

下水熱利用の効果と導入検討時の留意点

三毛 正仁

株式会社 総合設備コンサルタント

〒151-0072 東京都渋谷区幡ヶ谷1-34-14

Effects and Issues to be Considered When Utilizing Sewage Heat Energy

Masahito Mike

Sogo Setsubi Consulting Co.,Ltd.

1-34-14 Hatagaya, Shibuya-ku, Tokyo

Abstract: We here report the effects and issues of energy utilization of sewage heat based on the experience of the case studies conducted by Sogo Setsubi Consulting Co.,Ltd. In consideration of national trends and other factors, notes and attentions when introducing sewage heat recovery system are presented from practical perspectives.

Keyword: 下水熱利用システム(Sewage heat recovery), 再生可能エネルギー(Renewable energy), カーボンニュートラル(Carbon neutral)、熱貫流率(Thermal transmittance), 省エネ(Energy saving)

1.はじめに

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、太陽光発電をはじめとした再生可能エネルギーは、ますます推進がされていく状況である。その中で、再生可能エネルギー熱についても、さらなる利用拡大が求められている。2021年6月に取りまとめられた「地域脱炭素ロードマップ」（内閣官房、国・地方脱炭素実現会議）においても、再生可能エネルギー熱利用の促進のなかに、下水熱の地域内活用が位置づけられている。

下水は、大気に比べ冬期は暖かく、夏期は冷たい特性を持つ点、社会活動が行われている限り枯渇しない点、加えてインフラとしての下水道ネットワークを通じて都市内に安定的かつ豊富に存在する再生可能エネルギーである点で有用性があるといえる。しかし、実事例が少ないことによる各種情報が少ない点、コストが高い点などの要因もあり、まだまだ普及が進んでいないのが実態である。

弊社は、下水熱利用の普及促進のため、下水熱利用技術の研究開発の他に、国土交通省や環境省からの委託業務の中で、「下水熱ポテンシャルマップ作成の手引き」のとりまとめをはじめ、下水熱アドバイザー事業などを通して地方公共団体等への支援などの取り組みを行ってきた。本報では、これらの取り組んできた事例などから、下水熱利用の効果や課題などを紹介する。

2.取組紹介事例の概要

下水熱は、図1に示すイメージの様に下水温度と気温との温度差が大きく出るのは、冬期である。また、外気温よりも低い期間よりも外気温よりも高い期間の方が長いことから、温熱需要に適している再生可能エネルギー熱である。その点でも、冷暖だけでなく中間期も存在する空調利用よりも、年間を通じて生じる給湯（温水）への利用など温熱需要への適用の場合にメリットが大きくなる。

そこで、温熱への適用例について、管路外取水方式により温水プールへの適用を行った倉敷市の導入事例と、融雪への適用可能性について小規模実験を行った事例を紹介する。

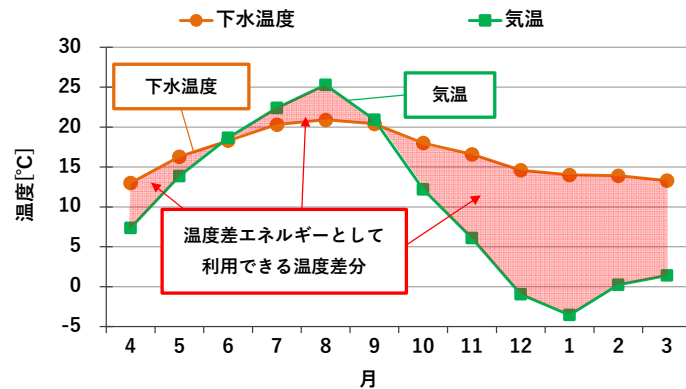


図1 下水温度と気温の比較と利用温度差のイメージ¹⁾

2.1 倉敷市における取水方式下水熱利用の導入事例

倉敷市の事例では、市有施設の屋内水泳センターにおける温水プールの温水の昇温に対して下水熱利用システムを導入した事例である。全国的な傾向として、下水道自体の普及拡大としての整備事業はかなり進んでいるため、維持管理が下水道事業者の重要な事業となっている。しかし、下水道整備を始めた時代と比べ、人口減少、節水器具の普及などにより下水道事業の収入が減っており、老朽化ストックは年々増える中での維持管理事業は厳しい実態がある。そのような背景の中、新たな役割として収集・処理に加え、下水道資源の有効活用や省エネ・省CO₂を図ることで、下水道施設・事業に付加価値を与えていくためのモデルとして取り組まれた事例である。また、屋内水泳センターは、熱源改修時期が来ており、敷地内の直近に下水道が流入しているという良い立地条件であった。加えて、国交省事業による下水熱アドバイザー事業によるフィージビリティスタディにより下水熱による効果大きいという試算結果を踏まえ、事業化が進んだ。

