <li>・20%コスト低減の実証</li> </ul>	・試験室等で性能試験を一部で開始。試験結果を基に、改良を行い目標達成の見込み。

### (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

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中間目標に対する中間目標に対する成果と達成度を表Ⅲ.1.1-5に示す。

表Ⅲ.1.1-5 中間目標の達成度

FY28 末目標	成果	達成見込
各熱の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マップを作成できる容易な操作性を備えたシステム、並びに設置前に実施する簡易な評価の基本技術を示す。	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。	○

最終目標達成の見通しを表Ⅲ.1.1-6に示す。

表Ⅲ.1.1-6 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・導入可能量の評価技術確立</li> <li>・一般ユーザーが利用しやすいポテンシャルマップの作成、信頼度向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実測データとポテンシャルマップの比較による精度検証を実施する。</li> <li>・容易に使用可能なユーザーインターフェイスの開発に着手した。</li> </ul>

### (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

### (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

研究開発項目④、⑤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、革新的技術開発としての中間目標に対する成果と達成度を表Ⅲ.1.1-7に示す。

表Ⅲ.1.1-7 中間目標の達成度

FY28 末目標	成果	達成見込
導入コストの10%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。	地中熱以外の再生可能エネルギー熱利用システムについては、基礎実験によるFS、実証設備の製作中。	○

最終目標達成の見通しは以下のとおり。(表Ⅲ.1.1-8)

表Ⅲ.1.1-8 最終目標の達成度

最終目標	今後の課題	課題解決の見通し
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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・性能及びコストダウン目標検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試作機を用いたコスト試算は目標達成の見通しを得た。長期の実証試験に着手しており、性能検証及び課題抽出をしており、目標達成の見込み。</li> </ul>

### Ⅲ.1.2 知的財産等の取得、成果の普及

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

NEDO自身も、学会・シンポジウムでの講演、専門誌への寄稿等を行っている。

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	1件	0件	34件	24件	8件
H27FY	2件	0件	0件	9件	10件	94件	34件	18件
H28FY	0件	0件	1件	6件	12件	19件	7件	8件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成 28 年 7 月 31 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)中間目標(平成28年度)に対する成果

本事業は、多岐にわたる技術領域と多くの研究開発テーマを要していることから、個別テーマごとに中間目標を設け、試作機等を用いる実験等により最終目標のコスト低減目標の可能性を示すこととする。個々のテーマについて、28年度末中間目標に対して順調に成果を得ている(表Ⅲ.1.3-1)。

表Ⅲ.1.3-1 個別テーマの目標と成果(中間目標)

研究開発テーマ	平成 28 年度末目標	現状成果	課題と解決方針
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>騒音値を従来機比 6dB 低減</li> <li>省人化を図るために必要な自動制御アプリケーション開発を完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>静的状態(エンジンのみ稼働時): 6dB 以上低減確認(簡易騒音測定)。</li> <li>自動制御アプリケーション設計完了。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>動的状態(掘削時)も含め 28 年度に簡易騒音測定を実施し、6dB 以上の騒音低減見込みを得た。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>羽根付き掘削鋼管掘削工法を確立。</li> <li>地中熱配管埋設コスト 24% 相当を削減(施工速度 60m/日以上、排土量掘削体積比 30%以下)</li> </ul>	<p>[平成 27 年度末終了]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>(i)施工速度:70.6m/日</li> <li>(ii)排土量:掘削体積の 29.6%</li> </ul>	<p>[平成 27 年度末終了]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>試験施工により目標達成を確認し契約完了。</li> </ul>
(1.3) 地中熱利用要素技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型の浅部掘削機および周辺機器の開発</li> <li>掘削工事費 30%削減の目的を付ける</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>振動数、回転数の可変機構及びロッドチェンジャー、U チューブ自動挿入機製作を完了。</li> <li>小型浅部掘削機の設計完了。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削時間と作業人工の削減効果検証のため試験実施予定。省人化によりコストダウン目標達成見込み。</li> </ul>
(2.1) 地下水循環型地中採熱システムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下浸透槽内の熱移動の特性検証を完了</li> <li>採熱性能の検証(スリンキー:採熱目標 50w/m)</li> <li>井戸ポンプ制御最適化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動に伴う熱伝導解析を実施し、本システムの有効性を確認。</li> <li>井戸ポンプ制御最適化検討開始。</li> </ul>	<p>真水を一次側循環液に使用した際の制御設計に時間を要した。今後、制御の有効性、実証試験を実施して運転データを収集。</p>
(2.2) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>H 型コンクリート杭による熱交換器設置コストを従来比 55%削減</li> <li>蓄熱可能な地中熱システムの事業性確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボアホール価格性能比 77%達成。</li> <li>地中熱-空気熱床暖房・給湯蓄熱冷房システム設置コスト 46%削減達成。</li> </ul>	<p>冷房排熱余熱貯湯等を兼用することで、運用コストの削減可能性を示せる見込み。</p>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>水熱源ヒートポンプの試作、運転性能及びコスト削減の可能性を実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>システム性能予測モデルを用い、太陽熱と地中熱を併用する場合のシステム制御方法を構築。</li> <li>試作機より試験建屋に設置する試験設備の運転結果から、従来比 20%削減の効果を確認。</li> </ul>	<p>性能検証、課題抽出中であり、最終目標に向け着実に研究開発を進めているので、目標は達成見込み。</p>
(2.4) 地中熱・流水熱利用型クロウズシステムの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>浅層地下水および農業用水に適した熱交換器の開発</li> <li>熱交換器設置コスト 20%削減。</li> <li>運用コストの 20%削減。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設置コスト 20%削減の目的を付けた。</li> <li>既存の地中熱ビルマルで負荷制御実施。実証試験場所に不凍液不使用 HP を設置し、制御・性能検証中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>冬期に暖房運転を行い、不凍液不使用の制御法を確立見込み。</li> <li>室内機配置と各負荷率の最適化により負荷制御法の確立に着手</li> </ul>

(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>HP 及び地中熱交換器の詳細な性能調査</li> <li>地中熱 HP モジュールの構築</li> <li>シミュレーションツール試作完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>今年度調査予定項目は概ね完了。</li> <li>地中熱に係るモジュールの一部で基本設計を完了。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>メーカーヒアリングにより詳細情報収集中。</li> <li>ツール試作を実施。今年度中に試作完了見込。</li> </ul>
(2.6) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>地中熱交換器設置工事に対ボアホール方式 50%削減見込みを示す</li> <li>改良型地中熱一体型エアコンにおける工場試験により性能把握 (COP10% 向上、SCOP15%向上)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>性能、コスト比較のため、6 パターンの土留壁方式による地中熱交換器を構築済み。</li> <li>地中熱一体型エアコン、ポンプユニットともに試験機の設計業務を開始。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地中熱交換器の設置方法や熱交換方式の違いによる性能を TRT により確認。コスト評価を実施予定。</li> <li>今後試験機を製作、工場における試験を実施し、性能検証。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工試験と施工最適化からコスト削減 10%を評価。</li> <li>ヒートポンプモジュールを複数台組合せた試作機の開発および複数台運転の動作確認完了。</li> <li>深さ毎に地盤熱特性を考慮した地中熱交換器の性能予測を行える設計・性能予測ツールを開発する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削時間を従来技術比で 50%程度の削減結果を得た。</li> <li>30kWヒートポンプモジュールを組み合わせた 60kW 級冷暖房ヒートポンプの試作完了。地中熱ヒートポンプと太陽熱などの補助熱源を含めたハイブリッド地中熱ヒートポンプシステムの簡易コントローラを開発した。</li> <li>地層地盤データベースより地盤データを取得できる設計・性能予測ツールの試作完了。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐久性、周波数可変機能の面で課題抽出中。</li> <li>HP を複数台組み合わせさせた試作機の実証試験実施により動作確認、性能試験を実施することで中間目標達成見込み。</li> </ul>
(2.8) 地下水を利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	<ul style="list-style-type: none"> <li>帯熱層蓄熱システムにおける改良点の確認、稼働パターン設定。</li> <li>半開放式地中熱利用システムにおいて、システム COP の 25%増加(消費電力 20%削減)を達成。</li> <li>熱交換量予測シミュレーションに基づき地中熱ポテンシャルマップを作成する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>密閉式井戸による帯水層への加圧注入より、従来式に比べ注入量倍増を確認。</li> <li>暖房試験により、COP 約5%向上が可能であることを確認。</li> <li>郡山盆地で3次元地下水流動・熱輸送モデルを構築した。対象地域の地下水情報に基づいて、平野全体をカバーする地中熱交換井モデルを作成完了。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実稼働データに基づきランニングコスト削減のための改良点を抽出。</li> <li>構築したシステムの採熱・放熱バランスを調整し、稼働パターンの最適化を検討。</li> <li>オールコア試料や TRT による熱物性データを3次元地下水流動・熱輸送モデルへフィードバックすることにより、ポテンシャルマップを高度化。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>地中熱交換器の低コスト埋設技術の適応可能範囲・施工方法の確立。</li> <li>ランニングコスト 10%低減見込みを示す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試作した小型回転埋設機で施工実験を実施、N 値 23 の地層で対応可能なことを確認。</li> <li>安定温度でブラインを供給可能な HP 制御を確認。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地中熱交換器の低コスト埋設技術、熱需要に応じた HP の運転制御系技術の試験により目標達成見込み。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>広域と都市部の地下浅層・深層の熱、水循環機構を可視化し、地中熱ポテンシャルを基本評価し、ポテンシャルマップを作成する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3次元地質構造モデルと水熱循環モデルの試作完了</li> <li>これを基にした地中熱ポテンシャルマップの試作完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中間目標は達成。今後ポテンシャルマップを実測データと比較・精度検証及び改良を行い全国3地域以上におけるポテンシャルマップを作成する。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来のオープンループ型システムとの価格性能比で、設置コストと運用コストの 20%削減見通しを示す。</li> <li>地下水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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>還水能力低下の要因調査を実施</li> <li>観測 22 本の観測井にて地下水温度観測を行い、流動している帯水層を抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>還水能力低下の要因調査を継続。目詰まり機構の解明、逆流方法の検証を実施。目標達成見込み</li> <li>年間を通じた帯水層観測により、地下水流動に伴う温度変動の振幅、位相差等を確認見込み。</li> </ul>



(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・砂礫採取率を向上させたサンプリングツールと、観測井設置場所の地盤で透水性を評価できる地下水フローメータの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存サンプリングツールの課題、対応策を洗い出し、ツール設計に反映</li> <li>・フローメータの試作機開発中</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計、製作を行い、削孔試験を実施して着実に課題を解決することで、目標を達成できる見込み。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流下液膜式熱交換器を1パターン以上試作し、理論的及び基礎的な確認試験により、5万円/kW以下であることを示す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料浸漬試験により、温泉熱利用に有効な材料選定を行い、実機モデルを試作、温泉下での長期試験を開始。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期試験による性能検証、課題抽出、メンテナンス方法の検討を行っており、目標達成見込み。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・雪山及びデータセンターや食料生産施設を組み合わせた熱供給システムにおいて、雪冷房部分のトータルコストを従来型に比べ25%削減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フリークーリング併用により雪山堆積量の70%削減およびインシヤルコスト10%削減が可能であることを明らかにした。実証施設の運転試験にて施設間で適正な熱交換を確認した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通年の運転試験により、夏期、冬期、中間期それぞれにおける施設間の熱収支を確認し、トータルコスト25%削減を示せる見込み。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒーターでの加熱条件下で、1kWの冷熱を得る熱音響冷凍機を設計開発する。</li> <li>・太陽熱を集熱し、4kWの熱を熱音響冷凍機に入熱可能な太陽入熱装置を設計開発する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱音響原動機を2台直列に接続し、1.6kWの出力を得る熱音響冷凍機の設計を完了した。</li> <li>・太陽入熱装置のFSを行い、集熱管の配置等の影響を検証中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の装置を製作し、想定する熱および冷凍出力を得られるか性能試験を実施予定であり、目標達成見込み。</li> </ul>
(4.4) 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の省エネ性能シミュレーションツール(判定プログラム)のパラメーター及び省エネ性能算定式の修正案を提示する。また、修正案を基に簡易シミュレーションツールを試作する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証試験に着手</li> <li>・既存ツールの課題抽出を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験データ解析により、シミュレーションに必要なパラメーターの修正を実施予定。今年度中にツールの試作完了見込。</li> </ul>
(5.1) 食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FSを行い事業採算性の見込みを確認する。</li> <li>・焼酎残渣を用いた超臨界水ガス化特性試験を行い、タール生成量を2%以下とし、あわせてガス化反応速度式を決定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FSにより、事業採算性確保の可能性を確認した。</li> <li>・パイロットプラントでタール生成量2%以下を達成し、ガス化反応速度式を決定した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業採算性確保可能な焼酎メーカーの適用範囲は限定的。焼酎メーカーが集中している地域における集合処理等による適用可能範囲の拡大をめざす。</li> </ul>

## (2)最終目標の達成見通し

表Ⅲ.1.3-2 個別テーマの最終目標と達成見通し

研究開発テーマ	最終目標[目標年度]	達成見通し
(1.1) 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	【H28 年度終了予定】 ・騒音値を従来機比 6dB 低減 ・省人化を図るために必要な自動制御アプリケーション開発を完了	【H28 年度終了予定】 ・動的状態(掘削時)も含め簡易騒音測定を実施し、6dB 以上の騒音低減見込みを得ている。
(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	【H27 年度終了】 目標達成	【H27 年度終了】 目標達成
(1.3) 地中熱利用要素技術の開発	・掘削工事費の 30%削減 ・空気-地中熱源ヒートポンプのインシヤルコストの従来地中熱 HP 比 20%削減を達成	・地中熱専用掘削機開発の目途がつき掘削工事費目標達成見通し。 ・汎用機利用ハイブリッドシステムの設計が終了。性能試験を実施し、コスト、性能目標達成確認見込み。
(2.1) 地下水循環型地中採熱システムの研究開発	・目標採熱量の達成(スリンキー50w/m以上、G カーペット、SUS1.5kw/回路) ・地下水散水条件の最適化、年間を通した運転性能評価	・試運転時には採熱量目標を達成確認 ・実証試験に着手しており、試験データより課題抽出を実施している。改良を加え、目標達成見込み。
(2.2) 共生の大地への地中蓄熱技術の開発	・H 杭埋設 WU チューブ設置工法の開発により、ボアホール価格性能比性能比で設置コスト 60%を削減する。	・H杭単体でボアホール価格性能比 71%のコスト削減見通しを得ており、目標達成。
(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	・水循環・分散型ヒートポンプシステム技術を開発して、運用コスト 20%低減を達成する。 ・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する。	ヒートポンプ試作や性能予測モデルによるプロトタイプ開発を完了。要素技術開発を着実に進めているので、順調に推移すれば目標は達成見込み。
(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	・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、水熱源と空気熱源のハイブリッドヒートポンプシステム最適制御方法の開発。 ・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。	・システム制御の設計完了。不凍液不使用時のヒートポンプ性能への影響、適用限界検証により目標達成見込み。 ・導入適地マッピング技術を開発する予定であり、目標達成見込み。
(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	・地中熱 HP システムを含む空調熱源トータルシミュレーションツール開発完了(エネルギー消費量計算値精度 5%以内)	当初計画通り推進中。ツール開発後はグループ会社等で入手可能な地中熱 HP システム実測値と比較し精度検証、目標達成見込み。

<p>(2.6) 都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サーマルレスポンス試験の結果から数値シミュレーションを実施し、熱交換器の設置間隔等の最適化及び土留壁の施工手法の設計検討結果から、導入コスト20%削減を確認する。</li> <li>・事務所ビルを想定した運用コスト削減シミュレーションを通じて地中熱一体型エアコンおよびポンプユニットの制御方法を確立。更に、開発した各試験機を用いて、冷暖房試験を実施し、データを取得・評価することで運用コスト20%削減を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中熱交換器設置工事の結果からコスト試算し、いくつかの施工方法で目標達成見込みを得た。今後のTRT調査と数値シミュレーションモデルの構築を通じて、最終評価を実施予定。</li> <li>・設計の進捗状況から、目標達成見込み。現状試作機設計段階であり、今後冷暖房負荷を想定した運用コスト削減シミュレーションやフィールドでの冷暖房試験を通じて最終評価を実施予定。</li> </ul>
<p>(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開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能ヒートポンプ、新構造地中熱交換器、削孔技術、運転制御システムを開発し設置、運用コスト20%削減。</li> <li>・地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測シミュレーションツールを開発</li> <li>・地中熱ポテンシャルデータベースを構築する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒートポンプ、新構造熱交換器、運転制御システムを試作完了。目標性能に近づいており、成果は達成できる。</li> <li>・地盤地層情報をデータベースして、地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールのweb利用版を試作して、おり、成果は達成できる。</li> </ul>
<p>(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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・帯水層蓄熱システムの設置コスト、及び運用コストを20%削減</li> <li>・半開放式地中熱利用システムにおいて、システムCOPの25%増加を達成</li> <li>・地中熱ポテンシャルマップにTRTデータ、オールコアデータを解析モデルに組み込んでマップの高精度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・井戸設置コスト約25%削減が見込まれており、目標達成見込み。</li> <li>・夏季冷熱注入、冬季温熱注入による温度回復を確認、解析モデルを利用した蓄熱効果を確認しており、目標達成見込み。</li> <li>・既存井戸利用したTRTとクローズドループTRTと同様の結果が得られており、今後マップ高度化に向けTRTデータを拡充していく予定。</li> </ul>
<p>(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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・戸建住宅向け初期設置コスト150万円/5kW</li> <li>・システム一次側及び二次側の運転制御技術確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削含む地中熱交換器設置費用の低減に係る開発が順調に進んでおり、コストダウン目標達成見込み。</li> </ul>
<p>(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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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、ポテンシャルマップの作成</li> </ul>	<p>ポテンシャル評価技術の元となる計算モデルの再現性、マップの信頼性評価技術確立の目的が立っており目標達成見込み。</p>
<p>(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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オープンループ型地中熱システムのためのポテンシャル評価技術開発。設置・運用コスト削減率に基づくポテンシャルマップ作成</li> <li>・還元井の逆洗技術と一体化した地下水熱交換ユニットの開発完了</li> <li>・打ち込み井戸、タンク式熱交換器、浸透ますを併用したオープンループ型地中熱システムの開発完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水温変動等のマッピングの内容に、実証運転試験のモニタリング結果を組み合わせることによりポテンシャルマップの作成が可能。</li> <li>・地下水熱交換ユニットの試作完了、タンク式熱交換器の製作開始。性能評価を行い課題抽出、改良を行うことで目標達成見込み。</li> </ul>

(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・帯水層の推定や事業性予測が可能な評価技術を確立</li> <li>・マルチレイヤー観測井システムの設計、構築、運用基準を確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存観測井を用いて帯水層評価のための試験開始、目標を達成見込み。</li> <li>・観測システム構築に必要な地下水流量測定フローメータの試作に着手し、目標を達成見込み。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流下液膜式熱交換器開発完了(3万円/kw以下)、熱原水ネットワーク配管、継手の開発(5万円/m以下)</li> <li>・熱原水ネットワーク導入効果実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱交換器、配管を試作し、性能試験をしており、課題抽出し、製作方法、材料の見直しを行い、目標を達成見込み。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・首都圏に建設される従来型データセンター比空調コスト50%削減</li> <li>・雪氷熱とサーバー排熱を利用した複合システムの設置、運用コスト10%低減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・雪氷熱システムの設計完了。性能検証、課題抽出中。システムを改良し、目標達成見込み。</li> <li>・複合システムの一部設計完了。コストダウン効果検証するとともに実用化に向けた事業性の検討を実施。</li> </ul>
(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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱音響冷凍機の活用により雪室容積を35m<sup>3</sup>に減容しても夏季の冷房として利用できることを確認し雪室導入コスト17.7%低減を目指す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計では雪室面積減容可能性を確認。</li> <li>・課題抽出、改良によりコスト目標達成見込み。</li> </ul>
(4.4) 太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・太陽熱集熱システムの省エネ性能算定が可能なシミュレーションツール及び、導入設備の設計ツール開発を完了する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証試験データの取得中。取得データの解析結果を用いてツール開発可能である。設計ツールの検討も開始しており達成見込み。</li> </ul>
(5.1) 食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・焼酎残渣からのタール生成抑制する超臨界水ガス化の基礎特性として、タール生成量を1%以下とする。</li> <li>・実証装置で焼酎残渣を用いて1ヶ月のノータールガス化運転を行い、実用化の見通しを得る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タール生成量1%以下を可能にする温度、圧力等の反応条件を確認済み。</li> <li>・実証装置設計は着実に進んでいる。</li> <li>・一定条件において事業採算性確保が可能であることを確認、低コスト化設計の取り組みが実現すれば目標達成見込み。</li> </ul>

## Ⅲ.2 個別テーマの成果の概要

### (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

##### 【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 12dB 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冬季での熱流量測定
- ・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」、「オシレータ周波数」、「データ記録」に関するアプリケーションの作動確認

表Ⅲ(1.1)-1 特許、論文、外部発表等

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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(1.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標[(平成28年度末)]	達成見通し
①掘削機の低騒音化技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・静的状態では、一部の低騒音化技術を適用することで12dBの騒音低減が可能であることを確認</li> <li>・低騒音化を図るためのヘッド部および消音装置を改良中。</li> <li>・熱流測定結果に基づいたエンジン部内の排気構造を改造中。</li> <li>・夏季での熱流量測定とシミュレーションを検討中。</li> </ul>	騒音値を6dB低減	性能検証、課題抽出中であり、最終目標に向け着実に研究開発を進めているので、順調に推移すれば成果は達成できる。
②掘削機の自動化技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。12種類のアプリケーションの開発と動作確認を終了。</li> <li>・モニタリングでのグラフィック機能を開発中。</li> </ul>	現状での5人体制(オペレータ1人、泥水管理1人、ロッド継ぎ足し等の作業3人)を3人体制とする。	性能検証、課題抽出中であり、最終目標に向け着実に研究開発を進めているので、順調に推移すれば成果は達成できる。また、弊社工場内での掘削制御データ収集実施予定。研究開発終了後、平成29年度以降に様々な地層での制御データを収集し、新型機完成を目指す。

