

「下水熱利用技術と普及へ向けた課題」

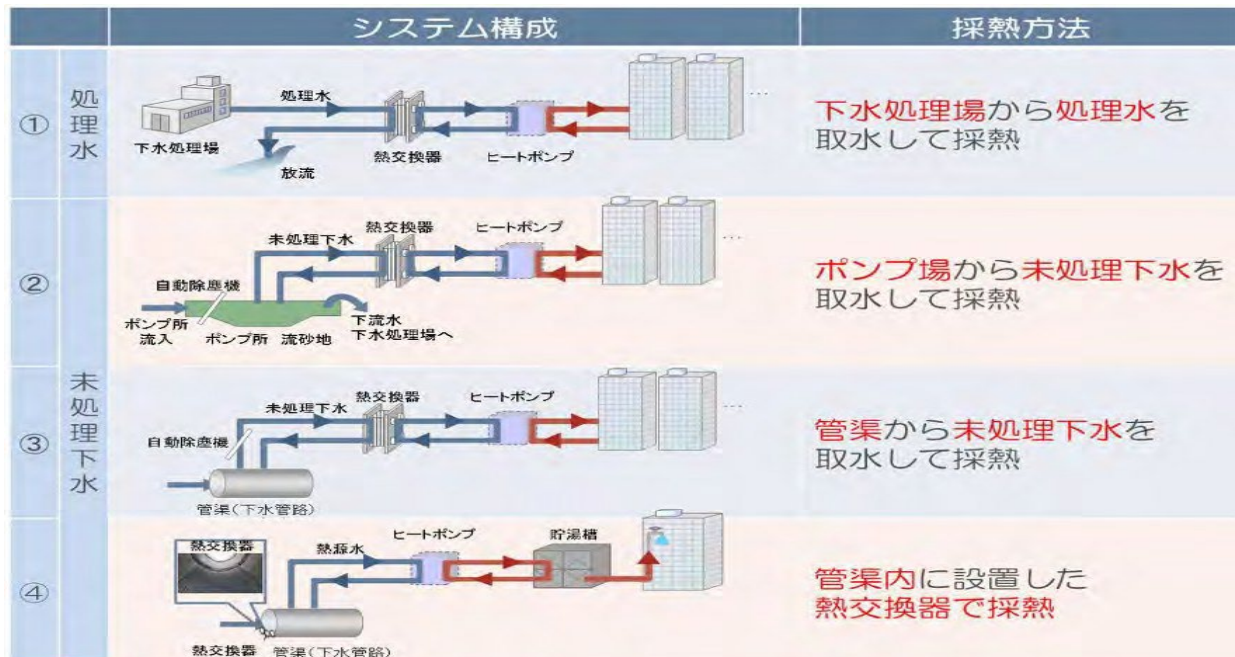
大阪公立大学都市科学・防災研究センター特任教授(大阪市立大学名誉教授)中尾正喜氏

中尾でございます。国交省の下水道法改正による規制緩和は2015年だったと思うのですが、もう10年経って、まだ普及しているとは言えないと思っております。私自身もその技術開発に関わった人間として、残念な思いであります。今日、この機会を頂きましたので、今後、どういうことをやれば普及できるのか、その辺りに重点を置きながら話を進めたいと思います。

下水熱に関して、こちらは、大阪のある下水幹線の下水温度の年間推移です。下水の温度は、夏は気温より少し低く、冬は気温より相当高くなるのが特徴です。流量については、大阪梅田の幹線の計測ですが、そこは建物の延床面積が約400~500万m<sup>2</sup>ぐらいで、住宅とか業務施設等がありますが、下水の流量変化は、明け方に下がって昼間は高くなるという特徴があります、これを地域別に見ると、業務商業地域はあまり変動がなく、定住住居地域になりますと早朝の落ち込みが大きく、昼間にピークが来て、また夜間高くなるという我々の生活と合った推移をしております。この最低のところは何時頃起きるかは、建物で熱利用する場合に大変関心があるところです。

これは国交省の資料ですが、一番上が処理水の熱利用で、下水処理場の近くに熱需要がないと駄目なので、下水道法改正の趣旨は、これを下水管路ネットワークの中で使えるようにすることでした。下の方は、未処理下水を管路部分で採水する、あるいは熱交換器で採熱する方法です。下水道処理施設あるいはポンプ場は数が知れていますので、幅広く国内で普及させるためには、やはり管路での熱利用が必要と考えています。国内の導入状況は、令和5年度のデータでは37ヶ所です。

下水熱利用システムの構成は、利用する下水（処理水及び未処理水）、下水熱供給元（下水処理場、ポンプ場、管きょ（下水管路）内外等）に応じて、4タイプに大別される。



引用：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

私が以前調べた2020年時点で分類しますと、やはり未処理下水の利用というのは、加熱量は非常に小さい領域で100kW以下がほとんどです。建物側からすると、1万m<sup>2</sup>、2万m<sup>2</sup>あるいは3万m<sup>2</sup>

ぐらいのオフィスビルや商業施設で使おうとすると、空調熱源設備のスケールメリットも考えると、500kW ぐらいが線引きかなと考えます。ですから、それ以上の領域では、未処理水の利用というの  
 ができないといけないと考えています。

技術面については、これまで導入されてきたのはこういう樹脂製ですね。これは人が入って工事が  
 できないような 800φ 未満の管路でも導入ができるというメリットがあります。次の熱交換マット方  
 式と管更生併用タイプは、やはり樹脂であるがゆえに、残念ながら伝熱は金属に比べて遥かに悪いの  
 で、相当長い距離を敷設しなければならず、工事費に影響してきます。やはり、今後、普及させるの  
 であれば、金属製の熱交換器を管内に敷設する方向でないといけないと考えています。これは、私の  
 ところで試作したのですが、2 枚のステンレス板から構成され、曲率は管路に合わせて自在に変え  
 られ、そこに熱源水が流れるというものです。この金属製熱交換器については、B-DASH プロジェク  
 トで試験的に使われたものです。残念ながら試作試験で終わって、商品化まで行っていません。

### 採熱源、採熱場所の区分に対する加熱規模別の箇所数

下水熱利用方式		加熱量 kW					
採熱源	採熱場所	<100	<500	<1000	<5000	5000≤	未確認
処理水利用			1	2	1	3	13
未処理水利用	ポンプ場				1	1	
	管渠内	9	1				
	管渠外	1					
管渠内の多くは未確認であるため推測による							

下水熱による地域熱供給箇所（2020年8月末時点）の情報（国土交通省）とNEDOの調査報  
 告で熱利用規模の把握できている施設情報から集計

以上が管路内に設置する熱交換器ですが、次にご紹介するのは取水方式です。下水管路から取水し  
 て、熱交換して熱だけ取って、そのまま下水は下流側に戻すというやり方になります。これの問題点  
 は何かといいますと、熱交換器に夾雑物が入ると熱交換器が動作しなくなるというのが一つです。そ  
 の対策として、スクリーンを試作した例です。もう一つは、熱交換器の金属の伝熱面が下水に接する  
 ので、使っているうちにバイオフィームという細菌のコロニーが表面を覆って、熱交換性能がぐっ  
 と落ちてしまうということがあります。そういう対策も必要になります。いろんなタイプを試作しまし  
 たが、ちょっと紹介しますと、マンホールの底部にスクリーンを管路形状に合わせて設けて、そこ  
 に下水が流れます。ただすぐに目詰まりしますので、常に逆洗するという仕掛けです。その他、いろ  
 んな方式も試作・評価しておりまして、これはスプレー式洗浄機構付スクリーンです。

下水熱利用先進国のスイスやドイツにもこういう発想のものはなくて、性能が高いので、何とか商  
 用化できたらなというのですが、試作試験が終わった段階に止っています。

これはスクリーンについて、水位に対する処理水量の図です。大体、10L/秒だと、温度差5度ぐら  
 いで利用すると200kW ぐらいです。これですと14cm の水位で12L/秒で、252kW の採熱ができま  
 す。加熱能力では300kW を超えるというものになります。

これは2000kW で地域熱供給に使ってもいいぐらいです。このレベルのものがサイズは1m、幅が  
 20cm 足らずの水路を設ければ設置できます。大変にコスト競争力があるものではないかと考えてお  
 り、今後、導入に期待しているところです。

次は、管きよで取水する方式の熱交換器です。後楽で使われているものですが、元々はシェルアンドチューブ方式と聞いています。配管伝熱面の汚れについてはボール洗浄式が使われたと聞いています。このボール洗浄方式もそれなりに費用がかかりますので、もう少し安いものがないかということで、流下液膜式という、ステンレスの水を通せるパネルを縦に並べて、そこに上から未処理下水を流すという方式です。これは残念ながら、ちょっと図体が大きくなるので、小型化が課題としてあります。

少し飛ばして左側は一つの例ですが、熱交換面を洗浄しからずと使っていくと、バイオフィームが成長し、温度条件が細菌の繁殖域に入りますと当初の  $2000\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$  という非常に高い熱伝達性能がすぐ半分以下になってしまいます。このあたりを改善することが必要になります。機械的に表面についたバイオフィームを掻取るのが一つ有望な方式であります。これは二重管になって下水が内側の管の中を通る方式ですが、同じようにバイオフィームの影響でずっと使っていると性能が落ちてくるという問題があります。シェルアンドチューブは非常にポピュラーな熱交換器の形式ですが、それに、ある工夫をして、あまりお金をかけずに、掻取機構を設けたものです。東京電力と私どもで試作をしたのですが、実下水での試験がまだできていません。今後商品化へ向けてメーカーさんがやりたいというお話があれば、私どもも協力したいと思っています。

次は海外の導入事例で、中国には相当遅れをとっています。これは 2019 年に中国のハルビン工科大学を訪問したときの記録ですが、ハルビン工科大学は中国の下水熱利用の拠点校になっています。その当時、既に対象床面積  $4000\text{万 m}^2$  で下水熱を使っているということでした。訪問した時点で 300ヶ所ということでしたが、その時点で、もうすぐ 400ヶ所になる予定という話がありました。

見学したプラントは、地域熱供給用で管きよ取水方式です。熱交換器は、縦横各 3m、幅が 1m ぐらいでした。このサイズで  $800\text{kW}$  ぐらいの採熱ができます。サイズは大きいのですが、実用規模の能力で、これなら経済性ベースに乗ってくるというスケールで利用されておりました。

この事例は、集合住宅 16 棟、 $20\text{万 m}^2$  の延床面積です。ハルビンですので、暖房用です。石炭の代替としてヒートポンプを使うのを義務付けられているので、急速に普及しているという話でした。

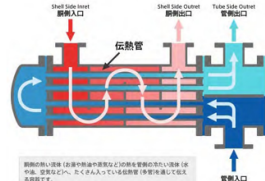
## 6. 管渠で取水する方式

18

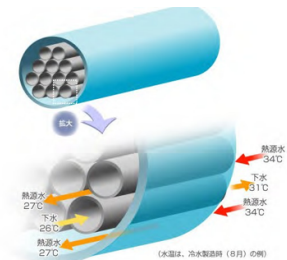
### 6.2 取水下水から採熱する熱交換器

#### (1) シェルアンドチューブ方式

数多くのパイプ（チューブ）を胴状の容器（シェル）に収めた形状。パイプ部分の内側に下水を流し、その外側（胴内）に熱源水を流し、パイプを介して流体間で熱交換を行う。ポンプ場などでは、複数の管路から集積された下水を熱源として利用することができ、大規模に熱利用することが可能。性能は非常に高い。夾雑物除去スクリーンと伝熱面の洗浄が必要。小型のプラスチック製熱交換器もある。



引用：前田鉄工株式会社  
<https://www.maedatekoku.co.jp/product/exchanger/>



引用：東京下水道エネルギー株式会社  
[https://tse-kk.co.jp/kouraku\\_sf\\_2/](https://tse-kk.co.jp/kouraku_sf_2/)

## 6. 管渠で取水する方式

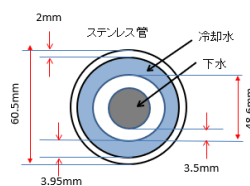
24

### 6.2 取水下水から採熱する熱交換器

二重管式熱交換器と汚れの影響<sup>15),16)</sup>

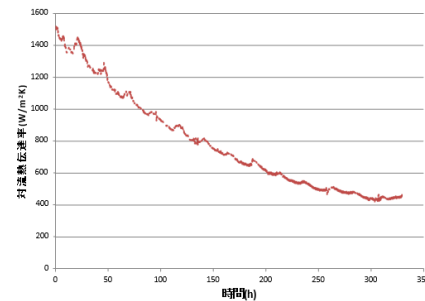


二重管式熱交換器



二重管式熱交換器の断面

内管内の下水流速を  $1\text{m}/\text{s}$  とした管内熱伝達率の計測事例は下図であり、初期の清浄状態の熱伝達率は  $1400\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$  であるのに対し、300時間経過後は  $400\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$  まで低下している。



