

下水熱の有効利用 ～下水道は宝の山～

井平 陽大

建政部都市整備課（〒460-8514 名古屋市中区三の丸2-5-1）

下水道普及率が高まると同時に、下水処理に必要なエネルギー需要も増加し、今後はさらなるエネルギーが必要とされている。最近では、省エネルギー施設の導入等、新たな技術の導入が進んでいるが、下水道施設から得られるエネルギーの再利用はあまり進んでいないのが現状である。このような状況の中で、下水道は、その安定した流量、温度から熱エネルギーを回収する対象として注目されてきている。本研究では、潜在的なエネルギーとして期待される下水熱の利用を普及促進するため、下水熱を有効活用できる条件を整理し、また下水熱利用導入の判断を容易にするための参考資料を作成した。

キーワード：下水熱、法改正、下水熱ポテンシャルマップ

1. 下水道施設のエネルギー利用状況

世界のエネルギー消費は年々増加傾向にあり、石油、石炭、天然ガスなどの自然エネルギーに依存しているのが現状である。また、世界的なエネルギー消費の増加傾向の中で、安全性を問われている原子力エネルギーに代わり再生可能エネルギーの活用が望まれている。このような背景の中で、まずは下水処理の仕組み、どれくらいのエネルギーが消費されているのか、どのような施設でより多くのエネルギーを必要としているのか言及する。まず、下水の処理の流れについて、各家庭からの排水（汚水）が管渠を流れ、場合によってはポンプで圧送されて処理場へ流入する。その後、沈殿物等を取り除いて、

生物的に汚水を分解させることで汚水を再生水として放流している。（図-1）この中で最も重要な役割を持つのが、生物的に汚水を分解させる微生物である。微生物は生き物であるため、活動に酸素（空気）を必要とし、処理場で最も大きなエネルギーを消費するのが微生物に空気を送るための送風機施設を含む水処理施設である。また、下水処理に必要なエネルギーは、日本全体で消費されるエネルギーのうちの約0.3%を占める。¹⁾近年、節水型トイレの普及などによって汚水量の伸びは抑えられているが、水が少ない分濃度が上がり、下水処理に必要なエネルギーは今後も増加していくと考えられる。（図-2）このように下水処理には、大量のエネルギーが必要とされ、下水道の整備が進めば進むほど、必要となるエネルギーも大きくなるという背景がある。