## (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

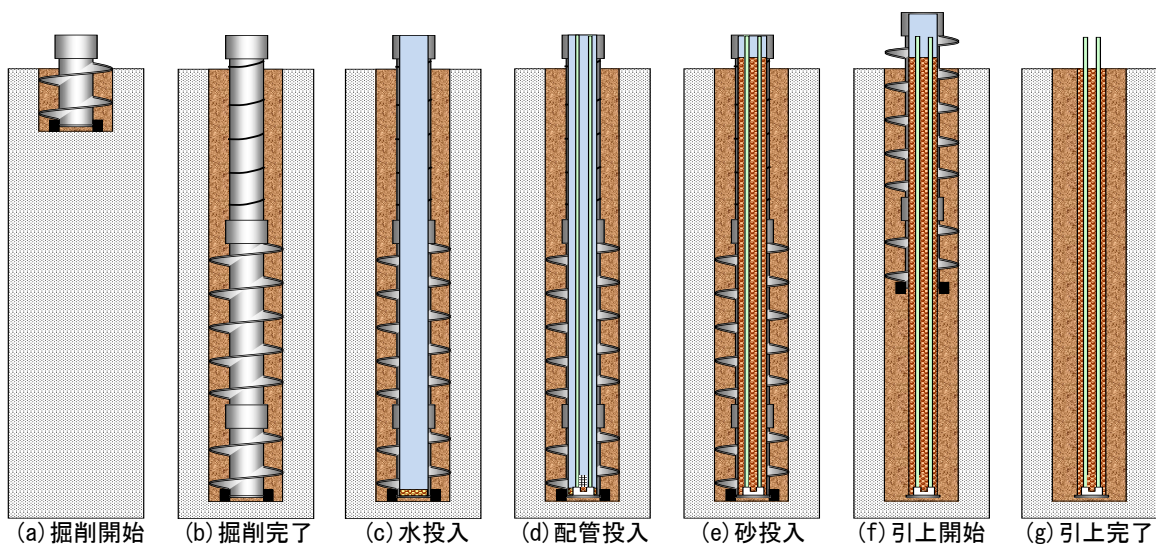
### 【成果概要】

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埋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、掘削排土量を羽根径掘削体積の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¥8000/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2m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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(1.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標(平成27年度末)	達成見通し
①継手構造、先端蓋構造の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>•FEM解析と載荷試験から構造を検討して30kNmの使用に耐えうる継手を開発した。</li> <li>•施工試験を実施、安定的に取り外し可能な先端蓋を開発した。</li> </ul>	<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>	目標達成
②施工方法確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>•施工試験を実施、施工速度は平均70.6m/日の結果を得る。</li> <li>•施工試験を実施、平均排土量29.6%の結果を得る。</li> <li>•施工試験結果を元に熱交換器埋設コストを試算し¥7200/mの結果を得る。</li> </ul>	<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¥8000/m以下</li> </ul>	目標達成
③熱交換器配置の最適化検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2m以上の配置間隔が望ましいことを確認した。</li> <li>•外気温の影響を受ける浅層部分が熱交換性能に与える影響をシミュレーション解析し、影響が小さいことを確認した</li> </ul>	<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>	目標達成



### (1.3)地中熱利用要素技術の開発

#### 【成果概要】

地中熱専用掘削機および周辺機器のロッドチェンジャー、Uチューブ挿入機を開発した。小型の浅部掘削機は、構想・概略設計が完了した。地中熱交換器の研究開発では、被覆銅管製水平スリンキー地中熱交換器を用いたフィールド試験や3種類の地中熱交換器のシミュレーション解析を行った。熱源機の研究開発では、汎用機を改造した装置を実験中である。

#### 【項目別成果】

##### ①地中熱専用掘削機及び周辺機器の開発

掘削機における回転数(80rpm、40rpm)とバイブレーション可変機構(2800bpm、2650bpm、2500bpm)については、オペレーターが操作レバーで調整可能である事を確認した。施工性の向上の為に、アウトリガーを装備し、旋回機構を採用した。操作性向上の為に、オペレーターの視界を考慮し、操作レバーの配置を行った。

ロッドチェンジャーについて、実機に搭載、165×96 - 3mの2重管ロッドの着脱動作の確認を行った。

Uチューブ挿入機について、想定される浮力、Uチューブ自重、充填ブライン重量を考慮し、80kgの重りを付加した動作確認を行った。Uチューブの滑りも見られず、各機構の動作は良好であった。現状3~4人で行っている作業は、Uチューブ挿入機を使用する事によって、数人でも可能な作業になり、安全で省人化につながる装置になった。

##### ②小型の浅部掘削機の開発

地中熱専用掘削機の成果を生かし、構想・概略設計を完了した。施工事業者と意見を交え、マシンの運送費用を削減する為に、ロッドチェンジャーの簡易・軽量化を行う事とした。

##### ③地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発

鉛直型熱交換器のフィールド実験装置を製作中であり、H28年度中にコスト削減効果を評価する。すでに実施済みの被覆銅管製水平スリンキー型地中熱交換器と比較検討し、性能および設置コストの検討を行い、それぞれの優位性を評価する。また、3種類の地中熱交換器のシミュレーション解析の結果から、システム伝熱性能および圧力損失がシステムに及ぼす影響を検討するとともに、それぞれの熱交換器における適切な運転条件が存在することを明らかにした。

##### ④熱源機の低コスト化の研究開発

液ポンプ内蔵システムの実験を行い、所定のデータを取得した。H28年度中にコスト削減効果を評価する。また、汎用の蒸気圧縮式空調機に地中熱交換システムを組み込んだハイブリッドシステムの装置を制作中である。

表Ⅲ(1.3)-1 特許、論文、外部発表等

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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(1.3)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①地中熱専用掘削機および周辺機器の開発	地中熱専用掘削機および周辺機器の開発が完了し、実証試験を行っている。	実証試験を完了、掘削工事費の30%削減を達成する。	現在までに所定の開発がなされ、掘削にかかる人員と時間の削減が可能になると判断できるので、達成可能と考える。
②小型の浅部掘削機の開発	掘削機を使用している施工事業者意見を交え、仕様を決定する。現在、機械の詳細検討を行っている。	実証試験を完了、掘削工事費の30%削減を達成する。	地中熱専用掘削機の開発に目途がついたので、小型化については現有技術で達成可能と考える。
③地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発	被覆銅管製水平スリンキー型地中熱交換器の評価を実験及びシミュレーションにより実施中であり、小口径二重管式地中熱交換器についてはシミュレーションモデルを開発中である。	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	水平スリンキー型は垂直Uチューブ型と同程度の性能を有することが明らかになったため、達成可能と考える。小口径二重管も所定の性能が期待できる。
④熱源機の低コスト化の研究開発	液ポンプ内蔵システムの実験を行い、所定データを取得した。汎用機にハイブリッド熱交換器を組み込んだシステム的设计を行い、装置を製作中である。	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。	汎用機利用ハイブリッドシステムの設計を終了、所定の成果が期待できるので、達成可能と考える。

## (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

### (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】

地下水循環型地中採熱システムの構築に際し、①熱交換槽の地下水流動に伴う熱伝導(移動)解析、②地中熱交換槽構成材料の研究開発として、熱交換槽のプレキャスト化を含む構成材料の開発、③地下水循環型地中採熱システムの研究開発として、地下水供給制御システムの開発を行った。これら解析・開発を実施した後、実証プラント(能力 20kW)の建設を行い、平成 28 年 7 月より夏期データの収集を開始した。

#### 【項目別成果】

##### ①地中採熱槽の地下水流動に伴う熱解析

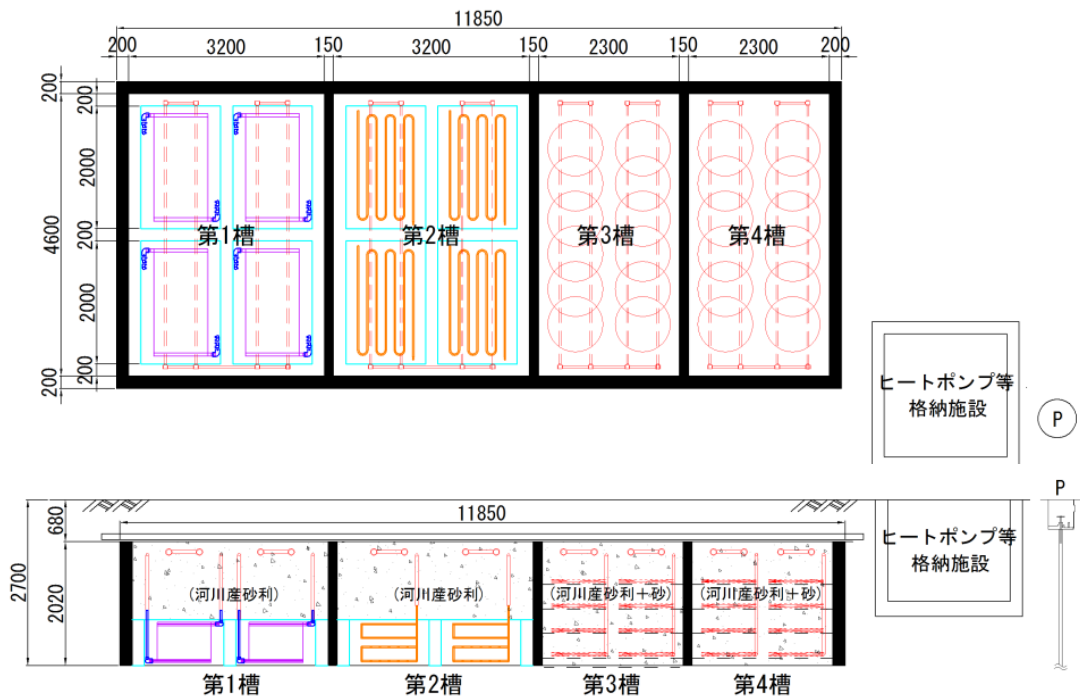
従来方式の水平ループに比べ、地下水浸透流による移流効果で、安定して高い採熱性能を発揮できる(熱枯れが発生しない)可能性が示された。

##### 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)

スリンキータイプの浸透性材料(河川産砂利+河川産砂)とポーラスコンクリートの透水係数を確認し、実証プラントに採用した。ポーラスコンクリート 2 次製品(採熱装置)に関する施工要領書(配合・製造作業標準)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(地下水供給制御システムの開発)

熱負荷に応じたヒートポンプ運転と連動し、井戸ポンプ運転を経済的に適切な能力で動かす地下水供給制御システムを開発し、これを採用した実証プラントにおいて、平成28年7月より本格的なデータを収集している。



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	5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 28 年 7 月 31 日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①地中採熱槽の地下水流動に伴う熱解析	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、安定して高い採熱性能を発揮できる(熱枯れが発生しない)可能性が示された。	地下水散水量や熱媒体の循環方向等の条件の違いによるシステム性能を、実証試験によって定量的に評価する。	各条件で実証試験を行い、システム性能(採熱量やCOP)の定量的評価が可能と考える。
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)	スリンキータイプの浸透性材料(河川産砂利+河川産砂)とポラスコンクリートの透水係数を確認し、実証プラントに採用。ポラスコンクリート2次製品(採熱装置)に関する施工要領書を作成。	採熱槽構成材料の透水係数と空隙率の相違による、採熱量への影響を実証試験により確認・評価する。	実証試験データより、技術基準は作成可能である
③地下水循環型地中採熱システムの研究開発	1) 熱負荷に応じたヒートポンプ運転と連動し、井戸ポンプ運転を経済的に適切な能力で動かす地下水供給制御システムを開発し、これを採用した実証プラントにおいて、夏期のデータを収集している。 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。(今後実施予定) 3) 持続的に地下水涵養能力及び採熱性能が担保できることを示す。(今後実施予定) 4) 地下水を生活に使用している地域においても運転可能なシステムを開発する。(今後実施予定)	1) スリンキータイプの採熱目標量を 50W/m 以上。G-カーペットおよび SUS 管による採熱装置1回路当たりの採熱目標量を 1.5kW 以上。 2) 採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。 3) 浸透性材料、およびポ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採熱効率の低下を検証する。 4) 採熱側循環液に真水を用い、冬期間の凍結を防止する制御システムを開発。	1) 27年2月～3月の試運転調整時のデータからは、採熱目標量を上回ると考える。  2) 実証試験を行う事で、揚水量の低減は可能と考える。  3) 平成 30 年度の実証試験によるデータ収集後、コアボーリング等を行う事で、劣化の進行状況を把握できると考える。  4) 制御システムを調整しながら実証試験を行うことで、凍結防止は可能と考える。

## (2.2)共生の大地への地中蓄熱技術の開発

### 【成果概要】

ビルや住宅の基礎杭の特性を活かし集熱性能と信頼性を向上させ設置費を削減した。各施工杭での熱負荷実験と数値シミュレーションから性能を検証した。ボーリング工法との価格性能比で熱源杭設置費の58%~77%が削減された。住宅杭との兼用と空気熱との併用で熱源設置費の縮減により、従来地中熱床暖房システムに比べ、16年間ライフサイクル費の35%が削減された。鉄分が多く未利用となっている浅い地下水を簡易な酸素遮断で4カ所冷暖房循環利用が継続された。

### 【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

##### a)ケイ酸ソーダによるPHC杭のCa<sup>2+</sup>遮断・漏水防止

杭底閉塞PHC杭貯水直接循環方式の炭酸カルシウム析出対策ではケイ酸ソーダ0.4%添加によるC-S-H結晶形成で、Ca<sup>2+</sup>濃度は冷凍空調機の水質基準の25ppm以下にできた。また、0.2mmスリットは目詰まりで漏水が止まった。上杭と下杭の接合に水膨張ゴムを用いて漏れを無くした。更に、実設備で管路を大気密閉化し、地下水水位まで杭内水位を下げ漏水をなくし、二酸化炭素や酸素の浸透を減らし炭酸カルシウム析出と腐食の抑制とした。ボーリング工法との価格性能比で69%(目標60%)削減と試算された。

##### b)杭の温度応力の解析

計算ソフトを開発し、試算例では許容応力の最大約8%に至った。PHC杭に900ton載荷し、杭を約40℃に上げ、歪ゲージなどを計測した。この実測データで計算ソフトを検証する。

##### c)PHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発

4組UチューブをPHC杭使用の螺旋鉄筋に固定し、ボアホールに比べ十倍となるUターン部を鋼製鞘管で接合なしとして漏水リスクもコストも削減した試験施工を2回実施し、信頼性の高い設置法を確立した。4~6組Uチューブの数値シミュレーションソフトを開発し、実験杭の性能を検証した。このソフトでボアホール工法との価格性能比を求めると、杭単体で削減目標50%に対して58%の削減達成となった。

#### 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

##### a)地盤改良機でのWUチューブ攪拌・圧入工法の開発

数値シミュレーションソフトを実測で検証し、そのソフトでボアホール工法との価格性能比に対して61%削減(目標65%)を達成。冷暖房システム設置費で38%削減(目標20%)と見積もられた。

##### b)戸建て住宅H型コンクリート杭でのWUチューブ設置

H型コンクリート杭の凹みにUチューブを外付けする工法を開発し、その性能を検証した。杭単体でボアホール価格性能比71%(目標60%)の削減で、冷暖房システム設置費を43%(目標20%)削減とした。

#### ③地中蓄熱システムの開発

##### 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

床暖房実証施設では、②のH型コンクリート杭と空気熱併用での熱源コスト削減で、従来ボーリング法・地中熱床暖房に比べて、維持費は削減されなかったが、システム設置費で46%削減を得た。維持費の削減はできなかったが、16年間ライフサイクルコストで35%削減と見込まれる。杭本数を増やした実験、給湯への冷房温廃熱利用で維持費削減を今後行う。

##### b)地中熱ヒートポンプ・ソーラー給湯システム

融雪用放熱管で太陽熱集熱した約40℃の温水を深さ7mの帯水層に蓄熱する実験を平成28年7月から実施した。

##### c)地中蓄熱時の熱媒体循環量削減で節電

融雪面積4840m<sup>2</sup>の夏の太陽熱蓄熱運転を間欠にしたが、杭内貯水を12月初めに30℃以上で蓄熱は変わらず蓄熱の電気は4割節電と推定された。

#### ④地下水循環利用技術の開発

##### 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

浅い帯水層であれば井戸工事費は安価になる。しかし、福井平野の浅い地下水は鉄分が多く井戸や熱交換器が目詰まりし利用できなかった。井戸内の揚水管を断熱材で覆ってケーシングとの隙間を無くす等で地下水を酸素遮断した地下水循環の冷暖房を3所で継続した。2カ所はメンテ無しで2年間運転できた。1カ所は3ヶ月経過までは管路内のサイトガラスは透明だったが、井戸に融雪水(酸素)が入った途端に酸化鉄が熱交換器等に厚く付着した。

b)地中熱ヒートポンプ・ソーラー給湯システム

建物設計時に地下水可能揚水量を得るために、ビルの支持力深さまでの帯水層を対象に、その支持力調査(標準貫入試験)孔を使って小さな井戸を作り、限界揚水量を求めることができた。調査費は目標の約40万円となった。

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	1件	5件	3件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	2件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発	貯水方式ではボーリング工法比の杭単体で69%削減(目標60%)、杭内側Uチューブ設置法では58%削減(目標50%)。	システム設置費20%削減 杭への熱応力チェック。	大幅達成。
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	地盤改良とH杭の杭単体において、ボアホール価格性能比で61%と71%の削減。 後者では冷暖房システム設置費38、43%を達成。	ボアホール価格性能比で地盤改良とH杭の杭単体で目標は65%、55%、 冷暖房システムで設置費20%の削減。	達成見通し。
③地中蓄熱システムの開発	住宅H型杭と空気熱併用の熱源コスト削減で、床暖房実証施設でシステム設置費46%削減。維持費は変わらない。16年間ライフサイクルコストで35%削減。	維持費20%削減。	達成見通し。 杭本数を増やす、給湯への冷房温廃熱利用などで維持費削減を行う。
④地下水循環利用技術の開発	鉄分や遊離炭酸が基準値の数倍の浅い地下水を4カ所で熱利用しながら安価に循環利用を継続中。	悪水での安定した地下水循環利用。	箇所を増やす都度のトラブルを逐一安価に工夫して解消。その後安定しており、達成見通し。

## (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】

開発は実用的技術開発と先導的技術開発の2本立てで実施し、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、機器を試作し、性能試験を行った。

地中熱交換器のシステム性能予測モデルのプロトタイプを開発し、水熱源ヒートポンプを含む全体システムの性能予測を可能とした。

### 【項目別成果】

#### (1)水ループシステム構築技術の開発

実用的技術として、後述(6)に記載のシステム性能予測モデルを用い、太陽熱と地中熱を併用する場合のシステム制御方法及び年間性能について基礎的な検討を実施した。

先導的技術として、清水循環の塩化ビニル配管を用いることでコストを削減し、分散型DCポンプを用いることで熱搬送動力を削減する水ループシステムの開発を進めた。水ループシステムの最適運用設計データを得るために配管モデル実験装置を構築し、様々な制御方式を基にして、流量、ポンプ動力、圧力損失などの基礎データ計測を行った。

#### (2)天空熱源(スカイソース)ヒートポンプ(SSHP)の開発

実用的技術として、DCインバータスクロール圧縮機を用いたSSHPのチラーユニット部の試作、SSHP単体性能試験を行った。また、HF0冷媒を利用するターボ圧縮機及び熱交換器単体の設計、試作を完了した。SSHPシステムの設計を進め、年間性能に関する基礎的な検討を実施した。

先導的技術として、太陽集熱、夜間放射放熱、大気集放熱機能を有するスカイソースパネル、ガラス封止太陽電池モジュール、冷媒圧縮機ユニットを試作した。

#### (3)高密度地中熱交換器の開発

実用的技術として、蓄熱型地中熱交換器の地中埋設試験施工を行い、施工手順のノウハウやコストデータを収集した。熱性能実験を行い、基礎的な性能を把握し、同実験データを用いてシステム同定を行い、制御技術の高度化を図るための基礎的な知見を得た。施工試験、熱性能実験の結果から、コスト試算を実施し、従来のボアホール方式に対して、熱量単価20%以上の低コスト化が実現できることを確認した。

先導的技術として、二重らせん形状地中熱交換器を考案し、製作用の専用治具を製作した。この地中熱交換器について熱解析を行い、非定常熱伝導特性を検討した。

#### (4)空調用水熱源ヒートポンプの開発

実用的技術として、DCインバータ圧縮機、DCインバータポンプを内蔵した空調用水熱源ヒートポンプの開発を行い、試作機を製作して性能試験を行った。

先導的技術として、全館空調を想定したダクト式の空調用水熱源ヒートポンプ開発を進めた。

#### (5)給湯用水熱源ヒートポンプの開発

実用的技術として、DCインバータ圧縮機、DCインバータポンプを内蔵し、冷房排熱給湯機能を搭載した給湯用水熱源ヒートポンプの開発を行い、試作機を製作して性能試験を行った。

先導的技術として、貯湯式の水熱源CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯試験機を製作し、成績係数5.62を得た。

#### (6)運転性能予測手法の開発

SSHP及び地中熱交換器のシステム性能予測モデルのプロトタイプを開発し、水熱源ヒートポンプを含む全体システムの性能予測を可能とした。

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	0件	5件	7件	1件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	7件	3件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

## [成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.3)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①水ループシステム構築技術の開発	システム性能予測モデルを用い、太陽熱と地中熱を併用する場合のシステム制御方法を構築。年間性能について基礎的検討を実施。	要素技術を統合した全体システムにより、導入コスト18%削減、運用コスト20%削減を実証。	要素技術開発を着実に進めているので、順調に推移すれば目標は達成できる。
②天空熱源ヒートポンプ(SSHP)の開発	スクロール圧縮機を用いたSSHPを試作、単体性能試験を実施。新冷媒ターボ圧縮機及び熱交換器の設計、試作を完了。SSHPの年間性能に関する基礎的検討を実施	熱量単価コスト40%削減を実証。	要素技術開発を着実に進めているので、順調に推移すれば目標は達成できる。
③高密度地中熱交換器の開発	蓄熱型地中熱交換器の地中埋設試験を行い、施工法とコストデータを収集、基礎的熱性能を把握。従来ボアホール方式に対して、熱量単価20%以上のコスト削減を試算。	施工コスト20%削減を実証。	要素技術開発を着実に進めているので、順調に推移すれば目標は達成できる。
④空調用水熱源ヒートポンプの開発	DCインバータ圧縮機、DCインバータポンプを内蔵した空調用水熱源ヒートポンプの試作機を開発、改良を実施。	暖房COP7 冷房COP10	要素技術開発を着実に進めているので、順調に推移すれば目標は達成できる。
⑤給湯用水熱源ヒートポンプの開発	DCインバータ圧縮機、DCインバータポンプを内蔵し、冷房排熱給湯機能を搭載した給湯用水熱源ヒートポンプの開発を行い試作機の改良を実施。	施工コスト10%削減を実証。	要素技術開発を着実に進めているので、順調に推移すれば目標は達成できる。
⑥運転性能予測手法の研究開発	プロトタイプを完成。今後は実証データと比較し精度向上を図る段階。	性能予測モデル及び制御アルゴリズムの構築	要素技術開発を着実に進めているので、順調に推移すれば目標は達成できる。



