

小規模施設の排水熱ポテンシャル推定とその利用計画の検討

- 柏市卸売市場をケーススタディとして -

Estimation of wastewater thermal potential of small-scale facilities and examination of its use plan - case study of Kashiwa city wholesale market -

学籍番号 47-166741
氏名 杉山 大騎 (Sugiyama, Daiki)
指導教員 味埜 俊 教授

1. 背景と目的

下水熱エネルギーは未利用エネルギーの中でも利用可能量が多い、都心域の需要家と熱源との距離が近いといったことから環境負荷削減への貢献が期待されている¹⁾。

水温と気温の差を利用して熱回収することでヒートアイランド抑制効果や温室効果ガスの排出量削減といった利点がある。

日本における排水施設からの熱回収や下水管から直接回収する導入事例は下水処理場での利用が 35 箇所 (2012 年)、下水道施設以外での利用 (個別建物や地域熱供給) が 14 件程度 (2015 年)²⁾となっている。

熱量が小さい下水道の上流付近でも下水熱回収を行うことができれば分散型熱エネルギー回収を促進することができるが小規模での既存研究は少なく、その上で施設が浄化槽に排出している排水を同時に利用するという点に着目した。本研究の目的は小中規模施設で排水熱回収導入を検討する際に位置関係がどれほど影響を与えるかということ熱量の点から検討した上で、下水管からの熱回収と施設排水からの熱回収を同じ枠組みで考えた場合の推定ポテンシャル熱量と需要量のバランスを時間単位で推定することである。

2. 柏市全体の下水熱ポテンシャル量推定

下水熱利用にあたって利用者が計画・設計する際に下水熱の賦存量や存在位置を把握するため、まず下水熱ポテンシャルマップを作成した³⁾。作成したものが図 1 となっている。

ポテンシャル熱量の計算は式(A) のようになる。

$$(A) Q_h = C_w \times G_h \times \Delta T$$

Q_h : 時刻別推定下水熱ポテンシャル [MJ/h]

C_w : 水の容積比熱 (=4.164 [MJ/m³ K])

G_h : 時刻別推定流量 [m³/h]

ΔT : 気温と水温の温度差 [K]

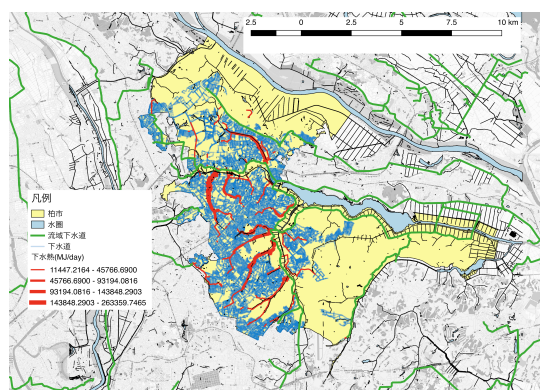


図 1 下水熱ポテンシャルマップ(柏市)