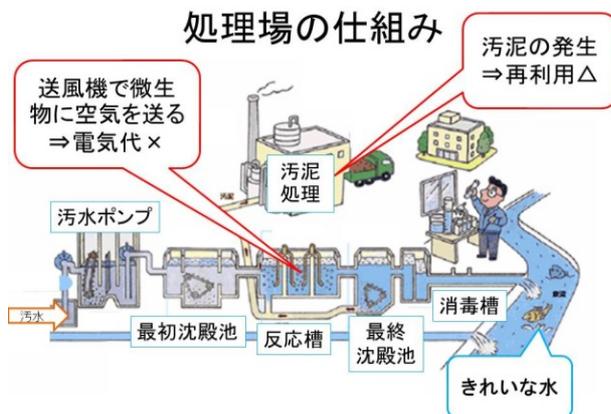


図-1. 下水処理場の仕組み

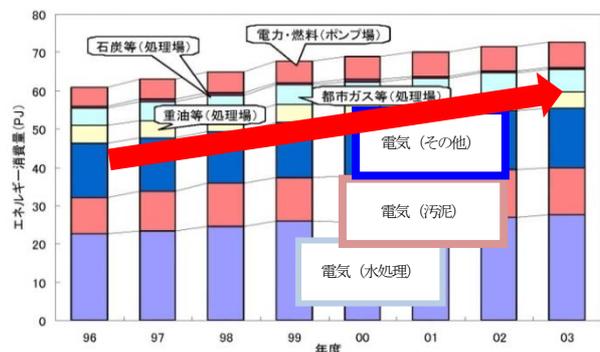


図-2. 下水道施設のエネルギー消費量の推移

2. 下水道は宝の山？

下水道事業では施設整備以外に、日常的な維持管理にも多額の費用が必要となる。特に水処理施設にかかる電気代は多額となり、それに伴って温室効果ガスの発生にも大きな影響を与えている。中でも温室効果ガスのうちのひとつである二酸化炭素は、日本全国で発生されるガスのうちの約0.5%を占め、そのうちの65%がエネルギー起源となっている。¹⁾ また、下水処理の過程で生じる下水汚泥には多くの窒素化合物が含まれ、これを処理する際には多くの一酸化二窒素が発生する。下水処理で二酸化炭素と一酸化二窒素が抑制されれば、温暖化に与える影響を減らすことができると考えられる。これまで述べたように、下水処理には大量のエネルギーが必要となり、下水を処理する過程では様々な環境負荷を与えている。しかし、これは今までに下水道施設のエネルギーが有効に利用されていないことも原因の一つである。近年になって、下水道施設には様々な潜在エネルギーがあるということが分かってきており、そのほとんどが未活用な状態である。具体的には、下水処理の過程で生じる汚泥と呼ばれる物質があるが、これは今までは焼却してコンクリートスラグ等に利用される程度であった。しかし、最近になって、より効率よくエネルギーを再利用できるように、炭化炉を用いて燃料化することが行われている。また、微生物が汚泥を消化する際に発生してしまう消化ガス（窒素酸化物）がもつ熱エネルギーを利用して発電に利用したり、汚泥に含まれるリンを野菜栽培に利用したりと、様々な形での再利用が取り組まれている。このように、下水処理場は本来の目的である下水の浄化以外にも様々なエネルギー利用が検討されている。さらには、本研究で取り上げているように、下水処理場に向かって流れている下水からも熱エネルギー回収の可能性もあり、まさにエネルギーの宝庫となる可能性を秘めている。（図-3）



図-3 下水道のエネルギー利用

3. 下水道の熱エネルギー利用について

下水熱利用の方法として大きく二つの種類がある。1つ目は下水処理された後の処理水を利用する方法である。この方法の利点として、安定した流量、熱量が見込めることと、利用するのが処理済の処理水なので、心理的にも周辺住民へ受け入れられやすいことが挙げられる。下水処理場自体は迷惑施設として嫌悪されることが多い施設であるが、処理済みの水であれば、雨水を集めた雨水管渠からの水よりもきれいなものであることが多いため、処理水の河川浄化を目的とした再利用と併せれば、下水処理施設のイメージアップにも貢献できるのではないかと考えられる。しかし、処理場付近でしか利用できないことが最大の欠点であると考えられる。熱源と需要家の距離が長くなれば長くなるほど効率が悪くなり、採算が取れなくなる恐れがあるためである。

もう一つの方法として、処理する前の下水から熱利用する方法がある。（図-4、図-5）この方法の利点としては、下水管渠が埋められている場所であればどこでも熱利用が可能となるため、処理水を利用する方法よりも熱源と需要家の距離を縮めることができるので、効率よく熱利用できると、小規模な熱利用が可能となることである。これに対して欠点としては、熱源の管渠の径が小さくなれば、大規模な需要家に対応することが難しいことである。上流に行くほど管渠は小さくなるが、中には熱利用に向かないほど小さな管渠もあり、住宅街の多くの場所ではこのような小さな管渠が埋設されている

