

管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用

田 熊 章

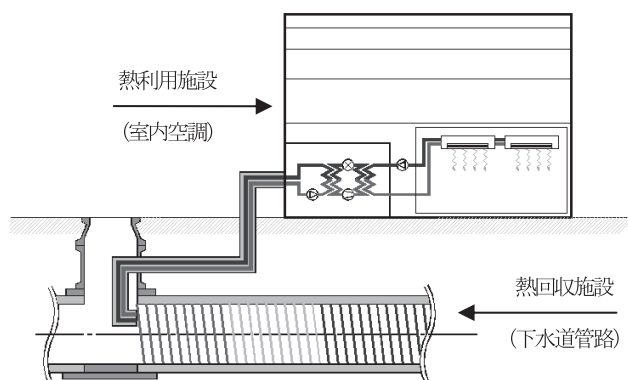
エネルギー資源の乏しい日本では、限りある資源の有効活用化を考えることが重要である。水力発電や原子力発電等に代表されるように遠隔地にて生産された莫大な電力は、送電線を伝わり、転送中に電気を失いながら各家庭まで伝わってきている。その意味で地産地消は、非常に効率の良いものである。私たちの身近に存在する下水道は、水インフラとして既に管路が張り巡らされており、その管路からエネルギーが回収できれば新たな熱エネルギー供給源として期待できる。しかも、下水道の管路網は、人口密集地に集結しており多様化する人々のライフスタイルから下水の流下があるならば長時間にわたって採熱(排熱)することが可能である。採熱システムを構築すれば、従来ならば排出していたエネルギーを半永久的に回収し続けることが可能となるのである。また、下水道管路は、敷設後 50 年を経過した物が増加しており、老朽化による陥没事故が増加しているため、インフラを守るためにも早急に管路更生を施し延命するべきとの声が年々高まってきている。下水道熱を利用しながらインフラの更生が行える画期的な管内設置型熱回収技術を紹介する。

キーワード：下水熱，ヒートライナー，融雪，空調，十日町市，東亜グラウト工業，B-DASH，管路内設置型熱回収，下水熱利用プロジェクト構想構築支援事業

1. 平成 24 年度 B-DASH プロジェクト

(1) はじめに

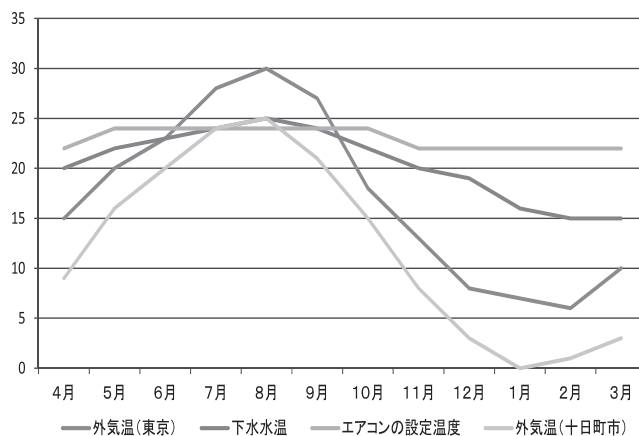
国土交通省（国土技術政策総合研究所）により実施された平成 24 年度の B-DASH プロジェクト（下水道革新的技術実証事業）のうち、「下水熱利用技術」として、大阪市，熱回収配管メーカーの三者にて共同研究を行っている。この技術の概要は、図—1 下水熱利用の概要に示すとおり、下水道管路を用いた熱の運用である。研究によって熱利用が確立されれば老朽化した管路を更生しながら下水道の熱を活用することが可能となる画期的な技術である。



図—1 下水熱利用の概要

(2) 下水熱利用の仕組み

下水道管路は、地中内に埋設されているため太陽による熱の影響を受けにくく図—2 下水と外気の平均温度比較に示すとおり外気温に比べて下水温度が安定している。しかも、年間を通じて変動幅が小さく、冬は暖かく夏は冷たい傾向にある。従来の空気型熱交換器は、外気を利用するため気温の変動幅が大きく、その分熱交換器に負荷がかかるため消費電力が大きくなってしまふのである。利用する熱の移動は、冬季と夏季によって異なり、冬季は下水から熱を採取し暖房として利用し、夏期には熱を放出することで冷房とし



