

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

ISSN 1344-8692 Vol. 60, No. 251
2021. 4

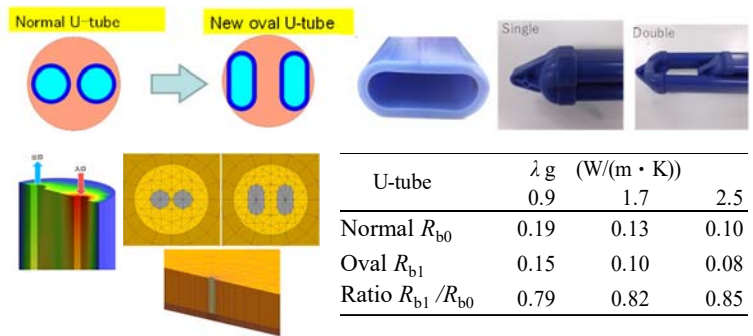
Thermal Science and Engineering

ISSN 0918-9963 Vol. 29, No. 2
2021. 4

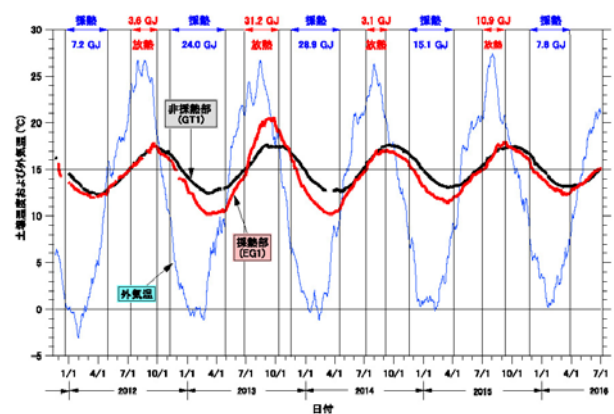
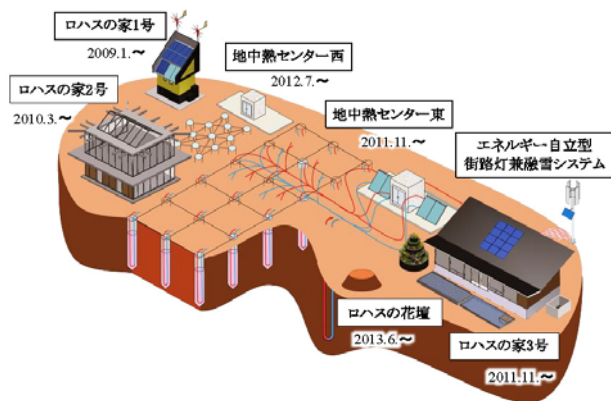
HTSJ

◆特集：地中熱の利活用最前線

図に示すような扁平管を使用することで同じ径のボアホールでもワンサイズ径の大きな U チューブを挿入できる. 3次元有限要素法による数値計算結果から一般的な 25A シングル U チューブ, および扁平 30A シングル U チューブを持つボアホール型地中熱交換器に不凍液を循環させた場合の R_b を計算した結果である.



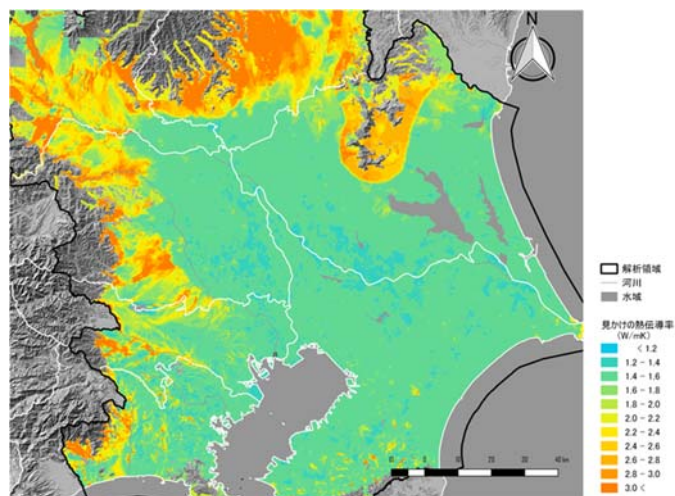
上：扁平 U チューブ 下：解析領域と R_b の計算結果 (特集記事「地中熱の利活用最前線 (長野 克則)」より)



左：ロハスの家研究プロジェクト実験施設 右：削孔非採熱部と採熱部の地中温度の日平均値
 キャンパス内に設置した3棟の実験住宅と関連施設等において、エネルギーを自立し、健康的で快適な温熱環境を構築するための研究を推進している. 右図は削孔非採熱部と GCE の採熱部において数年にわたって計測された深さ 0.5~10 m の地中温度の日平均値である. 外気温と共に、各暖房・冷房期間の合計採放熱量 (採熱：負値, 放熱：正值) が示されている.

(特集記事「地中熱の利活用最前線 (伊藤 耕祐, 佐々木 直栄)」より)

深度 100m までの見掛け有効熱伝導率マップを示す. 地下水流速および熱伝導率を変数とするサロゲートモデルを構築し, 地中熱交換量シミュレーションを実施していない地点へ展開した. 関東広域の平野部における見掛け有効熱伝導率は 1.2~1.8W/m/K を示しており, 北部および西部の山間部では 2.0W/m/K 以上を示す地域がみられる.



図：見掛け有効熱伝導率マップ (深度 100m) (特集記事「地中熱の利活用最前線 (竹島 淳也)」より)

伝 熱

目 次

〈巻頭グラビア〉

長野 克則 (北海道大学)	
伊藤 耕祐, 佐々木 直栄 (日本大学)	
竹島 淳也 (応用地質)	……………表紙裏

〈特集：地中熱の利活用最前線〉

特集「地中熱の利活用最前線」にあたって	……………武田 哲明 (山梨大学)	…………… 1
再生可能エネルギー熱利用の技術開発		
……………谷口 聡子 (国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)	……………	2
地中熱産業界の動向	……………笹田 政克 (NPO 法人 地中熱利用促進協会)	…………… 7
地盤情報を利用した設計・性能予測ツール・ポテンシャル評価システムの開発		
……………長野 克則 (北海道大学)	……………	13
鋼管杭型浅部地中熱 HP システム -日本大学工学部の取組み-		
……………伊藤 耕祐, 佐々木 直栄 (日本大学)	……………	19
浅層地中熱利用の融雪・空調技術開発の事例紹介	……………永井 二郎 (福井大学)	…………… 27
地中熱を有効に利用するハイブリッド空調システムと地中熱交換器		
……………宮良 明男 (佐賀大学)	……………	33
地下水熱・地中熱利用による消融雪技術と帯水層蓄熱による冷暖房事例		
……………山口 正敏, 山谷 睦, 桂木 聖彦 (日本地下水開発株式会社)	……………	40
地圏流体モデリング技術を利用した地中熱ポテンシャル評価		
……………竹島 淳也 (応用地質)	……………	46
直接膨張方式地中熱ヒートポンプの技術開発	……………武田 哲明 (山梨大学)	…………… 54

〈行事カレンダー〉 …………… 61

〈お知らせ〉

日本伝熱学会創立 60 周年記念 第 58 回日本伝熱シンポジウムのご案内	……………	62
第 58 回日本伝熱シンポジウム タイムテーブル (仮)	……………	64
第 58 回日本伝熱シンポジウムプログラム (暫定版)	……………	66
・事務局からの連絡	……………	77

〈編集出版部会ノート〉 …………… 81

CONTENTS

< Opening-page Gravure: heat-page >

Katsunori NAGANO (Hokkaido University)	
Kosuke ITO, Naoe SASAKI (Nihon University)	
Junya TAKESHIMA (OYO Corporation)	Opening Page

< Special Issue: Latest Utilization Technology of Ground Source Heat >

Preface to the Special Issue on “Latest Utilization Technology of Ground Source Heat”	
Tetsuaki TAKEDA (University of Yamanashi)	1
Technology Development of Renewable Heat	
Satoko TANIGUCHI (New Energy and Industrial Technology Development Organization)	2
Trends of Industry for GSHP Systems	
Masakatsu SASADA (GeoHeat Promotion Association of Japan)	7
R&D Aimed for Low-Cost and High-Efficient Closed-Loop Ground Source Heat Pump System, Design & Performance Prediction Tool and Potential Evaluation System Using Geoinformation	
Katsunori NAGANO (Hokkaido University)	13
Shallow Depth Ground Source Heat Pump System with Steel Pipe Pile Heat Exchangers	
- Activities of College of Engineering, Nihon University –	
Kosuke ITO, Naoe SASAKI (Nihon University)	19
Introduction of Developments of Snow Melting and Air Conditioning Technologies Utilizing Shallow Geothermal Energy	
Niro NAGAI (University of Fukui)	27
Hybrid Air-Conditioning System and Ground Heat Exchanger for Effective Use of Ground Heat	
Akio MIYARA (Saga University)	33
Snow-Melting Technology by Groundwater and Ground Source Heat and the Example of Air Conditioning Facilities by Aquifer Thermal Energy Storage	
Masatoshi YAMAGUCHI, Mutsumi YAMAYA, Masahiko KATSURAGI (Japan Groundwater Development CO., LTD.)	40
Estimating Ground-Source Heat Potential Using Terrestrial Fluid-Flow Modeling Techniques	
Junya TAKESHIMA (OYO Corporation)	46
Technological Development of Ground Source Heat Pump that Uses Direct Expansion Method	
Tetsuaki TAKEDA (University of Yamanashi)	54

< Calendar >	61
< Announcements >	62
< Note from the JHTSJ Editorial Board >	81

特集「地中熱の利活用最前線」にあたって

Preface to the Special Issue on "Latest Utilization Technology of Ground Source Heat"

武田 哲明 (山梨大学)

Tetsuaki TAKEDA (University of Yamanashi)

e-mail: ttakeda@yamanashi.ac.jp

「地中熱」とは、地下 100m~150m 程度の深さまでに存在する低温の熱エネルギーであり、地表付近は太陽放射熱の影響を受けるものの、約 10 m より深い地中の温度は年間を通してほぼ一定とされています。地中の温度を年間の平均気温と比較しますと、地域にも依存しますが、概ね年間の平均気温から 1, 2 °C 程度温度が高いとされており、夏季は気温より温度が低く、逆に冬は気温より温度は高いことが特徴です。

「地中熱」の利活用方法については、再生可能エネルギーの利活用という切り口で考えますと、あまり詳しく知られていないのではないのでしょうか。そもそも「地中熱」というキーワードが政府に再生可能エネルギーと認知され始めたのは、2010 年の「第 3 次エネルギー基本計画」に明記された頃であり、2012 年 3 月には環境省が、地下水・地盤環境の保全に配慮しつつ地中熱利用の普及促進を図ることを目的に「地中熱利用にあたってのガイドライン」をとりまとめています。その後、2014 年に「第 4 次エネルギー基本計画」には「再生可能エネルギー熱」が定義され、国（経済産業省、環境省、国土交通省、文部科学省）や地方自治体の働きかけもありまして、例えば、地中熱ヒートポンプの設置件数は年々増加してきました。しかしながら、依然として世界各国に比べ我が国では普及が遅れており、その主たる理由は、ボアホールの掘削コストやヒートポンプ等のイニシャルコストが依然として高いことが課題とされています。我が国が今後の持続可能な社会の実現を目指すためには、地中熱の利活用方法について更なる研究開発が望まれるところでございます。

そこで、本特集では、地中熱の利活用最前線というテーマで、ヒートポンプやヒートパイプなどその他の利活用技術についてその最前線でご活躍されている方々に執筆をお願いいたしました。

まず初めに、新エネルギー・産業技術総合開発機構の谷口聡子様に国としての地中熱を含む「再生可能エネルギー熱利用の技術開発」への取り組みを、NPO 法人地中熱利用促進協会の笹田政克様には産業界をまとめる協会としてのお立場から「地中熱産業界の動向」についてご寄稿いただきました。学术界からは、地中熱利活用研究の第一人者であります北海道大学の長野克則教授から「地盤情報を利用した設計・性能予測ツール・ポテンシャル評価システムの開発」という最近の技術開発の紹介を、これまで浅層部の地中熱利用を進めてこられた日本大学の佐々木直栄教授らのグループから「鋼管杭型浅部地中熱 HP システムー日本大学工学部の取り組みー」を、福井大学の永井二郎教授からは、浅層地中熱利用の融雪・空調技術開発の事例紹介を、佐賀大学の宮良明男教授からは「地中熱を有効に利用するハイブリッド空調システムと地中熱交換器」についてご寄稿いただきました。さらに、産業界からは日本地下水開発株式会社の山口正敏様らのグループから「地下水熱・地中熱利用による消融雪技術と帯水層蓄熱による冷暖房事例」を、応用地質株式会社の竹島淳也様には「地圏流体モデリング技術を利用した地中熱ポテンシャル評価」につきましてご寄稿いただきました。そして、手法については古くから知られている「直接膨張方式地中熱ヒートポンプの技術開発」につきまして小職から報告させていただきました。

最後になりましたが、今回、再生可能エネルギーである地中熱の利活用方法を知っていただく機会として本特集を組ませていただきました。著者の皆様方には、ご多忙にも関わらず原稿執筆をお引き受け頂きまして誠にありがとうございました。この場を借りて感謝申し上げます。

再生可能エネルギー熱利用の技術開発

Technology Development of Renewable Heat

谷口 聡子 (国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)
Satoko TANIGUCHI (New Energy and Industrial Technology Development Organization)

1. はじめに

「再生可能エネルギー熱（以下、再エネ熱）」とは、太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川熱、下水熱等の自然由来の熱を指し、その利用によりエネルギー削減や脱炭素化など持続可能なエネルギー社会の実現に貢献する重要な役割を担っている。

第5次エネルギー基本計画では、「熱利用を中心とした非電力での用途が過半数を占めており、再エネ熱を効果的に活用していくことがエネルギー需給構造を効率化する上で効果的な取り組みである」としている。また、世界全体に目を向けても2018年の最終エネルギー消費量の50%は熱利用が占めており[1]、エネルギーに占める熱の割合は高い。熱エネルギーから直接熱を利用することは極めて効率が良いのは明らかであるが、化石燃料以外で自然由来の身近な低質の熱が有効に利用可能であることはまだ広く知られていない。

世界の潮流は温室効果ガス削減問題を背景に、再エネ熱利用は増加の一途をたどる。地中熱は再生可能エネルギーの一つとして認識され、安定的な熱源としての有用性が注目されており、世界全体の導入量は2020年時点で年間約60,000TJ（12kWtヒートポンプ換算で646万台）、2015年比で約1.9倍と増加し続けている[2]。また、再生可能エネルギー全体の設備導入量の内訳として、風力発電、太陽光発電の次に多いのが太陽熱利用であり、2018年までの累計導入量は480GWhにものぼることが報告されている[3]。

一方、国内では2000年頃より右肩上がりに増加を続け、2017年度時点では地中熱利用ヒートポンプ（GSHP）システムの導入件数が累計2,662件であるものの、海外に比べれば様々な課題が障壁となり導入が飛躍的には進んでいない。NEDOでは再エネ熱の重要性を認識し、技術開発の促進により普及拡大させるねらいがある。本稿では再エネ熱の中で

も近年において注目度が高い地中熱を中心とした技術開発を紹介する。

2. 海外における地中熱の技術

地中熱は世界全体で導入量が増加していることは先述の通りであるが、特に導入が進んでいる欧米の研究開発動向や欧州の共通基盤について詳説する。

2.1 欧米の研究開発動向

米国は2020年の統計でGSHPの導入量が2位に後退したものの、これまでは地中熱の導入を牽引してきた国である。米国のエネルギー省（DOE）は2012年にGSHPシステムの研究開発に関するロードマップを作成し、導入課題を整理した上で政策を勘案して実施事項の順位付けを行った[4]。導入課題は高インシヤルコスト、認知度、システム導入のインフラ不足、導入検討ツールの不足、適切な設計、機器選定手法の確立等を示している。

また、DOEでは2012年～2016年に実施した研究開発プロジェクトにおいて、機器のコスト効率向上やエネルギー効率向上を目指し、既存のGSHPシステムの費用便益分析を実施している。分析手法を確立することで、事業設計やオペレーションの良し悪し、優良事例の示唆などを簡易に分析できるようにするほか、出資者が導入の判断基準とする投資回収年数を算出できるようにすることを目指し、GSHPシステムが2030年までにターゲットとする市場のシェア10%を獲得することを目標としている[5]。

欧州では2009年から2013年にかけて実施したGround Medプログラム[6]において、ヨーロッパ南部の地中海気候で利用可能なGSHPシステムを開発する目的で、コンプレッサーや地中熱交換器の改善により温暖な地域でのCOPを向上させたGSHPシステムを欧州南部の8サイトで実証したほか、システムの運用最適化といった研究開発や、欧州にお

ける優良事例の収集・整理，欧州各地での技術者育成といったプログラムも実施した。また，Horizon2020 プログラムでは高額な機器費用や施工費用，複雑な制御といった GSHP システムの導入障壁を解消することを目的としており，複数の研究開発プロジェクトや実証事業が推進されている。安価で高効率，信頼性の高い地中熱交換器，ヒートポンプ等の要素技術の開発から，システム全体の最適化，実証を通じて全体コストの 25%を削減することを目標としている[5]。表 1 に米国および欧州の研究開発プロジェクト概要をまとめる。

表 1 欧米諸国における地中熱の研究開発概要

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

表 1 に示す開発対象は要素技術からシステム全体を網羅しているが，赤字で示した項目は後述する NEDO の技術開発で実施した内容である。海外と日本では地中熱の導入条件が異なるものの，必要とする技術の開発は共通項が多く，国内でも十分意義のある技術開発が実施されていると考える。

2.2 欧州の共通基盤技術

NEDO では 2019 年度に海外の共通基盤に関する調査を実施した[7]。ここでいう共通基盤とは，地中熱ポテンシャルマップ，地中物性データベース，熱交換シミュレーションツール，地中熱利用システム設計ツール等を指し，地中熱の導入が進む欧州において普及のきっかけを探り，国内での普及の一助としたい考えから調査を実施した。調査では“地中熱利用システム導入計画時の一助となる共通基盤が整備されており，システム導入の促進において重要な役割を果たしている”との仮説を立て，いくつかの国でヒアリングを行った。

ヒアリング結果の一例を以下に紹介する。図 1 は

ドイツ国における 2000 年～2017 年までの GSHP システム導入件数の推移を表している。これによると 2005 年頃に導入台数が増加し，2000 年から 2017 年までの地中熱ヒートポンプ累積導入件数は 3 万件を超えている。

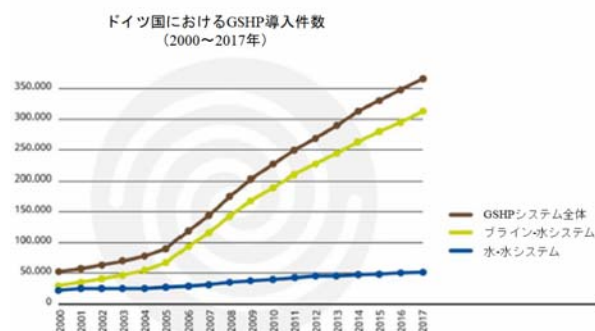


図 1 ドイツの地中熱ヒートポンプ導入台数（ブライン・地下水用途別）

※NRW 州地質研究所ヒアリング時資料より抜粋

このような統計が示される中，ドイツ国内で最も人口の多い NRW（ノルトライン＝ヴェストファーレン）州では，2002 年に 100 年分のボーリングデータを活用して地質，地下水情報，熱伝導率等の情報をポテンシャルマップとして初めて公開した。地中熱の知識を持たない人が見ても理解できる形（マップ）にして政治家や自治体等に周知した結果，様々な人が地中熱に興味を持ち始め，2005 年以降の GSHP システムの普及につながった要因と位置付けられている。一方で，ドイツでは 2005 年に新築建物に対して再エネの導入もしくは省エネ化を義務化した事実もあり，この効果も普及に寄与して

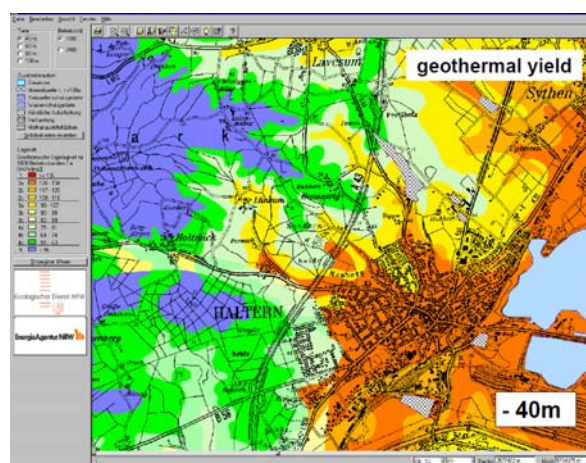


図 2 NRW 州のポテンシャルマップ

※NRW 州地質研究所ヒアリング時資料より抜粋

いることを申し添える。

活用実態として NRW 州では GSHP システムを導入する際、マップに示されているデータを活用しなければならない仕組みになっており、マップの運用、更新等は全て NRW 州にて管理されている。ただし、膨大な地質情報を保有している理由はボーリング時の情報を州政府に提出する義務を設けているためであり、政府主導で導入普及のための情報整備が行われている状況を確認した。

結果として仮説は正しく、共通基盤を整備し、システムの導入効果や技術情報を周知することで GSHP システムの普及の一助となることを確認した。本調査結果を受け、2020 年度より「高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発」を技術開発プロジェクトの項目に加えることとした(後述の 3.2)。

3. NEDO の技術開発プロジェクト

再エネ熱の有効性が再認識されたのは 2014 年の「第 4 次エネルギー基本計画」に具体的に明記されたことにあり、NEDO ではこの年から再エネ熱にかかる初の技術開発プロジェクトを開始した。再エネ熱には具体的な国家的導入目標値が策定されない状況の中、目標策定に有効な技術開発として「再生可能エネルギー熱利用技術開発」を 2014 年度から 5 年間実施した。2019 年度からはその後継事業となる「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」を開始している。以下ではそれぞれの技術開発を紹介する。

3.1 再生可能エネルギー熱利用技術開発 (2014 年度～2018 年度)

新しい技術特有の課題として挙げられるコスト低減を定量的な目標として位置付け、国内でも導入が進む地中熱を中心として、掘削技術や高効率機器等の要素技術の開発、要素技術を組み合わせたトータルシステムの高効率化、さらにはシミュレーションツールやポテンシャル評価技術の開発を行い、実用化を目指した。全 20 テーマのうち、地中熱が 15 件、太陽熱が 2 件、温泉熱、雪氷熱、バイオマス熱が各 1 件と多岐にわたる熱利用技術開発プロジェクトであり、目標値の導入コスト・運用コスト 20% 低減に向けては一定の成果を挙げ、実用化や事業化に寄与するものとなった。

本技術開発において、地中熱の主要素である熱交

換方式については表 2 に示すとおり想定されるほぼ全てのタイプが提案された。従来のボアホール方式に比べ、地域で異なる地質や地下環境、設置条件、対象となる建物に応じて安価で高効率な熱交換方式が開発されたことで、条件に応じた方式の選択が可能となった。日本の地質は海外と比較して複雑な構造である場合が多く、場所によっては掘削方法の変更を強いられ、掘削長を変更することもある。また、特に都市部では掘削場所の制約も生じる。このような状況下でも多様な熱交換方式により選択肢が増えたことは非常に大きな成果である。

表 2 NEDO で実施した地中熱交換方式の種類

熱交換方式	特徴	場所	規模	掘削深度	種類	
クローズドループ (間接方式)	ボアホール ・標準方式 ・汎用性大	不問	小～大	標準 (10m前後)	ボーリング孔	
	基礎杭 利用	建物 基礎	小～大	浅層 (50m未満)	鋼管杭 コンクリート杭	
	水平 熱交換器	農業等 広範地	小～中	表層付近	シート状熱交換器 コイル型熱交換器	
	その他	地下 構築物	小～中	浅層	土留壁利用	
オープン ループ (直接方式)	地下水流動大 熱源利用	・採熱効率大 地下水熱 ・流水熱	地下水 豊富	小～大	浅層	水井戸 タンク式熱交換器
	地下水流動小 蓄熱利用	・帯水層蓄熱	地下水 豊富	中～大	浅層	水井戸
オープン + クローズド	地下水揚水 + 水平熱交換器	・地中採熱 +散水	地下水 有	小～中	浅層	水平型熱交換器 +水井戸

他にも高効率なヒートポンプや地中熱交換器の開発、それらを組み合わせたシステム全体の開発等、本事業では地中熱分野の多岐にわたる技術開発を推進し、技術の実用化につなげることができた。

3.2 再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発 (2019 年度～2023 年度)

実用化技術の確立や、より一層のコスト低減を図るため、自立的な再エネ熱の普及拡大を目的とした技術開発を実施している。本事業ではシステムの導入に関わる上流から下流までのプレイヤーがコンソーシアムを組み、一体となって技術開発に取り組むものであり、ZEB 等への適用も視野に入れている。また事業終了後に早急な社会実装を進めるため、事業期間中にはテーマ毎に自治体や業界団体、ユーザーとも連携し、開発成果の普及方策に取り組むこととしている。(図 3)

本事業では、民間企業を中心に全 6 テーマ(うち、地中熱関連は 5 テーマ)を採択し、現在 18 事業者で進行している。このうち半数の事業者は過年度事業を経験しており、これまで以上に成果をあげるべ

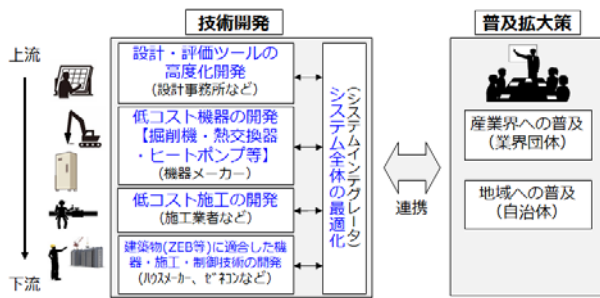


図 3 再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発（助成）の概要図

く実証段階のフェーズへと進んでいる。技術開発内容の特徴としては、さらなるコスト低減をベースとし、ZEB や ZEH 建物での地中熱の有効性実証、高効率帯水層蓄熱システムの ZEB への適用、AI 制御や他熱源とのハイブリッドシステム構築、直膨式ヒートポンプの開発など、新たな要素技術開発を加えながら実証に主眼を置いた技術開発である。また、地中熱はこれまで大幅なエネルギーの削減効果は寒冷地にあると考えられているところ、今後の普及を考慮すれば温暖地にも適用できるよう、給湯需要への対応を含めたシステム構築に挑戦するテーマもある。地中熱の温暖地への導入可能性が期待できれば、国内での普及を加速するものとなりうる。

2020 年度からは本事業の一部として、地中熱利用システムの導入拡大に資する、システム設計の最適化に必要な見かけ熱伝導率の推定・評価技術、簡易 TRT（熱応答試験）技術、設計ツールを共通基盤技術として開発し、規格化を目指す「高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発（委託）」を開始した。同様に 2023 年度までの実施期間を経て、見かけ熱伝導率の推定手法や簡易 TRT を確立後、規格化を目指すことを目標に掲げている。そのため、見かけ熱伝導率の推定評価技術では地質水文環境の異なる複数の地域で有効性実証を行う。また、設計ツールは多様な熱負荷条件やオープンループ方式を含む熱源方式に対応した設計ツールを開発する予定である。

4. 地中熱利用の技術課題

再エネ熱利用の有用性が再確認されているものの、その普及が進まない理由としては、これまで導入時の高コスト、専門人材の不足、認知度不足であるとされてきた。そのため、「再生可能エネルギー

熱利用技術開発」では、コスト低減を目的に数値目標を具体的に設定した技術開発を行い、事業を通じた人材育成や成果発表等により認知度の向上に努めてきた。その成果は地中熱や雪氷熱の利用が徐々にビジネス（事業化）へとつながっているとの報告も受けている。

また、現在、進行中の「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」では、ZEB、ZEH 等の出口イメージを明確にもたせた技術開発と上流から下流までの全関係者、さらに自治体等の需要者を関与させることにより、普及拡大につなげる狙いがある。さらに NEDO では本分野で政策的な支援を行う関係省庁や自治体、及び関係団体との連携をこれまで以上に緊密にするとともに、熱利用の普及拡大策や地域振興策への寄与も考慮し、研究開発課題として具体化していく必要がある。

長期エネルギー需給見通しでは、「再エネ熱を含む熱利用の面的な拡大など地産地消の取組を推進すること」としながら、2030 年度の熱利用の導入見通しは 1,341 万 kL（太陽熱 55 万 kL、バイオマス熱 667 万 kL、未利用熱等 618 万 kL）であると目標値を掲げている[8]。この政策方針は地球環境問題を解決し、持続可能かつ安定的なエネルギー供給社会を実現していくため、熱利用の普及拡大を促進することを意味しており、熱利用の面的な拡大や地産地消型の取組みを推進すべきことが分かる。

再エネ熱の利活用は、環境負荷の低さやエネルギー消費効率の高さといった社会的便益をもたらす一方で、熱は輸送に不向きであるという弱点を有する。日本は他国と異なり気候や地盤特性が場所により様々であることから、地域に見合う熱利用の特性を活かし、地産地消型の導入を進めていくことも考えなければならない。

NEDO は技術開発プロジェクトが、再エネ熱の起爆剤となるよう全力で取り組むことを責務と捉え、熱源規模や地理的条件等を踏まえた多熱源での広域利用やネットワーク化のための技術開発、デジタル化社会の中での電力と熱利用の併用に資する研究開発など、地域の特性及びニーズを満たした再エネ熱の利用のあり方を探るべき時期に来ていると考えている。

5. おわりに

今季は 10 年に 1 度とも言われる大寒波が襲来し、

全国規模で電力の需給が逼迫しているという報道がなされ、寒冷地では記録的な大雪が続いた。寒冷地以外に住む人はあまり馴染みがないかもしれないが、報道で映し出されるような積雪寒冷地では残念ながら空気熱源によるエアコンで暖房をすることが困難な場所もあり、かろうじて運転したとしても不経済である。また、大寒波になれば他の地域でも外気温が低下することにより、エアコンの電気代が普段より倍増し電力の逼迫につながる。逆に、夏季の酷暑時における冷房に関しても電力使用の状況は同様である。昨今の異常気象で極端な天候は今後も頻発する可能性は高い。そのような場合でも地中熱を利用した冷温熱供給は地域や外気条件に依存せず安定的に使用することが可能である。「2050年までに脱炭素化」が日本でも宣言されたが、その頃までには誰もが地中熱のような再生可能エネルギー熱を自然に選択するような社会になることを切に希望する。

参考文献

- [1] IEA, Renewables 2019 Market analysis and forecast from 2019 to 2024 (2019)
- [2] John W. L and Aniko N. T, Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review, World Geothermal Congress 2020 (2020)
- [3] Werner W. and Monika S., SOLAR HEAT WORLDWIDE, IEA Solar Heating & Cooling Programme (2019)
- [4] U.S. Department of Energy, Research and Development Roadmap: Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps (2012)
- [5] (国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 再生可能エネルギー熱利用システムの普及に向けた技術開発に関する調査, 平成 29 年度成果報告書 (2018)
- [6] Dimitrios M., Constantine K., and Marcel R., The European Project Ground-Med “Advanced Ground Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling in Mediterranean Climate”, World Geothermal Congress 2010 (2010)
- [7] (国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 海外における再生可能エネルギー熱利用のロードマップおよび共通基盤に係る調査, 2019 年度成果報告書 (2020)
- [8] 経済産業省 資源エネルギー庁, 長期エネルギー需給見通し (2015)

地中熱産業界の動向 Trends of Industry for GSHP Systems

笹田 政克 (NPO 法人 地中熱利用促進協会)
Masakatsu SASADA (GeoHeat Promotion Association of Japan)
e-mail: geohpaj@geohpaj.org

1. はじめに

小文では、地中熱利用に関係する産業界の現状と動向を中心に叙述し、地中熱利用の普及に向けて産業界が関係する課題について述べる。地中熱利用は大きくみるとヒートポンプ、水循環、空気循環、熱伝導、ヒートパイプの5つの利用形態に区分される。この中には独自の熱交換システムを必要としない熱伝導による利用方法もあるが、多くは何らかの熱交換システムを用いて地中熱を利用している。小文はそれら地中熱利用形態の中で設置件数が多く、エネルギー利用の視点から見て大きなウエイトを占めている地中熱ヒートポンプシステムを取り上げ、関連する産業界の現状と動向について述べる。

2. 利用の現状

地中熱ヒートポンプシステムは、主に空調として利用されており、住宅、民間オフィス、自治体庁舎、店舗、学校、幼稚園、保育園、福祉施設などに導入されている。また、空調に加え給湯での利用が、病院・医療施設、温浴施設、スポーツ施設などにある。このほか、道路融雪の施設、園芸などの農業施設、養殖場など漁業施設での利用、さらには工場での冷水・温水利用などがある(図1)。

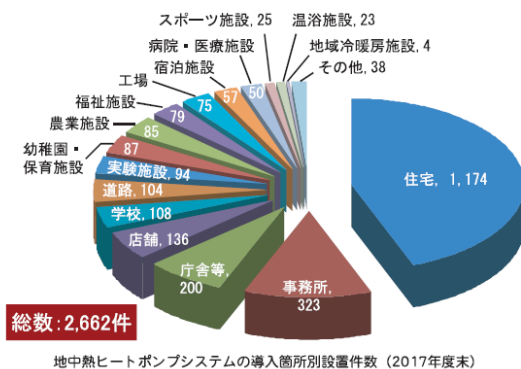


図1 地中熱ヒートポンプの施設別設置件数 [1]

地中熱ヒートポンプシステムには、地中熱交換器を用いて地盤そのものから熱交換するクローズドループと帯水層中の地下水を揚水して熱交換するオープンループがあり、上述した利用施設ではどちらのシステムも使われているが、クローズドループはメンテナンスフリーに近いので住宅などの小規模なシステムに多く、一方、経済性が高いオープンループは規模の大きな施設に多い傾向がある。件数的にみるとクローズドループが全体の9割近くを占めるが、全体の設備容量で見ると、クローズドループとオープンループの差はそれほど大きくはない。

3. 地中熱が関連する産業分野

地中熱が関連する産業分野は、製造業、建設業、技術サービス業が中心となり、地中熱利用促進協会会員の業種別分類では、メーカー・物品販売(39社)、設備・施工(90社)、設計・コンサルタント(62社)となっている(ただし重複あり)[2]。

製造業の区分には、地中熱ヒートポンプ、管材(地中熱交換パイプ)、熱媒(循環流体)、掘削機およびそれらに関連する機材の製造・販売が含まれる。建設業では、クローズドループでの地中熱交換器の施工、オープンループでの揚水井・還元井の施工が主な業務になる。技術サービス業は、地中熱システムの設計、熱応答試験、地質水文情報の提供などの業務がある。

4. 製造業での地中熱の現状と動向

4.1 地中熱ヒートポンプ

地中熱ヒートポンプシステムの心臓部にあたるのが、地中熱に適用できるヒートポンプである。現在はほとんどが国産品であるが、20年前にはスイス、米国等からの輸入品が使われていた。国産の地中熱ヒートポンプの量産が始まったのは2004年である。現在では国内10数社で地中熱ヒ

ートポンプ（熱回収ヒートポンプで地中熱に適用できるものを含む）が製造されており、家庭用のものが5~10kW、業務用のものが5~500 kWクラスである。

地中熱ヒートポンプは間接方式が主流であり、水-水ヒートポンプ、水-空気ヒートポンプに分類される。水-空気ヒートポンプには、業務用のビル用マルチの機種もある。また、家庭用のものでは、冷媒回路を地中に入れて熱交換する直膨方式のヒートポンプも開発されている。

地中熱ヒートポンプは、通常の熱源機器として使われるタイプのもの以外に、換気機能を備えた外調機もある。店舗や大学の講義室などCO₂濃度が上がりやすい室内環境では外調機が使用されているが、感染症対策での換気量の増加に伴う外気負荷の低減に地中熱が活用でき、電力使用量を抑えることができるので、コロナ禍の中で注目される技術である。

また、現在地中熱ヒートポンプの冷媒にはハイドロフルオロカーボン（HFC）が多く使われているが、地球温暖化対策に向けた動きが加速する中で、温暖化係数の小さい自然冷媒などに変えていく技術開発も進められている。

4.2 管材（地中熱交換パイプ）

現在用いられている地中熱交換器には垂直埋設型（ボアホール方式、杭方式）や、水平埋設型などのものがある。いずれも高密度ポリエチレン管（PE100）が主流であるが、一部には架橋ポリエチレン管が使用されており、いずれも国内のメーカーが製品化している。

この高密度ポリエチレン管を地中熱交換器に用いる場合、一番普及しているものがUチューブと呼ばれる地中熱交換パイプで、2本の管の先端をU字状に接続した製品で、設置する長さのものを1本ものとして工場で製造し、ドラムに巻いた形で施工現場に配送している。2000年以前には管材として熱伝導率の高いステンレスなどが使用されたこともあったが、コストと施工面から高密度ポリエチレンに置き換わっている。

地中熱交換器の採放熱性能を上げる技術開発は進められてきており、単位長さあたりの熱交換面積を大きくするため、断面を扁平にしたパイプを用いたUチューブ（ボアホール用）や、3本の送り管と1本の還り管からなる分岐管型のもの（ボ

アホール用）、また大口径の垂直孔（PHC杭など）に挿入するスパイラル状のパイプ、さらには架橋ポリエチレンパイプ4対をU字状にしてまとめたものなどが開発されている。

4.3 熱媒（循環流体）

地中熱ヒートポンプシステムではヒートポンプの熱源側を一次側、利用機器側を二次側と呼んでいるが、間接方式のシステムでは熱媒（循環流体）として一次側には不凍液または水を、二次側についても水-水ヒートポンプの場合は、不凍液または水が用いられている。

日本の場合には不凍液はグリコール系のものがほとんどであり、一次側では寒冷地ではエチレングリコールが、温暖地ではプロピレングリコールが使われている。エチレングリコールは低い温度まで対応できることと、粘性が低いのがメリットであるが、毒性があるので注意が必要である。プロピレングリコールは食品添加物として使われていたこともあり毒性は弱いが、同じ温度での粘性がエチレングリコールに比べて高い。これらのグリコール系の不凍液は石油から作られているが、植物由来の材料で作られたグリコール系の製品も開発されている。これらの不凍液は、国内で不凍液を販売するメーカーから供給されている。一方、温暖地での地中熱ヒートポンプシステムでは一次側熱媒として水を使っている事例もある。

4.4 掘削機

ボアホール方式の地中熱交換器を設置するための掘削には、地質が粘性土、砂礫、軟岩の場合は、ロッドの先端についたビットを回転させて掘り進むことを基本にした工法（回転振動式、ロータリーパーカッション式、ロータリー式）を、地質が花崗岩のような硬岩の場合は、ロッドの先端につけたビットで連続打撃を加えて掘り進む工法（ダウンザハンマ式）が用いられている。

これらの工法に対応した掘削機は国内の掘削機メーカー、海外と提携したメーカーにより製品化されており、地中熱と同じような掘削環境で使われる多目的機種として製作されているものと、地中熱に特化した機種として製作されているものがある。それぞれの掘削機の能力により掘削径と掘削深度が決まる。

掘削機を効率よく稼働させることができれば、掘削コストが削減でき、それが地中熱ヒートポン

プシステムの導入コストの低減となる。技術開発の面では掘削機メーカーが、掘削の高速化と省力化に取り組むとともに、高速化に伴う騒音の課題にも取り組んできており、それぞれの技術開発成果が実装された機種が製品化されている。

5. 建設業での地中熱の現状と動向

5.1 地中熱交換器の施工

クローズドループの中ではUチューブを用いた垂直埋設型ボアホール方式の比率が高い。このボアホール方式については、施工における標準的工法として技術基準が整備されており、地中熱利用促進協会により「施工管理マニュアル」[3]としてまとめられている。

一方、垂直埋設型でも杭方式になると、既成杭（PHC杭、鋼管杭）、現場造成杭でいくつかのタイプのものがあり、杭業者、建設業者（ゼネコン）が、それぞれの工法をもっているほか、ボアホール方式の施工に携わる会社でも一部の会社も杭方式を手掛けている。杭に設置される地中熱交換パイプはUチューブが使用されるケースが多いが、最近では杭に内蔵されるスパイラル状の地中熱交換パイプも開発されている。地中熱に利用する杭は、建築物の場合は基礎杭が多いが、住宅の場合では地中熱専用杭が打たれるケースが多く、小型の杭打機を用いて現場造成杭や鋼管杭に地中熱交換パイプを設置する。

水平方式は、広い敷地が活用できる場合には適した工法であるが、日本では通常はそのような敷地の確保が難しいので、建築物の下に置かれるケースが多い。その場合は耐圧版の下に敷設する。

国内ではボアホール方式の地中熱交換器は、80m～120mの深さのものが多く、海外、とくに北欧ではボアホールが深くなる傾向があり、近年の施工事例では300m～350mの深さのものが増えている。日本でも大深度化への動きが始まっている。

5.2 揚水井・還元井の施工

地下水を利用するオープンループでの地中熱利用は、初期投資でクローズドループより有利であるが、揚水規制のほか水質に関連したメンテの問題などがあり、件数が伸びてこなかった。オープンループの技術基準は、クローズドループの施工管理マニュアルのレベルのものはまだできていな

いが、地中熱利用促進協会によりガイドラインが公表されている[2]。このガイドラインおよびこれまでに培われてきた水井戸の掘削技術をベースにして、鑿井会社がオープンループの施工にあっている。

オープンループは大きく還元方式と放流方式に分類される。還元方式は揚水井を還元井の組み合わせで、揚水した地下水を熱交換し地中熱ヒートポンプでその熱を利用した後、還元井で地中に戻すシステムである。最近では帯水層蓄熱というシステムの技術開発が著しく進展している。これは夏と冬で2本の井戸を揚水井と還元井に交互に使う方式であり、同じ帯水層に戻すことから、地盤沈下起こすことなく地中熱が利用できる。また、密閉式のシステムで地下水が空気に触れないため、酸化に目詰まりなどが防止できる。国のビル用水法の規制がかかる大阪では、国家戦略特区を適用して、2019年から事業が始まっている。また、帯水層蓄熱以外にも近年オープンループでの技術開発が進展している。

6. 技術サービス業での地中熱の現状と動向

6.1 設計

地中熱ヒートポンプシステムの設計マニュアルはないが、いくつかの設計ツールがあり、設計会社、地中熱関連の施工会社とヒートポンプメーカーで設計業務が行われている。地中熱関連会社の場合は設計業務を全面に出していない場合が多いので、設備設計事務所などをサポートする形で関係している。

地中熱ヒートポンプシステムの設計ツールとしては、一番よく使われているのが、北海道大学で開発したGround Clubである。また、国土交通省営繕部で開発したLCEMツールには地中熱のモジュールが入っており、地中熱ヒートポンプシステムの設計に利用できる。そのほか海外で開発された地中熱の設計ツールが数種類ある。ある程度規模の大きな建物では、地中熱ヒートポンプを建物に設置する複数の熱源機の一つにするというケースが増えてきているので、熱負荷変動に対応して運転する熱源機の中での地中熱ヒートポンプの役割を設計思想に落とし込むことが必要であり、そのようなことのできる設計ツールも近年開発されてきている。

6.2 熱応答試験 (TRT)

規模の大きな地中熱ヒートポンプシステムを設計する時には、熱源水の温度変化の長期予測をするが、その時地盤の有効熱伝導率 (λ) の値が必要となる。この λ などのデータを求めるために行うのが熱応答試験 (TRT) である。

建築物省エネ法 (後述) との関係で、地中熱を利用した建築物の省エネ基準適合性判定をする際に必要となる有効熱伝導率 (λ) を TRT を実施して求める場合、業界規格である「一定加熱・温水循環方式熱応答試験 (TRT) 技術書」[2] の基準に適合した TRT 装置で測定を行う必要がある。地中熱利用促進協会が、第三者認証機関として、申請のあった TRT 装置についてその技術基準適合性を判断し、TRT 装置認定書を発行している。

