

都市における下水廃熱の利用に関する研究

九州大学工学部 学生員○三好伸浩 正員 楠田哲也
同 上 正 員 井村秀文

1. まえがき

都市域では大量のエネルギーが消費されているが、供給されるエネルギーの全てを有効に利用することはできない。特に暖房や給湯などに利用された熱エネルギーは、利用後ほとんどが廃熱として捨てられ、しかも、その大部分が50℃以下の低温廃熱である。この低温廃熱は、様々な都市施設から発生し、温度レベルは低い但其量は膨大なものであり、非常に大きなエネルギーを持っている。このエネルギーを効率よく利用することができれば、都市でのエネルギー消費を減らすことができ、化石燃料使用などによる自然環境への影響を軽減することができると考えられる。

都市で発生した廃熱は、大気への放散と、下水や河川など水系への放散に分けられるが、下水道の普及している都市では、水系への廃熱のほとんどが下水処理水に含まれることになる。本研究は、水系へ放散される低温廃熱を取り上げ、都市で消費されるエネルギーのうち下水に捨てられる量を明かにし、ヒートポンプ等によるエネルギーの再利用の可能性を検討するものである。

2. 解析方法

対象区域 昭和62年度の福岡市東部下水処理場処理区域を対象とした。この区域の下水道普及率は東区で71.9%、博多区で87.3%、処理区域全体で75%（年度末）であり、処理人口は149,600人、処理面積は2,415ha（年度末）であった。また、昭和62年度の福岡市の水道普及率は98.6%で漏水は配水量の9.7%であった。
熱収支式 都市域での水収支は複雑であるが、これを簡略化し上下水道を中心とした熱輸送モデルを考える。

（図1参照）これより都市域での熱収支式は

$$C_w Q_{2i} T_{2i} + C_w Q_4 T_4 + C_w Q_5 T_5 + E_q = C_w Q_{2o} T_{2o} + C_w Q_{2o'} T_{2o'} \quad (1)$$

である。また、上水道管路内での水温の変化は

$$T_{2i} = (T_{1o} - T_g) e^{-h't} + T_g \quad (2)$$

と表され、下水道管路内での水温変化も同様に

$$T_{3i} = (T_{2o} - T_g) e^{-h't'} + T_g \quad (3)$$

と表される。ここで、 Q 、 T はそれぞれの単位当りの水量と水温であり、添字は

- 1o: 配水池から配水される水
- 2i: 都市に配水される水道水
- 2o: 下水道に流される下水
- 2o': 河川等に流される下水
- 3i: 下水処理場に流入する下水
- 4: 下水道に流入する雨水
- 5: 地下水・その他の水

を表す。また、 C_w : 水（下水）の熱容量、 T_g : 地温、 h : 熱伝導に関する係数、 t : 上下水道管内での滞留時間である。

水系に入るエネルギー量 E_q の推定を式(1)、(2)、

(3)を用いて行う。

浄水場からの配水 処理区内へは、乙金浄水場の50%、松崎浄水場の全量、下原配水池の60%の水が給水されたとした。この割合は常に一定で、配水区域も変化しないとしたが、乙金浄水場については配水量が激減している期間があるため、他からの配水があったとして補正した期間がある。また、下原配水池は毎日の水温のデータがないため同じ牛頸浄水場から受水する夫婦石浄水場の水温と等しいとした。また、（毎日の配水量）×（水温）の1ヵ月合計を1ヵ月の総配水量で割ったものを月平均水温とした。

下水処理場での流入下水 処理場に流入する下水の水量と水温は常に変化しているが、処理場では水温測定は午前9時に1回のみであるため、実際に1時間毎の水温を測定し計算した結果、（1時間の流入水量×1時間毎の水温の1日合計）/（1日の総流入水量×午前9時の水温）は、1.05であった。これより、（1日の流入水量）×（毎日9時の水温）×1.05の1ヵ月合計を1ヵ月の総流入水量で割ったものを月平均水温とし

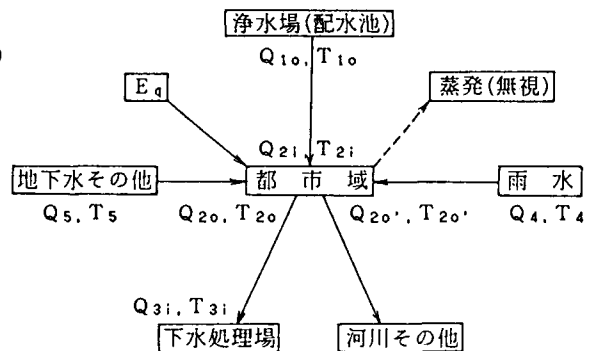


図1 都市域の熱輸送モデル

た。

地温の推定 現在、気象台では地中温度の測定は行われていないため、過去の気温及び地下1mの温度のデータをもとに、気温、地温の変動を一年間を一周期とした周期関数と考え、フーリエ解析により各項ごとに気温を基準とした減衰比、位相遅れを求め、福岡管区気象台測定気温データより地下1mの地下温度を推定した。解析にはすべてこの地温を使用した。

