

## Heat Pump System using Sewage Water as a Heat Source

○学 柴 芳郎 (名大院工) 正 渡邊激雄 (中部電力)

河村国靖 (久米設計)

柴 芳富 (ゼネラルヒートポンプ)

Yoshiro SHIBA, Nagoya University; Choyu WATANABE, Chubu Electric Power

Kuniyasu KAWAMURA, Kumeseckei; Yoshitomi SHIBA, Zeneral Heat Pump

Key Words : Heat Pump, Sewage Water, Heat Source

## 1. 下水道の問題と有効利用

現代の都市生活において、必要不可欠なシステムとして整備されつつある都市下水は、地域環境の水質改善施設としての存在意義がある。しかし、地球的エネルギーとしては、未利用のエネルギーとして河川に放流されるだけであった。今回は、名古屋市下水道局とともに試験的に行っている、下水処理場施設を利用した空調システムについての報告を行う。

現代社会において特に都市部においては我々が生活を行う上で下水道はなくてはならないものであるが、その存在はほとんど意識されることがなく、ごく当たり前であるように思われる。しかし、下水道に関して問題点が依然山積しているのが現状であり、以下のような問題点がある。

- ・普及率の伸び悩み
- ・浸水(雨水処理能力の不足)
- ・下水管の老朽化
- ・合流式下水道による河川等の汚染
- ・窒素・リンの処理不足(赤潮発生)
- ・汚泥処理消却灰の処理問題
- ・建設投資コスト増加
- ・人員数

これらの問題に関して我々も家庭排水や工場排水に対して留意すべきであることは言うまでもないが、行政側(下水道局など)が中心になって様々な問題を解決するための事業を進めなくてはならない。

また、下水道は都市の貴重な資源であるともいえる。上で挙げた問題を帳消しにするためにも、こうした未利用の資源を有効利用する必要がある。下水処理の過程で生成される汚泥消却灰は歩道の下に敷き詰める透水性ブロックや陶管といった建築資材として再利用されている。高度処理された処理水は雑用水などに利用される他、噴水などの修景用水として用いられる。下水処理場施設の敷地では公園やテニスコートが作られたり、緑化に努めている。また、下水管を用いて光ファイバーケーブルを布設するなど、高度情報化社会の多様なニーズに応える努力もされている。さらに、下水処理水の温度は外気に比べて夏は低く冬は高いので、処理水を熱源とした水冷ヒートポンプは空冷ヒートポンプに比べてエネルギー効率(COP)が高くなるために、下水道処理施設周辺の地域冷暖房の熱源機として有効である。また、汚泥焼却炉における排ガスの洗浄水も高温が得られるために、給湯等に利用できる。

このように、下水処理に関して様々な有効利用があげられるが、ここでは熱エネルギーの有効利用という側面から、下水処理水を熱源としたヒートポンプシステムについて述べることにする。

## 2. 下水処理のしくみとエネルギー

ヒートポンプシステムの熱源となる下水処理水の熱交換方法を示すために、一般的な下水処理のしくみを簡単に述べる。

下水は家庭や工場から主に汚物を流すという目的で排出されるが、このとき熱エネルギーや有機的なエネルギーも共に搬送される。その下水は下水管を通り、下水処理場の沈砂池へ到達し、下水に含まれている重い土砂が沈み、大きなゴミはスクリーンで取

り除かれる。それ以外はポンプによって最初沈殿池に運ばれてさらに細かい汚れを時間をかけて沈める。このとき底に沈んだ泥は汚泥処理施設へ送られる。最初沈殿池を数m進み、その上澄みの汚水はエアレーションタンクで活性汚泥と空気が吹き込まれる。このときも空気熱を処理水に供給している。ここで、水に溶け込んでいる汚れは微生物の栄養分として吸収されて、水は浄化される。このとき、微生物の活動の結果として熱エネルギーが発生する。微生物は繁殖するので活性汚泥は増加する。最終沈殿池で、エアレーションタンクでできた活性汚泥を沈め、きれいな上澄み水を塩素消毒して川などに放流する。

汚泥処理施設では、下水処理施設から送られてきた汚泥を処理する。まず、濃縮槽で汚泥を沈めて濃度を高め、薬品混和槽で脱水しやすくするために凝集剤を加えてかき混ぜる。脱水機によって水分をしぼり、そのしぼりカス(脱水ケーキ)は焼却炉で焼却される。このときの排ガスはスクラバー内で水によって洗浄・冷却されてから大気中に放出される。焼却灰はトラックで運び出し、埋め立て処分するほか一部は資源として利用する。