TRT は地中熱の施工会社、コンサルタント会社において実施されることが多く、2020 年時点で 19 社 (25 台) に TRT 装置認定書が発行されている (図 2)。

6.3 地質水文情報

全国レベルの情報としては、クローズドループでの導入ポテンシャル情報が、環境省の再エネ情報提供システム (REPOS) に組み込まれており、現在オープンループについても導入ポテンシャルの推計作業が行われている。環境省のシステムはポテンシャルの全体像を把握するのには向いているが、地中熱ヒートポンプシステムの導入を計画している場所の地質水文情報を調べる場合には、有効熱伝導率などを含む、より詳細な情報がほしい。それに対応できるものとして地方自治体が公表しているポテンシャルマップがあり、現在 11 の自治体からマップが公表されている。自治体により表現方法は多少異なるが、納められている情報は地中熱利用の念頭においた地質、地下水の情報であり、推定した有効熱伝導率の分布が表現されている。

これら地質水文情報の整備は、2014 年から 5 年間実施された NEDO の再エネ熱利用の技術開発でも実施され、いくつかのコンサルタント会社が、独自の情報提供システムを有しており、導入計画段階でのコンサルティングを行っている。また、全国的なデータの整備は大学や産総研でも進められてきており、2019 年からの NEDO 技術開発では共通基盤技術として取り上げられている。

7. 技術基準と品質確保

7.1 規格

地中熱ヒートポンプシステムで、規格があるのはヒートポンプとパイプで、それぞれの業界が協力して作った国家規格、国際規格がある。ヒートポンプの場合は日本冷凍空調工業会の JRA 規格と日本産業規格 JIS があり、水熱源ヒートポンプの性能評価の試験方法が定められている。また、地中熱交換器に使用する高密度ポリエチレンのパイプは、汎用的な部材であり、JIS および ISO の規格で製品が製造されている。

地中熱ヒートポンプシステム全体についての規格はできていない。たとえば家庭用の地中熱ヒートポンプシステムを、エコポイントの対象にしようとする、審査過程で規格の必要性がでてくる。消費者にとってわかりやすい品質表示という点でも今後の課題である。地中熱ヒートポンプシステムの規格は米国 ANSI とカナダ CSA が先行しているので参考になる。

7.2 技術基準

地中熱ヒートポンプシステムでは、設計と施工についての技術基準が必要である。設計から施工に至る全体の工程は、国土交通省の「官庁施設における地中熱システム導入ガイドライン (案)」[4] に書かれており、また、施工については、クローズドループのボアホール方式を体系化した技術基準が、施工管理マニュアルとして地中熱利用促進協会により整備されている。設計については、技術基準となる設計マニュアルが未整備の状況にあり、施工管理マニュアルの設計の章がその一部を代替する状況にある。また、施工についても杭方式や水平埋設型についての技術基準は未整備である。

一方、オープンループについては、国土交通省のガイドラインでは触れられておらず、現状では地中熱利用促進協会の作成したガイドラインがあるのみである。現在オープンループの設計ツール作成の動きが出てきている。

国土交通省営繕部が監修する「公共建築工事標準仕様書 (機械設備工事編)」「建築設備設計基準」(3 年に一度改訂) に地中熱に関する記述が掲載されているが、まだ体系的に整備されるには至っていない。

7.3 省エネ基準

省エネ基準では 2013 年から設計時の年間一次エネルギー消費量を建物全体で評価する方式が採用されており、そのための計算プログラム（通称 web プログラム）の整備が進んでいる。地中熱は 2016 年から非住宅建築物で、クローズドループのボアホール方式と水平埋設型が web プログラムにより計算できるようになり、その後大口径の垂直埋設型（杭方式に対応）と住宅に導入するシステムのうち温水暖房が、web プログラムの計算対象になっている。また、2021 年 4 月には非住宅建築物のオープンループが web プログラムで計算できる予定である。

このように web プログラムの整備が進んできているが、web プログラムで計算の対象は、普及が進んでいるシステムを類型化したものに限られており、対象とならないシステムについては個別に任意評定という制度をもちいて、省エネ計算ができるようになっている。

なお、省エネ基準の web プログラムは、省エネ基準の適合性判定のための確認ツールとして開発されたものであるため設計ツールではない。確認ツールでは計算結果が安全側での評価に使われることが前提となっていることに留意すべきであろう。

7.4 地中熱講座と資格制度

地中熱ヒートポンプシステムの普及と品質確保を目的として、地中熱利用促進協会では、地中熱講座として基礎講座、設計講座、施工管理講座、空調設備講座を開設しており、2009 年度に基礎講座開始以来全体で延べ人数 1000 名を超える方に受講していただいている。基礎講座では北海道大学のテキスト「地中熱ヒートポンプシステム」[5]を用いて、広く地中熱全般の知識を講義しており、設計講座では設計ツール Ground Club を用いた講義と実習、施工管理講座では、「施工管理マニュアル」[4]に沿った講義、空調設備講座では地中熱を利用した空調設備と省エネ基準 web プログラムでの計算を行っている。

これらの講座のうち基礎講座と施工管理講座とリンクして、2014 年から地中熱施工管理技術者資格制度で施工管理技術者の認定を行っており、2020 年時点で 117 名の一級施工管理技術者、107 名の二級施工管理技術者が登録されている。

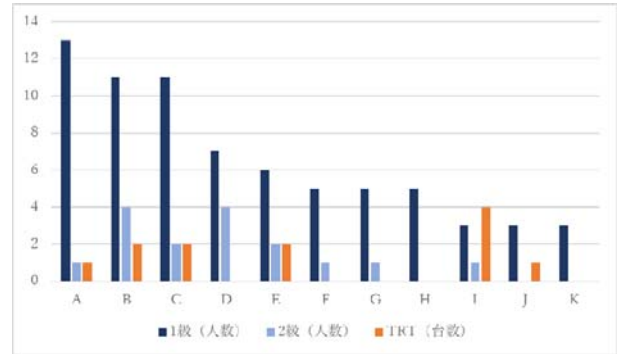


図2 会社別地中熱施工管理技術者登録者数・TRT装置認定台数（地中熱利用促進協会のデータ [2]）

8. 導入フロー

これまでの個別的な記述を踏まえて、実際に地中熱ヒートポンプシステムが建物に導入されるプロセスを眺めてみたい。

8.1 導入計画

施主が建物設備の一つとして地中熱ヒートポンプシステムの導入を考えると、導入のモチベーションになるものを箇条書き的に挙げてみると、①省エネ効果、CO₂削減効果が大きい（地中熱は温度差が活用できる）、②コスト削減効果（ランニングコスト削減、ライフサイクルコスト軽減）、③ピーク電力削減効果が大きい（デマンド料金低減、災害時の効果）、④除霜運転がなく、降雪時でも安定的に利用できる、⑤設備（地中熱交換器）が長寿命（50年以上）、⑥ヒートアイランド現象の緩和に役立つ（生活空間に放熱しない）、⑦騒音がでない（ファンのある室外機がない）、⑧景観を損なわない（熱源機は室内に設置できる）等である。

これらの事項を勘案して導入計画が立案され、設計へと進むことになるが、設計から施工にいたる導入プロセスには、いくつかのパターンがある。

8.2 導入プロセス

地中熱ヒートポンプシステムについての技術的知見を幅広くもっている業種は、地中熱関連業界の施工会社とヒートポンプメーカーなど、それに地中熱を一分野として扱っている設計会社、ゼネコン、サブコンの一部であり、また、近年は設備設計事務所協会の会員、建築設備技術者協会の会員の一部に地中熱への関心が高まってきているように見える。

このような状況の中で、計画から設計、施工に至る建築の流れの中における建築業界（ゼネコン、

サブコン)と地中熱関連業界(施工会社, ヒートポンプメーカー)とのかかわり方は, どのようになっているであろうか. 建築業界としては, 設計部門をもつ大手ゼネコンが設計から施工まで一貫して行うケースもあるが, 多くの場合は, 設計は設計事務所が, 施工はゼネコンが行っている. そこへの地中熱関連業界のかかわり方であるが, どちらの場合でも設計では, 情報提供あるいは設計業務の提供を行っており, 施工においてはゼネコンと直接関係する場合もあるが, 多くの場合はサブコンを通して施工業務が行われている.

このような体制で地中熱ヒートポンプシステムが施工されているのが現状である. 地中熱交換器からヒートポンプまでの施工業務がいくつかに分割され, 分離発注される場合もあり, 品質の確保に課題が残ることもある.

8.3 システムインテグレータ

設計から施工に至るこのような現状を踏まえ, 地中熱ヒートポンプシステムの品質を確保していくには, 地中熱業界に地中熱利用技術に関する総合的知見が求められており, またその役割を担う事業者が必要であることが, システムインテグレータの呼称とともにしばしば議論されてきた. それをシステムインテグレータと呼ぶならば, 設計から施工さらには運用管理に至るまでの知見を有し, 地中熱施工管理技術者を擁している企業がその役割を担うものと考えている.

システムインテグレータとなる事業者の育成は今後の課題である. 最近では年間導入件数が停滞しているが, このような事業者が増えていないことにも関係している. その意味からも事業者育成は2020年代の大きな課題である.

9. 今後の展望

地中熱ヒートポンプシステムは, 京都議定書が調印され地球環境への関心が高まってきた2000年頃から徐々に普及が始まり, その後東日本大震災と福島第一原発の事故の後の再エネブームの中で, 大きく実績を伸ばしていったが, その背景には2010年に初めて国のエネルギー基本計画に地中熱が位置付けられ, 2011年から再エネ熱の加速化

支援の補助金の交付が始まったことがある. その後2015年くらいまで年間導入件数は伸びていったが, 2010年代の後半になると伸び率が鈍っている.

その要因には高コストが続いていることと認知度が上がらないことがある. コストの低減に関しては2014年度~2018年度に実施されたNEDO技術開発の成果が社会に実装されていく時期を迎えているので, 2020年代にはコスト低減効果が期待されている. また, 2020年に政府は2050年のカーボンニュートラルを目標に掲げた. それを受けて再生可能エネルギー関連の動きが活発になってきている. 10年前の再エネブームは原発をめぐる状況の変化が大きかったが, 今回は地球温暖化の問題が全面に出ている. 地中熱にとっては再エネ熱利用の一つとして認知度を上げ, 利用を拡大していくチャンスである.

脱炭素社会の実現に向けて, 地中熱利用は大きな役割を果たせるものである. 小文では産業界の動向を中心に述べてきたが, 東日本大震災の後, 地中熱分野に参入する会社が増えたが, 昨年の脱炭素宣言もきわめて大きなインパクトであることから, これを機に産業界からの地中熱分野への参入が再び増えることを期待している. この特集の中で小文が少しでもお役にたてたらと願っている.

参考文献

- [1] 環境省, 平成30年度地中熱利用状況調査の結果について,
<https://www.env.go.jp/press/106636.html>
- [2] 地中熱利用促進協会, <http://www.geohpaj.org/>
- [3] 地中熱利用促進協会編, 地中熱ヒートポンプシステム施工管理マニュアル, オーム社(2014).
- [4] 国土交通省, 官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン(案),
<https://www.mlit.go.jp/common/001016159.pdf>
- [5] 北海道大学環境システム工学研究室編, 地中熱ヒートポンプシステム改訂2版, オーム社(2020).

地盤情報を利用した設計・性能予測ツール・ポテンシャル評価システムの開発

*R&D Aimed for Low-Cost and High-Efficient Closed-Loop Ground Source Heat Pump System,
Design & Performance Prediction Tool and Potential Evaluation System Using Geoinformation*

長野 克則 (北海道大学)

Katsunori NAGANO (Hokkaido University)

e-mail: nagano@eng.hokudai.ac.jp

1. はじめに

2014年度から5年間、筆者が研究代表を務め北海道大学を中心として6企業+産総研とコンソーシアムを組んでNEDOの再生可能エネルギー熱利用技術開発事業の委託を受け「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」に取り組んできた。研究開発の目標は従来の地中熱ヒートポンプシステム（以降、GSHPとする）と比較してイニシャル・ランニングコスト共に20%以上の削減が可能なGSHPの開発である。本稿では本技術開発事業で得られた実用的な研究開発の成果について紹介する[1]。

2. 研究開発項目

以下の4項目について実践的研究開発を行った。

- 1) 低コストに寄与するボアホール地中熱交換器(BHE)の削孔機・工法、および新型U-tubeの開発
- 2) 低コスト・高効率な多機能・多熱源対応の連結型冷暖房および給湯ヒートポンプユニットの開発
- 3) 低コスト・高効率化に寄与するGSHP最適運転制御システムの開発
- 4) 地理地盤情報を活用した設計・性能予測ツールとポテンシャル評価手法・評価マップの開発

3. 研究開発成果の概要

以下、得られた研究開発成果について紹介する。

3.1 低コストに寄与するBHEの削孔機・工法の開発および高効率なBHEの開発

(1) 新型バイブレーションヘッド・自動ロッド脱着システム搭載ボーリングマシン

イニシャルコストの低減において最も重要な課題はボアホール削孔コストの削減である。これには削孔速度の大幅な向上と大胆な省力化が不可欠である。高速削孔のためにはわが国の地質条件に

適した振動ドリルヘッドが必要である。Fig. 1中に示す大きな起振力を持つ振動ドリルヘッドを開発した。これを搭載したボーリングマシンと従来機および国内他社機の3台を砂れき混じりシルト質地層が主な北海道大学構内に持ち込み、同じ地点で深度85mのボアホールを削孔した場合の単位削孔時間 $1/v$ [min/m]の比較実証試験を行った。開発ドリルヘッドの振動子質量はHeavy・Middle・Lightの3種類、振動数は最大90Hzまで変化させた。

結果をFig. 2に示す。起振力が90Nである従来機の $1/v$ は2 min/mであるのに対し、振動子質量をMiddle、周波数を67Hzにした開発ドリルヘッドの $1/v$ は0.9 min/mと、従来機に比べ55%、国内他社機と比べても約30%短縮された。このとき、国内他社機種種のドリルヘッド振動子の周波数は開発機の約2.5倍と高速であることから振動子の摩耗を考えると、開発機の長寿命さが推察される。

次に、作業の大幅な省力化と安全性向上のために、ボーリングロッドの自動脱着装置の開発に取り組んだ。Fig. 1(b)にある様に頂部に自動ロッド脱着システムを、側部にロッドを格納するロッドコンテナを搭載する。Fig. 1(c)はリモートコントローラである。二重管掘り用のロッド交換作業は基本的には全自動であるが安全のために各過程毎にオペレータが確認ボタンを押すことでロッド落脱などをミスを防ぎやすくなる様な機構とした。これにより、従来3人で行っていた削孔作業は基本的には1人で行えるようになった。今後、熟練オペレータのノウハウをAI化して、削孔や孔内フラッシングを含めた全工程を自動化し、遠隔地からOn-lineで操作できる無人削孔機を目指している。

(2) 新型形状Uチューブと省力化配管部材

削孔コストを低減するには小径で削孔するのが有利であるが、BHEの熱抵抗 R_b [m·K/W]は大きくなる。 R_b を小さくするためにはできるだけ表面積

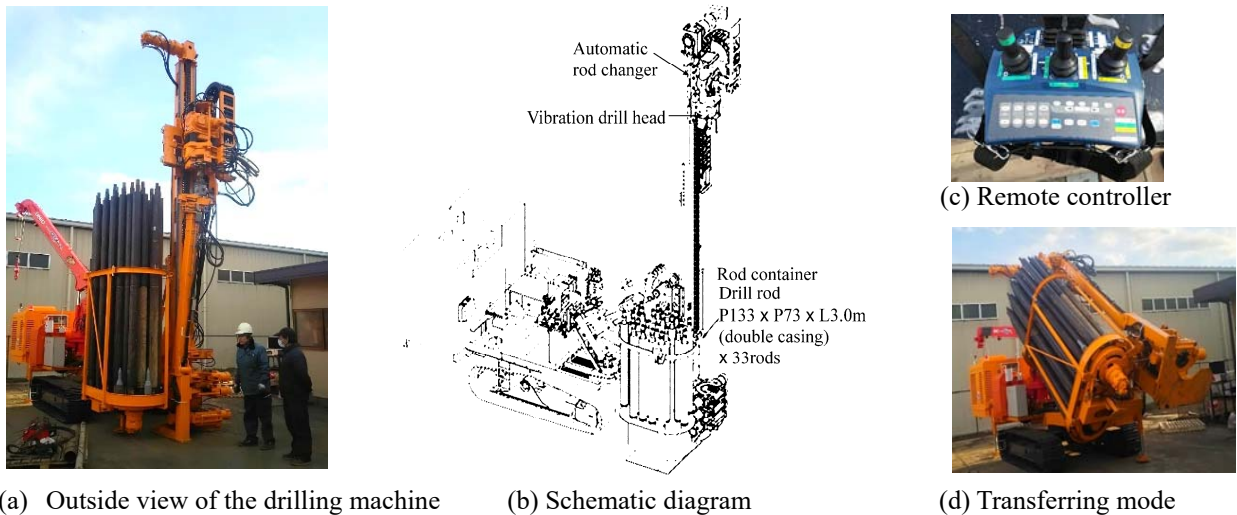


Fig. 1 Developed automatic drilling rod changing system and a vibration drill head

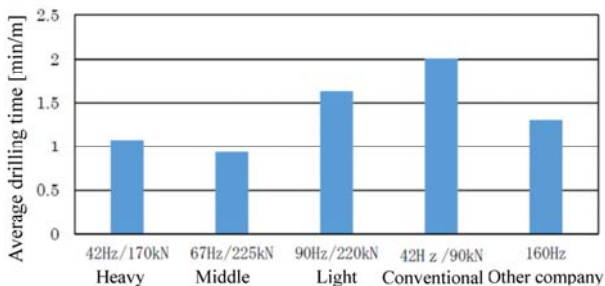


Fig. 2 Comparison of drilling time for unit depth

の大きい熱交換用チューブを挿入するのが良い。
 Fig. 3 に示す様な扁平管を使用することで同じ径のボアホールでもワンサイズ径の大きなUチューブを挿入できる。そこで Fig. 4 に示す呼び径 30A の扁平高密度ポリエチレン (HDPE) パイプ、および電気融着 U ベント継手用の金型を製作し、両者を用いて 30A 扁平 U チューブを製作した。またパイプ間隔の異なる 2 種類の U チューブを組み合わせることにより扁平 30A ダブル U チューブとすることができる。Fig. 5 に示す 3 次元有限要素法による数値計算結果から一般的な 25A シングル U チューブ、および扁平 30A シングル U チューブを持つボアホール型地中熱交換器に不凍液を循環させた場合の R_b を計算し結果を Table1 に示す。ボアホールの充填材の有効熱伝導率 λ_g を 1.7 W/(m·K) とした場合、一般的な 25A シングル U チューブ BHE の R_b は 0.13 m·K/W であるのに対して、扁平 30A シングル U チューブ BHE の R_b は 0.10 m·K/W と前者に比べて 23% 減の結果となった。同時に圧力損失も計算したが、一般的な 25A

シングル U チューブに対して扁平 30A シングル U チューブの場合、圧力損失が半減するので循環ポンプの消費電力が小さくなりシステム効率の向上とランニングコスト低減にも寄与する。

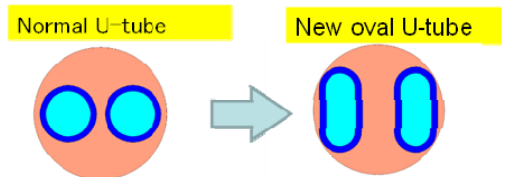


Fig. 3 Section of 25A normal and 30A oval shape single U-tube in BHE



Fig. 4 30A Oval shape HDPE pipe, and oval single and oval double U-tubes

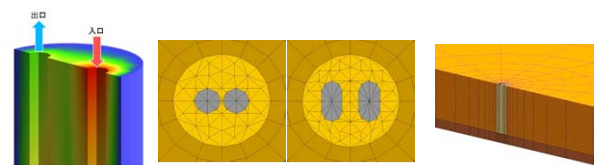


Fig. 5 Calculation model of R_b for BHE by FEM

U-tube	λ_g (W/(m·K))		
	0.9	1.7	2.5
Normal R_{b0}	0.19	0.13	0.10
Oval R_{b1}	0.15	0.10	0.08
Ratio R_{b1}/R_{b0}	0.79	0.82	0.85

3.2 多機能・多熱源連結型 HP ユニットの開発

(1) 60kW 級冷暖房 HP と新型 30kW 級給湯専用 HP

大型ヒートポンプの場合、本体に対する大容量インバータの価格割合が相対的に高くなる。そこで、60kW 級ヒートポンプ (HP) ユニットの開発では、定格出力 30kW のノンインバータ機と最大出力 30kW のインバータ機を 1 つのユニットに収納し、60kW 級機とした (Fig. 6)。この場合、インバータ機が半分の容量となるので、本ヒートポンプの制御域も約 9 kW~80 kW までと幅広い部分熱負荷に対応ができる。Table 2 に標準試験条件における暖房時および冷房時の成績係数 (COP) を示す。それぞれ 4.30, 4.51 と共に目標値を上回る値が得られた。同時に、地中熱源対応の 30 kW 級給湯専用 HP も開発した。標準条件において出湯温度が 65°C, 75°C のときの COP はそれぞれ 4.17, 3.65 と非常に高い値が得られた。



Fig. 6 60 kW type HP unit Fig.7 GSHP simple controller

Table 2 Performances of a developed 60 kW type HP unit consists of a non-inverter and an inverter driven HP

Space heating		INV	Non-INV	Total performance
Compressor revolution	rpm	6000	3000	
Thermal output	kW	28.27	27.96	56.23
Power consumption	kW	6.78	6.30	13.08
COP	-	4.17	4.44	4.30
Space cooling		INV	Non-INV	Total performance
Compressor revolution	rpm	4800	3000	
Thermal output	kW	24.05	29.25	53.30
Power consumption	kW	5.29	6.53	11.82
COP	-	4.55	4.48	4.51

(2) GSHP システムのための簡単コントローラー

HP ユニット単体のコストダウンが図れたとしても、例えば、GSHP ユニットが複数台の場合の台数制御、付随する循環ポンプの温度差一定の変流量制御、さらには複数台の太陽集熱器や冷却塔、加えて空気熱源ヒートポンプやボイラーなどの熱源機器を有するシステムにおいては、オーダーメ

ードの制御システムを製作するのに多額の費用が必要となる。そこで、予め入出力ポートを多数持ち、インバータ制御ヒートポンプの台数制御、循環ポンプの温度差一定変流量制御に加えて、冷却塔や太陽熱集熱器などの各種付加設備を数十台分 ON-OFF 制御可能とする簡単で低コストな制御システムを開発した。開発した制御盤の外見を Fig. 7 に、制御機器の接続方法の系統図を Fig. 8 に示す。

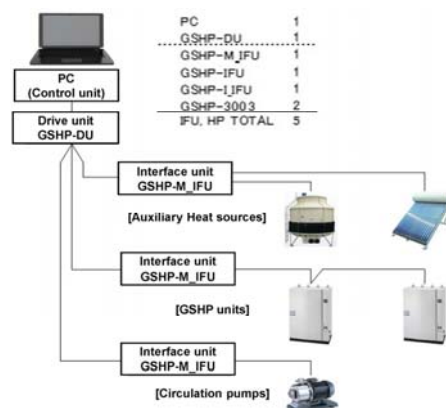


Fig. 8 Interface of GSHP simple controller

3.3 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

冷温熱負荷が同時に発生し、地中熱ヒートポンプの他に空冷ヒートポンプ、冷却塔などが同時に稼働する大規模施設の熱源設備において、ヒートポンプチラーによる冷熱製造時の温排熱を温熱側に、温熱製造時の冷排熱を冷熱側に直接供給する“排熱の直接相互融通”が可能になれば、よりコンパクトで高効率な GSHP を核とする熱源システムを構成することができる。一方、地中熱システムの効率を考えると、地中採放熱による温度変化の上下限がある。そこで BHE 群が受け持ち得る最大熱負荷を GSHP 側で処理し、残りを空冷ヒートポンプチラーで処理させるのがよい。この様に、地中熱交換器への最大処理熱量を計算し地中熱と空気熱への負荷分配をリアルタイムで演算、そしてシステム効率が常に最大となる様に循環流量を制御する。このような最適運転制御アルゴリズムを有する”地中熱利用熱回収ヒートポンプ (HR-GSHP) システム”を開発した。HR-GSHP システムの概念を Fig. 9 に示す。数時間という短期間の地中への放熱・採熱を繰り返す場合には地中熱交換器の単位長さ当たりの採放熱量は非常に大きい。これにより実際の地中熱交換器規模 (本数) をより小

さくすることができ、イニシャルコスト削減のメリットもある。HR-GSHP の一例として、食品工場への適用について考察する。比較対象の従来の空調システムは ASHP と蒸気ボイラーの組み合わせとする。このシステムに HR-GSHP を併用した場合の省エネルギー効果とペイバックタイムについて検討する。冷熱側は GSHP の処理量に応じて補助熱源機の容量を削減する。Fig. 10 中に計算に用いた地盤条件と地中熱交換器の仕様、熱源機の仕様とエネルギー単価を示す。Fig. 11 に BHE の規模を変更した場合の GSHP 処理熱負荷と全負荷に対する GSHP 処理熱負荷の割合を示す。これより BHE を 10 本（総長 1,000 m）とした場合でも、GSHP 処理熱負荷割合が 15% を超えることがわかった。回収年数と LCC の計算結果を Fig. 12 に示す。回収年数は補助金がない場合でも BHE 本数が 10 本、20 本の場合は 7 年以内に収まり、最大で 10 年間の LCC を 5,300 万円削減可能であることが示された。この試算結果から食品工場のような連続的に大きな冷熱温熱負荷を有する施設への HR-GSHP 導入効果は高いことが確認できた。従来方式 GSHP と HR-GSHP の比較を Fig. 13 に示す。HR-GSHP を導入することでランニングコストは 23 % 減、イニシャルコストは 20 % 減となった。これより熱回収を行うことでコンパクトな GSHP であっても大きな省エネルギー効果が得られることがわかる。

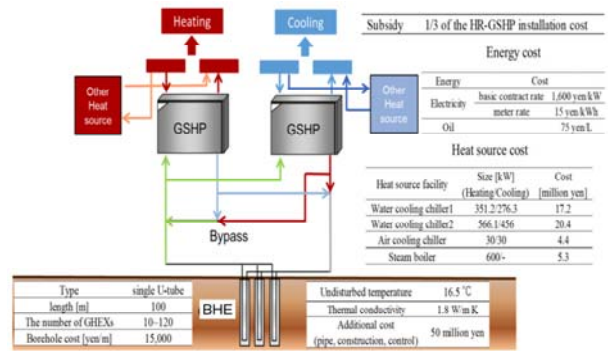


Fig. 10 HR-GSHP system for food factory

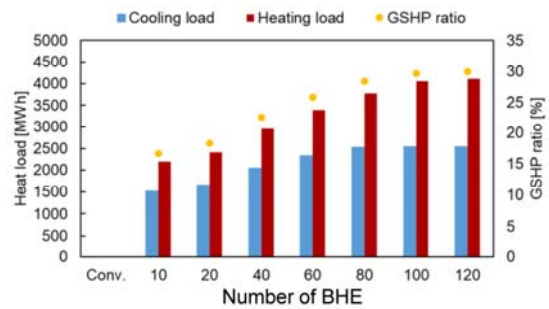


Fig. 11 Heat load of GSHP for BHE numbers

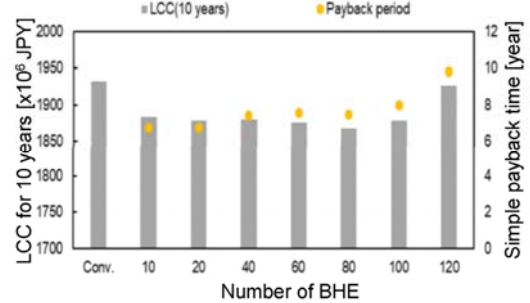


Fig. 12 LCC for 10 years and simple payback period

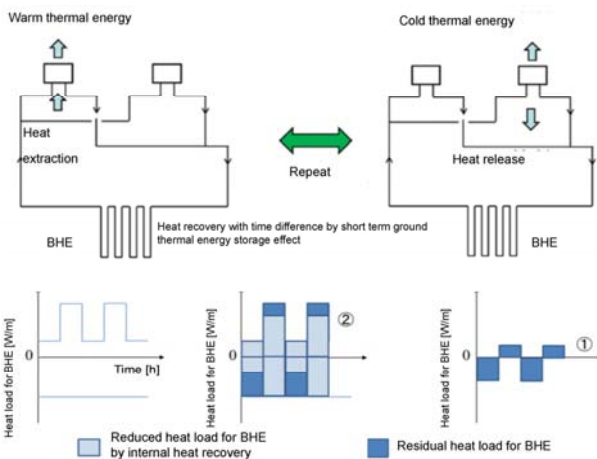


Fig. 9 Concept of repeating heat extraction and heat release for Heat Recovery Ground Source Heat Pump (HR-GSHP) system with short cycle hours

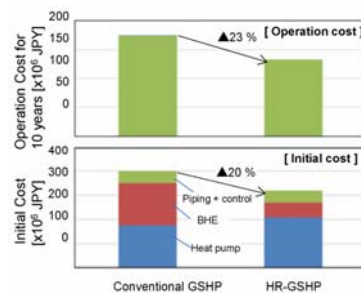


Fig. 13 Comparisons of operation and initial costs

3.4 地理地盤情報を活用した設計・性能予測ツールとポテンシャル評価手法・評価マップの開発

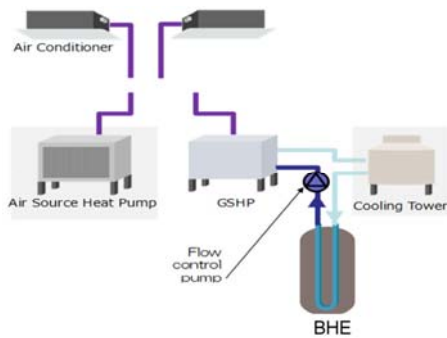
(1) 設計・性能予測ツールの開発

筆者らは、複数本の GHE に対する温度応答の超高速演算手法を編み出し、それを 2007 年に特許化すると共に、この演算手法を組み入れて実用的

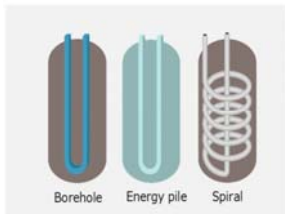
な GSHP 設計・性能予測ツールとして利用できるパッケージプログラム“Ground Club (GC)”を Visual Basic にて開発し、誰でも利用できるようにライセンス企業から頒布を行ってきた [2]。既に開発から 10 年余年が経過し、本プログラムの Version up が求められていた。具体的には、筆者らがその後開発を行ってきた種々の演算機能、例えば物性値が異なる複層地盤の対応、地中熱交換器の種類増加、空気熱ヒートポンプや冷却塔といった空気熱源とのハイブリッドシステム、地盤内水分の凍結・融解潜熱を考慮などの新機能を搭載したプログラムを JAVA により作り直した。同時に、GUI の改良、地理地盤情報との連携も図り、クラウド化対応としたことがシステムの大きな改良点である (Fig. 14 (a)~(c))。この新しい Version のコード名を“Ground Club Cloud (GCC)”として、その β 版を旧ユーザーに評価して貰っている。



(a) Appearance of GUI of “Ground Club Cloud”



(b) Possibility for multi heat source system



(c) Variety of BHE to spiral type heat exchanger

Fig.14 New functions of “Ground Club Cloud (GCC)”

(2) 地理地盤情報を活用したポテンシャル評価手法・評価マップの作成

Fig.15 にポテンシャルマップの作製フローを示す。国土交通省、国研に加え各学協会の協力を得て、位置、地質情報が整っている約 6300 本の深井戸データを収集し、地質分類を統一的に 8 分類に全て整理し直し、データベース化した。そして、インディケータ・クリギング手法を適用して 3 次元空間補間を行い、任意位置の深さ毎、8 分類の地質の存在確率で表した。データベース化において分解能は自由に設定できるが、最も詳細なものは水平方向 250 m×250 m、深度方向 1 m で保管している。この深度毎の存在確率情報を元に、8 分類の地質の代表的な有効熱伝導率を与えることで、深度毎の有効熱伝導率マップを得る。加えて、日本全国の地域毎の不易層地点の地中温度と温度勾配を過去の資料から整理して地中温度分布のマップを得た。また、気象データには日本建築学会の拡張アメダスデータを、外皮の断熱水準は地域毎の次世代省エネ基準に適合した値を与えて冷暖房熱負荷計算を行い、その位置の地盤の平均有効熱伝導率と地中温度、それに暖冷房負荷を入力値として先に紹介した“Ground Club”で 3 種類の地中熱交換器 (BHE) 長さを与えて 3 年間の GSHP 冷暖房計算を行い、そのときの最低・最高地中熱交換温度が制約条件内であることを確認した上、年間平均効率 (APF) が目標値以上となる BHE 長さを求めた。その分布を表したものが Fig. 15 内の右下である。地中熱利用ポテンシャルは、有効熱伝導率、地中温度、地下水流速・流量と深い関係があり、それらをマップ化することも考えられるが、筆者らは任意地点に建つ標準住宅において目標 APF 以上が得られる地中熱交換器長さを表すマップが、設計者や工務店、建物オーナーにとって直感的で一番わかりやすいものだと考えている。Fig. 16 (a)は目標 APF を 4.0 とした場合の BHE 必要長さを日本全国 10 km グリッドで表示している。札幌では BHE 長さは 120 m から 140 m 必要であることがわかる。Fig. 16 (b), (c)は関東平野と濃尾平野の BHE 必要長さ分布を 500 m グリッドで表示したものである [3]。東京都心は BHE 長さが 80 ~100 m、八王子から丹沢の周辺部では 60~80 m、名古屋中心部では 80~100 m、岐阜市周辺では 60 ~80 m 必要であることが図から読み取れる。

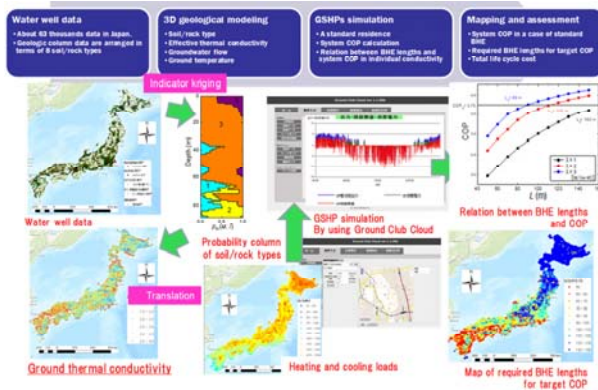
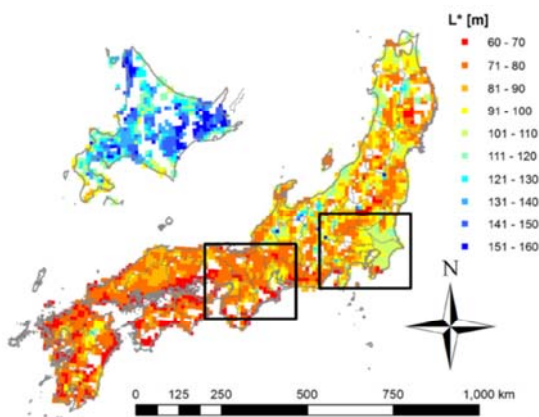
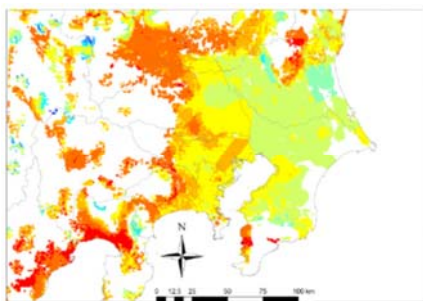


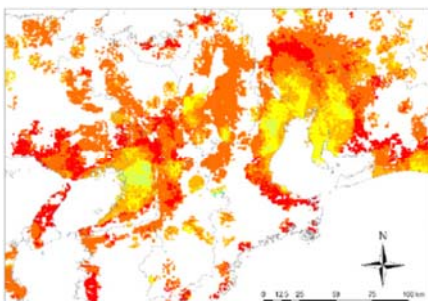
Fig. 15 Production process of some potential maps for shallow ground thermal energy resource



(a) Whole Japan (10km grid)



(b) Kanto area (500m grid)



(c) Noubi and Osaka plane (500m grid)

Fig. 16 Distributions of needed BHE length for standard detached houses in each climate zone [3]

4. まとめ

本稿では、2014～2018年度の5年間、NEDOの再生可能エネルギー熱利用技術開発事業の委託を受けて実施した「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」の主な4項目の成果について紹介した。合理的な計画・設計手法と全国の標準住宅向け必要地中熱交換器長さマップの利用、ボアホール掘削コストの削減、扁平Uチューブによる地中熱交換器長さの低減、高効率低コスト60kW級冷暖房用ヒートポンプチラー、小規模システム用の簡易システムコントローラー、大規模システム向けHR-GSHPシステムなど、これらを組み合わせて施工し、運用することによりイニシャルコスト、ランニングコストをそれぞれ20%削減できる見込みである。今後は、これらの技術を導入したGSHPシステムの実証試験と評価を行う予定である。

謝辞

本研究は2014年度～2018年度の5年間、NEDOの再生可能エネルギー熱利用技術開発事業（研究代表：長野克則）の成果の一部をまとめたものである。NEDO 殿、および北海道大学大学院工学研究院葛隆生准教授、阪田義隆助教、研究開発コンソーシアムに関われた各位に深く謝意を表します。

参考文献

- [1] NEDO: 再生可能エネルギー熱利用技術開発「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」平成26年度～平成30年度成果報告書, NEDO (2019).
- [2] K. Nagano, T. Katsura and S. Kindaichi: Development of a design and performance prediction tool for the ground source heat pump system, Applied Thermal Engineering, 26, 14-15, 1578-1592 (2006).
- [3] Y. Sakata, T. Katsura, K. Nagano: 500m gridded estimation of required length for a closed type borehole heat exchanger in ad ground-source heat pump system, J. JSCE, Ser. G (Environmental Research), 75, 5, I_177 - I_183 (2019).

鋼管杭型浅部地中熱 HP システム –日本大学工学部の取組み–
Shallow Depth Ground Source Heat Pump System with Steel Pipe Pile Heat Exchangers
– Activities of College of Engineering, Nihon University –

伊藤 耕祐, 佐々木 直栄 (日本大学)
Kosuke ITO, Naoe SASAKI (Nihon University)
e-mail: sasaki.naoe@nihon-u.ac.jp

1. はじめに

日本大学工学部は、健康で持続可能な生活様式 (Lifestyles of Health and Sustainability, LOHAS) を実現するための科学技術を「ロハス工学 (LOHAS Engineering)」と名付け、1999 年頃から様々な教育研究活動を進めている[1, 2]. 2008 年度より「ロハスの家」の研究プロジェクトに着手し、キャンパス内に設置した3棟の実験住宅と関連施設 (図 1) 等において、エネルギーを自立し、健康的で快適な温熱環境を構築するための研究を推進している [2, 3]. 本稿で紹介する鋼管杭型浅部地中熱ヒートポンプ (以下, HP) システムの研究開発はその一部である.

最初の地中熱システムは、2009 年 1 月に日本大学工学部キャンパス内に設置された「ロハスの家 1 号」 (図 2) に採用された. 2011 年には地中熱センター東 (以下, GCE) が、2012 年には地中熱センター西 (以下, GCW) が設置された.

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震とそれに伴う福島第 1 原子力発電所事故により、福島

県は再生可能エネルギーの普及促進を重要な復興の柱と位置づけ、2040 年頃までに県内のエネルギー需要量の 100%以上に相当する量のエネルギーを再生可能エネルギーで生み出す県を目指している[4]. 日本大学工学部の浅部地中熱 HP システムを実用化する事業が福島県復興計画[5]の一部として 2011~2013 年度に推進され、2013 年にはその成果の一部として「福島県浅部地中熱実証住宅」 (以下, 実証住宅) が郡山市内に建設された.

2020 年度までの 10 年余りの間に、これらの実験施設において延べ 130 名を超える学生が卒論・修論の研究に取り組み、その約 15%が空調や住宅に関連する企業に採用され、うち 8 名が地中熱に直接関連する仕事に就いている.

また、これら学内施設における教育に主眼を置いた研究活動と平行して、震災復興支援のための文科省の事業[6]により、実用化専任チーム[7]が結成された. 熱、地盤、制御等の多様な専門性を持つ研究者達が県外より招聘され、日本大学大学院工学研究科の修了生 4 名を含む若手技術者の育成

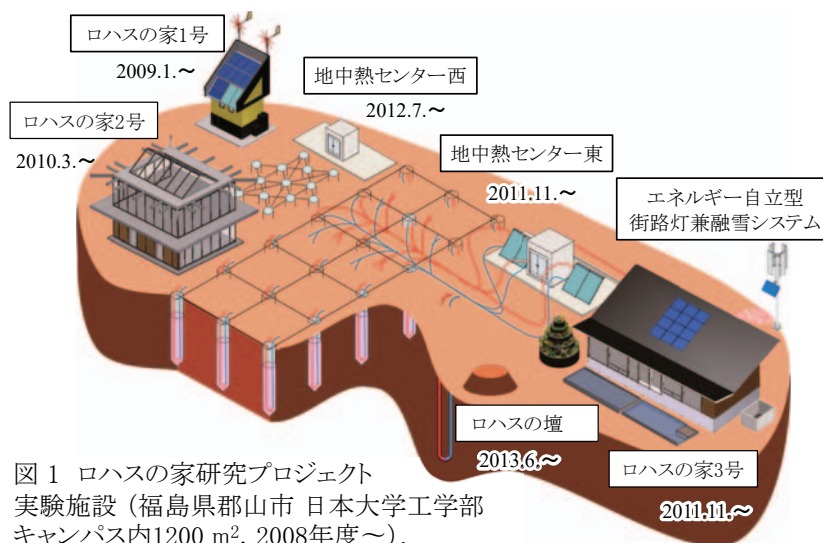


図 1 ロハスの家研究プロジェクト
実験施設 (福島県郡山市 日本大学工学部
キャンパス内1200 m², 2008年度~).

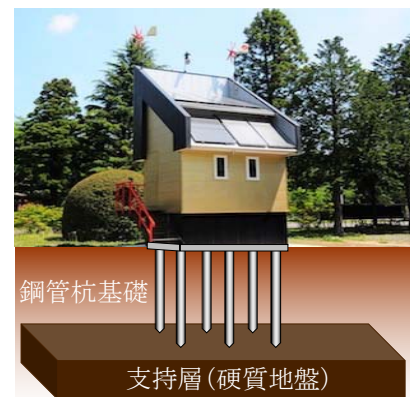


図 2 ロハスの家1号.



図3 (a) ブレードパイル, および (b) 汎用重機による埋設風景.

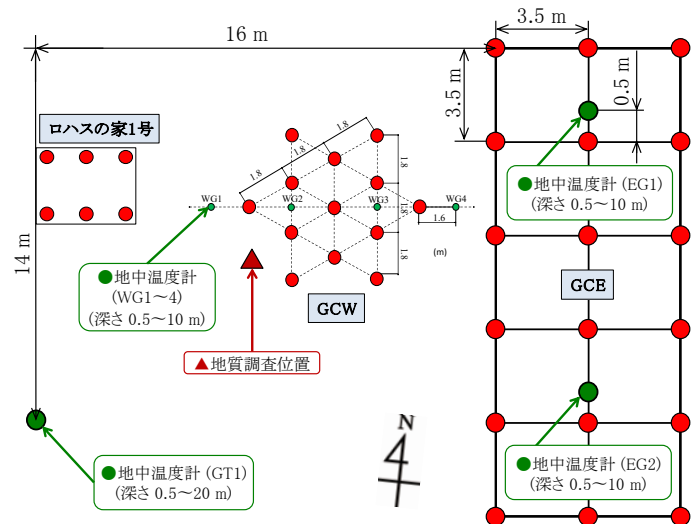


図4 GCEおよびGCWの杭配置と地中温度計位置.

