

研究成果報告書

研 究 題 目		瀬戸内地方の未利用エネルギーを熱源とするヒートポンプシステムの性能予測手法の開発	実 施 年 度 2018-2019 年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学大学院先進理工系科学研究科	
	氏 名	金田一 清香	印

1. 研究の目的・背景

省エネルギー性の高い空調技術として知られるヒートポンプの効率は熱源の温度に強く影響される。一般的な熱源は空気であるが、空気よりも夏に低温、冬に高温な河川水や地下水、下水等の水や地盤の持つ熱（地中熱）を活用できれば、有望な未利用エネルギー源になる。近年普及が進みだした地中熱に対し、水を熱源としたヒートポンプシステムは現状多くないが、この理由として利用性に優れた水体の熱源がなかった点であげられる。河川水や海水の場合、規模が大きくなり地域熱供給事業での導入に限定される他、大規模湖沼では国立公園等の中にあることが多く、近隣に適当な熱需要先がない場合が多い。また、水利権や漁業権の問題から水の直接利用に対する課題もあった。そこで、申請者は、瀬戸内地方に多数賦存する農業用のため池や調整地、貯水池のうち年間を通して水位が安定している水（以下、「貯留水」と呼ぶ）の持つ未利用エネルギーをヒートポンプの熱源に活用する手法を提案してきた（Kindaichi et al, 2015）。実際の空調システムへの導入に当ってはエネルギー消費量等により定量的な効果を示す必要があり、排熱を放出するときの「熱源温度」は重要なファクターとなる。通常の空気熱源方式と異なり、貯留水は蓄熱性を持つため、過去の使用履歴を考慮した熱源温度の予測が不可欠である。貯留水のような停滞性水域を対象としたヒートポンプシステムの研究は世界的に見ても非常に少なく、蓄熱性や自然対流といった貯留水の特徴を踏まえた熱源温度予測モデルを構築することは学術的にも意義が大きい。また、これまで大規模な地域熱供給事業等に限定されてきたヒートポンプシステムにおける水熱源の活用を中～小規模でも可能にすることから、地方での未利用エネルギー導入推進に意義があると考えられる。

研究の最終的な目標は、貯留水を新たな未利用エネルギー源として活用する空調用熱源システムの開発にあり、そのために①貯留水中の放熱／採熱用熱交換部、②熱源機、③熱需要側の各要素について設計・施工方法を確立することが必要となる。本研究ではこのうち、通常の空気熱源方式での室外機に相当する①貯留水中の放熱／採熱用熱交換部の性能、すなわち貯留水中での放熱特性を予測するシミュレーションモデルを構築する。実験や CFD 解析に基づき、貯留水の特徴のひとつである自然対流による熱拡散の影響を簡便に表すことで、高精度かつシンプルなモデル（マクロモデルと呼ぶ）を目指す。これにより、比較的短時間で 1 年または複数年分の計算が可能となり、将来的には空調システムシミュレーションの要素のひとつとして空気熱等の他の熱源との併用または比較の検討に用いることを想定している。

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

1) マクロモデルの構築

貯留水ヒートポンプ運用時（貯留水への放熱時）の熱源温度を計算するモデルを作成した。まず、CFD 解析により、夏季の温度成層状態において、貯留水底部にヒートポンプの排熱を放出するときの自然対流を可視化した結果、放熱部の直上方向に流速数 cm/s 程度の自然対流が確認できた。そのときの放熱範囲は温度成層の低温部のみであり、高温部には影響しないことが明らかになった。次いで、CFD 解析の結果を基に、仮に水中に均一に分布したとする場合に対して自然対流を考慮したときの熱量分布の比率をマップ上に表した。マクロモデルでは、放熱量や温度条件をパラメータとして CFD 解析を繰り返し行った結果をデータベース化し、これを基に貯留水内の温度分布を得ることとした。当初計画に比べ簡略化されたモデルになったものの、概ね申請時の計画に沿った成果が得られた。

2) マクロモデルの再現性検証

マクロモデルの計算結果を、深さ 1.8 m の温度成層型蓄熱槽の底部にヒーター加熱を与えた放熱実験の結果と比較した。放熱器直上部では、計算結果の方が 1℃程度高い箇所が見られたものの、自然対流によるプルームの到達範囲や、温度成層を維持しながら下層の低温部のみで温度上昇するといった傾向は一致し、一定の再現性を確認することができた。また、放熱しない場合の結果は、申請者が過去に実施した調整池における実測結果（Kindaichi et al, 2015）と比較し、季節によらず上層／下層温度は概ね一致する様子が確認された。こちらも申請時の計画をほぼ達成することできた。

