

下水熱利用地域冷暖房システムの 戦略的導入による環境負荷低減効果の解析

池上 貴志¹・荒巻 俊也²・花木 啓祐³

¹修(工) 東京大学大学院 都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷七丁目3-1)

E-mail: t_ikegami@env.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 工博 Associate professor at Asian Institute of Technology

E-mail: aramaki@ait.ac.th

³正会員 工博 東京大学大学院教授 都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷七丁目3-1)

E-mail: hanaki@env.t.u-tokyo.ac.jp

代表的な未利用エネルギーである下水熱の利用価値を定量的に評価するため、下水幹線のシミュレーションモデルと地域冷暖房(DHC)プラントのシミュレーションモデルを開発した。これらと地理情報システム(GIS)データによって、下水幹線上の各地点での月別時刻別の下水流量や下水温度を計算し、下水熱利用DHCを導入した場合の環境負荷低減効果を計算することができる。下水温度や負荷率によって変化するヒートポンプの効率やDHCを導入した場合の下流側での下水温度変化の効果なども考慮できる点が特徴である。これらを用いて、東京都芝浦処理区にDHCを1ヶ所導入した場合と、1本の幹線上に5ヶ所のDHCを導入した場合の解析を行った。

Key Words : DHC, wastewater, heat, energy, GIS, sewer, heat pump, Tokyo

1. はじめに

エネルギー消費の増加を続けている我が国にとっては、廃棄物エネルギーや河川水・下水などの未利用熱エネルギーの利用によって環境負荷を低減することがますます重要になってきている。

本研究では、未利用熱エネルギーの1つである下水熱に注目した。冬は大気より暖かい下水を暖房時の熱源水として利用し、夏は大気より冷たい下水を冷房時の冷却水として利用することで、これまでの大気熱源のヒートポンプよりも高効率にヒートポンプを運転することができる。また、ゴミ焼却場からの排熱は、利用地域がその近隣に限定されるのに対して、下水道は都市の地下に大規模なネットワークを形成しているため、下水熱の利用ポイントを熱需要密度の大きい都市中心部に設置することができる。下水熱の利用には、このような大きなメリットがあることから、以前から注目を集めている。

三好らにより、下水と大気との温度差を用いて下水廃熱の回収可能熱量が算出され、下水熱の利用可能性が検討されている¹⁾。また下水熱の有効利用においては、下水熱と熱供給地点での熱需要量との時間的、空間的整合性が確保されていることが重要であるが、一ノ瀬らによ

り、温熱需要量と下水熱の回収可能熱量との空間的整合性を解析するための地理情報システム (Geographic Information System: GIS) が開発されている^{2,3)}。

また、融雪などに直接下水熱を利用する場合を除き、下水熱は通常、ヒートポンプの熱源水または冷却水として利用されるが⁴⁾、下水熱の利用効果は、大気の熱を利用するヒートポンプと比べての成績係数 (Coefficients of Performance: COP) が向上することによるものである。そのため、回収可能熱量ではなく、ヒートポンプのCOPを考慮した供給可能熱量と熱需要量との整合性が重要になってくる。河原らや下田らの研究では、下水熱を含む未利用熱について、回収可能熱量から供給可能量を算出し、これを用いて熱需要量との空間的整合性を解析し、種々の未利用熱の利用効果が算定されている^{4,5)}。特に、下田らの研究では、処理場およびポンプ場のみの下水熱利用ではあるが、熱源水温度によって変化するヒートポンプのCOPをモデル化することで、より精度の高い計算が行われている⁵⁾。

しかし、これらの報告¹⁾⁵⁾や各種資料⁶⁾において、下水からの回収可能な総熱量である下水熱賦存量は、共通して式(1)によって算出された値であると言える。

$$E_w = Q \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot C \quad (1)$$

E_w : 下水熱賦存量 [MJ/yr]

Q : 年間下水流量 [m^3/yr], ρ : 密度 [t/m^3]

ΔT : 利用温度差 [$^{\circ}\text{C}$], C : 比熱 [$\text{MJ}/(\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})$]

密度および比熱は、水と同じ [t/m^3], $4.186 [\text{MJ}/(\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})]$ が用いられ、また、利用温度差 ΔT は経験的に 5°C という値が用いられることが多く、これにより例えば、東京都の下水熱賦存量は約 38PJ (約 9 兆 kcal) と試算されている⁹⁾。