## (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

### 【成果概要】

シート状熱交換器を使用した、クローズドシステムによる流水熱、地下水流動地盤内設置型熱交換器を開発した。実証試験を実施(設置コスト低減)、水冷ビルマルの低負荷率負荷制御法・不凍液不使用ヒートポンプ運転制御法を開発し、実証試験を実施中である。浅層地下水熱、農業用水熱の利用適地判断に活用できるマップを作成した。

### 【項目別成果】

#### (1)流水熱交換器の開発・実証試験

##### ①流水路設置熱交換器の開発・性能評価

用水路の設計基準以下の低流速域でも実用能力 5~6kW/枚の熱交換能力を確認している。

##### ②浅層地下水熱交換器(フレコン型)の開発・性能評価

地下水位が深さ 1m 付近にある地中の深さ 1.5~2.5m に浅層地下水熱交換器を設置し、熱応答試験によって得られた熱交換特性に基づき、事務所環境での利用で実用能力 2~3kW/個(フレコン)の熱交換能力を有すると評価した。

##### ③数値モデル化による性能評価技術開発

数値モデル化による冷暖房負荷に対する性能を評価。

##### ④熱交換器の用水路、浅層地下水内実証試験

昭島市の農業用水を熱源とするヒートポンプシステムを設置、ハウス空調を開始した。黒部扇状地浅層地下水熱による事務所空調を開始。設置コストの削減を確認している。

#### (2)ヒートポンプの運用最適化手法・不凍液不使用ヒートポンプ制御手法の開発(運用コスト低減)

##### ①水冷ビル用マルチエアコンの低負荷率負荷制御法の開発

既存の地中熱ビルマルで負荷制御実施。10%以上の性能改善を検証中である。

##### ②不凍液不使用 HP 運転制御法の開発

YKK(株)黒部事業所と昭島市ハウスに不凍液不使用ヒートポンプ空調システムを設置し、開発した不凍液不使用 HP 運転制御法の性能を検証中である。

#### (3)流水熱利用熱交換器の導入適地マッピング技術開発

##### ①水理地質調査に基づく資源量評価

開発システムの導入適地判断に活用できるマップ作成済。調査を継続し、精度向上を図る。

##### ②ポテンシャル評価手法およびマッピング技術の開発

熱源別のポテンシャル評価手法案を提案し、精度検証を進めている。農業施設管理者ヒアリング等により用水路利用の可能性を許認可等も含めて多角的に検討中である。

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	1件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	8件	0件	2件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	0件	2件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.4)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①流水熱交換器の開発・実証試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農業用水路向け熱交換器について、低流速域でも熱交換能力5~6kW/枚を確認した。</li> <li>・浅層地下水向け熱交換器について、熱交換能力約3kW/フレコンに相当する結果を得るとともに、設置コストを20%低減できる見込みを得た。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農業用水および浅層地下水を熱源とする熱交換器を開発し、設置方法の確立、開発仕様の明確化をした上で、設置コストを従来工法と比較して20%以上削減する。</li> <li>・上記以外の排水槽や海水等の流水熱源へ適用し、同様に設置コストを削減する。</li> </ul>	中間目標を達成できる見込みであるので、流水熱交換器の各種未利用水熱源への設置例増大とその設計指針の実証・確認により、最終目標に向けて着実に研究開発を進めている。
②ヒートポンプの運用最適化手法および不凍液不使用システム制御手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の地中熱ビルマルで負荷制御実施検証中。</li> <li>・黒部扇状地と昭島市ハウスに不凍液不使用HPを設置し、制御・性能検証中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・不凍液不使用HPの適用範囲を明確にする。</li> </ul>	中間目標である、実用的な制御手法の開発ができる見込みである。適用可能地域の選定を行った上で、普及できるようにする。
③流水熱利用熱交換器の導入適地マッピング技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>①開発システムの導入適地判断に活用できるマップ作成済。調査を継続し、精度向上を図る。</li> <li>②熱源別のポテンシャル評価手法案を提案。精度検証をすすめている。</li> </ul>	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。	目標は達成できる見込みである。実設計への適用を想定して、熱利用事業者や設計業者等のユーザーにとって有益となる情報提供システムを開発予定。

## (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】

既往地中熱ヒートポンプ熱源機器として、熱源機器のラインナップ調査、代表機器の性能特性調査を実施した。既往地中熱交換器として、地中熱交換器のラインナップ調査、代表機器の性能特性調査を実施した。

### 【項目別成果】

#### 1. 既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査

##### 1.1 既往の熱源機器のラインナップ調査

既往の熱源機器のラインナップ調査では、9社21種類の機器のラインナップと能力及び定格COP、定格冷温水流量を調査した。

地中熱ヒートポンプを製造・販売しているメーカーは、ゼネラルヒートポンプ工業、サンポット、日本ピーマック、日本スティーベル、三菱電機、ディンプレックスジャパン、JFEエンジニアリング、日本熱源システム、コロナ等である。

##### 1.2 主要な既往の熱源機器の性能特性調査

主要な既往の熱源機器の部分負荷時の冷却・加熱能力とCOP等の性能特性調査を行った。ゼネラルヒートポンプ工業株式会社、サンポット株式会社、日本スティーベル株式会社、三菱電機株式会社、日本ピーマック株式会社などから熱源機器の性能特性の情報を収集した。

#### 2. 既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査

##### 2.1 既往の地中熱交換器のラインナップ調査

既往の地中熱交換器のラインナップ調査では、6社22機種の情報を収集した。

地中熱交換器を製造・販売しているメーカーは、ゼネラルヒートポンプ工業株式会社、株式会社イノアック住環境、ダイカポリマー株式会社、積水化学工業株式会社、株式会社日伸テクノなどである。

##### 2.2 主要な既往の地中熱交換器の性能特性調査

既往の地中熱交換器について、メーカー別の主要機器の代表寸法、重量、保有水量等を調査した。ゼネラルヒートポンプ工業株式会社、イノアック住環境株式会社、ダイカポリマー株式会社、三井化学産資株式会社、積水化学工業株式会社などから性能特性の情報を収集した。多くのメーカーがPE100を使用したUチューブを採用していることが分かった。

#### 3. LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発

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を作成中である。

#### 4. LCEM地中熱物性取得モジュールの開発

LCEM用出力フォーマットの基本設計を行った。簡易地盤物性データベースからの出力と、NEDO別プロジェクトで開発中の地盤物性推定ツールの推定結果を活用する出力の2種類のモジュールを開発する。

簡易地盤物性データベースは、平面0.1~1kmグリッド、深度1m毎の地中熱物性値データベースを作成し、検討地点の緯度・経度の入力により、熱容量・有効熱伝導率・地下水位を推定し、LCEM対応形式で出力するモジュールとする。テスト地域の内、石狩平野(札幌)で、簡易地盤物性データベースを作成し、精度確認を実施中である。本出力結果は、地中熱交換器計算モジュールの入力データとして活用する。

#### 5. LCEM地中熱 熱交換器 熱交換計算手法の構築

LCEMに適用可能な、代表的な1種類の地中熱交換器(シングルチューブ方式)の計算アルゴリズムの構築を行っている。複数の熱交換器の配置を任意に設定し、複数の熱交換器の相互の影響を考慮した熱交換量計算手法を構築している。計算アルゴリズムは地中熱交換器熱交換計算モジュールに内蔵予定である。

6. LCEM地中熱 熱交換器モジュールの開発

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。代表的な1種類の熱交換器として、ボアホール型・ダブルUチューブを選定し、地中熱交換器の計算モジュールを作成している。代表的なモジュールを完成させて基本モジュールとし、今後は、他種モジュールへの展開に活用する。

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が完了次第、空冷ヒートポンプを組み合わせたシステムを構築予定である。

8. 既往ツールとの比較

既往ツール(Ground Club、省エネ基準 Web プログラム)の情報収集を実施中である。

9. 実測値との比較

実測結果(2件)の計測データ収集を完了し、データ分析中である。また、実測建物の地中熱HPシステムの性能特性を収集した。今後は、収集した性能特性を活用した熱源モジュールを構築する。

10. ユーザーインターフェイスの開発(平成 29 年度以降実施予定)

11. 既往設計手法との比較

既往設計手法を実施するモデル建物の情報収集中である。

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	0 件	0 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.5)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
① 既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査	主要な熱源機器のラインナップ調査を完了し、機器特性の情報収集中	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。	メーカーの協力を得て、主要な熱源機器の性能特性は把握できる見込み
② 既往地中熱交換器調査	主要な地中熱交換器のラインナップ調査を完了し、機器特性の情報収集中	主要な全地中熱交換器の性能特性の調査を実施。	メーカーの協力を得て、主要な地中熱交換器の性能特性は把握できる見込み
③ LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発	熱源モジュールの基本モジュールを作成中。完了後、性能特性が入手できた機器のチューニング実施	主要な全熱源機器の熱源モジュールを作成	メーカーから性能特性を入手できる熱源機器のモジュール作成は完了する見込み
④ LCEM用 地中熱物性取得モジュールの開発	モジュールの基本設計を完了し、プログラムを作成中	全国主要平野(仙台、関東、濃尾、福岡)のモジュールを作成	当初の予定とおり、目標を達成できる見込み
⑤ LCEM地中熱熱交換器熱交換計算手法の構築	LCEM用のプログラム仕様検討中	代表的な4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	当初の予定とおり、目標を達成できる見込み
⑥ LCEM地中熱熱交換器モジュールの開発	代表とする一種類の熱交換器モジュールを開発中	全熱交換器方式のモジュール作成 モジュールの動作内容確認	当初の予定とおり進んでおり、達成できる見込み
⑦ 空調熱源トータルシステムの開発	LCEM用モジュール作成中	主要な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、ターボ冷凍機を組み合わせたシステム構築が可能ツール作成	当初の予定とおり、目標を達成できる見込み
⑧ 既往ツールとの比較	既往ツールの情報収集中	主要な地中熱ヒートポンプモジュール(4機種)、3地域程度で、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	当初の予定とおり、目標を達成できる見込み。 既往ツールの精度を確認する必要がある。
⑨ 実測値との比較	実測結果の収集中	実測値(2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	当初の予定とおり、目標を達成できる見込み
⑩ ユーザーインターフェイスの開発		簡易に操作できるユーザーインターフェイスの構築	当初の予定とおり、目標を達成できる見込み
⑪ 既往設計手法との比較	既往設計手法を実施するモデル建物の情報収集中	2建物について、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	当初の予定とおり、目標を達成できる見込み

## (2.6)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】

施工手法、熱交換器の配置や設置間隔等について試験を行うため、全6パターンの試験用熱交換器を土留壁方式で埋設した試験フィールドに構築した。地中熱一体型エアコンとポンプユニットに関して設計業務を開始した。

### 【項目別成果】

#### ①土留壁方式の開発

施工手法、熱交換器の配置や設置間隔等について試験を行うため、全6パターンの試験用熱交換器を土留壁方式で埋設した試験フィールドに構築した。TRT装置を用いた各熱交換器の性能試験を行い、本試験施工における改良事項への対策や横引き配管手法の開発を通じて、施工手法を検討する。

#### ②地中熱一体型エアコンの改良

設計業務を開始し、プレート型熱交換器等の選定作業を進めている。今後、設計作業が本格化し、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を進める。

#### ③ポンプユニットの開発

設計業務を開始し、構成要素機器等の選定を進めている。今後、設計作業が本格化し、ポンプユニット試験機試験機の製作および試運転を進める。

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	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

### [成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.6)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①土留壁方式の開発	全6パターンの土留壁方式のみ構築済み。11月以降にはTRTへと移行できる見込み。	導入コスト 20%削減	地中熱交換器設置工事の結果からコスト試算をしたところ、いくつかの施工方法で目標達成の見込みを得た。今後、TRTによる地中熱交換量調査と数値シミュレーションモデルの構築を通じて最終評価を実施予定である。
②地中熱一体型エアコンの改良	設計業務を開始し、プレート型熱交換器等の選定作業中。	運用コスト 20%削減	機器設計の進捗状況から仕様を確認したところ、目標達成の見込みを得た。今後、冷暖房負荷を想定した運用コスト削減シミュレーションやフィールドでの冷暖房試験を通じて最終評価予定である。
③ポンプユニットの開発	設計業務を開始し、各構成要素機器等の選定作業中。		機器設計の進捗状況から仕様を確認し、目標達成の見込みを得た。今後、冷暖房負荷を想定した運用コスト削減シミュレーションやフィールドでの冷暖房試験を通じて最終評価予定である。

## (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

### 【成果概要】

地中熱交換器の削孔機・工法開発において、バイブロヘッド設計・製作、スパイラルロッド製作およびドリルロッド自動脱着装置の開発方針検討を行った。地中熱交換器の開発について、高効率扁平パイプを試作した。ヒートポンプ開発において、60kW級冷暖房ヒートポンプ、30kW級給湯専用ヒートポンプの試作機、連結型ヒートポンプシステムの簡易コントローラを開発した。産総研の深井戸情報から任意点の地質情報を推定するアルゴリズムを開発した。Web利用可能な設計・性能予測ツール開発において、地層地盤データベースより地盤データを取得できるプロトタイプを作製した。

### 【項目別成果】

#### ①低コスト化に寄与する地中熱交換器の削孔機・工法の開発および高効率垂直地中熱交換器の開発

##### 1)地中熱交換器の削孔機・工法の開発

「周波数可変のバイブロヘッドの設計・製作」、「スパイラルロッド模型による排土率の相対比較の実施と羽根付ロッドの製作」および「ドリルロッド自動脱着装置の現状調査および開発方針の検討」を行った。

バイブロヘッドは、高効率で経済性を高めることを目標に、従来の高振動ヘッドよりも低い振動数で高い起振力を発生する領域に注目して製作を行った。試作機について、同一の地盤条件と考えられる地点でボアホール削孔試験を行い、削孔に関する諸値を測定した。その結果、試作機は、同一地点で試験した従来機と比較して、掘削時間が半減し、掘削速度が向上することを確認した。

スパイラルロッドは、模型による排土率の相対比較実験を行い、掘削中の排土率とフラッシング時の排土率の確認を行い、総合的な性能向上を検討した。その結果、通常のロッドと比較しロッド軸方向に並行な板を1枚取り付けたロッドは、フラッシング時で数%程度排土時間が短縮しており、掘削時においてはほぼ差のない結果となった。この結果を踏まえて、ロッド軸に平行な板を1枚取り付けた羽根付ロッドを製作し、フィールドによる実証試験を実施した。

##### 2)高効率垂直地中熱交換器の開発

高効率扁平パイプを試作し、性能評価を行った。また、扁平パイプ用の先端Uヘッドの製品設計し、金型製作、成形試作、性能評価を行った。

それらの試作した扁平パイプと先端Uヘッドを用いて扁平Uチューブを製作し、砂礫層が主である地点で掘削したボアホールへの挿入検証を行った。それにより目標としたボアホール径に扁平Uチューブを問題無く、挿入出来ることを確認した。

Y字ブランチEF継手は金型を修正し、試作、性能評価を行った。

##### 3)地中熱交換器の熱応答試験及び熱流動 FEM 解析

試掘試験で掘削後にUチューブを挿入し、熱応答試験を実施した。本試験では光ファイバー温度計を用いてUチューブ内熱媒体の温度変化を測定することで、地層毎の採熱量変化を測定した。その結果、扁平Uチューブを設置した地中熱交換器の熱抵抗は、従来のシングルUチューブの熱抵抗よりも低く、より高い採熱効果が見込めることを確認した。

#### 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

##### 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

ヒートポンプの性能向上のためにガスインジェクションを有するヒートポンプのサイクルシミュレーターを構築した。実機を用いた性能試験結果との比較検討により熱出力、消費電力のシミュレーション結果は実測データの±10%以内になっており、シミュレーションの妥当性を確認した。

また、冷暖房ヒートポンプに給湯用熱交換器を圧縮機吐出側に配置した給湯兼用の冷暖房給湯ヒートポンプを検討した。給湯用熱交換器は圧縮機の吐出側に設置して暖房時、冷房時とも給湯用温水を発生させる方式として、キャピラリーチューブカシメ方式の熱交換器を採用する。給湯

時の予測性能は、暖房時に暖房出力 22.0kW、給湯出力 4.6kW、COP4.0、冷房時に冷房出力 26.9kW、給湯出力 6.0kW、COP4.4 となる。

## 2)ヒートポンプ本体機器設計・開発品試作・性能評価

多熱源対応連結型多機能ヒートポンプについて、現行の 30kW 級インバータ制御機と新規に開発した 30kW 級ノンインバータ制御機を 1つのパッケージに収納した 60kW 級冷暖房ヒートポンプの試作機を開発した。

また、給湯専用ヒートポンプの試作機を開発した。試作機では、26 年度に試作したブレードボード機の製作工程や試験データを検討して、次の改良を加えた。

- a. 圧縮機をダイキン製スクロール型圧縮機の新型に変更
- b. 給湯用熱交換器のキャピラリーチューブの厚さを 0.5mm から 0.6mm に変更
- c. 給湯用熱交換器の 4つのコイル配置を 2段積層構造に変更

## 3)多機能・連結型制御システムの開発

連結型制御システムについて、地中温度予測を省略し、ヒートポンプと冷却塔、太陽熱などの補助熱源からなるヒートポンプシステムの簡易コントローラを開発した。

## ④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

### 1)ハイブリッド地中熱ヒートポンプシステム制御ユニットの開発

②③でも述べた通り、ヒートポンプと冷却塔、太陽熱などの補助熱源からなるハイブリッド地中熱ヒートポンプシステムの簡易コントローラを開発した。

### 2)地中熱利用熱回収ヒートポンプ最適制御システムの開発

26 年度に構築したフィールド試験装置を用いて、地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの導入による、地中熱交換器削減効果についての検討を行った。フィールド試験において暖冷房交互運転と暖房単独運転を実施し、試験より得られる単位採放熱係数  $q'$  を比較することで、間接熱回収効果(短期蓄熱効果)の定量化を行った。暖冷房交互運転の  $q'$  は暖房単独運転と比較して倍程度大きく、地中熱交換器長さ半分程度に削減できる可能性があることを明らかにした。

また、最適制御システムを構成する PLC および PC の運転制御システムを構築し、フィールド試験装置を用いて、これらの制御動作を検証する試験や、ソフトウェアの制御パラメーターの計算結果を検証する試験を開始した。

上述した間接熱回収効果と、温熱供給を行うヒートポンプと冷熱供給を行うヒートポンプを同時運転することによる直接熱回収効果を最大限に活用する最適設計手法を開発した。

## 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

### 1)地盤地層データベースおよび地下水・地盤熱特性データベースの構築

産総研「いどじびき」の深井戸情報から任意点の地質情報をクリギング推定するアルゴリズムを開発した。点推定をグリッドで行うことで三次元地盤地層データベースとし、任意地点の柱状図を出力できる。カテゴリ毎の熱物性を設定することで、地層全体の平均値を計算し、Web Ground Club での計算条件に利用する。地下水面標高は越谷ほかのモデルをデータベースに入力した。地温については深度の線形モデルとして、不易層の温度と深度、地温勾配を既往文献からクリギング推定で全国マップに変換し、データベースに取り込んだ。

### 2)Web ブラウザで利用可能な設計・性能予測ツールの開発

設計・性能予測ツール単層版の実用化に向け、インターネット上のサイト(Web Ground Club)を改良した。複層地盤組み込みに向け、地層地盤データベースより地盤データを取得できるプロトタイプを作製した。

### 3)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

地中熱交換器入力インターフェースを改良し、ダブルUチューブ、及び扁平Uチューブを用いた地中熱交換器と地盤の連成計算を可能とした。地中熱交換器と地盤の連成計算を行うにあた



り、地中熱交換器周辺の自然対流を考慮する必要があるため、自然対流を考慮した熱流動解析の検証を実施した。地下水流速による熱流動を考慮するため、地中熱交換器と地盤の連成計算において地下水流速の違いによる温度分布の比較検証を実施した。ダブルUチューブを用いた地中熱交換器を考慮するため、連成計算モジュールの改良及び検証を実施した。

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	10件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	2件	0件	27件	0件	2件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件	1件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(2.7)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
低コスト化に寄与する工法の開発	・20箇所程度の施工試験を実施し収集データによる性能検討中。	・削孔速度の向上とバイブドリルヘッド起振部部品及びツールズ寿命を延ばす事等によりボアホール掘削コストの10%削減を目標とする。	・性能検証、課題抽出中。最終目標に向け着実に研究開発を進めているので、達成できる。
バイブロヘッドの開発	・フィールド試験において、周波数、起振力の関係に着目し、50%程度の掘削時間削減の結果を得た。	・フィールド試験の結果より、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、掘削コストを10%削減する。	・耐久性、排土工程とのバランス、周波数可変機能の面で課題抽出中。着実に研究開発を進めているので、最終目標達成できる。
スクリー付きインナーロッドの開発	・フィールド試験終了、排土データ集計中 二重管工法により清水で掘削。資材費、処理費用が削減できた。	・フィールド試験の結果より、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、排土工程にかかるコストを10%削減する。	・排土終了を定量化する方法を検討中。着実に研究開発を進めているので、最終目標達成できる。
ロッド脱着のオートメーション化	・試作機構想検討終了、製作中。	・フィールド試験の結果より、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、ロッド脱着工程にかかるコストを10%削減する。	・試作機の製作を行い、フィールド試験により評価する。着実に研究開発を進めているので、最終目標達成できる。
扁平Uチューブ	・扁平パイプ、扁平先端U継手の成型技術確立。 扁平パイプ、扁平先端U継手の融着設備完成。	・扁平Uチューブ(シングル、ダブル)を実用化し、事業検討に着手する。	・性能検証、課題抽出中であり、最終目標に向け着実に研究開発を進めており、成果は達成できる。
変換EF継手	・製品設計中	・変換EF継手を実用化し、事業検討に着手する。	最終目標に向け着実に研究開発を進めており、成果は達成できる。
Y字形状ブランチEF継手	・試作を製作し、施工/性能の評価中。	Y字形状ブランチ変換EF継手を実用化し、事業検討に着手する。	着実に研究開発を進めており、成果は達成できる。