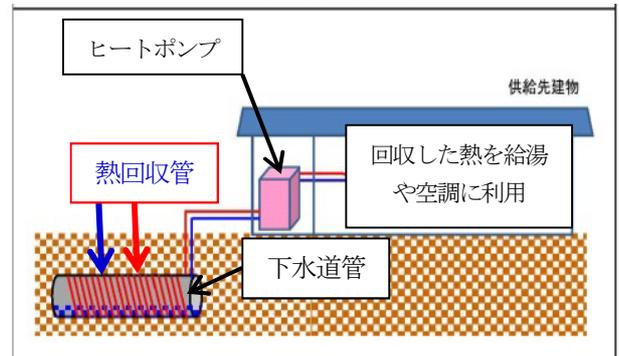


図-4 下水熱利用のイメージ

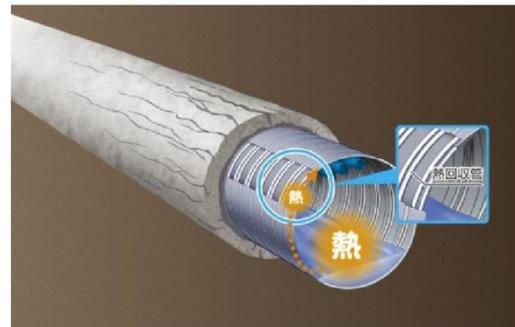


図-5 下水道管からの熱回収イメージ

ことが多い。以上のように、太陽光発電等と違い、利用できる環境が限られるということがデメリットとして挙げられる。

3. 下水道法の改正と課題

これまでに述べてきたように、下水道の熱利用については、メリットとデメリットの両方の面があるが、最も大きな問題としては、そのほとんどのエネルギーが利用されていないことである。より下水熱エネルギーが活用しやすくなるための措置として、平成27年月日に下水道法が改正された。改正された内容のうち、下水熱利用に関わるものとしては、これまで下水道管渠内に民間事業者が何らかの占有を行うことは基本的に禁止されていたが、法改正に伴い、下水熱利用のための熱回収管などの設置が認められることとなった。これにより、公共団体だけではなく、民間事業者にも下水熱を利用してもらう狙いである。この法改正によって、今後は様々な事業者による熱利用という可能性が開けたが、同時に事業者が下水熱を利用するための課題も分かってきた。その課題の中でももっとも大きなものが、どのような場所でどの程度の熱利用が可能となるのか、事業者も下水道管理者

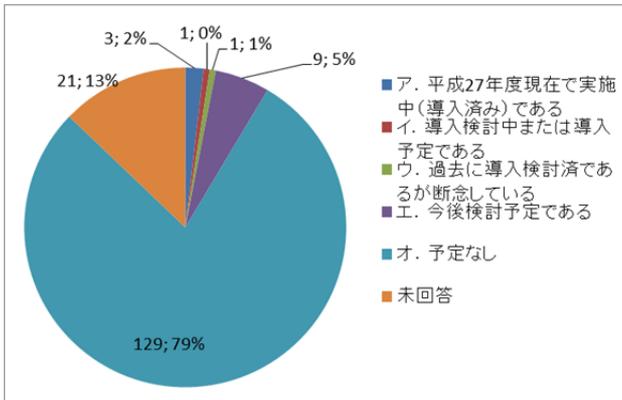


図-6 下水熱利用に関する認知度

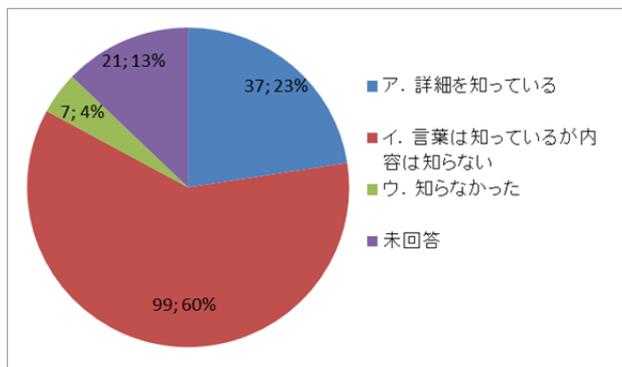


図-7 下水熱利用技術の導入予定

である公共団体も把握ができていないということである。図-6と図-7は、今回の下水道法改正に伴い、中部管内の下水道事業団体に対して、下水熱利用に関する認知度及び下水熱利用技術の導入予定についてアンケートを行った結果である。この結果から、下水熱利用が公共団体にまだまだ認知されていないことと、法改正を受けてもあまり熱利用が進まないことが危惧された。下水道管渠については、その詳細な情報は管理者である公共団体しか把握できていないにも関わらず、公共団体自身も熱利用を行ってきた公共団体が少ないために、どのような場所で効率よく熱利用ができるのかノウハウを持っていないことがほとんどである。熱エネルギーを利用したい事業者としても、管渠の詳細が不明な状態では、熱利用の検討をすることができない。このような課題があるため、法改正以降も熱利用が進まないことが考えられた。