確かに、下水や河川水などの温度差エネルギーを利用した地域冷暖房 (District Heating and Cooling System : DHC) では、実際、最大利用温度差を 5°C としてシステムを運用している施設が多い。しかし、年間を通して熱負荷が変動するため、常に 5°C 差分の熱を利用できるとは考えにくい。また、1 つの下水幹線に複数の DHC を導入すると、 5°C 差分以上の熱を利用できる時間帯もあるであろう。そのため、この 5°C という数字を下水熱の利用温度差とすることには十分な根拠がない。

下水の温度は季節や時間帯によって異なるため、ヒートポンプの COP も時々刻々と変化する。また、供給側の条件だけでなく、需要側の熱負荷の大きさによっても変化する。そのため、下水熱の利用効果の評価には、下水の流量のみならず、下水の温度や熱供給エリアの熱需要量、ヒートポンプの性能を十分に考慮し、空間的整合性に加えて、時間的整合性に対するより精度の高い解析が必要であるが、時刻別の変化を考慮した時間的整合性に対する解析は、これまでほとんどなされていない。

そこで本研究では、下水熱の利用価値をより厳密に定量的に評価するための解析ツールとして、下水熱を利用した圧縮式ヒートポンプによる DHC システム (以下、下水熱 DHC とする) と比較対象として直焚吸収冷温水機による DHC システム (以下、ガス吸収 DHC とする) のシミュレーションモデル、および、下水流量や温度に関する下水幹線のシミュレーションモデルを開発した。建物個別の冷暖房システムと DHC システムを比較した

研究はこれまで多く報告されており、熱需要密度の高い都市中心部においては DHC の導入によるメリットがあるとされている。本研究では“下水熱”の利用効果を評価することが目的であるため、あえて個別熱供給システムとの比較は行わず、DHC システムとして近年採用事例の多いガス吸収 DHC を比較対象とし、DHC システム同士を比較することで下水熱利用の効果を評価した。

DHC プラントモデルと下水幹線モデルを統合することで、これまでよりも現実に近いモデルとすることができた。本モデルの特徴は、GIS の建物用途別の延床面積データを利用して、月別時刻別の熱需要量や汚水発生量を算出した点と、下水熱利用地点における月別時刻別の下水温度をシミュレーションによって算出し、その下水温度によって変化するヒートポンプの COP や部分負荷運転による効率低下などを考慮した点、蓄熱槽や熱回収ヒートポンプをシステムに導入した点、DHC を導入した場合の幹線内の下水温度変化を計算できる点にある。これらのモデルを用いて、下水熱利用 DHC の導入による下水温度への影響や、 CO_2 排出削減量などの解析を行った。本論文では、これらのシミュレーションモデルの概要と、計算結果の例を示す。

2. シミュレーションモデルの全体構成

(1) モデルの対象

シミュレーションモデルの全体構成を図-1 に示す。

本モデルでは地理的な情報として建物用途別の延床面積データおよび下水幹線位置データを利用するため、これらのデータが十分に整備されている東京 23 区に注目した。その中でも熱需要密度が特に高く、地域熱供給事業の適性が高い³⁾ とされる芝浦処理区を本研究の対象地域とした。建物用途別の延床面積データは、東京都都市計画局が使用する東京都都市計画地理情報システムの平成 8・9 年度の東京都 23 区におけるデータを基礎とし、平

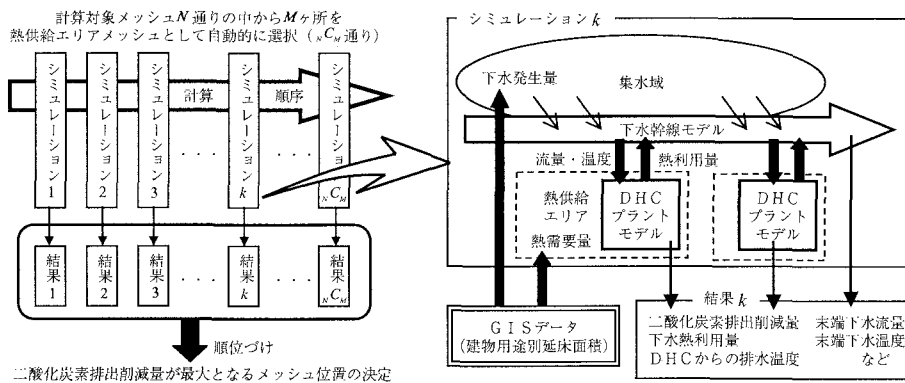


図-1 シミュレーションモデルの全体構成

面直角座標系第 IX 系（東京測地系）での座標 $(x, y) = (-30000\text{m}, -18000\text{m})$ を基点とする， x 方向 $250\text{m} \times y$ 方向 250m のメッシュ毎のデータを利用した。