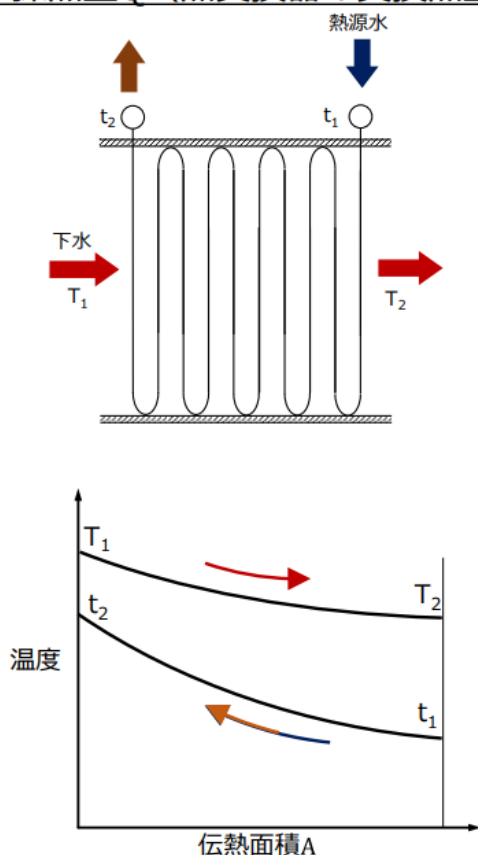
二重管式熱交換器の内管内（下水側）熱伝達率の計測例（流速  $1\text{m}/\text{s}$ ）

次は、スイスにおける管きよで取水する方式です。管きよの底から水を落とし、下の方のマンホールにバスケット状のスクリーンがあり、夾雑物が溜まります。それをリフトアップする機構が組み込まれていて、夾雑物を下流側に戻すという形になっています。スクリーンを通った下水は、③の熱交換器で採熱を行います。この赤い部分に伝熱管が水平に並んでいて、矢印が搔取機構です。

これが作動していると常時最高の性能が得られます。ただ非常に高価ですので、シリンダーチューブというポピュラーなものに少し装置を加えるだけで同じ機能が果たせないかと考えました。これは、先ほどのバスケット部分の拡大図です。次の導入事例は、スイスにおいて管底にステンレス製熱交換器を並べているというものです。既設の管路に付けている例も、新設でつける例もあります。ステンレス腐食の懸念もありますが、そのために3mm厚のステンレス板を使い、耐久性は50年と評価しているということでした。次のこのドイツの例は、赤い線が管路部分ですが、管きよ底に熱交換器を押し込んでいます。あまり流速が速くないので、やはり熱交換器にバイオフィルムが付着して採熱性能が下がります。このため、熱交換器洗浄のためのフラッシング設備を設けており、下水を貯めてから、一気に流して表面を洗浄する方式をとっています。

こちらの図は、ヒートポンプの加熱能力と敷設長さです。140m、200m、10m とそれに対して採熱量は260、850、52kWで、ヒートポンプを使うと加熱量はそれより少し上がりますので、380、1250kW くらいの規模のものが、金属製を使えば、この長さでできるということを見て頂きたいと思います。熱交換器の性能は、樹脂製のものも含めて熱通過率(U)が重要です。熱源水と下水との平均温度差、下水に接する面積、採熱量(kW/m<sup>2</sup>/K)をしっかりと把握する必要があります。これで性能を競わないといけませんが、残念ながらこの性能が公表されていないところが問題で、より高性能で低コスト化できるようなものを作っていくというメカニズムが必要です。それをぜひお願いしたいと思います。

## 下水採熱量Q (熱交換器の交換熱量)



### 【下水採熱量 (交換熱量) Qの式】

$$Q = A \times U \times \Delta T$$

Q: 下水採熱量(kW)

A: 下水熱交換器伝熱面積(m<sup>2</sup>)

U: 熱通過率(kW/m<sup>2</sup>/K)

$\Delta T$ : 対数平均温度差(K) (logarithmic mean temperature difference, LMTD)

$$\Delta T = [(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)] / \ln[(T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)]$$

$\Delta T$ : 対数平均温度差[°C] (対数平均温度差とは、熱交換器内の高温流体と低温流体の温度差の対数平均をとったもの)

T<sub>1</sub>: 下水熱交換器入口温度[°C]

T<sub>2</sub>: 下水熱交換器出口温度[°C]

t<sub>1</sub>: 下水熱交換器側熱源水入口温度[°C]

t<sub>2</sub>: 下水熱交換器側熱源水出口温度[°C]

## まとめ

- 下水管きよでの熱利用：国内の動向とともに海外の実施例を紹介。国内では導入箇所が増えつつあるが、管きよでの利用は熱利用規模が極めて小さく最大でも 100kW 程度
- スイス、ドイツでは金属製の管きよ内熱交換器が普及
- 採熱量：規模の小さい数 10kW から大規模な 1000kW を超えるものもある。
- 熱交換器敷設長さ当たり採熱能力：スイス、ドイツの事例では 1.86～5.2 kW/m
- 熱交換器設置面積当たりの採熱量（熱通過率）は 2.4～4.9 kW/m<sup>2</sup> である。国内の事例では公表情報が見当たらず比較が困難である。
- 管きよから取水する方式はスイスの高層オフィスビルで導入された事例があり、採熱量は 480kW、放熱量は 840kW であり、機械式かきとり機能を持つ熱交換器が導入されている。国内では後楽ポンプ場での大規模施設。
- 中国では地域熱供給のため幹線管きよから取水した下水を利用している事例がある。熱源のヒートポンプ容量は 1200USRT×2 台（8400kW）である。下水熱交換器の熱通過率は、初期値では 1500～1800W/m<sup>2</sup>K となり、汚れた際には 60%程度に低下する。
- 熱交換器表面におけるバイオフィーム成長に影響する要因として下水温度、伝熱面の流速、水質、伝熱管の材質が挙げられる。バイオフィーム対策の重要性を示すため、熱交換器の性能低下の事例を紹介した。

## 下水熱利用普及へ向けて

### (1)金属製管きよ設置熱交換器の導入

- 金属製の熱交換器は採熱能力に対する敷設長が樹脂製より短くなる（1/3 程度）が、大規模導入に向けた効果的な施工技術開発が必要
- 幹線管渠近傍の大規模な熱需要発掘
- 流速の早い管きよに敷設して熱通過率を向上

### (2)国産のカキトリ式低コスト熱交換器の開発

### (3)下水幹線管きよにおける大規模な下水熱利用検討

- 地域熱供給規模のスケールメリット

## 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた下水道事業における取組について

国土交通省 水管理・国土保全局上下水道企画課 課長補佐 尾崎智弘氏

### ■カーボンニュートラルに向けた動向と下水道分野の現状

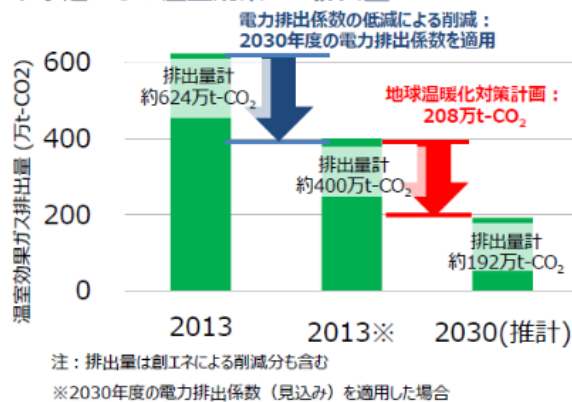
「2050年カーボンニュートラルの実現に向けた下水道事業における取組み」としまして、国土交通省の動向や下水道分野の現状、本日のテーマである下水熱の利用について報告させていただきます。

我が国では、2050年にカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すべく、温室効果ガスの削減の中長期目標としまして、2030年に2013年比46%減、2050年までに実質ゼロを施策として進めています。今年の2月に閣議決定された地球温暖化対策計画では、2035年に60%削減、2040年に73%削減という新たな目標も定められました。

## 地球温暖化対策計画における下水道分野の目標

- 下水道では、下水処理の過程で多くのエネルギーを使用しており、年間約600万t-CO<sub>2</sub>の温室効果ガスを排出。
- 地球温暖化対策計画(R3閣議決定、R7.2月改定)では、下水道における省エネ・創エネ対策の推進、下水污泥焼却の高度化等により、2030年度までに208万t-CO<sub>2</sub>の削減(対2013年度比)を見込む。

### ■下水道からの温室効果ガス排出量



### ■地球温暖化対策計画における目標

#### ①下水污泥のエネルギー化(創エネ)

- 目標：** 約70万t-CO<sub>2</sub>を削減
- 消化ガス利用施設、固形燃料化施設の着実な導入
  - 地域バイオマスの受入れや廃棄物処理施設等との連携によるエネルギー利用量の増加

#### ②污泥焼却の高度化

- 目標：** 約78万t-CO<sub>2</sub>を削減
- N<sub>2</sub>O排出抑制型の焼却炉への更新
  - 焼却を伴わない污泥処理方法（固形燃料化等）への変更
  - 高温焼却（850℃以上）の100%実施

#### ③省エネの促進

- 目標：** 約60万t-CO<sub>2</sub>を削減
- 電力・燃料消費を年率約2%削減
  - 省エネ診断等による電力・エネルギー消費等を踏まえた機器更新や運転管理の効率化

下水道分野においては、2013年度に温室効果ガス排出量が年間約600万t-CO<sub>2</sub>であり、下水道における省エネ対策の推進、下水污泥焼却の高度化等によって、2030年度末まで208万t-CO<sub>2</sub>の削減を見込んでいます。地方公共団体において温対法に基づき実行計画が作られています。下水道分野の目標値はあまり表記されていないことや、下水道温暖化対策推進計画の策定が進んでいない状況があると聞いています。現在、推進計画のマニュアル改定作業を進めているところですが、課題や計画策定状況などをアンケート調査しています。

次に、取組と促進策について説明いたします。

【下水汚泥のエネルギー化（創エネ）】

FIT 活用による民設民営の消化ガス発電等の事例が増加しており、70 万 t-CO<sub>2</sub> 削減目標に対し、2021 年度で 48 万 t-CO<sub>2</sub> と順調に伸びている一方、FIT 買取り期間（20 年間）終了後については課題の一つです。促進策としては、消化ガス利用施設、固形燃料化施設の新設等、創エネ事業への集中的な支援（個別補助事業）や、地域バイオマスの受入れや廃棄物処理施設等との連携による創エネ量の増加（案件形成支援事業）を行っています。

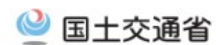
【汚泥焼却の高度化】

高温焼却など N<sub>2</sub>O 排出係数の低い炉への変更等により排出量は減少傾向にあります。現在、全国に 260 基ほどの焼却施設のうち、焼却温度 850℃未満 100 基程度を 850℃以上とすることで削減量も伸びると考えています。促進策としては、焼却を伴わない汚泥処理方法（肥料利用、固形燃料化等）への変更、焼却の高度化の実施に向け汚泥焼却を行う処理場への個別フォロー、新設・改築時に焼却の高度化を交付要件化（措置済）、焼却の高度化事業への集中的な支援（個別補助事業）などが挙げられます。

【省エネの促進】

電力/燃料消費が下水道維持管理費の約 1 割で、特に水処理の電力消費が大きく、省エネの促進は下水処理コストの削減につながります。2030 年に 2013 年比で 60 万 t-CO<sub>2</sub> 削減の目標を掲げており、促進策として①見える化を行う目標・対策検討ツールの公表、②省エネ診断による対策検討や効率化の調査支援、③効果の高い省エネ対策事業への交付金重点配分が措置済みです。

下水道が有する多様な資源・エネルギー



下水道の温室効果ガス発生量の2022年実績は508万t-CO<sub>2</sub>であり、自治体の事務事業から排出される温室効果ガスの大部分を占めています。大半は電力消費に起因するもので、創エネ/再エネを増やしていくということが重要となります。

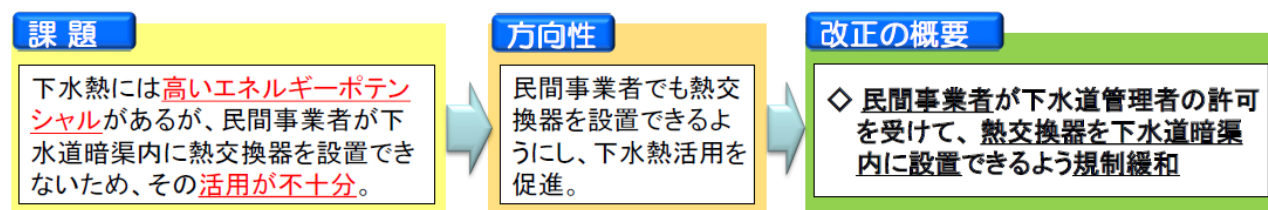
## 2050年脱炭素社会の実現に貢献するための下水道の姿

- 地球温暖化対策計画の2030年度目標達成及び2050年カーボンニュートラルの実現に向け、**下水道施設自体の省・創・再エネ化を進める**。また、**多様な主体と連携を進める**ことによって、下水道が有するポテンシャルを最大活用し、スケールメリットはもちろん、これにとどまらず下水道を拠点とした新たな社会・産業モデルを創出するなど、環境・エネルギー分野の新展開、まちづくりや国際社会の脱炭素化、地域の活性化・強靱化等を牽引することが可能になる。これからの我々の社会を脱炭素・循環型へと転換することを先導する「**グリーンイノベーション下水道**」が下水道事業の目指すべき姿である。



※1：第1回 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会 資料より  
 ※2：下水汚泥を全て(バイオガス利用(約300万m<sup>3</sup>)し水素として活用したケースとして、H26 B-DASHプロジェクトの実績(下水道/バイオガス2,400m<sup>3</sup>/日 → 水素 3,300m<sup>3</sup>/日(燃料電池約65台分))から算出  
 ※3：H30年度の処理水量(約14,400,000千m<sup>3</sup>)に対し、一人あたりの水使用量216L/日(東京都水道局HPより)として算出

下水道が有する多様な資源・エネルギーの活用がすすめられています。令和3年度の「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会」の議論を踏まえ、グリーンイノベーション下水道が目指すべき姿であると位置付けています。