も行われた。2014～2020年には、郡山市との協定[8]に基づいて廃校になった小学校の校舎と校庭を借り受けて日本最大規模の地中熱実験施設が構築され、50社余りの企業との共同研究が推進された。2014年夏には、第1棟目の実用住宅が郡山市内に建設された[9]。

本稿では、これらの日本大学工学部の取組みを紹介すると共に、地中熱システムの本格的な普及に向けた方策について述べる。

2. 鋼管杭型浅部地中熱 HP システムの構成

日本大学工学部の鋼管杭型浅部地中熱 HP システムは、住宅の基礎構造を構成する鋼管杭を熱交換井群とすることを特徴とする。

日本の宅地の多くは、沖積平野や盛り土の造成地などの軟弱地盤上に建設されるため、地震による被害を受けやすい。被害を軽減するためには、地中の硬質な支持層まで杭群を埋設して建物の基礎コンクリートスラブを支える、「鋼管杭基礎」が有効である(図2)。この基礎構造を熱交換井として活用すれば、住宅の地震対策と地中熱システムの総コストが大幅に低減でき、普及促進に寄与できるとの発想から研究開発が進められた。

熱交換井の仕様は住宅の基礎構造に依存する。支持層の深さは住宅設置場所の地質学的特性に依存し、浅いところでは数m程度、深いところでは数十mに達する場合もあるが、概ね10m前後であることが多いとされている。戸建て住宅の杭基礎の杭数は建物の構造や間取りに依存し、配置

も均等ではないが、平均的な杭数は20～30本程度である。

熱交換井として用いる鋼管杭(図3)[10]は、下端が閉塞して杭内には水が満たされており、採熱管が挿入されている。

3. 実験施設

3.1 学内実験施設の地質学的特徴と定点観測点

キャンパス内実験施設の平面図を図4に、また図中の地質調査位置(▲印)の地質を表1に示す。日本大学工学部キャンパスは阿武隈川の氾濫原の一部である。地下6～7mには礫層があり、7m以下は比較的密な層となっている。図4のGT1の南1m地点には地下水位観測井があり、その地下水位は阿武隈川の水面と概ね連動して変化している。掘削調査日の地下水位は約6mであった。なお、図1に示す実験施設群設置場所は、古い教室建屋の跡地であり、基礎を撤去する際に深さ約2mの真砂土が充填されている。

3種類の熱交換井群から十分離れた位置(図4のGT1)には、T型熱電対を0.5～2m間隔で塩ビ管に設置した地中温度計が深さ20mまで埋設されている。その構造を図5に示す。同様の構造の地中温度計が、GCEの採熱杭間に2箇所(図2のEG1およびEG2、いずれも深さ10mまで)、GCWの採熱杭間に4箇所(図4のWG1～WG4、いずれも深さ10mまで)設置されている。いずれにおいても、1分毎の地中温度が常時記録されている。

表 1 地質調査結果概要

深さ (m)	土質区分	N値
0~2	盛土	5
2~4	細砂	6
4~7	礫混じり砂	16~19
7~15	砂礫	13~52
【地盤の有効熱伝導率 (W/(mK))】		
4.31 (循環時法)		
1.42 (回復時法)		
2.30 (ヒストリーマッチング)		

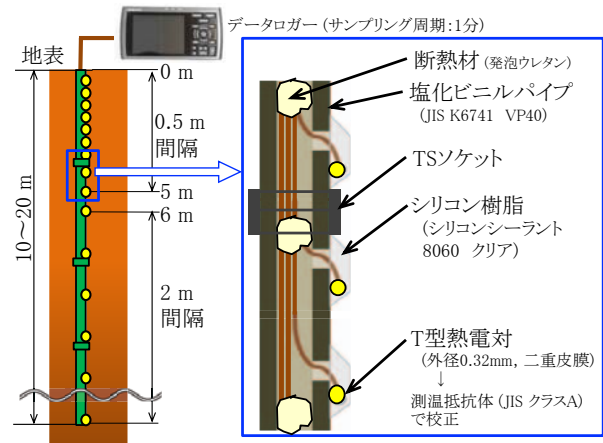


図 5 地中温度計.

3.2 地中熱センター東 (GCE)

GCE には、18 本の鋼管杭型熱交換井 (外径 200 mm, 板厚 2 mm, 平均長さ 4.5 m) が 3.5 m 間隔の格子状に埋設されている (図 4). 熱交換井内に挿入された採熱管は架橋ポリエチレン製であり、並列に地中熱 HP (Sunpot 社製 GSHP1001) の 1 次側に接続されている。地中熱 HP の 2 次側はロハスの家 3 号に熱供給できるよう配管されている。杭内部および杭間の地中 (図 4 の EG1 および EG2) には温度センサーが設置されている。冬期の暖房期間には採熱運転が、夏期の冷房期間には放熱運転が毎年繰り返し行われ、長期間運用時の地中温度の変化が計測されている。

3.3 地中熱センター西 (GCW)

GCW には、13 本の鋼管杭型熱交換井 (外径 180 mm, 板厚 1.8 mm, 長さ 5.0 m) が 1.8 m 間隔で正三角形形状に埋設されている (図 4). 熱交換井と地中熱 HP (Sunpot 社製 GSHP1001 改) を結ぶ採熱管は、ヘッダ部および各熱交換井上端が脱着可能な構造となっている。学生が手作りの採熱管 (架橋ポリエチレン製またはステンレス管製) の比較実験や、熱交換井間を直列または並列に結合した際の比較実験等が行われている。杭内部および杭間の土壌には温度センサーが設置されており、図 4 の A-A' 断面における温度分布変化の解析を行うことができる。

3.4 ロハスの家への実装

上述したロハスの家 1 号 (床面積 10 m²) は、外皮平均熱貫流率 U_A 値が 0.27 W/(m²·K) の高断熱・高气密構造の実験住宅である [2, 3]. 基礎を支える 6 本の鋼管杭 (外径 200 mm, 板厚 2.0 mm, 平均長さ 4.2 m) を熱交換井とし、地中熱 HP (Sunpot

社製 GSHP0701) で採熱する地中熱源システムが設置されている。この熱源システムは、太陽熱温水パネルと組み合わせられており、床暖房および温風暖房が併用可能である。

ロハスの家 2 号は、2010 年 3 月に設置された床面積 38 m² の実験住宅であり、GCW からの熱供給により床暖房が可能である。 [2, 3]

ロハスの家 3 号は、2011 年 11 月に竣工した延床面積 92 m² の実験住宅であり、GCE から室内ファンコイルユニット (以下 FCU) への熱供給による暖冷房が可能である [2, 3]. 室内には、熱容量 2.3 MJ/K の水蓄熱・放熱体 (ウォーター・ウォール) が設置されている。2016 年に、学生が手作りの温冷水タンクが地下実験室に設置され、そこからウォーター・ウォールに GCE の温冷熱が供給できるようになった。

3.5 学外実験施設

上述した実証住宅は、2013 年に福島県郡山市逢瀬町多田野に設置された (図 6). これは、郡山地域における一般的な断熱特性 (外皮平均熱貫流率 U_A 値 = 0.78 W/(m²·K)) を有する延べ床面積 81 m² の実験住宅である。 [11, 12]

基礎下には、10 本の鋼管杭型熱交換井 (外径 180 mm, 板厚 1.8 mm, 長さ 10 m) が 2.6 m 間隔で、格子状に埋設されている (図 7). 熱交換井内に挿入された架橋ポリエチレン製の採熱管は、地中熱 HP (Sunpot 社製 GSHP1002) の 1 次側に、並列に導入されている。地中熱 HP の 2 次側は、床暖房、室内 FCU、給湯、および玄関前ポーチ (28 m²) の融雪の各系統に分岐しており、バルブの開閉により単独または複数同時での運用が可能である。



図 6 福島県郡山市逢瀬町の福島県浅部地中熱実証住宅(2013年6月竣工). 事前申込により体験宿泊が可能.

2012～2014 年度には、地元郡山地域の企業グループとの協働により、農業施設への適用の可能性を探る実証実験も行われた[13]. 石油ボイラー加温で一般的な仕様の温室と、地中熱加温でかつ外皮の断熱特性を向上させた温室を比較し、後者では、大幅なランニングコストの低減が可能な反面、設置コストの回収が課題であることが明らかになっている. 施設規模と作物を適切に選択した場合は、数年で初期投資が回収可能との試算も示されている.

4. システムの特性

4.1 地中温度変化

一般に、地表付近は地中温度の季節変動が大きく、地中熱利用には適さないとされてきた. 住宅の基礎構造を熱源とする場合、設置コストを抑制できる反面、熱源としての能力不足が懸念される.

実態を定量的に把握するため、非採熱部(図 4 の GT1) の地中温度分布の推移を図 8 に示す. 縦軸は地表からの深さ、横軸は時間(月)である. この図より、この地点における地中温度には次のような特徴があることが明らかになった. ①地表面近傍の温度は、冬期には 0℃付近まで低下し、夏期には日平均気温とほぼ同等の 26℃以上に上昇する. ②地表からの深さが概ね 2 m 程度までの地中温度は、冬期を通じて 10℃以下であり採熱には適さないが、3 月以降は地表からの入熱増加によって上昇に転じる. ③地表から深さ 4 m の地中

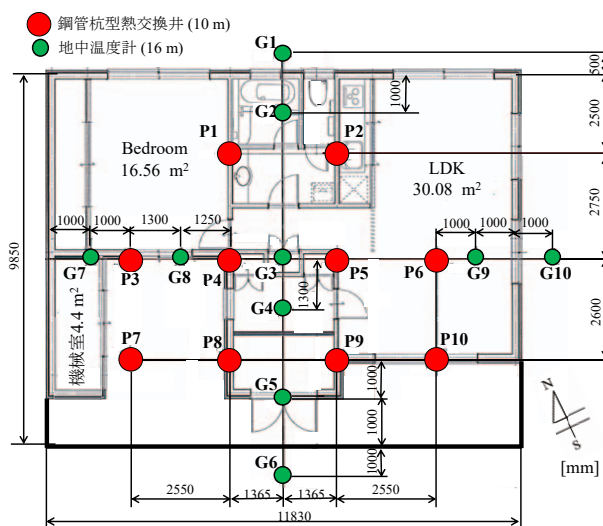


図 7 福島県浅部地中熱実証住宅の平面図.

温度が年間で最高値(約 18℃)となるのは暖房期間初期の 11 月であり、最低値(約 11℃)となるのは冷房期間直前の 5～6 月である. ④地表から深さ 7 m 程度以上の年間地中温度変化は±1℃以内であり、10 m 以上では年間約 15℃で一定である. つまり、郡山地域においては、4 m 以深は地中熱利用に適していると言える.

4.2 採熱に伴う冷媒温度低下

GCE において、2013 年 1 月中旬から 3 月末にかけて 2.3 kW の連続採熱を行った場合の HP 1 次側入口温度の推移を図 9 に示す[14]. 1000 時間を経過した 2 月末までは一定の割合で温度が低下するが、その後は採熱を継続しているにもかかわらず上昇している. 3 月に入って日射が長くかつ強くなり、地表からの入熱が増えたためと考えられる.

実証住宅において、平均 220 MJ/day 未満の採熱を連日行っても、HP 2 次側入口温度は 3℃を下回ることにはなかった. それを上回る採熱を行うと一時的に低下するが、採熱量を戻すと温度も回復する. [15, 16]

4.3 採熱に伴う地中温度低下

熱交換井周辺の地中の伝熱特性を大幅に超える採熱を行った場合、熱交換井群周辺の土壌温度が低下し、運転が継続できなくなる(図 10). 特に、ステンレス鋼の採熱管を用いて高負荷運転を継続した場合、数時間で鋼管杭内の水が凍結する場合もあった. [17]

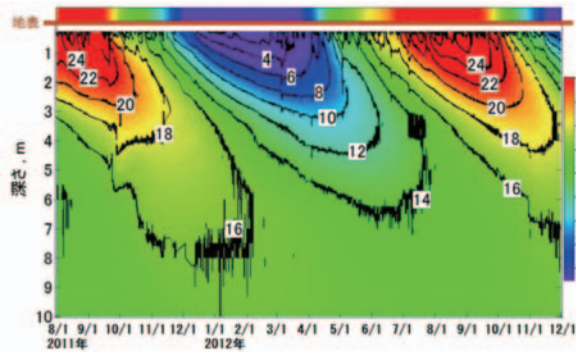


図8 非採熱部 (GT1) における地中温度の年間の推移.

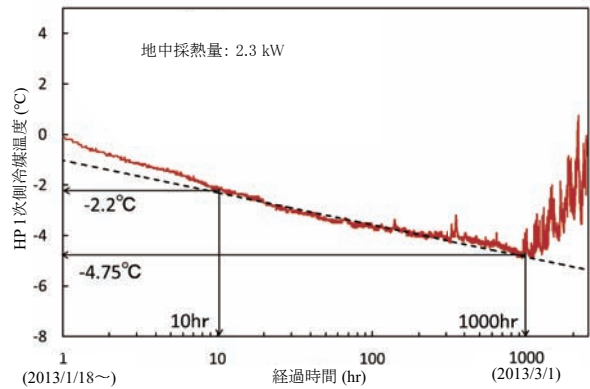


図9 GCEにおける連続採熱 (2.3 kW) に伴う HP (1次側) 冷媒温度変化[14].

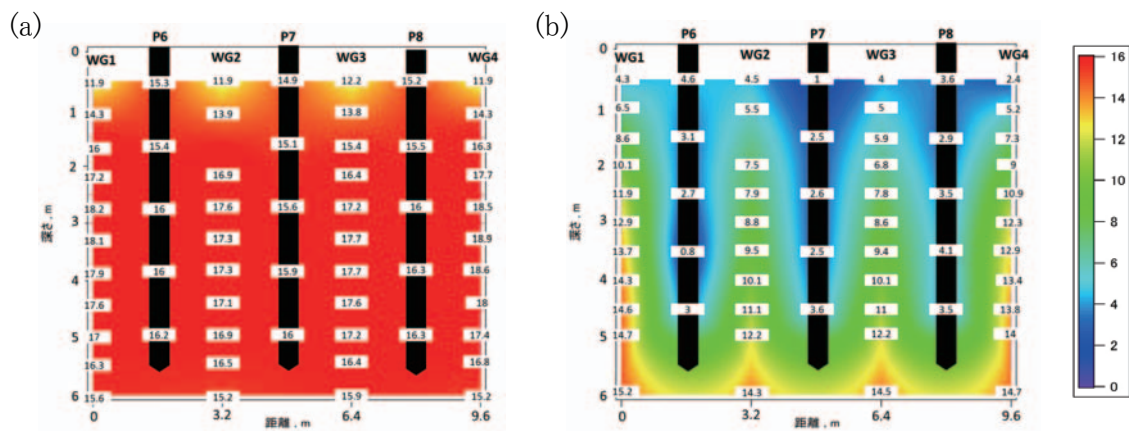


図10 GCW (Fig. 4のA-A'断面)の温度分布. (a) 採熱前 (2012.11.9), および (b) 4.3 GJ採熱後 (2012.12.29) [17].

非採熱部と GCE の採熱部 (図 4 の GT1 および EG1) において数年にわたって計測された深さ 0.5 ~ 10 m の地中温度の日平均値を図 11 に示す[18]. 図中には、外気温と共に、各暖房・冷房期間の合計採放熱量 (採熱: 負値, 放熱: 正值) を示している. 採熱 (または放熱) を行うと、熱交換井周辺の地中温度は低下 (または上昇) する. 長期間にわたり地中熱システムの運用を継続するためには、採放熱量のバランスを取ることが重要とされているが、東北地方などの寒冷地では暖房負荷が大きく大幅な採熱過剰となることから、地中からの採熱により年々地中温度が低下する可能性があり、注意深い設計と運用が求められる.

実証住宅の中央部 (G3) および南側 (G6) の地中温度変化を図 12 に示す[19]. G3 の地中温度は、冬期間を通じて 10°C 以上に保たれる. 3 月以降は、住宅周辺部の地表からの入熱が大きくなるが、地表が最高温となる 8 月でも G3 では 23°C 以下を保っている. 基礎コンクリートスラブの断熱効果に

より、夏期の日射入熱や冬期の地表放熱が制限され、住宅基礎下は適度な温度分布になっていると考えられる. 夏期の日射入熱が深さ数 m に達するのは数ヶ月遅れて、冬期となる. 水平方向の伝熱も同様と考えると、住宅の外周部から中央部に到達するのも冬期ということになる. つまり、この実証住宅のような多くの一般住宅基礎下は、夏期の日射入熱を冬期に活用するために都合の良い大きさであると言える. 一方で、老人福祉施設など床面積が大きい建築物の基礎下から採熱する場合は、中央部まで日射熱が届きにくい点に留意して採熱杭の位置を適切に選定する必要があるものと考えられる.

なお、この実証住宅は、数年間にわたり採熱過剰な状態で運用しているにもかかわらず、地中温度の低下が見られない[19]. 住宅北側の土手下にある水田への農業用水の流入により住宅基礎下の地中温度分布が影響を受ける傾向があり、地下水脈の影響を受けていることが示唆されている.

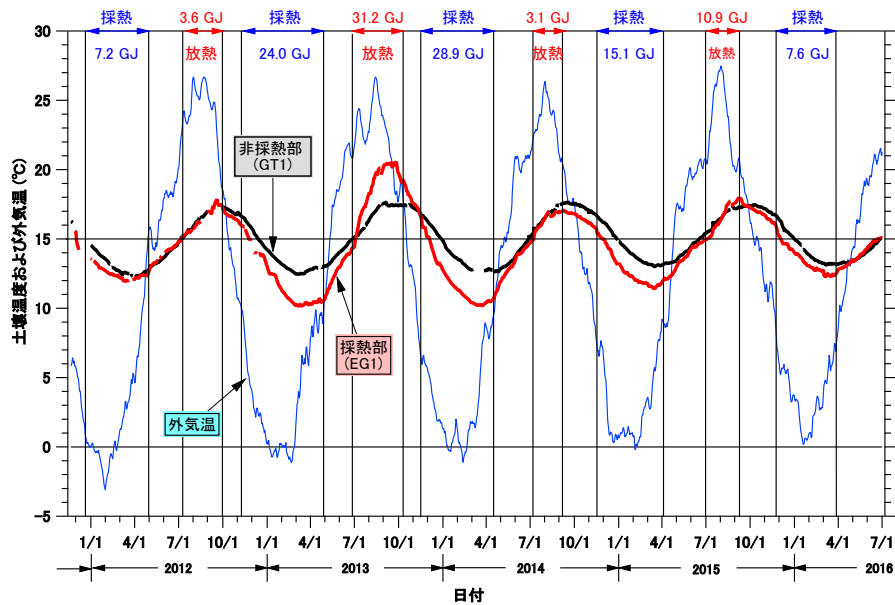


図 11 非採熱部 (GT1, 黒) および採熱部 (GCE中のEG1, 赤) における地中温度 (0.5~10 m の日平均値) の推移. 青線は外気温. 上部の数値は, 各暖冷房期間中の積算採放熱量[18].

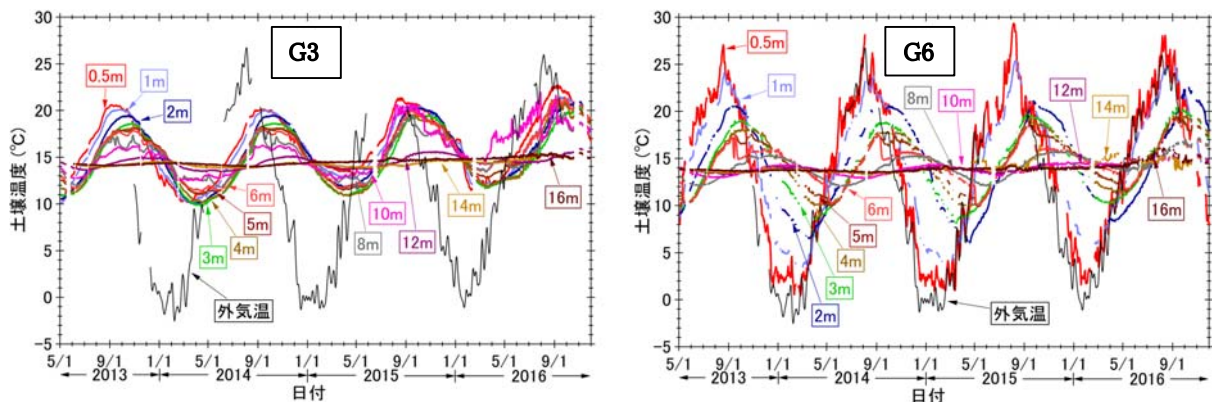


図 12 実証住宅のG3 (左) およびG6 (右) の各地点における地中温度の推移[19].

このように、伝熱特性は地質や地下水流等に影響されるため、地中熱物性の評価が重要である。田中らは、非採熱部 (GT1) の地中温度の季節変動からみかけの熱伝導率の算出を試み、含水率の影響を受けることを指摘している[20].

5. 本格的な普及に向けて

以上述べたように、地中熱交換井の特性に及ぼす地質学的な要因は多様であり、「こう設計すれば十分」という単純な解はない。地中熱システムが運用コストに優れる点は多くの事例で明らかにされているが、「すべての熱需要をまかなうために十分な設備を設置する」という設計方針では、運用期間の大部分で設備過剰になりがちであり、大き

な初期費用が普及の妨げとなる。

日本大学工学部の鋼管杭型浅部地中熱 HP システムでは、熱交換井を住宅の基礎構造と共有することにより、「住宅を建設するついで」に熱交換井を設置でき、住宅建設も含めた総コストの大幅低減につながっている。地中温度変化の解析結果より、地表から 2 m 程度は熱交換井としての機能が期待できないとみなして割り引いても、合計 200 m 前後が熱交換井として活用できる。これで十分か否かに関わらず、「ついで」に得られる地中熱を「ベースロード熱源」と位置づけ、ピークロード対応は蓄熱システムや設備が安価な補助熱源で行うことにより、システム全体の設置コストを大幅に低減させることで普及につながると考える。

さらに、住宅の杭基礎の長さは一般的なボアホール型熱交換井よりも大幅に短い。安定した地盤まで届いていれば良いので、硬い岩盤を掘り進む必要はなく、大型で特別な重機は不要である。さらに、本稿で紹介したシステムに使用している鋼管杭は建設現場で用いられる汎用重機での埋設が可能であり(図 3)、残土も生じないため、重機設置の段取り・撤収や残土処理などの付帯費用も安価である。とはいっても、安定した地盤ではそもそも鋼管杭基礎は不要であり、軟弱地盤に杭を埋設するための工法も岩盤地質では熱交換井設置には使えない。つまり、ボアホール型熱交換井を用いた在来技術を否定するものではなく、普及促進のための技術的選択肢の一つと位置づけるべきであろう。

ユーザの総コストを下げるための別の方策は、住宅の断熱特性の向上により熱需要を下げることである。熱交換井、HP、室内機のすべてで設備能力、つまり初期コストを削減でき、室内の快適性を損なうことなく、運用コストも削減できる。この方策は、暖房熱負荷が高い北欧では以前から採用されており、2011年に発表された温室効果ガス削減策のロードマップでもEUの重要な施策の一つになっている。日米においても2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた政策転換が発表され、ZEB、ZEH対応が必須となる。その実現のためには、建築物の断熱特性を2~3割向上させる必要があるとされており、結果として、より小型のHPでも熱需要をまかなえることになる。太陽光発電等による自立型電源システムでHPを駆動する場合、HPの定格電力消費の削減はインバーターの設備能力の削減にもつながり、システム全体の大幅な設備コスト削減にも寄与する。小型地中熱HPの開発に期待したい。

付加価値をつけ、費用対効果を向上させることも普及促進につながる。日本大学工学部がOBの建築家と共同で開発したSP免震基礎工法[21]を用いると、鋼管杭基礎設計時の杭配置の最適化のみにより、免震性能を付与することができる。ここ数年、免震マンションは増えているものの、在来工法の戸建て免震住宅は、500~1000万円の追加費用となるため、ほとんど普及していない。鋼管杭型熱交換井による地中熱システムとSP免震との組み合わせは、上述した第1棟目の実用住宅

(2014年)にも採用され、免震設計を施した杭基礎設置費用が170万円、HP等の設備費用が158万円であった[9]。その後の技術開発により、設備費用を100万円以下に削減する目処が立ちつつあり[22]、普及に伴う量産効果により将来的にはさらに低価格化が期待できる。

東北地方太平洋沖地震以降の10年間だけでも、熊本地震など各地で大きな地震が発生しており、多くの人々が被災し、避難所での不安な夜を過ごさざるを得なかった。気候変動に伴って、2019年の台風19号、翌2020年の令和2年7月豪雨などの水害が今後増加するとも言われている。免震性能を備え、地中熱床暖房を実装した快適な避難所は、COVID-19等の感染症対策で換気が必要な場合も、避難者の健康と安全を担保する不可欠な社会インフラとなり得るであろう。

そのいずれにおいても、空調機械システムの改良はもちろんのこと、建築物の伝熱特性の改善や地中の伝熱特性の解明や計測法の開発など、伝熱工学の果たす役割は重要かつ多様である。

謝辞

本研究の推進にあたり、ご指導・ご協力下さった学内外の関係者の方々、並びに熱心の実験や解析をしてくれた学生諸君に心から謝意を表す。

参考文献

- [1] 出村克宣, はじめに, 日本大学工学部・ロハス工学編集委員会 編, ロハス工学, 日経BP社 (2019), 2-4.
- [2] 日本大学工学部 web site: ロハス工学研究コミュニティへようこそ, <http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/lohas_com/>, (2021.1.24).
- [3] 伊藤耕祐, ロハスの家 自然と共生する暮らし方の探求, 日本大学工学部・ロハス工学編集委員会 編, ロハス工学, 日経BP社 (2019), 202-216.
- [4] 福島県 web site: 福島県再生可能エネルギー推進ビジョン, <<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/energy56.html>>, (2021.1.24).
- [5] 福島県 web site: 福島県復興計画 (第1次) 策定 (平成23年12月28日), <<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/fukkoukeikaku1071.html>>, (2021.1.24).

- [6] 文部科学省 web site: 再生可能エネルギー先駆けの地ふくしまイノベーション戦略推進地域, <https://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2018/08/07/1382506_32.pdf>, (2021.1.24).
- [7] 日本大学工学部 web site: 日本大学工学部機械工学科再生可能エネルギーシステム研究室, <<http://www.mech.ce.nihon-u.ac.jp/~oguma/index.html>>, (2021.1.24).
- [8] 日本大学工学部 web site: 郡山市と再生可能エネルギー技術の研究開発に関する協定を締結 (2011.11.14), <<https://www.ce.nihon-u.ac.jp/report/郡山市と再生可能エネルギー技術の研究開発に関/>>, (2021.1.24).
- [9] 再生エネで電力賄え 日大 家の杭から地中熱, 日経産業新聞 (2014年8月4日).
- [10] 日本ブレードパイル協会 web site: bD パイル, <<http://juukankyousekkeisitu.com/bdpile.html>>, (2021.1.24).
- [11] 伊藤耕祐, 浅部地中熱利用システムの開発～復興住宅用小型地中熱ヒートポンプシステムの開発～, 平成23～25年度再生可能エネルギー関連産業創出プロジェクト事業 福島県ハイテクプラザ研究報告書, (2013), 13-22.
- [12] 影山千秋, 浅部地中熱利用システムの開発～小型ヒートポンプ用浅部地中熱採熱システムの開発～, 平成23～25年度再生可能エネルギー関連産業創出プロジェクト事業 福島県ハイテクプラザ研究報告書, (2013), 23-32.
- [13] (公財)郡山地域テクノポリス推進機構, サザンクロス, vol. 64, (2016), 10, <<https://www.techno-media.net6.or.jp/library/wp-content/uploads/sites/5/2016/06/vol641.pdf>>, (2021.1.24).
- [14] 橋本諒, 地中熱センター東における採熱による冷媒温度変化の推定, 平成24年度日本大学工学部機械工学科卒業論文, (2013).
- [15] 荒井優佑, 伊藤耕祐, 矢代光, 影山千秋, 福島県浅部地中熱実証住宅における地中熱ヒートポンプシステムの暖房特性, 2016年日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, E133 (2016.9.6-9, 神戸), (2016).
- [16] 伊藤耕祐, 荒井優佑, 矢代光, 影山千秋, 阿部眞也, 福島県浅部地中熱実証住宅における地中熱ヒートポンプシステムの特性, 日本冷凍空調学会論文集, 37, 3, (2020), 329-338.
- [17] 白石宗一郎, 地中熱センター西における採熱時の地中温度分布, 平成23年度日本大学工学部機械工学科卒業論文, (2012).
- [18] 伊藤耕祐, 平博寿, 荒井優佑, 影山千秋, 地中浅部における採放熱に伴う土壌温度変化, 日本地熱学会平成28年郡山大会予稿集, B19, (2016.10.19, 郡山), (2016).
- [19] 矢代光, 伊藤耕祐, 荒井優佑, 鋼管杭型浅部地中熱ヒートポンプシステムの実証的研究, 機械学会東北支部 第52期総会・講演会予稿集, 194, (2017.3.14, 仙台), (2017).
- [20] 田中三郎, 福富翔, 山田英樹, 伊藤耕祐, 佐々木直栄, 浅層における地中熱物性の簡易推定に関する研究—太陽エネルギーを熱源とした周期加熱法による地中熱拡散率の評価, 太陽エネルギー, 45, 6, (2019), 51-58.
- [21] 日本ブレードパイル協会 web site: SP 免震基礎工法, <<http://juukankyousekkeisitu.com/spmshin.html>>, (2021.1.24).
- [22] 小熊正人, ロハスの地中熱利用 空気熱に代わる次世代空調システム, 日本大学工学部・ロハス工学編集委員会 編, ロハス工学, 日経BP社 (2019), 228-230.

浅層地中熱利用の融雪・空調技術開発の事例紹介

*Introduction of Developments of Snow Melting and Air Conditioning Technologies
Utilizing Shallow Geothermal Energy*

永井 二郎 (福井大学)

Niro NAGAI (University of Fukui)

e-mail: nagai@u-fukui.ac.jp

1. はじめに

このたび、「地中熱の利活用最前線」特集に記事を執筆する機会を頂いた。本来は、地中熱を利用する様々な技術（例えば、空調や融雪）の現状と課題を整理した上で、筆者が関与してきた研究開発事例を紹介すべきところであるが、広い意味での現状と課題の整理は本特集号に寄稿される他の名だたる研究者にお任せし、本稿はあくまでも、筆者が関与してきた地中熱利用研究開発事例を紹介するに留める。

筆者が地中熱利用技術に係わるきっかけや、新型ヒートパイプ BACH を利用した浅層地中熱利用実証試験概要については、本誌 2013 年 10 月号 [1] に報告済みである。それ以降、筆者が関与した地中熱利用研究開発も含めて振り返ると、共通しているのはせいぜい地下 30m 程度までの「浅層地中熱」利用に限定されていることであり、用途は空調と融雪（凍結防止を含む）だけである。地熱発電で利用される地熱はまさにエネルギー源であるが、この「浅層地中熱」はエネルギー源とはいえない。地表面から地下数 m の範囲は、四季や昼夜等の気象条件変動により温度分布が変動する温度境界層となる。それより深い位置の地中温度はほぼ一定であり、その地域の年間平均気温に+1~2℃と言われる。福井県ではその平均地中温度は 16℃程度で一定である。そのため、夏季には冷熱源に、冬季には温熱源として活用可能となるが、浅層地中熱を人工的に利用しても温度が一定であると誤解してはいけない。浅層地中熱は、あくまでも「地下の顕熱蓄熱体」と捉えるべきであり、熱を取り出せば温度が低下し、熱を加えれば温度が上昇する。近年、エネルギーシステムのスマート化が求められ、エネルギーを蓄える媒体としてバッテリーや水素に注目が集まるが、熱を蓄える媒体としてのこの自然の「地下の顕熱蓄熱体」をうまく利用できないかと考える。

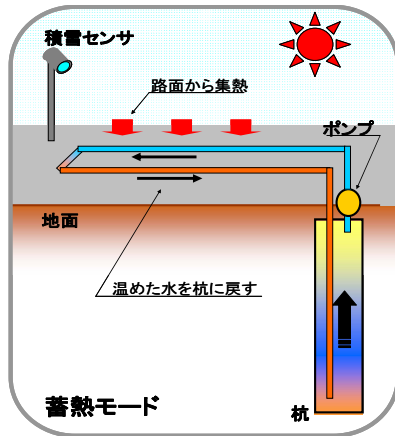
1990 年頃より福井県において、宮本重信先生（前 福井大学産学官連携本部特命教授, 元 福井県雪対策・建設技術研究所総括研究員）と竹内正紀先生（福井大学名誉教授）を中心として地中熱利用融雪システムの研究開発が本格化した。筆者は 2002 年より、両先生に誘われる形で地中熱利用研究開発に参加し始めた。両先生の取組は文献[2], [3]を参照されたい。本稿では、既報[1]の内容も含めて、下記事例を紹介する。ヒートパイプ BACH 関連を除けば、いずれも両先生にリードされ筆者はサポート役を務めてきた。

- ・水循環による季節間蓄熱を援用した地中熱融雪
- ・ヒートパイプ BACH を用いた無動力地中熱利用
- ・浅層地中熱を利用したヒートポンプ空調システム

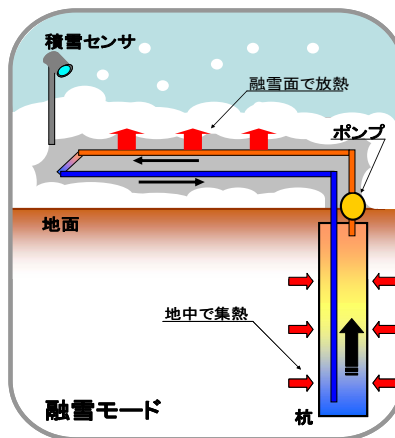
2. 水循環による季節間蓄熱を援用した地中熱利用融雪システム [1]~[7]

福井平野は沖積平野に位置し粘土・砂・シルトの軟弱層が 15~40m あり、ビルや橋には基礎杭が使われる。この地盤は約 1.5W/(m・K)の熱伝導率だが、地下水で満たされ容積比熱は約 3MJ/(m³・K)と大きい。そしてその浅層地中熱の温度は、人工的に何もしなければ約 16℃で一定である。

このような福井の気象と地盤を活用して、図 1 に概要を示す「地中熱・太陽熱利用融雪システム」を開発し、一部社会実装を実現した。路面下の細管と地中に埋設した熱交換杭により閉ループ流路を構成し、その中に純水あるいは不凍液を充填する。夏季は太陽熱により路面温度が上昇し、水循環させることにより路面の太陽熱を地下数 m~数十 m の地中に蓄熱する。冬季は、降雪あるいは積雪センサーによりポンプ運転を制御し、地中熱を路面に輸送することで融雪を行う。これまで福井県内での社会実装に加えて札幌市での実証試験にも成功した。融雪能力（＝路面での放熱熱流束）



(a) 夏季：太陽熱を地中に蓄熱



(b) 冬季：地中熱を融雪に利用

図1 季節間蓄熱を援用する融雪システム

はシステムの設計により可変であるが、実装されたシステムでは $100\sim 300\text{W/m}^2$ を実現した。初期コストは数万円/ m^2 オーダーであり、今後社会実装の拡大を期待している。

課題の1つは、このシステムの最適設計手法の簡易化である。図1はあくまでも概念図であり、実際には次に示すように多くの設計パラメーターが融雪能力に影響を及ぼし、初期コストとランニングコストに直結する。

路面面積（融雪面積）、地中熱交換杭の直径・長さ・本数・間隔、路面下放熱管の直径・長さ・かぶり、循環液流量、地中熱物性、路面熱物性、対象地域の気象条件（気温・日射量・降雪深等）

これまでに筆者らは、上記パラメーターを入力して、地中の3次元非定常熱伝導と路面での熱収支と融雪を含む数値計算を可能とする汎用的なプ

ログラムを作成し、実測値と良好な一致を示すことを確認した[4], [5]。しかしこれではシステムの最適設計は容易ではなく、システム導入を計画する側から見れば、期待する融雪能力に対する最適条件（一般的には低コスト化）が不明で導入に到らない。

そこで、前述の設計パラメーターを種々変更して数値計算を行いデータベースを構築し、次元解析により得られた無次元数により、融雪能力と設計パラメーターの無次元関係式構築を試みた[6], [7]。その結果、福井・長岡・札幌における様々な設計条件に対して、1つの無次元関係式が比較的良好に計算結果と一致した。つまり、この関係式を用いれば、システム導入者が期待する融雪能力に対する最適な設計パラメーターを、数値計算ではなく簡単な電卓計算により入手可能である。ただ、この簡易最適設計のための無次元関係式には改良の余地があり、今後は機械学習（深層学習）の手法を取り入れて検討を進める予定である。

地中熱を利用した融雪システムとして、帯水層間の水循環によるものも実証試験を行った[1]が、本稿では割愛する。

3. ヒートパイプ BACH を用いた無動力地中熱利用

3.1 ヒートパイプ BACH 概要

ヒートパイプは、無動力で高温部から低温部へ効率よく（見かけの熱伝導率が非常に大きく）熱輸送を可能とするデバイスである。現在、CPU冷却等で広く用いられるヒートパイプは、ウィック式あるいはサーモサイフォン式ヒートパイプと呼ばれるもので、高温部での作動液蒸発と低温部での凝縮により熱輸送を実現している（詳しくは、

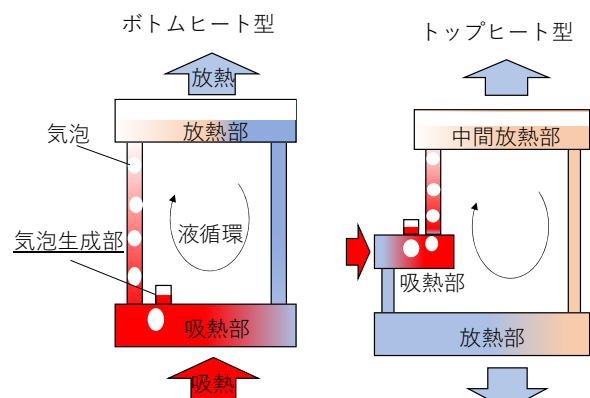


図2 ヒートパイプ BACH

例えば「伝熱」2012年10月号の「古くて新しいヒートパイプ」特集号[8]を参照).

2007年に、福井県敦賀市にある(財)若狭湾エネルギー研究センターが、一風変わったヒートパイプを発明・出願した(その後、特許として確定)[9]. 図2にその基本的な概念図を示す. 図2左側図に示すように、ループ状の密閉配管内に作動液を比較的多く充填する. 高温部に設置した「気泡生成部」から、蒸気泡が連続的に生成され、その泡の浮力により液循環が誘起され、潜熱輸送+顕熱輸送により熱輸送を実現する. 「気泡生成部」で生成された蒸気泡は、放熱部で凝縮し、下降管に流入することはない.

筆者は2007年以降、若狭湾エネルギー研究センターや県内中小企業と共に、この新しいヒートパイプの共同研究・開発を行い、当時の若狭湾エネルギー研究センターの新宮所長と相談し、このヒートパイプを「気泡駆動型循環式ヒートパイプ(Bubble-Actuated Circulating Heat pipe) 略称: BACH」とネーミングした[10].

通常のウィック式あるいはサーモサイフォン式ヒートパイプでは、トップヒート(上部吸熱・下部放熱)では性能が激減してしまい、少なくとも全長が数mでは作動しない. 後述のような地中熱利用を考えると、全長数mオーダーで動作するヒートパイプが必要である. 2007年のBACH発明当初から、上手く工夫すれば、図2右側に示す擬似的なトップヒートもBACHは実現できるのではないかと期待していた. つまり、BACHは気泡の浮力を用いるため、どうしても気泡が上昇する部分が必要である. そのため図2に示すように中間放熱部を設けて、泡ポンプ効果により液循環駆



図4 2009年12月福井県大野市での融雪状況

動力を得て、後はサイフォンの原理に従い、下部の放熱部までは液体のみが循環するようにした. その結果、トップヒート状態でBACHが作動することが確認され、その熱輸送特性把握を行った[11], [12]. また、その汎用的な熱設計ツール(伝熱モデル計算)もほぼ完成した[13], [14]. このBACHを活用した排ガス排熱有効利用や太陽熱集熱・輸送システム等も研究開発を行ったが、以下は地中熱利用に絞って、その概要を記す.

3.2 地下埋設防火水槽の鉄蓋周囲融雪・凍結防止

普及しているコンクリート製防火水槽は、図3に示すように地下数mの位置に埋設されている. この防火水槽に関連して、寒冷積雪地の火災現場では、積雪により地表面の吸管投入孔(鉄製)の場所発見が遅れたり、鉄製の蓋が凍結して、消火活動に遅れが生じる可能性がある. 筆者は過去に、サーモサイフォン式ヒートパイプにより防火水槽内の水(冬季は10°C程度)から吸熱し鉄蓋周囲で放熱することで、鉄蓋周囲の局所的な融雪と鉄蓋の凍結防止が可能かどうか、実証試験を行った. その結果、比較的気象条件が緩やかな福井県越前市では、ヒートパイプにより凍結防止が可能で局所的な融雪効果も示された[15]. しかし、より寒冷で豪雪地域での適用を考えると、ヒートパイプの高性能化が必要とされた. そこでBACHの適用を検討した[16].