樹脂製ヘッダー	・28年度に開発着手	樹脂性ヘッダーを実用化し、事業検討に着手する。	着実に研究開発を進めており、成果は達成できる。
多機能・多熱源対応連結型地中熱ヒートポンプと、制御システムの開発	・冷暖房ヒートポンプの試作機を開発した。目標COPに近づいている。 ・給湯専用ヒートポンプの試作機を開発し、目標COP達成。 ・連結型制御システムを開発した。	・インバータ機、ノンインバータ機を組み合わせた60kW級冷暖房ヒートポンプの開発。 COP:暖房 4.3、冷房 4.5、コスト:現行品の70% ・給湯専用ヒートポンプの開発。 COP:4.0、コスト:冷暖房ヒートポンプと同等 ・ヒートポンプモジュールを複数台組み合わせた数百kW機の開発および複数台運転の動作確認完了。	・冷暖房ヒートポンプは目標達成に向けて課題を抽出中であり、達成できる。 ・給湯専用ヒートポンプはコスト目標の達成に向けて開発実施。 ・制御システムは実証試験で性能を確認する。
ハイブリッド地中熱ヒートポンプシステム制御ユニットの開発	・PLCによる即時制御でも目標運用コスト削減が可能なことを確認した。 ・簡易コントローラーを試作し、評価試験を実施した。	・冷却塔・太陽集熱器・熱回収タンク併用のハイブリッド地中熱ヒートポンプ(GSHP)システムについては簡易な運転制御により運用コストを5%削減する。	・評価試験で抽出した課題について、改良点を明確にし、ソフトを改良することにより目標を達成できる。
地中蓄熱を活用した地中熱利用熱回収ヒートポンプ制御システムの開発	・熱回収運転における基礎となる制御ロジックの構築を完了した。 ・このロジックに基づくシミュレーションにて、当システムにより目標運用コスト削減が可能なことを確認した。 ・基本制御ユニットの原型を決定し、標準化による目標コスト削減への道筋をつけた。	・地中熱利用熱回収ヒートポンプ(HR-GSHP)制御システムについては最適運転制御システムにより運用コストを15%削減する。 ・現行制御システムに対し遠隔化・標準化を行うことにより、制御システムコストを20%削減する。	・プロトタイプ制御システムによるフィールド試験にて、実際の負荷を模して、個々の制御を連携させた総合試験を実施し、実用化に向けての課題を抽出し、対策を明確化することにより目標を達成できる。
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の開発	・札幌地域における500m～1kmメッシュ単位の地質データ作成中。 ・Webブラウザで利用可能な設計・性能予測ツール試用版を作成。 ・3次元地下水流動解析とGSHPシステムの連成解析モデルの検証モデル作成中。	・地盤地層データベースおよび地下水熱特性データベースの公開。 ・Webブラウザで利用可能な設計・性能予測ツールの開発・実用化。 ・サイトレベルの熱輸送解析シミュレーションツールの開発・実用化。	・目標に向け着実に研究開発を進めており、成果は達成できる。
ポテンシャル評価手法・評価マップ開発	・主要地域におけるポテンシャル評価マップ公開。	・地中熱交換器採熱量、必要長さポテンシャルマップを作成、公開する。	・目標に向け着実に研究開発を進めており、成果は達成できる。

## (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発化

### 【成果概要】

密閉式注入可能な構造の井戸を4本設置して、十分な揚水能力を有し、揚水した地下水を100%注入可能であることを確認した。試験装置による実証試験で電磁方式の有効性を確認し、これを組み込んだヒートポンプの設計を進めた。温度条件を変えた培養試験結果から、地下水温変化が地下微生物に与える影響はないと考えられた。半開放式地中熱利用システムを構築し、地下水の揚水・注水によるシステム COP の向上を確認した。秋田平野と津軽平野の解析モデルを用いてポテンシャル評価手法の検討を進め、秋田・郡山でオールコア試料の熱物性を実測した。

### 【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2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。夏期(9/14~10/8)の25日間で、太陽熱集熱器に送水することで平均5.9°C昇温させた地下水を約450m<sup>3</sup>、温熱量12GJを注入し、冬期(1/7~2/2)の27日間で、平均4.1°C低下させた地下水を約3,500m<sup>3</sup>、冷熱量60GJを注入させた。

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。この解析モデルを使用し、夏期の総注入温熱量を一定として注入温度と注入量を6通り変化させて帯水層蓄熱を行うシミュレーションを行った結果、温熱塊を注入井周囲に蓄熱するには注入温度をできるだけ高くした方が有利になるという結果を得た。

##### 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の自動洗浄機能付き高効率ヒートポンプユニットの設計を行った。

##### 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。

4か所の井戸(山形、福島、秋田、岩手)より地下水試料を採取し培養試験を行った。培養温度は、原位置地下水温度(15°C)および帯水層蓄熱システム運転による地下水温度変化を想定した温度条件(5、10、25、35、45、55°C)とし、各種分析は経時的(培養開始0、1、2、4週目)に行った。

病原性細菌とその近縁細菌種は環境中に普遍的に存在するため、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、地下水温度変化が地下微生物に与える影響はないものと考えられた。

## (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)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た。熱交換井内にはそれぞれ25AのUチューブをダブルで挿入して、並列配管でヒートポンプと接続した。揚水・注水ポンプには定格出力80Wの機種を選択し、インバータとタイマーによって運転制御した。揚水・注水管には20Aのポリエチレン管を用い、設置深度は帯水層が10~30mにあることを考慮して50mとした。ヒートポンプは定格冷暖房能力10kWの機種を選択し、ファンコイルユニットは暖房出力6.6kWのものを2台設置した。

暖房試験は、ヒートポンプ2次側送水温度を50℃、ファンコイルユニットの風量を最大とし、2日間運転、5日間停止のサイクルで条件を変えて行った。揚水・注水ポンプの運転条件は、揚水・注水なしの場合をベースケースとし、連続揚水・注水10L/min、15L/min、間欠揚水・注水15L/min(1時間ごとに発停)に設定した。

暖房試験前に行った透水試験の結果、透水係数が熱交換井1では $1.03 \times 10^{-5}$ m/s、熱交換井2では $1.71 \times 10^{-5}$ m/sとなった。TRTの結果では、熱交換井1では6.95W/(m・K)、熱交換井2では6.57W/(m・K)と高い有効熱伝導率を示し、地下水による熱移流効果が大きいことがわかった。

暖房試験では、揚水・注水量の増加とともにヒートポンプ入口水温の低下が抑えられ、連続揚水・注水15L/min時におけるCOPがベースケースと比較して約5%向上した。システムCOPにおいては、揚水・注水によって熱交換能力が向上したがポンプ消費電力で相殺され、ベースケースとほぼ同じ値となった。間欠揚水・注水15L/minのCOPは連続揚水・注水10L/minと同等の値となった。連続揚水・注水10L/minでは流量がインバータの調整範囲外でありバルブを併用して調整したため直接システムCOPを比較することができなかったが、間欠運転ではポンプの消費電力が半分になるため、揚水・注水量を少なくした連続運転よりもシステムCOPは向上するものと考えられる。

以上の結果より、半開放式地中熱システムの採用により一定の熱交換井の能力向上が確認された。しかし、現状の実験施設では熱交換井の能力に対して利用側の熱負荷が小さく、揚水・注水の効果が十分に発揮されていないため、今後システムの見直しが必要である。

### 2)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。そこで、地下水流れが試験地における流速と同一のケースと、地下水流れがないケースについて1か月間の長期暖房挙動予測を行った。その結果、地下水流れが存在する地盤では、地中熱交換量50W/m以上の高熱負荷運転において揚水・注水は10%前後のSCOP、COP改善効果をもたらすことが示された。

一方、地下水流れのない地盤においては揚水・注水による熱交換量増進効果は顕著であり、1日24時間運転の場合では、揚水・注水により最大熱交換量が2kW→10kW以上(熱交換井全長100mの場合)と大きく増加すると推定された。また、エネルギー効率の増加量も大きく、高負荷運転においてはCOP、SCOPにおいてそれぞれ最大40%、20%近い増加が見込まれるという結果が得られた。この改善効果は平成29年度以降に地下水流れのない地盤で実証する予定である。

## (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

オールコアボーリングによる試料採取(深度約100m)および熱物性データの計測を、秋田県秋田市と福島県郡山市の2か所で実施した。地質サンプルの測定項目は熱伝導率、熱容量、熱拡散

率、および含水率である。得られたデータから、熱伝導率および熱容量の深度鉛直プロファイルを作成した。同オールコアボーリング地点または近傍において、コア採取後、ボーリング孔を熱交換井仕上げし、TRTおよび光ファイバ温度センサーを用いた熱伝導率鉛直プロファイル(TCP)の測定を実施した。TRT結果より、秋田市の実験サイトでは有効熱伝導率 $2.01\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、郡山市の実験サイトでは有効熱伝導率 $1.77\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の結果が得られた。

地中熱ポテンシャルマッピングでは、秋田平野および津軽平野の地下水情報に基づいて、3次元地下水流動・熱輸送シミュレーションソフトFEFLOWを用いて各平野全体をカバーする多数地点において地中熱交換井モデルを作成した。ポテンシャル評価法として、戸建て住宅における年間の冷暖房熱負荷を計算し、採排熱シミュレーションを行うことで各地点の採熱に必要な熱交換井の長さを求めた。

その結果、延床面積 $120\text{m}^2$ の住宅を想定した場合、秋田平野：60-90m、津軽平野：30-70mと推定された。

## 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。

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	1件	0件	7件	2件	0件
H27FY	0件	0件	0件	2件	2件	10件	2件	1件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	0件	1件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31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

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
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	1)揚水性能確認し、揚水した地下水を100%注入可能か確認 2)高精度のモデルを構築し、帯水層内の温度変化を確認 3)熱交換器のスケール予防方法を試行し電磁式が有効と判断 4)地下水5試料の試験結果から試験条件内での環境影響評価にて、温度変化による影響なしと判断	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 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 3)帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプの普及に向けた改良を加え製品化を実現 4)地下環境に影響を与えない地下水注入温度基準を提案	1)地下水注入は達成確実 2)解析モデルによる帯水層内の蓄熱塊の挙動を繰り返し推定すれば最適稼働法確立が可能 3)熱交換器のスケール予防装置を実稼働システムでも試行しヒートポンプの高効率化を図ることが可能 4)設定した影響評価方法に基づき、システム実稼働時の地下水分析を繰り返し、温度変化による影響評価が可能
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)半開放式地中熱利用システムの長期運転試験と評価 2)感度計算と経済性検討	1)半開放式地中熱利用システムの構築完了、揚水・注水による熱交換量増進効果を確認 2)数値モデルにより、地下水流れが遅い地域において、揚水・注水により顕著なCOP向上効果を持つことを推定	1)地下水流れの遅い地域に秋田市と同様のシステムを設置して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半開放式地中熱利用システムの適応性を詳細に検討 2)省エネルギー効果の定量的評価で一次エネルギー削減効果、CO <sub>2</sub> 削減効果を評価	1)地下水位が揚水可能な範囲であれば地質条件が異なる地盤においても半開放式地中熱利用システムの適応が可能 2)システムCOPを向上させる最適な運転条件の検討により省エネルギーおよび低環境負荷の実現が可能
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	1)郡山盆地のモデル構築(これまでのモデル構築地域:津軽平野、秋田平野、仙台平野、山形盆地) 2)秋田・郡山のオールコア試料で熱物性計測してデータ蓄積 3)井戸口径100mmまではクロスドTRTと同様を確認	構築したポテンシャルマップに、TRTデータ等、原位物性データをフィードバックすることにより、ポテンシャルマップの高度化を図る	東北主要地域におけるポテンシャルマップの高度化は達成可能

## (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】

熱交換井の組立/埋設機器の小型化/省力化技術の開発では、試作した小型回転埋設技術による回転埋設部の試作機で施工実験した結果、想定とおり回転埋設が適用できること、および回転埋設の施工速度0.2m/分以上での施工が可能であることを確認した。

砂礫層対応2重管式熱交換器低価格先端錐の開発では、先端にブレード型ビットを鍛造形成した鋼管を用いての回転埋設実験により、N値20程度まで回転貫入が可能であることを確認した。

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、比較検証に必要な環境試験室2棟を設置し、両者で同じ熱負荷特性を有することを確認した。

地中熱リファレンスマップのマッピング技術の開発では、冷暖房モード、運用パターンおよび熱交換井長さの入力設定に加え、各地域の地質データおよび共通表示プラットフォームを構築した。採熱試験を実施するための装置系の設計/製作を完了するとともに試験地点を決定した。

### 【項目別成果】

#### 1. 既存住宅向け2重管方式の低コスト埋設技術の開発

##### 1.1 熱交換井の組立/埋設機器の小型化/省力化技術の開発

###### (1) 油圧駆動式回転埋設試験機による埋設/打撃試験と評価の実施

打撃振動部を有する油圧駆動回転埋設機構によりφ50A鋼管の埋設性能試験を実施した。

これによりSS法による換算N値で18程度までの地層に対し、約15mまでの深さまで回転埋設できることを確認した。打撃部については、予備試験時に応力集中が認められた箇所強度を大きくするとともに、土壌に応じて打撃動作の有無を選択できる機能を実装した。

###### (2) 油圧駆動式回転埋設試験機による組立予備試験の実施と評価

従来機構では、2m長鋼管を継ぎ足し接続するために、鉛直姿勢の埋設機構をその都度水平に倒しての作業が必須であった。幾つかの予備試験結果の分析により同作業が全体作業時間を増大させていることが判明した。そこで採熱管継ぎ足し部の径を縮小することで、鉛直のままチャック内を鋼管が挿入可能とした。

###### (3) 改良型油圧駆動式回転埋設機構の改善確認

上記の改良により採熱管継ぎ足し部の「かしめ」工程が不要となった結果、埋設施工コストを大幅に低減することが可能となった。この改良の結果、回転埋設機を倒すことなく2重管を連続埋設することが可能となり作業時間を大幅に短縮した。

###### (4) 採熱管簡易装置付きベースの試験と評価

小型埋設機の安定施工のため、油圧駆動式回転埋設機構を実装するベース部を新規開発した。本ベースを実装した埋設試験により、換算N値23までの地層に対して2重管を回転埋設できることを確認した。

#### 1.2 砂礫層対応2重管式熱交換器低価格先端錐の開発

##### (1) 既存の回転埋設鋼管杭および改良杭の特徴/性能評価

基礎杭を含めた多くの施工実績データから、既存の回転埋設鋼管杭およびその改良杭群の特徴および性能を体系的に整理し、回転埋設時に杭の錐先端であるビットが発現する機能を評価した。その結果、実績ある2種類の鋼管杭向けビットの基本構造を組み合わせ、礫、粘度性そしてN値が高い地盤にも対応可能なハイブリッド型ビットを考案し、その基本設計を完了するとともにサンプル模型を試作した。

##### (2) 排土および打撃による礫排除効果の高いビット基本モデルの製作

上記設計に基づき排土および打撃による礫排除効果の高いビットの樹脂製3Dモデルを試作した。模擬礫層を用いた実験では、わずかな鉛直力で良好な貫入性能を得られることを確認した。

## 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

### 2.1 システム制御技術(1次側制御分野)および熱性能評価の開発

#### (1)環境試験室の設置

平成28年度の本格運用に向けて、先行的に各種の環境試験室を設置した。

- ① 2棟の環境試験室(1棟は床暖房設備、他の1棟は低価格型および従来型設備)
- ② 112mボアホール式地中熱交換器による従来型地中熱利用設備
- ③ 鋼管基礎杭利用地中熱交換器に材料が異なる伝熱管を2種類設置した浅部地中熱利用設備

#### (2)環境試験室による性能試験

- ① 112mボアホール式地中熱交換器を用いた熱応答試験結果として、この地点での有効熱伝導率は1w/(m/k)程度であることを確認した。
- ② 2つの環境試験室で1週間程度の無負荷試験を実施した。その結果、時刻に対する両環境試験室の同一箇所における温度の違いは、0.5deg以内であることを確認した。

### 2.2 システム制御技術(2次側制御分野)の開発

- ① 2次側制御用に、試験室を設置して採熱予備試験を実施した。その結果、冬期においても4kW超の採熱を確保できることを確認した。
- ② 2次側制御分野において制御設計ならびに制御装置を製作した。さらに実験設備として前述の装置に対応するファンコイルユニット/循環ポンプの組み付けを完了した。
- ③ 動作確認試験の結果、ファンコイルユニットの稼働台数に応じて循環ポンプによるブライン流量を制御できることを確認した。

## 3. 地中熱リファレンスマップのマッピング技術の開発

- ① 地中熱リファレンスマップの表示プラットフォームを改善し、事業者が、暖房や冷房の運用時期、運用日数、熱交換井の採熱温度および長さを選択できるようにした。
- ② プラットフォームにリンクさせるボーリングデータについて、福島、沖縄、高知、福井および、北海道地域における検証予定地を中心とした地質データを入手した。福島、沖縄、および高知については検証場所も確定した。
- ③ 検証装置系を設計製作した。本装置に検証機能と浅層域の熱物性を評価する機能を追加した。

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	0件	0件	2件	4件	2件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	8件	15件	8件
H28FY	0件	0件	0件	3件	0件	6件	2件	1件

(※Patent Cooperation Treaty:特許協力条約) 平成28年7月31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

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①2重管方式熱交換井の低コスト埋設技術の開発  ・熱交換井の小型組立・埋設技術の開発  ・砂礫層対応2重管方式熱交換器低価格錐先端の開発	小型回転埋設の試作機による施工実験を行い、N値18程度の地層に対し、15m深さまで施工可能を確認。機構を安定保持するベース部を導入し、狭隘場所にも鋼管を鉛直保持しつつ埋設できることを確認。	幅、奥行き1m以内の小型組立/埋設複合機による20m級の熱交換井の施工において、連続運用が問題なく実現できる。施工時のコスト提示でき、耐久性の見込みを示せる。	試作した回転埋設機構、組立機構により、機能的に20m級採熱井施工を短時間で効率よく実施できること、機構を統合した場合も幅1m程度で狭隘部での施工に問題ないことから、目標は達成できる見通し。
	錐先端の実物大モデルを試作、模擬礫層土壌への回転貫入試験により基本特性を解析的、実験的に確認。	熱交換井を構成する小口径2重管先端に簡易に取り付け可能で、礫層への掘削が可能な低価格錐先端の効果を実証する。	低コスト化を目的とする小口径採熱管向け錐先端では、N値が大きい礫層が顕在化する場合に強度確保確認が課題。
	小型回転埋設の試作機による施工実験を行い、N値18程度の地層に対し、15m深さまで施工可能を確認。	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回転埋設可能な採熱管組立および埋設技術の施工性能を実証する。	建築基準法により、一般住宅敷地内の通路幅員は1.5m以下前後である。住宅用地は沖積層が多く、平均的にN値20程度とされている。
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	単体要素コストについては、制御板を含めて把握済み。	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以下を実証する。	着実に進捗しており、目標は達成できる見通し。
	ブライン式ヒートポンプの各要素(圧縮機、膨張弁、四方弁など)を独自に制御でき、安定した温度でブラインを供給可能であることを提示。	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。	着実に技術が進展していること、大手圧縮機メーカーの支援が得られていることなどから目標は達成できる見通し。
	比較検証に必要な試験室2棟を設置し、熱負荷特性が等価あることを確認。室内機制御の動作確認。	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。	高効率化の熱交換器制御技術開発について着実に進展していることから目標は達成できる見通し。
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	冷暖房モード、運用パターン、熱交換井長さの入力設定に加え、全国展開が可能な各地域の地質データと共通表示プラットフォームを構築。全国三カ所以上の試験地点を決定。	国内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。熱交換井の設置場所において、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。	着実に進展していることから目標は達成できる見通し。

### (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

##### 【成果概要】

膨大なボーリングデータを基に構築した三次元地質構造モデルと地上・地下浅層と深層を一体化した水・熱循環系の数値シミュレーションを組み合わせ、情報の質を劣化させずに更新可能な地中熱ポテンシャルの評価技術を開発した。対象地域として関東広域、宮城広域、長野地域及び関東一東北地域を選定し、地中熱ヒートポンプシステムの稼働状況について再現解析を行い、従来広く使われてきた手法に比べて再現性の高いポテンシャルマップを構築することができた。

##### 【項目別成果】

##### ①地中熱利用実績の調査とデータベース化

公開文献及び報告書を基に地盤、地下水、気象データ等を収集・整理し、データベース化に取り組んでいる。長野及び仙台地域について、地中熱ヒートポンプシステムの稼働データを分析し、ポテンシャルマップの信頼性検証データとして整備中である。

研究対象地域の内、長野地域に関しては検証データが少ないことから、既存の観測井を利用して地下温度プロファイル及び地下水位を計測した。

##### ②三次元地質構造モデルの構築

関東広域と長野地域の三次元地質構造モデルを構築した。水平解像度は50～250m、深度方向は1mを基本とした。モデル構築に用いたデータはボーリングデータを基本とし、ボーリングデータ密度が低い地域や掘進深度が浅い地域については地質平面図・断面図等も利用した。

長野地域は地下水移流効果が期待できる場所として選定した。平野部の表層地盤はほとんどが完新統であるが、モデル構築に用いたボーリングデータは深度20m未満のものが多く、砂礫層などの支持層が浅い深度に分布している状況が明瞭にあらわれている。

データ検証(抽出・分析)について、今年度膨大なデータ量にも対応可能なツールを開発し、モデル構築に活かした。

##### ③マルチスケール国土水・熱循環モデルの開発

広域自治体のスケールとして関東から東北をカバーする水平解像度500m以下の水・熱循環モデル(関東一東北地域モデル)と、関東及び長野の地域スケールに対する詳細モデルの開発に着手した。

上記②で構築した関東広域、長野地域の浅層の三次元地質構造モデルに、既往文献等に基づいて推定された500mメッシュ国土水循環モデルを参考に、深部地層情報を合成した領域統合化を行った。さらに、対象地域の気象、地形、土地利用・植生被覆、水利用、観測データ(水位、河川流量、温度など)に関する基礎資料を収集し、国土水・熱循環モデルへ組込むデータを整備した。関東広域モデルは、人口密集地域をほぼカバーする総格子数12,100,410、水平解像度250mのモデルに加えて、東京23区をネスティングした水平解像度50mの高解像度モデルを開発した。