### ■ 下水熱利用について

下水は大気に比べ冬は暖かく夏は冷たい特質があり、安定的なかつ豊富に存在しており、都市に存在する温度差エネルギーをヒートポンプ等で活用することで省エネ/省CO<sub>2</sub>効果が期待されます。地域にお

ける利用事例は、国土交通省 HP で示しており、27 件+その他 1 件（詳細非公表）の計 28 件です。環境行動計画では 2030 年に 50 件を目指すとしており、目標達成に向けて取組を進めています。

### 【制度構築】

従来は民間事業者が公共下水道の施設内に熱交換器等を設置できず、下水熱を活用しにくいという課題があったわけですが、平成 27 年 5 月の下水道法改正で、民間事業者でも下水道管路施設内に熱交換器を設置できるよう規制緩和がなされました。

### 【財政支援】

令和 2 年度より、「下水道リノベーション推進総合事業」を創設し、下水道施設を地域活性化の拠点として、リノベーションを行うための取り組みに対して計画策定から施設整備までの一体的な支援（交付金）を行っており、再生水・下水熱も対象となります。

### 【技術支援】

「下水道エネルギー拠点化コンシェルジュ事業」として、地域バイオマスの利活用や下水熱を含むエネルギー利用を検討する下水道管理者に対して、助言やディスカッションを実施するというもので、平成 30 年から令和 6 年度まで 43 団体支援しています。当事業の中には下水熱ポテンシャルマップの作成支援もあり、HP 公表の 21 件の他令和 6 年度に 5 件追加実施しています。

### 【財政措置】

**【地方財政措置】下水道事業における脱炭素化の推進（令和5年度）**
総務省作成資料より

○ GX実現に向けた基本方針（令和4年12月22日GX実行会議決定）において、地域脱炭素の基盤となる重点対策を率先して実施することとされるなど、地方団体の役割が拡大したことを踏まえ、**再生可能エネルギーの導入、汚泥の活用や高温焼却によるN<sub>2</sub>Oの削減**の取組に対して地方財政措置を講じ、下水道事業における脱炭素化を推進。

**対象事業**

- 再生可能エネルギーの導入（バイオガス発電、下水汚泥固形燃料化、**下水熱の活用**）
- 汚泥の活用や高温焼却（肥料化施設、リン回収施設の導入、高温焼却施設の導入）

**事業期間**

- 令和5年度～令和7年度

**地方財政措置**

- 地方負担額の1/2に、「下水道事業債（脱炭素化推進事業）」を充当し、**50%を交付税措置**  
（通常の事業：16～44%）

The diagram shows a transition from a single '下水道事業債' (Wastewater Project Bond) to a split structure. In the '通常' (Normal) case, the entire bond amount is covered by a 16-44% tax measure. In the '脱炭素化推進事業' (Decarbonization Promotion) case, the bond is split into two parts: one for '下水道事業債【16～44%を普通交付税措置】' and another for '下水道事業債（脱炭素化推進事業）【50%を普通交付税措置】'. The total tax measure for the second case is 33-47%, calculated as  $(16 \sim 44\%) \times 1/2 + 50\% \times 1/2$ .

総務省の地方財政措置として、再生可能エネルギーの導入の中に下水熱の活用も含まれており、事業期間として令和5年～令和7年度とされていますが、延期の検討を進めているという話を伺っております。また、環境省の補助メニューになりますが、民間企業等における再エネ主力化・レジリエンス強化促進事業のうち、新たな手法による再エネ導入・価格低減促進事業の事業内容に下水熱が含まれています。

民間企業等による再エネ主力化・レジリエンス強化促進事業のうち、  
(2) 新たな手法による再エネ導入・価格低減促進事業 (2/2)



地域の再エネポテンシャルの活用に向けて、新たな手法による自家消費型・地産地消型の再エネ導入を促進します。

1. 事業目的

- ・ 地域の特性に応じた、再エネ熱・未利用熱利用、太陽光発電以外の自家消費型再エネ発電等を支援。
- ・ 2050年カーボンニュートラルの実現を見据え、民生部門電力ゼロに加えた先行モデルとして、熱分野でのCO2ゼロに向けたモデル創出や寒冷地という脱炭素化の難しい地域でのモデル創出を支援し、熱の脱炭素化を推進する。

2. 事業内容

下水熱含む

⑤再エネ熱利用・発電等の価格低減促進事業（補助率3/4、1/3、1/2）  
地域の特性に応じた、再エネ熱利用、未利用熱利用（工場廃熱等）、自家消費型再エネ発電（太陽光発電除く）等について、コスト要件（※）を満たす場合に、計画策定・設備等導入支援を行う（温泉熱の有効活用のための設備改修含む）。

⑥熱分野・寒冷地での脱炭素化先行モデル創出事業地域（補助率3/4、2/3）  
地域の再エネ電気・再エネ熱・未利用熱等を活用した、(a)熱分野でのCO2ゼロに向けたモデル、(b)寒冷地での脱炭素化のモデル、のいずれかに該当する先行的な取組について、その計画策定や設備等導入を支援する。

⑦新たな再エネ導入手法の価格低減促進調査検討事業（委託）  
新たな再エネ導入手法に関する調査検討を行い、その知見を公表し、横展開を図る。

4. 事業イメージ



3. 事業スキーム

- 事業形態 ⑤⑥ 間接補助事業（計画策定：3/4（上限1,000万円） 設備等導入：1/3、1/2、2/3）  
⑦ 委託事業
- 委託先及び補助対象 民間事業者・団体等
- 実施期間 ⑤⑦ 令和3年度～令和7年度 ⑥ 令和5年度～令和7年度

※コスト要件  
（熱利用）：当該設備のCO2削減コストが従来設備のCO2削減コスト（※過年度の環境省補助事業のデータ等に基づく）より一定以上低いものに限る。  
（発電）：本補助金を受けることで導入費用が最新の調達価格等算定委員会の意見に掲載されている同設備が整理される電源・規模等と同じ分種の資本費に係る調査結果を踏まえて設定した値を下回るものに限る。

お問合せ先： 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室 電話：0570-028-341

【事例紹介】

- ・ 処理水から採熱  
(堺市、カスケード利用)
- ・ 未処理下水から採熱  
(東京都後楽ポンプ所)  
(東京都麻布台ヒルズ、管渠内)

ご清聴ありがとうございます。

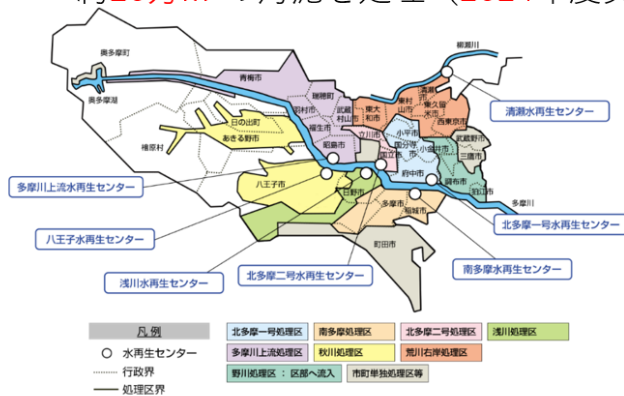
私から東京都の下水道熱利用についてご紹介をさせていただきます。

先ず下水道ですが、安全で快適な生活環境の確保、良好な水環境の形成に必要な不可欠な役割を担っています。そこで三つの役割があります。一つ目は、汚水処理による生活環境の改善ということで家庭や工場から排出された下水を綺麗にして元に戻す。二つ目は、雨水排除による浸水の防除、道路や宅地などに降った雨水を速やかに排除し、浸水から街を守るということ、あと三つ目が公共用水域の水質保全です。

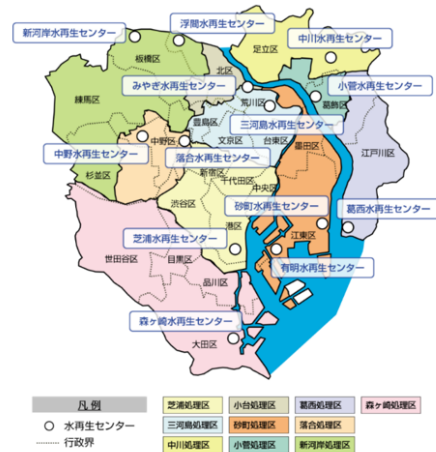
これに加え、近年では、下水道が持つ資源エネルギーの有効利用、再生水や、今回のテーマである下水熱というものがあり、あと下水道施設の上部空間利用といった新たな役割があります。東京都の下水道事業の概要を以下に示します。

### 3. 東京都の下水道事業

- 20か所の水再生センター、85か所のポンプ所等の施設を24時間365日休むことなく稼働し、下水道機能を確保
- 区部の下水道管延長は約16,200km
- 20か所の水再生センターでは、1日あたり約569万m<sup>3</sup>の下水と約20万m<sup>3</sup>の汚泥を処理（2024年度実績）



多摩地域において都が管理する水再生センターの配置と処理区



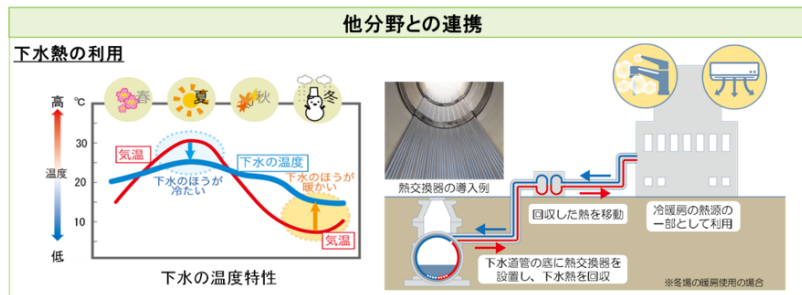
区部における水再生センターの配置と処理区

下水道局の温室効果ガス排出量ですが、2021年度の実績で約73万t-CO<sub>2</sub>となっています。地球温暖化防止への責務を果たすため、温室効果ガスの削減目標や具体的な削減を定めました。現行の最新計画は、アースプラン2023です。本計画では、温室効果ガスの排出量を2030年までに50%削減するという目標に掲げています。このアースプランの中で、4つの取り組み方針を推進しています。徹底した省エネ、再生可能エネルギーの活用、処理工程方法の効率化が掲げていますが、4つ目に他分野の連携というのがあります。お客様と連携し、地域への熱供給などを推進し、社会全体の温室効果ガスの排出量削減に取り組んでいくことを掲げています。下水熱の特徴である、外気に比べ夏は冷たく冬は暖かいといった温度特性を利用することで、省エネルギーや温室効果ガス排出量削減に効果を発揮します。

ヒートアイランドというところで言いますと、下水と熱交換することによって、ヒートアイランド抑制へ貢献する側面もあります。以上のことから、下水熱利用は地球環境や都市環境に優しい熱供給システムであると考えております。

## 4. 下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン2023」

- **徹底した省エネルギー**  
老朽化に伴う再構築に加え、既存機器よりも機能を向上した省エネルギー型機器への再構築を前倒して実施
- **再生可能エネルギーの活用**  
再生可能エネルギーを活用し、自らエネルギーを確保
- **処理工程・方法の効率化**  
機器単体の省エネルギー化に留まらない、処理工程・方法の効率化
- **他分野との連携**  
地域への**下水熱供給**などを推進し、**社会全体の温室効果ガス排出量の削減に貢献**  
お客さま等と連携して温室効果ガス排出量の削減に取り組む



下水熱によって冷暖房効率が向上することで、燃料費や動力費を低減できるとともに、夏季の冷房利用時において、下水を冷却源として利用することで、冷却塔の水道水使用量を削減できる経済効果もあります。こちらが東京都区部の下水処理量から算定した下水熱のポテンシャルです。年間約17億m<sup>3</sup>の下水を処理しています。これに温度差5℃をかけて熱量を計算したところ、3万5000TJとなっております。これは、東京ドーム10杯分ぐらいの水を蒸発させる熱量に相当します。先ほどの話で、全国で40弱ほど下水熱利用の取り組みがあります。東京都下水道局では現在7つ、下水熱利用の取り組みを進めています。昭和62年から水再生センターでの熱利用を始め、文京区の後楽地区や江東区の新砂3丁目、それ以降は、ソニーシティ、品川シーズンテラス、中野区立総合体育館で、令和5年度に麻布台ヒルズにおいて下水熱の利用が始まっています。

## 7. 東京都におけるこれまでの下水熱利用の取組

No.	事業名	開始時期	共同事業者
①	水再生センター等での熱利用	昭和62年	下水道局 ※局内利用
②	後楽一丁目地域冷暖房	平成6年	東京下水道エネルギー株式会社 (TSE)
③	新砂三丁目地域冷暖房	平成13年	東京下水道エネルギー株式会社 (TSE)
④	ソニーシティ	平成18年	民間事業者
⑤	品川シーズンテラス	平成27年	東京下水道エネルギー株式会社 (TSE)
⑥	中野区立総合体育館	令和2年	中野区
⑦	麻布台ヒルズ	令和5年	民間事業者 ※下水道管からの下水熱利用

先ず水再生センター等での熱利用です。昭和 59 年から水再生センターの処理水を熱源とする空調システムの開発に取り組んできました。昭和 62 年に、処理水を熱源とする空調システム、当局ではアーバンヒートと呼んでいます。新宿にある落合水再生センターを初め、現在区部で言いますと 12 ヶ所の水再生センターに導入しています。また、大手町 2 丁目常盤橋地区に銭瓶町ビルディングがあります。このビルの地下に、銭瓶ポンプ所があり、流入する未処理汚水をビル空調の熱源として利用しています。

次に、下水熱を利用した地域冷暖房等についてご紹介させていただきます。東京都は熱供給プラントで冷水温水を製造して、複数の建物に供給する下水熱の利用を推進しています。