(1) 施設概要

倉敷市屋内水泳センターは、7コースの25mプール、8コースの50mプール、そして幼児プールを有する施設である。下水熱利用システムを含む、屋内水泳センターと下水道配管等の立地図を図2に示す。導入した下水熱利用システムは、管路から取水し熱交換を行う、管路外熱交換方式システムである。Φ1200の下水道管からポンプ場に流入する途中の市有施設敷地内のマンホールにてポンプにより取水を行い、熱交換器により採熱を行う。熱交換器から水泳センター直近のヒートポンプまでの熱源水配管長は約134mの埋設配管である。事業者は倉敷市であるが、所管する課が異なるため、責任分解として、下水取水～熱交換器までは下水道事業者、熱交換器からの熱源水配管～ヒートポンプを含む施設側は施設側所管課の管理である。なお、当該システムは、平成29年度に工事行い、国交省と環境省の補助事業を活用している。また、兵庫県以西では初の導入事例、下水処理場以外での管路外熱交換方式は国内初という点がPRポイントである。



図2 倉敷市屋内水泳センターの配置図²⁾

(2) 下水熱利用システム

導入した下水熱利用システムは、熱交換能力設計目標値 $1\text{kW}/\text{m}^2\text{K}$ 、ヒートポンプ加熱能力は約 100kW 程度のシステムである。なお、バイオフィームによる熱交換性能の低下率は約 $50\sim 60\%$ と見込んでいる。ヒートポンプにより 50°C の温水を生成し、プールの温調を賄うことを主目的としたシステムである。プール側の温度は、概ね 32°C 程度を保つ必要がある。システムの特徴の一つには、本来下水熱利用を行う場合は、貯湯槽を設ける必要があるが、プール自体を大きな貯湯槽という捉え方によりコストダウンと限られたスペースでの導入を行った。全体システム構成を図3、下水側システム概念図を図4に示す。なお、本システムの下水熱アドバイザー事業における導入可能性検討と、当該システムの設計は弊社がおこなったものである。