この下水熱ポテンシャル量を一日の推定値として用いた。時刻別下水流量推定値⁴⁾、施設用途別の排水量⁵⁾、熱需要量⁶⁾は文献値を用いた。

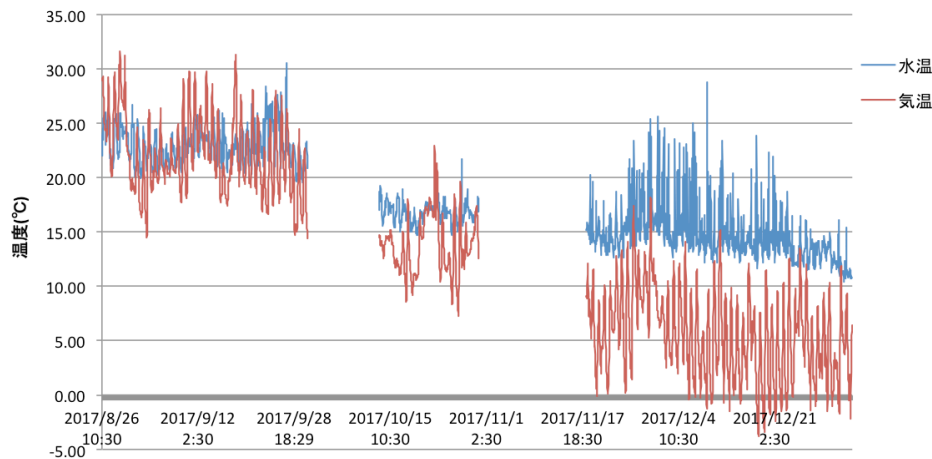


図 2 5/25~1/3 における施設からの排水温度と気温

3. ケーススタディ

(1) ケーススタディ概要

ケーススタディとして柏市公設卸売市場を対象とする。敷地面積は 80,058 m²である。市場の中で水産棟が最も多く水を使用しており、一日に約 300m³の直接井戸から汲み上げた上水を使用している。基本的な用途は水産棟内の床洗浄であり、排水される水温は上水と同程度かさらに低いことが予想できる。この施設内で最も安定して排水が生じる水産棟から排水処理施設に流れ込む排水を対象に水温と水量を計測した。気温は気象庁⁷⁾より我孫子市の一日の平均気温を使用した。

ケーススタディとして卸売市場を選定した理由は排水パターンが一般家庭と異なるということ、安定した量の水を使用していること、今まで卸売市場施設を検討した事例がないことからである。市場の概要図を図 3 に示す。

(2) データ計測

本廃水処理施設に流入する排水温度は図 2 のようになった。水温計測は浄化槽の流

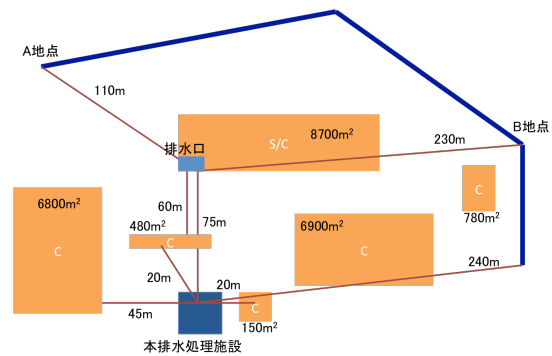


図 3 市場概要図

入口に温度計を設置して排水温度を計測した。温度計はログを取るため自身で回路を利用して作成した。

排水量の計測は流入水のメーターを動画で 24 時間撮影し、これを 2 日分行なった。日毎の大きなパターン変化は見られなかったので 2 日間の平均値を求めた。最終的に一日の排水総量 300m³をポンプのメモリの割合に応じて按分した。

(3) 熱回収地点からの距離による熱減衰

まず仮想状態における熱移送管の条件を設定する。最初に熱交換器に敷設する熱媒管をポリエチレン製、内径 10mm、外径 20mm とする。排水口から本排水処理施設に移送される流量 300m³/day という結果か

ら、温度差 5℃での利用を考慮して輸送熱量は 1500Mcal/day (= 6280MJ/day)となる。ここから熱媒体の温度差は約 10℃だと仮定すると、熱媒体に流れる流量は 75m³/day 必要になることがわかる。この単位を L/s に変換すると、0.868 (L/s)となる。上記の流量に対して、A,B,C,D それぞれ内径と本数を変えた 4 種類の結果を表 1 に示す。流速から乱流だということがわかる。

表 1 流速とレイノルズ数

種類	内径	本数	断面積	断面平均流速	Re
単位	mm	本	m ²	m/s	-
A	20	1	0.000314	2.763	55,042
B	20	2	0.000628	1.382	27,521
C	40	1	0.001257	0.691	13,760
D	40	2	0.002513	0.345	6,880

円管における保温保冷伝熱計算式は以下の式で示される 8)。

$$Q = \frac{2\pi(\theta_0 - \theta_r)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{2}{\alpha d_1}}$$

熱伝達率 α (W/m²K) をヌセルト数、プラントル数を流速から求め田植えて減衰熱量 Q を表 2 に示した。

表 2 熱伝導による減衰熱量

種類	v(m/s)	Re	α	Q(W/m)
A	2.76	55,042	5,352	3.443
B	1.38	27,521	2,627	3.441
C	0.69	13,760	1,264	3.437
D	0.35	6,880	582	3.428

ポンプの動力として消費される電力量 Pa を、 Manning 式を用いて求めて結果を表 3 に示した。施設におけるポテンシャル熱量を考える際にはこの 2 つの結果を用いた。

表 3 ポンプ動力による減衰熱量

種類	摩擦損失水頭 H	Pw	Pa
単位	m	kJ/h	kJ/h
A	1.79	55	78
B	0.45	14	20
C	0.04	1	2
D	0.01	0.3	0.5