また，本モデルは晴天時を対象としたものであり，雨水による下水流量の増加や，それに伴う下水温度の変化は考慮しないものとした。

(2) 計算の流れ

下水熱DHCを導入する場所は，下水幹線上である必要があり，下水幹線が通過しているメッシュ1つを，下水熱DHCの熱供給エリアとした。幹線上に N 個のメッシュがあり， M ヶ所にDHCを導入する場合，熱供給エリアの選択の仕方は ${}_NC_M$ 通りある。同一メッシュで複数の下水幹線が通過している場合は，どちらの幹線から取水するかを区別するため，さらに場合の数は増加する。これらすべての場合において自動的にシミュレーションを実行させた。

熱供給エリアが選択されると，1つのシミュレーションがスタートする。まず，幹線の最も上流にあるDHCにおいて，幹線上のその地点での下水流量および下水温度を計算した。このとき，集水域のGISデータを基に下水発生量を計算して利用した。次に，熱供給エリアのGISデータを利用して熱需要量を算出し，その熱を供給するための運転シミュレーションを行った。その際，下水幹線モデルで計算された下水流量，下水温度のデータを利用し，ヒートポンプのCOPなどを計算した。こ

れにより， CO_2 排出削減量や下水熱の利用量，DHCからの排水温度などが得られる。

上流側から2番目以降の熱供給エリアにおいても同様に計算が行われるが，下水温度の計算には，上流側のDHCプラントモデルにおける下水熱利用量の計算結果も利用される。

すべての熱供給エリアでDHCプラントのシミュレーションが行われると，最後に，幹線の末端における下水流量および下水温度が計算され，1つのシミュレーションは終了し，次の熱供給エリアの組合せにおけるシミュレーションへと進む。

下水幹線シミュレーションモデルおよびDHCプラントシミュレーションモデルについては，以下の章で詳述する。

3. 下水幹線シミュレーションモデル

下水幹線シミュレーションモデルの概要を図-2に示す。荒巻らの都市の水循環モデルに関する研究⁷⁾において，東京都下水道局が使用する下水道台帳情報システム（SEMIS）から東京都23区のマンホールや管渠の情報が抽出され，ネットワークデータとして整理されている。このデータを基に，本研究の対象が汚水利用であることから，雨水幹線など不要なデータを削除し簡略化した汚水幹線データを用いた（図-3）。

各月各時刻における下水流量および下水温度を算出するモデルを構築し，DHCプラントシミュレーションモデルとデータのやり取りを行った。以下に，下水幹線シミュレーションモデルの詳細を述べる。

(1) 下水流量の計算

a) 建物用途毎の時刻別下水発生量モデル

建物用途毎の一日の下水発生量は，水需要量が汚水発生量に等しいと考え，建物用途別の年間水需要原単位⁷⁾を用いて算出した。建物用途毎の下水発生量時刻変動比モデルは，建物用途の性質を考慮し独自に作成した。こ