## 7. 東京都におけるこれまでの下水熱利用の取組

- 熱供給プラントで冷水・温水を製造し複数の建物に供給する
- 地域冷暖房等の熱源として下水熱を利用

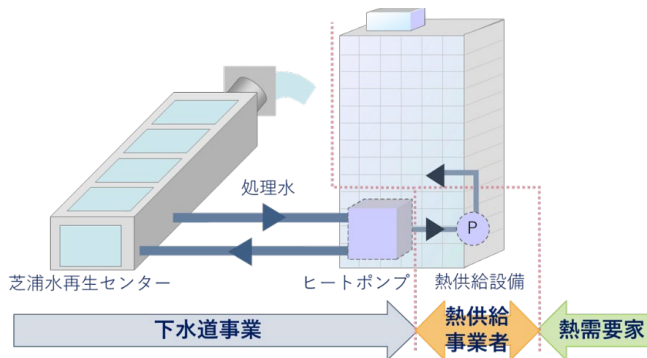
	後楽一丁目地域冷暖房	新砂三丁目地域冷暖房	品川シーズンテラス
共同事業者	東京下水道エネルギー株式会社 (TSE)		
開始時期	平成 6 年 7 月	平成 13 年 1 1 月	平成 27 年 2 月
需要家	7 施設 東京ドームホテルなど	5 施設 高齢者福祉施設など	品川シーズンテラス
熱源水	未処理下水 最大 3,600 m <sup>3</sup> /h	処理水 最大 2,000 m <sup>3</sup> /h 洗煙水 最大 250 m <sup>3</sup> /h	処理水 最大 3,100 m <sup>3</sup> /h

一般的に、地域冷暖房を導入することによるメリットは、省エネルギー、温室効果ガス削減が挙げられます。他にも大気汚染防止とか、有資格者の運転管理要員の配置の効率化という効果も挙げられます。また、プラント集約化により機械室や屋上のスペースが有効活用できるのが大きいです。この面積分がテナント面積となり、テナント料金を稼げるというメリットがあります。なお、これらの事業は地域冷暖房等による熱供給を目的として、東京都下水道局と民間企業が共同出資し、設立した東京下水道エネルギー株式会社が、熱供給事業を行っております。

こちらが後楽 1 丁目の概要ですけれども、文京区の後楽 1 丁目は国内初の未処理下水を熱源とする地域冷暖房として、開始しております。再構築は平成 25 年から開始し、再構築後もシェル&チューブの熱交換器を使用しています。ボールの洗浄も年に何回かやって熱効率が落ちないようにしているといった状況です。未処理下水を使用していることもあり、職員が、し渣スクリーンのところで高压洗浄をするなど、し渣を取ったり脂分を取ったりして、非常に苦労していたということがあります。かなりいろいろ改善を進めながら運営してきました。

江東区新砂 3 丁目におきまして、平成 13 年から始まっている地域冷暖房ですが、高齢者福祉、医療複合施設等 5 施設を、対象としています。砂町水再生センターがこちらの近くにあり、処理水を時間当たり最大 2000m<sup>3</sup> になりますけれども、これを冷水として利用しています。洗煙排水と我々呼んでいます。汚泥を焼却すると有害物質を含む排ガスが発生します。この排ガスに含まれる有害物質を除去するために、処理水を用いて排ガスを洗浄します。この洗浄排水を使って熱を供給しています。

## (2-3) 品川シーズンテラス



延床面積：約 21 万 m<sup>2</sup>

供給実績：冷熱 44TJ/年  
温熱 23TJ/年



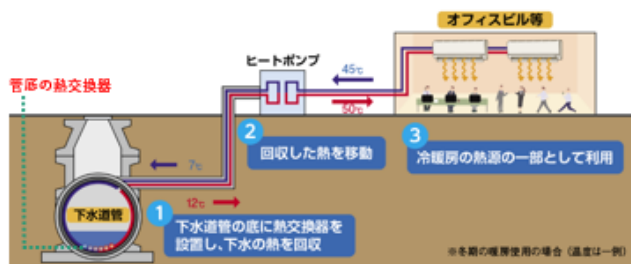
品川駅近くにある、品川シーズンテラスは、芝浦水再生センターの上部に建設された業務商業ビルになります。こちらに処理水を一時間当たり最大 310 m<sup>3</sup>、熱源として送っています。同様に熱源として処理水を供給している施設には、ソニーシティや中野区立総合体育館があります。こちらがソニーシティですが、芝浦水再生センターに隣接するビルで、1日あたり最大 6 万 m<sup>3</sup> の処理水を送っています。下水道局は処理水のみを送り、ソニービル側で熱交換や空調等を行うスキームとなっております。

こちらが中野区立総合体育館で、中野水再生センターの近くに隣接しており、中野区立総合体育館に処理水を送っており、先ほどと同じスキームとなっております。

## 7. 東京都におけるこれまでの下水熱利用の取組

### (4) 下水道管からの下水熱回収 (⑦)

- 下水道管の底に熱交換器を設置し、下水の熱を回収
- 下水から回収した熱を、エリア内のオフィスビル等の冷暖房の熱源の一部として利用
- 地域冷暖房の熱源の一部に下水道管から回収した下水熱を利用する事業として国内初の事例



下水道管からの熱利用 (イメージ)



麻布台ヒルズ外観

ここからが、下水道管から下水熱を回収する事業になっております。令和5年度から、麻布台ヒルズにおいて、管きょからの下水熱利用というのが始まっております。こちらは令和3年6月に、下水熱利用に係る協定を事業者と締結しまして、下水道管から回収した下水熱を地域冷暖房の熱源の一部として利用する、国内初の事例として事業を開始しております。

回収した熱をこのエリアのオフィスの冷暖房の熱源の一部として利用している内容となっております。利用する取り組みが進んだ背景としては、先ほどもお話ありましたが、平成27年5月の下水道法の改正です。下水道管理者の許可を受ければ民間事業者も、熱交換器などを下水管内に設置できるようになったのが、大きいです。

東京都の下水熱利用の更なる拡大に向けた取組としましては、下水熱ポテンシャルマップを作成し、公表などを進めています。東京都下水道局のホームページを見ていただくと、右図にあるような幹線毎の下水熱ポテンシャルが示されています。これは、流量に温度差5℃をかけたもので、それをポテンシャル量に応じて色分けし、どこに下水熱ポテンシャルがあるか分かるようにしたものです。

これを公表することによって民間事業者に対し、下水熱に関する情報発信をしています。

ありがとうございました。

## 9. 下水熱利用に関する課題

### (1) 技術面

- ・ 熱需要と流量（熱回収）のピーク
- ・ 夾雑物によるストレーナ等のつまり
- ・ 腐食への対応
- ・ 水温の変化

### (2) 事業面

- ・ 事業採算性（安定した熱需要家の確保）
- ・ 熱源と熱需要家とのマッチング
- ・ 事業開始までの調整に長期間要する

**豊田市の概要**

豊田市は人口41万5千人、19万世帯の中核市です。平成17年に近隣6町村と合併し、面積は愛知県下第一です。小さな処理場が一つ有りますが、95%は流域下水道に接続しています。市の南東部は、トヨタ自動車を中心に関連企業の工業地帯となっています。市の北西部の7割は森林と観光地が占めています。紅葉で有名な香嵐溪が見ごろを迎えています。

**下水熱利用取り組みの背景**

背景としては2点あります。一つは、平成21年に国から「環境モデル都市」の選定を受けていること。もう一つは、民間企業等と連携して良い社会を目指す「ミライのフツー」に、全庁・全市で考えて取り組んでいるが、本市のように処理場を持たない自治体では、エネルギー利用もなかなか取り組めなかった。しかし、下水道法が改正され、街中でも下水熱が利用できるようになり、本市も取り組みを始めたという背景があります。

**高齢者福祉施設での下水熱利用**

豊田市駅市街地再開発事業における、高齢者福祉施設の給湯システムに下水熱を利用しています。平成25年10月に導入検討に着手し、26年5月に採用を決定・公表、平成30年2月に供用開始しました。その間、27年には下水道法改正による規制緩和とともに、国による下水熱利用マニュアル(案)が整備され、下水管きょ内の下水熱が利用し易くなりました。

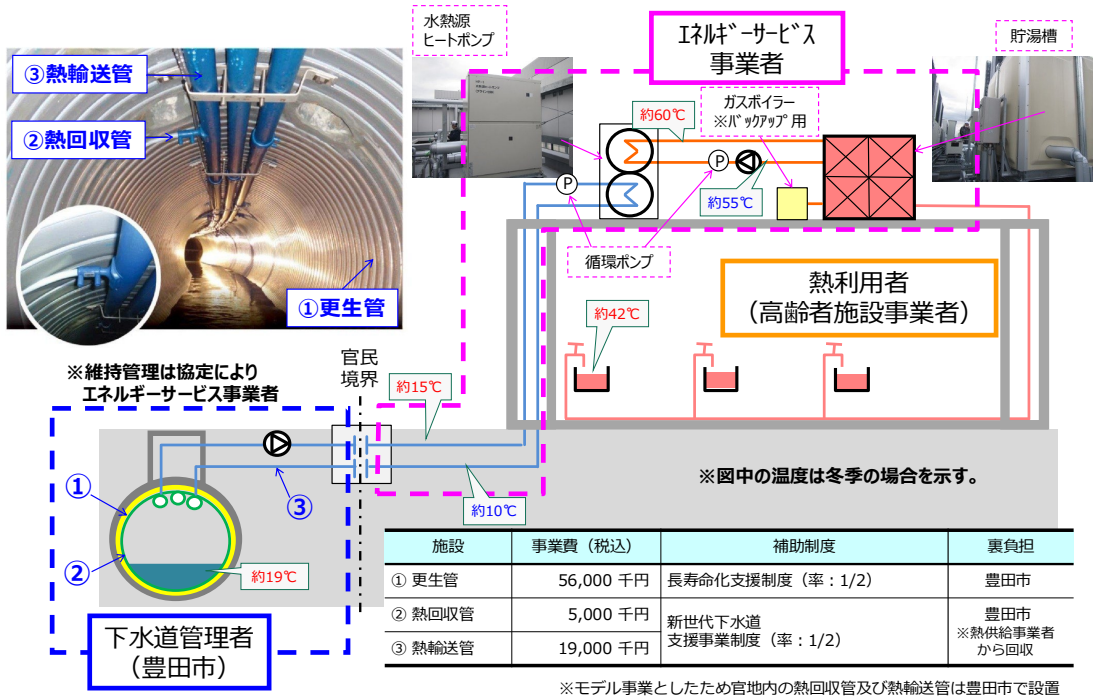
下水熱回収はらせん方式を採用しました。これにより管更生と熱回収管の設置を同時に施工することが出来ました。計画給湯量27,000L/日に必要な熱量を確保するためには、当時はらせん方式に限定された事情もあります。口径1,000mmの管きょ、延長175mから採熱しています。

当初はこの棟のほかにも、商業棟、住宅棟の3棟の計画がありましたが、熱量的に厳しく高齢者福祉施設にターゲットを絞りました。

**2. 下水熱利用の取組経緯**

H25.10	下水熱利用について検討開始	H28.01	再開発 下水熱関連工事発注(豊田市) 管更生 56百万円(長寿命化支援制度) 熱回収管 5百万円(新世代下水道支援事業制度)
H26.05	<b>再開発高齢者福祉施設に下水熱給湯システムの導入決定・公表</b>	H28.03	同工事完成
H27.03	下水熱利用マニュアル(案)の策定	H28.04	<b>足助処理場にて下水熱利用施設の実証事業開始</b>
H27.05	下水道法の改定、民間企業による下水管内の熱交換器設置が可能に	H29.01	再開発 下水熱利用工事発注(豊田市) 熱輸送管 19百万円(新世代下水道支援事業制度)
H27.08	積水化学工業と「ミライ・チャレンジ都市パートナーシップ協定」の締結 <b>足助処理場にて下水熱実証事業を決定</b>	H29.03	同工事完成
H27.11	再開発 下水熱利用事業スキーム合意 (福祉施設管理者×積水化学工業×豊田市)	H29.10	再開発 福祉施設側関連工事完了(積水)
H27.12	再開発 下水熱利用に関する協定締結 (積水化学工業×豊田市) ※役割分担、費用負担、所有権等の明確化 <b>下水熱広域ポテンシャルマップの公表</b>	H29.11	再開発 下水熱関連施設等試運転開始
		H30.01	再開発 熱源供給契約の締結 (福祉施設管理者×積水化学工業×豊田市)
		H30.02	<b>再開発 福祉施設供用開始</b>

## 4-2.事業スキーム



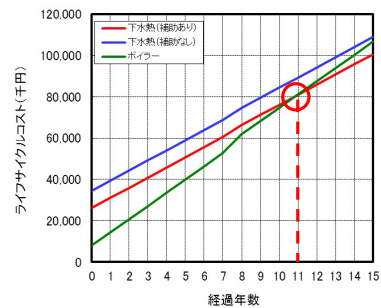
くらしと水環境をささえる ライフライン 下水道

P 10

## 4-3.設計段階における事業可能性の検討

### ◆ 15年間の経済比較

項目	単位	下水熱		ボイラー
		1/3補助あり	補助なし	補助なし
初期設置費	千円	16,700	25,000	8,000
熱回収・輸送管建設負担費	千円	9,500	9,500	0
機器更新費	千円	0	0	2,700
ランニングコスト	千円/年	4,900	4,900	6,400
回収年	年	<b>10.9</b>	-	
CO2排出量	t/年		94	126
削減率	%		<b>25.4</b>	



