

2023.10.5開催  
第9回 ACADEMIC CAFE  
「持続可能な社会へ向けて  
身近な水・エネルギー  
資源の活用」

## 下水や温泉排湯の未利用熱で省エネルギーを実現する 設備システムとは？

工学研究科 教授 鍋島 美奈子

**概要** 単体建物だけでなく、街区レベルでの省エネルギーや低炭素まちづくりの必要性が高まっている。地域に薄く広く分布する未利用熱（下水熱、温泉熱、河川水熱など）は、空調や給湯用のヒートポンプチャラーの熱源として利用すれば、機器効率が上がり、省エネ効果が期待できる。下水などの未利用熱を活用する設備システムと導入事例や効果について解説する。続いて、温泉地域などで適用可能な熱源水ネットワークシステムを提案し、熱源水ネットワーク配管による熱融通で、地域全体に波及効果をもたらす仕組みについて解説する。

**キーワード** 省エネルギー、ヒートポンプ、下水熱、温泉熱、熱融通



会場の様子

### 1. はじめに

我が国の二酸化炭素削減目標の達成に向けて建築設備分野で取り組むべき課題の一つとして、地域や街区レベルでの熱エネルギーの有効活用がある。欧州では地域暖房の地域熱導管ネットワークを活かした二酸化炭素排出削減に熱心に取り組んでおり、デンマークでは風力や太陽熱などの再生可能エネルギー比率を高め、将来的に暖房や給湯などの温熱需要に化石燃料を使用しない方針を打ち出している。日本でも自国の特徴を活かしたCO<sub>2</sub>排出削減への取り組みが求められている。そこで本稿では建築物運用時に注目し、空調や給湯設備に関わる省エネルギー手法の一つとして、未利用エネルギー活用技術を紹介したい。ここで注目する技術は、温度レベルの低い下水や温泉の排湯から熱交換器を介して熱を回収し、ヒートポンプの熱源として活用する方法である。

### 2. 下水熱利用促進のきっかけとなった基礎研究

筆者らは、2010～2013年度NEDO補助事業「次世代型ヒートポンプシステム研究開発—都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通技

術」（研究代表者 中尾正喜、共同実施者 総合設備コンサルタントほか）の一環で、大阪市内の複数のマンホールにて下水温度や流量の調査をおこない、下水熱ポテンシャルマップを作成した<sup>1)・2)</sup>

（図1）。大阪市内の実測データから、冬季に気温より下水温度が10～15℃程度高くなり、ヒートポンプの熱源として有用であることがわかる。また、実測した下水流量データを用いて、下水流量の時空間分布を推定し、ポテンシャルマップとして表現することにより、どの下水管路で熱利用ポテンシャルが大きいかを一目で判断できるようにした。これらの一連の研究成果は、全国の自治体で下水熱ポテンシャルマップを整備されるきっかけとなった。

### 3. 下水熱利用の国内導入事例と課題

下水熱利用は採熱方法により、①下水処理場から処理水を取水して採熱、②ポンプ場から未処理水を採取して採熱、③下水管渠から未処理水を採取して採熱、④下水管渠内に設置した熱交換器で採熱、4つに大別される。①タイプの下水処理水の熱利用については、東京都港区芝浦水再生センターの処理水熱を熱源とした空調システムが導入

されたソーシティ（2006年竣工）や、大阪府堺市三方下水処理場の処理水を熱源とした給湯、空調システムが導入されたイオンモール堺鉄砲町（2016年運用開始）がある。2025年に開設予定の本学森之宮キャンパスも①タイプで、空調用のエネルギー消費の削減が期待されている。②タイプは、東京都文京区後楽ポンプ所の未処理水から熱回収をおこなう後楽1丁目の地域熱供給事業（1994年運用開始）などの実績がある。

これまでの下水熱利用は処理場やポンプ場の周辺での活用に限定されていたが、2015年5月には下水道法が改正され、民間事業者が熱利用のために下水管渠に熱交換器設置できるようになり、③や④タイプが可能となった。下水管路網のどこからでも熱利用が可能となり、事実上空間的な制約がなくなったと言える。熱需要地に近い場所で熱回収ができるという大きな魅力がプラスされたことにより、未処理下水の熱利用事例が増えつつある。③タイプは下水管渠外に熱交換機を設置する方式で、海外では実績があるが、国内では岡山県倉敷市屋内水泳センターの温水プール（2018年運用開始）の熱源機更新が国内初の事例である。④タイプは下水管渠内に熱交換機を設置する方式で、東京都港区虎ノ門・麻布台地区の再開発エリア