図—2 下水と外気の平均温度比較

て利用するのである。つまり、下水道は、外気と比較して安定した温度である特性を活かすことで、高効率でヒートポンプの運転が可能となり消費電力を抑制することが可能なのである。この傾向は、外気温が低い地域である程に下水温度との差が開くため顕著となる。

この様に、安定した温度の下水を利用する合理的な構想は、過去にも活用されることがあったのだが、下水処理場やポンプ場の近傍での利用が中心となり、離れた場所では送水管路などの施設が必要となることから、建設コスト等が増大するという懸念があった。また、処理水とはいえ、下水そのものを利用することから脱臭設備等の対策が必要であった。

現在研究中の管路内設置型の熱回収技術は、熱交換専用の熱交換器および熱輸送専用の一次循環配管が施されており、下水温度のみを循環水に置換してクリーンに輸送して空調等に利用することができるのである。

(3) 共同研究について

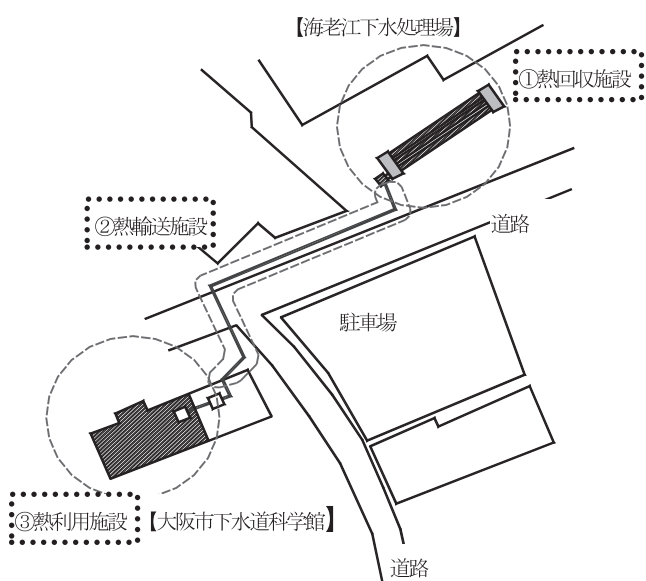
B-DASH プロジェクトは、国総研からの委託研究で有り三者共同体が受託して研究を進めた事業である。この三者の共同体は、下水から熱を交換して施設の空調に利用し、日々のデータを計測する実規模の研究を行った。実証事業は、平成 24 年 6 月より計画および実証施設の建設を行い、平成 25 年 2 月中旬から平成 26 年 3 月までに本格的な計測研究を行った。

実証設備は、図—3 実証試験の位置図に示すとおり①熱回収施設、②熱輸送施設、③熱利用施設の三施設から構成されており、熱回収施設にて下水熱の採熱（排熱）を行い、熱輸送施設にて熱の伝達が行われ、

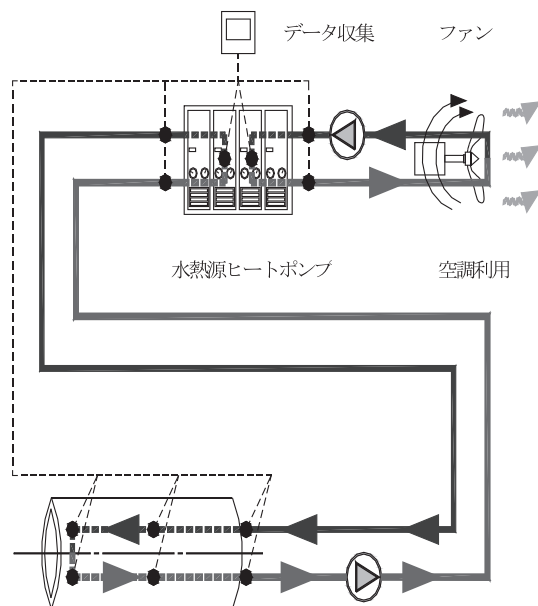
実際の施設で空調に利用したのである。熱回収施設は、阪神電鉄淀川駅西側に存在する海老江下水処理場（大阪市此花区、処理能力 32 万トン／日）の敷地内に、老朽管を想定した内径 900 mm の実験用下水道管路を延長 $L = 80$ 布設している。そして、その内面に耐震性を有する管路更生と同時に熱交換器を設置し、既設の沈澱池から分配槽を経由した生下水を実験用下水道管路内へ流下させる実現場を再現したのである。熱交換器の内部は、不凍液が流れており下水温度のみを置換して輸送するのである。熱輸送施設は、ポリエチレン管で構成されており海老江下水処理場から約 100 m 離れた下水道科学館の地下 1 階の機械室に設置するヒートポンプ設備まで、道路横断部を含む地下に埋設されている。熱利用施設は、下水道科学館の地下 1 階 515 m² を対象としており、海老江下水処理場からヒートポンプ設備までを循環する一次配管と、ヒートポンプ設備から地下 1 階の既設空調設備を循環する二次配管で構成されている。