### ガスボイラー vs 下水熱給湯システム

※計画給湯量は27,000 l/日

- イニシャルコストは**1,820万円**高価
- ランニングコストは**150万円**安価 (約23%)
- 約**11年**で投資回収 (補助ありの場合)
- **610万円** / 15年のトータルコスト削減
- **25%**のCO<sub>2</sub>削減

くらしと水環境をささえる ライフライン 下水道

P 11

図の事業スキーム中、②熱回収管と③熱輸送管は、本来、下水熱利用者が設置すべきものと考えられるが、あくまでもモデル事業と言うことで、官地内については国の補助金も活用し本市で施工・設置しました。ただ、その他の費用はエネルギーサービス事業者が負担しています。

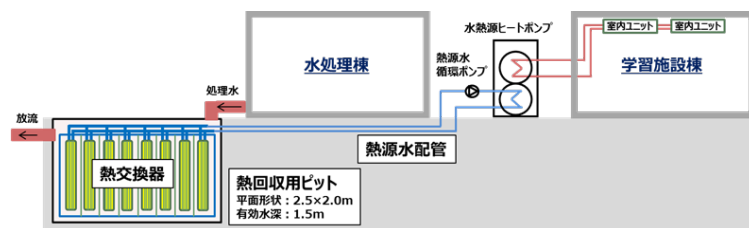
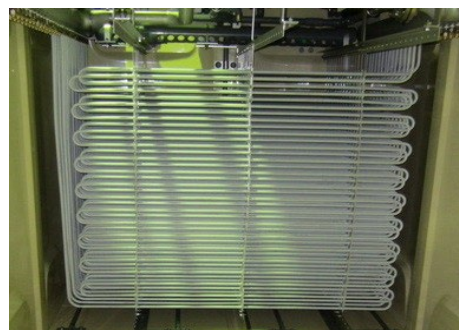
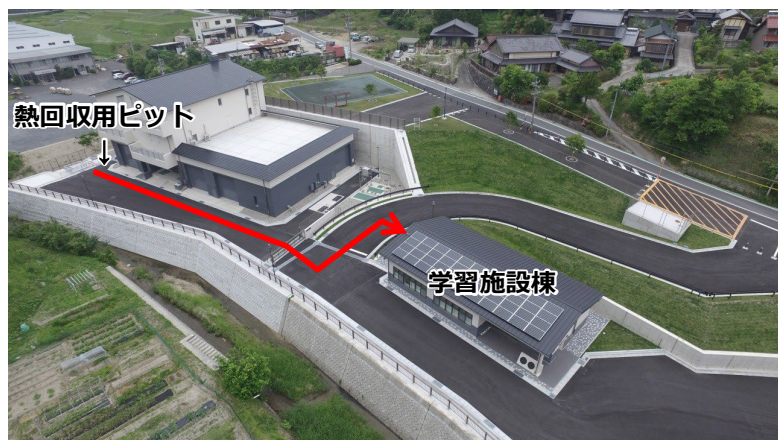
設計段階のFS検討では、補助を受けないとなかなか費用回収が難しいことが判りました。1/3補助ありの場合、ボイラーの場合と比較して、下水熱はインシヤルコストが1,800万円ほど高いが、ランニングコストがボイラーより150万円ほど安いので、11年ほどあれば回収できると当時は見込んでいました。しかし、結論から言うと、民間(エネルギーサービス事業者)の施設については補助を受けることが出来ませんでした。

平成27年の段階では、環境省のグリーンプラン・パートナーシップ事業の補助を使おうと思っておりましたが、着手年度の28年にはこの制度が廃止されました。その後、エネルギーサービス事業者が、国にいろいろ相談しましたが認めてもらえませんでした。苦い経験ですが、よくよく調べながら、相談してやっていくことが大事です。

下水熱利用の効果の確認ですが、まずCOP(エネルギー消費効率)については、設計3.00に対し実績が3.14と良い結果です。光熱費はボイラーとの比較ですが65%削減。これは設計値が23%減でしたので大幅達成。CO2削減率も設計値25%のところ39%と想定以上の効果が出ています。

「あすけ水の館」における下水熱利用

## 5-1. “ピット型熱交換器”による下水熱空調システム



- ✓高採熱
- ・アルミ複合の三層構造
- ✓高耐久性
- ・ポリエチレン被覆

もう一つの下水熱利用の事例は、紅葉のきれいな観光地、「香嵐溪」の環境を守る特定環境保全公共下水道、豊田市の足助下水処理場です。ここでは、処理水を一度マスに貯めて熱交換器で熱を回収して、敷地内に併設された学習施設棟に送り、子供達や地域の方に利用してもらいます。これも空気熱源のヒートポンプに比較して、電気料金（40%減）やCO2排出量（35%減）において一定の効果が出ています。

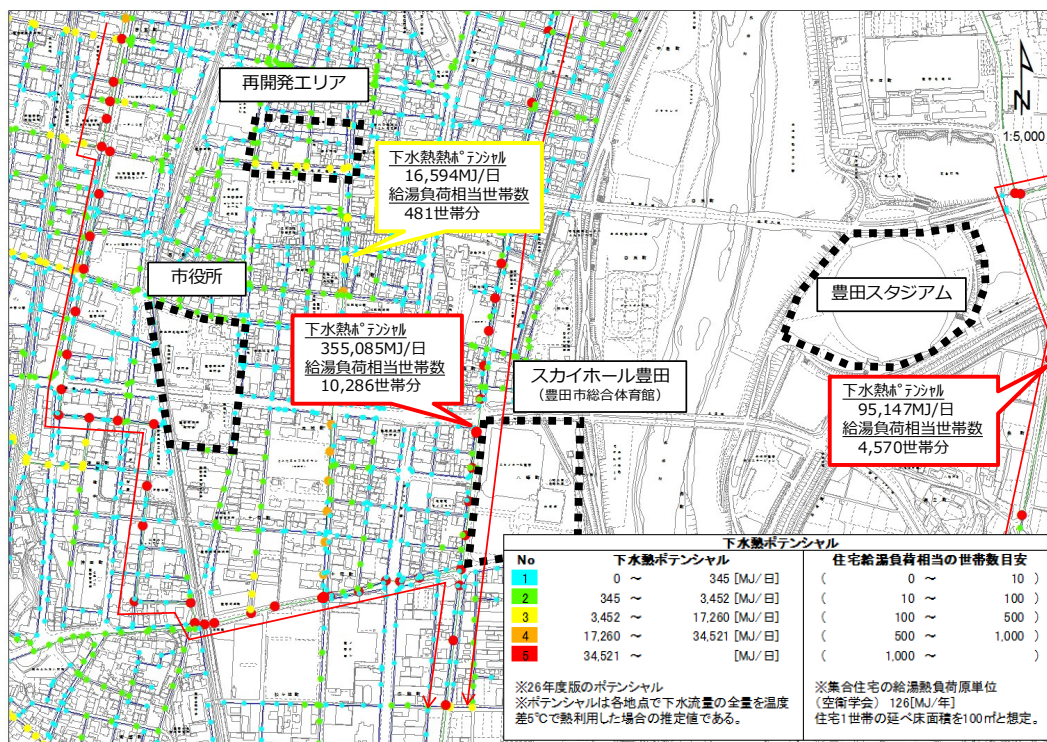
### 下水熱広域ポテンシャルマップ

三つ目の取り組みはポテンシャルマップの作成です。正直なところ、流量さえ判れば、これを作るのは全然難しくないです。流量計算書は必ずあるので、どの自治体様でも作れます。豊田市が工夫した点は、水道メーターの実測値を使った点です。それを全て近くのマンホールと紐づけし、流量計算書ではなく、水道メーターの実測値からポテンシャルをはじき出しているのが一つ目の特徴です。それと給湯負荷量を世帯数で表し、丸の大きさと色分けをすることにより、見える化を図りました。

出来あがったポテンシャルマップを見ると、やはり人が多く住んでいる中心市街地に多くのポテンシャルがあることが判ります。

事例紹介した再開発地区のほか、豊田スタジアムや、スカイホール（体育館）、市役所など、施設のエネルギー設備の更新について、今後は、関係部局と下水熱利用について連携を図れると良いなと考えています。

## 6-2.中心市街地の下水熱ポテンシャルマップ



## 下水熱利用に関する考察

メリット・デメリットを知る職員は3~5年ですぐ異動してしまいます。新しい人にも、下水熱を知ってもらって、引き継いでいくことが重要です。事業スキームの検討は綿密に 特に、費用負担と維持管理の役割分担。リスク管理についても初めの段階で明確にすべきです。

国などの支援をうまく活用する

イニシャルコストが高くなるので助成は絶対に必要です。よく調べて、相談して取り組んでください。

下水熱利用料金の徴収

普及の拡大とともに、下水熱利用に係る料金を利用者から頂くこととなります。地方自治法に則って条例改正等が必要になりますが、利用料をどのように決めるかは非常に難しいと思います。本市でも一度検討しましたが、次なる事例も増えないので、条例は未制定であり今のところやる予定もありません。

## 最後に

当時、私は係長だったのですが、再開発地区での事業の後に、いくつか民間企業に下水熱利用についてヒアリングを行いました。その際「10年とか15年で回収と言われては手を出しにくい。5年でも長い。出来れば3年ぐらいで回収できないと。」と共通して言われ、考えさせられたことを覚えています。そういう背景もあり、なかなか次へとつなげることができていませんが、本当に有効な再生エネルギーだと思っていますので、豊田市も引き続き取り組んで参ります。

## 7. 考察

### ■ 下水熱をよく知ろう

- 下水熱のメリットは環境負荷の低減と省エネ効果、デメリットは初期投資費が高額（国の補助金などをうまく活用）
- 環境や下水道に係わる職員から積極的な情報発信が必要

### ■ 事業スキームの検討は綿密に

- 下水道管渠内の熱回収設備等（熱回収管、熱輸送管）の設置、維持管理、費用負担、リスク分担など

### ■ 国の補助制度を有効活用

- 下水熱利用に係る国の補助メニュー等を確認し、最適な制度の選定が重要

### ■ 条例など制度の整備

- 下水熱利用に係る料金（道路占用料、暗渠使用料、下水熱利用料など）を徴収する場合、条例等の整備が必要

# 「循環型社会の展開に向けた下水熱利用の取り組みと今後の展望」

新潟市下水道部下水道計画課 佐藤公康氏

## 1. 概要

新潟市は北陸地方の北部に位置し、人口約76万人、世帯数は約35万世帯、市域面積は約725km<sup>2</sup>という都市規模です。平成19年に政令市となり、8つの行政区で市政運営をしています。新潟市の気候は、いわゆる豪雪地帯ではないですが、毎年降雪がある寒冷地とされており、過去10年間の観測値では冬季の平均日最低気温はマイナス1.9℃、平均降雪日数は24.3日、平均降雪深は5.1cm/日となっています。また近年は気候変動の影響なのか、短時間に集中的に積雪する異常降雪が2、3年に1回は発生している状況です。

次に、新潟市における下水熱利用の取組状況についてですが、市の概要図(図1)のうち、緑色の丸が空調利用、赤色の丸が融雪利用の施設としてプロットしています。今回ご紹介する融雪利用施設は全て、最も人口や都市機能が集積している中央区に設置しています。

新潟市で導入してきた下水熱利用施設の一覧を示します(図2)。新潟市としては、平成24年度から下水熱利用に取り組んでおり、これまでに5ヶ所で導入しています。

融雪システムの構成としては、一番シンプルなヒートパイプ、ヒートポンプを用いない融雪システム(ヒートポンプレス)、ヒートポンプを活用した空調システムなど、様々なタイプを設置しています。

下水熱を利用する先として、雪国ならではの、やはり融雪利用が最も重要です。特にエネルギーを利用する場合には、最近の地球温暖化への影響などから、再生可能エネルギーの利用が求められており、下水熱は非常に期待できる方法です。以下に、システムの構成が異なる3つの事例を順にご紹介します。

## 2. 下水熱利用融雪システムの事例紹介

### (1) ヒートパイプ

まず、歩道の小規模な面積を対象とした、融雪利用の事例をご紹介します。これが本市における最初の下水熱利用の取り組みとなります。

設置場所は市の観光循環バスのバス停で、融雪面積は2.5m<sup>2</sup>です。採用したのは、一番シンプルな構造で動力を必要としないヒートパイプを用いたシステムとなります。

ヒートパイプの概要を示します(図3)。ヒートパイプは、パイプの両端の温度差によってパイプ内部の作動液が蒸発し、青い矢印の流れで下水側の採熱部から歩道側の放熱部へ熱を運びます。放熱部では、熱が奪われると液化し、作動液は重力の作用によって、赤い矢印の流れで再び採熱部に戻ります。このような仕組みで蒸発と凝縮を繰り返し、融雪機能を維持する仕組みです。



1. 下水熱利用の取組状況 導入状況

利用目的	事業年度	システム構成	設置場所	施設概要
融雪	H24	ヒートパイプ	美術館入口バス停前(歩道)	ヒートパイプを使って小面積の融雪を対象に下水熱利用の融雪施設を試験的に実施
融雪	H25	ヒートパイプ	がんセンターバス停前(歩道)	ヒートパイプを使って小面積の融雪を対象に下水熱利用の融雪施設を試験的に実施
融雪	H26~H27	ヒートポンプレス融雪システム	市役所前バスターミナル(歩道)	管底設置型下水熱交換システムと地上の放熱システムにより、ヒートポンプ等の加熱システムを用いないシステム
空調	H26~H28	ヒートポンプ空調システム	うらさこすど	管底設置型下水熱交換システムとヒートポンプにより、農業用ハウス内の空調に利用
融雪	H30~	ヒートポンプレス融雪システム	寄居町交差点(車道)	下水管底に高性能の採熱管を設置し、下水と対抗する方向に循環液を速い流速で流して下水熱を採熱し、循環液はヒートポンプを介さず、そのまま高熱伝導素材の舗装に送り融雪を行うシステム