4. 課題の解決策

前章までの課題をふまえて、下水熱エネルギー利用を普及させるために、課題解決の方法を模索した。

まず、国内、海外を問わずに、すでに下水熱利用が行われている事例を集めて、その中で、どのような条件下で熱利用が行われているのか把握することに努めた。

事例紹介(1)～下水処理水の熱利用～

名古屋市 ささしまライブ24地区(露橋水処理センター) (図-8)

名古屋市において高度処理を導入する予定の露橋水処理センターから、都市開発を進めている「ささしまライブ24地区」に下水再生水を送水し、その再生水を民間事業者による熱利用に活用するとともに、

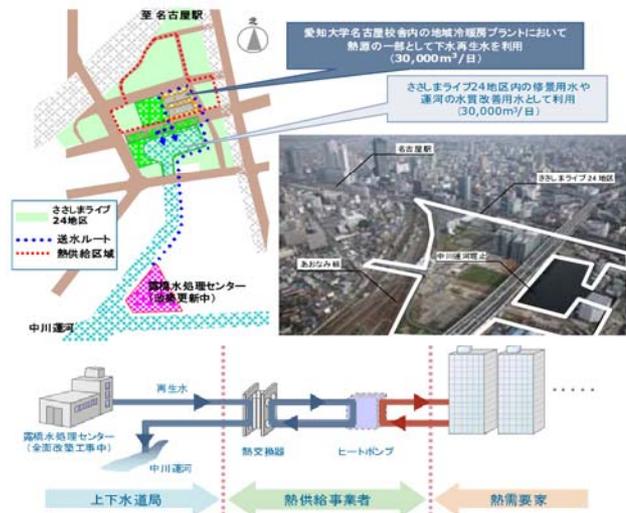


図-8 名古屋市における下水熱利用⁽²⁾

運河の水質改善用水や修景用水としても利用することが計画されている。

「さしまライブ 24 地区」における既存の地域冷暖房事業を下水再生水の熱利用により効率化させ、CO₂ 削減（年間約 1,000 t 分）へ貢献するとともに、潤いのある水空間の創出にも寄与するものである。

事例紹介(2) (下水未処理水の熱利用)

豊田市では、豊田市駅前通りの再開発地区にて、高齢者施設の給湯システムに下水熱を利用する予定であり、熱利用規模は130床分の給湯を賄う規模である。(図-9) 本事例は、まさしく今後広く水平展開されることが望まれる事例である。事業主体者は民間事業者となり、下水道管理者である公共団体には占用料の収入が見込め、コスト面でもエネルギー利用の面でもより良い効果が見込める。

名古屋市、豊田市と中部管内での下水熱利用の事例を紹介したが、中部管内での事例は他にはほとんどないと言ってよい状態であり、他の公共団体へもこのような事例が展開されていくためには、民間事業者や自治体に対して、下水熱利用が可能となる場所を判断する能力が必要となってくる。2つ目に紹介した豊田市では、そのための一つの判断基準として下水道熱利用ポテンシャルマップ(図-10)を作成している。下水道熱利用ポテン

シャルマップとは、下水管渠内を流れる汚水量や管渠径などを調査し、どこにどの程度の汚水が流れているのか把握することで、下水熱利用希望者に対して下水熱利用の可能性について情報提供が可能となるものである。100%希望者の要望通りの熱量が回収できることを保証するものではないが、一つの判断目安となり、おおよその見当をつけてから詳細な調査に臨むことができるようになり、下水熱利用導入の検討を行いやすくなる。