(4) 計測内容と中間結果

実験の概要は、図—4 実証試験のフローに示すとおりである。研究は、実際に開館中の下水道科学館（9:00～17:00）の空調を利用しながら行われ、各施設および配管の重要な箇所に計測機器が取り付けられている。これらの計測機器は、流量計や温度計、圧力計を 30 箇所以上設置しており、1 分間隔にてデータを計測し常に仮設事務所へ転送しながら管理を行っている。特に、ヒートポンプの前後のデータは重要であり、消費電力量を計測することで、回収熱量、消費電力、加



図—3 実証試験の位置図

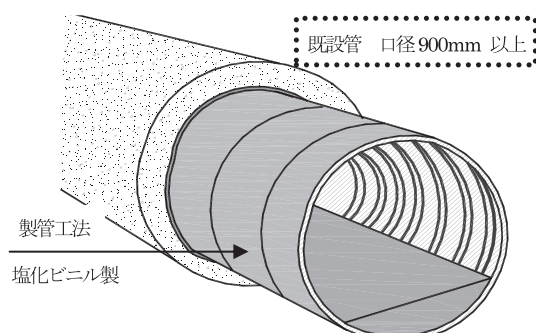


図—4 実証試験のフロー

熱能力（回収熱量と消費電力の和）を求めており、成績係数（COP）にて評価を行った。研究結果は、日平均 COP として 4.3 と良好な運転（空気熱源式 3.3）であることを確認している。また、従来方式の管路外設置方式と比較して建設費で 39%削減、維持管理費で 23%削減、CO₂ 排出量・エネルギー使用量で 14%削減が可能となる結果を得ている。

(5) 熱回収技術について

平成 24 年度の B-DASH プロジェクト（下水道革新的技術実証事業）は、熱回収施設に熱回収配管メーカー保有の更生技術「製管工法」を用いて計測研究を行った。この更生技術は、図一 5 熱回収施設（更生技術「製管工法」）に示すとおり、塩化ビニル製帯状更生材を管路内へ螺旋状に巻き立てることで新設管を構築する仕組みである。この更生材にポリエチレン製熱回収管が埋め込まれているため、更生工事と同時に熱交換器を設置することができるのである。熱回収管は、同様に螺旋配置しているため管周方向へ回りながら熱の伝達が行われる。



図一 5 熱回収施設（更生技術「製管工法」）

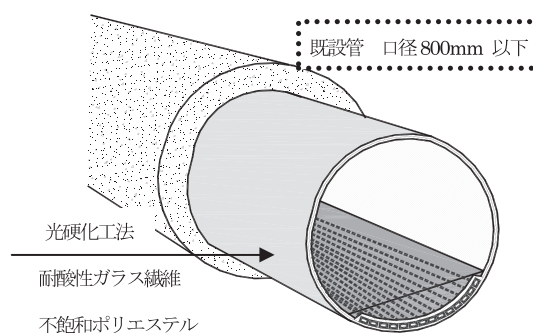
2. 小口径型の下水道熱利用技術

(1) ヒートライナー工法

前章で紹介した製管工法による採熱技術は、設置するために口径 900 mm 以上の埋設された既設管を対象としている。そのため、下水道管路として非常に多い小口径には自社技術の「ヒートライナー工法」（以下「本工法」という）を用いることで対応することができると考えている。この技術は、管路内設置型熱回収技術の口径 800 mm 以下の既設管を対象とした技術であり、管更生技術を「光硬化工法」にて行うのである。これら、既設管径に応じて適用する熱回収技術は異なるが、両工法とも更生工法として確立されている工法であり老朽管を更生することが可能となっている。