ヒートパイプの設置状況（図4）としては、左上の写真にあるように、放熱部に当たる部分が歩道内になるようにヒートパイプを設置していきます。採熱部は、中央上部の写真にあるように、近くのマンホールまで車道部を横断させ、左下の写真のように、マンホール内部へと引き込む形となります。さらに中央下部の写真にあるように、下水管内へ引き込んで、下水と直接接触させて下水熱を利用する形となります。

こうして設置したヒートパイプの効果としては、右側の写真にあるように、冬季でも周囲より温度を高めることができ、効果的に融雪ができました。

(2) ヒートポンプ融雪システム（歩道）  
 続いて紹介する事例は、ヒートポンプを使用しないヒートポンプの歩道融雪事例となります（図5）。熱交換方式は管底設置型の折り返し方式となっており、設置場所は市役所前のバスターミナルへ接続する歩道となります。融雪面積は108㎡、設計日降雪深は6cmとなります。

ヒートポンプ融雪システムの概要（図6）としては、ヒートパイプと似ていますが下水管内に設置した下水熱交換システムと地上部の放熱システムの2つのシステムから構成されています。管底に設置した採熱管内の不凍液を循環させて、下水と熱交換を行い、地上部の放熱システムで熱交換を行った不凍液を循環ポンプによって直接放熱パネルに送ることで、舗装に熱を伝え融雪を行っています。このシステムのメリットは、ヒートポンプ等の加熱施設を使用しないので、従来方式よりも使用電力が低減できること、シンプルな機械構成のため、メンテナンスが容易であることです。下水管のサイズは幅2.5m高さ1.7mのボックス構造となっています。下水熱交換システムは、ポリエチレン製の採熱管でφ17mm、採熱長は折り返しで全長100.8mの30本です。

管内の採熱部の施工状況としては、まずガイドに取り付けた採熱管を下水管の中に引き込みフレームにはめ込み、固定バンドで設置します。ヘッダー部を融着し、送集水管の配管を行い地上部まで立ち上げます。地上の放熱部の施工状況としては、まず送集水管を敷設し、路盤を敷いた後に放熱管を

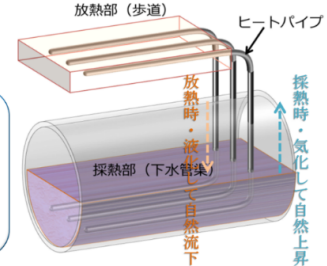
## 2.歩道融雪事例（ヒートパイプ）

図3

- 歩道融雪：小規模
- 下水熱ヒートパイプ

- 新潟市の観光循環バスの停留所に施工
- 融雪面積2.5㎡
- 採熱長 約3.5m※φ1300の下水管
- ヒートパイプφ26.5mm
- 無動力

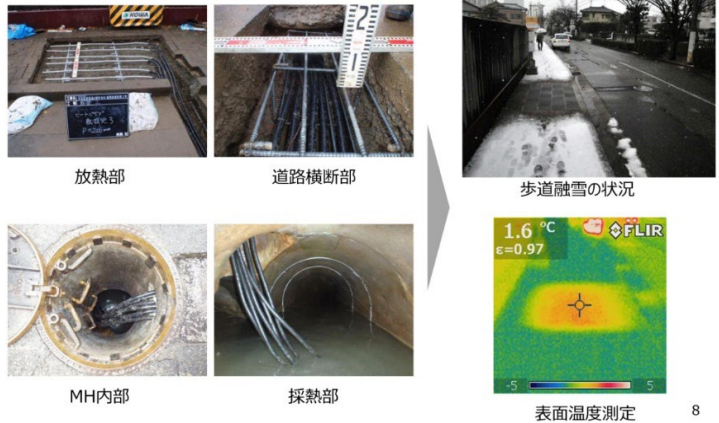
パイプ両端の温度差で熱を運ぶ「ヒートパイプ」を用い、管内から「無動力」で採熱  
 ⇒ランニングコストが不要



## 2.歩道融雪事例（ヒートパイプ）

図4

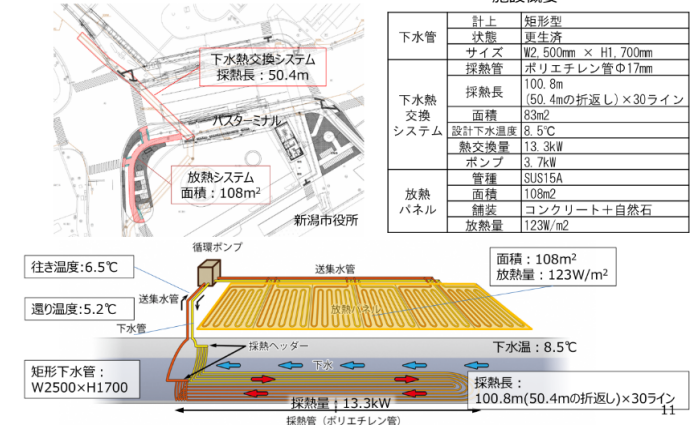
### 設置状況



## 3.歩道融雪事例（ヒートポンプ）

図5

### 融雪システムの概要



敷設します。その後、放熱管を覆うようにコンクリートを打設し、最後に自然石で表層を施工しました。並行して循環ポンプと制御盤を施工して完成となります。

現場のサーモグラフィー写真(図6)に示すように融雪部の表面温度は2℃から3℃となっており、融雪状況の写真で分かるようにしっかりと雪が解けていることが分かります。

市では、導入効果の検証も行っています(図7)。結果を見て分かるように、グラフの赤枠で示している全平均 COP は全期間平均で 3.22 でした。従来施設の電熱ヒーターを用いた融雪システムではこの値が約 1 なので、電力使用量に換算すると約 7 割の削減となり、省エネの効果が非常に高いことが確認できました。

### (3) ヒートポンプ融雪システム(車道)

3つ目の事例は車道部に融雪パネルを設置した実証実験で、熱交換方式は管底設置型の片押し方式となります。この施設は国土交通省の B-DASH プロジェクトを活用し、県知事公舎、小学校、警察署といった施設が隣接している交差点部に設置しました。融雪面積は 204 m<sup>2</sup>、設計日降雪量は 6cm です。本事業は平成 30 年度に施設整備を行い、今年度が自主研究の最終年として、効果検証を継続しています。

事業の目的は、現在主流の電熱方式やボイラー方式に比べて、脱炭素やライフサイクルコストの観点から、下水熱融雪施設の有効性を検討することです。検討概要としては、4つの効果検証を行うこととし、1つ目は高熱性能舗装による放熱性能向上です。冬季の下水温度が概ね 10℃前後と極めて低いことを踏まえ、放熱管にはステンレス鋼管を、骨材には熱伝導率が高い骨材を使用したコンクリート舗装を採用して確認しています。2つ目は、高熱性能採熱管による採熱性能向上です。従来技術よりも採熱性能が高い採熱管を採用することで採熱量を増加させる効果の確認です。3つ目は、片押し方式による回収熱量の向上です。採熱管の敷設方式を、従来の折り返し方式と比較して確認します。4つ目は遅い管内流速の効果です。管内の熱源水の流速を可能な限り遅くすることで、循環設備の負荷を抑え使用電力の低減を図りました。放熱部の設置状況(図8)としては、融雪範囲は左下の写真の黄色の枠線で示した部分で、断面は、放熱管を厚さ 280mm のコンクリートで保護し、舗装の骨材も珪石や珪砂を使用することで、従来よりも放熱性能が約 40%向上しました。

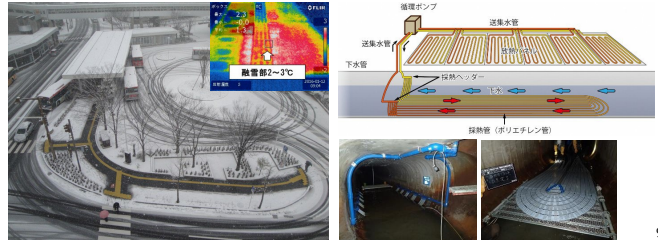
採熱管は下水管内に設置し、管更生後の φ1000mm、延長 91.8m において 24 本の高採熱タイプのポリエチレン管を敷設し、従来よりも 35%採熱性能が向上しています。

### 3.歩道融雪事例(ヒートポンプ)

図 6

- 歩道融雪:大規模
- 下水熱交換方式:管底設置型・折り返し方式

- 新潟市役所前に新設されたバスターミナルの歩道部
- 融雪面積108m<sup>2</sup>、設計日降雪深6.0cm/日、設計気温-0.04℃、設計風速3.61m/s
- ヒートポンプを用いない
- 採熱管30ユニットで敷設長50m(折り返し100m熱交換)
- 加熱能力13.3kW、循環ポンプ3.7kW
- 設計下水温度8.5℃、熱交換温度6.5℃→5.2℃で繰り返し循環



同じ面積を電熱ヒーターを用いた融雪で行った場合と比べ、全平均COPは全期間平均で 3.22、電力使用量にすると 68.9%削減ということになり、省エネ効果が非常に高い融雪施設である。

9

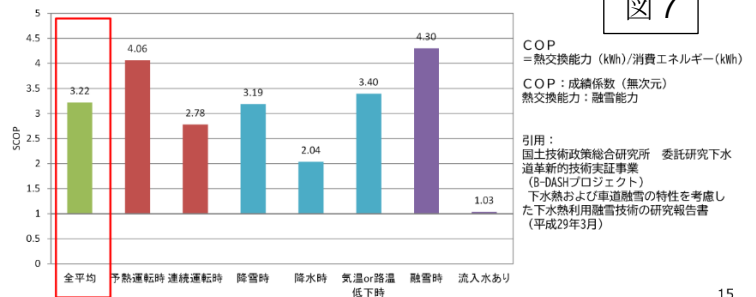


図 7

15

### 4.車道融雪事例(ヒートポンプ)

図 8

#### 融雪状況



23

地上部のバルブボックスの中には、循環ポンプや制御コントロール部を一体的に設置しています。その他、路面温度センサや降雪センサで降雪の挙動を感知し、循環ポンプにオンオフ信号を自動的に発信する制御システムも設置しました。

冬季の状況としては融雪範囲外では数センチの積雪が残っている状況ですが、融雪範囲内には積雪がなく、しっかりと機能が発揮されていることが確認できました。

図9に導入効果のまとめを示します。これらの4つの技術を効果的に組み合わせ導入することで、多くの下水熱を回収し、効率的な放熱が可能となり、ヒートポンプなどの熱機構が不要でコストの低減が図られることが確認されました。

本技術導入の効果と検証結果です。この検討条件下で、比較項目として年あたり費用、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量として検証した結果、従来のボイラー方式、電熱方式と比較して、大きな効果が得られました。また、副次的な効果として夏季における舗装冷却効果を検証したところ、融雪施設を設置した範囲の路面温度は周辺よりもピーク時で約10℃の低下が確認できました。すなわち、ヒートアイランド現象の抑制にも寄与しているということが分かりました。なお、今回の本技術の検証結果は、令和2年度に国総研のガイドラインとして公表されましたので、ホームページ等でご確認ください。

#### 4. 車道融雪事例（ヒートポンプレス）

図9

##### 導入効果

##### 検討条件

放熱規模	25kW級
融雪面積	200m <sup>2</sup>
試算期間	50年間
運転時間	1000時間/年

COP=13.9

##### 検証結果

比較項目	本技術	ボイラー方式	電熱方式比
年あたり費用 (①+②)	<b>2,592千円</b>	<b>2,729千円</b>	<b>2,999千円</b>
①建設費	①2,552千円	①2,174千円	①2,462千円
②維持費	②40千円	②555千円	②537千円
エネルギー消費量	1,799kW/年	31,017kW/年	24,986kW/年
温室効果ガス排出量	1,036kg-CO <sub>2</sub> /年	17,862kg-CO <sub>2</sub> /年	14,389kg-CO <sub>2</sub> /年

コスト縮減のほか、脱炭素にも貢献

約1割

約9割

24

### 3. 下水熱利用に向けた今後の展望

最後に、利用拡大に向けた今後の展望を示します（図10）。今回ご紹介した下水熱の取組は、令和5年度に改定した本市の経営戦略である、第2次新潟市下水道中期ビジョンの基本方針3・施策5に位置付けています。今後の新潟市の取組のポイントは、様々な効果検証を継続し、それを踏まえた導入要件の整理を進め、庁内の関係機関と民間事業者との調整を図り、民間業者が参画しやすい利用環境を整備するなど、互いにWin-Winとなれるような取組を検討していくことが重要と考えています。

#### 5. 利用拡大に向けた今後の展望

図10

##### 取組のポイント

○効果検証や導入要件の整理を進め、民間事業者が参画しやすい利用環境を整備する必要

取組事項	内容	課題
効果検証の継続	車道融雪施設の経年劣化調査 融雪効果の分析・評価	定量的な評価指標（COP）の妥当性検証 故障対応
要件の整理	効果検証を踏まえた導入要件の整理	管径や流量などの適用範囲の検討
庁内関係機関・民間事業者との協議・調整	道路部局・農政部局・公共施設管理部局等との合意形成 民間事業者へのPR	互いにWin-Winとなれる取組の検討
民間事業者の利用環境整備	サウンディング調査等による意向把握 下水熱ポテンシャルマップの作成	条例等の制度設計 ポテンシャルマップ作成範囲の検討 民間事業者の事業参画意識の醸成 手法の検討