使用したBACHの全長は約4m、配管は15AのSUS304製である. 図4は、豪雪地域である福井県大野市に設置した本システムの融雪状況の写真である. この日の気象条件は、最低気温-1.7°C、最高気温3.0°C、自然最大積雪深60cmであった. 図に示すように、円形のBACH放熱部真上部分の雪が融けて、鉄蓋の位置が容易に分かる. 図には

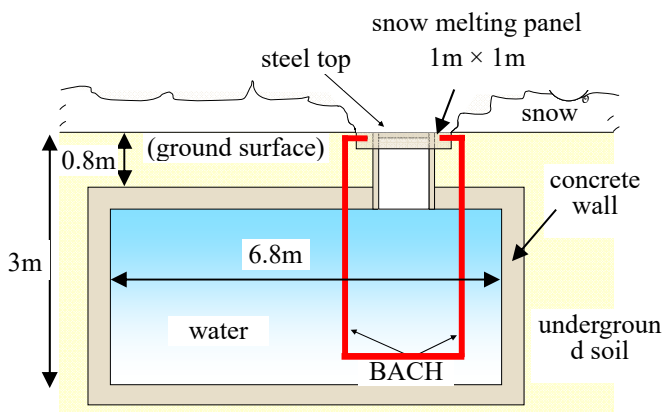


図3 防火水槽鉄蓋周囲融雪・凍結防止システム

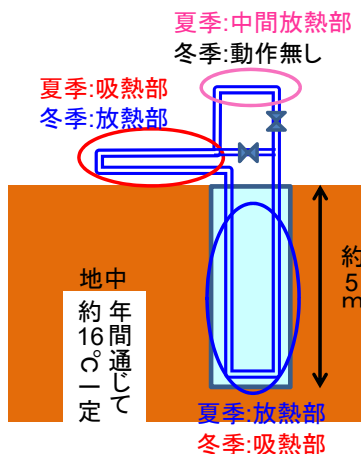


図5 BACHによる無動力空調システム概念図

示さないが、鉄蓋周囲の温度も 0℃以上を保ち、凍結防止効果が確認できた。

3.3 無動力空調システム（夏季冷却，冬季加熱）

前述の通り，地下 5m～数十 m の地中は年間を通じて温度一定（福井では約 16℃）である．夏季の気温 30 数℃や冬季の気温 0℃と地中温度の有意な差を考えれば，ヒートパイプを用いた無動力で緩やかな空調（夏季の冷却，冬季の加熱）実現も，原理的には不可能ではないだろう．

筆者は，図 5 に示すような「熱輸送方向切り替え可能 BACH」を共同出願した．図 2 に示すように，BACH のボトムヒートとトップヒートは構成要素が一部異なるため，熱輸送方向に応じて別個に製作していた．そこで，2 箇所の開閉操作によって，ボトムヒート状態とトップヒート状態を切り替え可能とする仕組みが考案された．この「切り替え可能 BACH」を用いれば，図 5 に示すように 1 つの装置により，夏季はトップヒート状態で作動させ地上で吸熱・地中で放熱が実現し，冬季はボトムヒート状態で作動させ地中で吸熱・地上で放熱が実現する．

まず，「切り替え可能 BACH」の熱輸送特性を把握するための試験を行った．地中熱交換部の長さは，比較のため 2m, 4m, 6m の 3 通りで行った．その結果，BACH 1 本あたり，トップヒート状態では最大で約 300W，ボトムヒート状態では最大で約 100W の熱輸送能力を示した．ボトムヒート状態の方が性能が低下する理由は，ボトムヒートに切り替え後の作動液充填割合が 100%に近いためである．

この結果をふまえて，プレハブ小屋（高さ 3m，幅 2.2m，奥行き 4.5m）に切り替え可能 BACH を 8 本設置して実証試験を行った[17]．小屋は 2 つあり，1 つは地中熱交換長さが 4m，もう 1 つは 6m である．室内から床下へ送風機で空気を送り，床下で熱交換した空気が室内に還流する仕組みとなっている．その結果，夏季の冷却能力は BACH 8 本合わせて 100～150W，冬季の暖房能力は 50W 程度となった．原理的には，BACH 本数を増やせば冷暖房能力は高まるものの，その初期コストを考えれば現実性はそれ程高くはない．ただ，送風機動力のみの使用で，浅層地中熱を用いた「やんわりとした」冷暖房が技術的には可能であることは提示できたと考えている．

4. 浅層地中熱を利用したヒートポンプ空調システム[18]～[21]

この事例は，2014～2018 年度の NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発／地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化／共生の大地への地中蓄熱技術の開発（代表研究者：宮本重信）によるものである．この内，筆者が主に担当した内容[18]～[21]について述べる．

現在空調システムは，いわゆるエアコンなどの空気熱源ヒートポンプ（以降 ASHP）が主流である．しかし，ASHP は外気温度と室内温度の差が大きい場合の運転能力の低下や，また積雪地域や寒冷地域では冬季暖房時に除霜運転が必要であるといった欠点がある．地中熱を熱源とする水冷式ヒートポンプ（以下 GSHP）を用いた空調システムは，運転能力に外気温度の影響をあまり受けず，除霜運転の必要もなく，COP 向上が期待できる．GSHP 空調システムの最大の課題は，地中熱交換器の埋設等の初期コストが高いことといわれている．従来の GSHP システムは地下約 100m まで掘削された垂直孔の中に熱交換器を持たせるボアホール型と呼ばれる方法が主流であるが，この掘削には多くの費用がかかる．そこで，GSHP システム初期コスト低減をねらいとして，住宅建築の際，地盤改良時に埋設される基礎杭（H 型杭や柱状地盤改良杭）と地中熱交換パイプを同時に設置し，熱源として浅層地中熱を利用するシステムを提案した．これにより，基礎杭施工に付随して地下 5m 程度の地中熱交換パイプを埋設するため，地中熱

交換器埋設のための掘削費用が不要となり、大幅なコスト削減が期待できる。

2015年度より図6に示すように、福井市の保育所ゆきんこ森田保育園にて、杭長が5mのH型杭と柱状地盤改良杭を用いたGSHPシステムを設置し、実証試験を行った。この実証試験に用いたヒートポンプは、(株)コロナのGeoSIS HYBRID (HYS-AG08WX)である。ASHPとGSHPを融合させたハイブリッドHPシステムであり、定格温水出力はそれぞれASHPが5.0kW、GSHPが3.0kWである。各HPの稼働は暖房利用の場合、外気温がおよそ5℃以上の時間帯はASHPを中心に稼働し、5℃以下の時間帯はASHPに加えGSHPの負荷を増やすよう制御されている。ASHPとGSHPそれぞれの弱点をハイブリッド化により相互に補い稼働可能である。

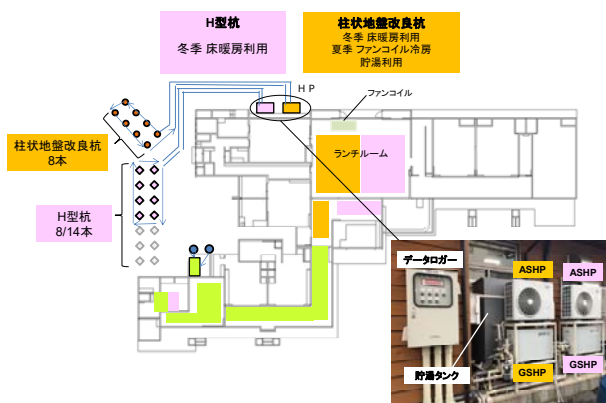


図6 浅層地中熱 HP 空調システム配置図

杭長が5mしかないため、まさに浅層地中熱のみを利用する空調システムとなっており、いわゆる「熱枯れ」の恐れも指摘されていたが、事前の数値計算予測の通り、初年度(2015年度)の実証試験により熱枯れもなく1シーズンの安定した稼働が確認出来た。しかし、冬季暖房時の成績係数はSCOP=3.29 (ASHP単独COPは3.81, GSHP単独COPは3.11)と十分とは言えない結果となった。そのため、次の内容に着目して性能改善を目指した。

- ・外気温がこのハイブリッドHPに及ぼす影響
- ・GSHP内部のプレート式熱交換器の改善
- ・地中熱交換杭本数の影響把握
- ・浅層地中熱HP空調システムを模擬する室内実験装置作成とシステム性能評価計算プログラム

ム作成による最適運転条件の検討

これらの総合的な結果、図6の実証試験におけるSCOPは約0.5向上し、3.81となった。また、本システムの1次側2次側の熱媒体(ブライン)流量に関しては、最適値が存在することを室内実験および数値計算により見出した。多くの地中熱利用HPシステムにおいては、HPや熱交換器メーカーが推奨する流量設定で運転されることが多い。しかし、過剰な流量設定はポンプ駆動消費電力を増大させ、結果としてSCOPを低下させることが分かった。

まだ本システムには改良の余地が残されており、実証データの継続的な取得とシステム改善に取り組む予定である。

5. おわりに

以上、浅層地中熱を利用する融雪や空調システムの研究開発事例を紹介した。振り返ってみれば、これらの研究開発には、科研費・NEDO・環境省・JSTA-STEP・都市エリア事業・地域イノベーション事業など、多種の公的研究開発資金を活用して行うことができたが、学術的な成果(学術論文等)や社会的な成果(社会実装等)がそれに見合うだけのものが得られたか、と問われれば恥じ入るしかない。現在、筆者の研究メインテーマは沸騰冷却にあり、浅層地中熱利用研究は細々と継続している状況である。しかし、最初に述べたこの「地下の顕熱蓄熱体」としての浅層地中熱利活用については、常に興味を持っており、今後もアンテナを張りながら、何らかのブレイクスルーを考え続けたい。

参考文献

- [1] 永井二郎, ヒートパイプ BACH による浅層地中熱源利用の試み, 伝熱, **52-221** (2013), pp.27-32.
- [2] 宮本重信, 竹内正紀, 永井二郎, 基礎杭や群杭で地中に熱を蓄えた融雪と空調, 伝熱, **46-196** (2007), pp.38-41.
- [3] 永井二郎, 宮本重信, 竹内正紀, 地中熱・太陽熱を利用する融雪システム, 日本機械学会誌, **112-1087** (2009), pp.456-457.
- [4] 永井二郎, 宮本重信, 大澤良和, 五十嵐俊介, 柴田和夫, 竹内正紀, 季節間蓄熱を援用した地

- 中熱融雪の数値シミュレーション, *日本機械学会論文集(B編)*, **76 - 767** (2010), pp. 1090-1101.
- [5] Nagai, N., Takeuchi, M., Yamahata, S., Miyamoto, S., Yamazaki M., Geothermal Snow-Melting System Utilizing Solar Heat Storage into Underground through Seasons, *Proc. 7th International Conference on Snow Engineering*, (2012), pp.337-352.
- [6] 永井二郎, 山端信也, 宮本重信, 地中熱・太陽熱を用いる融雪システムの実証試験と簡易設計手法の検討, *日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集*, G0600-4-4 (2010), pp.1-2.
- [7] 奥田広行, 山端信也, 永井二郎, 季節間蓄熱融雪システム簡易設計手法の研究, *日本機械学会北陸信越支部第 58 期総会・講演会講演論文集*, B011 (2021), pp.1-3.
- [8] 勝田正文, ヒートパイプ技術最近の進展, *伝熱*, **51-217** (2012), pp.14-19.
- [9] 新宮秀夫, 大谷暢夫, ループ型ヒートパイプ, 特許第 4771964 号 (2011).
- [10] Nagai, N., Iwamoto, A., Onishi, T., Shingu, H., Advances and Opportunities in Bubble-Actuated Circulating Heat Pipe (BACH), *Frontiers in Heat Pipes*, **1 - 2** (2010), pp.1-7.
- [11] 永井二郎, 浅野真臣, 鳥取章二, 気泡駆動型循環式ヒートパイプ(BACH)のトップヒート化と熱輸送特性, *日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集*, G060023 (2011), pp.1-5.
- [12] Nagai, N., Asano, M., Tottori, S., Development of Top-Heat Type of Bubble-Actuated Circulating Heat Pipe (BACH) and its Heat Transport Characteristics, *Proc. 3rd International Forum on Heat Transfer*, (2013), pp.1-3.
- [13] 永井二郎, 笈田真吾, 沸騰気泡駆動型ヒートパイプ BACH の熱輸送モデル検討, *熱工学コンファレンス講演論文集*, C115 (2016), pp.1-2.
- [14] 笈田真吾, 永井二郎, 気泡駆動型循環式ヒートパイプ BACH の熱輸送モデル検討, *日本機械学会北陸信越支部第 55 期総会・講演会講演論文集*, D012 (2018), pp.1-5.
- [15] 永井二郎, 中野哲成, 竹内正紀, 前川義和, 谷口晴紀, ヒートパイプを用いた防火水槽鉄蓋周辺融雪システムの検討, *日本冷凍空調学会論文集*, **27 - 3** (2010), pp.271-279.
- [16] 永井二郎, 三田村拓哉, 前川義和, 谷口晴紀, ヒートパイプ BACH を用いた防火水槽鉄蓋周辺融雪システムの検討, *第 50 回日本伝熱シンポジウム講演論文集*, **II** (2013), pp.428-429.
- [17] 鈴木恵祐, 永井二郎, 切替可能ヒートパイプ BACH による床冷暖房システムの可能性試験, *第 19 回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集*, E225 (2014), pp.1-4.
- [18] 永井二郎, 地中熱利用空調システムー福井での実証試験報告ー, *冷凍*, **92-1071** (2017), pp.15-21.
- [19] 菅沼有人, 三原伸治, 宮本重信, 永井二郎, 川上岳彦, 橋詰善光, 浅層地中熱利用ヒートポンプ空調システムの暖房実証試験, *日本冷凍空調学会年次大会講演論文集*, E122 (2018), pp.1-6.
- [20] 宮本重信, 永井二郎, 菅沼有人, 川上岳彦, 橋詰善光, 浅層地中熱と空気熱を併用したヒートポンプ床暖房システムの開発ー数値シミュレーションー, *日本冷凍空調学会年次大会講演論文集*, E123 (2018), pp.1-6.
- 永井二郎, 菅沼有人, 平田将大, 宮本重信, 川上岳彦, 橋詰善光, 浅層地中熱利用ヒートポンプ空調システムの特性把握と改善点の検討, *第 56 回日本伝熱シンポジウム講演論文集*, J113 (2019), p.1.

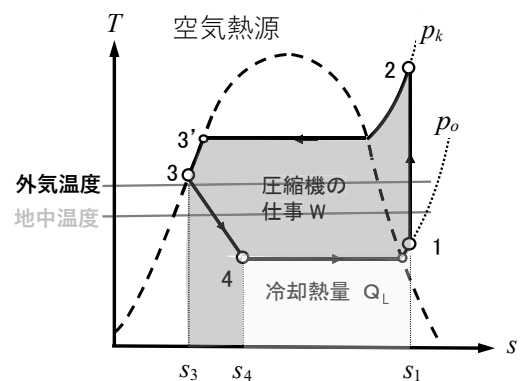
地中熱を有効に利用するハイブリッド空調システムと地中熱交換器 Hybrid Air-Conditioning System and Ground Heat Exchanger for Effective Use of Ground Heat

宮良 明男 (佐賀大学)
Akio MIYARA (Saga University)
e-mail: miyara@me.saga-u.ac.jp

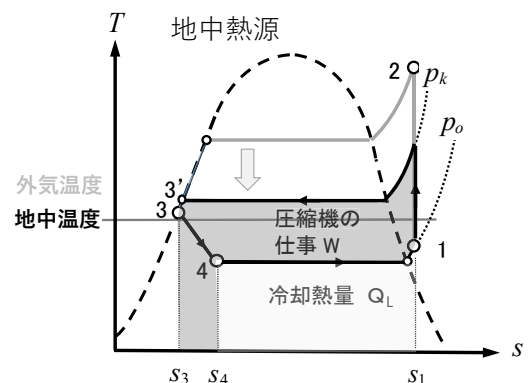
1. はじめに

再生可能エネルギーの一つに分類される地中熱を利用するヒートポンプや冷暖房機は、空気熱を利用する場合に比べエネルギー利用効率が上がる。そのことにより、間接的であるが、温室効果ガスの排出を抑制し、脱炭素社会を構築するための技術の一つとして注目されている。地中熱利用のメリットは、地下 10~15 m 以下の深さの温度がその地域の年間平均気温とほぼ等しい温度で一定であるため、夏季は外気より温度が低い熱源として、冬季は外気より温度が高い熱源として利用できることである。このことについて冷房条件を例に、図 1 の T - s 線図を用いて少し詳しく説明する。図 1(a)は空気熱源、図 1(b)は地中熱源を高温側熱源とした冷房条件のサイクルの T - s 線図である。濃い灰色の領域の面積が圧縮機仕事を薄い領域の面積が冷却熱量を表している。外気より温度の低い地中熱を利用する冷房サイクルでは、放熱する際の凝縮圧力が低下することにより、圧縮機に必要な仕事を低減することができる。また、凝縮器出口点 3 の温度が下がることにより、凝縮器での放熱量が増加し、相対的に圧縮機仕事が低下する。なお、凝縮圧力の低下は、熱源の温度が低いことだけでなく、空気よりも伝熱性能の高い水や不凍液を熱交換媒体とすることもそれに貢献している。

一方、地下熱を利用するためには地中との熱交換を行う熱交換器が必要であり、地中熱交換器の設置コストが高額になることが地中熱利用の拡大を妨げている大きな要因である。また、地中と熱交換を行う水（不凍液）を循環させるためのポンプの設置コストおよび消費電力も考慮する必要がある。そのため、地中熱交換器の設置コストを低減するための研究は古くから行われているが、地球温暖化防止や再生可能エネルギー利用促進などの要求が高まり、近年さらに多くの研究が行われるようになった[例えば 1-3]。



(a) 空気熱源を利用した冷房サイクル



(b) 地中熱源を利用した冷房サイクル

図 1 冷房サイクルにおける空気熱源利用と地中熱源利用の比較

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、2014 年度～2018 年度に「再生可能エネルギー熱利用技術開発」事業を、導入コスト 20%低減、運用コスト 20%低減を目的に実施し、多くの成果が得られている[4]。著者もこの事業の一部に関わり研究を行った。2019 年度からはトータルコスト 30%低減を目的とした「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」事業を実施している[5]。

また、日本冷凍空調学会年次大会で継続的に実施されている地中熱利用に関するオーガナイズドセッションやワークショップにおいても、低コスト化を目的とした浅層地中熱利用や地中熱交換器の性能評価に関する研究が多く発表されている[6-9]. ここでは浅層地中を利用する直接膨張方式地中熱利用に関する研究も精力的に発表されている[10,11]. なお、これらの事業や研究は本特集記事の他の著者が中心に実施しているため、詳細はそちらを参照されたい。

著者は、2006年ごろから、地元の民間企業と協力し、住宅用鋼管杭を利用した地下深さ20mの浅層における地中熱交換器の特性や高性能化、有効な利用方法などに関する研究を行っている[12-14]. また、空気熱と地中熱をハイブリッド利用する空調機の研究を進めている。ここでは、これらの研究成果を中心に紹介する。

2. 地中熱と空気熱のハイブリッド利用

2.1 システムの概要

地中熱の利用によりエネルギーの利用効率が上がり、冷暖房機の成績係数(COP)が向上することは前述のとおりであるが、地下水の流れが十分に早い場合を除き、地中への放熱または冷却の影響が蓄積され、利用できる熱源の温度が劣化する。そのため、利用できる地下熱のポテンシャル[15]を予め見積もり、十分な大きさ(本数)の地中熱交換器の設置が必要となる。しかし、地中熱交換器の増加はコスト高に直接つながるため、地中への不必要な熱負荷を低減し、地中熱交換器の設置本数を削減することが望ましい。

地中熱と空気熱の両方を利用するハイブリッドシステムはこのような考えに基づいたもので、空気の温度条件により適切な熱源を選択することができる。すでに市販されている空気熱・地中熱ハイブリッドシステムもあり、効率的な運用がなされているが、空気熱ヒートポンプと地中熱ヒートポンプを並列に並べて運用する方式がほとんどである。

佐賀大学では、1台のエアコンで空気熱と地中熱をハイブリッド利用できるシステムを考案し、研究を進めている。図2は、市販のエアコンを利用したハイブリッド空調システム概念図である。一点鎖線の右側が市販エアコンで、左側が地中熱と連結させるための地中熱利用システムである。これにより、

バルブの切り替えを行うことで、通常の空気熱エアコンの運転モードに加え、地中熱と空気を同時に利用するハイブリッドモードの運転が可能になる。また、冬季の除霜運転では室内の熱を使ったヒートポンプサイクルを運転して室外機に付着した霜を融かすことが一般的に行われるが、このシステムでは地中熱を利用した除霜運転が可能である。なお、室外機をバイパスさせるための配管を破線で示している。これは市販エアコンには設置されていないが、バイパス配管を設置することで地中熱源だけを利用した冷房及び暖房の運転モードが設定できる。

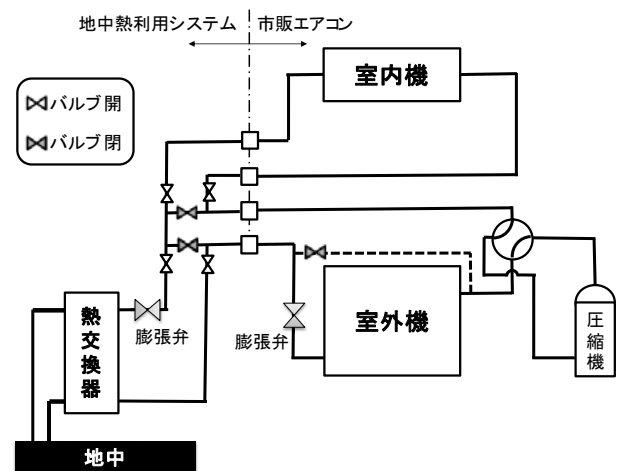


図2 市販のエアコンを利用した地中熱+空気熱ハイブリッド空調システム

2.2 フィールド試験結果

佐賀大学構内で市販エアコンを用いた地中熱+空気熱ハイブリッド空調システムのフィールド試験を実施している。図3は試験装置の写真を示す。床面積1坪(1.8m×1.8m)のプレハブを2棟並べ、

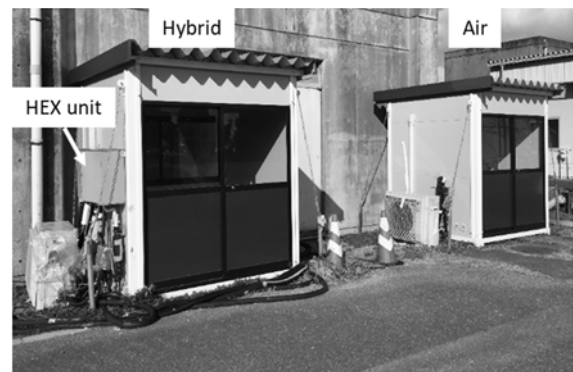


図3 市販エアコンと地中熱利用を付加したハイブリッドエアコンとの比較試験装置

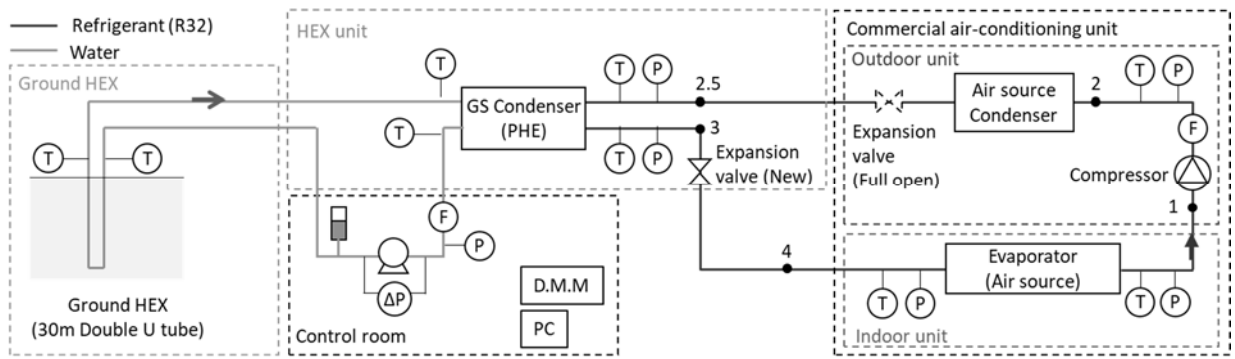


図4 地中熱+空気熱ハイブリッドエアコンのフィールド試験装置

写真手前のプレハブにはハイブリッド空調システムを、奥側のプレハブには同機種のエアコンを通常の方法で設置し、比較実験を行っている。実験を始めたばかりで、まだ十分な結果は得られていないが、得られた結果を簡単に報告する[16]。

図4は冷房条件での系統図である。圧縮機を出た冷媒は室外機の熱交換器で冷却され、その後全開された膨張弁を通り地中熱との熱交換を行う熱交換器でさらに冷却され、過冷液となる。その後、冷媒は膨張弁で減圧され、室内側の熱交換器に入り室内空気を冷却する。この膨張弁は地中熱利用システムに設置されたものであるが、市販エアコンに設置されているものと同じのものが使われており、制御回路を切り替えて、その制御は市販エアコンのものをそのまま利用して運転した。

図5にCOPの実験結果について、日中、夜間および平均の比較を示す。COPは、冷媒の流量と比エンタルピー変化から求めた蒸発器の冷却量を圧縮

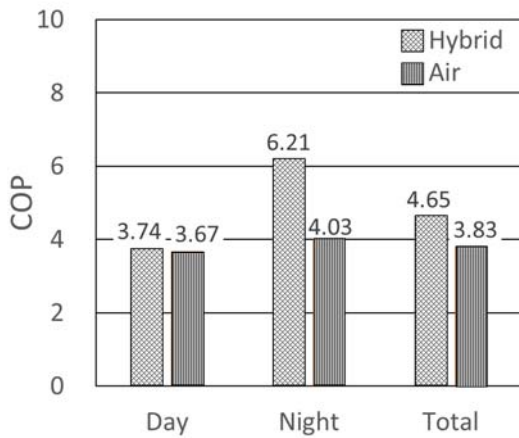


図5 ハイブリッドエアコンと市販エアコンのCOPの比較

機、ファンおよびポンプの全消費電力量で除して算出した値である。ハイブリッドエアコン (Hybrid) のCOPは、日中は市販エアコン (Air) よりわずかに高く、夜間に1.5倍程度高い値を示している。全体としては1.2倍程度高い。本来であれば低温の熱源が利用できる日中もHybridのCOPがAirより高くなるはずであるが、運転制御が適合していないことなどの問題でこのような結果になっていることが考えられ、現在検討中である。HybridのCOPが高い夜間の蒸発冷却量 Q_{eva} と圧縮機動力 W の時間変化を図6に示す。プレハブ内の冷房負荷は両者でほぼ同じであるが、Hybridで定常的な運転が行われているのに対して、Airでは断続的な運転が行われている。そのことが原因で、Airの圧縮機動力の積算値がHybridより大きくなったものと考えられる。

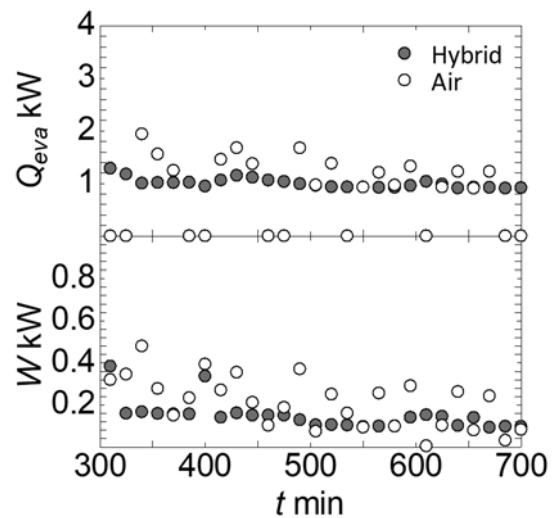


図6 夜間の蒸発器冷却量と圧縮機動力の時間変化

3. 地中熱交換器

3.1 地中熱利用の有効性評価

水（不凍液）を循環させて地中熱を利用するためにはポンプ動力が必要であり、システム全体の COP はそれを考慮して計算する必要がある。図 7 に示すように室内の冷却量を Q_C 、地中への放熱量を Q_H 、圧縮機動力を L_{comp} 、ポンプ動力を L_{pump} とすれば、正味の COP_{net} は次式で表される。

$$COP_{net} = \frac{Q_C}{L_{comp} + L_{pump}} = \frac{Q_H - L_{comp}}{L_{comp} + L_{pump}} \quad (1)$$

なお、 L_{pump} は全て損失として消費されるものとした。水の循環量増加や地中熱交換器の改良により、放熱量とポンプ動力がそれぞれ Q'_H 、 L'_{pump} だけ増大したとすれば COP は次のようになる。

$$COP'_{net} = \frac{Q_H + Q'_H - L_{comp}}{L_{comp} + L_{pump} + L'_{pump}} \quad (2)$$

式(1)と式(2)より、 $COP_{net} < COP'_{net}$ となる条件が $Q'_H > COP_{net} L'_{pump}$ となることが分かる。ポンプ動力は体積流量 V と圧力損失 Δp の積で見積もることができるので、COP 改善の条件は、

$$Q'_H - COP_{net} V \Delta p' > 0 \quad (3)$$

または

$$\frac{Q'_H}{Q_H} - COP_{net} \frac{V \Delta p'}{Q_H \Delta p} > 0 \quad (4)$$

となる。なお、この式には前述した地中温度の効果による圧縮機仕事の低減は含まれていない。地中熱交換器の損失要因は他にもあるが、少なくともこの条件を満足する地中熱交換器の設置、または地中熱交換器の改善を行う必要がある。

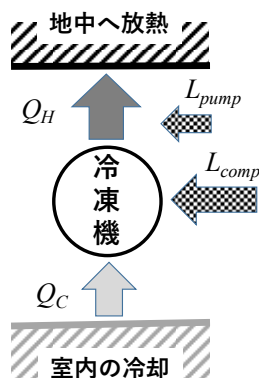


図 7 冷房条件でのエネルギーの流れ

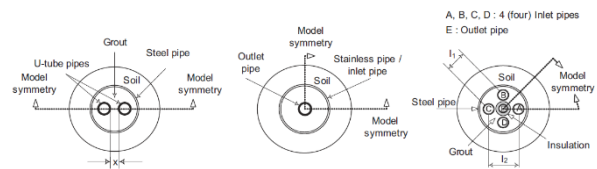
3.2 種々の地中熱交換器の特性と評価

地中熱交換器は地中に水を循環させる間接方式と冷媒を循環させる直膨方式に大別され、間接方式は地下水などを循環させるオープン型と熱交換器内に水または不凍液を循環させるクローズ型に分類される。ここでは、佐賀大学で研究を行った間接方式のクローズ型地中熱交換器について説明する。

3.2.1 垂直埋設型

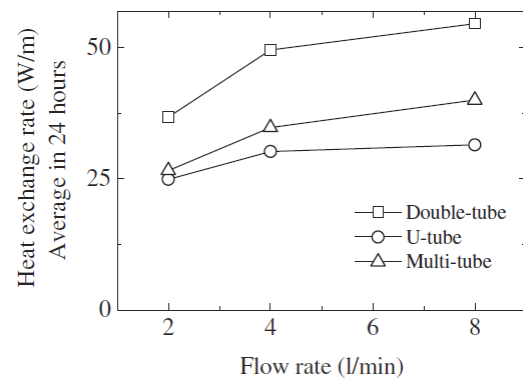
2006 年から 3 年間佐賀県の支援を受け、佐賀県内の民間企業と住宅用鋼管杭を利用した三種類の地中熱交換器、U チューブ型、二重管型、多管型を佐賀大学構内に設置し、熱交換特性に関する研究を行った[12]。図 8(a)はそれぞれの断面図である。U チューブ型は一般に広く使用されているもので、二重管型は鋼管杭を外側の管として使用した。多管型は地中との伝熱面積を大きくする目的で中心の戻り管の周囲に 4 本の伝熱管を設置したものである。

図 8(b)に熱交換器単位長さあたりの熱交換量の水流量に対する変化を示す。熱交換量は、二重管、多管、U チューブの順に大きく、流量が増加すると大きくなる。水流量に対する増加の傾向は流量が大きくなるほど小さくなり、二重管ではまだ増加傾向が見られるが、U チューブでは、流量が 4 L/min から 8 L/min に大きくなっても増加量は小さい。



U チューブ型 二重管型 多管型

(a) 垂直埋設型地中熱交換器の断面図

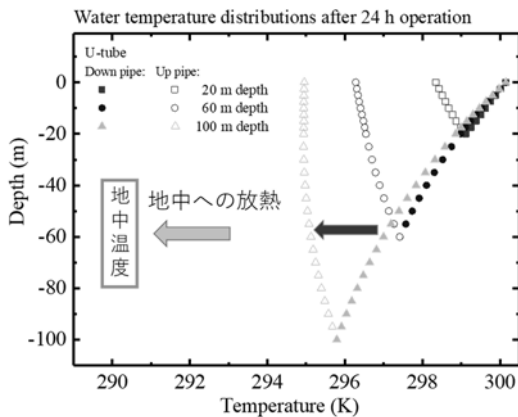


(b) 単位長さあたりの熱交換量

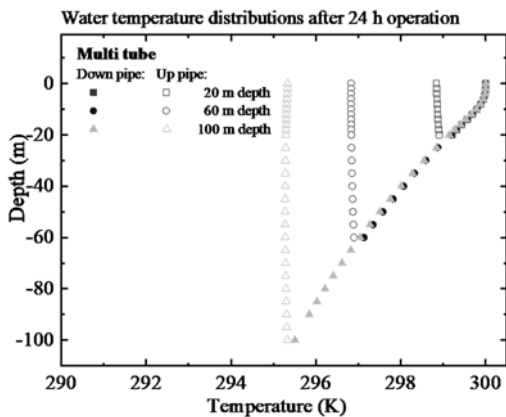
図 8 三種類の垂直埋設型地中熱交換器の比較

これは熱交換が土壌側の熱抵抗が律速となるためである。二重管は伝熱面積が大きいことで土壌の熱抵抗が律速となる流量が高い値に移動する。多管はそれらの間にあるが、Uチューブに近い。数値解析の結果、伝熱に有効な面積が期待ほど大きくないことが分かった。

図9は数値計算により求めたUチューブと多管の中を流れる水の温度変化を示す[17]。10m程度までの土壌の温度は測定値から分布を与え、それ以下は17.7℃で一定とし、水の入口温度は27℃とした放熱条件での結果である。Uチューブでは行きと戻りの両方で熱交換が行われていること、深くなると相互の管が干渉し、戻り管での熱交換量が低下していることが分かる。一方、多管では行きの周囲管で熱交換が行われ、中央の戻り管には保温材が取り付けられているため、最下部の温度がほぼ一定のまま出口まで到達する。



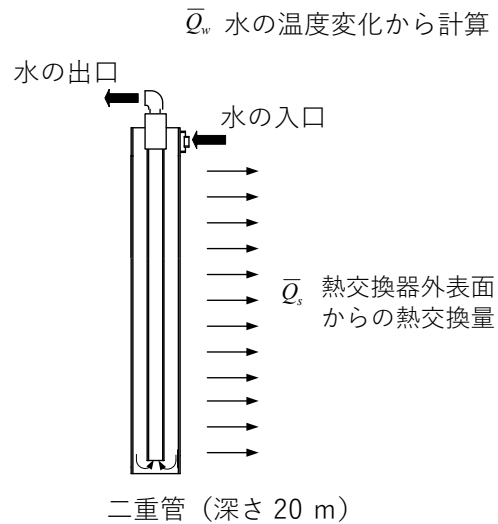
(a) Uチューブ型



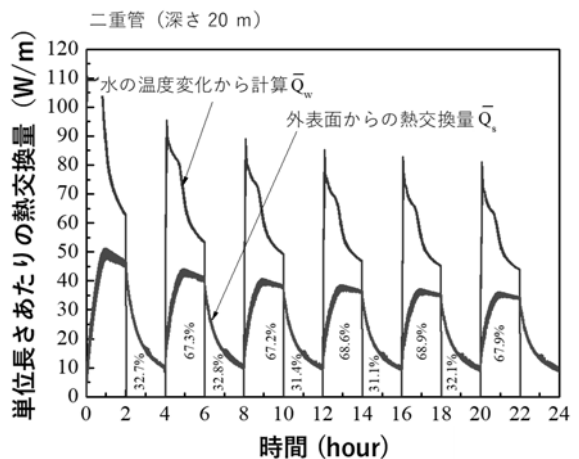
(b) 多管型

図9 地中熱交換器内を流れる水の温度分布

図10(a)および(b)は、二重管の物理モデルおよび数値計算の結果である[13]。地上で利用する熱量は水の温度変化から求まる値であるが、地中では二重管外管表面と土壌との熱交換が行われており、それらに時間的な差異が生じる。図10(b)は2時間ごとの間欠運転を行った場合の計算結果で、地上と地中の熱交換量が一致する定常状態に達する前に運転が停止し、停止している間も地中では熱交換が行われている。停止している間の熱交換量は全体の約32%である。このように二重管では、伝熱面積が大きいことに加え、停止中の熱交換、すなわち蓄熱効果も性能に大きく貢献している。



(a) 二重管型地中熱交換器の物理モデル



(b) 熱交換量

図10 二重管型地中熱交換器の熱交換特性

前述したように外管径の大きい二重管型地中熱交換器は高い熱交換性能を有しているが、ボアホールに二重管を設置する場合は管径の大きさが設置コストに直接影響する。そのため性能とコストを見ながら適切な管径の二重管を選定する必要がある。また、内管の径も熱交換性能に影響する。さらに、管径が小さくなったことにより圧力損失が大きくなるので、ポンプ動力の増加も考慮する必要がある。図 11 は水の入口温度を 27°C、流量を 7 L/min で一定として、二重管型地中熱交換器の外管および内管の径を変化させた場合の熱交換量の数値計算結果で、内管の径をパラメータとして外管の径に対する単位長さあたりの熱交換量を示す。外管径が小さくなるほど、内管径が大きくなるほど熱交換量が低下することが分かる。なお、流量 2 L/min の条件で U チューブを基準に $COP_{net} = 1$ として式(3)を評価し、 COP が改善される結果を得た。

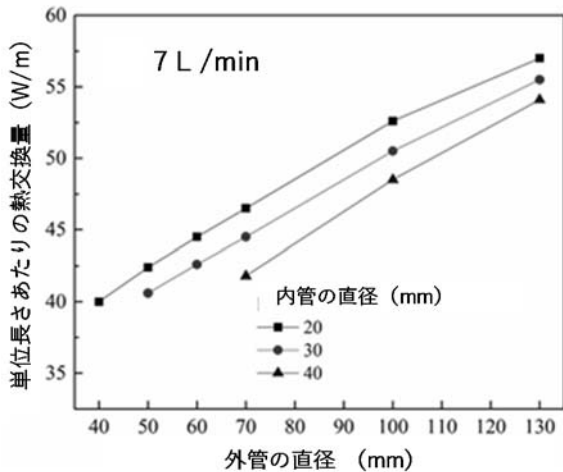
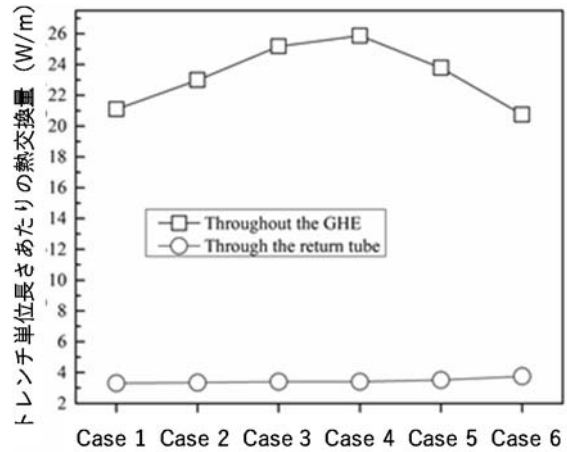


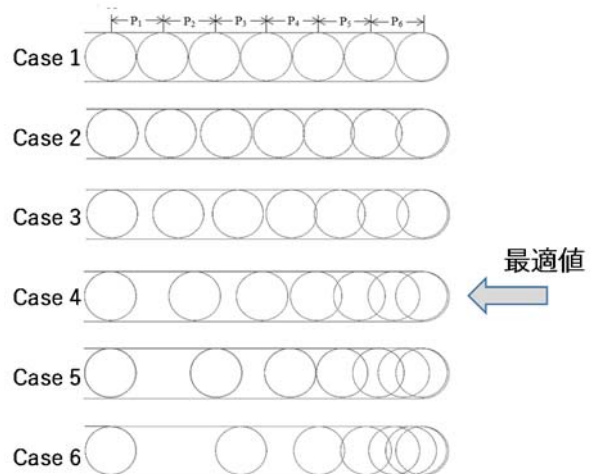
図 11 細径二重管型地中熱交換器の熱交換量の計算結果

次に水平型地中熱交換器の検討結果について述べる[18]。図 12(a)および(b)は伝熱管を円を描きながら設置する水平スリンキー型の熱交換量と円弧の配置との関係を示す。熱交換量は 7 日間連続使用した後の値である。なお、円弧を均等に配置した場合の熱交換量は佐賀大学構内に設置した同等のものと同じであることが確認されている。同じ長さの伝熱管を設置する場合、均等に設置するよりも入口より奥側で円弧が密になるように配置する方が熱交換量が大きくなること分かる。Case 4 の場合に最

大の熱交換量となり、均等配置より約 23%大きくなる。伝熱管を長くすれば熱交換量が大きくなることは自明のことであるが、その分圧力損失も大きくなるので、許容できる圧力損失の範囲内で最適な配置を選定することでよりエネルギー利用効率が高まる。



(a) トレンチ単位長さあたりの熱交換量



(b) 異なる円配置パターン

図 12 水平スリンキー型地中熱交換器の最適配置

4. おわりに

地球温暖化が要因とも考えられる猛暑などの異常気象により、居住環境の冷暖房が必要不可欠な技術となっているが、それによる二酸化炭素の排出量増加は抑制しなければならない。地中熱利用は冷暖房の省エネを効果的に達成できる技術であり、二酸化炭素排出量抑制に貢献できる。地中熱利用を広げ

るためには、設置コストの大幅な削減や効果的な運用方法、利用者の地中熱に対する理解の普及など、解決すべき課題が多く残されている。本稿で説明した市販エアコンを利用した地中熱+空気熱ハイブリッド空調システムや地中熱交換器は研究開発の途上であるが、さらに研究を推進し実用化に資する成果を出していきたい。また、地中熱利用に関わる他の技術者や研究者による研究開発が進み、地中熱利用が普及することを期待している。

参考文献

- [1] Ishiguro, S., Takeda, T., Murata, Y., Aoki, T., Yoda, O. and Okubo H., Study on Ground Source Heat Pump That Use Direct Expansion Method Using Foundation Pile, *Trans. of the JSRAE*, **35-4** (2018) 359.
- [2] 葛隆生, 長野克則, 中村靖, 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*, **32-3** (2015) 335.
- [3] Lusia, U., Simonetti, M., Chiesa G. and Grisolia G., Ground-Source Pump System for Heating and Cooling: Review and Thermodynamic Approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **70** (2017) 867.
- [4] https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100067.html
- [5] https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100154.html
- [6] 前田基宏, 葛隆生, 長野克則, 地中熱ヒートポンプシステムにおける計測データを用いた地中熱交換器の性能評価手法の検討, *日本冷凍空調学会年次大会講演論文集*, (2020) A334.
- [7] 余浩, 葛隆生, 阪田義隆, 長野克則, 浅層地中熱利用のための地盤熱特性評価方法の検討, *日本冷凍空調学会年次大会講演論文集*, (2020) A341.
- [8] 柿崎, 小熊, 浅層の地中熱利用の将来像, *日本冷凍空調学会年次大会講演論文集*, (2018) E111.
- [9] 田中三郎, 福富翔, 伊藤耕祐, 佐々木直栄, 浅層における地中熱ヒートポンプに関する研究—地中温度に及ぼす諸因子の影響—, *日本冷凍空調学会年次大会講演論文集*, (2019) B331.
- [10] 守屋大, 武田哲明, 直接膨張方式地中熱ヒートポンプの空調性能, *日本冷凍空調学会年次大会講演論文集*, (2020) A343.
- [11] 座安祐一郎, 西澤良一, 武田哲明, 直接膨張方式地中熱ヒートポンプを用いた給湯実験, *日本冷凍空調学会年次大会講演論文集*, (2019) B333.
- [12] Jalaluddin, Miyara, A., Tsubaki, K., Inoue, S., Yoshida, K., Experimental study of several types of ground heat exchanger using a steel pile foundation, *Renewable Energy*, **36-2** (2011) 764.
- [13] Jalaluddin, Miyara, A., Thermal performance investigation of several types of vertical ground heat exchangers with different operation mode, *Applied Thermal Engineering*, **33-34** (2012) 167.
- [14] Ali, Md. H., Kariya, K. and Miyara, A., Performance Analysis of Slinky Horizontal Ground Heat Exchangers for a Ground Source Heat Pump System, *Resources*, **6-4** (2017) 56.
- [15] <http://www.geohpaj.org/info/potential>
- [16] 仮屋圭史, 宮良明男, 空気熱源+地中熱源ハイブリッド空調システムに関する研究—第1報: ハイブリッドシステムのフィールド試験—, *日本冷凍空調学会論文集*, **37-3** (2020) 275.
- [17] Jalaluddin, Miyara, A., Thermal Performances of Vertical Ground Heat Exchangers in Different Conditions, *J. Engineering Science and Technology*, **11-12** (2016) 1771.
- [18] Ali, Md. H., Miyara, A., Analysis of Optimum Slinky Loop Arrangement for Horizontal Ground Heat Exchanger, *日本冷凍空調学会論文集*, **34-4**, (2017) 473.

地下水熱・地中熱利用による消融雪技術と帯水層蓄熱による冷暖房事例

*Snow-Melting Technology by Groundwater and Ground Source Heat
and the Example of Air Conditioning Facilities by Aquifer Thermal Energy Storage*

山口 正敏, 山谷 睦, 桂木 聖彦 (日本地下水開発株式会社)

Masatoshi YAMAGUCHI, Mutsumi YAMAYA, Masahiko KATSURAGI (Japan Groundwater Development CO., LTD.)

e-mail: yamaguchi@jgd.jp

1. はじめに

温暖化対策の推進として 2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする, すなわち 2050 年カーボンニュートラル, 脱炭素社会の実現を目指すことが宣言された. このためには, 省エネルギーを徹底し, 再生可能エネルギーの最大限の導入が示されている.