（2023年運用開始）では、全国で初めて地域熱供給の熱源の一部として未処理下水の熱利用による空調システムが導入され、大阪市北区の再開発エリアうめきた2期地区（2024～2028年順次竣工予定）でも地域熱供給の熱源の一部に未処理水を熱源とした給湯システムが導入される予定である。

従来型のボイラーや空気熱源のヒートポンプに対して、下水熱利用システムで省エネルギー効果やCO<sub>2</sub>排出削減効果が生じるのは、下水の水温が気温に比べて冬季は10℃以上高いことからヒートポンプの成績係数（COP）が向上することに依る。たとえば、③タイプの温水プールの2018年度実績では従来の蒸気ボイラー設備に比べて27%のCO<sub>2</sub>排出削減効果があったと報告されている<sup>3)</sup>。③、④タイプは普及の初期段階にあるため、下水管渠内または外に設置する熱交換器などの初期コスト（設備投資と工事費）が課題になっているが、熱源機のCOP向上により運用コストやCO<sub>2</sub>排出量が削減できるため、国の補助金などを活用すれば投資回収年数を抑えることも可能になるであろう。ただし、システム全体を見た場合、下水の取水ポンプの消費電力が増えるため、適切な運転制御をおこなわなければ、熱源機のCOP向上による省エネルギー分が目減りすることになる。