本工法とは、800 mm 以下の小口径管路を対象とし

た管路更生および下水熱利用の技術であり、自社技術の更生技術「光硬化工法」を用いている。特徴は、照射された光にて更生材を硬化させる方式であるため温度にて硬化させる方式と異なり湧水等の現場環境に左右されず、また硬化時間がφ 200 で約 1m 程度と速いため施工時間が短縮される工法である。この更生技術は、図一 6 熱回収施設（更生技術「光硬化工法」）に示すとおり、耐酸性ガラス繊維と光硬化性不飽和ポリエステル樹脂で構成されており、更生材を管路内へ引き込み、空気圧にて拡張させた後に紫外線照射によって確実に硬化させることで新設管を構築する仕組みである。熱回収管は、管底部にあたる更生材と下水道管路の隙間に配置しているため管軸方向へ熱の伝達が行われる。「製管工法」による採熱技術と同様に実証規模にてデータを取得していく計画である。



図一 6 熱回収施設（更生技術「光硬化工法」）

この本工法の原理は、採熱先進国のドイツで生まれ既に研究されている技術である。日本の下水道におけるφ 800 以下の小口径管路が占める割合は、80%以上と言われており日本でも実用性が高く開発が急がれる技術である。大口径管路の場合は、下水と接する面積が大きいため熱の運用が安定する点で有利であるが、実用が求められている小口径管路にこそ技術を確立する必要がある。下水道管路は、満水で流下することは少ないため、如何に効率よく熱の伝達を行えるのかが重要である。

本工法は、図一 7 システム概要図に示すとおり下水管路を流下する水深の変化に影響せず常に安定して管底から熱の採取（排出）が行えるため、大口径と同等程度の評価が得られると考えている。

また、管内面の状況は、付属品等の新たな設置の必要がなく通常の更生管と同様であるため流下阻害の影響が無い点も特長がある。

(2) 本工法の実証試験計画

管路内設置型熱回収技術の 1 つである「本工法」に

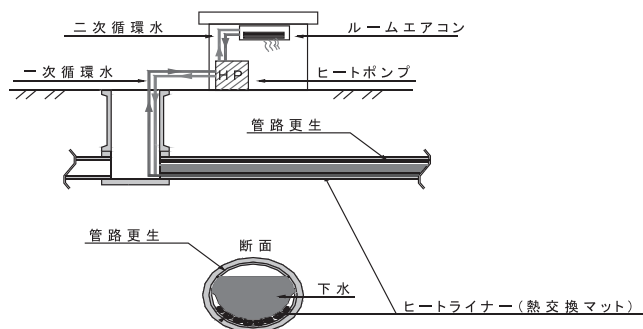


図-7 計画の位置図



図-8 十日町市の位置図

ついて、実運用を通じて技術的課題や有効性を検証するため、新潟県十日町市の協力を得ることとした。そして、平成25年度に国土交通省の「下水熱利用プロジェクト構想構築支援事業」を活用することで具体的な計画を立てることとした。

この支援事業では、計画から運用に至るまで有識者から適切な助言を頂くことにより、小口径管での下水熱利用に関する計画を策定したのである。具体的な内容は、下水道から熱を利用するための手順として、利用施設側の必要負荷を設定しヒートポンプの選定を行い、下水熱から得られる熱量との検証を行うことで実際の需要側の要求に適合する施設の建設を計画したのである。

翌年度に十日町市とは、下水熱利用プロジェクト構想構築支援事業にて計画した内容で実証施設の建設を目指すこととなった。その目的は、空調利用の実証研究のみならず、将来の融雪分野での活用を視野に入れた研究とするための基本データとするためである。そして、26年10月には、この実証施設の建設に着手し12月から1年間の運用データを得ることで本工法にて得られる下水熱の有効性を判断する計画である。

(3) 本工法の実証試験

十日町市は、図-8 十日町市の位置図に示すとおり新潟県の南部に位置し周囲は山に囲まれており冬には3mの積雪となる程の「特別豪雪地帯」である。また、市域内に流れる信濃川と洩海川水系沿いに水田が広がるため米作が盛んな地域であり、織物や着物の日本有数の産地としても有名である。

