

学会賞内容紹介

環境配慮型商業施設における下水再生水の高度複合利用

Environmental Consideration of Commercial Facility Utilizing Sewage Reclaimed Water

安心院 智*・篠島隆司*・山形光生*
Satoshi Ajimi Takashi Shinojima Mitsuo Yamagata

1. はじめに

本稿で紹介するイオンモール堺鉄砲町は、「イオンのecoプロジェクト」に基づき、使用エネルギーの削減や効率的な活用を実現するとともに、地域の生活を守るインフラの一翼を担う機能を導入した環境配慮型商業施設である。また、「イオンのecoプロジェクト」を実践する次世代型エコストア「スマートイオン」に位置づけ、お客さまの「安全・安心」をより強固なものとするため、防災・地域インフラの構築、生物多様性・景観への配慮などに地域と連携・協力して取り組み、持続可能な店舗づくりを中心としたコミュニティ・まちづくりの実現をめざした。

特に、地域の既存ストックを調査し、未利用エネルギーである下水再生水に着目して、地域での水資源の循環と、電力平準化時代に先駆けてデマンドレスポンスシステムを融合させた全国初の下水再生水の高度複合利用は、経済産業省と国土交通省から先進的な取り組みが評価され、補助事業対象プロジェクトとなった。

建物概要

建物名称	：イオンモール堺鉄砲町
建築主	：イオンモール株式会社
設計・施工	：株式会社竹中工務店
建築地	：大阪府堺市堺区鉄砲町1番地
建物用途	：複合商業施設
延床面積	：約135,000m ²
工期	：2014年10月～2016年2月
構造種別	：S造 規模：地上4階、棟屋1階

2. 下水再生水の高度複合利用の開発及び実用化の経過

本事業の開始当初、事業主をはじめとした産官学が連携し、地域の既存ストックである未利用エネルギーについて調査をおこなった。そこで、下水再生水の熱と水源利用が可能であることを確認し、具体的な利用方法の計画を行った。この下水再生水は敷地内に引き込んだ後、熱と一部を水源として活用し、再び敷地外に延伸した後、堺市の歴史

*株式会社竹中工務店 大阪本店設計部 設備部門
〒541-0053 大阪市中央区本町4-1-13

ある環濠に放流することにした。この環濠は地域の憩いの場となっており、水路の水環境の安定化に貢献するシステムとした(図1)。また、下水再生水の利用にあたり、温度や水質の特性を調査し、有効な利用方法を検討した。再生水温度の特徴として、夏期は外気と同等、冬期は外気よりも高く、1年を通して安定した温度であった。そこで、冬期は外気の予熱、中間期と夏期は冷凍機の冷却水、年間を通して、給湯機の温熱源として活用することとした。下水再生水高度複合利用システムの概要を示す(図2)。

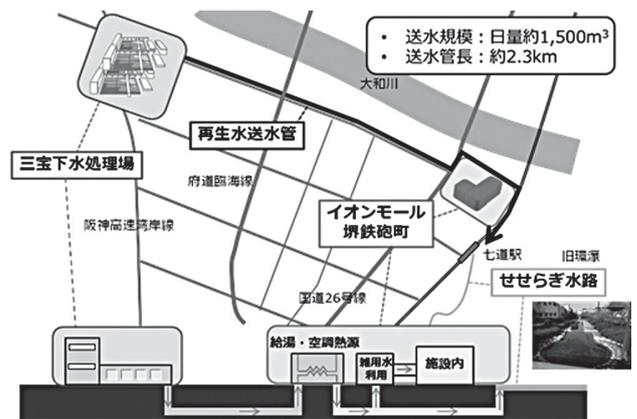


図1 下水再生水高度複合利用配置

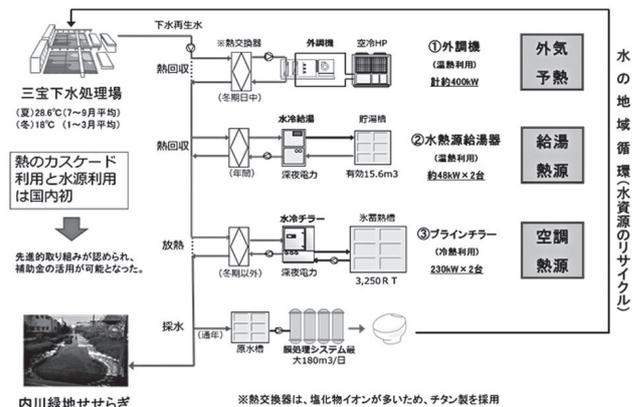


図2 下水再生水高度複合利用システム

次に、約50項目の水質検査をおこない、ほとんどの項目が、水道水の基準値を満たすことを確認した。そこで、雑用水として利用できるように、UF膜ろ過装置を採用した。UF膜ろ過装置を採用することにより、便所の洗浄水と