再生可能エネルギーの 1 つである地中熱は, 浅い地盤中に存在する低温の熱エネルギーであり, 年間を通じてほぼ一定温度であることから, この恒温性を利用することに大きなメリットがある.

例えば, 空調施設には熱需要に対し再生可能エネルギー利用が見込まれ, 直接的に熱そのものを利用することが効率的である. エネルギー白書[1]によれば, 世帯当りのエネルギー消費原単位と用途別エネルギー消費の推移について, 2018 年度では 1965 年度の 17,545MJ/世帯から 31,320MJ/世帯と 1.8 倍に増加している上に, 動力や照明などを除いた冷暖房や給湯などの熱そのものとしての利用が約 7 割を占めている状況にある.

当社 (以降, JGD) は, 創業以来, 自然との共生をテーマとして地下水に係る事業展開を行ってきた. 近年は, 地中熱利用も含めた再生可能エネルギーの積極的な利用を目指し, 消融雪技術のみならず冷暖房施設についても研究開発を進めている.

本報では, JGD が創業以来取り組んできた地下水熱を利用した消融雪技術や, 近年増えつつある地中熱を利用した消融雪技術並びに温暖化対策への大きな貢献が期待される帯水層蓄熱技術を応用した空調施設について紹介する.

2. 消融雪設備への地下水・地中熱利用

2.1 散水消雪から無散水融雪へ

道路の中央部に埋設されたノズルから地下水を

散水する散水消雪施設は, 1963 年 (昭和 38) 年の大雪, いわゆる “38 豪雪” でその効果を発揮したことから, 雪国において爆発的に普及した[2]. その結果, 地下水涵養の少ない冬期に一斉に揚水するために地下水位の低下を招き, 過剰揚水に伴う地盤沈下を発生させる一因となってしまうことも懸念され, これを解決すべく, 揚水した地下水の熱エネルギーのみを利用する, 路面散水の無い地下水を利用した無散水融雪が考案された.

2.2 無散水融雪

2.2.1 地下水熱

これは, 舗装体内に埋設したパイプ (放熱管と呼ばれる) に熱媒体を流通して舗装体を温め路面の雪を解かす施設で, 様々な熱源との組み合わせで利用されている. 時時刻々と変化の中で気象状況を監視し, 降雪を検知した場合には融雪のため, 降雪は少なくとも気温が低下した際には路面の凍結防止を図るために施設稼働の発停が行われる.

地下水を利用した無散水融雪施設の模式図を示す (図 1). 揚水井から水中モータポンプによってくみ上げられた地下水は, 送水本管により各放熱管へ供給され熱エネルギーを放出し, 集水本管で集められた後に注入井により地下へ注入される.

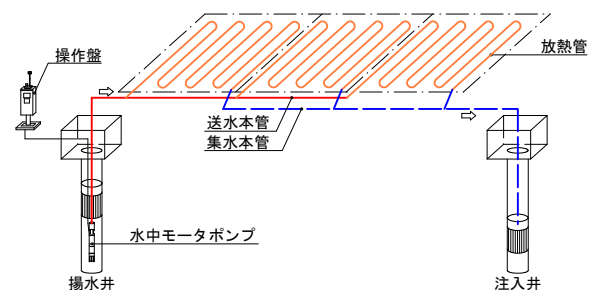


図 1 地下水還元方式無散水融雪施設概要

放熱管には、舗装の種類や熱源温度などに応じて、鋼管（SGP-白 15A）や樹脂管（Φ16）が利用される。山形市内の跨線橋車道部に施工中の鋼管製放熱管の敷設状況である（写真 1）。



写真 1 鋼管製放熱管敷設状況

熱源としては、地下水、温泉排湯、トンネル湧水、温水ボイラ、ヒートポンプ（空気熱や地中熱）などが利用される。放熱管上の舗装かぶり厚は数 cm と薄いため、地下水やトンネル湧水などの十数°C程度の熱源でも十分に融雪の効果を得ることができる。写真 1 に示した地下水を熱源とした施設の融雪状況を写真 2 に示す。手前側車道が放熱管敷設状況を示した車道融雪部に該当し、反対車線も含め十分に融雪効果が発揮されている状況が確認できる。



写真 2 融雪状況

(2021/1/9 9:00 気温 -6°C)

図 2 には、同じ山形市内に位置する JGD 駐車場（約 930m²; 熱源は地下水）での稼働状況である[3]。2018/2019 冬期は平年並みの降雪量があった。地下水を熱源としていることで、一定温度の地下水が即時放熱管へ供給される状況が確認できるとと

もに、概ね 100kW/日（単位面積当りに換算すれば 110W/m²程度）の熱出力が得られていた。このように、高品位な化石エネルギーの利用がなくとも、地下水を利用した融雪施設は 15°C程度の低温な熱源で十分に融雪でき、ランニングコストはポンプの電気料金のみと安価な施設構築が可能である。

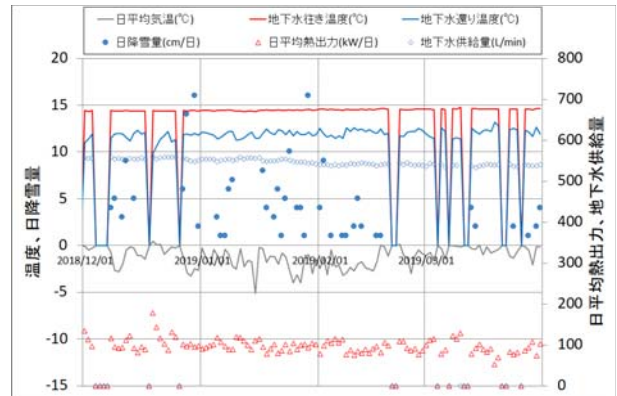


図 2 地下水還元方式無散水融雪施設稼働結果

2.2.2 地中熱

地中熱を熱源とした無散水融雪施設概要を示す（図 3）。地盤と熱交換する地中熱交換井と地中熱ヒートポンプユニットが熱源設備に該当し、ヒートポンプで不凍液を加温し放熱管へ供給するシステムである。地中熱交換井は、ポリエチレン製 Φ25 の熱交換器（Uチューブ）を 2 組、地中を削孔し挿入したもので、深度は 100m/孔である。

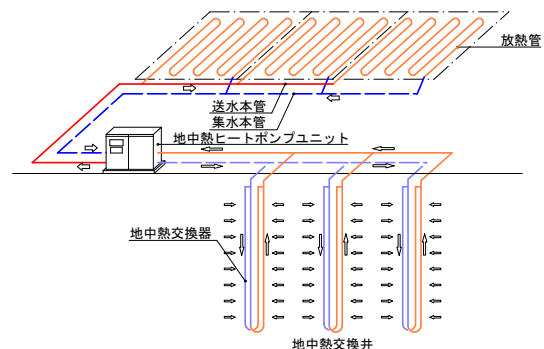


図 3 地中熱ヒートポンプ方式無散水融雪施設概要

秋田市内における歩道部の融雪状況を示す（写真 3）。非融雪部との違いが明確に確認できる。また、容量に制限があるものの、地中熱ヒートポンプユニットは、歩道上に設置できるほどのコンパクトな形状に仕上げられ、運転騒音も気にならない。



写真3 融雪状況
(2020/2/7 15:00 気温 -2°C)

地中熱ヒートポンプの稼働状況を示す(図4)。この年は、施設稼働直後の12月中旬に日降雪量30cm/日に迫る、いわゆる“ドカ雪”があった後、年明け1月～2月まで時折10cm/日を超える降雪が見られ、例年よりも施設稼働が頻繁に行われていた。地中熱交換器であるUチューブからの戻り温度は、稼働が集中した時期には幾分マイナス温度となる状況が見られたものの、概ねプラス温度で推移している[4]。

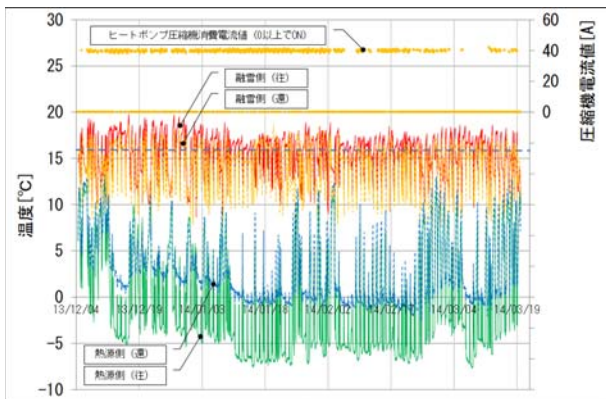


図4 地中熱ヒートポンプ方式
無散水融雪施設稼働結果

放熱管への循環液送水温度は、前述した地下水の例からも、十数°Cあれば融雪可能である。ヒートポンプでは、給湯の様に高温水を作る必要がないことから、熱源側温度との利用温度差が小さくて済むためにヒートポンプを効率的に利用可能となる。更なる施設の効率化の観点としては、地中における熱交換量を大きくできれば、孔数を減じることができ、施設の導入に際して大きなコスト削減に繋がる。

地中熱交換井掘削状況(写真4)と熱交換器であるUチューブ挿入作業の状況を示す(写真5)。地中熱交換井掘削には、刃先であるリングビットに回転と特殊振動を与えて地層を破碎しながら高速掘削する“ソニックドリル”が利用される。このソニックドリルは自走して掘削ポイントまで移動できることに加え、掘削方法が従来の井戸掘削方法と異なる点が、地中熱利用に際しての大きな武器である。砂礫や粘性土、時には巨礫を介在する複雑な地層構成を有する日本の地下掘削は、一般的にロータリーボーリングマシンにより削孔時に孔の崩壊を防止するために泥水を循環し、泥壁を作りながら掘り進められる。このソニックドリルでは、先端にリングビットをセットしたほぼ同径のドリルパイプによって掘り進めることから泥壁を作る必要がなく、すなわち清水掘りが可能となるため、井戸完成後に地下水が流動し熱交換器(Uチューブ)に直接的に接触できることになるため、熱抵抗の低減に寄与することになる[5]。



写真4 ソニックドリルによる掘削状況



写真5 地中熱交換器(Uチューブ)挿入状況

3. 帯水層蓄熱システムの開発

3.1 帯水層蓄熱との係わり

帯水層蓄熱 (Aquifer Thermal Energy Storage ; 以降 ATEs) とは、地下帯水層を蓄熱槽として利用し、年周期的に熱利用を行うシステムである。海外においては、特にオランダでは 1990 年代から国策としての普及促進が進められ、2015 年には 3000 件を超えるシステムが稼働している[6]。

これまでの JGD の ATEs への取り組みについて示す (表 1)。1973 年のオイルショックを契機としてエネルギー政策が見直されたのをきっかけとして取り組んだものの、その後の原油の安定供給が図られたことや、導入コスト高などから普及することはなかった。その後、2011 年の東日本大震災によるエネルギー事情の変化から、再生可能エネ

表 1 JGD の帯水層蓄熱への取り組み

1974 年	帯水層蓄熱の研究を開始
1975 年	山形大学工学部 梅宮先生・横山先生と共同研究を開始
1983 年	本社社屋に日本国内初の「帯水層蓄熱冷暖房システム」を導入
1998 年 ～2002 年	国土交通省新技術 5 年計画で米沢市に帯水層蓄熱式無散水消雪システム導入
2009 年	環境省のクールシティ推進事業の実証事業に採択され、本社システムの評価・検討を実施
2011 年 ～2013 年	環境省の地球温暖化対策技術開発・実証研究事業に採択され、本社システムのリニューアルと性能評価を実施
2014 年 ～2018 年	(国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の再生可能エネルギー熱利用技術開発委託業務に採択され、JESC 社屋に高効率帯水層蓄熱冷暖房システムを導入し、性能評価を実施
2020 年 ～	NEDO の再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発に採択され、JESC 新社屋へ ZEB 化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムを導入、性能評価を実施

- ・令和元年度東北再生可能エネルギー利活用大賞 最優秀賞
- ・令和 2 年度気候変動アクション環境大臣表彰 開発・製品化部門
- ・令和 2 年度新エネ大賞経済産業大臣賞 (導入活動部門)

ルギーが再び注目を浴びるようになり、地球温暖化対策の解決策としても注目されるようになった。

3.2 高効率帯水層蓄熱システムの概要

ATEs システム普及促進の阻害要因としては、認知度が低いために採用されにくいことや、過去の地下水過剰揚水が地下水枯渇や地盤沈下を誘発した経緯から、法律や条例等で厳しい揚水規制が行われていることなどが挙げられる。また、東北地方に導入された ATEs システムでは、暖房期間が冷房期間の倍程度の長期間となることから夏期と冬期の熱需要バランスが異なる結果、地下帯水層には冷熱塊が卓越して形成されてしまうことなども技術的課題として挙げられた[7]。この ATEs システムでの技術的課題の克服と更なる高効率化を目指して Hi-ATEs (High-Efficiency Aquifer Thermal Energy Storage) システムの開発が 2014～2018 年にかけて実施された[8-9]。このシステム (図 5) について、平面配置図 (図 6)、システムフロー (図 7) をそれぞれ示す。冷暖房対象とし

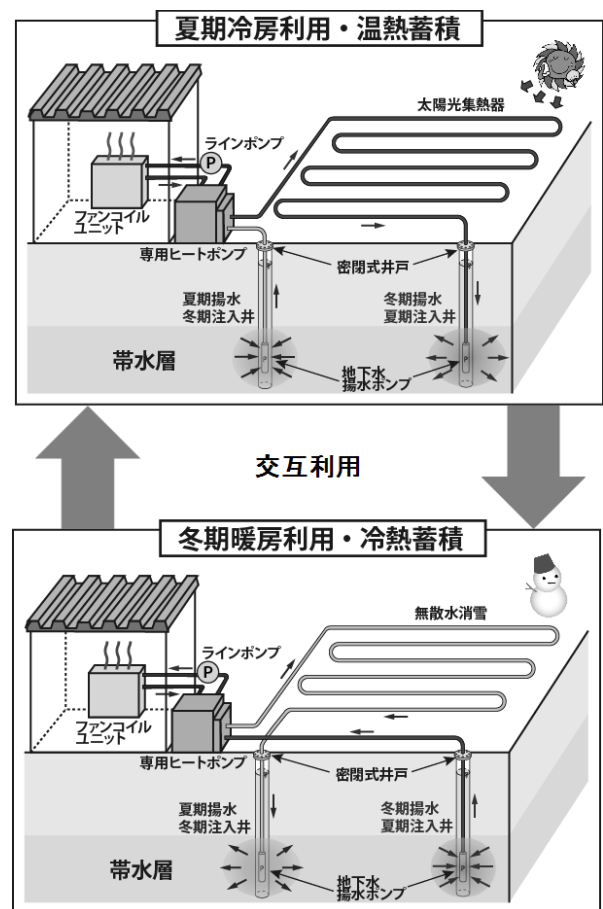


図 5 Hi-ATEs システム模式図

た 180m²の事務所に隣接する屋外駐車場には放熱管が埋設された無散水融雪（太陽光集熱器）が設けられ、夏期には室内から排出された温熱を太陽光集熱器により温熱強化させ、冬期には駐車場の融雪で更に温度低下させた冷熱を注入井から地中へ加圧注入するシステムである。主要機器を一覧する（表 2）。

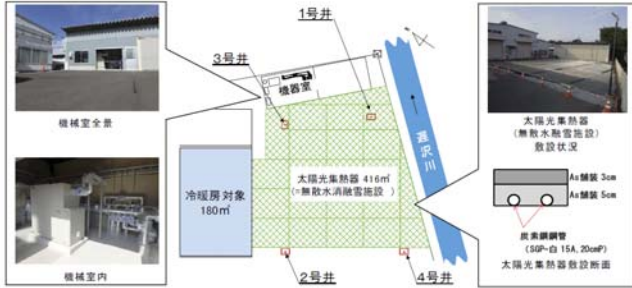


図 6 Hi-ATES システム施設平面配置図

夏期に事務所内の冷房で得られた温熱は、太陽光集熱器により更に強化され 4 号井から地下注入される。冬期には、この 4 号井から揚水することで、夏期に地下へ注入した温熱をヒートポンプ熱源とするため、温度が高いほど高効率なシステム稼働が可能となる。2017 年度冬期の揚水温度変化を示す（図 8）。冬期暖房稼働を 10 月上旬から開始し、稼働直後には 22℃を超える揚水温度が確認され、当該地での地下水温度である 16℃に戻るの、翌年 1 月下旬となったことから、地下帯水層への温熱蓄熱効果が確認できる。

稼働条件を調整しながら運用した 2 年間に亘る地下水利用量と熱収支を示す（図 9）。密閉型井戸による 100%の地下水注入を達成しており、その上で、夏期には冷房排熱の数倍となる太陽光集熱器による温熱強化が図られたことが、上述の蓄熱効果に繋がったものと言える。

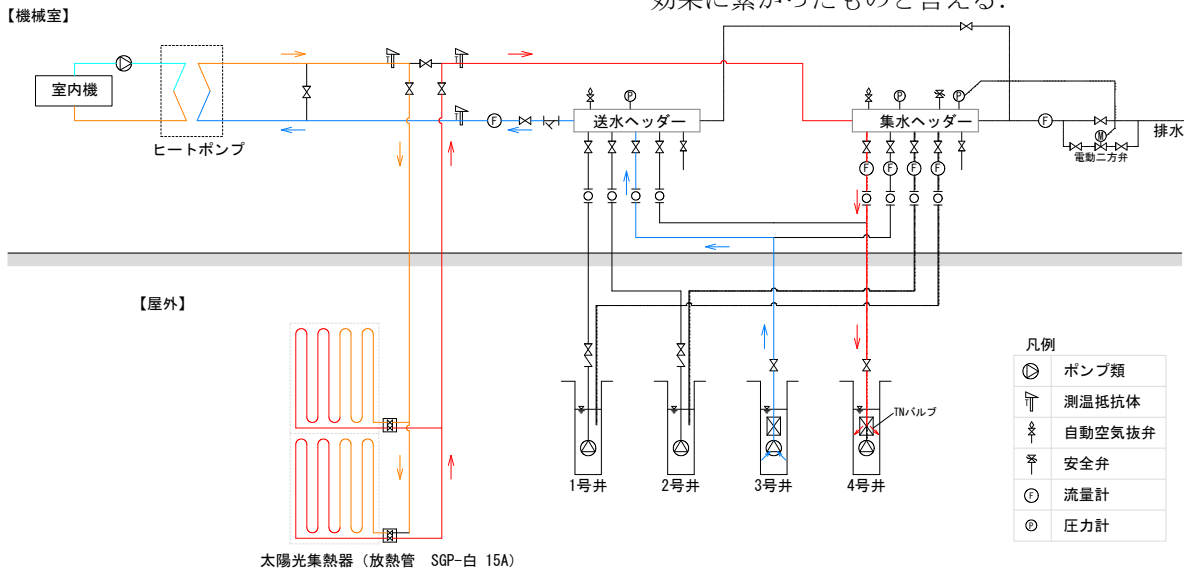


図 7 Hi-ATES システムフロー

(3 号井を揚水井としてヒートポンプにて冷房利用後に、太陽熱集熱器を経由して温熱増強し、4 号井戸から地下帯水層へ注入)

表 2 HI-ATES システムの主要機器

機器名称	仕様	適用
密閉構造井戸	完成口径Φ150mm 深度 72m；4 本	ストレーナー設置 深度：40～68m
専用ヒートポンプ	冷暖房出力 30kW 級；1 基	インバーター対応
地下水揚水ポンプ	定格出力 1.5kW；1 基	インバーター対応
ラインポンプ	定格出力 0.75kW；1 基	インバーター対応
ファンコイルユニット	放熱能力 10kW；6 基	床置き型
太陽光集熱器	SGP15A，20cm 間隔；416m ²	アスファルト舗装

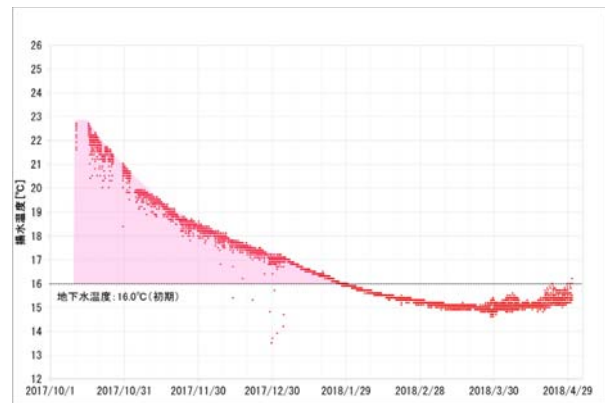


図 8 冬期稼働に伴う揚水温度変化

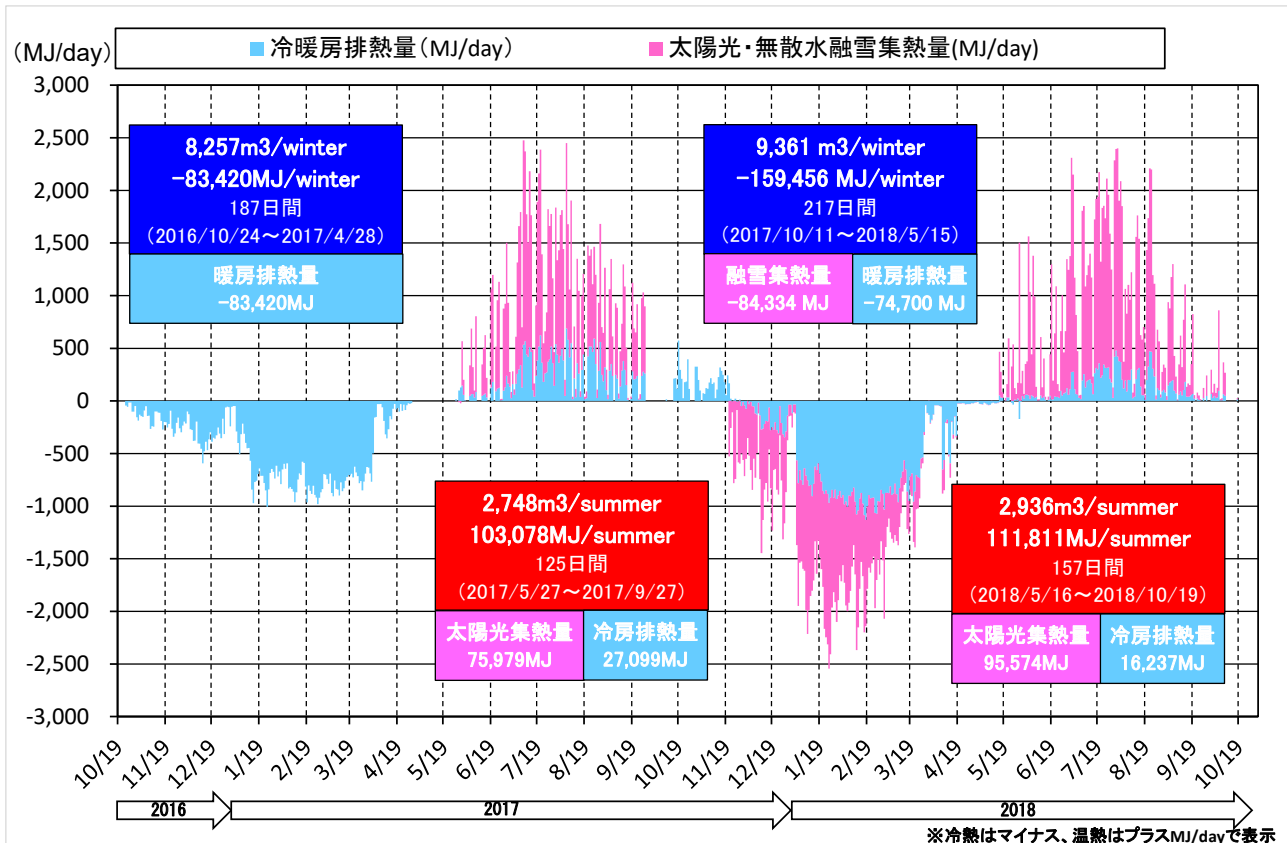


図9 地下水利用量と熱収支

4. おわりに

再生可能エネルギーである地中熱・地下水熱を利用して、CO₂ 排出削減に寄与可能なシステムを提供することで、地球温暖化対策としての一端を担えれば幸いである。

参考文献

- [1] エネルギー白書 2020, (2020) 115.
- [2] 高橋博, 中村勉, 雪氷防災 改訂第2版, 白亜書房 (1997) 194.
- [3] 山口正敏, 服部恭典, 鈴木和則, 堀野義人, 無散水消融雪施設稼働の省エネ化を目指して, 寒地技術論文・報告集 CD, vol.35 (2019)
- [4] 山口正敏, 沼澤喜一, 地中熱ヒートポンプによる歩道消雪施設の稼働状況 (平成25年度), 東北の雪と生活, 第29号 (2014) 102.
- [5] Masatoshi Y, Masahiko K, Thermal Efficiency of the Borehole Heat Exchanger Built with Drilling Mud., FEFLOW2015 Conference USB (2015)
- [6] 環境省ホームページ, 帯水層蓄熱の利用にあたってパンフレット, 熱講社 (1980). https://www.env.go.jp/water/jiban/pdf/ATES_pamphlet_202003.pdf
- [7] 日本地下水開発 (株), 九州大学大学院工学研究院, (独)産業技術総合研究所, 平成24年度帯水層蓄熱冷暖房システムの地下環境への影響評価とその軽減のための技術開発委託業務成果報告書, (2013).
- [8] 日本地下水開発 (株), 秋田大学, 産業技術総合研究所, 地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化 成果報告書, (2018).
- [9] 山谷睦, 桂木聖彦, 藤井光, 高効率帯水層蓄熱システムの開発, 化学工学, Vol.83 (2019) 528.

地圏流体モデリング技術を利用した 地中熱ポテンシャル評価

*Estimating Ground-Source Heat Potential Using
Terrestrial Fluid-Flow Modeling Techniques*

竹島 淳也 (応用地質)

Junya TAKESHIMA (OYO Corporation)

e-mail: takeshima-junya@oyonet.oyo.co.jp

1. はじめに

地表からおおよそ深度 200m までに賦存する熱エネルギーは一般に「地中熱」と呼ばれ、再生可能エネルギーの一つである。深度約 15m 以深の不易層では年間を通じて地中温度がほぼ一定であり、この特性を活かした地中熱利用が普及しつつある。地中熱は温度差エネルギーの一種であり、ヒートポンプを介して空調・給湯等の熱源として利用されることが多い。地中熱を熱源とするヒートポンプシステムは、一般に GSHP(Ground Source Heat Pump system)と呼ばれる。地中熱利用は空気熱源に比べて温度差が小さい熱源を利用することで、より高効率なシステム運転が期待できる省エネルギーである。

他の再生可能エネルギーに比べて地中熱利用は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という利点がある。一方、地中熱利用の効率は地質分布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影響を及ぼす。地中熱ヒートポンプシステムには地下から採放熱するための地中熱交換器が必要である。地中熱利用の普及にあたり、障壁の一つとなっているのがイニシャルコストである。システム全体の費用に対して地中熱交換器の設置費用が占める割合が高く、運転効率とコストの両面から適切な地中熱交換器の長さ、本数を設計することが重要である。

わが国で普及している地中熱利用の形態は「クローズド型」と呼ばれる方式(図 1[1])で、U字管(あるいはUチューブ)などを地下に埋設して熱媒体を循環させることで熱交換を行うものである。地中熱交換器の長さ・本数を増やすほど熱交換量が大きくなるので利用効率の向上が期待できるが、長さ・本数に応じて設置費用も高くなる。したがって、事前に当該地域における地下の状況(地質、地下水、地下温度)を把握し、適切な地中熱交換器の長さ・本数を設計することが普及の一

助になるものと考えられる。

事前に地中熱の熱交換能力を予測するために整備されたツールの一つに「地中熱ポテンシャルマップ」が挙げられる。地質の分布状況や地下水流動系を解析し、これらの結果から推定した地中熱ポテンシャルをマップ上に表現したものであり、これまでに内田ら(2014)[2]やシュレスタら(2015)[3]によって作成が試みられている。また、地中熱利用の普及を目的として、一部の自治体で地中熱ポテンシャルマップが作成され、ホームページなどで公開されている。

地中熱ポテンシャルについては統一的な評価方法があるわけではなく、過去の研究事例では対象地域における相対的な優位性を示した「適度」や地中熱交換量、有効熱伝導率などの分布状況をポテンシャルの指標としてマップを作成している事例がある。表現方法は異なるものの、上記の方法はいずれも地下の地質分布、地下水流動系に着目して評価している点については同じである。特に、地下水の移流効果が熱交換能力に大きな影響を及ぼすことが知られており、地下水流動が卓越している地域では高効率の地中熱利用が期待でき、地中熱交換器の長さ、本数を省力化してコスト低減を図ることも可能となる。

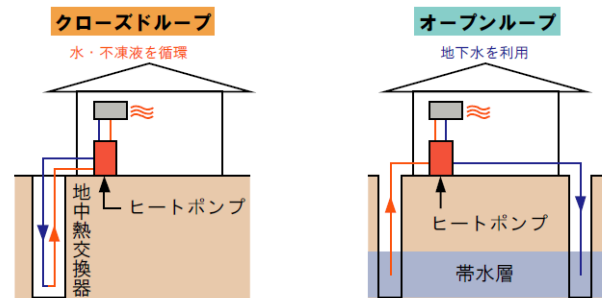


図1 地中熱の利用形態[1]

このような背景から、地中熱利用をより普及させることを目的として、地中熱ポテンシャル評価の研究開発に取り組んだ。具体的には、イニシャルコストの低減を意識して地中熱ポテンシャルを精度良く評価し、基本設計段階で地中熱交換器の数量を推定するための情報を提供できるマップの作成を目指した。

2. 地中熱ポテンシャル評価技術の概要

高精度の地中熱ポテンシャル評価を実現するためには、対象地域の地質状況と地下水流動系を可能な限り実際の状態に近いモデルを構築することが重要である。本研究では、以下のコンセプトに基づいて地中熱ポテンシャル評価の研究開発に取り組んだ。

①高精度な3次元地質モデルの構築

ボーリングデータをはじめとする多くの既存地質情報を利用して、精緻な3次元浅層地盤モデルを構築する。空間分解能は水平方向 50m、垂直方向 1m とし、概ね深度 150m までのモデルを構築した。

②流域スケールのモデリング

流域スケールの地上から地下までをカバーする包括的な水・熱輸送過程を解析する地圏流体モデリング技術を利用して、地上の河川流れや地下浅層および深層部の地下水流動、熱輸送を同時に計算し、再現性向上を図った。

③2種類のポテンシャルマップ

より多くのユーザーが使用できるよう、2種類の地中熱ポテンシャルマップを作成した。一つは建築物とその熱負荷を仮定したときの地中熱交換器長さや COP を評価するもので、もう一つは建築物に依存しない地下情報のみによるポテンシャル評価として、見掛けの有効熱伝導率分布を推定したものである。見掛け有効熱伝導率とは、地下水の移流効果を考慮した有効熱伝導率のことで、一般に地下水流速が高いほど、(見掛け有効熱伝導率) / (有効熱伝導率) は高くなる。

地中熱ポテンシャル評価の流れを図2に示す。モデル構築およびシミュレーションに必要な情報・データを収集し、これらをもとに3次元地質モデルの構築、地圏水環境シミュレーションを実施する。これらの作業で構築したモデリングをもとに地中熱交換量シミュレーションを実施するこ

とで、地中熱ポテンシャルマップを作成する。

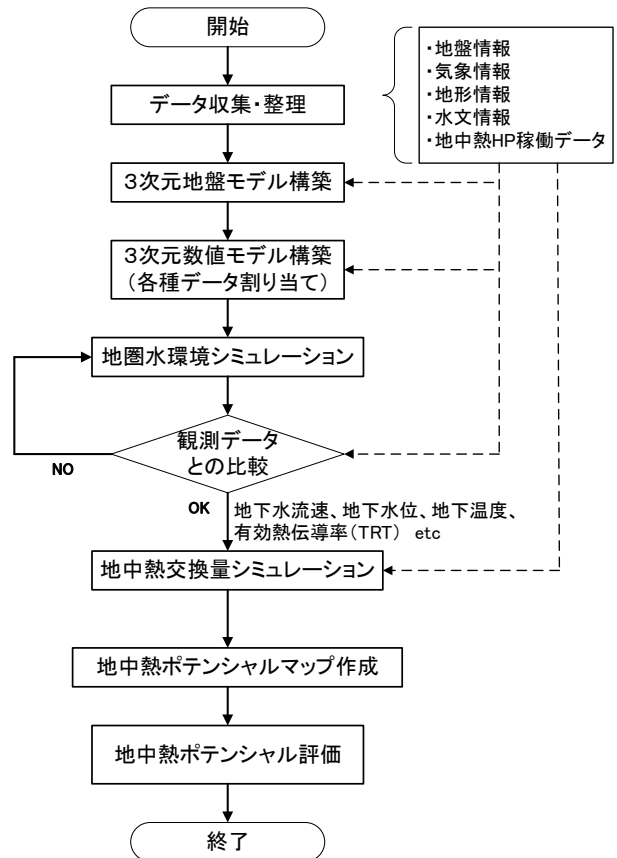


図2 地中熱ポテンシャル評価の流れ

3. 研究対象地域およびモデリング

3.1 対象地域

地中熱ポテンシャル評価の対象地域として、関東広域、宮城広域、長野地域を選定した(図3)。関東広域は国内で最も人口が多い地域で、今後の地中熱利用の普及が望めること、既存の地下情報が豊富にあることから対象地域として選定した。宮城広域は過去にモデリングの実績があり、これらの結果を利用することができること、長野地域は地下水が豊富で地下水流速が高い地域という観点から選定した。これらの地域のうち、本稿では関東広域を例として以後の内容について述べる。

関東広域の面積は約 1.5 万 km² で、過去に作成された地中熱ポテンシャルマップは自治体レベル(都道府県あるいは都市域)であることを考えると、対象面積としてはかなり広域であることがわかる。

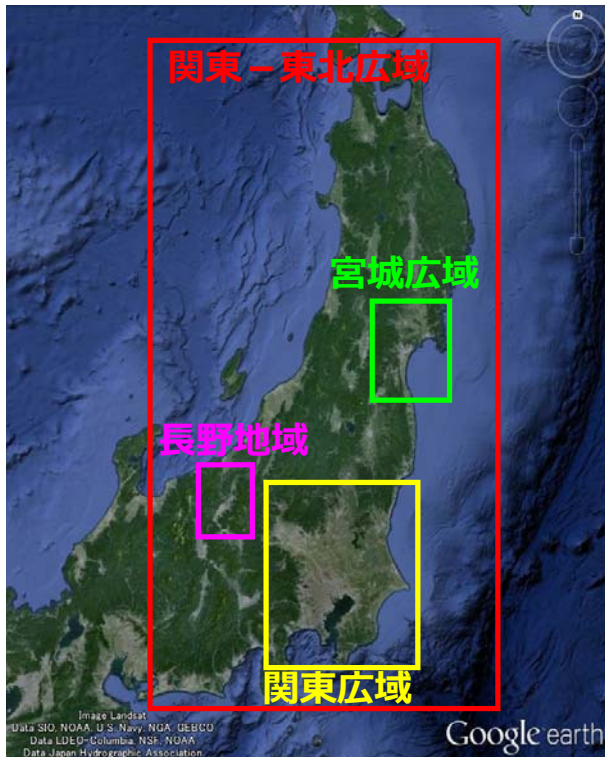


図3 研究対象地域[4]

分を簡略化してコード化し、地質区分コードと標準貫入試験深度の N 値とをデータベース化する。次に、微地形区分およびボーリングデータ判定に基づいて地質時代区分の 3 次元範囲を推定し、データベースを分類する。地質時代区分ごとに地質区分および地盤強度 (N 値) を空間補間し、上記の 3 次元範囲を用いて地質時代区分モデルを統合し、モデルを完成させた。空間補間は江藤ほか (2008) を参考に IDW (Inverse Distance Weighted : 逆距離荷重法) を用いた。IDW は設定が容易で解析者が変わっても再現性を保つことができるといった利点がある。

図 4 に関東広域の浅層地盤モデルを示す。図 4 は平野部における表層付近に分布する地質を表示したものである。完新世の地質は河川流域や九十九里周辺に分布する傾向にあり、表層付近に分布する地質は粘土や砂が主体である。それ以外の地域では比較的浅い深度から更新世の地質が分布しており、ロームが東京都や栃木県の丘陵部など広範囲に分布している。

3.2 浅層地盤モデルの構築

浅層地盤モデルの構築には、応用地質(株)製の 3 次元地質解析システム「GEO-CRE®」を使用した。図 4 に GEO-CRE®による 3 次元地質モデル構築の流れを示す。

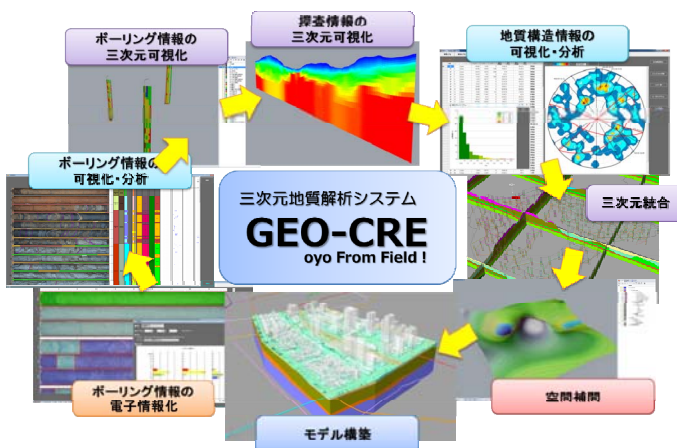


図4 3次元地質解析システム GEO-CRE®

モデル構築にあたって使用したデータは、既存のボーリングデータ (約 22 万本) のほか、地質図や地質断面図などである。収集したボーリングデータを電子情報化する際に約 6000 種類の地質区

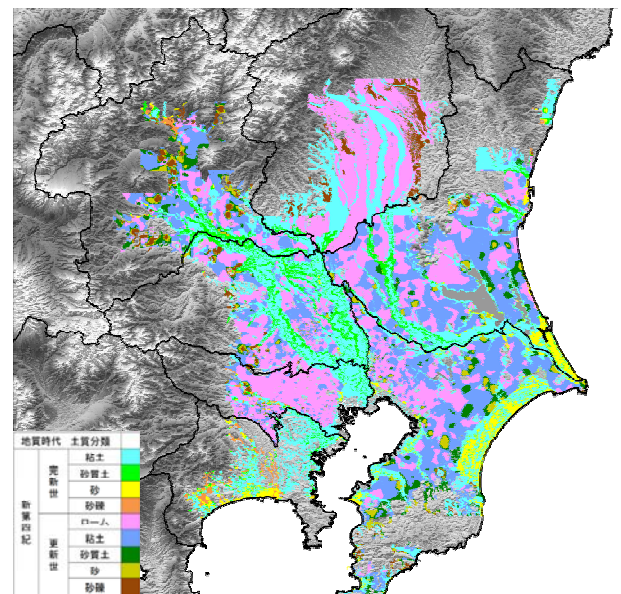


図4 関東広域の浅層地盤モデル[4]

3.3 マルチスケール国土水・熱循環モデルの開発

平野部の浅層地盤モデルと山間部や地下深部も含めた国土水循環モデル (開発元: (株)地圏環境テクノロジー) を統合し、地圏流体モデリングによるマルチスケール国土水・熱循環モデルを開発した。開発にあたっては地圏流体シミュレータ

GETFLOWS®を使用した。GETFLOWS®は地表水と地下水の完全連成および熱輸送を包含した統合型地圏流体シミュレータである。空間離散化は、複雑な地形起伏や地盤物性分布について完全3次元格子を用いて表現可能な積分型有限差分法(Integral Finite Difference Method: IFDM)による。格子形状には、コーナーポイント型差分格子と呼ばれる多面体形状を用いることができ、それぞれの格子体積および隣接格子間の絶対浸透率を正確に評価することができる。本手法は、格子毎の厳密な質量収支を保存することができるため、油層工学など、多相流れを取り扱う分野に多くの適用実績をもつ。境界条件として、解析モデル上面は格子モデルの第1層に大気層、第2層に地表層を設け、大気層に標準大気圧と年平均気温を与えた等温境界とした。側面は河川の出口を除き、熱・流体の出入りがない閉境界とした。モデル底面は流体の出入りのない閉境界とし、地熱分野で利用されている活動度指数を割り当てた等温境界とした。

図5に構築した水・熱循環モデルによる地下温度プロファイルの再現性結果例を示す。グラフ中の青線が観測値、赤線が計算値であるが、観測値と計算値がほぼ整合していることがわかる。図6

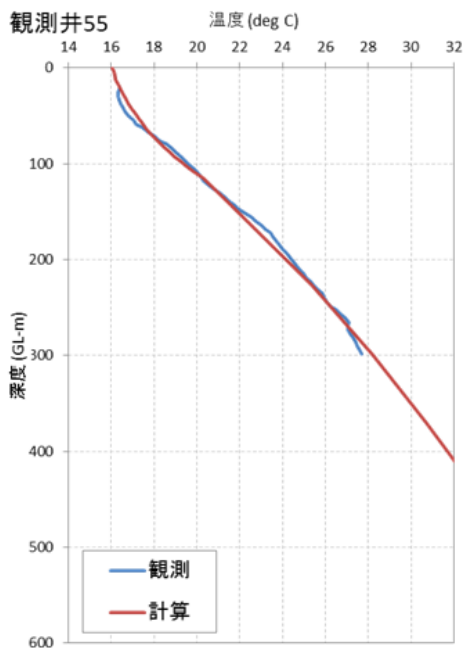


図5 水・熱循環モデリングによる地下温度プロファイルの再現性結果例[5]

にはモデリングで得られた深度100mまでの平均地下温度分布を示す。相対的に平野部で地下温度が高い傾向にあり、特に東京都および神奈川県の大平野部で高く18~20°Cを示す。一方、山間部や扇状地、一部の河川流域では相対的に地下温度が低い傾向にあり、地下温度は14°C未満を示す地域もみられる。

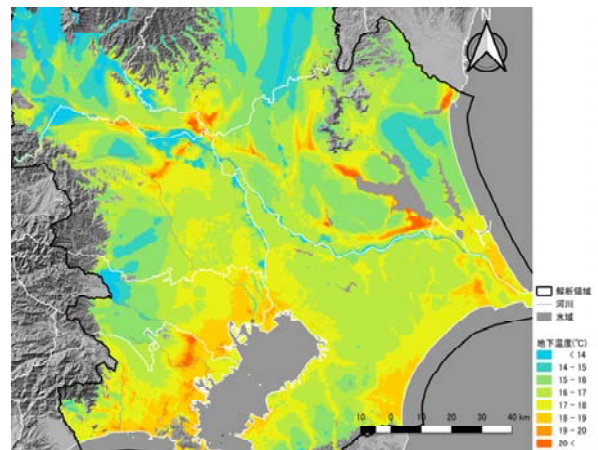


図6 深度100mまでの平均地下温度分布[5]

4. 地中熱ポテンシャル評価技術

4.1 見掛け有効熱伝導率マップ

地中熱のポテンシャルを評価する指標として、一つは地下の見掛け有効熱伝導率分布による方法を検討した。地中熱交換井深度100m(ダブルU字管)の地中熱交換井モデル(図7)を構築し、3章で構築した広域モデルをもとに125地点におけ