長野地域モデルは、長野地下水盆の集水領域をカバーする水平解像度50m～500mモデルを構築した。さらに、地中熱交換井及びその近傍の流体・熱同時輸送挙動を解析するためのボアホールスケール詳細モデルを構築した。これら国土水・熱循環モデルは、地中熱利用ポテンシャルの評価及びマップ作成のために組合せて用いる。

長野地域モデルについては、上記①の検討一環として測定した温度プロファイルデータや、入手した地下水位、河川流量等の実測値を良好に再現することを確認した。

##### 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

上記の検討により得られたシミュレーション結果を用いて、地上及び地下(浅層、深層を含めた深度別)の地中熱利用ポテンシャル評価のための方法論を構築し、長野地域モデルによる具体的な試評価とマップ作成に着手した。

検討したポテンシャル評価技術では、地域性を特徴付ける保存量(地中熱ポテンシャルの関連特性値)として地下熱量フラックスを選定した。特性値の大きさに基づき10区分に分

類し、さらに深度3区分の全30区分に分けた。

これらの各区分に対して10地点をサンプリングし、対象地域における気象条件の非定常変化を考慮した典型的な熱負荷条件を作成し、全300ケースにのぼるボアホール詳細モデルによる地中熱交換量の解析を行って熱交換量を求めた。

これらの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するための、効率的なデータ処理手順を検討した。地中熱利用ポテンシャルマップについては評価結果を容易に参照できるように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(熱交換量、地下水位・温度・流速等)提供のためのユーザーインターフェイスを含めて試作を行った。

表Ⅲ(3.1)-1 特許、論文、外部発表等

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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(3.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①地中熱利用実績の調査とデータベース化	・利用実績事例118件を収集 ・その他、地盤、地下水情報等についてデータ収集	・120件前後の調査事例収集とデータベース化	FY28末までの目標は達成する見込み。 モデル再現性、マップ信頼性検証を含めた評価技術確立の目処がほぼ立っており、最終目標に関して達成できる見通し。
②三次元地質構造モデルの構築	・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を試作完了 ・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	・広域自治体(関東-東北、約20万km <sup>2</sup> )、都市部地域(関東、宮城、長野、約2万km <sup>2</sup> )モデル構築	
③マルチスケール国土水・熱循環モデルの開発	・広域自治体(関東-東北)、都市部地域(関東、宮城、長野)の水・熱循環系モデルを試作完了 ・上記モデルで目標とする水平解像度を達成	・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、都市部地域は重要街区50m以下を達成	
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	・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	・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	
⑤ポテンシャルマップの信頼性検証	・①の実サイトデータを利用し、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中	・エンドユーザーの実用に耐えることを検証	

### (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】

最適逆洗技術開発を進める実証サイトにおいて地層の初期状態を把握し、還元井目詰まりの原因とさせる細粒成分を多く含む地層では、井戸内調査により地下水の透明度が低いことを確認した。浸透ますを用いる地下水還元技術について、地下浅層の不飽和帯への現場浸透試験を各種の方法で行い、適切な試験法を見いだした。地中熱利用システムの運転に伴う地下温度変化を数値シミュレーションにより推定し、地下水流速が速い地域では温度変化が1℃以上となる領域が小さいことを明らかにした。

#### 【項目別成果】

##### (1)最適逆洗技術の開発と地下水熱交換ユニットの開発

###### ①最適逆洗技術の開発

四日市サイトにおいて、循環井2井(Y-1, Y-2), 熱交換井1井(Y-BH1)を設置した。本サイトは、細粒分を含む砂層と礫が混入する砂層が帯水層を成している。

揚水、注水ともY-1の能力が高く、揚水能力と注入能力を比べれば、2井とも注入能力の方が低い。Y-2の段階注入試験において地上部まで水位上昇したために、明確な限界注水量は確認していない。

温度分布測定結果から、Y-2は孔内が17.5~18.0℃で一様であるのに対して、Y-1は、スクリーン位置で15.2℃前後の温度低下部が確認された。井戸カメラによる孔内観察では2つの井戸でスクリーン位置よりも下部で白濁した状態であり、Y-2ではその傾向が顕著に確認された。Y-1の温度変化とY-2の白濁現象は、周辺にある既存井戸からの揚水や近接する河川水位、潮位などによる井戸内への地下水流動の影響が考える。

Y-BH1での加熱循環による熱応答試験から、地盤の有効熱伝導率( $\lambda_s$ )1.80W/(m・K)が得られた。

###### ②地下水熱交換ユニットの開発

基本設計から試作品を完成させた。

##### (2)打ち込み井戸と浸透ますの適用技術開発とタンク式熱交換器・浸透ます併用システム開発

###### ①打ち込み井戸と浸透ますの適用技術の開発

###### 1)条件有利地域選定技術の開発

データベース構築に利用可能な既存資料の収集を行い、既存井戸情報、地盤情報、地下水位・水質情報が得られる資料9種類を選定した。

既存の浸透ますが設置される施設敷地に、地下水還元に伴う周辺地下水温の変化を計測するための観測井を設置した。浸透ます周辺部における鉛直方向の水温変化と熱源水の採取深度となる深部の土質確認を目的として、孔径 $\phi$ 66mmにて深度20mまで掘削を行った。その結果、中間層として層厚1.0m前後の砂層を介在するものの、全体には砂礫を主体とする地盤状況にあることを確認した。掘削終了後は、保孔管としてストレーナ加工した塩ビパイプ( $\phi$ 50mm)を挿入し、エアリフト法により十分な孔内洗浄を行った。さらに、上記の新設観測井及び浸透ますより離れた地点にある既存観測井(深度15m)について、地下水位と地下水温の連続観測を行うための自記計測機器を設置した。

地下浅層への現場浸透試験を各種方法で実施し、試験孔を適切に設置しないと十分な浸透性を確保できないことを確認するとともに、用いる算定式によっては約100倍の差を生じることが明らかとなった。

###### ②タンク式熱交換器・浸透ます併用システムの開発

###### 1)設計・試作開発

タンク式熱交換器・浸透ます併用システムの設計検討をした。浸透ます併用タンク型システムに用いる熱交換タンクは断熱タンクとして試作することとし、採熱管はタンク内での熱交換を想定して水中での熱交換を効率的に行えるシート状採熱管を候補とした。

タンク回りの掘削部に埋め戻し材料として4号、5号砕石(径13-30mm)を用い、熱交換後の排水を周辺地盤内へ均等に浸透させるため、砕石と周辺地盤の境界に透水シートを設置する設計書を策定した。

### (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

#### ① ポテンシャル評価技術の開発

##### 1) 調査手法の開発

長良川扇状地の右岸側における地下水位・水温観測を4ヶ月間行い、存在が知られている旧河川に沿って温度異常が認められるとともに、それ以外にも温度異常が確認されている。よって、歴史記録に残っていない旧河川が地下温度場に影響を与えていると考えられる。一方で、支流河川からの地下水涵養の痕跡は見いだされていない。これは支流河川の河床勾配がゆるいため、本流河川からの地下水涵養が卓越しているためと考えられる。

##### 2) 条件有利地域での実証運転試験

岐阜サイトにおける実証運転試験の事前検討として、既設空調装置である吸収式冷温水発生器のエネルギー消費量を推計して、設置予定のオープンループ型地中熱利用システムとの比較を行った。その結果、年間ランニングコストを66%減少する見込みであり、コスト回収年数は8年と見積もられた。この試算結果を今後の実証運転試験により検証する。

実証運転地点においてオープンループ型地中熱利用システムを導入した際に予想される地下水位・水温変化を、FEFLOWを用いるシミュレーションにより予測した。地層に関するパラメーターは利用可能な一般値を用いた。シミュレーションでは、1本の揚水井から地下水を $1.8 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{sec}$ で揚水し、空調利用に伴う熱交換後に2本の還元井から各 $9.1 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{sec}$ で還元する設定とした。地下水温度の初期値を $18^\circ\text{C}$ として、地中熱利用に伴う還元地下水の温度変化を暖房運転では $-4^\circ\text{C}$ 、冷房運転では $+4^\circ\text{C}$ とした。その結果、地下水流速が速いために暖房運転、すなわち帯水層に温度の低下した地下水を還元しはじめてから2日後には温度低下 $-0.2^\circ\text{C}$ と $-1.0^\circ\text{C}$ の領域が還元井の下流側47mと19mにそれぞれ到達すること、90日後には $-0.2^\circ\text{C}$ の領域は還元井の下流側に大きく広がるのに対して $-1.0^\circ\text{C}$ の領域は38mまでしか到達しないことが明らかとなった。これは速い地下水流速のためになぜか温度変化は遠くまで広がるものの、一方で上流側から $18^\circ\text{C}$ の地下水が十分に供給されるために大きな温度変化はあまり広がらないことを示している。

既存の実験施設を活用して井戸に冷熱負荷を与える冬季熱負荷試験を行った。層厚の薄い砂層を挟む二層の帯水層のうち片方に温度低下させた地下水を還元したところ、もう一方の帯水層でも一部で温度が低下することを確認した。

##### 3) ポテンシャルマップ作成技術の開発

先行研究の調査として、地中熱利用のポテンシャルマップ作成技術に関する論文14編を収集し、文献調査を行った。その結果、多くはクローズドループ型を対象とすること、オープンループ型を対象とする文献でも、地下水水質等の要素に基づいた議論が行われていることが明らかとなった。

#### ② 逆解析法サーマルレスポンス試験技術の開発

事前調査として長良川扇状地の地下水流動状況及び水理地質情報に関わる既存資料の収集と整理を行った。長良川扇状地の現地踏査を実施し、サーマルレスポンス試験専用ボーリング孔及び観測井掘削適地の調査を行い、3か所の候補地選定を行った。

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	3件	1件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(3.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
(1)最適逆洗技術の開発と地下水熱交換ユニットの開発	・砂層を取水層とする四日市サイトと、鉄分を多く含む水質の名古屋サイトで地下水状況の把握を行い、還元能力低下の要因について想定した。	・還元井の逆洗技術と一体化した地下水熱交換ユニットの開発により、従設置コストと運用コスト20%削減	・汎用的な地下水循環設計方法を開発し、地下水交換ユニットと組み合わせたシステムでの検証を実施することにより、目標達成が可能。
(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	・適用技術の開発に向け、既存資料の収集と精査によるデータベース構築作業、現地浸透能試験方法の開発と地下還元による周辺地下水温のモニタリングを継続実施。タンク式熱交換器・浸透ます併用システム実証エリアの選定作業を実施した。	・打ち込み井戸、タンク式熱交換器、浸透ますを併用したオープンループ型地中熱システムの開発により、設置コスト10%削減	・地盤条件や地下水条件等に即した適用技術の開発と、高断熱なタンク式熱交換器の併用により、低コストでのシステム設置が可能で目標達成が可能。
(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	・研究対象地域で22本の観測井を対象として地下水温観測を行い、側方流動が生じている帯水層を抽出した。逆解析法によるサーマルレスポンス試験(iTRT)の実施法補地点の選定を行った。	・ポテンシャル評価技術を開発し、設置・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とともに、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	・地下水温変動等のマッピングの内容に、実証運転試験のモニタリング結果を組み合わせるによりポテンシャルマップの作成が可能。また、iTRT技術実証を行い、それを加味することによりシミュレーション技術の開発が可能。

### (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】

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確認するとともに、従来技術と比較して構築コストを低減可能であると試算した。観測井システムを構築するにあたり、地下水の性状に関する監視項目を選定して、既設の観測井3地点(各2帯水層)を最小観測単位とした測定を開始した

#### 【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、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で1孔、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。

このような課題に対して、観測井の口径縮小を検討することで拡孔作業量を減らし、低価格な規格品のケーシング・スクリーンを使用可能とし、また、内装施工方法を改良することでコスト削減を目指す。さらに口径縮小や内装施工方法の改良により、施工日数・人工数も削減可能であることから、マルチレイヤー観測井システムの構築コスト25%低減を目指す。

##### (2)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

オープンループ型地中熱利用システムにおいて、揚水した地下水を全て同じ帯水層に還水すれば、地下水位の変化は理論上発生しない。しかし、揚水量や流速などの条件により局所的に地下水位が変動する可能性がある。システムの不具合や地盤条件によって完全に還水ができない場合にも、表層の地盤環境が安定し、環境負荷のないと保証されることを確認する必要がある。

そのような観測井システムを構築するにあたり、地下水の性状に関する監視項目として、地下水位(間隙水圧)、水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位、溶存酸素量、溶存成分のイオン濃度と重金属濃度を選定した。

地下水位は、地盤沈下と深く関連する重点観測項目である。水温は、熱源利用としての重要な指標であり、オープンループ型地中熱利用システムにおける揚水・還水の影響評価を行うために必要である。pH・電気伝導度・酸化還元電位・溶存酸素量・溶存成分イオン濃度は、地下水の基本的な性状把握と流動経路に関する考察に必要である。地下水環境の変化に伴い、自然地盤から重金属類が新たに地下水中に溶出してくる可能性もあり、環境保全の観点から重金属類も重要な監視項目と位置付けた。

このような水温や水質の変化により沈殿物が発生すると、観測井のスクリーン目詰まりの要因となり、さらに地下構造物の劣化要因ともなるので、定常的に観測すべき項目とした。

既設の観測井として3地点(各2帯水層)を最小観測単位として選定し、上記項目の観測を開始した。

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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31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

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①実現可能性調査	観測井構築時のコスト削減について検討を行った。工法の工夫により、工期、従事人工数が大幅に削減可能である。	<ul style="list-style-type: none"> <li>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調査</li> <li>オープンループ型地中熱システム普及シナリオ作成</li> </ul>	達成可能と判断して、技術開発を実施する。
②観測井の構築技術開発	機器開発のための検討を行い、設計、製作を実施中。マルチレイヤー観測井の基本構造を検討し、施工方法を含めた設計を実施中。	<ul style="list-style-type: none"> <li>サンプリングツール開発</li> <li>フローメータ開発</li> <li>試験観測井構築</li> <li>開発技術評価</li> </ul>	最終目標に向け着実に課題を解決し、研究開発を進めているので、目標は達成できる。
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	ボーリングデータを基に、試験フィールドを選定。既設観測井を用いた基礎データを取得し、良好な帯水層の特徴を検討した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>帯水層の特性抽出</li> <li>データベース化とデータシステム構築</li> <li>地下水観測システム構築</li> </ul>	データを蓄積し、管理・観測方法も確立して、帯水層特性が明らかになることで、目標は達成できる。
④地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発	ボーリングデータ収集と既存データの抽出から、砂層を含む Dg 層抽出を完了した。システム構築手法を検討中。	予測評価システム構築	帯水層の連続性や許容量などを判断できる材料が整い、事業性の予測が可能になる。



#### (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

##### (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

###### 【成果概要】

ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの実現可能性調査を実施して、集中プラント型の従来システムと比較し、導入コスト10%低減の見込みとなった。熱源水ネットワークシステムの要素機器となる流下液膜式熱交換器、排湯熱回収用熱交換器を試作して、熱交換性能を把握する試験を開始した。熱源水ネットワーク配管について必要性能を検討した。

###### 【項目別成果】

###### (1)実現可能性調査の実施

実際の温泉施設におけるエネルギー利用実態を把握するため、実測などによる実態調査を2件の温泉施設にて行い、開発する排熱回収機能を加えたハイブリッド熱源水ネットワークシステムに関して、温泉熱利用において温泉4施設をモデルに、システム運用を想定し、省エネ効果とコスト検討からの導入可能性を精査した。

従来の個別ボイラーを使用する場合と比較して、4施設合計で本システムでは、ランニングコストは約40%(約1700万円/年)減、一次エネルギー消費量は約35%減の見込みとなった。また、インシャルコストは、集中プラント型地域温泉熱利用システム方式と比較して約10%減の見込みとなり、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの導入効果は大きい。

また、温泉熱利用方式の手法別整理として、個別建物型、集中プラント型、一般的な熱源水ネットワーク型、開発する排熱回収機能付加のハイブリッド熱源水ネットワーク型のシステム概要やコスト、メリット・デメリット等を整理し、ハイブリッド熱源水ネットワークシステムの有用性特徴を整理した。

###### (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

泉質に対応した熱交換器材料を選定するため、泉質の異なる8種類の温泉に対して、金属、樹脂などの材料の異なる試験片を用いて、材料浸漬試験を行い、浸漬一年間の試験結果を得た。その結果、2種類の泉質でスケール付着や腐食による影響を顕著に確認した。

この2種類の温泉について、実温泉場にて性能把握のため、ミニチュアサイズ熱交換器を用いて熱交換性能把握試験を実施した。この試験で熱交換性能の低下率を確認するとともに、熱源水の有無によるスケール付着状況の違いなどの確認を行った。メンテナンスを行わない場合には約1ヶ月の運転期間における熱通過低下率を把握した。

これらの結果を基に、温泉場にて行う実サイズの流下液膜式熱交換器を選定した材料を用いて試作し、小規模性能試験用の装置を構築し、熱源水と源泉温水の温度、流量を変化させて、熱交換性能を把握する試験を開始した。

###### (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

熱源水ネットワーク配管の必要性能を確認するため、断熱被覆配管や保温性配管の既製品を含む数種類の配管について、耐圧性、耐熱温度、保温性、口径、価格を比較した。

熱源水ネットワークを構築するために想定するφ300mm、約400m長程度の配管においては、高温の温泉水ではなく低温の熱源水(清水)を循環させるため、温泉供給システムに比べて、熱損失量が小さく、断熱被覆配管ほどの断熱性能は必要としないので、ある程度の保温性を有する低コストの配管及び継ぎ手を開発して、コストダウンを図る方針とした。

熱源水ネットワーク配管を埋設する際、含水率が高い地盤や地下水流れのある地盤においては熱損失が大きくなる場合が考えられるので、これらの影響を把握するため、配管からの放熱量をラボサイズ試験とシミュレーションによる検討を行った。また、配管接続方法の検討を行った。

###### (4)浴場における排湯熱直接回収用熱交換器の開発

排湯からの直接回収用熱交換器として、浴室下部に設置を想定した熱交換器の予備実験を行い、熱交換チューブの経路の違いと流量の違いによる熱交換性能の比較を行った。この結果を基に、実サイズの排湯熱回収用熱交換器を設計、試作して、実温泉を用いた小規模実証試験による性能試験を開始した。

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	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(4.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①実現可能性調査の実施	4施設想定シミュレーションによるFS結果では、既存システムと比較して、運用コスト約1700万円/年、導入コスト約10%低減が確認された。	実用システムとして採算が取れるコスト見通しを26年度内に立てる。	実現可能性調査に掲げた目標は達成。
②液膜式熱交換器の低コスト化と高効率化技術開発	材料浸漬試験により温泉熱利用に有効な材料を選定、実サイズ熱交換器を試作。温泉を用いた小規模実証試験により熱交換性能を検証中。	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。	実サイズ試作機で、基本性能を把握し、約5万円/kWであることを確認。各部材の低コスト化、製作簡易化等により目標達成を目指す。
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	温泉熱利用に適した保温性の材料を用いて原寸サイズ配管を試作し、地下水等の影響により熱損失が大きくなること考えられるため、配管からの放熱量を把握するラボ試験を開始した。	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開発し、実証試験により、コスト合計が5万円/m以下を達成する。	試作品概算コストの検討結果から、現状8.8万円/mと試算。低コストが見込める要素検討を行い、目標達成を目指す。
④浴場における排湯熱直接回収用熱交換器の開発	ラボ装置を用いた熱交換性能の比較試験結果を基に、実サイズの排湯熱回収用熱交換器を設計、試作。温泉を用いた小規模実証試験により性能を検証中。	排湯熱直接回収用熱交換器の実証試験で、②の目標コストを達成する。	実サイズ試作機で初期性能を把握し、概算コスト7.8万円/kWと試算。低コストが見込める要素検討を行い、目標達成を目指す。

## (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

### 【成果概要】

従来の雪冷房施設において使用してこなかった都市排雪について、集雪運搬システムを検討し、都市排雪の保存システム(雪山貯蔵)、冷熱回収システムを設計し、排雪中の不純物の影響を受けずに冷熱回収できることを実証実験により確認した。平成 27 年には、データセンター実証棟、フリークーリング、食料生産実証施設を整備し、雪冷熱・産業廃熱を利用した相互供給型事業モデルの実証を行い、雪冷房による夏期のサーバ冷却、サーバ廃熱による冬期の暖房効果を確認した。

### 【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  
小規模実験装置(10m×10mモジュールサイズ)を作製し、都市除排雪を堆積し、断熱材(チップ材 30cm 厚)で被覆することで、夏期まで雪が保存できることを確認した。  
データセンター実証棟を完成し、27 年 9 月後半から、保存雪から冷熱を回収し、問題なく冷熱が回収できることを確認した。秋期に断熱材を撤去したが、雪山下の熱交換路盤に雪中の泥による目詰まりがないことを確認した。  
実証試験に向け、さらに 2 モジュール分の実験装置を増設した。舗装は、工場生産の平板を敷き詰めた施工 1 モジュールと、コスト削減を目指した現場打設舗装 1 モジュールとした。対照試験用に採熱管を擁しない舗装のみの実験装置を 1 モジュール増設した。雪山下熱交換路盤は、合計で 3 モジュールとした。
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  
サーバ室内の冷却コイルへの供給循環水温度を 20℃で設計し、外気により 20℃に冷却可能な外気温度環境の時はフリークーリングシステムにより外気に放熱し、都市排雪の消費量を減量する設計とした。雪量減量により、雪山下熱交換路盤の面積縮小によるインフラ整備コスト削減を達成する。平成 27 年 9 月に実証試験装置を製作し、平成 27 年度秋期に実証試験を実施し、設計通りサーバ冷却後の温水(30℃)を 20℃まで冷却する併用冷却運転について実証した。
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  
サーバ冷却を目的としサーバラック前方(コールドアイル、サーバ吸気側)空気温度を一定(25℃)に保つために、サーバ上部に冷却ファンコイルを設置し、夏期の冷房運転と冬期の暖房用熱回収運転を同一コイルにて動作できるように設計し、平成 27 年 9 月に実証試験装置を製作した。平成 27 年度夏期および冬期間に実証試験を実施し、それぞれの期間において設計通りの運転を確認した。
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  
平成 27 年 9 月 25 日から 10 月 2 日まで、雪冷房運転によるデータセンター実証棟内のサーバ発熱の冷却実証試験を行った。雪冷房のみでサーバの冷却が可能であった。10 月 5 日以降の外気温が 15℃以下となるような気候下で、フリークーリングとの併用運用試験を実施した。設計通りにデータセンター実証棟内のサーバ発熱を外気冷却により冷却が可能であることが実証できた。  
インターネット回線を敷設、実験時に遠隔で高負荷状況を作り出す環境を整備し、実験期間以外はコスト削減のために遠隔からサーバの停止や起動を行うことができるよう設定を行った。  
sensor によるサーバ内部温度測定に加え、ラック前方(コールドアイル)と後方(ホットアイル)の温度湿度を測定するため、温湿度計を設置し、サーバ内部と外部で計測できるようにした。
5. 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  
雪山からの冷熱とデータセンターからの排熱を利用する事業モデルとして、食料生産実験棟を構築した(平成 27 年 10 月～12 月)。  
食料生産実験棟は、積雪や強風に耐えうる複層式エアハウスとし、室内に熱交換器を設置して雪山とデータセンターからの冷熱・温熱を利用できるようにし、内部を作物栽培システムと陸上養殖工場が共用できるものとした。作物栽培システムは約 58m<sup>2</sup>、陸上養殖は約 39m<sup>2</sup>の規模である。