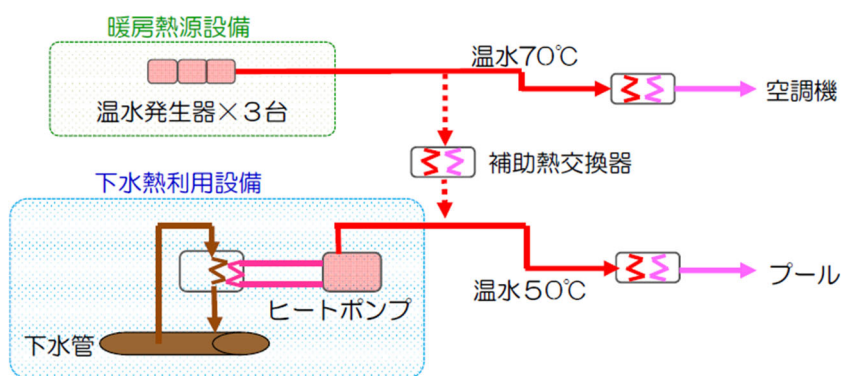


図3 全体システム構成図²⁾

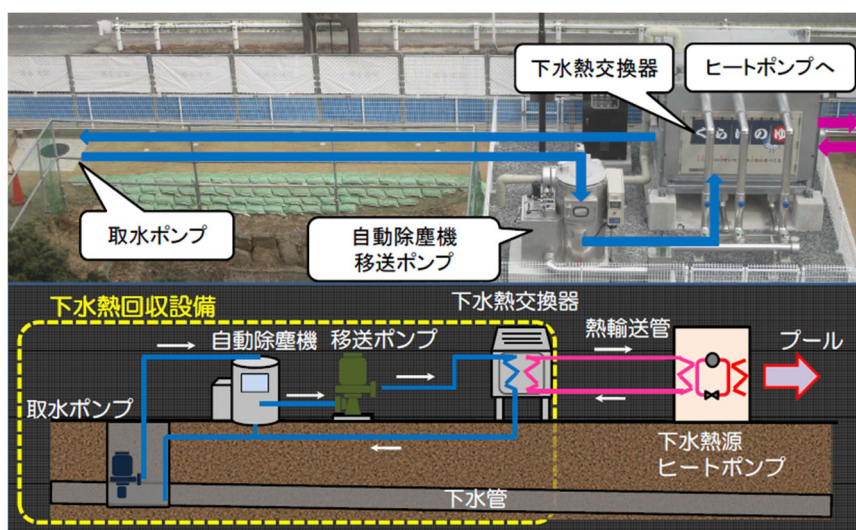


図4 下水側システム構成図²⁾

(3) 性能結果

下水熱利用において重要な点は、バイオフィームによる熱交換器の採熱量の低下をどの程度見込むかということである。本事例において、バイオフィームが発生しやすい夏期において熱交換器の熱通過率の計測結果を図5に示す。結果は清掃を行った直後をスタートとした数値である。結果を見ると、清掃直後は約 $1,200\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ であった。清掃3日後に、約 $400\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ まで低下し、以降低下はほぼ見受けられなくなる。熱通過率の設計値は清浄時を想定して $1,000\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ となっており、試験において設計値が確保されていることが確認されたとともに、約 60% 程度性能が落ちることが分かった。なお、これは、弊社が別途実施したNEDO事業により下水熱利用の研究における性能試験結果でも同様の傾向であったことを確

熱透過率[W/m²K]

● 熱透過率
K W/m²K

設計値1000W/m²K

約800W/m²K低下
(約60%)

清浄時は設計時の性能が
出ていることを確認

日付	熱透過率 [W/m²K]
2018/9/11 0:00	1100
2018/9/11 0:00	1050
2018/9/11 0:00	1000
2018/9/11 0:00	950
2018/9/11 0:00	900
2018/9/12 0:00	1000
2018/9/12 0:00	950
2018/9/12 0:00	900
2018/9/12 0:00	850
2018/9/12 0:00	800
2018/9/13 0:00	600
2018/9/13 0:00	550
2018/9/13 0:00	500
2018/9/14 0:00	500
2018/9/14 0:00	450
2018/9/14 0:00	400
2018/9/15 0:00	500
2018/9/15 0:00	450
2018/9/15 0:00	400
2018/9/16 0:00	400
2018/9/16 0:00	350
2018/9/16 0:00	300
2018/9/17 0:00	300
2018/9/18 0:00	300

もう一つの事例では、融雪への下水熱利用の適用について紹介する。既に新潟駅前バスターミナル前の歩道部では、管路内に樹脂製の熱交換器を設置し、舗装内に埋設しているロードヒーティングパイプ内の熱媒との熱交換を行い、ポンプにて循環をさせるだけにより歩道を融雪させるという事例もある。樹脂製の熱交換器は耐食性が強い点と安価である点はメリットだが、熱通過率が小さいというデメリットがある。そのため、同じ熱交換量で考えると、金属製などと比べ熱交換器の設置面積を大きく取る必要が生じてしまう。また、必要な融雪面積が大きい場合に、下水熱交換器を設置できる区間長が短い制限がある場合は、採熱量が足りなくなってしまうリスクもある。一般的に、施工距離が長くなると工事期間が長くなる可能性や、材料費が安くても、仮設工事費や設置工事費が高くなり、結果的に工事費が高くなる可能性も生じる。

(1) 事業概要

(2) システム概要

当該事例では、車道融雪と下水管路の空間的要件はマッチングするが、融雪が必要な時間と供給できる時間の時間的なタイムラグを解消させる必要があり、その解決策として舗装への蓄熱を考慮することにした。また、金属製熱交換器を用いることで、比較的短い区間長での設置を可能とした。以上の2点が当該研究開発の特徴といえる。

システムとしては、下水管路内に金属製熱交換器を設置し、ヒートポンプを用いて昇温した不凍液を舗装内に埋設したロードヒーティングパイプ内を循環させる仕組みである。システム概念図を図6に、下小規模実験における下水熱利用システム図を図7に示す。小規模実験は、 2m^2 の舗装内にロードヒーティングパイプを埋設したが、埋設していない舗装部との影響を考慮し、周囲50cmをバッファゾーンとして除き、中央部 $1\text{m} \times 1\text{m} = 1\text{m}^2$ の正方形部分を評価対象とした。