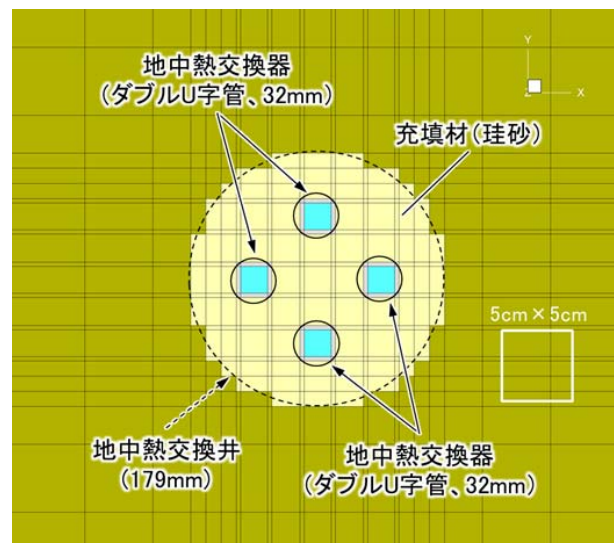


図7 地中熱交換井モデル[5]

る地中熱交換量シミュレーションを実施した。地盤と地中熱交換井との間の充填材（珪砂）の水理物性は、透水係数 $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 、有効間隙率 0.4、比熱 $3,000 \text{J/kg/K}$ 、熱伝導率 2.0W/m/K に設定した。地中熱交換井周囲の地質については 3 章で構築した広域モデルと同じ水理物性を与えた。また、初期条件および側方境界条件には広域モデルにより求められた気相圧力、水飽和率、温度を与えた。地中熱交換器内の熱媒体は、循環流量 30L/min 、単位長さあたり熱交換量 50W/m とし、5 日間の地中熱交換量シミュレーションを実施した。シミュレーションで得られた地中熱交換器の出入口温度変化例を図 8 に示す。図 8 のデータに熱応答試験 (Thermal Response Test : TRT) の解析方法を適用し、各地点における見掛け有効熱伝導率を算出し

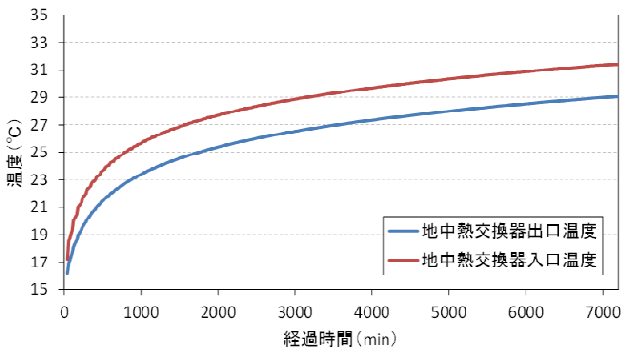


図 8 地中熱交換量シミュレーション結果例[5]

た。算出した見掛け有効熱伝導率と地下水流速との関係を図 9 に示す。地下水流速が高いほど、見掛け有効熱伝導率が高くなる傾向がみられる。

図 10 に深度 100m までの見掛け有効熱伝導率マップを示す。地下水流速および熱伝導率を変数とするサロゲートモデルを構築し、地中熱交換量シミュレーションを実施していない地点へ展開した。関東広域の平野部における見掛け有効熱伝導率は $1.2 \sim 1.8 \text{W/m/K}$ を示しており、北部および西部の山間部では 2.0W/m/K 以上を示す地域がみられる。山間部に隣接する地域は扇状地を形成していることが多く、分布する地質の違いのほか、地下水の移流効果が影響しているものと考えられる。

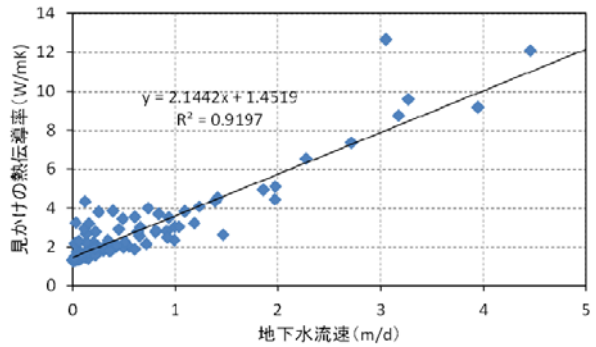


図 9 見掛け有効熱伝導率と地下水流速との関係[5]

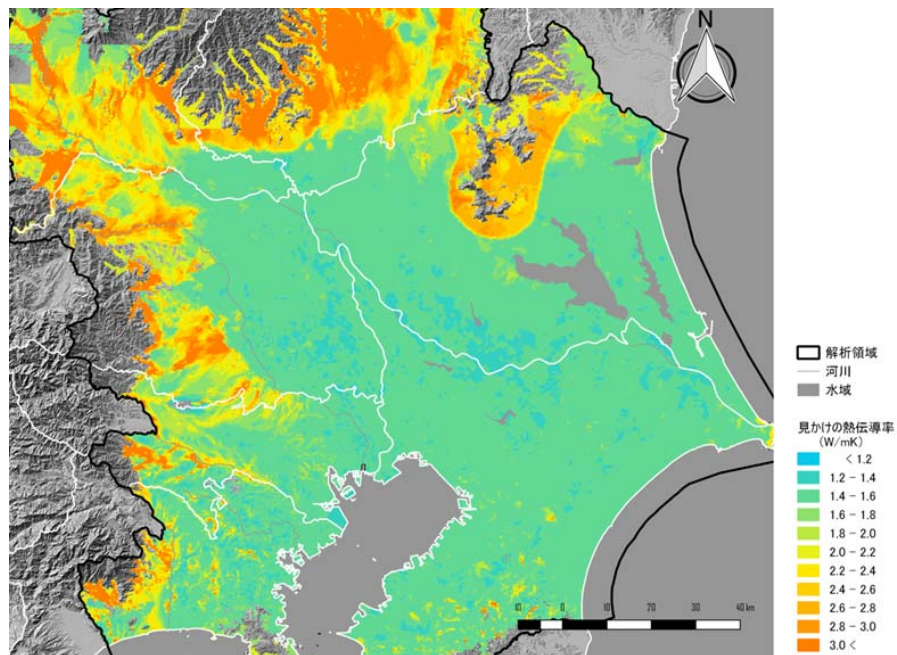


図 10 見掛け有効熱伝導率マップ (深度 100m) [5]

4.2 地中熱交換器長さマップ

地中熱のポテンシャルを評価するもう一つの指標として、地中熱交換器の長さによる方法を検討した。地中熱交換器の必要長さは建築物の熱負荷によって変わり、本研究では戸建住宅を対象とした。熱負荷は「建物エネルギー消費性能基準（平成 28 年度経済産業省・国土交通省令第 1 号）に基づき、省エネ地域区分に応じた標準住戸の冷暖房負荷を採用した。対象地域の省エネ地域区分は 3～6 で、大部分は 5 あるいは 6 地域である。表 1 に最大冷暖房負荷を示す。

表 1 省エネ地域区分ごとの最大冷暖房負荷

省エネ地域区分	暖房 (kW)	冷房 (kW)
3	9.3	4.3
4	10.8	5.1
5	9.2	6.2
6	8.5	6.7

冷暖房運転における目標 COP は暖房で 3.5、冷房で 5.5 とし、これらの COP を満足する地中熱交換器長さを必要長さとした。COP を設定するにあたり、市販されているヒートポンプの性能曲線をもとに COP と地中熱交換器入口温度との関係を求めた。COP と地中熱交換器入口温度の関係式を以下に示す。

- ・暖房 COP = 0.07 × (入口温度) + 3.4
- ・冷房 COP = -0.16 × (入口温度) + 9.067

4.1 と同様で冷房運転および暖房運転の期間平均 COP を求める地中熱交換量シミュレーションを実施した。シミュレーションは地中熱交換器の長さ 50m, 75m, 100m の 3 ケースについて実施した。地中熱交換量シミュレーションでは、標準住戸の冷暖房負荷を賄うために必要な熱交換量を動的に算出し、熱交換量と地中熱交換器出口温度から算出した入口温度を入力条件として与えた。図 11 に地中熱交換量シミュレーションの結果例を示す。上記の COP と地中熱交換器入口温度の関係式より、シミュレーションで得られた地中熱交換器入口温度から COP を算出した。

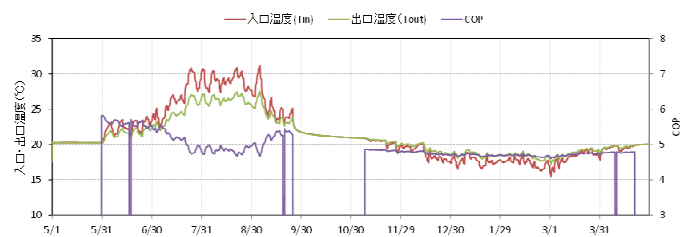


図 11 地中熱交換量シミュレーション結果例[5]

地中熱交換器長さごとに特徴量（平均地下水流速、平均地下温度、平均熱伝導率）から期間平均 COP を求めるサロゲート式を作成し、メッシュごとに期間平均 COP を算出することでマップを作成した。図 12 に冷房運転時、図 13 に暖房運転時の期間 COP マップを示す。図 12 および 13 は地中熱交換器の長さを 100m としたときの期間 COP マ

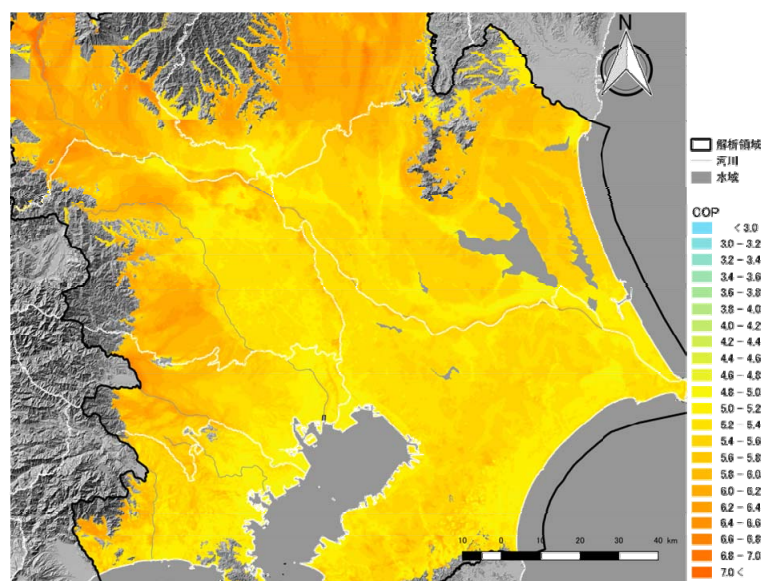


図 12 冷房運転時の期間 COP マップ（長さ 100m）[5]

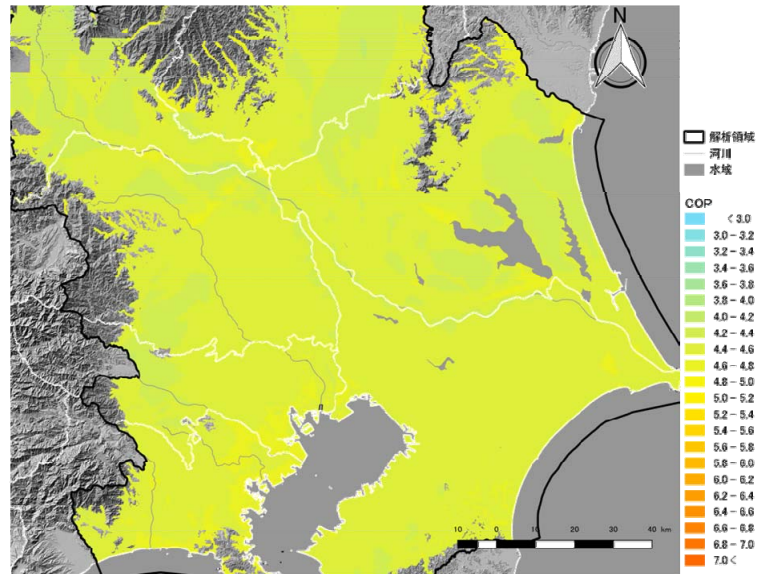


図 13 暖房運転時の期間 COP マップ (長さ 100m) [5]

ップである。

作成したマップからメッシュごとに熱交換器長さと期間平均 COP の関係式を推定し、冷房・暖房それぞれで目標 COP を満たす熱交換器長さを算出することで熱交換器長さ分布図を作成した。図 14 に地中熱交換器の必要長さの算出例を示す。目標 COP は暖房で 3.5, 冷房で 5.5 に設定したので、図 14 において設定した COP を満足する長さを必要長さとした。

上記の方法に基づいて算出した地中熱交換器の必要長さマップを図 15 に示す。平野部の大部分で必要長さが 100m 以上となる結果が得られており、西部・北部の山間部では必要長さ 50m 未満を示す地域もみられる。平野部では熱伝導率および地下水流速が低く、地下温度は高いために熱交換量が小さく、相対的に地中熱交換器の必要長さが長くなったものと考えられる。

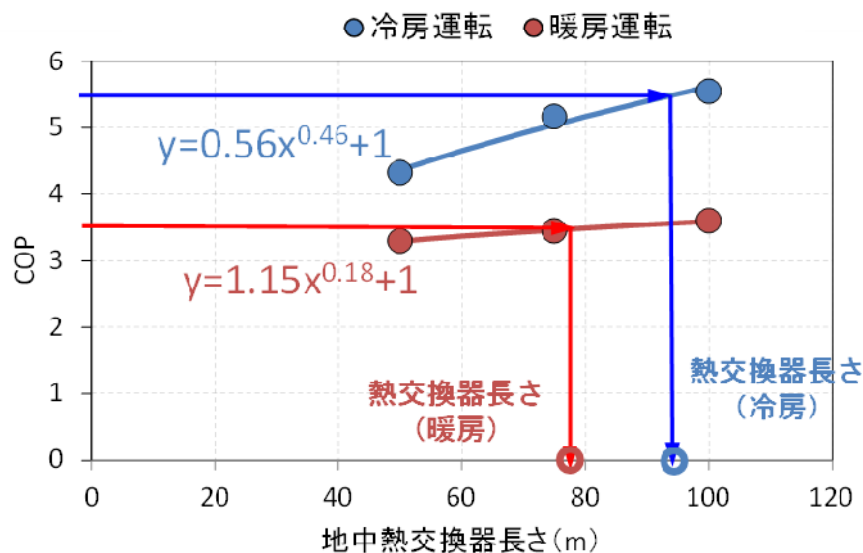


図 14 地中熱交換器必要長さの算出例[5]

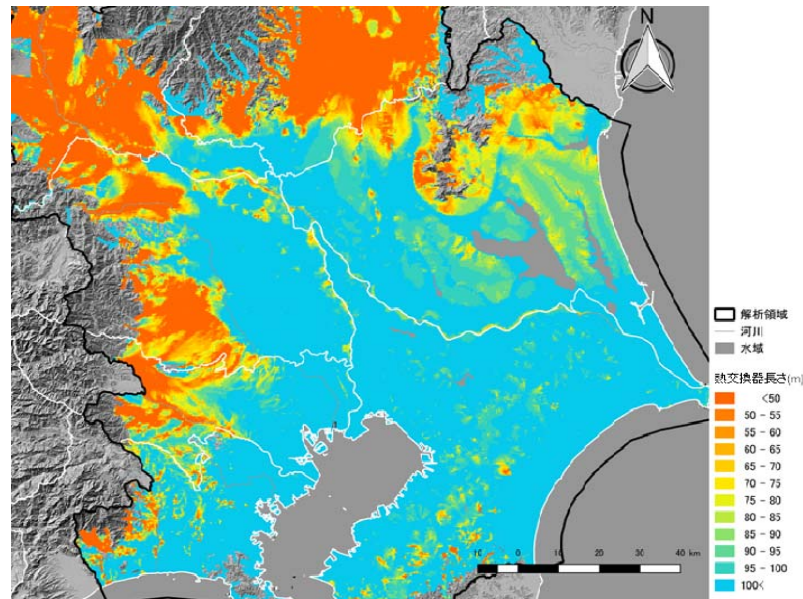


図 15 地中熱交換器必要長さマップ[5]

5. まとめ

本研究では、高精度な3次元地質モデルと流域スケールのモデリング技術を活用し、クローズド型地中熱交換器のポテンシャル評価技術について、関東広域を対象として研究開発に取り組んだ。本研究の成果を以下にまとめる。

- 1)ボーリングデータをはじめとする多くの地質情報から構築した3次元地質モデルおよび、地上と地下間の水・熱移動現象と地下深部の熱輸送を取り入れた流域スケールのモデリングにより、再現性の高い水・熱循環モデルを開発した。
- 2)水・熱循環モデルを活用した地中熱交換量シミュレーション結果から地下の特徴量（地下水流速，地下温度，熱伝導率）を変数としたサロゲートモデルを構築することで，高分解能なポテンシャル評価手法を確立した。
- 3)開発したポテンシャル評価手法により，見掛け有効熱伝導率マップと地中熱交換器必要長さマップを作成した。関東広域においては，地下水流速が低く，地下温度が高い平野部では，相対的に見掛け有効熱伝導率が低く，地中熱交換器必要長さは100m以上であった。一方，山間部に隣接する地域では，相対的に見掛け有効熱伝導率が高く，地中熱交換器長さが50m未満を示す地域もみられた。これらの成果は，地質や地下水特性，地下温度を良く反映した結果となった。

6. 謝辞

本研究は，NEDO 再生可能エネルギー熱利用技術開発事業（平成26年度～30年度）の一環として進められた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 環境省水・大気環境局，地中熱利用にあたってのガイドライン改訂版，3(2015).
- [2] 内田洋平・與田佑季・藤井光・宮本重信・吉岡真弓，地中熱利用適地の選定方法その1 地下水流動・熱輸送解析とGISを用いた地中熱利用適地マップの作成，日本地熱学会誌，32，4，229-239(2010).
- [3] 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，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，37，4，133-141(2015).
- [4] 竹島淳也・西山昭一・下山みを・田原康博・多田和広・小林嵩丸・松浦太一，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(3)，日本地熱学会令和元年学術講演会ポスター発表(2019).
- [5] NEDO，再生可能エネルギー熱利用技術開発/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 平成26年度～平成31年度成果報告書，93-253(2019).

直接膨張方式地中熱ヒートポンプの技術開発 *Technological Development of Ground Source Heat Pump that Uses Direct Expansion Method*

武田 哲明 (山梨大学)
Tetsuaki TAKEDA (University of Yamanashi)
 e-mail: ttakeda@yamanashi.ac.jp

1. はじめに

再生可能エネルギーや省エネルギー技術が注目される中、地中熱ヒートポンプ (Ground Source Heat Pump, 以下 GSHP) の設置件数は年々増加している[1]。山梨県では、平成 28 年 3 月に策定された「やまなしエネルギービジョン」[2]において、クリーンエネルギー普及促進の具体的な取り組み内容として「地中熱」利用が明記されており、今後の利用拡大が大きく期待されるクリーンエネルギーの一つである。現在、既に製品化され国内で普及している GSHP は主に中規模以上の施設での導入事例が多く、住宅用などの小規模出力の場合は、地中熱交換器を収めるボアホール掘削コストがシステム全体のコストに与えるインパクトが大きい傾向にある。山梨大学では、平成 23 年度から新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が実施する「再生可能エネルギー熱利用計測技術実証事業」[3]に地元企業とともに参加してきた。実証事業においては、Fig. 1 に示すような GSHP を用いて、1 次系である地中からの採熱量や 2 次系での熱量計測に関する精度評価を実施した。

実証事業は地中熱利用設備を対象として、当該設備に外部から熱量計等の計測機器を組み込み、実際の負荷条件のもとで 1 年以上熱量を実測することが主要目的であり、GSHP の仕様、設置地域の地中温度等のデータを用いて熱量を計測し、それらを評価・検討することで、最終的に低コストかつ 20%未満の誤差となる計測技術の確立に資することであった。取得されたデータは、それぞれの GSHP の諸特性 (設置条件、運転形態、熱媒の特性等) を考慮して解析し、適用した低コスト熱量計測システムの評価[4-6]を実施してきた。

現在、我が国で実用化されている GSHP は間接方式と呼ばれ、ヒートポンプ内の冷媒の熱を水または不凍液と交換し、ヒートポンプと地中との間を循環させて地中から採熱、あるいは地中へ放熱する方式である。一方、間接方式 GSHP に設けられていた冷媒とブラインとの熱交換器を取り除き、銅管で製作した熱交換器を地中に直接埋設した直接膨張方式が提案されるようになった。この方法では、冷媒とブラインとの熱交換器が不要となり、ブラインの循環ポンプも不要なため、部品点数が削減される。また、熱交換効率の向上からボアホール深さを短縮できる可能性があり、掘削コストが削減できるとされている。

山梨大学では、平成 24 年度から 28 年度まで、文部科学省の地域イノベーション戦略支援プログラムの一部として、直接膨張方式 GSHP の開発研究を進めてきた。これまでに様々な地中熱交換器を用いて実施した直接膨張方式 GSHP による空調運転[7-15]及び、給湯運転[16, 17]の結果を報告してきた。この直接膨張方式 GSHP は、空気熱ヒートポンプ (Air Source Heat Pump, 以下 ASHP) の熱交換器を地中に埋設したのと同じと考えられる。この方式は、熱交換媒体を代替フロン冷媒 (R410A, R32 等) として、直接地中に循環させて採放熱を行うため、単位深さ当りの採放熱量

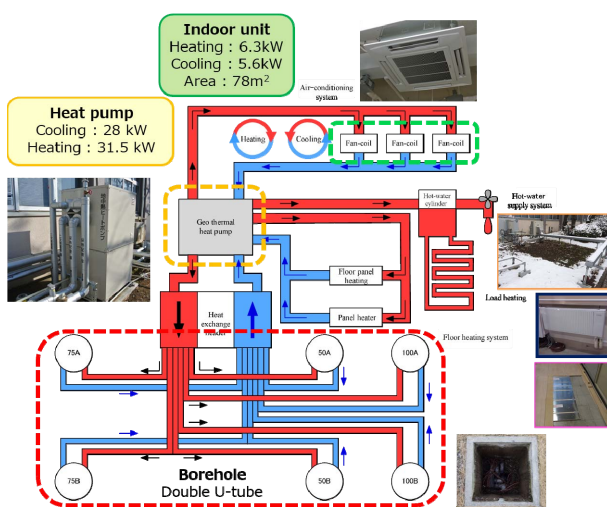


Fig. 1 Flowsheet of typical GSHP

が従来方式と比べて増大することから、ボアホール深さを短縮でき掘削コストの削減が期待できる。

2. 直接膨張方式 GSHP システムの概要

2.1 ボアホール型地中熱交換器を用いた場合

実験装置を Fig. 2 に示すが、市販の ASHP 室外機内の空気／冷媒熱交換器を地中熱交換器に取り替えたものである。直接膨張方式の導入はこれまでも検討されていたが、地中熱交換器では配管抵抗や潤滑油の底部停滞等による冷媒循環の不安定さから実用化が進まなかった。そこで、これらの課題解決のため、地中熱交換器に工夫を施した。

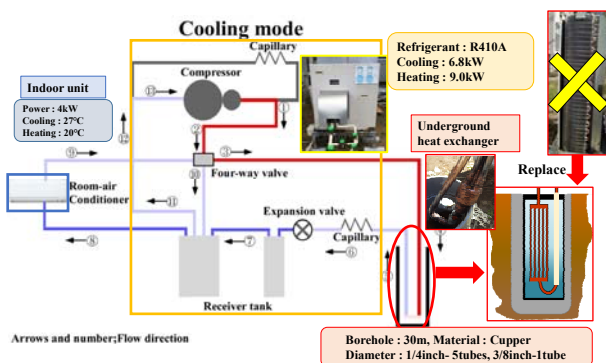


Fig. 2 Schematic drawing of experimental apparatus using boreholes

最初に用いた地中熱交換器は、深さ 30 m、直径 105.3 mm の垂直埋設型ボアホール内に底部を閉じた SGP 円管をケーシング管として収めて管内に水を充填し、その中に銅製円管で製作した熱交換器を挿入した。熱交換器は、行きと戻りで形状が異なり、5本の直径 6.35 mm 銅管と1本の直径 9.52 mm 銅管をケーシング管の底部で接続した U 字型流路で構成した。また、9.52 mm 銅管側には断熱材を巻いた。掘削孔と SGP 円管との間隙には砂を充填した。冷媒は R410A を 6.95kg、圧縮機の潤滑油を 1kg 充填した。室内機の出力は、4kW と 2.2kW とし、それぞれ 38m² 及び 26m² の部屋に設置した。ここでは、空調面積 38m² の部屋に設けた 4kW の室内機 1 台を用いた冷暖房運転結果 [18, 19] を示す。

室内機側の吐き出し口、吸い込み口に温度計と湿度計を設置し、吐き出し口の 4 箇所には熱線風速計プローブを設置し、空気エンタルピー法により冷房・暖房運転時の成績係数 (Coefficient of

Performance, 以下 COP) を求めた。なお、山梨大学甲府東キャンパス内の実験場において 30 m のボアホールを使用した熱応答試験の結果は、土壌の有効熱伝導率が 1.69 W/(m・K)、熱抵抗が 0.08 K/W 及び不易層温度は 18.3 °C であった。

Fig. 3 に冷房運転時の室内機側での取得熱量、ヒートポンプの消費電力、及び COP の時間変化を示す。冷房運転では地中熱交換器内の冷媒循環方向は 5 本から 1 本となる。

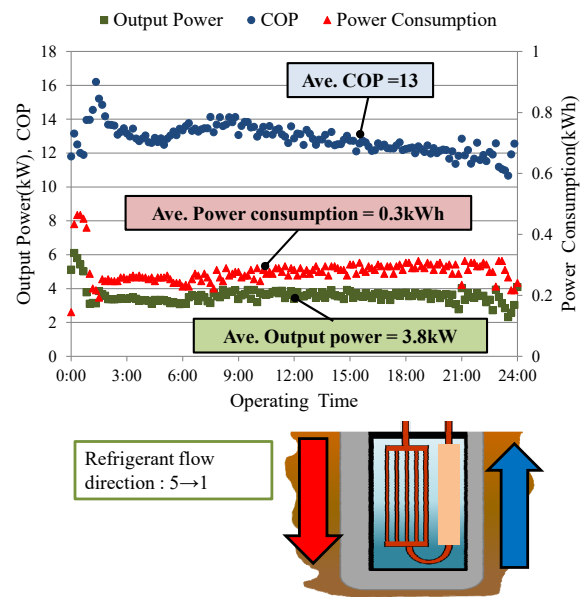


Fig. 3 Changes of COP, output power, and power consumption in cooling operation

設定温度が 27 °C の 24 時間運転では、運転開始直後は設定値に向かって最大負荷で運転するため、COP は 12 程度であるが、設定値に到達すると消費電力が低下して、COP は最大で 16 程度まで上昇する。その後時間の経過とともにわずかに減少し、24 時間後の COP は 11~12 程度であった。24 時間の平均取得熱量は約 3.8 kW、平均 COP は約 13、消費電力は約 0.3 kW であった。冷房運転時は地中熱交換器が凝縮器となるため、気体の状態で熱交換器に流入した冷媒は、5 本の銅管内で凝縮しながら熱交換器内を流下し、底部ではほぼ液体となった冷媒が潤滑油とともに地上に戻る。熱交換器の深さ方向に設けた熱電対の温度変化からこの凝縮過程は深さ 20 m から 30 m の間で終了しているものと予想できた。冷媒圧力は約 2 MPa~2.5

MPa の範囲にあり、冷媒は安定に循環しており潤滑油の底部停滞も見られないと考えている。

Fig. 4 に暖房運転時の室内機側での取得熱量、ヒートポンプの消費電力、及び COP の時間変化を示す。暖房運転では、冷媒循環方向が 1 本から 5 本となる。

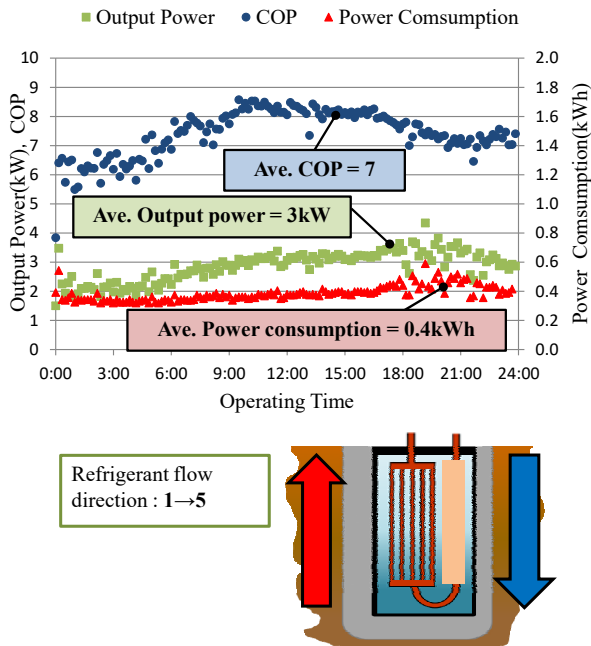


Fig. 4 Changes of COP, output power, and power consumption in heating operation

取得熱量は最大で約 4 kW であり、ヒートポンプの消費電力は最大でも 0.5 kW 程度であり、低く抑えられている。24 時間の平均取得熱量は約 2.9 kW, 平均 COP は約 7.4, 消費電力は約 0.4 kW であった。暖房運転の場合は、地中熱交換器は蒸発器となる。このため、地中熱交換器に流入した液冷媒は、断熱部を流下する際に蒸発すると冷媒流れに対して抵抗となることから、この部分の断熱性能が COP に依存し、この実験での COP の最大値が 8 程度になったものと考えている。その他、ボアホール型地中熱交換器を用いた場合については、既設井水を利用するオープン型の水冷型 GSHP の性能等についても実験結果[20-22]を報告している。

2.2 住宅用鋼管杭を利用した場合

地盤の軟弱な地域では、建築物を支えるために

基礎杭を打つ必要があり、この基礎杭内に地中熱交換器を挿入して採放熱を行うことで、地中熱交換器のための新たな掘削が不要となる。このため、ボアホール内に地中熱交換器を埋設する GSHP に対して、掘削コストの低減が可能であるとされている。ここでは、直接膨張方式 GSHP の地中熱交換器として、銅製の採放熱管を深さ 10~15 m の住宅用鋼管杭内に挿入し、この銅管を室外機の冷媒回路に接続した場合の実験結果[23-27]の一例を報告する。冷暖房運転時の熱量は室内機側で計測[28-32]して COP を求め、また、鋼管杭内の水温や採放熱管表面温度を計測して、冷暖房運転時の性能及び鋼管杭内の温度変化について考察した。

Fig. 5 に実験装置のフローシートを示す。鋼管杭の本数は 12 本であり、外径は 115 mm, 内径は 100 mm, 深さは 10 m である。各鋼管杭内には上水を封入し、採放熱管を挿入した。

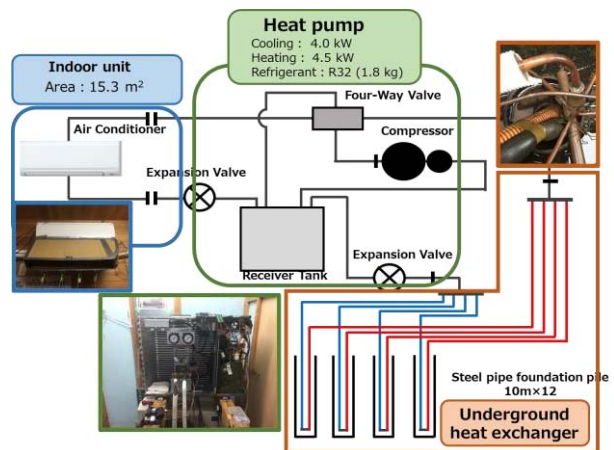


Fig. 5 Schematic drawing of experimental apparatus using foundation pile pipes

採放熱管は 1 本の断熱材を巻き付けた銅管（外径 4.0 mm, 内径 3.2 mm, 長さ 10 m）と 2 本の銅管（外径 4.0 mm, 内径 3.2 mm, 長さ 10 m）を底部で接続した U 字型流路となっている。1 つのヘッダーには 4 本の採放熱管が接続されており、全部で 3 つのヘッダーにより、12 本の採放熱管が接続されている。出力が冷房能力 4.0 kW, 暖房能力 4.5 kW のヒートポンプを使用し、室内機は 1 台とした。冷媒は R32 を 1.8 kg 充填した。空調面積は 15.3 m² である。

Fig. 6 に冷房運転時の一例として設定温度を

27℃とした場合の COP, 取得熱量, 消費電力の時間変化を示す。運転開始から約1時間は取得熱量が3.1~3.3 kW, 消費電力は0.72~0.77 kWで推移し, COPは約4.3であった。その後, 運転は安定し, 9:40から10:30までの50分間の平均COPは約4.7, 平均取得熱量は約2.79 kW, 平均消費電力は約0.59 kWとなった。運転終了前の15:40から16:30の50分間では, 平均COPが約4.4, 平均取得熱量は約2.76 kW, 平均消費電力は約0.62 kWとなった。これより, 冷房運転期間中の取得熱量は約2.8 kWとなり, ほぼ一定の熱量が取得可能であると判断できる。また, 消費電力は約0.6 kWで安定しており, 時間経過による増大傾向は見られなかった。

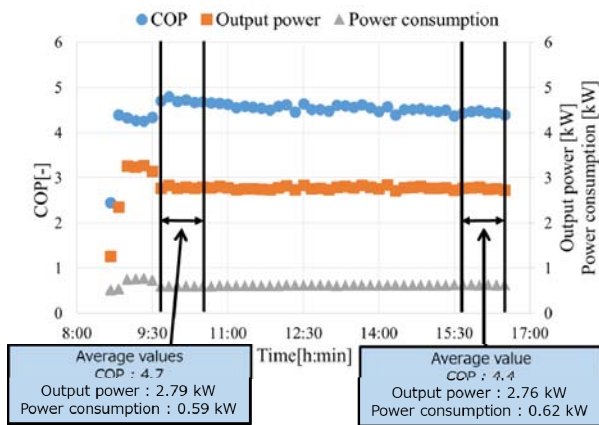


Fig. 6 Changes of COP, output power and power consumption in cooling operation

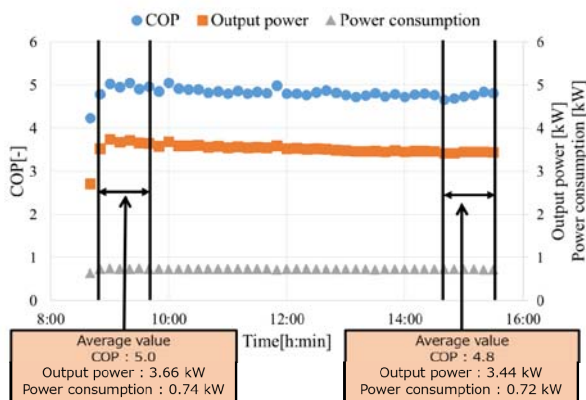


Fig. 7 Changes of COP, output power and power consumption in heating operation

Fig. 7 に暖房運転時の一例として設定温度を

20℃とした場合の COP, 取得熱量, 消費電力の時間変化を示す。運転開始後の8:50から9:40までの50分間の平均COPは約5.0, 平均取得熱量は約3.66 kW, 平均消費電力は約0.74 kWとなった。運転終了前の14:40から15:30の平均COPは約4.8, 平均取得熱量は約3.44 kW, 平均消費電力は約0.72 kWとなった。これより, 暖房運転期間中の取得熱量は3.4~3.6 kW, 消費電力は約0.7 kWでほぼ一定であった。

3. 農業用ハウスへの適用

直接膨張方式GSHPによる空調機に対して, 複数の地中熱交換器を並列に設置することにより, 出力10~15 kWのGSHPを基準として出力の増大に対応することができる。そこで, 山梨県が県内農家の農業用ビニールハウスに設置したGSHPを用いて, 山梨大学が熱量等の計測を実施した実証試験結果[33, 34]から, 省エネルギー性能を求め, 年間の1次エネルギー消費量等を算出した。

Fig. 8 に導入したGSHPの概略を示す。農業ハウスの空調面積は216 m²であり, 冷房能力が12.5 kW, 暖房能力が14.0 kWのGSHPを2台用いた。1つの室外機に対して, 3本のボアホールを並列に設置して, それぞれに地中熱交換器を挿入してこれらを接続した。室外機を出た冷媒は3つの地中熱交換器へ分流され, 熱交換後に再び1系統にまとめて室外機に戻す流路構成とした。また, 地中熱交換器の3分岐地点にはディストリビュータを取り付けて, 冷媒が均等流量となるように留意し, 超音波流量計にてこれを確認した。

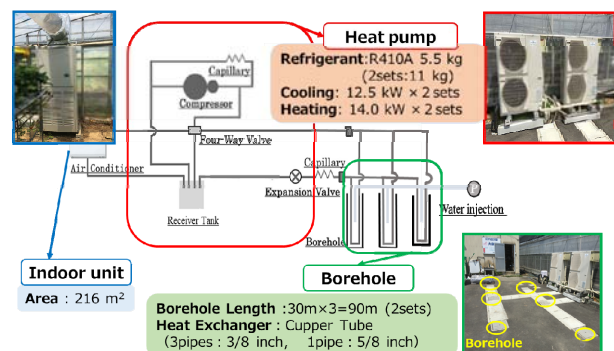


Fig. 8 Schematic drawing of GSHP system

地中熱交換器は1本の15.87 mm銅管と3本の9.52 mm銅管を底部で接続したU字型流路とした。

冷媒は、冷房時に3本側から1本側、暖房時に1本側から3本側へ流し、四方弁にて流れ方向を切り替える。また、これまで本学で実施した実験結果から、高負荷連続運転となる場合を想定し、時間経過による熱枯れが生じないように計測データから判断して、各ボアホール内に自動で注水し、採熱量を補うシステムを設けた。

冷房運転結果の一例を Fig. 9 に示す。運転開始後間もなく、放熱量は約 18 kW まで上昇し、消費電力は 3.7~4.4 kW 程度で推移した。運転開始から終了まで放熱量及び消費電力に大きな変動はなく、COP は約 4 であった。これまでハウスに導入していた空気熱ヒートポンプの定格 COP が 3.2 であることから、従来設備に対しても同等以上の性能を有することが分かる。

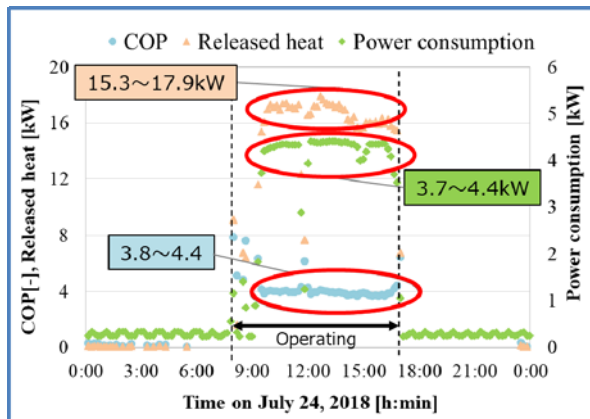


Fig. 9 Performance in cooling operation

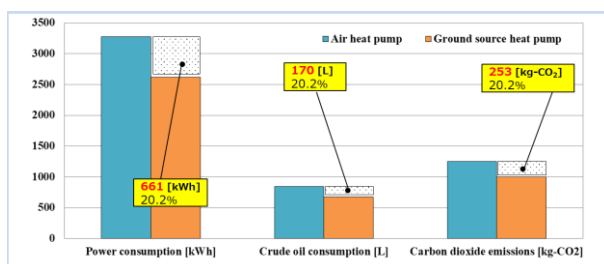


Fig. 10 Primary energy consumption and carbon dioxide emissions in cooling operation

また、Fig. 10 に冷房運転時の比較対象とする ASHP と GSHP の 1 次エネルギー消費量と二酸化炭素排出量を示す。運転期間 (43 日間) の積算消費電力量は、ASHP で 3276 kWh, GSHP で 2615 kWh となり、削減量は 661 kWh であった。これを原油

消費量に換算すると、空気熱ヒートポンプで 842 L, 地中熱ヒートポンプで 672 L となり、削減量は 170 L となった。また、この時の二酸化炭素排出量は、ASHP で 1252 kg-CO₂, GSHP で 999 kg-CO₂ となり、削減量は 253 kg-CO₂ となった。この結果から、冷房運転では原油及び二酸化炭素排出量の削減率は 20.2 % となった。

暖房運転結果の一例を Fig. 11 に示す。運転開始後間もなく、取得熱量は 16 kW 程度、消費電力は 5 kW 程度まで上昇し、稼働中の COP は約 3.4 となった。暖房運転においても COP の低下は見られず、運転状態に応じたボアホール内への注水システムにより安定した連続運転が可能になったと考えられる。実証試験は 800 m の高地で実施されたことに加え、農業ハウスの夜間暖房ではハウスからの放熱量が多く、暖房運転中の平均出力は 16.3 kW となり、定格能力 14 kW に対して約 16 % 高く、冷房運転と同様に常時高負荷運転となった。

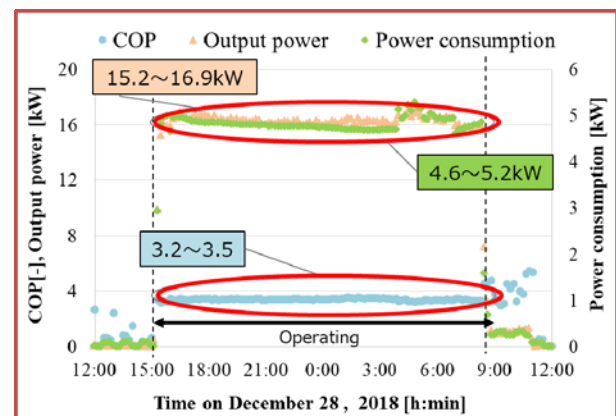


Fig. 11 Performance in heating operation

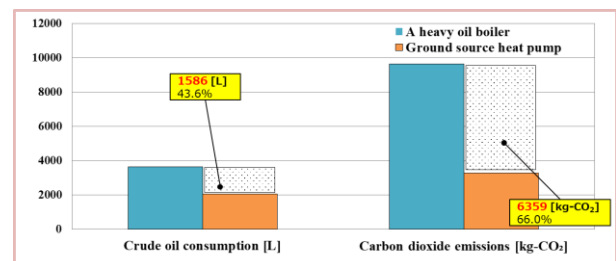


Fig. 12 Primary energy consumption and carbon dioxide emissions in heating operation

Fig. 12 に暖房運転時の比較対象とする A 重油ボイラーと GSHP における 1 次エネルギー消費量と

二酸化炭素排出量を示す。運転期間（70日間）の積算原油消費量はA重油ボイラーで3635L、GSHPで2049Lとなり、削減量は1586Lとなり、原油削減率は約43.6%であった。また、二酸化炭素排出量は、A重油ボイラーで9635kg-CO₂、GSHPで3276kg-CO₂となり、削減量は6359kg-CO₂となった。二酸化炭素排出量の削減率は約66.0%であった。暖房時には原油消費量・二酸化炭素排出量ともに高い削減率を得た。

4. おわりに

ここでは、直接膨張方式地中熱ヒートポンプについて、山梨大学で進めてきた技術開発の状況を幾つか紹介させていただいた。この方式のGSHPの冷媒回路はFig. 2, 5, 8に示した通りであるが、現状ではいずれも空気/冷媒熱交換器を地中熱交換器に交換したものである。地中熱交換器の深さは、住宅用鋼管杭内に水を充填して熱交換器を挿入する場合は7~15m程度、ボアホール内にケーシング管を挿入し、水を充填して熱交換器を挿入する場合は20~30mとしている。Fig. 2の矢印と番号は冷房運転時の冷媒流れを示しており、四角で囲まれた部分は市販のASHPの冷媒回路とほぼ同じである。地中熱交換器も含めた冷媒回路内に充填する冷媒量によってレシーバタンクが設けられる場合がある。

欧州等では既に直接膨張方式GSHPが稼働しており、これまでに我が国でも研究開発は実施されていたが、採熱管の構造が複雑であったり、地中配管における採熱管の配管抵抗や潤滑油の底部停滞等の冷媒循環が不安定であったりしたこと、実用化の大きな障害となっていた。最近、代替フロン冷媒の種類も変わり、運転圧力も高くなったことに伴って、ボアホール深さを短縮することで、冷媒循環の不安定な問題が解決され、国内でも研究開発が再開されている。

謝辞

本特集号記事の執筆にあたり、実験実施にご協力いただいた(株)ハギ・ボー様、(株)藤島建設様、山梨県農政部農業技術課様、(有)内田洋蘭様の関係各位に深く感謝申し上げます。また、研究成果の一部は、研究室に所属した学生諸君の努力の賜物であり、敬意の念を表します。最後に、本

研究の一部は文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム及び埼玉県次世代産業プロジェクト推進事業、並びに競輪の補助を受けて実施した研究であることをここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] <http://www.env.go.jp/press/106636.html>
- [2] https://www.pref.yamanashi.jp/kankyo-ene/documents/03_yamanashi_energy_vision.pdf
- [3] https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100043.html
- [4] Takeda, T., et al., Proc. of the 3rd Int. Forum on Heat Transfer, Paper No. IFHT2012-123 (2012).
- [5] Tsutsumi, K., et al., Proc. of the 8th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics (2013).
- [6] Ohashi, A., et al., Proc. of the 25th Int. Symposium on Transport Phenomena, Paper No. 26 (2014).
- [7] Ishiguro, S., et al., Proc. of the 24th Int. Symposium on Transport Phenomena (2013).
- [8] Takeda, T., et al., Proc. of the 15th Int. Heat Transfer Conference, IHTC15-8940 (2014). DOI 10.1615/IHTC15.acr.008940
- [9] Takeda, T., et al., Proc. of the Int. Conf. on Refrigeration, ICR2015 ID:477 (2015).
- [10] Takeda, T., et al., Proc. of the Int. Conf. on Power Engineering-15 (2015).
- [11] Watanabe, A., et al., Proc. of the 26th Int. Symposium on Transport Phenomena, Paper No.75 (2015).
- [12] Ishiguro, S. and Takeda, T., Proc. of the 29th Int. Symposium on Transport Phenomena, ISTP29-132 (2018).
- [13] Ishiguro, S. and Takeda, T., Proc. of the 16th Int. Heat Transfer Conference, IHTC16-23415 (2018). DOI 10.1615/IHTC16.nee.023415
- [14] Watanabe, S., et al., Proc. of the 9th Asian Conf. on Refrigeration and Air Conditioning, ACRA2018-D116 (2018).
- [15] 三瓶大地, 他, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.37, No.3, pp.293-300 (2020).
- [16] Marumo, Y., et al., Proc. of the 9th Asian Conf. on Refrigeration and Air Conditioning,

- ACRA2018-D115 (2018).
- [17] Nishizawa, R., et al., Proc. of ICR2019 - The 25th IIR Int. congress of refrigeration, ID: 647 (2019). DOI: 10.18462/iir.icr.2019.647
- [18] Ishiguro, S., et al., Proc. of the 8th Asian Conf. on Refrigeration and Air Conditioning, ACRA2016-146 (2016).
- [19] Ishiguro, S., et al., Proc. of the 12th Int. Conf. on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, HEFAT2016, pp.42-46 (2016).
- [20] Endo, T., et al., Proc. of the 8th Asian Conf. on Refrigeration and Air Conditioning, ACRA2016-143 (2016).
- [21] Endo, T., et al., Proc. of the 12th Int. Conf. on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, HEFAT2016, pp.1515-1519 (2016)
- [22] Ishiguro, S. and Takeda, T., Academia Journal of Environmental Science 6(5): pp.121-128 (2018). DOI: 10.15413/ajes.2018.0118.
- [23] Ishiguro, S., et al, Trans. of the Japan Society of Refrigeration and Air Conditioning Engineers (2018). doi: 10.11322/tjsrae.18-43AC_OA
- [24] Takeda, T., et al., Proc. of the 16th Int. Heat Transfer Conference, IHTC16-23590 (2018). DOI 10.1615 IHTC16.nec.023590
- [25] Ishiguro, S., et al., Proc. of the 9th Asian Conf. on Refrigeration and Air-conditioning, ACRA2018-D114 (2018).
- [26] Aoki, T. et al., Proc. of ICR2019 – The 25th IIR Int. congress of refrigeration, ID: 905 (2019). DOI: 10.18462/iir.icr.2019.905
- [27] 武田哲明, 他, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.37, No.3, pp.285-291 (2020).
- [28] Funatani, S. and Takeda, T., Proc. of the 24th Int. Symposium on Transport Phenomena, Paper No. 106 (2014).
- [29] Funatani, S. and Takeda, T., Proc. of the 26th Int. Symposium on Transport Phenomena, Paper No.146 (2015).
- [30] Amano, S., et al., Proc. of the 8th Asian Conf. on Refrigeration and Air Conditioning, ACRA2016-175 (2016).
- [31] Amano, S., et al., Proc. of the 12th Int. Conf. on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, HEFAT2016, pp.867-870 (2016).
- [32] Funatani, S. and Takeda, T., Proc. of the 12th Int. Conf. on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, HEFAT2016, pp.157-159 (2016).
- [33] Okazawa, R., et al., Proc. of ICR2019 - The 25th IIR Int. congress of refrigeration, ID: 649 (2019). DOI: 10.18462/iir.icr.2019.649
- [34] Takeda, T. and Okazawa, R., Proc. of the Int. Conf. on Power Engineering-2019 (2019).