水道管内での水温変化 水道管内での水温変化は式(2)、(3)で表せる。上水道管路内での滞留時間は配水管体積と流量から求め、 h は乙金浄水場の月ごとの配水池の水温と給水栓の水温より $h=0.057$ と決めた。また、下水道管路の場合も h は同じ値を使用し、流下時間は1時間とした。解析は各浄水場、処理場ごとに月平均水温をによって行った。

雨量 東部下水処理場は一部合流式であるため、雨水が下水道に流入する。流入量は降水量と処理水量の増加の関係より、(降水量) $\times$ (処理区域面積)の5%とし、水温は気温と等しいとした。

地下水その他 都市内では、井戸水、伏流水など水道水以外の水も使用されているが、これらの使用量は不明なので、下水処理場の流入水量から浄水場からの配水量、雨水量を除いた残りを地下水とした。また、下水道での地下水の流入もこれに含まれている。

消費エネルギー量の推定 都市内の業務用を含む民生用のエネルギーのうち、消費量の大半を占める電力、都市ガス、LPG、灯油を対象とした。それぞれ福岡県、福岡市のデータを基に、床面積、販売額等より各区での消費量を推定し、人口比によって配分し処理区域内での消費量を推定した。

回収可能エネルギー量の推定 ヒートポンプによる廃熱回収を気温 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ 、 2°C 、 5°C 、 8°C 以上の範囲で行った場合の回収可能エネルギー量を求めた。

3. 結果及び考察

処理区域内でのエネルギー消費量(図2) 処理区域内の民生用エネルギーの消費量は、電力:641Tcal/年、都市ガス:227Tcal/年、LPG:211Tcal/年、灯油:265Tcal/年で総消費量は1344Tcal/年と推定された。ただし、この中には冷暖房用、給湯用の他に、調理用、動力用、電灯用などのエネルギー消費量も含まれているため、運動エネルギーや光エネルギーに変えられたものもあり、実際に廃熱として捨てられる量はこれより少なくなる。

水系に捨てられるエネルギー量(図3) 水系に捨てられたエネルギー量は110Tcal/年で、消費エネルギーの8.2%であった。このうち75%(下水道普及率)の82.8Tcal/年が下水道に捨てられたと推定される。

回収可能エネルギー量(図4) 図は上から気温 $+0^{\circ}\text{C}$ 、 2°C 、 5°C 、 8°C での回収可能エネルギー量を示している。年間ではそれぞれ101Tcal/年、70Tcal/年、36.4Tcal/年、6.6Tcal/年であった。また、気温 -0°C では10.3Tcal/年、気温 -2°C では3.4Tcal/年で、気温 -5°C 以上では回収は不可能であった。

参考文献 1)岩崎・中里・榎本:下水処理水排熱利用,下水道協会誌,Vol.24, No.274, pp.57-68, 1987

2)岩崎:下水処理の熱利用,月刊下水道,Vol.10, No.5, pp.33-38, 1987

3)尾島:低温廃熱資源の総合的有効利用に関する研究,センチュリ・リサーチセンター,1985

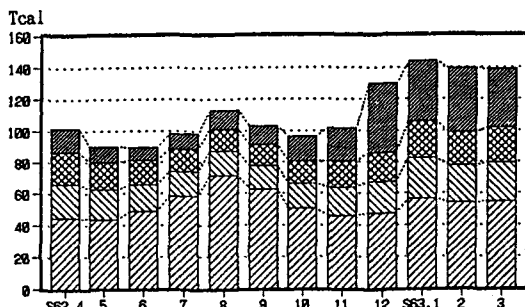


図2 処理区域内でのエネルギー消費量

電力 都市ガス LPG 灯油

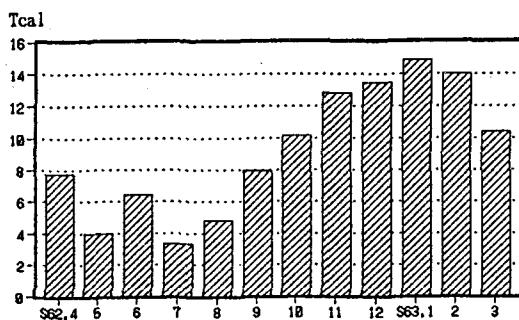


図3 水系に捨てられるエネルギー量

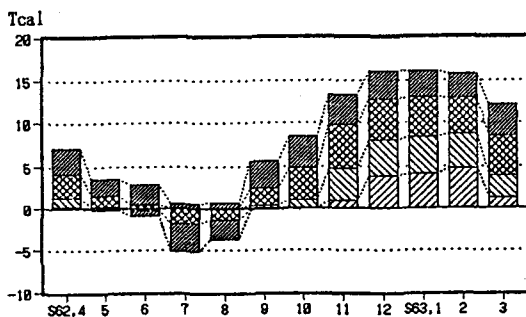


図4 回収可能エネルギー量

8 5 2 0