厳寒期(平成 28 年 2 月)にデータセンター実証棟内のサーバ冷却用コイルを利用して、食料生産実験棟に熱供給試験を実施した。その結果、厳寒期でも、データセンター実証棟内からの温廃熱のみで作物栽培と陸上養殖に必要な熱を賄うことができることが実証された。

#### 5.1. 雪冷熱・産業廃熱を利用した作物栽培システムの開発

作物栽培システムは、データセンターから供給された熱を、ファンコイルユニット(FCU)を用いて、室温を 15℃に維持するシステムであり、開発はこれを実証することである。また、熱交換コイルを用いて栽培液を 12℃に維持するシステムについても実証する。

平成 28 年 2 月 8 日～19 日にデータセンター実証棟からの熱供給試験を行った。その結果、実験期間中、システムの維持に必要な熱をデータセンターからの熱供給のみで賄うことが可能であること確認できた。この期間のうち 8 日間(9 日～16 日)に供給された熱量は約 36700MJ であった。この熱量を灯油に換算すると約 100 リットルに相当する。これを現実的な施設規模である 5000m<sup>2</sup>施設に換算すると、年間約 620 万円(2.7 円/MJ、暖房期間 181 日の場合)の灯油代に相当する。

#### 5.2. 雪冷熱・産業廃熱を利用した閉鎖循環式陸上養殖工場の開発

平成 27 年 11 月に実証試験装置(閉鎖循環式陸上養殖システム、熱交換器、各種測定機器)を設置し、実証試験装置の試運転及びエアハウス内の室温及び水温のモニタリングを行った。その結果、データセンターからの熱供給が無い期間(平成 27 年 11 月 27 日～平成 28 年 2 月 8 日)は養殖循環水の水温は室温の変化に同調して変化したが、厳冬期に熱供給を受けた期間(平成 28 年 2 月 8 日～2 月 19 日)は、熱供給及び温度調整制御により、循環水温を養殖で最適な 15～17℃に保つことができた。この結果により、データセンター廃熱を陸上養殖施設で利用するための熱交換設備及び温度調整制御方法を確立することができた。

#### 6. 都市除排雪の利活用システムの検討

美唄市街の排雪を運搬するシステムを検討した。平成 28 年夏期の冷房用に都市排雪をダンプ 116 台分 1157ton(1653m<sup>3</sup>)搬入した。

#### 7. 低温(雪)乾燥装置の開発

乾燥操作を行う温度、風速などの条件設定は、乾燥という現象自体が複雑なため単純ではない。このため、汎用性の高い箱型乾燥機の乾燥現象を熱設計するプログラムを開発し、卓上規模の実験によりその妥当性を確認しつつある。

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	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	11 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	0 件	1 件	2 件	1 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(4.2)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
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	これまでの熱交換試験は良好な結果であるが、最も冷熱負荷の高い真夏の試験は今後の実施予定である。	雪堆積場として利用できるような強度を確保したうえで、高い熱交換性を持つ路盤をより安価に開発する。	条件を満たす仕様は設計できたので、性能を検証し、改良とコスト低減工夫を重ねて達成する。
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	条件を満たす仕様が設計でき、実証設備を整備し、性能検証中、これまでのところ設計通りの冷房システムが稼働している。	雪量を70%削減し、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%コスト削減	トータルコストを更に5%削減するため、更なる低コスト化、効率向上を研究し、目標以上の削減を達成する。
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	条件を満たす仕様が設計でき、実証設備を整備し、性能検証中、これまでのところ設計通りに廃熱回収ができています。	廃熱回収のシステムを別途構築する場合と比較して、10%コスト削減	トータルコストを更に5%削減するため、更なる低コスト化、効率向上を研究し、目標以上の削減を達成する。
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	条件を満たす仕様が設計でき、実証設備を整備し、性能検証中、これまでのところ設計通りの併用冷房システムが稼働している。PUEは、1.08を達成した。	都市排雪20万トンを利用したデータセンターで、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に比較し50%削減。PUE=1.1以下とする。	トータルコストを更に5%削減するため、更なる低コスト化、効率向上を研究し、目標以上の削減を達成する。より低い世界最高水準のPUEを達成見込み。
⑤コスト削減見込み量の試算	各項目の実証中。	従来型雪冷房のトータルコストに対し、30%削減	①～③の項目について更なる低コスト化、効率向上を研究し、目標を達成できる見込み。
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	条件を満たす仕様が設計でき、実証設備を整備し、性能検証中、これまでのところ設計通りに廃熱供給ができています。乾燥システムは設計完了。	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設置・運用コスト10%削減	各システムについてコスト削減目標を達成するとともに、事業化検討を行い、事業優位性を立証できる見込み。
⑦都市除排雪の利活用システムの検討	除排雪体制を検討、実証施設に都市除排雪を供給した。	都市部の除排雪を使用可能な雪氷熱集熱方法の開発として、効率的な除排雪体制の検討及び試算等を行う。	大規模化した際のシミュレーションを実施し、低コストに20万トンの雪を集める具体策を策定し、最終目標を達成できる。
⑧全空気式冷熱回収方式の検討	全空気式冷熱回収方式についての設計が完了し、導入可能なことを証明できた。	全空気式冷熱回収方式について開発検討を行う。	コスト検討を行い、冷水式と比較しながら、設計指標を示し、最終目標を達成できる。
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	他の各項目の研究を進め本検討に必要なコスト情報を準備中。	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%の効果を目指す。	生産誘発効果、雇用効果、税収効果などを定量的に検討・評価し、目標達成見込み。

#### (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】

フィジービリスタディとして冷凍出力 1 kW の熱音響冷凍機を設計した。4 kW の熱を熱音響冷凍機に入熱するための太陽熱入熱装置の基本設計を行った。雪室冷却におけるシミュレーションを実施し、雪室の雪融けを防ぐ冷気の当て方を検討した。低コストの雪室を開発するため、雪室壁の断熱性能を上げるプレハブ冷蔵庫用の壁の改良方法について調査した。

##### 【項目別成果】

###### ①熱音響冷凍機の開発

フィジービリスタディとして冷凍出力 1 kW の熱音響冷凍機を設計した。熱音響冷凍機は、管内に狭い流路の束(以下、蓄熱器)を設置し、ある臨界値以上の温度勾配を与えると管内流体が自励振動を起し、逆に蓄熱器内の気体を強制的に振動させれば、蓄熱器に温度勾配を作り出し冷却を行うことができる。

基本的なモデルとして「太陽熱の入熱によって音響パワーを生成する原動機ループ」、「音響パワーから冷熱を生成する冷凍機ループ」から成るダブルループ型を採用した。また、太陽からより多くの熱を取り込み、かつ低温動作を実現するため原動機ループ内に 2 つのエンジンを有する多段型を採用した。作動気体は全ての不活性ガスの中で最も音速が速く熱伝導率が高い He を用い、大出力を得るため充填圧力を 3 MPa とした。管内径は、枝管及び冷凍機ループを  $\Phi 150\text{mm}$  程度、原動機ループ側は  $\Phi 200\text{mm}$  程度とした。

数値シミュレーションでは、原動機ループと冷凍機ループを個別に最適化し、その後、双方を結合した。最適化パラメーターは蓄熱器流路径、及び駆動周波数とし、蓄熱器の両端の温度や長さは固定とした。実機においては自励振動の振動振幅が成長すると、振動の二次成分の積によって生じる一応方向流れが生じる。この流れは質量流と呼ばれ、本来高温熱交換器から蓄熱器へ入力されるはずの熱を運び去ってしまう。この質量流を抑制するために、圧力振幅の腹付近にゴム膜を設置し、定常的な流れを遮断し振動のみを伝える。

原動機ループ設計では、蓄熱器流路を蓄熱器 1、蓄熱器 2 に対して 0.1、0.2、0.3mm の 3 種類を用い、計 6 パターンを計算した。駆動周波数を 10~60Hz まで変化させると、周波数が 20Hz、蓄熱器 1、蓄熱器 2 の流路径がそれぞれ 0.3mm、0.2mm の時が最も効率の良い組合せとなった。冷凍機ループの設計でも、駆動周波数を 10~60Hz まで変動させながら、蓄熱器の流路径を 0.1、0.2、0.3mm に変更して、周波数が 40Hz、蓄熱器流路径が 0.1mm の時に最も良い効率となった。

原動機ループの最適値は 20Hz、冷凍機ループの最適値は 40Hz であるが、ダブルループ型熱音響冷凍機は共振を利用するため、ここではそれぞれの最適値の中間周波数である 30Hz で接合を行う。両者をつなぐ枝管の長さは原動機ループと冷凍機ループそれぞれの枝管流速最大振幅となる場所までの距離を和した 9.6m とする。接合モデルを対象に数値シミュレーションを行い、原動機温度に対する冷凍機温度の関係を算出した。ここで設計した熱音響冷凍機は原動機の高温側熱交換器温度が 120°C 付近にて駆動を開始し、その温度が 180°C で冷凍機温度は -112.2°C まで下がり、この時の冷凍出力は 1684.3W となった。

###### ②太陽熱入熱装置の開発

太陽熱を集熱し、熱音響冷凍機に入熱する装置を設計し開発する。まずは、4 kW の熱を熱音響冷凍機に入熱するため、太陽熱入熱装置の基本設計を行った。集熱管の中にヒートパイプが挿入されている太陽熱集熱器は、先端温度が 290°C まで上昇するため、熱音響冷凍機の駆動に適しており、これを使用する。30 本の集熱管で 2.5kW 程度の熱を集熱できるが、これを 2 セット使えば集熱量は 5 kW となる。この設置方法は多くの集熱管が必要になるため、太陽熱の集熱に反射板を利用し、太陽光が直接当たらない集熱機の反対側も利用する。この方法で、集熱管の数を 1/3 程度削減でき、20 本×2 セットで 5 kW の太陽熱を入熱する。熱音響冷凍機への入熱部は直径 240mm 程度の円柱になるため、集熱管を扇方に設置し高温になるヒートパイプ先端部を集中させて熱音響冷凍機に入熱する。

###### ③能動断熱技術の開発

雪室冷却における冷気の当て方についてシミュレーションを実施し、雪室の外からの熱を防ぎ雪融けを防ぐ方法を決め、太陽熱を利用した熱音響冷凍機による能動断熱技術を確立するため、

雪室の雪融けを防ぐ冷気の当て方を検討した。①冷気を壁伝いにはわせる、②直接冷気を雪山に吹きかける、③居室から入ってくる暖まった空気を冷やす、などの方法があるが、他の方法として、熱音響冷凍機の冷気を発生する部分を雪の中に埋め込む、雪室の床に冷気の通る空間を作って下から冷やすなどの方法についても検討する。

#### ④実証試験装置の開発

汎用のプレハブ冷蔵庫の断熱壁を雪室用に改良して低コストの雪室を開発する。このため、雪室の壁の断熱性能を上げるプレハブ冷蔵庫用の壁の改良方法について調査した。薄い断熱材を張る方法と断熱塗料を塗る方法があり、グラスウール断熱材は非常に高密度で断熱性能の高いものがある。断熱塗料は塗るだけで良いので施工が簡単であり、耐候性も高く5年以上持つものがある。

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
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	1件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

#### [成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(4.3)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
①熱音響冷凍機の開発	熱音響原動機を2台直列に接続し、出力1.6kWの熱音響冷凍機を設計した。	より高性能な熱音響冷凍機を開発し、1kWの冷凍出力を維持しつつ製造コスト削減を目指す。	数値計算手法を確立しており、冷凍出力1kWは達成可能。
②太陽熱集熱装置の開発	太陽熱集熱管を扇形に配置し、4kWの熱を熱音響冷凍機に入熱する装置を設計した。	熱音響冷凍機の冷凍出力が1kWになるよう十分な熱を入熱する装置を開発する。熱損失を少なくし、製造コスト削減を目指す。	高性能な太陽熱集熱機が普及しており、十分な熱を入熱できる。開発を進めながらコスト低減をはかる。
③能動断熱技術の開発	冷気の当て方について、冷気を壁伝いにはわせる、直接雪山に吹きかける、居室から入ってくる暖まった空気を冷やす、など検討した。	実証試験を行い、断熱効果とコストを加味して最もトータルコストを削減可能な冷却方法を決定する。	シミュレーションの経験は豊富で雪に関する知見もあり達成可能。
④実証試験装置の開発	断熱材や断熱塗料について調査した。	実証試験を行い、雪室容積を35m <sup>3</sup> に減容しても夏季の冷房として利用できることを確認する。雪室導入コストを17.7%削減。	設計では35m <sup>3</sup> に減容しても夏季の冷房として利用可能。開発を進めながらコスト低減をはかる。

#### (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】

熱利用をより効果的に活用するため、省エネ性能判定プログラム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、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認し、適切な設備選定ができるようにすることを目的に、実証試験方法の検討し、実証試験に着手した。

##### 【項目別成果】

住宅や建築物の建設に際し、省エネ法に基づき住宅等の設計一次エネルギー消費量が、基準一次エネルギー消費量を上回らないようにするよう規定されている。この設計一次エネルギー消費量は、建築研究所が公開する「住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報」で「省エネ性能判定プログラム(判定プログラム)」を使って計算されるようになっているため、判定プログラムでの設備の省エネ性能の評価は導入検討に当たっての重要な指標となっている。

省エネ判定プログラムで算定される省エネ性能は比較的過小評価されるため、必要な省エネ性能を得るための太陽熱設備規模が大きくなり、イニシャルコストが高くなる傾向にある。

適切な設備導入のため性能評価技術を確認し、簡易シミュレーションツールの開発を行う上で必要な太陽熱システム運転データを取得するために、適切な実証試験方法を検討し、太陽熱システム機器を選定、試験に着手した。

表Ⅲ(4.4)-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
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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

##### [成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(4.4)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
実証実験	実施場所にて実証実験を実施中	全ての機種、期間について実証実験を実施する。簡易シミュレーションに必要なパラメーター及び算定式に必要なデータ取得を完了する。	実証実験中であり、最終目標に向けて着実に研究開発を進めているので、
実証結果の分析・解析	実証実験データ取得中	パラメーターの妥当性を評価し、簡易シミュレーションに反映するパラメーターを確定する。	順調に推移すれば成果は達成できる。
算定式の導出	データ分析・解析待ち	簡易シミュレーションツールにて一次エネルギー消費量等のシミュレーションに必要な算定式案を確立する。	
計算アルゴリズム構築	算定式の導出待ち	得られたパラメーター、算定式から他の設備等との整合を検討し、簡易シミュレーションツールのアルゴリズムを確立する。	
簡易シミュレーションツール開発	計算アルゴリズム構築待ち	簡易シミュレーションツールの開発を完了する。従来の設計方式と比べ、簡易シミュレーションツールを使用することでイニシャルコスト20%低減を実証する。	
詳細シミュレーション技術の確立	与条件の検討中	修正した詳細シミュレーションツールの精度について、実証実験のデータとの比較及び技術評価委員会の審議により詳細シミュレーション技術を確認する。簡易シミュレーションツールの妥当性を検証する。	目標に向けて検討中で順調に推移すれば成果は達成できる。
設計ツールの構築	与条件の検討中	詳細シミュレーションツールを応用し、導入検討者や設計者等が利用可能な設計ツールの開発を完了する。	



## (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 (5.1)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】

原料として含水率が90%程度である焼酎残渣を選定し、超臨界水ガス化装置の経済性を評価・精査した。焼酎残渣を用いてノータールガス化を実現するための昇温速度と生成固体物収率を解析し、昇温速度の増加による固体物収率の抑制が有効に作用することを確認した。ラジカル捕捉剤を添加する場合について焼酎残渣ガス化反応速度式を決定した。ラジカル捕捉剤の添加や原料供給速度向上によるタール閉塞抑制効果の有効性を確認した。

### 【項目別成果】

#### 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

原料として含水率が90%程度である焼酎残渣を選定し、超臨界水ガス化装置の経済性を評価・精査した。

経済性の精査項目は、「現状の焼酎残渣処理単価」、「焼酎メーカー(焼酎残渣発生量)の規模分布」、「超臨界水ガス化装置の処理規模毎の価格」であり、これらの情報をもとに焼酎メーカーにおける焼酎残渣発生量等に基づく費用対効果分析により経済性を評価した。

全国に343工場あると推定される焼酎工場のうち、焼酎残渣の発生量が把握できたのは56工場である。56工場の内、18工場(32%、焼酎残渣発生量の65%相当)において、10年以内に収益/費用 $\geq 1$ を上回り、利益が得られる結果となった。

#### 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

焼酎残渣を用いてノータールガス化を実現するための昇温速度の影響を確認した。予熱器の長さを変えて、昇温速度と生成固体物収率を解析した。ラジカル捕捉剤を添加していない場合、ガス化率は低め、固体物収率は高めとなるが、予熱器長さが0.45mの時に固体物収率が顕著に低下しており、600℃までの平均昇温速度が20K/s程度で昇温速度の増加による固体物収率の抑制が有効に作用することが確認された。

欧州バイオマス会議ではノータールガス化のコンセプトで直接液化におけるタール生成を抑制する類似の研究が行われており、本提案の手法が注目され、利用されていることを確認した。

#### ③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認

##### ③-1 ラボスケール試験

焼酎残渣のガス化反応速度式について、ラジカル捕捉剤を原料に添加した場合に、反応速度に関するアレニウスプロットから、ガス化反応速度定数の前指数項と活性化エネルギーは、それぞれ0.0524 /s、15.6kJ/molと決定された。

##### ③-2 パイロット試験

ラジカル捕捉剤を添加した場合でのガス化条件(反応温度、原料供給速度の変更、ラジカル捕捉剤をガス化原料へ直接混合添加するか熱交換器の高温部へ高圧注入するか)の追加方法の変更)を変えた試験を行った。

反応速度式を導出し、前指数項311 /s、活性化エネルギー72.6kJ/molを得た。また、ラジカル捕捉剤の添加や原料供給速度向上によるタール閉塞抑制効果の有効性を確認した。

この試験を実施するため、ラジカル捕捉剤高圧注入設備や高精度ガス流量計等を設置した。また、ラジカル捕捉剤を利用しない長期間の連続ガス化試験を行い、ラジカル捕捉剤の有効性を検証する比較対象とし検証した。また、実証機による試験の課題を早期に抽出するため芋焼酎残渣による試験を行った。

欧州バイオマス会議等において超臨界水ガス化に関する最新の研究情報を調査し、カールスルーエ技術研究所による下水汚泥の超臨界水ガス化研究の情報を得て本事業の参考とした。

#### ④実用化装置の設計

実用化装置の設計については、経済性の確立が可能となる処理量の決定と市場ニーズの処理量のリンクが重要となる。既に想定処理量により設計図案を制作済みであり、改造パイロットプラントによる実験結果に基づいた詳細設計を進める準備が完了している。

⑤実証装置の詳細設計、製造設置検討

中国電力に設置してあるパイロットプラントに反応器周りの流速増加と一部構造変更のための改造工事、長時間の連続運転が可能な装置への改造を行った。そのほかの改造工事である熱交換器の急速昇温実験用の改造は設計図まで終了している。これらの改造による実験結果を参考にし、実証装置の設計を進める準備が完了している。

表Ⅲ(5.1)-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	6件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	1件	1件	15件	1件	0件
H28FY	0件	0件	1件	1件	1件	2件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約) 平成28年7月31日現在。

[成果の最終目標の達成可能性]

表Ⅲ(5.1)-2 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	現状	最終目標	達成見通し
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	全国に343工場あるとされる焼酎工場の中で、焼酎残渣の発生量が把握できた56工場の内、18工場(32%、焼酎残渣発生量の65%相当)で利益が得られることを確認。	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	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%以下とした。	タール生成量を1%以下とする。	いくつかの条件では達成しており、十分に実現可能。
③焼酎残渣超臨界水ガス化特性の確認	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のタール生成率が10%以下の誤差で予測する。	反応速度式が確立したので、これを展開することで実現可能。
④実用化装置の設計	PID(Process Instrumentation Diagram)の作成と熱効率計算を行った。	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。	PIDの作成にあたり、最適化の方策が確認できており、実現可能。
⑤実証装置の設計検討・製造設置	実証装置製造を29年度以降として設計を進めている。	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。	実証装置の設計は進んでおり、製造、設置は十分に可能。
⑥焼酎残渣超臨界水ガス化プロセスの実証試験(参考)	ラボスケール試験及びパイロット試験によってラジカル補足剤の有効性を確認した。	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実施、タール生成量を2%以下とする。	急速昇温試験により更なるタール低減効果の確認も進めるので、成果は達成できる。

## IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

### IV.1 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

#### IV.1.1 事業全体の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

当該事業に係る「実用化・事業化」とは、研究開発において開発した再生可能エネルギー熱利用システムやポテンシャルマップ、シミュレーションツール等の評価技術が社会的利用（顧客への提供等）されることである。

開発技術の社会的利用への提供開始に向けての見通し及び取り組みは、以下のとおり。

#### (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採熱管理設の自動化については、計画通り進んでおり、新しい掘削機の開発により人件費等、掘削コストを大幅に削減できる見込み。掘削事業者とニーズを共有しており、掘削事業者が設備を購入する可能性は高い。

##### 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する。導入適地では、融雪システムのユーザーが多いため、導入が期待される。

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ベースで構築し使われやすいツールを目指し、建物の基本設計から実施設計まで使用されることが期待できる。

##### 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、導入ポテンシャルを単位kW当たりの井戸本数(掘削長)やW/m等できるだけ具体的な表記にするなど、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げ実用化の見通し。

地下水が豊富な地域における地下水熱利用のポテンシャル評価技術を開発し、オープンループ式の導入検討時に、確実に参照されるシステムを目指している。地下水熱利用を普及したい自治体が開発に参画しており、評価技術が開発されれば、利用が確実である。