3) 貯留水ヒートポンプの性能評価

マクロモデルにより、貯留水ヒートポンプ運用時の熱源温度の年間変動を予測した。熱交換器 1 つ当り 3 kW の能力に対して熱源水容量 106 m³（放熱密度 28.4 W/m³）を基本条件とし、放熱密度の違いによる影響を比較した。自然状態の底部の温度は夏季を通して 17~20℃程度であったのに対し、基本条件の場合は最高 24℃程度、放熱量が 2 kW のときは約 23℃、1kW のときは約 22℃までそれぞれ上昇するが、冬季の大気中への放熱により 1 年後には元の温度に回復する様子が示された。夏季最高 35℃程度まで上昇する外気温に比べると十分に低いことから、今回の計算の範囲では、従来のエアコン等の空気熱源方式よりも高効率な運転が可能であることが示唆された。また、放熱密度の違いについては、基本条件の 1/2 としても熱源温度には大差がなかったことから、熱交換器 1 つが分担する熱源水容量が十分に大きいときには、影響が小さいものと考えられる。しかし、基本条件の 2 倍としたときには最高 26℃程度まで上昇しており、これ以上放熱密度が高くなると空気熱源方式に対する優位性が低くなることが危惧される。仮に、申請者らの実測対象地である角脇調整池（10000m² × 5.5 m）の 1/4 を熱源利用できると仮定すると、基本条件の放熱密度であれば、トータルで約 400 kW のピーク時の熱需要を賄えると予測できる。以上より、マクロモデルは、申請時の目的であった自然対流を考慮した貯留水ヒートポンプ運用時の年間熱源温度を簡便に予測することを可能とし、今後の空調用途への展開につながるものとなった。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

消耗品は当初計画には計上していなかったが、実験用のセンサー類が追加で必要になったため購入した。

資料費についても、当初計画には計上していなかったが、参考図書が必要になったため購入した。

旅費については、申請者および研究協力者の研究打ち合わせおよび成果発表に係る国内旅費を支出した。当初計画していた謝金については別予算から充当した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究で開発したマクロモデルは、世界的にもまだ実例の少ない「貯留水」を熱源とするヒートポンプシステムについて、簡便な年間性能予測を可能とする方法である。今回の研究の範囲では、貯留水部分に限定されるが、今後、他の空調機器を組み合わせたシステムシミュレーションに展開できれば、瀬戸内地方発の未利用熱エネルギーとしてアピールできる可能性があり、現在注目される地方資源を活用した ZEB 等の開発につながると考えられる。

実用化に際しては、水利権等の問題があり、単独の建物に対して導入するのは難しいが、米国の一部地域では実際に導入が進んでいるところもあり、たとえば調整池周辺での宅地開発等、街区単位 of 自然エネルギー活用プロジェクト等があれば、技術的には多いに可能性があるものとする。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

- 1) 車木幸貴, 金田一清香, 西名大作: 貯留水の熱的利用可能性に関する研究 その 13 貯留水 HP におけるサステナブル性能の検証、日本建築学会中国支部研究発表会、2020.3（広島）
- 2) 河崎啓太, 金田一清香, 西名大作: 貯留水ヒートポンプの利用可能性に関する研究 その 6 受熱量比を用いた新たな熱源温度予測モデルの作成、空気調和・衛生工学会大会、2019.9（札幌）
- 3) 河崎啓太, 金田一清香, 西名大作, 松崎浩典, 椿涼太: 貯留水の熱的利用可能性に関する研究 その 12 受熱量比を用いた新たな熱源温度予測モデルの作成、日本建築学会中国支部研究発表会、2019.3（山口）
- 4) 松崎浩典, 金田一清香, 西名大作, 河崎啓太, 椿涼太: 貯留水の熱的利用可能性に関する研究 その 11 CFD 解析による受熱特性の考察、日本建築学会中国支部研究発表会、2019.3（山口）
- 5) 河崎啓太, 金田一清香, 西名大作, 北野博亮, 岩田剛: 貯留水ヒートポンプの利用可能性に関する研究 その 5 実験による自然対流の検討と受熱量比マップ、空気調和・衛生工学会大会、2018.9（名古屋）
- 6) 河崎啓太, 金田一清香, 西名大作, 北野博亮, 岩田剛: 貯留水ヒートポンプ運用時の熱源温度予測手法に関する研究 その 5 大型水槽を用いた放熱実験による自然対流の挙動、日本建築学会大会、2018.9（仙台）