5. 簡易判断のために

4章で述べたように、ポテンシャルマップを整備することは、下水熱利用の推進に有効である。しかし、ポテンシャルマップを作成するためには、既設の下水道管渠について詳細なデータが必要となる。現在のところ、各自治体にはこのようなデータがないか、電子化されておらず、利用が難しい状況であることが多い。また、人員不足などの理由で早急に対応をすることも難しいのが現状である。このような状況を踏まえて、ポテンシャルマップをもっと簡易に作成することができないか検討を行った。具体的には、下水熱利用の熱回収管を製作しているメーカーへのヒアリングと海外での事例を参考に簡易に作成するための指標を作成した。以下に各メーカーへのヒアリング結果と海外事例を表にまとめている。



図-9 豊田市における下水熱利用⁽³⁾

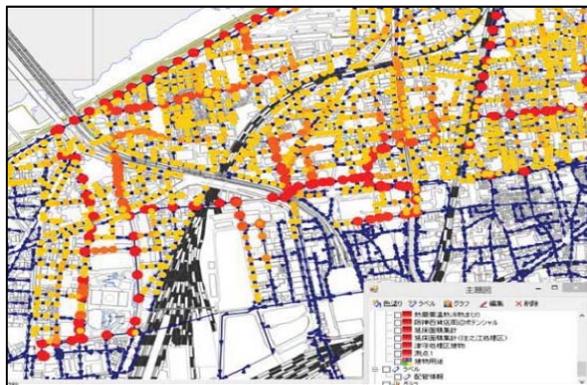


図-10 ポテンシャルマップの例

提案者	提示条件
A 社	<ul style="list-style-type: none"> ・らせん方式でφ1,000mm 以上、管底設置型で 800mm 以上の管径が必要 ・熱回収場所から熱利用場所までの距離が 150m 以下 ・水深が 15%程度以上 ・単独の建物への導入を基本と想定し、30~50kW 程度の熱需要があること
B 社	<ul style="list-style-type: none"> ・熱回収場所から熱利用場所までの距離が 250~300m 程度以下 ・水深が 10%程度以上 ・管径 800mm 以上(それ以下で設置できる技術もあるが効率が悪い) ・100kW 以上の熱需要

表-1 メーカーへのヒアリング結果

・	熱需要150kw (50世帯分、冷熱利用の場合100kw)が存在すること
・	熱回収場所からの熱需要場所までの距離が1,000m以内であること
・	熱回収場所での下水流量が晴天時に15L/s以上あること
・	熱回収場所での下水管径が500mm以上あること

表-2 スイスでの下水熱検討基準

メーカーへのヒアリング結果、海外事例の収集などにより、下水熱利用検討のための簡易判断の条件として表-3のようにとりまとめることができた。具体的内容としては、熱回収場所での下水流量が15l/s以上あること。これは、下水道管を流れる汚水から十分に熱量を回収するために、必要となる汚水の量である。このことから、ある程度の管径が必要となることとなった。また、管径そのものについても、φ800mm程度の大きさがないと、熱回収を行うための回収管を設置することが難しくなるため施工性が悪くなることも分かった。さらに、熱回収を行った地点から熱を利用する熱需要場所までの距離が離れるほど、熱回収管の整備自体に費用が必要となる。このため、回収場所から熱需要場所までの距離は概ね300m以内であることが望ましい。最後に、必要とされる熱需要が30kW（暖房面積で200㎡、給湯で700l/時間程度）以上あることである。B社の条件では100kW以上としているが、これはB社の製品規格が100kWからとなっているためであり、下水熱利用の促進のためには、比較的小規模な熱需要でも利用可能であることを示すために30kWとした。30kWであれば、住宅メーカーなどの数軒程度の住宅開発でも十分に下水熱が利用可能である。以上の条件を全てクリアする必要はないが、表-3の1と2の条件はクリアしていることが望ましい。3と4の条件については、どちらかが満たせれば採算性を確保できる可能性が高い。今回の指標はあくまで簡易判断のための条件であるため、個別に採算性を検討する必要があるが、下水熱利用を検討するかどうか最初の判断材料とすることができる。