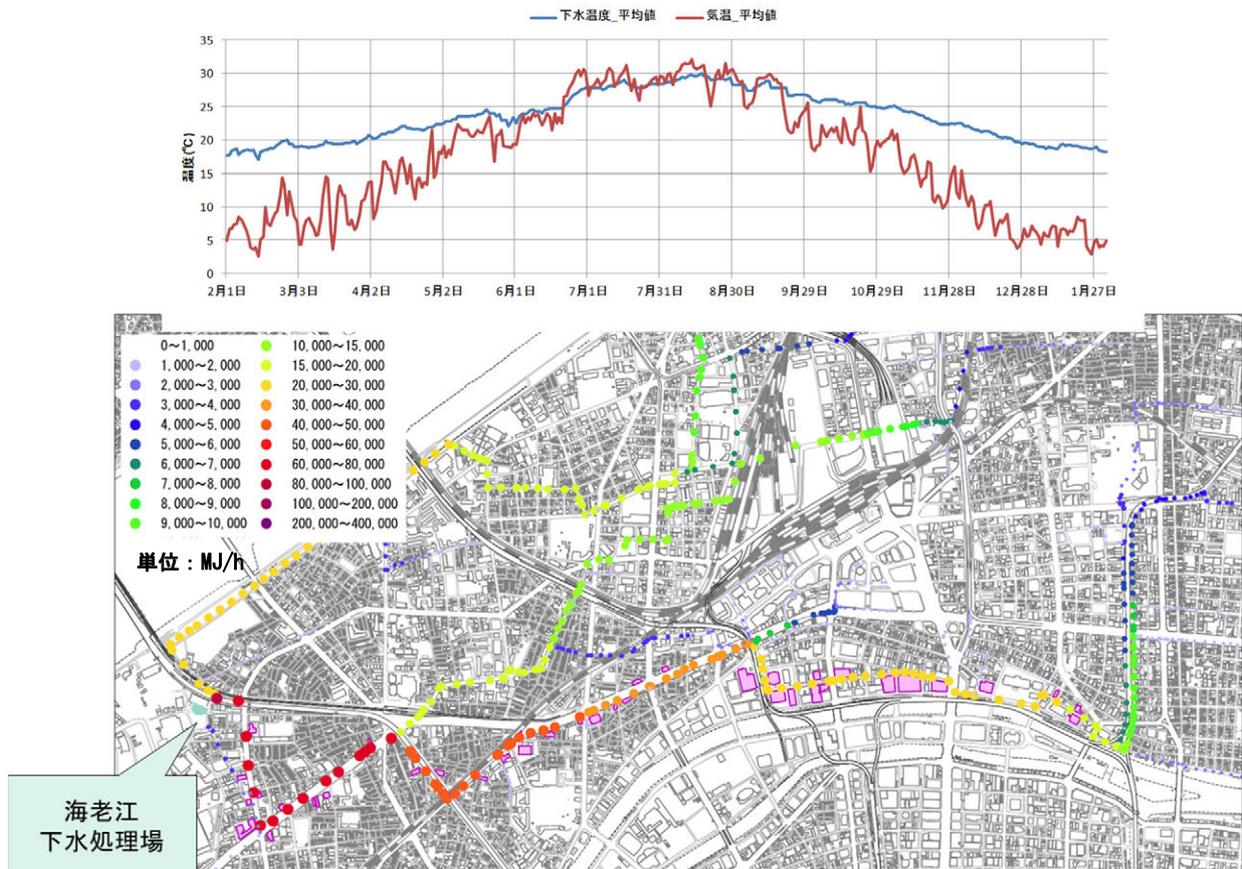


図1 大阪市内抽水所の気温と下水温度の年変動（上）冬季23時の下水熱利用ポテンシャルマップ（下）

また、未処理下水の取水口に設置されるストレーナーや取水ポンプ、熱交換器の定期的な清掃が必要となり、メンテナンスに係る手間とコストを抑制する技術開発も重要である。今後は運用データの解析などを実施し、システム全体での最適運用のためのノウハウの蓄積し、需要地に近い場所での下水熱利用システムを普及していくことが課題となっている。

#### 4. 温泉熱活用による熱源水ネットワークの提案

次に、まだ実証試験レベルで普及段階には至っていない技術ではあるが、地域に点在する分散型未利用熱（温泉源泉および浴槽排湯）を活用するシステムを紹介したい。筆者らは温泉地域全体の省エネルギー化を促進することを目的として、低温の未利用温泉熱の新たな面的利用方法として「熱源水ネットワークシステム」を提案し、その導入効果の試算をおこなっている<sup>4)~6)</sup>。社会的背景として、従来の温泉地域では給湯設備として油炊きボイラーを使用している宿泊施設が多く、温泉地域全体としての省エネ化やCO<sub>2</sub>排出削減が課題となっている。

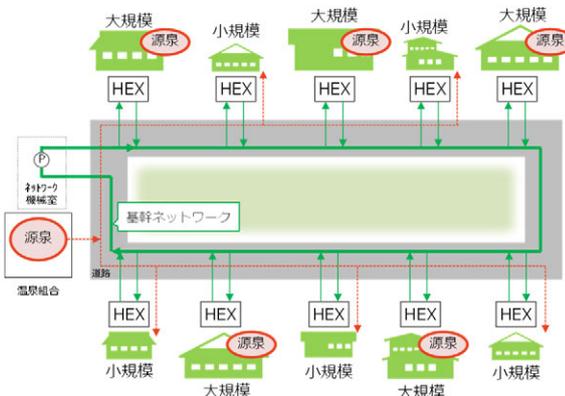


図2 熱源水ネットワークシステムの概要図

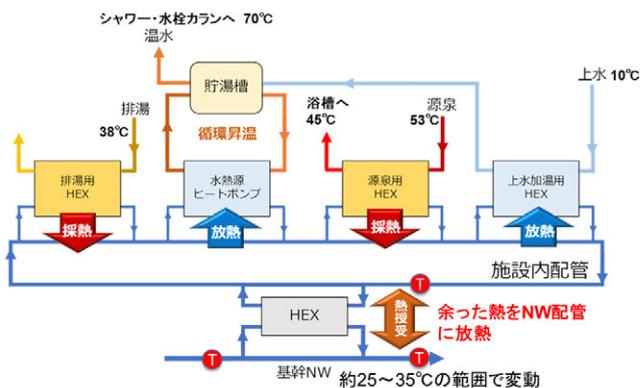


図3 大規模宿内の設備システム概要図

熱源水ネットワークシステムの概要を図2, 3に示す。各温泉宿がヒートポンプ給湯機を導入することを前提とし、複数の温泉宿をシングルループの基幹ネットワーク配管で接続し、温泉源泉や排湯から回収した熱を熱源として地域に循環させ、ヒートポンプ給湯機の効率向上を実現するシステムである。自前の源泉井戸を持ち余剰熱が発生する大規模宿5軒と、熱が不足しがちな小規模宿5軒が混在している温泉地域を模擬したモデルである。各施設は全長3.5kmの無断熱シングルループ（基幹ネットワーク）配管に接続しており、施設内で余剰熱があれば基幹ネットワークに放熱し、施設内で熱が不足する場合は基幹ネットワークから吸熱することで、面的な熱融通をおこなうシステムである。