(4) ポテンシャル熱量推定

これまでのデータから本排水処理施設由来の排水熱ポテンシャル量を推定した。推定の際に一日の水量パターンの結果を全日程に適用した。需要側は施設内の店舗 200m²を対象とした。まず夏場と冬場における 1 日以内でのポテンシャル量の変化を図 4、図 5 に示す。

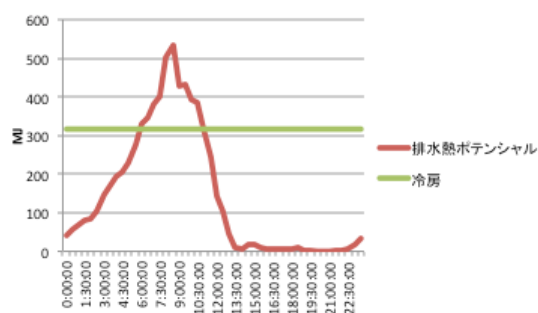


図 4 夏の下水熱ポテンシャル熱量

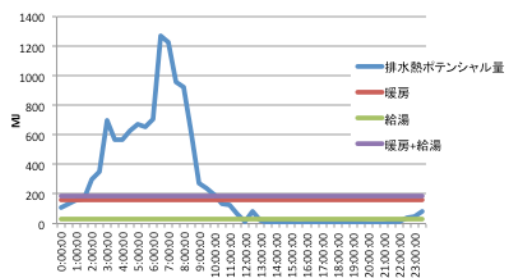


図 5 冬の下水熱ポテンシャル熱量

下水と排水を併用した際のポテンシャル熱量を図 6 に示す。

A 地点と併用で約 800MJ/h、B 地点と併

用で最低 1000MJ/h の熱量を回収することができる。この結果から併用することで冷暖房、給湯のどの需要量も賄うことができることがわかった。

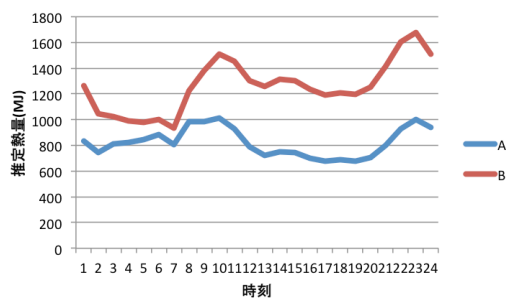


図 6 A,B 地点下水と排水との回収熱量

4. 考察

熱回収地点と需要施設との距離に応じた熱伝導やポンプ動力による熱エネルギー減衰の試算については、熱伝達による熱減衰量は全ての場合で約 3.44(W/m)、ポンプによる摩擦損失水頭は 0.5~78(kJ/m・h)という結果になり、200m 程度の配管でも消費熱量は 20(MJ/h)となるため、この施設の規模では全体の下水熱+排水熱の回収量に比べると 5%以下と熱量の面では影響が小さいことがわかった。

柏市卸売市場においては、下水と排水を組み合わせることで冬における市場内の店舗での熱需要量を完全に上回る熱量を回収できるという試算が得られた。一方で夏場においてはピーク時の需要量を抑えられないことからこの熱回収方法では難しいことがわかった。

5. 結論

本研究では分散型熱エネルギー回収を進める中で小規模施設においても排水熱利用を促進するため、下水管を流れる下水だけ

でなく施設から生じる排水からも同時に熱回収を行うという枠組みの元でケーススタディを行い、市場内の店舗程度の規模であれば完全に熱需要を賄うことができることがわかった。また小規模施設のスケールでも距離による熱量面からの影響は小さいことがわかった。

さらに小規模施設で排水熱回収を促進していくために考えられる課題としては、距離に対して熱量ではなく設備投資コストによる影響の定量化、ポテンシャル熱量ではなく利用可能量の検討、他の未利用エネルギー比較などを行う必要がある。

参考文献

- 1) 経済産業省・資源エネルギー庁, 2017, エネルギー白書 2017,平成 28 年度エネルギーに関する年次報告
- 2) 国土交通省,2015,下水熱利用マニュアル
- 3) 国土交通省, 2014, 下水熱ポテンシャルマップ作成の手引き
- 4) 三毛 正仁ほか, 2014, 下水熱利用のための下水管路における晴天日下水流量推定法の提案, 空気調和・衛生工学会論文集 No.204, 47-55
- 5) 日本建築行政会議, 2015, 浄化槽の設計・施工上の運用指針
- 6) 空気調和・衛生工学会, 1994, 都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価
- 7) 気象庁, 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 8) 相原 利雄, 1994, 伝熱工学 (機械工学選書)