して利用することに加え、親水用水の基準（国土交通省、日本水景協会、文部科学省）を満たす水質となったことから、敷地内に憩いの空間を演出する「せせらぎ」を実現することが可能となった。

3. 技術の特徴

3.1 下水再生水の熱利用

下水再生水の温熱利用として、日中の下水再生水熱を回収するため、直膨型外気処理空調機の暖房運転時、外気の子熱に利用した。次に、給湯利用が可能か検証する為、排熱回収型給湯機と空冷HP給湯機のCOPを比較した。外気温度と下水再生水の年間温度データと各々のCOP比較を（図3）に示す。年間を通して、常に排熱回収型給湯器の方が空冷HP給湯機よりCOPが高いことから、排熱回収型給湯機を採用した。

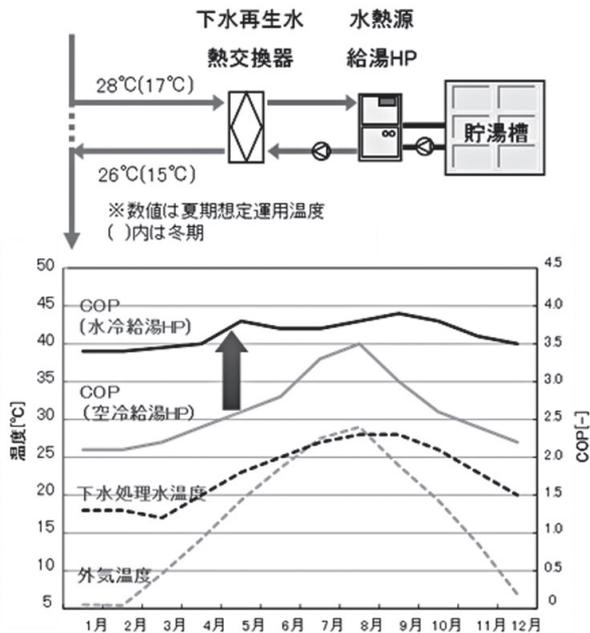


図3 排熱回収型と空冷HPのCOP比較

給湯運転は、深夜電力を活用した夜間給湯蓄熱式とした。理由として、給湯利用の後段に空調熱源の水冷ブラインチャラーの冷却水として利用をしているが、下水再生水の夏期温度が外気とほぼ同等と高いため、給湯での温熱回収後に、冷却水としてカスケード利用することで、ブラインチャラーの冷却水温度を下げる事が狙いであった。そのため、システムとして、ブラインチャラーと、給湯機の運転時間を、同時帯に設定することで、下水再生水の温度を低下させ、冷却効率を改善した。これらの下水再生水の熱利用による省エネルギー実績は、約92,000kWh/年となった。

3.2 下水再生水の水源利用

下水再生水の熱利用後は、一部を取水し、UF膜ろ過し、塩素を供給することで、便所洗浄水と敷地内せせらぎ補給水として活用した（図4）。これにより、上水の使用量

が大幅に削減でき、さらに雑用水として利用後は下水処理場に還ることで、下水処理場と当該施設の間で水資源の循環が構築される。よって、地域の上水の高精製エネルギー削減に貢献した。下水再生水の水源利用の実績として、約30,000m³/年の水道水削減効果となった。