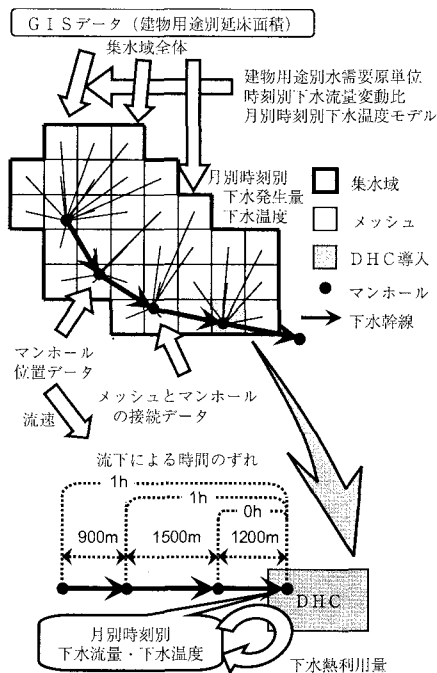


図-2 下水幹線シミュレーションモデルの概要



図-3 利用した東京23区の下水幹線ネットワークデータ

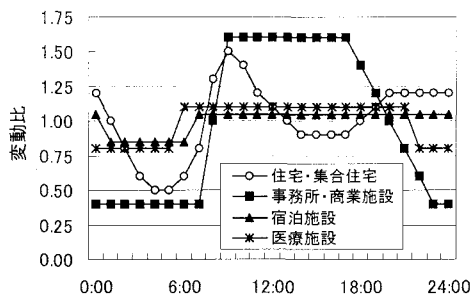


図-4 建物用途毎の下水発生量時刻別変動比モデル

れを図-4に示す。これらのデータとGISデータの建物用途別延床面積を用いて、集水域全体の各メッシュにおける時刻別の下水発生量を、式(2)を用いて算出した。この際、下水発生量時刻変動比モデルとGISデータでは建物利用用途の分類方法が異なるため、表-1のように再分類して利用した。

$$Q_{M,j} = \sum_u \frac{D_u}{365} \cdot A_{M,u} \cdot \frac{r_{u,j}}{24} \quad (2)$$

$Q_{M,j}$: メッシュ M における j 時の下水発生量 [m^3/h]

D_u : 建物用途 u 別の年間水需要原単位 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})$]

$A_{M,u}$: メッシュ M の建物用途 u 別の延床面積 [m^2]

$r_{u,j}$: 建物用途 u 別 j 時の下水発生量時刻変動比 [-]

ここで計算された下水量は、発生と同時に次項 b) で決定されるマンホールに流入するものとした。

b) 流入マンホールの決定

東京都下水道局の幹線流域図を基に、各メッシュがどの幹線の集水域に属しているかを決定し、その幹線のマンホールの内、メッシュの中心との距離が最小のものを、そのメッシュで発生する下水の流入マンホールとした。

c) 流下時間の考慮

上流で下水幹線に流入した下水は、数時間かけて下流に到達するため、下流での流量は、現在の時刻で発生した下水と数時間前に上流側に流入した下水との合計量である。そのため、下水流量の時刻別変動は、発生量の変動と比べて遅れが生じる。これを考慮するため、マンホール位置データから算出したマンホール間距離と下水流速を基に時間のずれを算出して、この遅れを考慮した。下水流速を厳密に算出するには、管の形状や管径、勾配、流量などさらに多くのデータを必要とするが、本研究では、簡単のため 1m/s と仮定して用いた。これは、下水管渠の計画設計時における理想的流速が $1.0 \sim 1.8\text{m/s}$ 程度⁸⁾ であり、本研究が東京都の晴天時を対象としていることから、合流管に污水のみが流れている状況を想定し、流速を低く設定したものである。本研究の時間単位が1時間であるので、時間差が30分以内を0時間差、30分から1時間30分までを1時間差などとして利用した。マンホール間の距離の和と時間のずれとの関係を表-2に示す。

表-1 建物利用用途の分類

元の GIS データ での分類	利用時の分類	
	熱需要量	下水発生量
専用独立住宅	—	住宅 集合住宅
集合住宅	集合住宅	
住商併用建物		
官公庁施設	業務施設	事務所 商業施設
教育文化施設		
事務所建築物		
専用商業施設等	商業施設	
宿泊・遊興施設	宿泊施設	宿泊施設
厚生医療施設	医療施設	医療施設

表-2 マンホール間距離と時間のずれの関係

マンホール間距離の和	時間のずれ
0 ～ 1,800 m	0 時間
1,800 ～ 5,400 m	1 時間
5,400 ～ 9,000 m	2 時間
9,000 ～ 12,600 m	3 時間
12,600 ～ 16,200 m	4 時間
16,200 ～ 19,800 m	5 時間

(2) 下水温度の計算

a) 発生下水温度の月別時刻別変化モデル

発生下水温度のモデルは、後楽一丁目地区地域冷暖房施設における下水入口温度データを基に独自に作成した。

まず、2001年から2003年までの下水温度データより、 i 月における平均下水温度 T_i を算出した。次に、2001年度の月曜を除く平日の降雨量が0の日のうち、その前日も降雨量が0である日をすべて抜き出し、月別時刻別に平均し、 i 月における一日の温度変化の大きさ d_i (最大値と最小値との差) を算出した。月曜や降雨日を除いたのは土休日や降雨の影響を除くためである。6月から9月を夏期、12月から3月を冬期、それ以外の月を中間期とし、 s 期における平均下水温度 T_s 、一日の温度変化の大きさ d_s を出し、 s 期 j 時における平均下水温度 $T_{s,j}$ を用いて、式(3)により、 s 期 i 月 j 時における下水温度 $T_{m,i,j}$ を算出した。

$$T_{m,i,j} = T_i + \frac{d}{d_s} \cdot (T_{s,j} - T_s) \quad (3)$$

T_m : モデル下水温度 [$^{\circ}\text{C}$]、 T : 平均下水温度 [$^{\circ}\text{C}$]