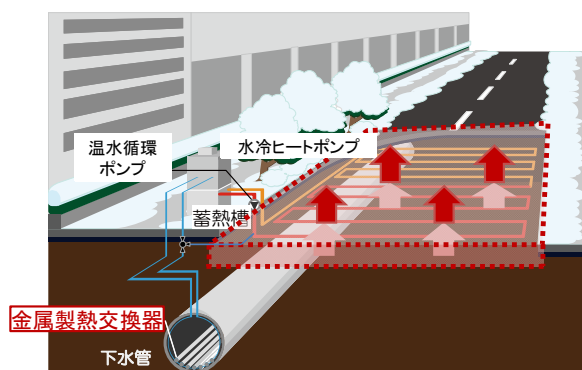


図6 下水熱利用による道路融雪システム概念図

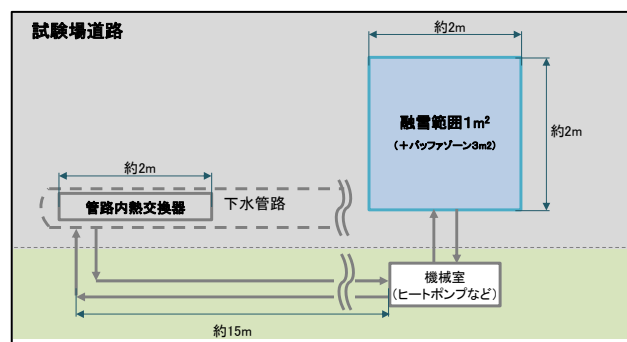


図7 小規模実験における下水熱利用システム図

(3) 性能結果

小規模実験は、ヒートポンプ出口温度を $15^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ までを 5°C 刻みで変化させた試験を行った。実験当時である2016年は比較的暖冬ではあったが、旭川市内は12月～2月で外気温度も日中に天気の良い時でも、 -5°C 程度より上がることはなく、夜間などでは $-15 \sim -20^{\circ}\text{C}$ くらいまで下がる状態であった。

実験の結果としては、全ての温度帯の送水温度で問題なく融けることが確認できている。その中でも本報では、低温の 15°C 送水時の路面の様子を示す（写真1，2）。写真1は、2016年12月19日00：00頃であり、雪はなく、路面が濡れているのが確認出来た。外気温の平均が -5°C 程度であったが、表面温度を平均 3°C 以上保っており、凍結せず濡れた状態を保っていたことがわかる。また、写真2に示すように、約6時間後の融雪状況をみる限り、外気温が 0°C 以下でも、送水温度 15°C と比較的低い温水による融雪は可能であることがわかった。なお、北海道開発局が平成28年度時点で定めているロードヒーティングへの設計発熱密度は、道東地域においては、外気温 -15°C 、最大降雪量3cm下において $300\text{W}/\text{m}^2$ であった。当該試験結果では、同一の類似条件時には、路面の発熱密度が $330\text{W}/\text{m}^2$ であり、基準をクリアしていることがわかった。このように小規模試験で得られた性能結果を用いて、旭川市内において 500m^2 の車道に下水熱融雪システムを導入した場合の効果の試算を行った。当該システムに、路面温度に応じ



写真1 2016/12/19 00：00：00の様子

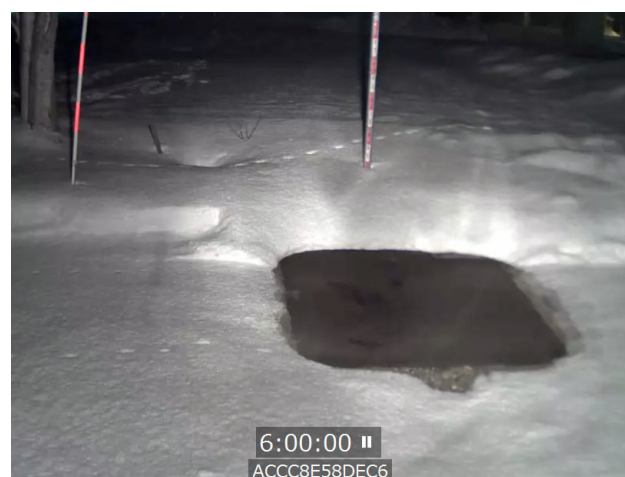


写真2 2016/12/19 06：00：00の様子

てロードヒーティングパイプ内の送水の発停、ヒートポンプの発停等制御を組み合わせた下水熱融雪システムと、ガス式のロードヒーティングシステムとを比較した場合、エネルギーコストは約33%低減できることが分かった。しかし、イニシャルコストは舗装工事が総事業費の86%程度を占めて支配的になり、残る24%の設備工事の中でも、熱交換器の施工費が多くを占めることがわかった。そのため、投資回収年数は補助金無しで30年と試算された。