行事カレンダー

本会主催行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2021年					
5月 25(火) ～ 27(木)	日本伝熱学会創立60周年記念 第58回日本伝熱シンポジウム		2021年 3月12日	第58回日本伝熱シンポジウム実行委員会 事務局 日本大学工学部機械工学科内 Email: symp2021@htsj-conf.org	
9月 7(火) ～ 10(金)	太陽エネルギー国際シンポジウム (11 th SOLARIS)			第11回太陽エネルギー国際シンポジウム実行 委員会 matsu@eng.niigata-u.ac.jp	
10月 3(日) ～ 7(木)	アジア熱科学会議 (2 nd ACTS)			ACTS2020 実行委員会 secretary@acts2020jp.org	

本会共催、協賛、後援行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2021年					
4月 22(木) ～ 23(金)	第54回空気調和・冷凍連合講演会			(公社) 空気調和・衛生工学会 03-5206-3600 FAX03-5206-3603 E-mail: handa@shase.or.jp	
	27(火)	21-1 ポリマーフロンティア 21		(株)AndTech 津山三津子 tsuyama@andtech.co.jp 044-455-5720	
5月 24(月) ～ 26(水)	第7回マイクロナノ流れに関する国際 会議 (MNF2021) The 7th International Conference on Micro and Nano Flows			https://www.micronanoflows.com/mnf2021	
	26(水) ～ 28(金)	第26回計算工学講演会		(一社) 日本計算工学会事務局 office@jsces.org	
8月 22(日) ～ 24(火)	日本混相流学会混相流シンポジウム 2021			日本混相流学会 office@jsmf.gr.jp	
	25(水) ～ 27(金)	日本実験力学会 2021 年度年次講演会		新潟大学医学部保健学科内 日本実験力学会事 務局 担当: 小林 TEL: 025-368-9310/FAX: 025- 368-9309 E-mail: office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp	
9月 21(火) ～ 23(木)	日本流体力学会 年会 2021			(一社) 流体力学会事務局 Tel:03-3714-0427 E-mail: jsfm@fr7.so-net.ne.jp	
	24(金) ～ 26(日)	32st International Symposium on Transport Phenomena (ISTP32)		ISTP32 実行委員会委員長 宇高義郎 utaka@ynu.ac.jp	
11月 3(水) ～ 6(土)	The 16th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics			新潟大学医学部保健学科内 日本実験力学会事 務局 担当: 小林 TEL: 025-368-9310/FAX: 025- 368-9309 E-mail: office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp	

日本伝熱学会創立 60 周年記念 第 58 回日本伝熱シンポジウムのご案内

第 58 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

委員長 佐々木 直 栄

幹 事 田 中 三 郎

開催日：令和 3 年 5 月 25 日（火）～5 月 27 日（木）

会 場：オンライン開催（現地では実施いたしません。ご注意ください。）

特別講演：5 月 26 日（水）オンライン開催

（youtube にて配信，伝熱学会HPなどに URL 掲載予定，参加者以外も無料で視聴可能）

① 東京大学 内田 建 氏

「社会課題解決を目指したナノ電子材料・デバイスにおける熱の課題と利用」

② 九州大学 山西 陽子 氏

「電界誘起気泡による機能創発と異分野研究への発想」

総 会：5 月 26 日（水）オンライン開催（詳細はシンポジウムホームページに掲載します）

ホームページ URL：<http://htsj-conf.org/symp2021/>

【シンポジウムの形式】

- 講演発表形式として
 - a) 通常的一般セッション（口頭発表）
 - b) オーガナイズドセッション（口頭発表）
 - c) 学生および若手研究者を対象とする優秀プレゼンテーション賞セッションを実施します。
- 講演あたりの割当時間は，一般セッションでは 15 分（発表 10 分，個別討論 5 分）で，各セッションの最後に総合討論の時間（5 分×セッション内の講演件数）を設ける予定です。オーガナイズドセッションについては，オーガナイザーの指示に従って下さい。
- 優秀プレゼンテーション賞セッションについては，前号（2021 年 1 月号）掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞（第 58 回日本伝熱シンポジウム）について」をご参照下さい。

【参加費等】

- シンポジウム参加費

会員一般（早期申込：12,000 円，通常申込：15,000 円）

非会員一般（早期申込：15,000 円，通常申込：18,000 円）

会員学生（早期申込：6,000 円，通常申込：7,000 円）

非会員学生（早期申込：7,000 円，通常申込：8,000 円）

※ 特別賛助会員は 1 口につき 3 名，賛助会員は 1 口につき 1 名，参加費が無料になります。

※ 会員とは，日本伝熱学会会員のほか，共催・協賛学協会の会員を含みます。

※ 講演論文集電子版は参加者全員に配布されます。

- 講演論文集電子版

講演論文集電子版のみの販売：5,000 円（シンポジウム後の販売になります）

【意見交換会】

オンライン開催を検討中（詳細はシンポジウムホームページに掲載します）。

【参加登録と参加費等の支払い方法】

- 参加登録は本シンポジウムのウェブページから行ってください。
- 参加費等の支払いをもって「参加登録の完了」とします。
- 5月7日までに参加登録を完了された方には事前に参加者キット（講演論文集電子版，講演プログラム，参加票，領収書など）をお送りする予定です。
- 参加登録および参加費等の支払方法および期限を設定します（詳細はシンポジウムホームページに掲載します）。

【講演論文集電子版】

- 講演論文電子版（以下，電子版）は，日本伝熱学会会員（2021年度会員）の皆様に対し，シンポジウムのホームページにリンクされたウェブサイトを通じて公開します。公開日は2021年5月18日（火）を予定しています。
- 電子版は，シンポジウムのホームページより「講演論文集」のページに入り，以下の閲覧IDとパスワードを用いてログイン後，閲覧・ダウンロードをすることができます。
講演論文集（電子版）閲覧ID：*****，パスワード：*****
- シンポジウムで座長をご担当される方は，この電子版を当日のセッションの参考資料として下さい。

【講演論文の公開日】

- 講演論文集（電子版）の公開日は，2021年5月18日（火）を予定しています。特許に関わる公知日もこの日になります。シンポジウム開催日よりも早くなりますのでご注意ください。

【ご注意】

- 参加費等は参加取消しの場合でも返金いたしません。
- 本シンポジウムに関する最新情報については，随時更新するホームページでご確認下さい。

【お問い合わせ先】

第58回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局
日本大学 工学部 機械工学科 内
E-mail : symp2021@htsj-conf.org, FAX : 024-956-8860

第58回日本伝熱シンポジウム タイムテーブル (仮)

2021/05/25 (1日目)

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室	J室
	B11 OS 09:30~10:50 水素・燃料電池・二次電池 1	C11 OS 09:50~10:50 燃焼伝熱研究の最前線1	D11 OS 10:10~10:50 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進1	E11 09:30~10:50 ヒートパイプ 1	F11 OS 10:10~10:50 乱流を伴う伝熱研究の進展 1		H11 09:30~10:50 融解・凝固1		
A12 11:05~12:05 沸騰・凝縮1	B12 OS 11:05~12:25 水素・燃料電池・二次電池 2	C12 OS 11:05~12:25 燃焼伝熱研究の最前線2	D12 OS 11:05~12:25 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進2	E12 11:05~12:25 ヒートパイプ 2	F12 OS 11:05~12:25 乱流を伴う伝熱研究の進展 2	G12 OS 11:05~12:25 ふく射輸送とふく射性質1	H12 11:05~12:25 融解・凝固2	I12 11:05~12:05 バイオ伝熱1	J12 11:05~12:25 分子動力学1
A13 14:00~15:20 沸騰・凝縮2	B13 OS 14:00~15:20 水素・燃料電池・二次電池 3	C13 OS 14:00~15:20 燃焼伝熱研究の最前線3	D13 OS 14:00~15:20 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進3	E13 14:00~15:20 ヒートパイプ 3	F13 OS 14:00~15:20 乱流を伴う伝熱研究の進展 3	G13 OS 14:00~15:20 ふく射輸送とふく射性質2	H13 14:00~15:20 融解・凝固3	I13 14:00~15:00 バイオ伝熱2	J13 14:00~15:00 分子動力学2
15:30~18:00 (オンライン) 優秀プレゼンテーション賞セッション 15:30~18:00 (オンライン) 日本伝熱学会特定推進研究特別ワークショップ 16:00~17:30 (オンライン) 産学合同交流会									

2021/05/26 (2日目)

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室	J室
A21 09:30~10:50 沸騰・凝縮3	B21 OS 09:50~10:50 水素・燃料電池・二次電池 4	C21 OS 09:30~10:50 燃焼伝熱研究の最前線4	D21 OS 09:10~10:50 化学プロセスにおける熱工学1	E21 09:30~10:50 ヒートパイプ 4	F21 OS 09:50~10:50 乱流を伴う伝熱研究の進展 4		H21 OS 09:30~10:50 東北地区企業による部品開発・技術開発の紹介1		J21 09:30~10:50 分子動力学3
A22 11:05~12:25 沸騰・凝縮4	B22 OS 11:05~12:05 水素・燃料電池・二次電池 5	C22 OS 11:05~12:05 燃焼伝熱研究の最前線5	D22 OS 11:05~12:05 化学プロセスにおける熱工学2	E22 11:05~12:25 ヒートパイプ 5	F22 OS 11:05~12:05 乱流を伴う伝熱研究の進展 5	G22 11:05~12:05 ナノ・マイクロ伝熱1	H22 OS 11:05~12:25 東北地区企業による部品開発・技術開発の紹介2	I22 11:05~12:25 強制対流1	J22 11:05~12:05 分子動力学4
A23 14:00~15:20 沸騰・凝縮5	B23 OS 14:00~15:20 水素・燃料電池・二次電池 6		D23 OS 14:00~15:00 化学プロセスにおける熱工学3	E23 14:00~15:00 ヒートパイプ 6		G23 14:00~15:20 ナノ・マイクロ伝熱2	H23 OS 14:00~15:00 人と熱との関わり方の足跡	I23 14:00~15:20 空調・熱機器 1	
15:30~16:15 特別講演① (オンライン) 「社会課題解決を目指したナノ電子材料・デバイスにおける熱の課題と利用」内田 建 氏 16:15~17:00 特別講演② (オンライン) 「電界誘起気泡による機能創発と異分野研究への発想」山西 陽子 氏 17:10~18:40 総会 (オンライン) 19:00~21:00 意見交換会 (オンライン)									

お知らせ

2021/05/27 (3日目)

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室	J室
A31 09:50~10:50 沸騰・凝縮6	B31 OS 09:30~10:50 水素・燃料電池・二次電池7	C31 09:50~10:50 電子機器の冷却1	D31 09:50~10:50 物質移動1		F31 09:50~10:50 計測技術1	G31 09:50~10:50 ナノ・マイクロ伝熱3			
A32 11:05~12:25 沸騰・凝縮7	B32 11:05~12:45 自然対流1	C32 11:05~12:05 電子機器の冷却2	D32 11:05~12:05 物質移動2	E32 11:05~12:05 混相流1	F32 11:05~12:25 計測技術2	G32 11:05~12:25 ナノ・マイクロ伝熱4			
	B33 14:00~15:00 自然エネルギー1	C33 14:00~15:00 電子機器の冷却3	D33 14:00~15:00 多孔体内の伝熱1	E33 14:00~15:00 混相流2	F33 14:00~15:00 計測技術3				

第 58 回日本伝熱シンポジウムプログラム（暫定版）

このプログラムは、3月22日現在の暫定版です。修正・変更する場合があります。必ず、最新版を本シンポジウムのホームページでご確認ください。著者としてご登録された方が同一時間帯のセッションで重複しないようにしておりますが、それ以外の個別のご要望には応じかねますので、ご了承ください。

第 1 日 5 月 2 5 日（火）

<A 室>

- A12 11:05 - 12:05 沸騰・凝縮 1
- A121 マイクロチャネルヒートシンクでの二相流沸騰に関する研究
○ 楊 少博 (東京大), 洪 思慧 (中山大), 党 超鋌, 陈 昱 (東京大)
- A122 多層マイクロチャネル構造における沸騰流動様相の評価
○ 西村 祐輔 (東北大院、日立 Astemo(株)), 神田 雄貴, 小宮 敦樹 (東北大流体研)
- A123 高速度赤外線カメラを用いたミニチャネル内流動沸騰における熱輸送機構の研究
○ 森崎 仁紀, 田中 孝典, 宮崎 康次, 矢吹 智英 (九州工大)
- A13 14:00 - 15:20 沸騰・凝縮 2
- A131 サブクールプール沸騰における固液直接接触と MEB 伝熱機構の研究
坂本 祥介, ○ 大倉 悠生, 谷川 洋文, 鶴田 隆治 (九州工大)
- A132 金属多孔質層が飽和プール沸騰限界熱流束に与える影響
○ 八波 隼, 梁木 太地, 森 昌司 (九州大)
- A133 液体窒素飽和沸騰熱伝達に及ぼす多孔質表面被覆層の影響
大久保 英敏, ○ 安喰 春華, 廣谷 俊樹, 堀井 進 (玉川大院), 宇高 義郎 (玉川大)
- A134 エタノール水溶液のプール沸騰におけるマイクロ液膜厚さの測定
○ 諸隈 崇幸, 加藤 一輝, 木内 晋作, 原村 嘉彦 (神奈川大)
- A14 15:30 - 18:00 OS: 日本伝熱学会特定推進研究特別ワークショップ
- A141 動物におけるエネルギー代謝と熱産生の制御機構に関する研究
～生命の熱から代謝熱へ～
○ 梅田 眞郷 (ホロバイオ株式会社)
- A142 温度感受性 TRP チャネルを介した温度感知機構と生理的意義に関する研究
○ 富永 真琴 (自然科学研究機構 生理研)
- A143 哺乳類の体温調節機構
○ 中村 和弘 (名古屋大)

<B 室>

- B11 9:30 - 10:50 OS: 水素・燃料電池・二次電池 1
- B111 「水素・燃料電池・二次電池」における最近の講演状況
○ 荒木 拓人 (横浜国大), 西田 耕介 (京工繊大), 伊藤 衡平 (九州大), 岩井 裕 (京都大), 田部 豊 (北海道大), 津島 将司 (大阪大), 徳増 崇 (東北大)
- B112 機械学習と数値解析を用いたリチウムイオン電池の電極構造・特性の最適化
○ 山中 拓己, 高岸 洋一, 山上 達也 (コベルコ科研)
- B113 未定
講演者未定
- B12 11:05 - 12:25 OS: 水素・燃料電池・二次電池 2
- B121 高温運転 PEFC の各種特性に及ぼす部材の影響評価
○ 西村 顕, 岡戸 達哉, 小島 勇哉, 廣田 真史 (三重大院)
- B122 PEFC 高電流密度運転に伴う凝縮水が酸素輸送抵抗要素に及ぼす影響
○ 飯塚 友俊, 喜多見 祐希 (北大院), 植村 豪, 田部 豊 (北海道大)
- B123 PEFC ガス拡散層の温度分布が液水分布・酸素輸送に及ぼす影響
○ 笹部 崇, 小見山 貴弘, 内藤 弘士, 平井 秀一郎 (東工大)
- B124 瞬間凍結と X 線計測による PEFC 内の液水 3 次元可視化
○ 内藤 弘士, 津葉井 勇気, 河村 雄行, 笹部 崇, 平井 秀一郎 (東工大)
- B13 14:00 - 15:20 OS: 水素・燃料電池・二次電池 3
- B131 PEFC ガス拡散層における表面親水化処理がセル性能におよぼす影響
○ 境田 悟志, 高橋 佑理, 田中 光太郎, 金野 満 (茨城大)
- B132 PEFC ガス拡散層の貫通孔による液水輸送制御
○ 石川 湧大, 内藤 弘士, 笹部 崇, 平井 秀一郎 (東京工大)
- B133 PEFC カソード電極に導入した貫通構造のサイズが拡散層内の液水輸送に及ぼす影響
○ 古川 達希, 船岡 諒一, 西田 耕介 (京工繊大)
- B134 異なる担体材料を触媒層に用いた固体高分子形燃料電池の軟 X 線イメージング
○ 黄瀬 郁奈恵, 鈴木 崇弘 (大阪大院), 柿沼 克良, 内田 誠, 飯山 明裕 (山梨大), 津島 将司 (大阪大院)

<C室>

- C11 9:50 - 10:50 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 1
- C111 同軸噴射器を用いた炭化水素系燃料の燃焼特性に関する研究
○ 田中 悠貴, 柳 研吾, 勝身 俊之, 門脇 敏 (長岡技科大)
- C112 デュアルスワール非予混合バーナーの火炎形状に対する流量比の影響
○ 服部 広暉, 志村 祐康, 店橋 護 (東工大)
- C113 機械学習によるスワール型燃焼器における燃焼振動の発生予測
○ 松島 諒汰, 安宅 優季, 志村 祐康, 店橋 護 (東工大)
- C12 11:05 - 12:25 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 2
- C121 乱流予混合火炎における火炎干渉とスカラー分布の関係
○ ジグジッド ヘルレン, 源 勇氣, 店橋 護 (東工大)
- C122 メタンおよびプロパンを燃料とする Flame ball の燃焼特性に関する数値的研究
○ 角田 陽, 秋葉 貴輝, 中村 寿, 手塚 卓也, 丸田 薫 (東北大)
- C123 イソオクタンにおける最小着火エネルギー遷移と着火・火炎伝播遷移過程
○ 平野 芳樹, 手塚 卓也, 森井 雄飛, 中村 寿, 丸田 薫 (東北大)
- C124 乱流燃焼器で形成される燃焼振動の非線形相互作用
○ 森 洋輔, 黒坂 拓也, 後藤田 浩 (東理大)
- C13 14:00 - 15:20 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 3
- C131 水素-空気予混合気の球状火炎伝播に及ぼす不活性ガスの影響
○ 矢澤 慎也, 中川 燎, 熊田 将志, 門脇 敏, 勝身 俊之, 佐藤 大輔 (長岡技科大)
- C132 スリットバーナー上における水素-二酸化炭素噴流拡散火炎の燃焼特性
○ 片山 雅人, 佐藤 大輔, 川田 祐輝, 勝身 俊之, 門脇 敏 (長岡技科大)
- C133 壁面よどみ火炎を用いた水素ラジカル表面再結合反応の評価
○ 遊佐 海人, 飯沼 稜斗, 杉村 美明, 齋木 悠 (名古屋工大)
- C134 直鎖アルカン壁面安定化冷炎の着火・消炎特性に対する壁面の化学的効果
○ 水野 智貴, 李 敏赫, 鈴木 雄二 (東京大)

<D室>

- D11 10:10 - 10:50 OS: 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 1
- D111 産業分野のカーボンニュートラル化に求められる蓄熱技術
○ 川村 公人 (アサヒクオリティードイノベーションズ株式会社)
- D12 11:05 - 12:25 OS: 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 2

- D121 共有結合性有機骨格 (COF) への糖アルコール導入による複合材料創製と熱物性計測
○ 三井 翔鷹, 王 晓晗, 賈 京祥 (東工大), 劉 芽久哉 (産総研), 森川 淳子, 村上 陽一 (東工大)
- D122 低粘度高沸点溶媒を用いたフロー熱電発電の開発
○ 池田 寛, 長 勇毅, 村上 陽一 (東工大)
- D123 マグネシウムと錫の酸化物のイオン伝導性の調査
○ 高木 秀隆, 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)
- D124 粒子間架橋形成による粒子充填層内伝熱促進とその効果
○ 中曾 浩一, 畝本 将吾, 嶋田 健二, 三野 泰志, 後藤 邦彰 (岡山大)

D13 14:00 - 15:20 OS: 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 3

- D131 QCM 法による蒸気吸脱着速度の時定数に及ぼす吸着材細孔条件の影響
○ 濱本 芳徳, 中島 友平 (九州大)
- D132 Water vapor adsorption dynamics of zeolite-coated aluminum plates for adsorption cooling
○ Chumnanwat Suppanat, Ota Shinji, Kodama Akio, Kumita Mikio (金沢大)
- D133 酸化コバルトのレドックス反応を用いる化学蓄熱
○ 小林 敬幸, 窪田 光宏, 奥田 将真, 市瀬 篤博 (名大)
- D134 炭化ケイ素多孔性担体を用いた水酸化カルシウム複合化学蓄熱材料の開発
○ 船山 成彦, 高須 大輝, 加藤 之貴 (東工大)

<E室>

- E11 9:30 - 10:50 ヒートパイプ 1
- E111 5G スマホ用超薄型ヒートパイプ, ベーパーチャンバの熱性能評価
○ 望月 正孝 (ザヒートパイプス), 斎藤 祐司, 川原 洋司, グエン タン, アーメド モハマド, レイ トーマス, シン ランディープ, ロン ファン, オー ブラッドリー (フジクラ)
- E112 ウェアラブル機器搭載を目指したフレキシブルルーブヒートパイプの研究
○ 上野 藍, 杉本 賢哉, ALASLI Abdulkareem, 長野 方星 (名古屋大)
- E113 自動車向けヒートパイプ暖房システムの開発
○ 小池 祐輔, 森島 千菜美, 山内 健生, 檜原 和晃, 谷中 克年 (マツダ)
- E114 数値計算を用いた BACH 熱輸送量の解析
○ 福島 啓悟, 永井 二郎 (福井大)
- E12 11:05 - 12:25 ヒートパイプ 2
- E121 直管型自励振動ヒートパイプにおける振動のメカニズム
○ 奥山 邦人, 岩元 黎 (横国大)
- E122 直管型自励振動ヒートパイプにおける大振幅振動の生起要件
○ 岩元 黎, 奥山 邦人 (横国大)
- E123 ナトリウム自励振動ヒートパイプの熱輸送特性
○ 徳田 大樹, 田中 智也, 鈴木 祐二, 井上 剛良 (東工大)

- E124 自励振動ヒートパイプの流動特性に関するシミュレーションモデル
○ 黒瀬 築 (東理大), 大内 翔太 (東理大院), 宮田 一司 (福岡大), 上野 一郎 (東理大)
- E13 14:00 - 15:20 ヒートパイプ 3
- E131 ナノ粒子層をウィックとするヒートパイプの伝熱性能に関する研究
○ 王 萌蕾, 大川 富雄 (電通大)
- E132 親水性ゴムウィックを用いたループヒートパイプの開発
○ 平澤 友康, 遠藤 剛史, 池田 圭介 (リコー)
- E133 自励振動式ポリマーヒートパイプの作動特性
吉田 大晃, 裴 サウ元, ○ 小糸 康志 (熊本大)
- E134 銅短繊維を用いた複合ウィックヒートパイプの熱輸送特性に関する研究
○ 上久保 将大 (古河電気工業)
- <F 室>
- F11 10:10 - 10:50 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 1
- F111 乱流伝熱現象を検証するための温度計測技術
○ 中村 元 (防衛大)
- F12 11:05 - 12:25 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 2
- F121 可視化エンジンにおけるピストントップの隣接多点熱流束計測
○ 中別府 修, 鎌田 慎 (明治大), 鈴木 祥悟 (明治大院)
- F122 エンジン壁面熱伝達の無次元整理の試み
○ 出島 一仁 (滋賀県大), 中別府 修 (明治大)
- F123 可視化ガソリンエンジンのピストントップ近傍における高速ステレオマイクロ PIV 計測
横山 瑛士, ○ 志村 祐康 (東工大), 鎌田 慎, 中別府 修 (明大), 横森 剛 (慶應大), 店橋 護 (東工大)
- F124 脈動乱流における乱れの再分配機構に基づく運動量・熱輸送の局時的非相似性の検討
○ 山崎 龍朗, 小田 豊, 松本 亮介 (関西大), 香月 正司 (阪大名誉)
- F13 14:00 - 15:20 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 3
- F131 主流方向透過率優位な多孔体界面における乱流の PIV 計測
○ 森本 真尋, 岡崎 友紀, 桑田 祐丞, 須賀 一彦 (大府大)
- F132 管内流を旋回させた時の熱伝達の非定常特性
○ 菅原 義徳, 中村 元 (防衛大)
- F133 V 形抵抗線プローブによる乱流温度境界層内の温度変動測定
○ 保浦 知也, 羽場 皓平, 服部 博文, 田川 正人 (名古屋工大)
- F134 伝熱を伴う脈動乱流における周期変動場の熱線・冷線計測
戸村 岳人, ○ 小田 豊, 山崎 龍朗, 笠原 友宙, 松本 亮介 (関西大), 香月 正司 (阪大名誉)
- <G 室>
- G12 11:05 - 12:25 OS: ふく射輸送とふく射性質 1
- G121 コロイド溶液中の光干渉効果が及ぼすふく射輸送への影響に関する数値解析
○ 藤井 宏之, 上野 萌黄, 青木 俊晃, 井上 優輝, 小林 一道, 渡部 正夫 (北大)
- G122 Pickering 粒子の構成粒子による散乱特性への影響に関する電磁場解析
○ 小野 泉帆, 野々村 美宗, 江目 宏樹 (山形大)
- G123 金属-絶縁体相転移によるふく射吸収率スイッチング
○ 富岡 穂, 磯部 和真, 山田 寛, 堀部 明彦 (岡山大)
- G124 複層構造を有する皮膚ファントムの非侵襲ふく射物性計測
○ 川久保 卓, 河野 貴裕, Rajagopalan Uma, 山田 純 (芝浦工業大学)
- G13 14:00 - 15:20 OS: ふく射輸送とふく射性質 2
- G131 ニッケル基超合金における自己組織化を用いた短距離秩序を有する表面微細構造の作製と太陽光選択吸収材料への応用
○ 清水 信, Liu Zhen, 湯上 浩雄 (東北大)
- G132 熱光起電力発電のための近接場エクストラクターに関する基礎的研究
○ 南雲 延洋, 山賀 一輝, 櫻井 篤 (新潟大)
- G133 顔料粒子のふく射特性に及ぼす形状の影響に関する数値解析
○ 井上 貴弘, 木下 進一, 吉田 篤正 (大阪府大)
- G134 単一構造カーボンナノチューブ薄膜の複素屈折率スペクトル
○ 西原 大志, 高倉 章, 島崎 雅史, 松田 一成 (京都市大), 田中 丈士, 片浦 弘道 (産総研), 宮内 雄平 (京都市大)
- <H 室>
- H11 9:30 - 10:50 融解・凝固 1
- H111 攪拌により気泡が混入したアイススラリーの流動様相
○ 松本 葵, 金子 柊太, 浅岡 龍徳 (信州大)
- H112 ギャボンブ吸込み口直前を流動するアイススラリーの可視化実験
○ 原崎 太希, 戸田 萌乃, 浅岡 龍徳 (信州大)
- H113 CNT 分散潜熱蓄熱材の垂直加熱面を有する矩形槽内融解特性
○ 加藤 大介 (北見工大院), 森田 慎一, 羽二生 稔大, 高井 和紀 (北見工大), 早水 庸隆, 権田 岳 (米子高専), 堀部 明彦 (岡山大), 春木 直人 (岡山県大)
- H114 潜熱蓄熱ゼラチンカプセルスラリーの直管試験部における流動と熱伝達特性に関する研究
○ 春木 直人, 三田 哲也 (岡山県立大), 森田 慎一 (北見工大)
- H12 11:05 - 12:25 融解・凝固 2
- H121 管内径が異なる円管を流動するエリスリトールスラリーの流動特性
○ 小熊 寿弥, 阿部 駿佑, 浅岡 龍徳 (信州大)

- H122 温度勾配付与による TBAB 水和物結晶の成長制御下における固液界面近傍の濃度場解析
○ 魚尾 信吾 (秋田県立大院), 大徳 忠史, 鶴田 俊 (秋田県立大)
- H123 金属薄板製造過程における電磁気圧による圧縮力と発熱に対する冷却の検討
○ 井手口 智一, 町田 貴紀, 小野 直樹 (芝浦工業大)
- H124 カチオン性界面活性剤添加が過冷度に及ぼす影響の検討
○ 丸子 勇武, 竹内 大樹, 森塚 健斗 (中大院), 松本 浩二 (中大理工)
- H13 14:00 - 15:20 融解・凝固 3
- H131 円管内におけるエマルション型蓄熱材の伝熱特性
○ 柴田 悠貴生 (青学大院), 森本 崇志, 熊野 寛之 (青学大)
- H132 超音波定在波を付与した過冷却懸濁液の凝固
○ 義岡 秀晃 (石川高専), 経田 僚昭 (富山高専), 八賀 正司 (小松大)
- H133 走査型プローブ顕微鏡による電圧印加されたアルミ板上でのアニオン性界面活性剤添加水の付着力測定
○ 秋山 祐汰, 佐藤 匠, 深澤 健太 (中大院), 松本 浩二 (中大理工)
- H134 氷スラリー攪拌時のオストワルドライブニング抑制
○ 稲田 孝明, 小山 寿恵 (東京電機大)
- J122 Characterizing water molecular rotational relaxation in lysozyme aqueous solution by MD Simulation
○ 胡 康, 松浦 弘明, 白樫 了 (東京大)
- J123 多体ポテンシャルを有する系の原子応力による熱流束算出
○ スルプリス ドナタス, 松原 裕樹, 菊川 豪太, 小原 拓 (東北大)
- J124 界面ナノバブルの界面張力の密度依存性に関する分子動力学解析
○ 手嶋 秀彰, 楠戸 宏城, Bistafa Carlos, 山口 康隆 (大阪大)
- J13 14:00 - 15:00 分子動力学 2
- J131 縞状の濡れ性の分布を持つ固体面と単純液体の間の摩擦に関する非平衡分子動力学解析
○ 千崎 亮平, 大賀 春輝 (大阪大), 大森 健史 (大阪市立大), 山口 康隆 (大阪大)
- J132 パラフィン/屈曲グラフェン複合材料のフィラー分散性および熱伝導率に関する分子動力学解析
○ 松原 裕樹, 小原 拓 (東北大)
- J133 グリーン久保公式による液固界面での Ar 流体の発達における固液摩擦係数と速度分布からのすべり評価
○ ゴロツキヒナ タチアナ, 菅原 伸一郎, 林 剛史 (富山大)
- <I 室>
- I12 11:05 - 12:05 バイオ伝熱 1
- I121 赤外分光による細胞内水分子の水素結合状態に関する研究
○ Zhang Junkai, Shirakashi Ryo (東京大)
- I122 マイクロ波真空乾燥の乾燥・収縮特性
○ 沼田 拓也, 石橋 涼汰, 谷川 洋文, 鶴田 隆治 (九州工大)
- I123 能動的精密表面温度計測サーミスタプローブの開発
○ 井関 祐也, 古川 琢磨, 野中 崇, 細川 靖 (八戸高専), 岡部 孝裕 (弘前大), 田畑 裕太郎, 松館 直史, 中島 利憲, 東 雅也, 折戸 学 (SEMITEC), 圓山 重直 (八戸高専)
- I13 14:00 - 15:00 バイオ伝熱 2
- I131 誘電分光による細胞内水分子ダイナミクスの測定
○ 松浦 弘明, 高野 清, 白樫 了 (東京大)
- I132 メダカ卵の冷凍保存のための前処理と冷凍・解凍プロセスの検討
○ 大西 克典, 深谷 淳司, 谷川 洋文, 鶴田 隆治 (九州工大)
- I133 水溶性タンパク質のマイクロ波発泡乾燥
藤田 琴音, ○ 松野 日菜子, 鶴田 隆治, 谷川 洋文 (九州工大)
- <J 室>
- J12 11:05 - 12:25 分子動力学 1
- J121 ナノ粒子を含む液体のエネルギー輸送機構に関する分子動力学的研究
○ 芝原 正彦, 山本 幸宏, 藤原 邦夫, 植木 祥高 (大阪大), 小原 拓 (東北大)
- <K 室>
- BPA14 15:30 - 18:00 優秀プレゼンテーション賞セッション
- BPA1401 火災流動場の能動的制御に向けた散乱性媒体の熱対流解析
○ 鷹木 勇人 (山形大), 古川 琢磨 (八戸高専), 江目 宏樹 (山形大)
- BPA1402 可視透明ヒータを伝熱面とした落下液滴沸騰熱伝達の赤外線計測
○ 吉田 雅輝, 山田 俊輔, 船見 祐揮, 中村 元 (防衛大)
- BPA1403 高温熱エネルギー貯蔵のための Al-Ni 合金系相変化マイクロカプセル
○ 清水 友斗, 石田 良介, 川口 貴大, 坂井 浩紀, KURNIAWAN Ade, 能村 貴宏 (北海道大)
- BPA1404 細管流路内において液柱往復振動に伴い形成される液膜の厚さ
○ 趙 懿斌, 三浦 正義, 伊東 弘行 (神奈川大)
- BPA1405 ふく射熱制御機能膜の温度変化による吸収性能変性
○ 矢野 雅之, 宮 瑾, 江目 宏樹 (山形大)
- BPA1406 濡れ性パターン表面上の脱濡れにおける液膜分裂の可視化解析
○ 小池 樹, 佐藤 匠, 須賀本 侑太, 吉本 勇太, 高木 周 (東京大), 三成 剛生 (物質・材料研究機構), 杵淵 郁也 (東京大)
- BPA1407 固体-固体相変化材料の成型およびその熱物性
○ 石橋 優人, 中林 玲音, 川南 剛 (明治大)
- BPA1408 サブミリスケールの共有結合性有機骨格 (COF) 単結晶の成長法創出と熱物性計測
○ 王 曉晗 (東工大), 劉 芽久哉 (産総研), 森川 淳子, 村上 陽一 (東工大)
- BPA1409 高温超伝導 REBCO 薄膜の極低温・強磁場下にお

- ける熱伝導率の異方性測定 of 検討
 ○ 田邊 拓, 高鍋 晃治 (慶大院), 長坂 雄次 (慶大理工), 田口 良広 (慶大理工・さきがけ)
- BPA1410 黒色酸化銅の反射スペクトル
 ○ 早川 翔大, 宮越 哲哉, 矢吹 智英, 宮崎 康次 (九州工大)
- BPA1411 加圧条件下でのサブクール流動沸騰熱伝達促進に関する研究
 ○ 塩野 力也, 中島 泰洋, 鹿野 一郎 (山形大)
- BPA1412 透過性粗面乱流の平均速度スケーリングについての考察
 ○ 岡崎 友紀, 高瀬 夢人, 桑田 祐丞, 須賀 一彦 (大阪府大)
- BPA1413 コート紙への液体浸透の X 線計測
 ○ 岩本 頌平, 兒玉 学 (東工大), 原田 祥宏 (リコー), 加藤 弘一, 門永 雅史 (リコー/東工大), 伏信 一慶, 平井 秀一郎 (東工大)
- BPA1414 低温における燐光分子の発光スペクトルの温度依存性
 ○ 安澤 聡 (茨城大院), 染矢 聡 (産総研), 李 艶榮, 稲垣 照美 (茨城大)
- BPA1415 固液界面の気体分子吸着層に関する実験的研究
 ○ 手嶋 秀彰 (大阪大), 中村 直斗, 李 泰宜, 高田 保之, 高橋 厚史 (九州大)
- BPA1416 加熱ノズルに発生するキャビテーションの熱伝達に関する実験的研究
 ○ 佐藤 航太, 岡島 淳之介 (東北大)
- BPA1417 PEFC 内ガス拡散層構造と滞留液水の in-situ 3 次元 X 線可視化
 ○ 菅原 孝弥, 内藤 弘士, 兒玉 学, 平井 秀一郎, 笹部 崇 (東工大)
- BPA1418 エバネッセント場の放射圧を受ける固体壁面近傍マイクロ粒子の輸送特性評価
 ○ 井上 実優, 栗山 怜子, 巽 和也, 中部 主敬 (京都大)
- BPA1419 レーザー干渉法による水のプール沸騰における液相温度場の可視化
 ○ 村上 虎太郎, 畑中 健太, 宮崎 康次, 矢吹 智英 (九州工大)
- BPA1420 種々の底面形状を有する垂直円柱まわりの過渡膜沸騰に関する研究
 新立 龍一, ○ 清田 京介, 桃木 悟, 山口 朝彦 (長崎大), 有馬 博史 (佐賀大)
- BPA1421 Allen-Feldman 理論に基づいた三元系アモルファス合金の熱伝導解析
 ○ 市川 達基 (東京大), 南谷 英美 (分子研・さきがけ), 山下 雄一郎, 八木 貴志 (産総研), 重里有三 (青学大), 柏木 誠 (青学大・さきがけ), 志賀 拓磨 (東京大・さきがけ)
- BPA1422 分子動力学シミュレーションによる有機修飾 Al₂O₃/溶媒間の親和性に及ぼす修飾鎖長および溶媒の影響
 ○ 竹林 遼, 斎藤 高雅, 久保 正樹, 塚田 隆夫, 庄司 衛太 (東北大院工), 菊川 豪太, Surbly's Donatas (東北大流体研)
- BPA1423 ナノ細孔膜からの蒸発に伴う非平衡希薄気体流れの数値解析
 ○ 今井 宏樹, 佐々木 優太, 松本 浩史, 吉本 勇太, 高木 周, 杵淵 郁也 (東京大)
- BPA1424 Lennard-Jones 流体の動的接触線近傍の流れ場と粘性応力の抽出
 ○ 楠戸 宏城 (阪大工院), 大森 健史 (大阪市大), 山口 康隆 (阪大)
- BPA1425 管外電極から電場付与時の管内の油水界面に対する数値解析の検討
 ○ 松本 侑磨, 藤本 雅則 (金沢工業大)
- BPA1426 水面上放電における OH ラジカルの密度分布
 ○ 村瀬 太希, 川路 悠太, 本村 英樹, 野村 信福 (愛媛大院)
- BPA1427 固有微細孔性高分子/アモルファスシリカハイブリッド膜における気体の溶解・拡散過程の分子論的解析
 ○ 佐藤 康平, 富田 結子, 吉本 勇太 (東京大), 東 しおり, 山登 正文 (都立大), 高木 周 (東京大), 川上 浩良 (都立大), 杵淵 郁也 (東京大)
- BPA1428 DPD 計算における時間刻み幅が応力に及ぼす影響
 ○ 羽佐田 瑠真, 山田 格, 玉野 真司, 森西 洋平 (名古屋工大)
- BPA1429 乱流熱流動解析による半球粗面の粗さ関数のスケーリング
 ○ 名倉 梨花, 桑田 祐丞, 須賀 一彦 (阪府大)
- BPA1430 衣服内気候に接した高分子収着剤繊維不織布の水分移動と発熱特性
 ○ 伊丹 勝, 酒井 謙憂, 春木 直人 (岡山県立大)
- BPA1431 ガスエンジンの排ガス特性に及ぼすシンガス (CO/H₂) 比の影響
 ○ 岸 直弥, 星加 浩輔, 奥村 幸彦 (香川大)
- BPA1432 粒子結合層の浸透率に及ぼす結合剤濃度の影響
 ○ 関口 正, 濱本 芳徳 (九州大)
- BPA1433 レドックスフロー電池における過電圧分離評価と電流密度分布測定
 ○ 日原 颯也 (北大院), 植村 豪, 田部 豊 (北大)
- BPA1434 航空機エンジン用予混合二段燃焼器で発生する燃焼振動のダイナミクス
 ○ 岸谷 宣成, 新地 悠平, 後藤田 浩 (東理大), 庄司 烈, 吉田 征二 (宇宙航空開発研究機構)
- BPA1435 グラファイトシートを用いた折り紙式ヒートシンクの提案
 ○ 藤岡 雅洋, 胡 子文, 森本 賢一 (東京大)
- BPA1436 同化箱法によるレタスの生理応答測定とそれに基づく植物モデルの検討
 ○ 密原 秀真, 木下 進一, 吉田 篤正, 岡 弘紀 (大阪府大)
- BPA1437 チャネル乱流に設置したゴムシートの三次元変位とその壁面局所熱伝達への影響
 ○ 村上 智哉 (同大院), 松本 康平, 原 峻平 (同大)
- BPA1438 冬季における地下水を利用した農業用空調システムの暖房性能
 ○ 脇嶋 京介, 黒木 翔立, 鳥山 孝司 (山梨大)
- BPA1439 積層造形法によるマイクロチャンネル熱交換器の試作
 ○ 佐藤 啓太, 松浦 裕真, 田中 三郎, 佐々木 直榮 (日大)