ヒートポンプの熱源として利用するためには水熱源が常に豊富に流れており、かつ熱交換器の腐食が起こらないような水質や場所が必要である。下水処理過程においては、大小の固まりの衝突や摩擦によるエロージョン・コロージョンによって熱交換器の表面皮膜が破壊されたり、微生物の繁殖における代謝過程で生成される酸によって腐食が起こる可能性があるため、このような可能性の少ない最終沈殿池や塩素消毒して川へ放流する処理水が熱源として適当である。

また、汚泥処理におけるスクラバー処理水は焼却処理が断続的であるので空調用熱源には向かないが、高温が得られるために、処理水と水道水を熱交換させ、季節に応じてヒートポンプ等のバックアップを行うことによって風呂やシャワー等の給湯が可能となる。

## 3. 熱交換器の腐食

下水処理水や焼却炉発生ガスの洗浄水をヒートポンプの熱源として熱交換させる上で、問題となるのが、熱交換器の腐食である。熱交換器用の材料として代表的なものを以下に示す。

- ・リン脱酸銅(99.99%以上純度銅、酸素量 0.02%以下)
- ・キューロニック(銅ニッケル合金)
- ・ステンレス鋼(鉄クロム合金、SUS304、SUS316)
- ・チタン

こうした材料をそれぞれ実際に最終処理池やスクラバー排水に浸漬し、耐腐食性を見た。その結果を整理すると、リン脱酸銅は腐食の度合いが大きく、キューロニックは小さな腐食が観察されたのに対して、ステンレス鋼とチタンは腐食はほとんど認められなかった。チタンの熱伝導率がステンレス鋼よりも大きいことを考慮すると、下水処理水やスクラバー洗浄水を熱源として用いる場合の熱交換器の材料は、チタンが最も適切であると考えられる。

## 4. ヒートポンプ熱交換方式とCOP

下水熱を熱源として用いる冷暖房や給湯のヒートポンプとしては熱交換の方法によって大きく分けて以下の3つの基本方式が挙げられ、それぞれの方式に対応する処理施設の試運転データか

らCOPを算出した。

・ 間接熱交換方式(A方式)

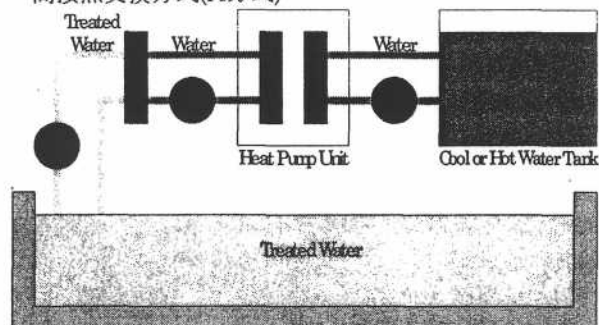


Fig.1 Method A

この方式(Fig.1)は最終沈殿池などから処理水をポンプで汲み上げ、ヒートポンプの直接の熱源となる水と熱交換させる方式である。

・ 直膨熱交換コイル浸漬方式(B方式)

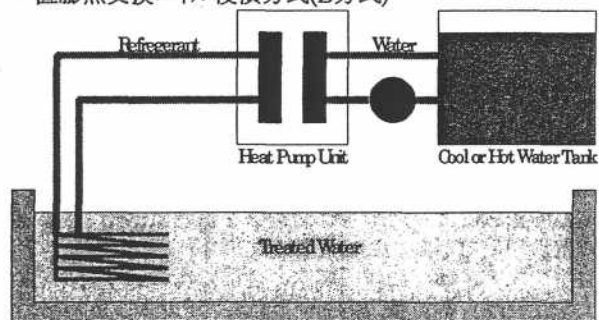


Fig.2 Method B

この方式(Fig.2)はヒートポンプの熱源として最終沈殿池などにコイルを水没する方式であり、コイル内において冷媒が蒸発・凝縮している。

・ 処理水直接搬送方式(C方式)

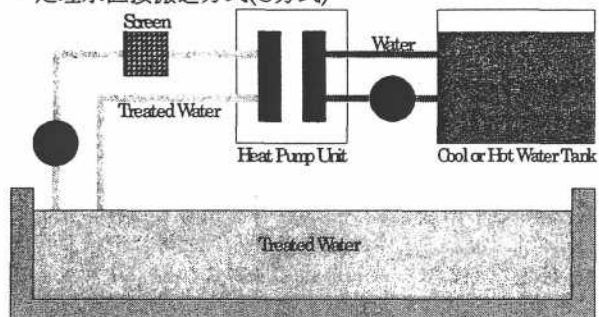


Fig.3 Method C

この方式(Fig.3)は、腐食の心配が少ない消毒後の放流水を直接ポンプでヒートポンプ内の熱交換器に送り込む方式である。

間接熱交換方式は処理水側と水側でポンプが必要であるのに対して、直膨熱交換コイル浸漬方式はポンプが不要である。また、処理水直接搬送方式は放流水の配管を長く取れるという利点がある。