下水道資源が持つ可能性を最大限に活用し、循環型社会への転換を図る

28

総合討論 議事録

講師 大阪公立大学 都市科学・防災研究センター 特任教授 (大阪市立大学名誉教授)	中尾正喜 氏
国土交通省 水管理・国土保全局 上下水道企画課 課長補佐	尾崎智弘 氏
東京都下水道局 計画調整部 エネルギー・温暖化対策推進担当課長	山田英樹 氏
愛知県豊田市 上下水道局 企画課 課長	新岩康正 氏
新潟県新潟市 下水道部 下水道計画課 課長	佐藤公康 氏
進行 21世紀水倶楽部 理事	鈴木穰

**進行：**総合討論は、私の方でまず現状の確認を行い、その後、事業実施の課題と対策、今後の方向性について皆さんからご意見をいただければと思います。

**【現状の確認】**

まず普及状況ですが、下水熱賦存量としては2030年下水道CO2削減目標の3/4に匹敵するほどのエネルギーを有しますが、利用熱量は0.4%に止まっています。また、下水道法規制緩和が行われた2015年以降、管渠内の下水から直接熱を回収する件数が増加しています。

**【事業実施の課題と対策】**

**（技術面（エネルギー有効利用・CO2削減））**

スライドには、技術面に関して、皆さんの講演資料からまとめた下水熱回収に係るエネルギー消費効率やCO2削減効果を示しています。豊田市の例ですとCOPが3から5ほど、CO2削減も35から40%近いものが得られており、新潟市の場合はヒートポンプを使わないこともあり、CO2削減で70%あるいは90%削減という値が得られています。海外ではAPFが3.1から4.6です。

	熱交換方式／ヒートポンプの有無	COP（エネルギー消費効率）	CO2削減
豊田市	管渠内熱交換 ヒートポンプ	3.14	▲39.0% (対ガスボイラー)
	処理水ピット型熱交換 ヒートポンプ	5.62 (夏) 4.87 (冬)	▲35.4% (対空気熱源ヒートポンプ)
新潟市 (歩道融雪)	管渠内熱交換	3.22	電力使用量▲68.9% (対電熱ヒーター)
(車道融雪)	管渠内熱交換 (放熱・採熱・熱回収・使用電力改善)	13.9	▲90% (対ボイラー・電熱方式)
海外事例 (中尾先生資料)	管渠内熱交換 ヒートポンプ	APF(年間性能係数) 3.1~4.6	

「APF (Annual Performance Factor)」のことで、定められた条件下でエアコンを使用した場合、1年間でどれだけ電力を消費したかを「期間消費電力量」として算出します。そして、エアコンが1年で使用するエネルギーを期間消費電力量で割ってAPFが算出されます。この値が大きいほど、省エネ性能が高いということになります。

まず中尾先生から順次、技術面に関してご意見頂けますか。

**大阪公立大・中尾講師：**下水熱の利用性能向上には、熱交換特性が重要と思います。例えば下水管路内の熱交換器であれば、1m当たり何kW採熱か評価することが必要で、スイスの事例だと2kW/mから5kW/mぐらいの性能だと思います。これを、今我が国で行っているものについても提示して欲しいです。理想的に

は、私の資料の中で示した指標： $\text{kW}/(\text{m}^2 \text{K})$ （伝熱面積  $1 \text{ m}^2$ ・温度差  $1^\circ\text{C}$ あたり何  $\text{kW}$  熱交換できるか）での評価が望ましく、数百  $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$  から最大で  $2000 \text{ W}/\text{m}^2 \text{K}$  ぐらいが熱交換器の性能です。管路に敷設するものでは、もっと小さくて  $200 \text{ W}/\text{m}^2 \text{K}$  ぐらいですが、新潟県の融雪の場合は、 $64 \text{ W}/\text{m}^2 \text{K}$  ほどなので大変低いと思います。先ほど示した値は、熱交換器に金属を使えば実現できます。金属は樹脂と比べて30倍ぐらいの熱伝導率を持っています。この性能の違いをよく認識して、低コスト化を目指して頂きたいと思えます。例えば、敷設距離が  $100 \text{ m}$  いるのが  $30 \text{ m}$  で済めば、今後の普及の展望に繋がるかと思っています。

**東京都・山田講師**：東京都のように敷地が限られているところでは、なるべく少ない面積で効率良くというのが非常にポイントになると思います。あと、今回の COP の数字を見て非常に高いと感じました。恐らくヒートポンプや熱交換器のところだけを見ていると思っています。実際の地域冷暖房の COP だと、1 超えていたら結構いい数字を出していると思います。地域冷暖房は空調に使うために色々なポンプがあり、その他のものも含めて COP を算出しているの、1 を超えるのは難しい実態があります。

**大阪公立大・中尾講師**：多分、COP1 と言われたのはシステム COP だと思います。システム COP で、なおかつ化石燃料などの1次エネルギーに換算した値だと思います。今日発表のあった COP は、1次エネルギー換算ではなくて、電気入力に対する COP なので、1次エネルギー換算すると  $1/3$  ぐらいの値になります。今日発表の COP は、システム COP とすると、多分1を少し切るレベルになると思います。

**豊田市・新岩講師**：お恥ずかしい話、中尾先生の話聞きまして、金属製の熱交換器があるというのを初めて知りました。豊田市もやはりコスト面が大きな課題と捉えており、金属製のもので熱交換率を上げていけば、敷設延長が短くコスト縮減にも繋がるので、非常に勉強になりました。

**新潟市・佐藤講師**：先ほど中尾先生の採熱部を金属製にするということは、正直今まであまり発想がありませんでした。これまで新潟市は、平成24年から試験施工など試しながら、一つずつ積み上げてきました。バスターミナル歩道の COP3.22 という数字がありますが、今行っている実証実験では、採熱部で高性能のポリエチレン管を使って採熱効率を上げたり、逆に放熱のところでは熱伝導率の高いコンクリートを使ったりしています。自主研究という形で令和2年から今年度まで続けていますが、その中で管渠の下流に堰を作って水深を少し上げ、熱交換がプラスになるか検証し、COPが若干上がった結果も出ています。

新潟市のポイントとして、設計上1時間当たり  $1.5 \text{ cm}$  の積雪に対応するかという考えで、必要な熱量として、ヒートポンプなしで成立した事例です。もっと多く融雪することは難しいかもしれませんが、現場にあった目的に対し、可能な限りコスト削減し効率を高めるという事で、ヒートポンププレスを新潟市の売りとしてやっています。更なる高効率なものに向けて、検討を進めたいと考えています。

**進行**：新潟市様の場合は、消費エネルギーを下げる方に重点を置かれており、どうしても採熱効果としては少し下がるのかなと思います。

### (技術面、維持管理性)

維持管理について、中尾先生から生物膜をかき取ると効率が良くなるという報告もありましたが、実際の現場を管理されてる方から、何かありますか。

**東京都・山田講師**：水再生センターで下水熱利用に携わっていました。原水は処理水であり比較的綺麗ですが、ストレーナーの点検を1年に1回ぐらい行った際に分解し中を見ると、スケールなどで清掃に苦労した思い出があります。先ほどの後楽1丁目の事業で言いますと、原水の未処理下水は自動スクリーンを通っていますが、ポンプアップして1回ドラムスクリーンにかけると、非常にし渣が絡んで、毎回のようには清掃をして大変だったと聞いています。そういった苦労をされているので、し渣や夾雑物への対応は、特に未処理下水では大きなポイントであると思っています。

**大阪公立大・中尾講師**：管渠内の熱交換で金属製を使う場合、金属のメリットを生かそうとすると、下水に対し金属表面からの熱の伝達を良くする流速が重要な要素になります。ポンプ場の手前あたりで下水が滞留しているところに敷設した場合には、熱交換性能が落ちる可能性を今後考える必要があります。

それからスクリーンに関し、下水管路内にうまく設けられれば、夾雑物はレーキで取って下流側に逃せば良いという考え方があります。

### (費用面)

**進行：**費用面では、イニシャルコストは高いけれどもランニングコストが安価であって、10年、30年で回収できるということですが、費用面での改善や工夫についてご意見ありますか。

**東京都・山田講師：**補助金等が多ければ多い方が良いが、これから下水熱利用を普及させるという視点で言うと、ある程度自立できる形になっていくのも重要だと思います。地域冷暖房での実績を考えると、必要の平準化が重要です。お客様の熱需要にピークがあると、これに合わせた機器設定になり、イニシャルが割高になってしまいます。

**進行：**中尾先生から、大体500kW以上の規模でないと採算が取れないという話でしたが、補足下さい。

**大阪公立大・中尾講師：**小さくても大きくても、配管とかバルブの構成とか制御システムとか、一通りの同じようなものが必要になるので、スケールメリットを考えると、100kW前後では採算が難しいと思ってます。200kW、できれば500kW以上ってような基準で考えていくといいのかなと思います。500kWは、パイプを流れる流量として、毎秒50リッターぐらいですかね。温度差5℃ぐらいで。

**東京都・山田講師：**50リッターだったら時間180m<sup>3</sup>になり、結構な量です。後楽が最大で時間3,600m<sup>3</sup>なので、その1/20になります。

**大阪公立大・中尾講師：**熱交換するには、マージンを見て時間300m<sup>3</sup>ぐらいの流量が最低でも必要です。

**進行：**国交省様から、今まで通して技術面、費用面等に関して何か補足ありますか。

**国交省・尾崎講師：**先ほどからやはりコスト面が問題だという話があり、補助メニューはリノベーション推進事業や環境省のものになりますので、これにプラスアルファしなければ、普及が進まないと感じています。自治体の取り組みを踏まえ、今後の制度設計も含めて考えていきたいと思っています。

**東京都・山田講師：**最近では人件費が高騰しているので、ランニングコストも非常に重要になってくると思います。また、職人さんも減ってきており、昔とは状況が変わってきています。

**大阪公立大・中尾講師：**下水を採水し熱交換する方式に関しては、規模の大きいものについて、東京都さんが多くのデータも取られてると思うので、それをぜひ横展開して頂ければと思います。熱交換器の性能の時間変化やボール洗浄の効果、維持管理費全体の実態などについてです。

**国交省・尾崎講師：**維持管理費は下水道の収益から賄うというのが基本的な考え方ですが、一般財源の方から持ってくるのが可能なのかも含め、しっかりと検討を進めていきたいと思っています。

#### **(実際の維持管理面)**

**進行：**私から一点質問ですが、熱交換の設備が管渠内にある中で、管渠の洗浄で支障をきたした例があるのか、また、管渠が損傷して緊急工事が必要な場合にどう対応するかについて、教えて下さい。

**新潟市・佐藤講師：**今日説明した事例では、本管自体は既に管更生を行っており、その後に採熱管を入れていますが、補修で特段問題はないようです。また通常の維持管理ですが、先ほど先生から採熱管にバイオフィームが付着し効率が落ちるという話でしたが、令和元年に設置した採熱管を、今年度に高圧洗浄で取り除き採熱効果に影響があるかを試験しましたが、さほど変わらない結果でした。設計の際に、バイオフィームが増えて一番影響の高いところでロスを考慮した熱計算を行い、採熱管のスペックを決めているので、よほど何かがない限り、通常の管渠の維持管理頻度を上げるかどうかは、現場によると思います。

**豊田市・新岩講師：**豊田市では、結論から言うと、供用開始して7年経ちますが、特に維持管理面で苦慮したという話は聞いていません。1年に1回点検をしていますが、COPもこの期間は大体設計値通り出ております。

#### **【今後の方向性】**

**進行：**では次に、今後の方向性に移らせていただきます。

**大阪公立大・中尾講師：**私が規模の大きなものと申し上げたのは、補助金なしで何とかいけるレベルを早く作るには、やはり規模の大きいものを普及させることが必要で、大きなもので例えば下水管内の金属製のものが大量に使われれば、単価も安くなり、小規模にも入りやすくなると思います。

#### **(蓄熱)**

**進行**：事前説明で中尾先生のところにお伺いした時に、大阪うめきたの帯水層蓄熱事業\*のお話を伺い、下水道にも将来的に使えるかと思いました。本事業について、少し話をお聞かせ願えますでしょうか。

**大阪公立大・中尾講師**：地中は粘土層と砂礫層が交互に形成されていますが、帯水層蓄熱というのは、砂礫の層に大量に熱を溜めて使うものです。東京では多分、地中の温度が18℃ぐらいだと思いますが、冬は低温側の井戸に13℃で溜めてそれを夏に使いますが、使用に伴い徐々に温度が上がってきますので、平均的には15℃ぐらいで使えると思います。15℃で夏の冷房熱源として使うと、COPが大体10を超えます。夏は排熱を25℃弱のところまで貯めて、冬にヒートポンプの熱源として使いますが、下水熱の温度レベルと比べると、温度レベルに関しては魅力があります。ただ、その井戸を作るためのイニシャルが、現状ではまだ1億円ぐらいかかります。それと比べると下水熱の方が熱を取りやすい状況です。足元にある資源としての帯水層、それから下水道を組み合わせて適材適所で使っていくという発想なのかなと思ってます。

\*編者注：(参考) 余剰再生可能エネルギーの吸収機能を持つ帯水層蓄熱システム <https://ates-info.org/>

**進行**：先生のこのお話をお伺いした時、遠い将来になるかもしれませんが、下水処理場が能力的に余ってきたら、その施設に水を溜めて、冬と夏で熱源として使う方法もあると考えたりしました。

### (事業の進め方)

さて、下水熱のポテンシャルマップを作り、民間参入を促すことは、これからの方向かと思いますが、東京都が麻布台で行われていることについて、ご苦労とか改善案とかいかがでしょうか。また、それぞれ都市、国の方からも事業の進め方についてご意見等をお願いします。