第2日 5月26日(水)

<A室>

A21 9:30 - 10:50 沸騰・凝縮 3

A211 ハニカム多孔質体がアルカリ水電解特性曲線に与える影響

○ 森 昌司, 柿本 拓巳, 韋 雪淞, 伊藤 衡平 (九州大)

A212 沸騰気泡共振器による伝熱促進技術

○ 海野 徳幸, 結城 和久 (山理大), 谷口 淳, 佐竹 信一 (東京理大)

A213 金属めっき膜上で生じる気泡微細化沸騰の伝熱特性

○ 海野 徳幸, 野間 遼太郎, 結城 和久, 木伏 理紗子 (山理大), 佐竹 信一 (東京理大), 鈴木 康一 (山理大)

A214 油焼入れにおける沸騰熱伝達特性

○ 賀数 広海, 藤山 周秀 (光洋サーモシステム)

A22 11:05 - 12:25 沸騰・凝縮 4

A221 流下液膜によるクエンチ点近傍の熱伝達率分布計測

○ 梅原 裕太郎, 大川 富雄 (電通大)

A222 鋼板スプレー沸騰冷却熱伝達特性に及ぼす表面酸化膜の影響

○ 永井 二郎, 山口 勇樹, 西 悠人 (福井大)

A223 移動高温面上の複数ラミナー非定常冷却伝熱特性

○ 光武 雄一, 平原 悠太郎, 渡辺 貴裕, 高塚 大地, 門出 政則 (佐賀大)

A224 高温面のスプレー冷却における急冷開始点の決定因子に関する研究

○ 河野 正道, 仲松 幹弥, 喜多 由拓, 日高 澄具, 高田 保之 (九州大)

A23 14:00 - 15:20 沸騰・凝縮 5

A231 人工発泡点を付与した伝熱面上のプール沸騰における熱伝達機構の観察

○ 田中 孝典, 井生 奈那子, 森崎 仁紀, 宮崎 康次, 矢吹 智英 (九州工大)

A232 自発的な気泡の脱出と液体の補充メカニズムによるプール沸騰の強化に関する研究

○ 楊 少博 (東京大), 洪 思慧 (中山大), 党 超鋌, 陈 昱 (東京大)

A233 ナノ粒子付着層のナノ流体プール沸騰熱伝達特性への影響

○ 任 寧, 中濃 昂輝, 梅原 裕太郎, 小泉 安郎, 大川 富雄 (電通大)

A234 温度不均一を抑えた大きな水平伝熱面における定常遷移沸騰の伝熱特性と気泡の挙動

○ 原村 嘉彦, 梶川 裕登 (神奈川大), 諸隈 崇幸 (神奈川大)

<B室>

B21 9:50 - 10:50 OS: 水素・燃料電池・二次電池 4

B211 水/エタノール比率が PEFC 触媒インク分散に及ぼす影響

○ 笹部 崇, 飯田 要, 酒井 勝則 (東工大), 植村 豪 (北大), 篠原 和彦 (FC-Cubic), 平井 秀一郎 (東工大)

B213 軟 X 線イメージングによる電極スラリー分散状態と沈降挙動の解析

○ 徳永 結美, 鈴木 崇弘, 津島 将司 (大阪大院)

B213 ダブルノズル間欠スプレーによる PEFC 触媒層内材料分布の形成と評価

○ 鈴木 崇弘, 大西 孝和, 津島 将司 (大阪大院)

B22 11:05 - 12:05 OS: 水素・燃料電池・二次電池 5

B221 インクジェット法により作製した固体高分子形燃料電池触媒層の構造解析と性能評価

清水 祐樹, 鈴木 崇弘, ○ 津島 将司 (大阪大)

B222 アイオノマー膜厚特性を考慮した固体高分子形燃料電池触媒層性能解析

○ 松田 朋大, 馬淵 拓哉 (東北大), 井上 元 (九州大), 徳増 崇 (東北大)

B223 低白金 PEFC 触媒層における酸素輸送抵抗の低減構造

○ 水野 就, 植村 豪, 田部 豊 (北海道大)

B23 14:00 - 15:20 OS: 水素・燃料電池・二次電池 6

B231 アルカリ水電解における垂直磁場印加の影響

○ 兒玉 学, 平井 秀一郎 (東工大)

B232 全固体電池セパレーターのナノ構造と絶縁特性

○ 高嶋 快, 兒玉 学, 平井 秀一郎 (東工大)

B233 レドックスフロー電池ファイバー電極における貫通孔導入に関する LBM 解析

○ 宮澤 直之, 鈴木 崇弘, 津島 将司 (大阪大)

B234 レドックスフロー電池用途の均一な連通孔構造を持つカーボン電極の圧力損失・電池特性

○ 石飛 宏和, 土岐 帆乃佳, 白石 壮志 (群馬大), 塚田 豪彦, 富田 夏美 (アイオン), 中尾 公人 (東洋エンジ)

<C室>

C21 9:30 - 10:30 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 4

C211 同位体クエンチ法による三元触媒酸素吸蔵能に関する研究

○ 長澤 剛, 小林 厚史, 佐藤 進, 小酒 英範 (東工大)

C212 火炎放射の熱特性解明と直接発電への応用

○ 佐藤 大輔, 本田 海都, 塩澤 宥哉, 勝身 俊之, 門脇 敏 (長岡技科大)

C213 音響エネルギー解析に基づくロケットエンジンモデル燃焼器内で発生する高周波燃焼振動の非線形ダイナミックス

○ 川野 一樹, 島 里実, 後藤田 浩 (東理大), 大道 勇哉, 松山 新吾 (宇宙航空研究開発機構)

C22 11:05 - 12:05 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 5

C221 プラズマ物性を考慮した火花点火機関における放電経路伸長と短絡のモデリング

○ 今橋 裕, 堀 司, 赤松 史光 (大阪大)

C222 壁面安定化冷炎の着火特性における圧力依存性

坂本 慧, ○ 李 敏赫, 鈴木 雄二 (東京大)

C223 乱流場での水素添加メタン混合気の着火特性に関する実験的研究

○ 中原 真也, 谷本 航大, 八木 香太郎, 周 靖陽, 沖

田 陸也, 西田 一貴, 浦手 一恵 (愛媛大)

<D 室>

- D21 9:10 - 10:50 OS: 化学プロセスにおける熱工学 1
- D211 化学プロセスにおける熱工学について
○ 鈴木 洋 (神戸大)
- D212 浮力を伴うテイラー・クエット流の流動パターンにおけるレオロジー特性の影響
○ 増田 勇人, 中川 幹太, 伊與田 浩志 (大阪市立大), 大村 直人 (神戸大)
- D213 異なる熱伝導率を有する断熱材を用いた TSSG 法による SiC 結晶作製時の熱輸送の最適化
○ 竹原 悠人, 岡野 泰則 (大阪大)
- D214 ヘキサデカンを吸着させた超疎水性ゲルを用いた潜熱輸送技術の開発
○ 宮田 直希, 大坪 拓夢, 日出間 るり (神戸大), 岩谷 真男, 遠藤 克, 西尾 直高 (ダイセル), 鈴木 洋 (神戸大)
- D22 11:05 - 12:05 OS: 化学プロセスにおける熱工学 2
- D221 ペレット化した硫酸ランタン化学蓄熱材の水和反応性
○ 森 奎斗, 春木 将司 (金沢大)
- D222 硫酸ランタン化学蓄熱材の脱水/水和挙動に対する臭化リチウムの影響
○ 龍本 皓介, 西口 裕輝, 春木 将司 (金沢大)
- D223 熱重量分析による LiBr 微細結晶スラリーの水蒸気吸収特性
○ Makarim Dio Afinanda (岐阜大), Wijayanta Agung Tri (Sebelas Maret University), 須網 暁, 小林 信介, 板谷 義紀 (岐阜大)
- D23 14:00 - 15:00 OS: 化学プロセスにおける熱工学 3
- D231 導電性粒子プロモーター誘起マイクロ波プラズマによる CO₂ と CH₄ からの炭化水素生成
○ チョウ シュウキョウ, 須網 暁, 小林 信介, 板谷 義紀 (岐阜大)
- D232 高融点酸化物を添加した竹粉灰の高温空気場における金属表面への付着
梅原 直, 平尾 菜南, 藤田 聖之, ○ 田之上 健一郎 (山口大)
- D233 乾燥過程における多孔質膜内不均質構造の形成過程に関する研究
○ 弘中 秀至, 上野 陸太郎, 藤井 孝成, 永尾 幸子, 木村 洗輔, 井上 元, 深井 潤 (九州大)

<E 室>

- E21 9:30 - 10:50 ヒートパイプ 4
- E211 10kW 級大容量ループヒートパイプの研究
○ 富田 樹, 渡邊 紀志, 上野 藍, 長野 方星 (名古屋大)
- E212 宇宙機用極低温ループヒートパイプの設計試作とその評価
○ 常 新雨 (東北大), 小田切 公秀 (宇宙研), 安達 拓也 (東北大), 小川 博之 (宇宙研), 永井 大樹 (東北

大)

- E213 自励振動アンモニアヒートパイプの熱輸送特性
渡邊 はるか, ○ 鈴木 祐二, 井上 剛良 (東工大)
- E214 エレクトロウエティング技術を用いたヒートパイプ内のドライアウト現象の抑制
○ 鈴木 一弥, 和田 将己, 小野 直樹 (芝浦工業大学)
- E22 11:05 - 12:25 ヒートパイプ 5
- E221 Capillary Pumped Loop の起動改善に関する実験的研究
○ 平田 大 (東京大), 小田切 公秀, 小川 博之 (JAXA)
- E222 小温度差の分岐流路を有する自励振動型ヒートパイプの熱輸送性能に関する数値解析的検討
○ 大西 元 (金沢大), 後藤 武揚 (金沢大院), 春木 将司, 多田 幸生 (金沢大)
- E223 3 次元自励振動ヒートパイプの熱輸送特性におよぼす設置姿勢の影響
○ 中川 北勝 (東工大), 三浦 正義 (神奈川大), 長崎 孝夫 (東工大)
- E224 CFRP 埋込型自励振動ヒートパイプの熱輸送性能に関する数値シミュレーション
○ 松原 幸世, 藤田 昂志, 永井 大樹 (東北大)
- E23 14:00 - 15:00 ヒートパイプ 6
- E231 自励振動ヒートパイプの熱伝達特性に及ぼす設置姿勢の影響
○ 谷口 智哉 (神戸大工), 杉本 勝美, 村川 英樹, 浅野 等 (神戸大院)
- E232 自励振動ヒートパイプの流路断面形状による伝熱性能比較
○ 安田 陽介, 鍋島 史花, 堀内 敬介 (日立製作所), 永井 大樹 (東北大)
- E233 数値計算による非ループ型自励振動ヒートパイプのターン数による影響の調査
○ 曾根 航平, 藤田 昂志, 永井 大樹 (東北大)

<F 室>

- F21 9:50 - 10:50 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 4
- F211 鉛直平行平板間自然対流における亜臨界乱流遷移過程
○ 塚原 隆裕, 泉 千種, 松川 裕樹, 竹田 一貴 (東理大)
- F212 DNS による壁面突起から発達する円管内乱流熱伝達現象の構造解析
○ 服部 博文, 馬場 裕暉, 保浦 知也, 田川 正人 (名古屋工大)
- F213 平面クエット流において成長する乱流スポットの非相似性の発生機構
○ 福留 功二, 塚原 隆裕 (東理大), 守 裕也 (電通大), 山本 誠 (東理大)
- F22 11:05 - 12:05 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 5
- F221 OpenFOAM による大気境界層の LES
○ 服部 康男 (電中研), 石原 修二 (電力計算センター), 須藤 仁, 中尾 圭佑 (電中研), 長谷部 憂磨 (電力計算センター), 平口 博丸 (電中研)
- F222 粗面乱流熱伝達のレイノルズ数依存性に関する直接

- 数値解析
○ 桑田 祐丞 (阪府大)
- F223 Effect of secondary flows on turbulent heat transfer in pipes with modified oblique wavy walls
○ 金 書群, 森本 賢一 (東京大)
- <G 室>
G22 11:05 - 12:05 ナノ・マイクロ伝熱 1
- G221 ナノ構造化シリコン薄膜の熱電変換材料としての構造最適化
○ 堀 琢磨 (農工大)
- G222 Si 基板上の SiO₂ ナノ粒子/PDMS 懸濁液の先行薄膜の膜厚分布測定
○ 庄司 衛太, 金子 峻大, 久保 正樹, 塚田 隆夫, 小宮 敦樹 (東北大)
- G223 単層 CNT 電極によるペロブスカイト-シリコンタンデム太陽電池の高効率化
秋野 広佑, ○ 長屋 皓紀, Seo Seungju, Shawky Ahmed (東京大), Kauppinen Esko (アールト大), 千足 昇平, 大塚 慶吾 (東京大), Jeon Il (釜大), 松尾 豊 (名古屋大), 丸山 茂夫 (東京大)
- G23 14:00 - 15:20 ナノ・マイクロ伝熱 2
- G231 High-throughput measurements of thermoelectric figure of merit by using lock-in thermography
○ ALASLI Abdulkareem (名古屋大), 三浦 飛鳥 (NIMS), 長野 方星 (名古屋大), 内田 健一 (NIMS)
- G232 可視光を紫外光(< 340 nm)に変換するフォトン・アップコンバージョン溶液系の開発
○ 村上 陽一, 元岡 歩, 榎本 陸 (東工大), 新見 一樹, 海寶 篤志, 清柳 典子 (日本化薬)
- G233 光電子収量分光装置の開発とフォトクロミック材料のイオン化ポテンシャルの調査
鈴木 裕太郎, ○ 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)
- G234 Transport properties and device applications of one-dimensional heterostructure nanotubes
○ FENG Ya, MARUYAMA Shigeo (東京大)
- <H 室>
H21 9:30 - 10:50 OS: 東北地区企業による部品開発・技術開発の紹介 1
- H211 電子ビーム溶接加工時の課題について
○ 水野 豊 (東成イービー東北株式会社)
- H212 『持続可能なエネルギーを使用したチムニーハウス』技術開発
○ 木原 定利 (佐原)
- H22 11:05 - 12:25 OS: 東北地区企業による部品開発・技術開発の紹介 2
- H221 目指すべきモータの在り方
○ 本郷 武延 (アスター)
- H222 サーマルプリンタの動向と熱制御技術並びに産学連携
○ 寺尾 博年 (アルプスアルパイン)
- H23 14:00 - 15:00 OS: 人と熱との関わりの足跡
- H231 日本近代製鉄の発祥 釜石から八幡へ
○ 森 一欽 (釜石市文化スポーツ部世界遺産課)
東北大学片平地区における伝熱研究 (抜山沸騰曲線)
○ 小宮 敦樹 (東北大)
片平地区における極低温の研究
○ 野島 勉 (東北大)
- <I 室>
I22 11:05 - 12:25 強制対流 1
- I221 ガスタービン翼後縁部ディンプル付きカットバック面のフィルム冷却性能に与える冷却流の脈動周波数の影響
○ 猪熊 建登, 村田 章, 早川 洋人, 中村 真慈, 岩本 薫 (農工大)
- I222 リブ付き流路の伝熱特性
○ 江口 駿作, 中拂 博之, 上藤 陽一, 金子 毅, 高橋 雄太, 谷本 浩一 (三菱重工業)
- I223 多断面 3 成分 PTV 計測によるガスタービン翼後縁部ディンプル付きカットバック面上フィルム冷却流脈動化の影響評価
○ 早川 千紘, 村田 章, 清水 阜佑, 猪熊 建登, 岩本 薫 (農工大)
- I224 蛇行流路における粘弾性流体の2次流れによる伝熱促進効果
田中 陽祐, ○ 巽 和也, 栗山 怜子, 中部 主敬 (京大)
- I23 14:00 - 15:20 空調・熱機器 1
- I231 ヘリンボーン型アルミ伝熱面を用いたアンモニア蒸発器の伝熱特性
○ 有馬 博史, 重永 裕太, 西口 正尚 (佐賀大)
- I232 水平ヘッダ型多分岐管における気液二相冷媒流の分配に関する研究
濱尾 岳人, 大野 純一, 丸山 直樹, 西村 顕, ○ 廣田 真史 (三重大)
- I233 飽和蒸気液化のための磁気冷凍装置の検討
○ 中井 慎一郎, 川南 剛 (明治大)
- I234 パルス型斜め波状壁フィンにおける熱流動・着霜特性の評価
○ 芥子川 利貴, 鈴木 雄二, 森本 賢一 (東京大)
- <J 室>
J21 9:30 - 10:50 分子動力学 3
- J211 Lennard-Jones 系における単原子スケール固液界面熱輸送機構
○ 藤原 邦夫 (大阪大/JST さきがけ), 芝原 正彦 (大阪大)
- J212 非平衡状態における分子境界条件に関する分子動力学的研究
○ 徳永 敦士 (宇部高専), 鶴田 隆治 (九州工大)
- J213 フルオロカーボン系熱媒の熱伝導機構と熱伝導率の関係に関する分子動力学的研究
○ 小久保 信佑, 松原 裕樹, SURBLYS Donatas, 菊川 豪太, 小原 拓 (東北大)
- J214 分子接合されたグラフェンの熱伝導特性に関する分

- 子動力学的解析
○ 伊藤 豪志, 松原 裕樹, SURBLYS Donatas, 小原 拓 (東北大)
- J22 11:05 - 12:05 分子動力学 4
- J221 SiO₂ アモルファス/結晶の壁面近傍における水の凝固状態に関する分子動力学的研究
○ 内田 翔太 (大阪大/SCREEN ホールディングス), 藤原 邦夫, 芝原 正彦 (大阪大)
- J222 Lennard-Jones 液体面に浸されたナノスケールの固体円筒に働く毛管力の分子動力学解析
渡部 桂太郎, 楠戸 宏城, ○ 山口 康隆 (大阪大)
- J223 自己組織化単分子膜表面上の液滴接触状態に関する分子動力学的研究
○ 菊川 豪太 (東北大), 新田 則佳 (東北大院), スルプリス ドナタス, 小原 拓 (東北大)
- 直毅 (東京大), 花村 克悟 (東工大)
- B312 3次元量み込みニューラルネットワークによる多孔質体の屈曲度ファクタの推定
○ 松井 耀大, 岸本 将史, 岩井 裕 (京都大)
- B313 Numerical investigation on optimization of porosity distribution in a reaction-diffusion system in porous media
○ CHAROEN-AMORNKITT Patcharawat (Suranaree Univ. of Tech.), SUZUKI Takahiro, TSUSHIMA Shohji (Osaka Univ.)
- B314 酵素型バイオ電池の微細多孔質電極への親水性バインダーの適用と電解液の含浸促進
○ 西田 耕介, 平松 郁朗, 大森 千寛 (京工繊大)
- B32 11:05 - 12:45 自然対流 1
- B321 液膜流のパターン形成と3次元不安定
○ 福田 真悟, 納見 祐志, 後藤田 浩 (東理大)
- B322 火炎風下に発生する竜巻状の渦に火源の向きが与える影響
○ 篠原 雅彦 (消防研)
- B323 温度成層状態の常磁性流体への印加磁場分布と対流誘起効果
○ 金田 昌之, 和田 賢伍, 須賀 一彦 (大阪府大)
- B324 衝突噴流による自然対流温度境界層の共鳴効果を用いた伝熱促進
小笠原 直人 (東北大), TORRES Juan F (オーストラリア国立大), 神田 雄貴 (東北大), 古川 琢磨 (八戸高専), ○ 小宮 敦樹 (東北大)
- B325 水中の自然対流に対する閉空間の上部形状の影響
○ グェン テアン (都立大), 近藤 克哉 (鳥取大), 角田 直人 (都立大)
- B33 14:00 - 15:00 自然エネルギー 1
- B331 海洋深層水を熱源とする冷房装置用熱交換器の伝熱性能評価
○ 西口 正尚, 有馬 博史 (佐賀大), 松田 昇一 (琉球大)
- B332 地中熱交換孔内の凍結を伴う採熱
○ 山口 正敏, 堀野 義人, 鈴木 和則 (日本地下水開発(株))
- B333 直接膨張方式地中熱ヒートポンプに適用する地中熱交換器に関する研究
○ 武田 哲明 (山梨大)
- <A 室>
- A31 9:50 - 10:50 沸騰・凝縮 6
- A311 光照射によって蒸発した液滴中のプラズモン粒子堆積パターンに関する研究
○ 王 振英, 坂田 陸, 生田 竜也, 李 秦宜, 高橋 厚史 (九州大)
- A312 ナノ・マイクロ階層構造を持つ超撥水表面での滴状凝縮挙動
○ 馬場 宗明 (産総研), 澤田 健一郎, 田中 洗輔, 岡本 篤 (JAXA)
- A313 近接する2液滴周囲の水蒸気濃度が蒸発に与える影響
○ 山田 寛, 宮下 翼, 磯部 和真, 堀部 明彦 (岡山大)
- A32 11:05 - 12:25 沸騰・凝縮 7
- A321 液膜内部伝熱解析に向けたレベルセット法に基づく相変化解析手法の開発
○ 川本 裕樹, 奈良 祥太郎, 高橋 俊 (東海大), 永井 大樹 (東北大)
- A322 蒸発を伴う動的接触線の熱流動解析による動的接触角の特性評価
○ 岡島 淳之介 (東北大)
- A323 液中 TEM による表面ナノバブルの合体挙動観察
○ ナグ サルタック, 塘 陽子, 高橋 厚史, 河野 正道 (九州大)
- A324 機械学習を用いた沸騰検知と状態遷移把握
○ 植木 祥高, 三宅 正人, 芝原 正彦 (大阪大), 荒 邦章 (原子力機構)
- <B 室>
- B31 9:30 - 10:50 OS: 水素・燃料電池・二次電池 7
- B311 LSM/YSZ コンポジット電極の酸素同位体ラベリングと三次元微細構造内酸素拡散数値シミュレーション
○ 志村 敬彬 (東京農工大), 長澤 剛 (東工大), 鹿園
- <C 室>
- C31 9:50 - 10:50 電子機器の冷却 1
- C311 非定常熱流検出による電子部品の消費電力計測手法の提案
○ 中溝 裕己, Silveira Joao Vitor, 安井 龍太, 伏信 一慶 (東工大), 篠田 卓也 (デンソー)
- C312 はんだ接続部の微細疲労き裂測定技術の開発
○ 篠田 卓也, 平松 聖史 (デンソー), 牧 裕章, 安井 龍太, 伏信 一慶 (東工大)
- C313 表面実装型パワー半導体パッケージの熱解析モデル化に向けた熱インピーダンスに関する研究
○ 西 剛伺 (足利大)

C32 11:05 - 12:05 電子機器の冷却 2

- C321 複数の発熱体を持つ垂直平板上の自然対流熱伝達率の1Dモデリングに関する研究
○ 福江 高志, 石田 陸 (金沢工業大), 岡本 愛 (三菱電機)
- C322 ロータスフィンを用いた平板状ヒートシンクの伝熱特性
○ 大串 哲朗, 村上 政明, 井手 拓哉, 沼田 富行, 野村 光 (LTS)
- C323 軸流空冷ファン近傍の実装部品が P-Q 曲線に与える影響の数値解析による可視化
○ 福田 哲士 (金沢工業大), 増田 幸男 (長野県工技セ), 福江 高志 (金沢工業大), 畠山 友行, 石塚 勝 (富山県大), 小泉 雄大 (デンソー)

C33 14:00 - 15:00 電子機器の冷却 3

- C331 ロータス銅接合型沸騰伝熱面における自己呼吸効果制御による伝熱性能向上
○ 寺田 光希, 木伏 理沙子, 結城 和久, 禰宜田 大貴, 海野 徳幸 (山理大), 井手 拓哉, 大串 哲朗, 村上 政明, 沼田 富行, 野村 光 (ロータス・サーマル・ソリューション)
- C332 二酸化バナジウム (VO₂) 焼結体を用いた CPU の温度抑制
○ 根本 晃成, 大滝 大樹, 馬場 将亮, 山田 昇 (長岡技大)
- C333 シリコン製マイクロベーパーチャンバの熱流動特性
○ 馬場 宗明 (産総研), 澤田 健一郎, 田中 洗輔, 岡本 篤 (JAXA)

<D 室>

D31 9:50 - 10:50 物質移動 1

- D311 シイタケ菌糸が生育した原木の吸水過程での軸方向の水の浸透現象
○ 小川 邦康 (慶大理工), 八島 武志 (石川県農林総合研究センター)
- D312 光誘起誘電泳動を用いたマイクロ流体デバイスの開発
○ 矢数 夏実 (慶大), 齊藤 美佳, 木下 雄斗 (慶大院), 田口 良広 (慶大理工)
- D313 マクロ細孔配置の膜による物質拡散制御性の評価
渡邊 峻 (東北大), TORRES Juan F (オーストラリア国立大), 神田 雄貴, ○ 小宮 敦樹 (東北大)

D32 11:05 - 12:05 物質移動 2

- D321 銅ナノ粒子多孔質層内における液水浸透挙動と内部構造の関係
村本 暢広, 川口 達也, ○ 齊藤 卓志 (東工大)
- D322 乾燥温度における枝豆の一次代謝成分変化に関する研究
○ 山本 隼大, 鹿野 一郎, 及川 彰 (山形大)
- D323 レーザ誘起誘電泳動を用いたリポソームのソーティングに関する研究
○ 小嶋 樹, 三浦 大介 (慶大院), 田口 良広 (慶大理工)

D33 14:00 - 15:00 多孔体内の伝熱 1

- D331 一方向性ポーラスヒートシンク内における相変化現象の可視化実験
○ 堀 洋平, 結城 和久, 木伏 理沙子, 海野 徳幸 (山口東理大)
- D332 離散方位法によるソーラーレシーバの数値解析
○ 松原 幸治, 落合 晃大, 川崎 耕太, 中倉 満帆 (新潟大)
- D333 高精度 GHP を用いたグラスウール熱伝導率計測と多孔質断熱材の熱伝導率モデルとの比較
○ 郭 福会, 古川 琢磨, 高橋 晴輝 (八戸高専), 小宮 敦樹 (東北大), 圓山 重直 (八戸高専)

<E 室>

E32 11:05 - 12:05 混相流 1

- E321 ナノスケール環状液膜の不安定性
○ 塘 陽子, Nag Sarthak, 高松 洋 (九州大)
- E322 加熱壁面に衝突する液滴のリム不安定性が固液界面熱伝達現象に及ぼす影響
○ 岡部 孝裕 (弘前大), 岡島 淳之介 (東北大流体研), 城田 農 (弘前大)
- E323 ナノスケールでの固気液三相界線ピンギングに関する実験的研究
○ 廣川 颯汰, FERNÁNDEZ Pablo, 吾郷 弘樹 (九州大), 手嶋 秀彰 (大阪大), 李 秦宜, 生田 竜也, 高橋 厚史 (九州大)

E33 14:00 - 15:00 混相流 2

- E331 隣接液滴の相互作用による蒸発挙動への影響: 蒸気密度場可視化による検討
○ 喜多 由拓 (九州大), KAPOOR Anushka, SEFIANE Khellil (エディンバラ大), 高田 保之 (九州大)
- E332 カリウム触媒と水蒸気を用いたPM燃焼促進による流動層式PM除去装置の連続再生温度の低減
○ 山本 剛, 横尾 健人, 岸田 昌浩 (九州大)
- E333 温度変化が固液界面気相に与える影響のAFM観察
○ 木村 亮太 (九州大), 手嶋 秀彰 (大阪大), 森下 和彦, 廣川 颯汰, 高田 保之, 高橋 厚史 (九州大)

<F 室>

F31 9:50 - 10:50 計測技術 1

- F311 高熱流束下での木質バイオマスの熱分解とガス噴出挙動の観察
竹山 瑞希, ○ 大徳 忠史, 鶴田 俊 (秋田県立大)
- F312 近赤外光を用いた開放空間中の水蒸気流れの可視化
○ 小澤 晋太郎, 高木 凜太郎, 金子 尚祥, 角田 直人 (東京都立大)
- F313 In situ thermal characterization and real-time internal structure observation of individual water-filled carbon nanotubes
○ LI Dawei, 李 秦宜, 生田 竜也, 高橋 厚史 (九州大)

F32 11:05 - 12:25 計測技術 2

- F321 はんだ接続部の微細疲労き裂測定技術の開発

- 安井 龍太, Liu Yangchi, 伏信 一慶 (東工大), 篠田 卓也 (デンソー)
- F322 マイクロ 3D プリンティング技術を活用した熱駆動式光 MEMS スキャナーの開発
○ 橋本 将明, 田口 良広 (慶應大)
- F323 カーボンナノチューブ紙に有機溶剤に対する応答
○ 張 孟莉, 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)
- F324 水素を含む 2 成分系混合流体の熱力学性質と PVTx 性質測定
○ 迫田 直也, 戸島 健太郎, 緑川 優太郎, 河野 正道 (九州大)
- F33 14:00 - 15:00 計測技術 3
- F331 近赤外吸収画像を用いた酸塩基中和反応時の拡散係数分布の推定
○ 中西 諒, 鷲塚 裕貴, 角田 直人 (都立大)
- F332 レーザースキャニングサーモグラフィーによる内部構造の可視化に関する研究
○ 浦川 晴生, 塘 陽子, 福永 鷹信, 藏田 耕作, 高松 洋 (九州大)
- F333 複数の測温抵抗体からなる格子状電気回路を用いた多点温度測定
○ 茅 潤澤, 岸本 将史, 岩井 裕 (京都大)

<G 室>

- G31 9:50 - 10:50 ナノ・マイクロ伝熱 3
- G311 金属・絶縁体超格子構造における電子・フォノン非平衡性の熱輸送への影響
○ 金 景中 (東京大), 黒崎 洋輔, 深谷 直人, 簀内 真 (日立 R&D Group), 伊良 勇亮, 邵 成 (東京大), 早川 純 (日立 R&D Group), 塩見 淳一郎 (東京大)
- G312 フロー熱電発電に用いる酸化還元対の分子構造が物質輸送と熱起電力に与える影響
○ 長 勇毅, 池田 寛 (東工大), 永塚 真也, 佐竹 正充 (日本化薬), 村上 陽一 (東工大)
- G313 A Three-Dimensional Model for Capillary Flow in Rectangular Nanochannels
○ Chen Kuan-Ting, 李 泰宜 (九州大), 大森 健史 (大阪市立大), 山口 康隆 (大阪大), 生田 竜也, 高橋 厚史 (九州大)
- G32 11:05 - 12:25 ナノ・マイクロ伝熱 4
- G321 エバネッセント波を用いた蛍光偏光法によるマイクロ流路壁面近傍の液体温度計測
○ 栗山 怜子, 植田 啓太, 巽 和也, 中部 主敬 (京都大)
- G322 四端子熱計測を用いたバルクカーボンナノチューブ材料の熱伝導計測
○ 佐藤 彰斗, 足立 建人, 児玉 高志 (東京大)
- G323 ラマン分光法によるマイクロファイバー同士の接触熱抵抗計測
○ 李 泰宜, 高橋 厚史 (九州大)
- G324 Bi₂Te₃-CsSnI₃ の界面熱抵抗測定
○ 宮崎 康次, 宮本 翔太郎, サイニ シリカント, 矢吹 智英 (九州工大)



編集出版部会からのお知らせ —各種行事・広告などの掲載について—



インターネットの普及により情報発信・交換能力の比類ない進展がもたらされました。一方、ハードコピーとしての学会誌には、アーカイブ的な価値のある内容を手にとって熟読できる点や、一連のページを眺めて全貌が容易に理解できる点など、いくら電子媒体が発達してもかなわない長所があるのではないかと思います。ただし、学会誌の印刷・発送には多額の経費も伴いますので、当部会ではこのほど、密度のより高い誌面、すなわちハードコピーとしてぜひとも残すべき内容を厳選し、インターネット（HP：ホームページ、ML：メーリングリスト）で扱う情報との棲み分けをした編集方針を検討いたしました。

この結果、これまで会告ページで取り扱ってきた各種行事・広告などの掲載につき、以下のような方針で対応させていただきたく、ご理解とご協力をお願いする次第です。

対象	対応	具体的な手続き (電子メールでの連絡を前提としています)
本会（支部）主催による行事	無条件で詳細を、会誌とHPに掲載、MLでも配信	申込者は、記事を総務担当副会長補佐協議員（ML担当）、広報委員会委員長（HP担当）あるいは編集出版部会長（会誌担当）へ送信してください。
関係学会や本会会員が関係する組織による 国内外の会議・シンポジウム・セミナー	条件付き掲載 会誌：1件当たり4分の1ページ程度で掲載（無料） HP：行事カレンダーに掲載しリンク形成（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、まず内容を説明する資料を総務担当副会長補佐協議員に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務担当副会長補佐協議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）と広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
大学や公的研究機関の人事公募（伝熱に関係のある分野に限る）	会誌：掲載せず HP：条件付き掲載（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、公募内容を説明する資料を総務担当副会長補佐協議員に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務担当副会長補佐協議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
一般広告 求人広告	会誌：条件付き掲載（有料） HP：条件付き掲載 (バナー広告のみ、有料)	申込者は、編集出版部会長（会誌担当）または広報委員会委員長（HPバナー広告担当）に広告内容を送信してください。掲載可となった場合には編集出版部会長または広報委員会委員長より申込者にその旨通知しますので、申込者は原稿を編集出版部会長または広報委員会委員長に送信してください。掲載料支払い手続きについては事務局からご連絡いたします。バナー広告の取り扱いについては http://www.htsj.or.jp/wp/media/36banner.pdf をご参照下さい。

【連絡先】

- ・総務部会長：稲田孝明（東京電機大学）：t-inada@mail.dendai.ac.jp
- ・編集出版部会長：中村 元（防衛大学校）：nhajime@nda.ac.jp
- ・広報委員会委員長：一柳満久（上智大学）：ichiyanagi@sophia.ac.jp
- ・総務担当副会長補佐協議員：村上陽一（東京工業大学）：general-affairs@htsj.or.jp
- ・事務局：大澤毅士・村松佳子・山田麻子：office@htsj.or.jp

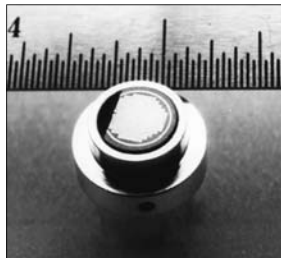
【注意】

- ・原稿は Word ファイルまたは Text ファイルでお願いします。
- ・HP はメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご了承願います。
- ・ML では、原則としてテキスト文の送信となります。pdf 等の添付ファイルで送信を希望される場合はご相談ください。

熱流束センサー

熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 (W/cm^2) に比例した直流電圧を出力します。
弊社の製品は、大変手軽に高速・高精度で熱流量の測定をすることができます。
特に応答速度の早いこと、センサーからの出力レベルが高いことが特徴で、
熱流束マイクロセンサー (HFM) では、応答速度最高6マイクロ秒を達成しています。

熱流束 マイクロセンサー



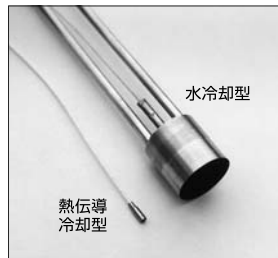
特徴

- 最高速の応答 (約 $6\mu s$)
- $850^{\circ}C$ まで外部冷却不要
- 低雑音 / 高感度
- 熱流束と温度を測定
- 伝導、対流、輻射に等感度

使用例

- エンジン内壁の熱伝達状態観察
- ロケットエンジンのトラブル実験
- タービンレード熱風洞試験
- 自動車用エアバッグ安全性試験
- ジェットエンジンバックファイヤー試験

サーモゲージ

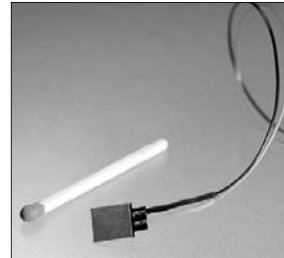


センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタンタンで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

使用例

- 焼却炉・溶鉱炉の熱量測定
- 火災実験の際の輻射熱ゲージ
- バーナーなど熱源の校正用基準器
- 着火性・燃焼性試験 (ISO5657, 5658, 5660)
- 米国連邦航空局のファイヤー・スモークテスト

gSKIN® 熱流束センサー



「gSKIN®」熱流束センサーはセンサー自身の表面を通過する熱流束を29対の超高感度な熱電対を用いて測定します。センサーは、 $72m^2$ の広さを持ち、厚さは $0.4mm$ です。レベル-0パッケージの最適化ポリマーと1-レベルパッケージの金属の構造になっています。

使用例

- 電気・電子機器内の発熱・放熱状態測定
- 熱交換器の効率測定
- パイプの放熱状況測定
- 暖房および換気自動システムの測定
- 熱移動/熱放出の即時応答測定

熱流束センサー 校正サービス

熱流束センサーの校正作業をお引き受けいたします。校正証明書は米国基準局NISTにトレーサブルです。校正設備の物理的な制約で、お引き受けできない場合もあります。ご相談ください。



センサテクノ株式会社

URL

www.senstech.jp

〒106-0031 東京都港区西麻布3-24-17 霞ビル4F
TEL: 03-5785-2424 FAX: 03-5785-2323

E-mail

info@senstech.jp



■ CAPTEC 社日本総代理店 ■ MEDTHERM 社輸入販売店 ■ ITI 社輸入販売店

当社は、独自の高度技術を持つ、海外メーカーの熱計測機器をご提供致しております。

CAPTEC 社(フランス)

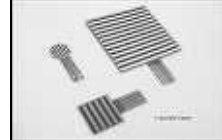
CAPTEC(キャプテック)社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。
輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

熱流束センサー



サイズ: 5×5mm～300×300mm
厚み: 0.4mm (平面用・曲面用)
温度範囲: -200～200°C
応答速度: 約 200ms
オプション: 温度計測用熱電対内蔵
形状: 正方形・長方形・円形
特注品: 高温用・高圧用・防水加工

輻射センサー



サイズ: 5×5mm～50×50mm
厚み: 0.25mm
温度範囲: -200～250°C
応答速度: 約 50ms
オプション: 温度計測用熱電対内蔵
形状: 正方形・長方形・円形
波長領域: 赤外/可視+赤外

MEDTHERM 社(アメリカ)

MEDTHERM(メドサーム)社は、これまで30年以上にわたり、高品質の熱流計及び超高速応答の熱電対を提供してまいりました。航空宇宙・火災・燃焼分野における豊富な実績を有しています。用途に応じ、様々な形状・仕様の製品を製造可能です。

熱流計/輻射計



熱流束範囲: 0.2-4000Btu/ft²sec(フルスケール)
サイズ: 1/16インチ(約1.6mm)～1インチ(約25.4mm)
最高温度: 200°C(水冷なし)/1500°C(水冷)
出力信号: 0-10mV(DC・線形出力)
直線性: ±2%(フルスケールに対して)

応答速度: 50ms以下*
再現性: ±0.5%
較正精度: ±2%
オプション: 輻射窓・視野角指定等

*応答速度は、熱流束レンジによって異なります。

超高速応答同軸熱電対

本同軸型熱電対は、第1熱電対のチューブの中に第2熱電対ワイヤーが挿入された同軸構造になっています。第2熱電対ワイヤーは、厚み0.0005インチ(約0.013mm)の特殊なセラミックで絶縁コーティングされています。プローブ先端の熱電対接点は、厚み1～2ミクロンの金属皮膜で真空蒸着されており、最高1マイクロ秒の応答速度を実現しています。



【主な用途】
表面温度及び表面熱流束計測
風洞試験・エンジンシリンダー・エアコンプレッサー等
【最小プローブ径】
0.015インチ(約0.39mm)

【熱電対タイプ】
T型(銅/コンスタンタン) -270°C～+400°C
J型(鉄/コンスタンタン) -210°C～+1200°C
E型(クロメル/コンスタンタン) -270°C～+1000°C
K型(クロメル/アルメル) -270°C～+1372°C
S型(白金10%ロジウム/白金) +200°C～+1700°C

ITI 社(アメリカ)

ITI(International Thermal Instrument Company)社は、1969年の設立以来、高温用熱流板や火災強度熱流計など、特殊な用途に対応した製品を提供しています。特注品の設計・製造も承っております。

高温用熱流板



最高温度: 980°C
応答速度: 0.1s
直径: 8mm～25.5mm 厚み: 2.5mm

水冷式 火災強度熱流計



最高温度: 1900°C
応答速度: 0.1s
最大熱流束レンジ: 0～3000W/cm²

当社取扱製品の適用分野

- 伝熱一般
- 温熱環境
- 炉・ボイラー
- 航空宇宙
- 火災
- 燃焼
- 各種エンジン

有限会社 テクノオフィス

〒225-0011 神奈川県横浜市青葉区あざみ野 3-20-8-B
TEL. 045-901-9861 FAX. 045-901-9522
URL: <http://www.techno-office.com>

編集出版部会ノート

Note from the JHTSJ Editorial Board

新型コロナウイルス感染症の影響が1年以上続いています。皆さまはいかがお過ごしでしょうか。学会での大規模な集会やイベントを対面で実施するのはしばらくは難しいようですが、徐々に状況が改善されることを願っています。

さて、本号では「地中熱の利活用最前線」の特集を武田哲明先生に組んでいただきました。地中の温度は年間を通してほとんど変化しないため、夏は気温より低く、冬は気温より高くなります。この温度差を利用して効率的に冷暖房等を行うことができます。2050年までにカーボンニュートラルを目指すことが宣言され、再生可能エネルギーの利用促進が大きな課題となっていますが、地中熱は気象条件に左右されない安定したエネルギー源として期待できます。本特集により、地中熱の持つ可能性や、技術開発の現状や動向についてご理解いただけるのではないかと思います。ご多用にもかかわらずご寄稿くださった皆様に、この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

中村 元 (防衛大学校)

Hajime NAKAMURA (National Defense Academy)

e-mail: nhajime@nda.ac.jp

企画・編集出版担当副会長 鶴田 隆治 (九州工業大学)

編集出版部会長 中村 元 (防衛大学校)

委員

(理事) 光武 雄一 (佐賀大学), 中原 真也 (愛媛大学)

(協議員) 小田 豊 (関西大学), 梶田 欣 (名古屋市工業研究所), 武田 哲明 (山梨大学),

富村 寿夫 (元熊本大学), 中川 慎二 (富山県立大学), 西 剛伺 (足利大学),

元祐 昌廣 (東京理科大学), 結城 和久 (山口東京理科大学)

TSE チーフエディター 鈴木 雄二 (東京大学)

TSE 編集幹事 福島 直哉 (東海大学)

編集出版部会 連絡先: 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20

防衛大学校 システム工学群 機械工学科

中村 元

Phone: 046-841-3810 内線 3419

E-mail: nhajime@nda.ac.jp