こうした基本方式をベースに冷暖房と給湯を組み合わせた方式は数多く考えられるが、代表的なものとして冷房排熱回収給湯方式があり、実際にも上であげたB方式で採用されている。この方式は、ヒートポンプ内に熱交換器をもう1台追加し、給湯負荷と冷房負荷が同時にある場合は排熱回収運転を行うというものである。(Fig.4)

下水処理水の温度は外気に比べて夏は低く冬は高いのであるが、家庭排水や工場排水は一年を通して温水を排出する傾向があるので、夏期の処理水は外気温と比べて若干低いこととまっている。(Fig.5)したがって、冷房時に処理水を排熱源として用いてもあまり恩恵が得られないが、給湯回路を排熱源として用いると冷

房と同時に給湯ができ、COPは格段に向上する。

一方、冬期では処理水の温度は外気に比べてかなり高いので、暖房・給湯の熱源として非常に有効である。

また、污泥焼却炉のスクラパー洗浄水は冬期は約30℃、中間期は約40℃、夏期は約50℃であり、外気に比べ非常に高温である。夏期は給湯用水と直接熱交換させることによって給湯ができ、冬期はヒートポンプ等を熱源としてバックアップすることにより、高効率な給湯が可能となる。

実際に試運転データからの熱源機COPとシステムCOPの算出を行った。このとき、システムCOPは熱源側と一次側のポンプを考慮に入れており、二次側のポンプの電力は含んでいない。下水を排熱源とした冷房と、B方式における冷房排熱給湯運転のCOPを Table1 に示す。残念ながら、冬期のデータがないために、暖房運転のCOPを算出することはできなかった。

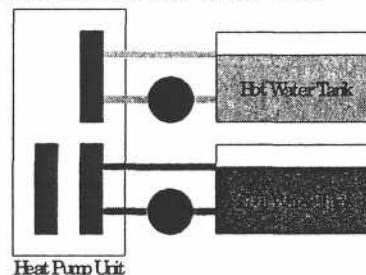


Fig.4 Heat Recovery System

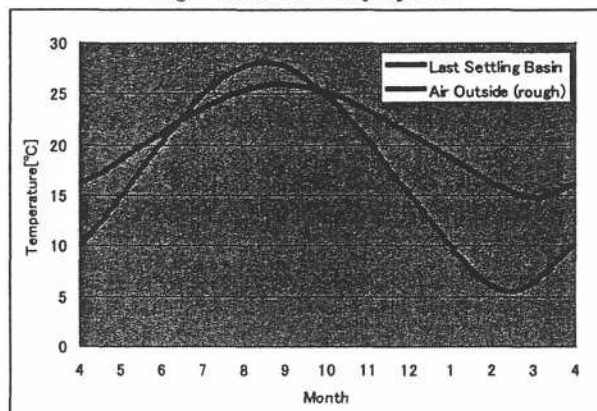


Fig.5 Mean Temperature of Last Settling Basin and Air Outside (B Method)

Table 1 COP of Heat Pump and System

|          | Cooling       |            | Cooling & Heating simultaneously |            |
|----------|---------------|------------|----------------------------------|------------|
|          | Heat Pump COP | System COP | Heat Pump COP                    | System COP |
| Method A | 2.5           | 1.6        | -                                | -          |
| Method B | 2.7           | 2.5        | 6.1                              | 5.6        |
| Method C | 2.8           | 2.4        | -                                | -          |

Temperature of Treated Water is about 28℃

A方式は熱源水の熱が間接的なので排熱の冷却が十分でなくするため他の方式に比べ、COPが低くなっており、さらにポンプ動力が多くなるためシステムCOPがかなり小さくなってしまっている。B方式では熱源側のポンプ動力がないので、システムCOPは高くなっており、また、排熱回収運転時のCOPは非常に高い値になっている。C方式は熱源機COPが最も高くなっている。

## 5. 今後の課題

ヒートポンプによる地域冷暖房・給湯を実現させるためには今後も様々な調査が必要になる。新たな処理水の熱交換方法、熱交換場所の考案、スライム・スケール付着による熱伝達率の低下、水量の確保(供給可能世帯数の評価等)、下水・雨水合流方式による水温変動への対応、施設の電気容量問題等、調査すべき研究課題が数多く残っている。