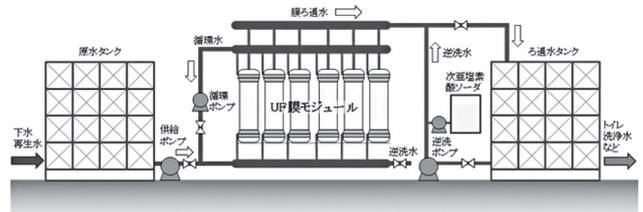


図4 下水再生水膜処理システム

3.3 デマンドレスポンス対応特型内外融氷蓄熱システム

本施設の熱源システムは、電力平準化時代に先駆けて、氷蓄熱システムを採用し、電力のピークシフトをおこなった。従来の氷蓄熱システムの運用と異なる点として、日中の電力逼迫時間帯に電力をさらに削減するため、デマンドレスポンスモードを取り入れた氷蓄熱システムを開発した。

従来の氷蓄熱システムは蓄熱槽の放熱と、追いかけるインバータスクリーチャーを併用することが多かったが、本件では、電力逼迫時間帯については、追いかける運転を停止し、代わりに氷蓄熱から大放熱することで、チャラーの消費電力とその補機動力を削減することが可能となる運転制御を取り入れた。氷蓄熱槽から大放熱を行う際、安定した冷水を取り出すため、従来の内融式氷蓄熱と外融式氷蓄熱を組み合わせた新システムにより、蓄熱槽内のコイルの中と外から放熱することを可能とした（図5）。これをデマンドレスポンスモードとし、自動的にモードを切換できるように、BEMSと連携した制御とした。

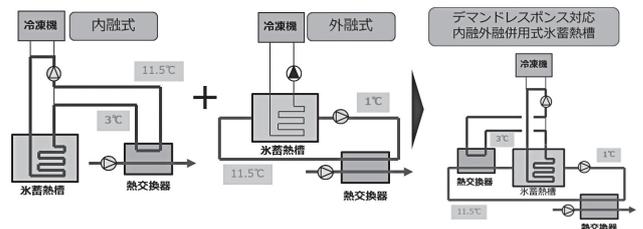


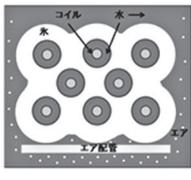
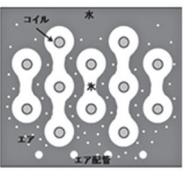
図5 内融式外融式を組み合わせた特型内外融氷蓄熱

次に、大放熱可能な氷蓄熱システムの開発に加え、高効率な氷蓄熱システムを実現する為、従来の内融式と外融式、氷蓄熱の良いところを組み合わせた特型内外融氷蓄熱システムを開発した。

はじめに、放熱特性のよい外融式氷蓄熱システムをベースにしたが、従来の外融式氷蓄熱はコイル周りの水厚を内融式と比較して厚くする必要があった。水厚が厚い場合、製氷時のブラインチャラーの冷水温度を下げる必要があり、

チラーの効率が低下する(表1)。よって、チラーの効率を上げるにはコイル周りの氷厚を薄くする必要があった。

表1 内融式外融式氷蓄熱槽比較

項目	内融式氷蓄熱槽	外融式氷蓄熱槽
イメージ		
冷凍機の効率	△ コイル間隔が狭いため、氷を薄くできる。水の厚みによる損失が少ないため、効率が良い。	× コイル間に水を流す必要があり、氷の表面積を確保する為、氷を厚くする必要がある。氷を厚くするとロスが発生する為、冷凍機効率が悪い。
放熱特性	○ コイル内をブラインが通過。氷と触れない為、低い温度がとりにくい。 コイル廻りが水の時、コイル内が冷えにくい為、即放熱できない。	◎ 直接氷に冷水が触れる為、低い温度で冷水が流れる。 常時氷に触れている状態のため、即冷水を取り出すことができる。
蓄熱槽の大きさ	◎ コイル廻りの水がつかなくても、ブラインはコイル内を通るため、流れに影響がなく、コイル間隔を狭くすることができ、氷蓄熱槽が小さくなる。	○ 氷に触れる表面積を増やす必要があるため、コイル廻りの水がつかないと、水の流れを阻害するため、コイル間隔が必要となり、氷蓄熱槽の容量が大きくなる。

氷厚を薄くするためには、氷蓄熱槽の大型化が必要となり、機器設置面積とイニシャルコストが課題になる。そこで、氷蓄熱槽の小型化を図った。従来、氷蓄熱は潜熱利用がほとんどであり、顕熱の利用は少なかった。そこで、顕熱利用を大きくするため、氷蓄熱内に堰をいれて、温度成層を形成した。冷水の還側と送水側で大きな温度差をとることで、放熱完了時の水槽内平均温度を大幅に上昇させ、顕熱利用域を向上した(図5)。