下水熱の融雪への適用性についての研究開発事業からわかったことは、下水熱は融雪への適用は可能ではある。省エネ効果も高いため、エネルギーコストを下げることができ、自治体の財政が厳しい中で、除雪に係る費用が削減できると思われる。ただ、自治体など導入者としては、小実験で確認された融雪能力だけでは、実導入に向けた判断材料として扱うことが難しいことも事実である。また、イニシャルコストが高く、設備分に限ったとしても、熱交換器の低コストが今後普及のポイントとなり、施工まで一体となった検討が必要であることが分かる。

融雪に限った留意点として、今回の条件下では融けていたものも、寒さがより厳しくなる、もしくは、降雪量が増えるなど外気条件が変われば、融雪に要する時間もより長くなることが想定される。また、一度でも雪が堆積してしまえば、完全に融かすまでにより長くの時間を要することから、可能な限り、積もる前に迅速に融雪が行われる必要があると考えられ、高温水と比較して、最大供給可能熱量が少ない低温水のみによる融雪は、迅速かつ安全な融雪という点では難しいと思われる。そのため、低温水、高温水など、外気条件にあわせた温度別送水の組み合わせによる融雪システム等も有効であると考えられる。

3.国交省の動向

下水熱利用については、国交省の方でも下水道法改正をはじめ、導入の参考となる下水熱利用マニュアル(平成27年度版)が出ていた。しかし、導入事例が増えてきたこともあり、改めて内容の見直しを行う時期という判断のもと、弊社では「令和2年度下水熱の利用推進に係る調査検討業務」の委託を請け、「下水熱利用マニュアル(案)」(令和3年版)³⁾を策定した(図8)。詳細については、マニュアルを参考にされたいが、記載のポイントとしては、下水熱利用については、自治体との協議において重要な3点(道路占用許可、管路内使用の許可、熱利用料金の設定)についての記載が行われている。

国交省としての動向は、カーボンニュートラルに向け、下水汚泥などの活用や、下水処理施設での近隣バイオマス資源の受け入れ等など、幅広い視点で下水道資源の活用という位置づけの一つとして下水熱利用も含まれており、下水道コンシェルジュ事業により支援を行っている。



図8 下水熱利用マニュアル(案)³⁾

4.まとめ

本報では、弊社が関与した下水熱利用の事例紹介の中で、給湯(温水)への適用がメリットがあること、熱交換器の性能やCOP値の例を示した。下水熱利用の普及が遅れている要因として、①熱交換器の選択肢が少ない。②土木領域と建築設備領域との両方の調整が必要になり、手間もかかり、イニシャルコストも上がってしまう。という2点が大きな課題であると考えている。一つ目の課題については、低コストな技術開発が必要になってくる。二つ目の課題に対しては、関係者が複数出るのはやむを得ない

が、検討する機会を増やし、採算性が見込める場合は事例を作ることが重要であるとする。例えば、下水熱の持つポテンシャルは大きく、場所によっては地域熱供給レベルまで賄える地点もある。インフラである下水道を活用するためには、スケールメリットも大きく取れると投資回収年数も早くなり事業性も見込まれてくる。そのためには、再開発時などには有効な再生可能エネルギーの一つとして検討を行うことは重要であると思われる。また、検討のためには、どこにどの程度の熱量があるかを見える化する下水熱ポテンシャルマップの作成なども有効であると考えられる。

弊社は、これまでに下水熱利用技術開発やポテンシャルマップの作成や導入支援、下水熱利用システムの設計など、導入に至るまでの支援を行ってきた。今後も、継続してカーボンニュートラルへの貢献の一つとして、建築設備設計とエネルギーソリューションサービスの展開を行っていくものである。

参考・引用文献

- [1]. 株式会社総合設備コンサルタント技術年報 Vol.46（2021 年度）、株式会社総合設備コンサルタント、令和 3 年 10 月 18 日
- [2]. 第 10 回下水熱利用推進協議会資料、資料 3-2 倉敷市における未処理下水からの熱利用について<<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001315505.pdf>>、国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部、平成 30 年 3 月 8 日（閲覧日：2021 年 12 月）
- [3]. 下水熱利用マニュアル（案）、国土交通省 水管理・国土保全局下水道部、令和 3 年 4 月 22 日