無断熱シングルループ配管による熱源水ネットワークシステムの導入効果を把握するため、物理モデリング・シミュレーションツール Dymola®を利用して、制御系統を含めた給湯システムモデルを構築し、1次元非定常シミュレーションをおこなう。利用可能な温泉熱量を変化させたり、無断熱配管周辺の土壌の熱特性を変化させたケーススタディを設定し、基幹ネットワークの熱源水温度の推移や電力消費量、1次エネルギー換算システムCOPの比較をおこなった。結果の詳細については、ここでは割愛するが、山形県鶴岡市の冬季気象条件下では、基幹ネットワーク配管の温度はなりゆきで日平均30℃程度、各施設のヒートポンプ給湯機単体の日平均COPが4程度、ポンプ等の補器類を含めた熱源水ネットワークシステム全体の1次エネルギー換算システムCOPは1.1~1.3となった。このシステムCOPは土壌の熱特性（熱拡散率）の違いにより差が生じた。基幹ネットワーク配管を無断熱にすることは初期コストを抑えるために有効な手段ではあるが、含水率が高い土壌条件であれば配管熱損失が増え、基幹ネットワークによる熱融通の効果が薄れてしまうことが指摘された。

#### 5. おわりに

未利用エネルギーとして下水熱利用と温泉熱利用について紹介し、現状と課題について述べた。温泉熱を活用した熱源水ネットワークについてはフィージビリティスタディ（FS）の段階にあるが、温泉熱に限らず温度レベルの低い未利用熱の活用技術として有用である。たとえば、都市部では帯水層蓄熱と熱源水ネットワークの組み合わせなどの展開が考えられる。今後はシミュレーションによる効果試算に加えて、普及に向けた実証試験など実績作りが必要となる。

## 参考文献

- [1] 三毛 正仁, 鍋島 美奈子ら：下水熱利用のための下水管路における晴天日下水流量推定法の提案, 空気調和・衛生工学会論文集 39(204), pp.47-55, 2014.
- [2] 三毛 正仁, 鍋島 美奈子ら：下水管路における流量・温度推定のための下水流量・温度の実測, 空気調和・衛生工学会論文集 39(202), pp.11-21, 2014.
- [3] 倉敷市環境リサイクル局下水道部：倉敷市における下水熱利用の取組, 国土交通省ホームページ掲載資料 <<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/seweraage/content/001315505.pdf>> (2023年8月15日閲覧)
- [4] 柗本一成, 鍋島美奈子ら：温泉未利用熱の面的利用システムに関する研究熱源水ネットワークシステムと集中型の熱供給システムの導入効果の比較, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-82, 2019.
- [5] 戴錦承, 鍋島美奈子ら：温泉熱の面的利用システムに関する研究-熱源水ネットワークシステム内の熱収支の確認-, 空気調和・衛生学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-52, 2022.
- [6] 戴錦承, 鍋島美奈子ら：温泉熱の面的利用システムに関する研究-無断熱・直埋設方式の熱源水地域配管からの熱損失-, 空気調和・衛生学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-4, 2023.

## 発表者紹介

1990年に大阪市立大学生活科学部生活科環境学科に入学, 1994年に同学部を卒業し, 大阪市立大学生活科学研究科の前期博士課程に入学, 1996年に同研究科の後期博士課程に進学し, 1999年3月に修了し, 博士(学術)を取得. 同年4月より大阪市立大学工学部環境都市工学科の助手となり, 講師, 准教授を経て, 2019年10月より工学研究科教授. 生活科学研究科の大学院生時代は, 室内温熱環境や住宅設備, 住宅のエネルギー消費構造について研究をおこなっていた. 工学研究科では対象を建物単体ではなく街区や地域レベルに拡大し, 都市環境や都市のエネルギー消費について教育・研究をおこなっている.