##### 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、

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

雪氷熱では、都市除排雪をデータセンターの冷房に、またデータセンターの廃熱を栽培や養殖に活用するシステムの実証について着実な成果を上げている。北海道のホワイトデータセンター構想を企画する自治体の協力の下で推進しており、実用化の可能性は高い。

#### (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、再生可能エネルギー熱利用技術開発の普及のため、システム実用化時のユーザーや自治体などと協力体制を組み推進している。

掘削機開発については、掘削事業者を対象に見学会を開催しており、ユーザーからのアドバイスや現場のニーズを共有している。また、地中熱関係者が集まる展示会等で情報提供等に取り組んでおり、成果への関心がある事業者が複数いる。今後はアドバイスを研究開発に反映させ、実際に掘削試験を行い、課題抽出、改良することで実用化へつなげる。

帯水層蓄熱システムについて、地熱学会等で事業紹介するなど、積極的な情報提供に取り組んでいる。また、当該システムを普及させることを目的に、システム導入マニュアルを作成しているため実用化及び導入拡大が期待される。

・一般のユーザーにも分かりやすいポテンシャルマップ開発に向けた技術交流会を開催し、実用化に向けた導入地におけるポテンシャル表記方法の標準化に取り組んでいる。

各プロジェクトの実用化・事業化に向けた取り組みは「IV. 1. 2 研究開発テーマ毎の実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて」にて記載する。

### (3) 波及効果

熱利用ポテンシャルマップやシミュレーションツールの公開により再生可能エネルギー熱利用の認知度向上が期待される。

熱利用システム全体のパッケージ化が促進され、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ことが期待される。

また、雪氷冷熱エネルギー利用においては、都市除排雪を利活用する事例がなく、経済性に優れた雪山貯蔵による高効率熱供給システムは、積雪寒冷地において導入可能であり、都市除排雪を有効活用できれば、税金を投じている除排雪コストをエネルギーとして取り戻すことが可能となる。

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

### (1)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

事業者：東亜利根ボーリング

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、既に静的状態だが12dBの騒音低減の見通しが立った。平成28年7月末に新型機の仮組を完了し、研究開発後実用化の見込みである。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搭載し、30年度より国内外で販売を開始することを目指す。また、実現場のニーズを成果に反映させるため、掘削機ユーザーを対象に見学を実施しており、ユーザーからの実用化への期待も大きい。

実用化に向けて、平成28年度終了後の自社開発では、各地層に応じた熟練技術者の効率的な掘削機操作データの収集、各地層に応じた制御値の設定等を検討し、自動制御アプリケーションに反映させる必要がある。自動制御では、掘削箇所の地層データ取得と1箇所目の掘削データを基に、適切な掘削を行うことを前提としている。平成28年度終了後の自社開発では、機械学習を取り入れたアプリケーション開発に着手する予定である。

また、東日本大震災後、地中熱設備設置件数が前年比20%で増加し続けている。さらに、リニア中央新幹線整備計画、東京オリンピック開催、数多くの都市再生事業を背景に様々な掘削機の需要が増加していることから、さらなる市場規模拡大が期待できる。

#### (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

事業者：旭化成建材

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て施工店への技術指導を進め、工法施工の人材育成を行う。

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有する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。現状で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。

#### (1.3)地中熱利用要素技術の開発

事業者：ワイビーエム

佐賀大学

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地中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、エンドユーザー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。

また、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。小型の掘削機や地中熱専用掘削機は、株式会社ワイビーエムが事業終了後に量産機設計に入り、年間10台の販売予定を考えている。この販売台数は、現状の地中熱の導入件数と本事業によりコストダウンが進んだ場合の結果として予定しており、設備投資を行うことで生産能力も上げる予定である。

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。

### (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

事業者：守谷商会

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。実証試験により年間の運転データ取得、地下水散水量の最適化に取り組むことで、高効率で安価な地中熱システムの実用化が期待される。

研究開発終了後、営業基盤である長野県内で、本研究開発の成果を基に積極的な営業展開を実施する。本研究開発で実現する「地下水循環型地中採熱システム」の適地は、地下水の賦存量が比較的豊富でかつ、浸透性地盤を有する立地となる。このような地盤は内陸地に見られる扇状地や盆地に多く存在する。一方、大河川の河口近くに発達した沖積地盤には適さない場合が多いと考えられる。よって、前記の地盤が比較的多い長野県内でプロトタイプ設置の顧客需要を開拓し、自社の設計・施工での実用化を計画している。

## (2.2)共生の大地への地中蓄熱技術の開発

事業者：三谷セキサン  
福井大学

開発するビルと戸建て住宅向け熱源杭について、ボアホール価格性能比で設置費削減の見通しが得られた。この熱源杭は新たに量産化設備を必要とせず、既存のヒートポンプと組み合わせで普及展開できるので、ヒートポンプメーカーと連携して、事業化の検討を進める。

## (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

事業者：東京大学  
鹿島建設  
ゼネラルヒートポンプ工業

本研究開発において、要素機器の試作と性能試験から基本技術を確立できる見込みである。実用機の開発と実証試験を行い、実建物に導入するためのヒートポンプシステム設計仕様を策定して、研究開発終了後の実用化に向けた検討を進める。

開発システムは温熱負荷の大きい医療福祉施設に適用する事業化を検討しており、医療・保険衛生用途の建設市場は拡大が見込まれており、成果の実用化により高いシェアを獲得できることが期待される。

## (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

事業者：農研機構農村工学研究部門  
東北大学  
八千代エンジニアリング  
ジオシステム

流水熱利用熱交換器の開発成果について、浅層地下水が豊富な扇状地、農業用水などの流水熱利用に適した地域を導入適地マップにより選定しPRを行う。プロジェクト終了後は1件/年程度の受注を目指し、倍増を目標とする。

浅層地下水熱交換器の場合は、地下水位 GL-1m程度の地域を選定することが重要である。農業用水等の流水熱利用では、利用可能な地域の北限の明確化も課題である。これまで利用されてこなかった未利用熱源の利用が可能になる他ほか、不凍液不使用のヒートポンプ制御技術により、環境負荷低減が課題となる多様な熱源利用に波及することが期待できる。

また、本研究開発成果である導入適地評価手法やマッピング技術では、官(自治体)と民の双方での市場ニーズを想定しており、必要に応じて拡張(地域特性や熱利用実態等を反映)することで、事業展開が可能と考えている。官需は、開発成果である流水熱利用熱交換器に特化した導入適地評価マップの調査・作成の委託業務を主とする。民需は、デスクトップアプリを用いたより詳細な熱交換量等の情報提供を想定している。農業用水路の場合、施設管理者への適地マップ情報の提供を予定する。

さらに流水熱利用熱交換器は、従来の地中熱利用システムとの併用が可能であり、他の再生可能エネルギーとの併用を想定すると、その親和性は高いと言える。マッピング技術は、GIS ツールによる位置情報とマップ情報の組合せとなるため、他の再生可能エネルギー(太陽光発電ポテンシャルマップ等)との併記により、事業者がより合理的な再エネ選択が可能となる。

## (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

事業者：日建設計総合研究所  
名古屋市立大学

事業終了後には、日建設計総合研究所において、地中熱利用システムの採用検討を行う建物における地中熱利用システムを活用した場合の省エネルギー性能の予測シミュレーションや年間の最適運転パターンの予測などを実施するコンサル業務で本開発ツールを活用する。また、地中熱利用システムを導入した建物において、適切な運転が行われているかを検証するコンサル業務で本開発ツールを活用する。更に、グループ会社内において、地中熱利用システムを採用する際の設計支援ツールとして、本開発ツールを活用する。

## (2.6)都市インフラ活用型地中熱利用システムの開発

事業者：三菱マテリアルテクノ  
日本ピーマック  
秋田大学

都市部を中心とした温暖地で多数施工されるSMW工法による土留壁と、地中熱を組合せた「土留壁方式の開発」を活用する地中熱利用は、年間で28.4MWの導入に匹敵する規模のポテンシャルを有していると推算される。更に、システムの導入コストを20%削減できると、建物が密集している地域や地中熱利用が進んでいない温暖地でも、安価に地中熱が利用できると期待される。

一方、温暖地では寒冷地に比べ個別分散空調での地中熱導入事例が多く、用途によってはユニットごとに自動冷暖房運転が望まれている。これらに対応可能な「地中熱一体型エアコン」は、既におよそ3522馬力の販売実績を有する。この現行機種を高効率に改良し、運用コストで20%削減することは、個別分散空調での地中熱普及に大きく寄与するものである。

土留壁方式と地中熱一体型エアコンを連結し、最適制御による省エネ運転を実現するポンプユニットとして、補機類や制御盤を屋外仕様でパッケージング化することで、機械室を不要とし、現地施工の単純化、工期短縮を可能にする。

土留壁方式、地中熱一体型エアコン、ポンプユニットを実用化して組合せることで、導入コスト、運用コストを低減した地中熱利用システムを実現し、地中熱利用を普及拡大させることが可能になる。

## (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

事業者：北海道大学  
鉦研工業  
日伸テクノ  
イノアック住環境  
サンポット  
新日鉄住金エンジニアリング  
ジーエムラボ

地中熱交換器の削孔機・工法について、鉦研工業株式会社は開発を行っている周波数可変型パイプヘッド、スクリー付きインナーロッド、自動ロッド脱着装置を導入した新型機を完成させ、市場への導入を行う。株式会社日伸テクノは新型削孔機を最大限に活かす工法を開発し、これを地中熱ヒートポンプの導入時に実施する。

地中熱交換器と配管部材について、株式会社イノアック住環境は開発している扁平Uチューブ、Y字形状ブランチEF継手、樹脂製ヘッドを製品化した上で事業化を検討し、その検討結果を踏まえ、量産・販売を行うようにする。

地中熱ヒートポンプユニットについて、サンポット株式会社は開発を行っている60kW級冷暖房ヒートポンプユニット、30kW級給湯専用ヒートポンプユニットの事業化を検討し、その検討結果を踏まえ、量産・販売を行うようにする。

北海道大学、サンポット株式会社と新日鉄住金エンジニアリング株式会社は共同で開発している連結型制御システム・ハイブリッド地中熱ヒートポンプ制御ユニットについて、製品化を検討する。地中蓄熱を活用した地中熱利用熱回収ヒートポンプ制御システムについて、新日鉄住金エンジニアリング株式会社は適正案件への導入に向けて適用検討を行い、事業化を進める。

北海道大学、ジーエムラボ株式会社が開発しているWebブラウザで利用可能な設計・性能予測ツールとサイトレベル熱輸送解析ツールについて、ジーエムラボ株式会社で販売・維持管理を行える体制を確立する。北海道大学、ジーエムラボ株式会社、産業技術総合研究所(再委託先)は作成を行っている地盤地層データベース、地下水熱特性データベースおよび地中熱導入ポテンシャル評価マップについて、完成した地域より公開を順次進めるようにする。

## (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

事業者：日本地下水開発  
秋田大学  
産業技術総合研究所

本研究開発で進めている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型と比較し、井戸設置費用を大幅削減の目途が得られた。今後、実証試験を行い、高効率化(ランニングコスト削減)に向けた稼働パターンを確立して経済性を確保することで、実用化を目指す。

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。新築される高气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作成する導入マニュアルを活用し、日本国内のポ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

事業者：日本大学  
日商テクノ  
住環境設計室

事業期間が終了次第、市場で勝負できるプロダクトおよびサービスについては速やかに実用化をスタートさせ、低コスト化で魅力ある商品を目指した本格的なビジネスへと展開していく。

まずは主な提供事業者が集積する福島県さらには東北地方での実用化を進める。引き続き、ENEX2016で宣言した「浅部地中熱利用研究組合」を構成する企業を中核に、連携企業のビジネスネットワークを生かして全国各地での実用化導入、システム受注を進めていく。現時点で連携企業は、共同研究開発パートナーから技術支援を仰ぐ企業まで含め全国で34社、ほか事業を直接間接に支援頂く自治体、金融機関なども連携パートナーである。

提供するプロダクトは、浅部地中熱利用システム一式であり、一般住宅向けの基本システム(構成例：二重管式熱交換器+5kWヒートポンプ+FCU室内機3台)をベースにして、ニーズに合わせて床暖房、融雪および給湯などのオプションを提供していくことを想定している。

我が国のエネルギー事情は依然不透明である。石油ガス分野の投機的な因子だけでなく世界情勢不安が一般市民への安定なエネルギー供給へ大きな懸念と影響を及ぼしている。そのため地産地消でのエネルギー利用は我が国喫緊の課題であり、大きな産業集積のない地域を活性化するためには必須である。地中熱は我が国の多くの地域で利用可能であり、その事業化は地域企業と大



学との連携で進めることが可能との見通しが見えている。

### (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

#### (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

事業者：応用地質  
地圏環境テクノロジー

地中熱ヒートポンプシステム導入費用の内、約半分が地中熱交換器である。地中熱ポテンシャルマップを活用することによる適地選定並びに適切な地中熱交換機本数の設定ができれば、導入費用を低減することが可能となる。地中熱利用普及にあたり最大の障壁は導入費用が高額であることであり、コストを低減させることでさらに普及が進むものと考えられる。地中熱利用は省エネルギー技術であり、普及が進むことによって地球温暖化の緩和にも貢献できる。

本研究開発において、地域ごとのモデル作成・ポテンシャルマップの試作を実施中であり、マップの信頼性検証をもってエンドユーザーの実用に耐える見込みである。また、事業化の一環としてWebによる情報配信サービスも検討しており、これまでにマップ作成の自動処理ツールの効率的な処理手順を検討してきた。本研究開発は、実用化の目処が立っており、平成29年度～平成30年度は全国主要都市のマップの整備を進め、平成31年度からそれらの主要情報をWeb公開することで、容易に取得可能な情報サービスを提供する事業化を目指す。

環境省による国内における地中熱利用の普及件数は2013年度で約250件であり、ここ数年の普及件数の伸び率は20%/年となっている。このままの伸び率で普及が進むと、2020年には年間1000件に到達することが予想される。

地中熱を取り巻く社会的背景も市場を形成しやすい環境になりつつあり、事業主のニーズにマッチングすることから、事業として十分成立するものと考えている。最近の動向として、地方自治体による地中熱ポテンシャルマップ作成の委託事業や、建築物省エネ法の基準に適合した省エネ設計、ハウスメーカーが販売する住宅の付加価値としての地中熱利用といったニーズがあり、地中熱ポテンシャルマップ自体の市場も形成されつつある。

#### (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

事業者：岐阜大学  
東邦地水  
テイコク

本研究開発の成果は、研究開発期間中から実用化に向けた準備を進め、研究開発が終了する平成31年度に中部地方を中心とする温暖地域において実用化を図る予定である。逆洗運転技術は、東邦地水株式会社が担当するオープンループ方式の設備の施工において導入を進め、ポテンシャル評価手法は、株式会社テイコクが長良川扇状地以外の地域におけるオープンループ方式の導入可能性調査を実施する際に活用される予定である。

地中熱利用システムの累積設置件数は近年、右肩上がりの増加を続けており、この傾向が継続すると予想され、本研究開発により2025年のオープンループ方式の累積設置件数は240件分が増加すると見込まれる。逆洗運転技術の導入に当たっては、設置地点の地質・地下水状況がよく理解されていることが重要であり、各地域での導入可能性調査が順調に進むことが必要となる。この点が問題なければ、クローズドループ方式のみならずオープンループ方式が地中熱利用システムの選択肢として活用される機会が増加すると予想される。

#### (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

事業者：地域地盤環境研究所  
環境総合テクノス  
岡山大学

大阪市が作成を進めた市域内の地下水、帯水層(地中熱)の資源量分布を評価するためのポテンシャルマップにおいては、市内中心部には厚い帯水層があって利用可能とされる。しかし、帯水層は透水係数や粘土の含有率の影響を受ける可能性があり、実測データが少ないことから地下水熱利用に対する事業リスクとなっている。

本研究開発で進めている観測井の工法を確立することで、迅速に掘削、構築が可能となり、地下水観測井を低コストに実用化することが見込まれる。この観測井を用いる地下水の管理・観測システムと事業性予測評価システムが実用化されることで、地下水の長期利用に適する帯水層を

選択でき、地下水熱利用システムの事業性検討が容易となるので、地下水が豊富でかつ熱需要の高い建築物が地上に集中する大都市圏において、安心、安全な地下水熱利用システムの普及拡大が期待される。

#### (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

##### (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

事業者：総合設備コンサルタント  
大阪市立大学

本研究開発で進めている温泉熱と温泉排湯利用のハイブリッド方式地域熱源水ネットワークシステムは、集中プラント型の従来システムと比較し、導入コストを低減できる見込みであり、システムの実用化・普及促進を目指す。システムユーザとなる温泉組合や地方公共団体、民間企業などの関係者が参加するいくつかのシナリオに合わせて、事業スキームの検討を進める。本開発システムは、集中プラント型に比べ、熱源となる源泉が点在する場合にも適用可能であり、排湯熱も利用可能な点が優位である。本開発終了後、平成 29 年度以降、個別の技術について実用化検討を進め、各開発担当で低価格化、実用化のため製品仕様等を検討する。

市場規模・波及効果としては、日本全国の観光協会・温泉協会組合が合計 272 組合あり、この各地に導入の見込みがあると考えられる。熱交換器等の個別技術は単独施設への導入も見込める。温泉施設の多くはボイラーを用いており、272 組合のうち 10%に本システムを導入できたとすると、その燃料消費が削減され、約 460 百万円/年の燃料費の削減効果がある。また、一次エネルギー、CO<sub>2</sub>削減効果があり、環境面での社会的貢献が可能である。

##### (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

事業者：雪屋媚山商店  
共同通信デジタル  
NHN テコラス  
環境技術センター  
ズコーシャ  
室蘭工業大学

目標としているデータセンターのエネルギー効率を示す PUE について目標を達成見通しであり、世界的にもトップクラスの水準が期待される。除排雪を提供する自治体やデータセンター事業者と共同で開発を行っており、実用化に向けた協力体制が整っており、研究開発終了後の早い段階での事業化が見込まれる。さらに雪冷熱・産業廃熱を利用した相互供給型事業モデルの実現は、他に例がなく雪国への展開が見込める。

##### (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

事業者：新潟県工業技術総合研究所  
東海大学  
新潟機器

本研究開発の成果は、太陽熱を利用した熱音響冷凍機を使った低価格の雪冷房装置として販売する。また、1年を通して利用できる雪冷蔵庫として販売する。熱音響冷凍機の熱源は、太陽熱だけでなく工場の未利用熱も活用できるため、鍛造や鋳物の工場炉から出る熱を使ったスポットクーラに改造して販売する。炉を使う工場では夏場の作業環境が劣悪なために需要があり、集熱機も簡単な構造になるため、より低価格で販売できる。

雪冷房装置の市場規模は非常に小さいが、熱音響冷凍機を付けることで必要な雪の量を減らせるため豪雪地帯でなくても導入可能となり、利用地域が広がり市場拡大が期待できる。これが、従来の雪室を使う雪冷房との大きな違いである。また、業務用冷蔵庫の市場規模は2500億円程度であり、雪で熟成させた食品の販売に取り組む企業が増えている。さらに、近年データセンターの冷却装置としての利用も進んでいる。研究終了5年後には、雪冷房と雪冷蔵庫合計の売上げ15億円を目指す

事業化については、研究終了後、2年程度耐久性試験に取り組み、熱音響冷凍機の出力アップや、製造コストを下げる改良に取り組む。また、新潟県が作成した「雪冷熱エネルギー住宅建築のためのガイドライン」に沿って、扉や送風管などの改良にも取り組み、導入コストを削減して

雪冷房の普及を促進する。

雪氷は貴重なエネルギー源で、豪雪地帯の貯蔵量ベースの潜在貯雪量は5300万トンで、原油換算にすると51万キロリットル、CO<sub>2</sub>削減量は136万トンになる。本事業で雪冷房導入コストを削減し、雪氷エネルギーの活用を促進させるとともに、雪冷房や雪冷蔵庫の市場を大きくして、これらを設置する人材を育成する。

#### (4.4)太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発

事業者：ソーラーシステム振興協会  
名城大学  
建築研究所

本研究開発で得られた知見を基に、判定プログラムの見直しが行われることにより、太陽熱集熱システムの選定自由度が増すと共に、最適なより小型の機器選定が可能となり、システム導入コストの低減に寄与するものとなる。これにより事業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、太陽熱導入加速の一助となることによって更なるコストダウンが進展することが期待される。実用化(判定プログラムの見直し)に当たっては、建築研究所、再委託先である建築環境・省エネルギー機構、東京大学と協力して実施する。

また、最適化手法(シミュレーション技術)開発によって設計ツールが構築されれば、広く導入検討者や設計者などの利用が期待され、太陽熱集熱システムの導入検討の基盤が整うことになり、前記と併せてシステム導入が進むことが期待される。設計ツールは、名城大学との連携の元に、ソーラーシステム振興協会を通じてツール利用を訴求する。

#### (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

##### (5.1)食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生

事業者：広島大学  
東洋高压  
中国電力

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、含水率が高いのために熱利用を妨げとなっていたが、超臨界水中で食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。

P 1 4 0 1 7

## 「再生可能エネルギー熱利用技術開発」基本計画

新エネルギー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ① 政策的な重要性

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 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「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すると共に、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10%とする目標に寄与する熱利用の普及した社会の実現に資する。

### 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等の方向性についての検討及び推進
- ・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
- ・普及課題に対し具体的な方策、目標を明らかにするための調査事業等の実施

### (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

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、「独立行政法人新エネルギー・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、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第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。

## (別紙) 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、環境に対するいっ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低い。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、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。

## 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。



## 特許論文リスト (平成 28 年 7 月 31 日現在)

### 1.事業全体の論文・外部発表等の件数

#### 【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
H26FY	1件	0件	0件	1件	0件	34件	24件	8件
H27FY	2件	0件	0件	9件	10件	94件	34件	18件
H28FY	0件	0件	1件	6件	12件	19件	7件	8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)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	3件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	1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	伊藤春彦	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	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

#### (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	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		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
3	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	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		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
5	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	2016NEW環境展	平成28 年5月

(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

【特許】

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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】

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

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1					

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者	所属	タイトル	誌名、ページ番号	発表年月
1					

(c)その他(展示会への出展など)

番号	発表者	所属	タイトル	名称	発表年月
1					

### (3)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	1件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	2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	(株)ワイ ビーエム	特願 2014- 263688	国内	2014年 12月25日	出願中	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