今回の研究に使用する実証施設は、十日町市が管理する施設であるため採熱する下水道管路からの距離も近く、実証と検証を確認する目的として最適な位置関係にある。この施設の位置は、図-9 計画の位置図に示すとおり JR 飯山線・ほくほく線の線路付近であり、最寄駅の「しんざ駅」からは、徒歩約12分程度の距離に位置している。この施設内の事務室（約



図-9 計画の位置図

25m²)を下水熱にて賄う計画である。既設管は、管径Φ800であり人孔間の距離は56.7mである。

実証試験施設の概要は、図-10 実証試験施設の概要図に示すとおり、B-DASH プロジェクトと同様の考えであり①熱回収施設、②熱輸送施設、③熱利用施設の3つの施設にて構成されている。①熱回収施設とは、道路下のΦ800下水道管路内に新規に敷設される熱源システムのことで、②熱輸送施設とは、熱源システムから利用施設までに熱を輸送する一次配管システムのことである。また、③熱利用施設とは、ヒートポンプ（熱変換装置）、室内の二次配管と空調システム

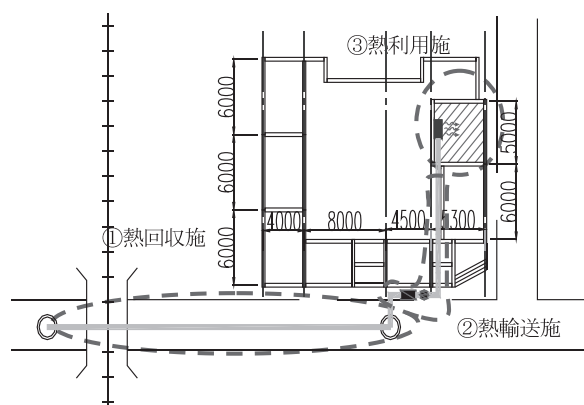


図-10 実証試験施設の概要図

である。

熱利用施設は、事前に熱負荷の状況を調査し計算を行った上で熱運用の計画を立てている。本計測研究では、下水熱源の他に空気熱源式の空調機を設置し同一施設内にて水熱源式と空気熱源式の比較を行える様にすることで有効性を判断できる様にした。また、平成27年4月までの計測結果から融雪への有効性を判断する予定である。

3. おわりに

管路内設置型の熱回収技術は、期待されている技術であるが年間を通した長期計測と運用実績を増やすことで実用できる技術であることを確認することが重要である。これらの研究を進めることで変動する外気温と運転効率について検証されることとなり、管路内に付着するバイオフィルムの影響も明らかとなってくる。また、従来式技術は、室外機を設置するので外気へ熱を放出するため温暖化への影響があると言われている。この技術は、下水道管路内へ熱のやり取りが行われるため、ヒートアイランド効果の抑制にも期待されている。また、下水道から得た熱は、ヒートポンプを介して利用するため、給湯やロードヒーティング、

融雪等への応用も考えられる。管路内設置型の熱回収は、老朽管路更生と熱エネルギー利用といった現在の日本にとって有益な技術であるため本研究にて技術を確認し全国へ普及されていくことを期待している。

J C M A

《参考文献》

- 1) 水窪俊博「大阪市における下水熱活用プロジェクトについて」、公益社団法人 日本下水道協会 8月号 特集
- 2) 水窪俊博, 中井健司, 川口敏彦, 松橋学「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業」、公益社団法人 日本下水道協会 第50回下水道研究発表会講演集
- 3) 第24回非開削技術研究発表会
管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用について (東亜グラウト工業㈱)
- 4) 日経コンストラクション (2014.2.24)
シリーズ: 成長分野で強くなる。活用に動き出す都市の“埋蔵熱源”
空調から路面融雪まで多様に展開
- 5) 岡田和貴, 松本真輔, 田熊 章, 川住 亮太「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業 (第2報)」, 公益社団法人 日本下水道協会 第51回下水道研究発表会講演集

【筆者紹介】

田熊 章 (たぐま あきら)
東亜グラウト工業㈱
管路メンテグループ 技術開発室
課長