**東京都・山田講師**：麻布台については、許可は出していますが、事業者が実施していることについて、そこまで把握はしていません。事業の進め方というと、ヨーロッパなど比較的寒いところは暖房や給湯などの温熱需要が多いので、下水熱は結構可能性があるように感じています。最近の夏は、外気温と下水温度の差が徐々に縮まってきているので、むしろ冬の寒冷地がターゲットとしては大きいと思います。東京都は「5万平米以上の開発の場合は未利用エネルギーを検討すること」が開発事業者に要求されているので、大規模なビル開発などの場合は、下水熱には限らないが検討してもらうことになっています。

**新潟市・佐藤講師**：これまで融雪という視点で試験から始め、今後本格的な展開に向かってみたいとは思っていますが、まずは、熱需要を見える化するためのポテンシャルマップ作成などから開始し、後は民間事業者にしっかり情報提供をして、様々な提案を頂き、次へワンステップ上げていきたいと思っています。さらに、公共施設の再編の取り組みが進んでいますので、それも一つのチャンスと捉えています。行政だけではできませんので、情報発信をし、逆に情報も取りながら、進めることが大事だと感じています。

**豊田市・新岩講師**：発表の中でも申し上げましたが、下水道部局の職員が一生懸命頑張って下水熱を使いましょうと関係部局や民間企業に声をかけたりしましたが、市の内部の横の連携というものがなかなか広がらない。7年前に事例を作ってから、その後は給食センターの建設や、庁舎の空調設備を更新する時に、下水熱使いましょうとPRし、公共機関ですので再生エネルギーとして必ずテーブルには上がるのですが、比較の中で落ちてしまう現状があります。先ほど東京都様からあった大きな開発では必ず下水に限らず未利用エネルギーを事前検討するというものも含めて、プラスαのメリットがあるような環境の整備が必要ではないかと感じています。

**国交省・尾崎講師**：事業を進める上では、先ほど豊田市さんから関係部局との連携が必要ということや、新潟市さんでは融雪で使われているため道路管理者とうまく連携されていると思いますし、東京都さんの場合には開発における要件に入れるとありますので、しっかりと関係部局と連携することが必要です。

### (質疑応答 (チャット))

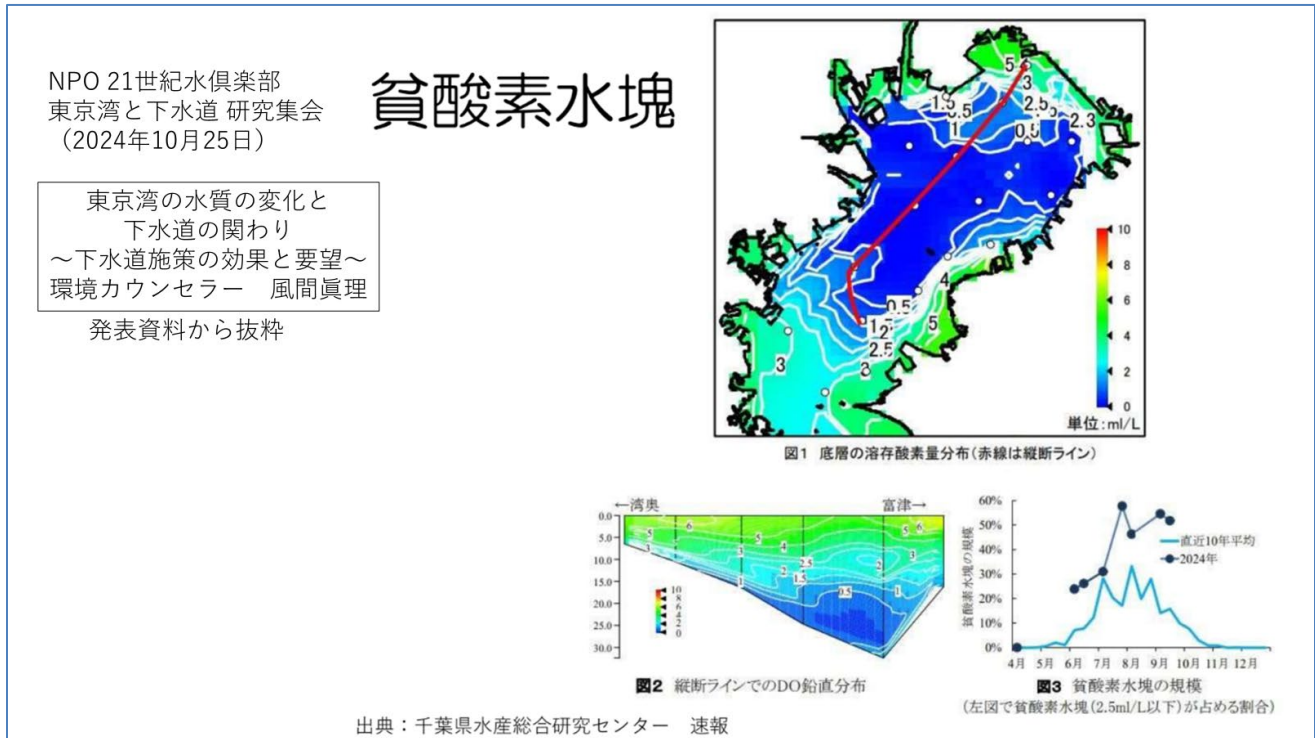
**進行**：チャットで「下水道管中の下水との温度差が約5℃あると十分な熱回収が行われることがわかりました。熱交換器に下水を流す場合に、効率よくバイオフィームの成長を抑制する方法があれば、より良いのではないかと思います。かき取り以外で何らかの工夫が考えられますか」という質問があります。

**大阪公立大・中尾講師**：かき取り方式以外はあまりアイデアを持ってません。ケミカルや電気的な方法でバイオフィームがつきにくくできないか、応用化学の先生方にも相談しましたが、なかなかうまいアイデアはなさそうです。

## (環境影響の多面的評価)

**進行：**この図は、底層での酸素濃度分布を示しており、青が濃い方が貧酸素ということです。右下の図から、夏場に貧酸素域が拡大し、近年その範囲が拡大しています。暖かい水が表層に流れることによって貧酸素が生じやすいと考えられますので、下水処理水の温度を下げることは貧酸素対策として効果があるのではないかと考えられます。この点について水倶楽部の佐藤さん、補足説明をお願いします。

**水倶楽部・佐藤：**昨年に「東京湾と下水道」という研究集会を行い、東京湾は徐々に赤潮の頻度も減って



きてはいるが、真ん中に貧酸素水塊が居座ってしまう問題があるとの報告がありました。これは、今日の下水熱に少し関連してくるんじゃないかと思います。また、少し前に多摩川で冬も熱帯魚がいてタマゾン川とか言われたことがあり、それは結局多摩川の冬場の流量の約半分が下水処理水であるため、下水処理水の温度が環境に影響する場合があるということだと思います。下水道は都市排熱を大きく受け入れている施設でもあり、この排熱が都市の環境問題、ひいては地球環境問題とも密接に関連していることから、環境からの視点を、下水熱利用を推進するファクターとして考えていくことも一つのヒントになるのではないかと考えてご紹介させていただきました。

**大阪公立大・中尾講師：**大阪の湾奥部でも、岸壁近傍の深い水深のところで調べると、温度成層ができていて底層部が貧酸素状態になっています。そういう底層部に密度の軽い処理水を放流すると、鉛直循環を促進することが考えられます。

**水倶楽部・佐藤：**去年の研究集会のフォローとして、1ヶ月ほど前に勉強会を開きましたが、放流の方法により貧酸素問題を解決していくとの意見も出ました。放流の仕方を考えていく必要があると思います。

**進行：**栗原さんは昔、多摩川の馴染み放流をやられていましたが。

**水倶楽部・栗原：**今佐藤さんから指摘がありましたように、下水処理場は汚水を受け入れて処理するという基本的な役割の中で、生活様式が変わって不可避免的に熱も受け取っています。公共用水域の水質保全を旗頭にしている下水道としては、その熱が水環境に影響がないようにすることも、一つの役割として大切なのかなと思っています。放流の仕方として、先生がご指摘のように深いところに入れるとか、分散して入れるとか、東京湾の潮流で一番拡散されるところに入れるとか、なじみ放流という言い方を国交省はしていたんですが、全国でいろんな事例が見受けられます。

**(質疑応答(会場))**

**進行**：これまでの発表と討論を通して、パネラーの方に質問等ございましたらよろしくお願ひします。

**水倶楽部・村上**：新潟市の佐藤様にお伺ひします。今日見せていただいた融雪の状況だと、雪国の生活も変わるなど本当に思ひました。私は以前に新潟で仕事したことがありますが、消雪パイプ方式では、地下水を汲んで道路の真ん中から流すと道路がビチャビチャになるし、事前に噴出用のノズルを1個1個外して綺麗にする大変な作業をやられるんですね。今日ご発表のような方式は、消雪パイプ方式に取って代われるのではという気もしたんですが、将来、下水熱の方式が使えるところだと消雪パイプ方式に替わっていくのか、あるいは何か住み分けがあるようになるのでしょうか。またもう一点、費用的に消雪パイプ方式と比べた場合にメリットがあるような気もするのですが、いかがでしょうか。

**新潟市・佐藤講師**：ご質問ありがとうございます。基本的には、雪が降ると雪を端に除ける除雪を行い、それでもまだ降雪が続くと除雪スペースがなくなるので、ダンプに雪を積んで排雪所に運び出す排雪を行います。合併市町村の中では消雪パイプを用いているところもありますが、旧新潟市内では、砂地盤で地下水くみ上げによる地盤沈下もあり、消雪パイプはあまりない状況です。住み分けとしては、基本はやはり除雪という中で、部分的に歩道や道路のランプ、除雪しにくい場所で、電熱方式などのロードヒーティングを入れているところはあります。その電熱方式の代わりに下水熱利用ということが初めの一歩なのかなと思ひますが、やはり費用対効果もありますし、融雪面積によっては本当に下水熱だけでどこまで可能なのかということもありますので、ケースバイケースだと思ひます。

今回の下水熱融雪では、バスターミナルや交差点部は1時間当たり1.5センチの降雪に対応する熱量を計算していますが、その1.5センチでは道路交通上問題がある場合にはそれなりの規模の設備も必要になってきますので、地域の実情に応じて取り組みを一つずつ積み重ねていかないと、なかなか進んでいかないところもあります。下水道管理者としてできることから一歩ずつ進めていきたいと思ひます。

**進行**：本日は、技術面それから事業実施面、今後の方向性について貴重な意見をいただきました。どうもありがとうございました。

## 『ますます進化・拡大する下水熱利用』研究集会：アンケート集計結果

全参加者：会場29名 オンライン31名＝全60名

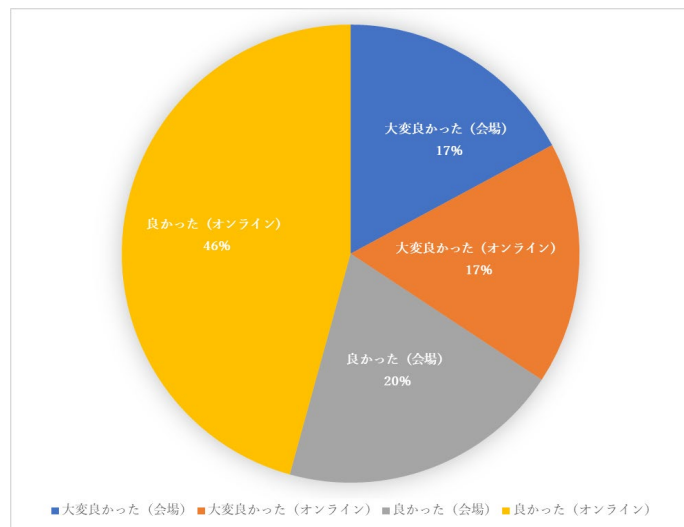
アンケート回答：会場13名 オンライン22名。併せて：35名 回答率：58.3%

### 1. 水倶楽部の会員ですか？ 「はい・いいえ」

会員の占める割合が約60%

### 2. 今回の水倶楽部の研究集会に、ご満足いただけましたか？

大変良かった～不満 までの5段階評価



大変良かった：17+17=35% (回答者の内)  
良かった：20+46=66% (回答者の内)  
「大変良かった」+「良かった」=100%。

非常に満足度の高い研究集会であった。

### 3. 今回の研究集会への感想、もしくは運営上の改善点をお願いします。「自由記述」、回答数21名

- 講師の説明は判りやすく、資料も良かった。
- 大変有意義なものでした。今後に期待します。
- 下水熱利用の公的価値（環境保全）について改めて考えるきっかけとなった。etc

### 4. 今回の水倶楽部の研究集会において、「下水熱利用」について、どの様な特徴、あるいは新しい視点を 得る事が出来ましたか？ 「自由記述」 回答数22名。

- 地域ごとの利用、特に新潟県の取り組みを知ることができて良かった。
- 最新状況がよく分かった。
- 老朽化した施設の改築・更新について、技術的な方法と財源について。特に小規模な自治体において、財源確保をどの様に行ったらよいか？ etc

### 5. 今後の水倶楽部の研究集会に希望するテーマがございましたら、ご意見をお聞かせ下さい。「自由記述」。 回答数12名。

- 夢を語る機会があってもおもしろいかと思います。
- GXと下水道
- 老朽化した施設の改築・更新について、技術的な方法と財源について。特に小規模な自治体において、財源確保をどの様に行ったらよいか？ etc