(※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, 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
4	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

#### 【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	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
2	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
3	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
4	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
5	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

**(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	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	川崎賢一郎	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)地中熱利用トータルシステムの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	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	5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

【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	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	(一社)長野県建築士会 実証プラント見学会	平成 27 年 1 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研究開発	平成 26 年度 地中熱利用促進協議会 実証プラント見学会	平成 27 年 2 月
4	富樫聡	八千代エンジニアリング	水・熱連成解析による地下水循環型地中熱採熱システムの性能評価	日本地下水学会 平成 27 年春季講演会	平成 27 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	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

(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

(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 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	1件	5件	3件	0件
H28FY		0件	0件	0件	0件	2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	宮本重信,永井二郎,建石豊,橋詰善光,西垣誠	福井大学, サンケン試験コンサルタント, 三谷セキサン, 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 平成 27 年春季講演会 予稿集	無	平成 27 年 5 月
2	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, コロナ	住宅用地中熱Uチューブの開発 その1 施工法	平成 28 年度日本建築学会大会学術講演会 梗概集	無	平成 28 年 8 月
3	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, コロナ	住宅基礎工法を利用した地中熱交換杭の開発実測による解析の検証	平成 28 年度日本建築学会大会学術講演会 梗概集	無	平成 28 年 8 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	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, 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	平成 27 年 3 月
2	宮本重信,建石豊,橋詰善光	福井大学, サンケン試験コンサルタント, 三谷セキサン	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	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, 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	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, サンケン試験コンサルタント, 三谷セキサン, 岡山大学	浅層悪水質地下水の循環熱利用に関する研究	日本地下水学会年次講演会	平成 27 年 5 月
5	宮本重信,橋詰善光	福井大学, 三谷セキサン	共生の大地への地中蓄熱技術の開発	NEDO 新エネルギー成果報告会	平成 27 年 10 月
6	宮本重信,橋詰善光	福井大学, 三谷セキサン	共生の大地への地中蓄熱技術の開発	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
7	宮本重信,橋詰善光,佐々木貴史,上岳彦,上田真典	福井大学, 三谷セキサン, 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	平成 28 年 3 月

8	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, 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	平成 28 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	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	日本経済新聞	平成 27 年 7 月
2				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					



(6)地中熱利用トータルシステムの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	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	2件	2件	0件
H27FY		2件	0件	0件	0件	5件	7件	1件	0件
H28FY		0件	0件	0件	0件	7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	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

(※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	日野俊之	東京大学	ヘリカル型地中熱交換器用の空穴掘削試験	平成27年度日本建築学会大会	無	平成27年9月
2	大岡龍三	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1報)	平成27年度空気調和・衛生工学会大会	無	平成27年9月
3	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2報)	平成27年度空気調和・衛生工学会大会	無	平成27年9月
4	日野俊之	東京大学	中深度の地中熱を利用するヘリカル熱交換器の開発	平成27年度空気調和・衛生工学会大会	無	平成27年9月
5	日野俊之、大岡龍三	東京大学	土壌蓄熱機能を有する地中熱利用ヒートポンプシステムの開発	第50回空気調和・冷凍連合講演会論文集	無	平成28年2月
6	日野俊之、大岡龍三	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学術講演会研究発表梗概集	無	平成28年3月
7	大岡龍三、崔元準、池田伸太郎、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1	平成28年度日本建築学会大会学術講演会研究発表梗概集	無	平成28年3月
8	大岡龍三、崔元準、池田伸太郎、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学術講演会研究発表梗概集	無	平成28年3月
9	日野俊之、大岡龍三、崔元準	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・衛生工学会大会学術講演論文集	無	平成28年5月
10	大岡龍三、崔元準、池田伸太郎、増田正夫、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・衛生工学会大会学術講演論文集	無	平成28年5月

11	塩谷正樹, 小野永吉, 柴芳郎, 藤井義久	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 生工学会大会学術講演論 文集	無	平成28年 5月
12	小野永吉,三 浦克弘,市川 尚義,塩谷正 樹,藤井義久	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	無	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	日野俊之	東京大学	ヘリカル型地中熱交換器の開発へ 向けた空穴掘削試験	第4回地下熱利用ヒート ポンプシステム研究会	平成27年 3月
2	柴芳郎	ゼネラルヒー トポンプ工業	新製品と開発について	第4回地下熱利用ヒート ポンプシステム研究会	平成27年 3月
3	日野俊之	東京大学	ヘリカル型地中熱交換器用の空穴 掘削試験	平成27年度日本建築学 会大会	平成27年 9月
4	大岡龍三	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1報)	平成27年度空気調和・ 衛生工学会大会	平成27年 9月
5	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2報)	平成27年度空気調和・ 衛生工学会大会	平成27年 9月
6	日野俊之	東京大学	中深度の地中熱を利用するヘリカ ル熱交換器の開発	平成27年度空気調和・ 衛生工学会大会	平成27年 9月
7	柴芳郎	ゼネラルヒー トポンプ工業	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	第2回地下熱利用とヒー トポンプシステム研究会	平成27年 10月
8	日野俊之	東京大学	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	第2回地下熱利用とヒー トポンプシステム研究会	平成27年 10月
9	日野俊之	東京大学	地中熱と土壌蓄熱を併用する水 ループヒートポンプシステムの開発	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
10	日野俊之	東京大学	土壌蓄熱機能を有する地中熱利 用ヒートポンプシステムの開発	第50回空気調和・冷凍 連合講演会	平成28年 4月
11	日野俊之	東京大学	再生可能エネルギー熱利用シス テム	東大駒場リサーチキャン パス公開2016 東京大 学生産技術研究所公開	平成28年 6月
12	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 に関する検討	東大駒場リサーチキャン パス公開2016 東京大 学生産技術研究所公開	平成28年 6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	柴芳郎	ゼネラルヒー トポンプ工業	地中熱・排熱利用など HP 多彩に	空調タイムス	平成28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					

(7)地中熱利用トータルシステムの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】

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	1件
H27FY		0件	0件	0件	0件	0件	8件	0件	2件
H28FY		0件	0件	0件	0件	0件	0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						

【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	吉田広人 富樫聡 岩本淳 高橋努 高杉真司 館野正之	八千代エンジニアリング 八千代エンジニアリング 八千代エンジニアリング 八千代エンジニアリング ジオシステム 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 平成27年春季 講演会	平成27年 5月23日
2	Yamamoto,A. Kimura,S. Komatsu,N. Kiwata,T. Kono,T. Goto,M.	金沢大学 金沢大学 金沢大学 金沢大学 金沢大学 農研機構農工研	Heat Transfer to a Sheet- type Exchanger placed in Running Water Flows	The 26th International Symposium on Transport Phenomena	平成27年 9月28日
3	後藤真宏 高杉真司 館野正之 小間憲彦 木村繁男 小松信義	農研機構農工研 ジオシステム ジオシステム ジオシステム 金沢大学 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年別府 大会一般講演	平成27年 10月22日
4	山本淳司 木村繁男 小松信義 木綿隆弘 河野孝昭 後藤真宏	金沢大学 金沢大学 金沢大学 金沢大学 金沢大学 農研機構農工研	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年学術 講演会	平成27年 10月21日
5	館野正之 高杉真司	ジオシステム 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年別府 大会一般講演	平成27年 10月21日
6	小間憲彦 高杉真司 館野正之 後藤真宏 長谷川史彦 前田桂史 新堀雄一	ジオシステム ジオシステム ジオシステム 農研機構農工研 東北大学 東北大学 東北大学	地下水流動地盤内設置型熱 交換性能試験結果	日本地熱学会 平成27年別府 大会一般講演	平成27年 10月22日

7	富樫聡 岩本淳 吉田広人 高橋努	八千代エンジニアリング 八千代エンジニアリング 八千代エンジニアリング 八千代エンジニアリング	Development of a Simple and quantitative Evaluation Technique for the Potential of Unused Thermal Energy	世界工学会議 2015	平成 27 年 12 月 1 日
8	山本淳司 木村繁男 小松信義 木綿隆弘 河野孝昭 後藤眞宏	金沢大学 金沢大学 金沢大学 金沢大学 金沢大学 農研機構農工研	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	平成 28 年 3 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
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	小間憲彦	ジオシステム	地中熱・流水熱利用型クロージドシステム技術開発紹介	ENEX2015 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 27 年 1 月
2	小間憲彦	ジオシステム	地中熱・流水熱利用型クロージドシステム技術開発紹介	環境展 2015 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 27 年 5 月
3	小間憲彦	ジオシステム	地中熱・流水熱利用型クロージドシステム技術開発紹介	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
4	ジオシステム		地中熱・流水熱利用型クロージドシステム技術開発紹介	環境展 2016 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 5 月
5	富樫聡 吉田広人 岩本淳	八千代エンジニアリング	地中熱・流水熱利用型熱交換器導入適地マップ紹介	環境展 2016 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 5 月

(8)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】

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

【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					

(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 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】

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

【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					

(10)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 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

【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	10件	0件	0件
H27FY		0件	0件	0件	2件	0件	27件	0件	2件
H28FY		0件	0件	0件	0件	0件	0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							

【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 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 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

【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	佐藤隆次	サンポット	地中熱ヒートポンプの取り組みについて(製品開発・導入事例紹介)	NPO 法人地下水・地下熱資源強化活用研究会 第1回 AGREA 技術交流会	平成 26 年 12 月
2	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
3	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
4	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	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	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
6	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第12回研究発表会	平成27年3月
7	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
8	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
9	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
10	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
11	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
12	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
13	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
14	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
15	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
16	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



17	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 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
18	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 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
19	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 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
20	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 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
21	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 回地下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 回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 27 年 10 月
23	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
24	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
25	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
26	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
27	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
28	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
29	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
30	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
31	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
32	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

33	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
34	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 回地中熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 28 年 3 月
35	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 回地中熱利用とヒートポンプシステム研究会	平成 28 年 3 月
36	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
37	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

**(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

**(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	ENEX2016 第 40 回地球環境とエネルギーの調和展	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

(11)地中熱利用トータルシステムの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効率化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】

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	7件	2件	0件
H27FY	0件	0件	0件	2件	2件	10件	2件	1件
H28FY	0件	0件	0件	1件	0件	0件	1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	Shrestha, G., Uchida, Y., Yoshioka, M., Fujii, H., Ioka, S.	産業技術総合研究所	Assessment of development potential of ground-coupled heat pump system in Tsugaru Plain, Japan.	Renewable Energy, vol.76, (p.249 - 257), 2015	有	平成 27 年 1 月
2	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
3	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
4	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
5	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(4), 133-141, 2015	有	平成 27 年 12 月
6	藤井光,小助川洋幸,ハティファラビ,サイドジャリナスラバティ	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(2),2016	有	平成 28 年 4 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	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	Shrestha ,G.	産業技術総合研究所	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

4	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
5	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ー研究開発の概要ー	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
6	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
7	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
8	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
9	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
10	Shrestha, G.	産業技術総合研究所	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
11	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
12	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
13	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
14	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
15	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
16	Shrestha, G.	産業技術総合研究所	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
17	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 29 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

**(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

(12)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】

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	4件	2件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	8件	15件	8件
H28FY	0件	0件	0件	3件	0件	6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	M.Oguma, S.Funabiki and M.Endo	日本 大学	Evaluation of Measurement Accuracy of Underground Thermometers Using Steel-pipe piles	J. of Energy and Power Engineering	有	平成 28 年 7 月
2	小熊正人、 遠藤央	日本 大学	鋼管利用型温度計の開発	J. of Thermal Science and Technology	有	平成 28 年 4 月 (投稿)
3	A.Funabiki and M. Oguma	日本 大学	Effects of Groundwater Flow on a Ground Source Heat Pump System	ASME J. Thermal Science and Engineering Applications	有	平成 28 年 6 月 (投稿)

【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	A.Funabiki	日本大学	OPTIMUM HEATING PATTERN OF A GROUND SOURCE HEAT REFERENCE MAP	ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability	平成 27 年 6 月 29 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	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

10	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
11	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
12	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
13	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
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	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
16	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

### (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	廃校で地中熱利用実証試験	福島民友社	平成 26 年 11 月
2	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
3	柿崎隆夫	日本大学	日大と再生エネ協定	日本経済新聞社	平成 26 年 11 月
4	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
5	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
6	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
7	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
8	柿崎隆夫	日本大学	地中熱利用で葛尾支援	福島民友	平成 27 年 5 月
9	広報部	郡山市	浅部地中熱利用システム実証実験	広報こおりやま 6 月号	平成 27 年 6 月
10	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	広報葛尾 6 月号	平成 27 年 6 月
11	小熊正人	日本大学	住宅に地中熱、実験始動	日本経済新聞	平成 27 年 8 月
12	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
13	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
14	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
15	船引彩子	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	GIS NEXT 第 53 号	平成 27 年 10 月
16	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

17	小熊正人 船引彩子	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
18	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
19	柿崎隆夫	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	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
21	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

(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
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
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
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	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
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
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
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
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
10	浅部地中熱利用研究組合	日本大学	浅部地中熱利用	ENEX2016	平成 28 年 1 月
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)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地中熱ポテンシャルデータベースの研究開発

【件数・内訳】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読 付き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
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	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	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
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地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	多田和広 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

(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					

(14)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	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	0件	3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						

【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

(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

(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

(15)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】

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

【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					

(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					

(16)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	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	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	大森雅貴、北野宏貴、三毛正仁、澤部孝一、鍋島美奈子、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	大森雅貴、北野宏貴、三毛正仁、澤部孝一、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	柿田祐佑、鍋島美奈子、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	康尚義、大森雅貴、三毛正仁、澤部孝一、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	大森雅貴、三毛正仁、澤部孝一、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

(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					

(17)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	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	11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	0件	1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

【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

(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	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	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
13	本間 弘達	雪屋媚山商店	北海道で進む「雪でサーバ冷却」	日経ビジネス	平成 27年 7月 20日
14	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
15	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
16	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
17	土屋 貴久	美唄市	雪でサーバ冷やせ！北海道美唄市など	日刊工業新聞	平成 27年 10月 26日
18	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
19	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
20	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
21	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
22	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
23	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
24	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
25	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

(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	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

(18)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 太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発

【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
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	1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	大野宏	新潟県工業技術 総合研究所	熱音響機関技術に関 する調査研究	工業技術研究報告書(新潟 県工業技術総合研究所)	無	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	発表年月日
1	大野宏	新潟県工業技術 総合研究所	高出力の熱音響エンジ ンの開発	平成 28 年度 新潟県工業技術 総合研究所 研究成果発表会	平成 28 年 6 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					

(19)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】

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

【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					

(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					



(20)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	0件	0件	6件	0件	0件
H27FY	0件	0件	0件	1件	1件	15件	1件	0件
H28FY	0件	0件	1件	1件	1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	中国電力・広島大学・東洋高压・中電プラント	PCT/JP2016/069295	PCT	2016年 6月29日	出願 中	気液分離器およびそれを用いた超臨界水ガス化システム	和田泰孝, 中村昭史, 松村幸彦, 野口琢史, 川井良文

(※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	Nattacha Paksung; Yukihiro Matsumura	広島大学	Decomposition of Xylose in Sub-and Supercritical Water	Ind. Eng. Chem. Res., 54 (31), pp.7604-7613	有	平成 27 年 7 月
2	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	日本伝熱学会学術賞を受賞して	伝熱, Vol. 54(228), p.5	無	平成 27 年 7 月
3	Soichi Hirota, Shuhei Inoue, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Yasutaka Wada, Takashi Noguchi, and Yukihiro Matsumura	広島大学	Inhibition of char deposition using a particle bed in heating section of supercritical water gasification	Korean J. Chem.Eng. -Vol. 33, No. 4, pp. 1261-1266	有	平成 28 年 4 月
4	松村幸彦	広島大学	超臨界水を用いたバイオマス有効利用プロセスの開発	生物工学会誌 第 94 巻 7 号	無	平成 28 年 7 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	Yusuke Takase, Yukihiro Matsumura	広島大学	Effect of formic acid on supercritical water gasification of guaiacol	The 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology	Dec. 22-23, 2014,
2	Yasutaka Wada, Akifumi Nakamura, Keiji Oyama, Ichiro Uchiyama, Naohiko Taniguchi, Haruhito Kubota, Yukihiro Matsumura, Takashi Noguchi, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai	中国電力	Fundamental study of reusing activated carbon catalyst in supercritical water gasification for the shochu (Japanese popular distilled liquor) residue treatment business	The 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology	Dec. 22-23, 2014
3	Thachanan Samanmulya, Yukihiro Matsumura	広島大学	Supercritical water gasification characteristics of isoleucine	2nd Asian Conference on Biomass Science	Jan. 13, 2015,

4	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	広島大学 他	焼酎残渣の超臨界水ガス化に関する反応工学的検討	第10回 バイオマス科学会議	平成27年 1月14日
5	Thachanan Samanmulya, 松村幸彦	広島大学	Gasification characteristics of phenylalanine in supercritical water	第10回 バイオマス科学会議	平成27年 1月14日
6	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	広島大学 他	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	第10回 バイオマス科学会議	平成27年 1月14日
7	Yasutaka Wada, Akifumi Nakamura, Yukihiko Matsumura, Takashi Noguchi, Takahito Inoue	中国電力	The Creation of Renewable Energy by Supercritical Water Gasification with Food Waste	23rd European Biomass Conference and Exhibition (EU BC&E2015)	June 1-4, 2015
8	Y. Matsumura, S. Inoue, P. Changsuwan, Y. Akeyama, T. Inoue, Y. Kawai, T. Noguchi, H. Tanigawa	広島大学	Gasification Characteristics of Solid And Liquid Components of Shochu (Japanese Distilled Liquor) Residue in Supercritical Water	23rd European Biomass Conference and Exhibition (EU BC&E2015)	June 1-4, 2015
9	Yoshiki Akeyama, Shuhei Inoue, Yukihiko Matsumura, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Haruhito Kubota, Takashi Noguchi	広島大学	Determination of gasification rate for supercritical water gasification of shochu (Japanese distilled liquor) residue	23rd European Biomass Conference and Exhibition (EU BC&E2015)	June 1-4, 2015
10	Yusuke Takase, Shuhei Inoue, Yukihiko Matsumura, Takahito Inoue, Yoshifumi Kawai, Haruhito Kubota, Takashi Noguchi	広島大学	Suppression of tarry material production in supercritical water by adding organic acids	23rd European Biomass Conference and Exhibition (EU BC&E2015)	June 1-4, 2015
11	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	中国電力	食品廃棄物(焼酎残渣)の超臨界水ガス化による再生可能熱創生	第24回 日本エネルギー学会 大会	平成27年 8月3日
12	中島和希, 井上陽仁, 縄田大輔, 野口琢史, 松村幸彦, 和田泰孝	復建調査設計	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	第24回 日本エネルギー学会 大会	平成27年 8月3日
13	Y. Akeyama, S. Inoue, T. Inoue, Y. Kawai, T. Noguchi, H. Tanigawa, Y. Matsumura	広島大学	Supercritical water gasification of water soluble components in barley shochu residue (Japanese Distilled Liquor)	3rd Asian Conference on Biomass Science	Jan. 19, 2016
14	P. Changkiendee, S. Inoue, T. Inoue, Y. Kawai, T. Noguchi, H. Tanigawa, Y. Matsumura	広島大学	Effect of heating rate on supercritical water gasification of shochu residue	3rd Asian Conference on Biomass Science	Jan. 19, 2016
15	Y. WADA, A. Nakamura, H. Tanigawa, K. Oyama, Y. Oouti, Y. Matsumura, T. Noguchi, Y. Kawai	中国電力	Effect of heating rate on supercritical water gasification of shochu residue	3rd Asian Conference on Biomass Science	Jan. 19, 2016
16	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	中国電力 他	食品廃棄物の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生	第11回 バイオマス科学会議	平成28年 1月20日
17	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	広島大学 他	麦焼酎残渣の超臨界水ガス化反応機構	第11回 バイオマス科学会議	平成28年 1月20日

18	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	広島大学	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	第11回バイオマス科学会議	平成28年1月20日
19	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	広島大学	焼酎残渣の超臨界水ガス化に及ぼす有機酸の添加効果	第11回バイオマス科学会議	平成28年1月20日
20	和田泰孝	中国電力	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	平成28年3月2日
21	和田泰孝	中国電力	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」	平成28年3月8日
22	Yukihiko MATSUMURA	広島大学	Gasification Characteristics of Solid and Liquid Components of Shochu (Japanese Distilled Liquor) Residue in Supercritical Water	24th European Biomass Conference and Exhibition (EU BC&E2016)	June 8, 2016
23	Yasutaka WADA	中国電力	Weekday Continuous Gasification Test for Supercritical Water Gasification Treatment Business	24th European Biomass Conference and Exhibition (EU BC&E2016)	June 8, 2016

**(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	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	バイオマスの超臨界水ガス化に関する熱工学	HKT バイオマス情報 (2016.2)	平成28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					

### 3.NEDO の論文・外部発表等の件数(件数は1ページの表に積算していない)

#### 【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	3件	1件	0件
H27FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件	0件	0件
H28FY	0件	0件	0件	0件	0件	1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)

#### 【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	高橋 正樹	NEDO	再生可能エネルギー熱の普及拡大に向けた技術開発の取組	第34回エネルギー・資源学会研究発表会	平成 26 年 6 月
2	生田目修志	NEDO	再生可能エネルギー熱利用の技術開発について	第9回再生可能エネルギー世界展示会セミナー	平成 26 年 8 月
3	生田目修志	NEDO	NEDO 新エネルギー部熱利用グループにおける技術開発の取組み	NEDO新エネルギー部2014年度成果報告会	平成 26 年 9 月
4	村上 慶	NEDO	再生可能エネルギー熱利用の技術開発について	第10回再生可能エネルギー世界展示会セミナー	平成 27 年 7 月
5	生田目修志	NEDO	再生可能エネルギー熱利用技術開発事業と地中熱利用システム開発	平成27年度地熱学会オーガナイズドセッション	平成 27 年 10 月
6	生田目修志	NEDO	NEDO 新エネルギー部熱利用グループにおける技術開発の取組み	NEDO新エネルギー部平成27年度成果報告会	平成 27 年 10 月
7	井出本 穰	NEDO	再生可能エネルギー熱利用の技術開発について	第11回再生可能エネルギー世界展示会セミナー	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	生田目修志	NEDO	再生可能エネルギー熱利用技術開発事業より 導入・運用コストの2割低減をめざして	地球温暖化、24(日報ビジネス株式会社)	平成 26 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					