6. 簡易ポテンシャルマップ

5章において簡易に判断する基準を示したが、これだけでは、既設下水道管渠の資料を持たない民間業者が独自に簡易判断を行うことは難しい。そこで、各自治体においては、これらの簡易判断基準を参考に、この基準を視覚化する必要がある。ここで参考になるのが4章で紹介したポテンシャルマップである。下水道の情報をポテンシャルマップとして視覚化して公開できれば、民間事業者にとっても利用可能な状態となり、下水熱利用の促

1	熱回収場所での下水流量が晴天時に15l/s程度以上あること（熱源）
2	熱回収場所での下水管径が800mm以上あること（施工性）
3	熱回収場所からの熱需要場所までの距離が300m以内であること（整備費用）
4	30kW*程度以上の熱需要が存在すること（※暖房面積200㎡または給湯700L/時間程度に相当）（需要）

表-3 簡易判断基準

進が見込める。しかし、このようなデータの電子化ができていない自治体において、データの電子化からポテンシャルマップの作成を今すぐ行うことは、コスト、人員、時間の面から非常に難しい。そこで、このようなデータの電子化ができていない自治体においては、簡易判断の基準を地図上に落としした簡易ポテンシャルマップ（図-11）の作成を行うことで、おおよその検討材料とすることができる。具体的には、住宅地図などを数10m程度のメッシュに分割して、φ800以上の管径の下水道管が通るところを図面に落とししていく。この時、下水道管が通ったメッシュと隣接するメッシュなどを赤色に表示し、さらに隣接するメッシュをオレンジ、黄色と手作業で塗っていくことで、おおよそのポテンシャルが把握できるようになる。市町村が管理する下水道管のほとんどはφ200程度のものが多い、φ800を越えるような下水道管が埋設されている場所は限られるので、職員の手作業でも簡易ポテンシャルマップ作成が大きな負担となることはないと考えられる。この手法であれば、コスト、時間の両方で大幅な短縮が期待できる。ポテンシャルマップに比較して精度は劣るものとなってしまいが、導入検討のきっかけとしての役割は十分に果たせる。

7. まとめ

下水道法の改正によって、下水熱利用のための基盤は整ったが、各自治体の準備によっては下水熱利用が進まないことが懸念された。しかし、簡易に熱利用を検討するための手法を示すことで各自治体職員による準備が可能となった。また、今回の研究で取りまとめた結果を自治体向け参考資料（図-12）としてまとめ、各自治体に配布することを検討している。すでに、一部の自治体には参考として配布しており、それらの自治体からの意見も反映した上でさらに分かりやすい資料として管内自治体に配布する予定である。こうした準備を行うことで、民間事業者が下水熱利用に対して積極的に検討すること



図-11 簡易ポテンシャルマップの例

ができ、今後中部地整管内で下水熱利用の促進が期待できる。

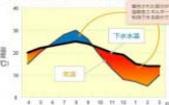
つかってみませんか？下水熱



下水熱利用とは・・・

- 冬は暖かく、夏は冷たいという温度特性を持つ下水（未処理下水・処理水、右図参照）を、建物の冷暖房や給湯用等の熱源として活用する技術です。
- 2015年7月の改正下水道法の施行により、下水道管理者だけでなく民間事業者も「下水道管理者の許可を受けて」下水道から下水熱を採熱することができるようになりました。
- 冷暖房や給湯システムの低コスト化、低炭素化に役立つため、民間事業者からの下水熱利用の要望、問合せが今後増える可能性があります。下水道管理者は処理区域内のどのような場所での程度の熱利用が可能か、予め把握しておくことが望まれます。

【下水水温と気温との比較（イメージ）】



※ 中央の画像は、管路内設置型下水熱利用1らせん方式の整備例です。

図-12 自治体向け参考資料

参考文献

- 1) 下水道のエネルギー消費の現状
- 2) 名古屋市上下水道局提供資料
- 3) 豊田市上下水道局提供資料