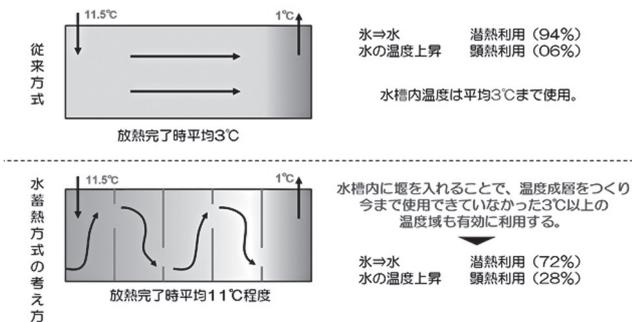


図6 氷蓄熱槽の顕熱利用域の向上

顕熱利用域を向上させることで、氷蓄熱槽容量を小型化し、コイル周りの氷厚を薄くすることが可能となり、ブライントララーの冷水温度を高く制御することが可能となった。

内融式、外融式、氷蓄熱式の特徴を組み合わせたことで、特型内外融氷蓄熱システムは、ブライントララーの送水温度は-3°Cで供給することができ、効率が上昇した(図6)。

特型内外融氷蓄熱槽の顕熱利用域の実績データは、放熱運転完了時、水槽内平均温度が11.5°Cとなった。従来の放熱完了時の平均が3°Cであることから、冷水取り出し温度を1°Cとしたとき、顕熱利用域は5倍以上となった。

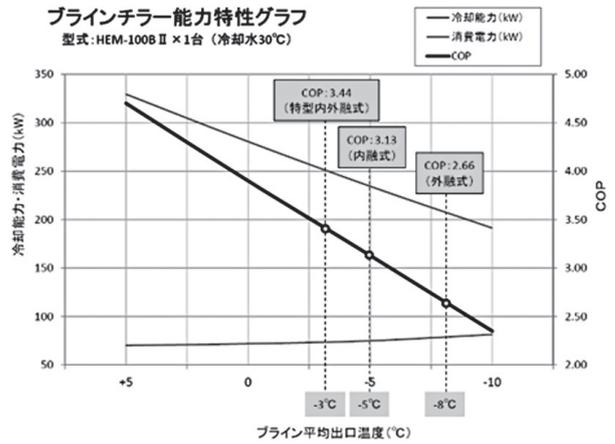


図7 ブライントララーの能力特性

4. 経済性

デマンドレスポンス対応特型内外融氷蓄熱システムは、従来の外融式に比べ氷蓄熱槽を小型化できるため5%程度コストダウンできる。なお、従来の内融式に比べれば4%程度コストアップとなる。ただし、従来の内融式に比べ5%、外融式に比べ9%システム効率アップとなる。

省コスト：ガス吸収式冷温水発生器+電気熱源給湯HPシステムとの比較として、従来冷却塔に利用する上下水道料金含め、約46%の省コストとなった。

5. おわりに

本件で取り組んだ、下水再生水の熱のカスケード利用と水源としての利用は国内初の取り組みとなった。年間を通して安定した温度の下水再生水は、特に外気予熱、排熱回収型給湯機で省エネルギーを実現できた。また、給湯で熱回収を行った後の熱源の冷却利用については、冷却塔の代わりに利用できることで、給排水使用量が大幅に削減可能であり、設置面積も小さくなる。給湯利用が多い施設で採用した場合、省ランニングコストだけでなく、省エネルギーにも期待が持てるシステムである。

また、雑用水利用についても、商業施設という多くの人が利用する施設において、便所洗浄水としての利用は大幅なランニングコスト低減となり、本件においては、商環境の中で憩いの空間を創出する「せせらぎ」に親水用水として安価な補給水として利用できたことは、地域とお客様に貢献できるシステムとなった。

謝辞

最後に、本取組にあたって、下水再生水利用を積極的に推進して頂いた、堺市をはじめ、建築主であるイオンモール株式会社、技術協力を頂いた関西電力株式会社、他多くの関係者の皆様に御礼申し上げます。