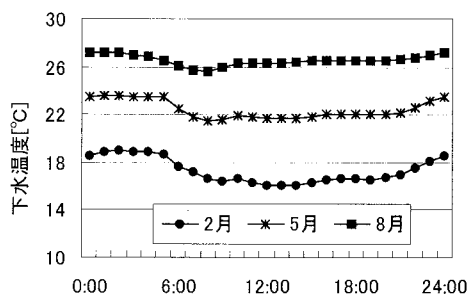
d : 一日の温度変化の大きさ [$^{\circ}\text{C}$]

添字は、 s 期、 i 月、 j 時を意味する。

この温度の下水が各月各時刻において幹線に流入するものとした。2月、5月および8月の発生下水温度変化を図-5に示す。

b) 流下に伴う温度変化

下水が流下する間、下水温度は、地面や大気との熱交換や地下水の流入などによって変化する。これらをモデルに組み込む場合、地下水量や地温、下水管の形状などさらにデータが必要となり、今回は考慮の対象から除外した。しかし、発生下水温度変化モデルの根底には、あ



る程度流下した後楽地区における平均下水温度 T_l があり、地下水、地温なども完全ではないが考慮されているものと考えられる。

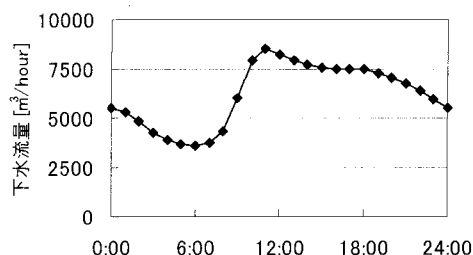


図-7 高段幹線末端マンホールの時刻別流量の計算結果

昇した下水を、冬季には温度が低下した下水を下水管に戻すことになり、これが問題を起こす恐れがある。下水道法による下水の排除基準として、下水道に受け入れる水の温度は40℃未満と定められている。一方、下水温度が低くなると窒素除去を始めとして下水処理に影響を与えてしまう。これらのことから、DHCプラントから下水幹線へと戻される月別時刻別の下水温度（排水温度）の値と、幹線末端における月別時刻別下水温度（末端温度）の値をデータとして取り出し、確認した。

c) DHCでの下水熱利用に伴う温度変化

下水熱利用のDHCでは、冬期は下水から熱を取得し、夏期は下水に熱を放出する。それに伴い、DHCの下流側の下水温度は変化する。そこで、DHC導入メッシュよりも下流側のマンホールにおいて下水温度を計算する際には、DHC地点との時間のずれを考慮して、利用エネルギーの分、温度を変化させた。このとき、下水の密度および比熱は、水と同じ $1[t/m^3]$ 、 $4.186[MJ/t \cdot ^\circ C]$ として計算した。下水熱を利用する場合、夏季には温度が上

(3) 下水幹線モデル単独でのシミュレーション例

下水幹線シミュレーションモデルのみを利用して、東京都芝浦処理区内の高段幹線系（四谷・溜池・赤坂・番町・麻布・青山の一部・白金の一部・高段の各幹線）を対象に時刻別の下水流量を計算した。高段幹線系の位置とその集水域メッシュを図-6に示す。

高段幹線最下流マンホールにおける時刻別流量の計算結果を図-7に示す。住宅系の下流発生量ピークは9時であったが、最下流地点では流量のピークは11時となっており、流下時間が考慮された結果、そのピークが遅れて生じることが確認できた。

高段幹線系のみの実測の下水流量は測定されておらず、計算値と実測値とを比較することはできなかったが、今後、原単位や時刻別変動の妥当性を評価し、必要であれば適宜見直しをしていく必要があるであろう。しかしここでは、既往の研究において、1日の下水流量についてある程度実測値を再現できている原単位を利用していることから、以降はこのモデルを利用して解析を行った。

4. DHCプラントシミュレーションモデル

DHCプラントシミュレーションモデルの概要を図-8に示す。熱供給エリアの建物用途別延床面積を入力データとして、下水温度や熱源機器の性能データから、運転の際の電力消費量などを計算し、CO₂排出量などを算出するモデルである。以下に、DHCプラントシミュレーションモデルの詳細を述べる。

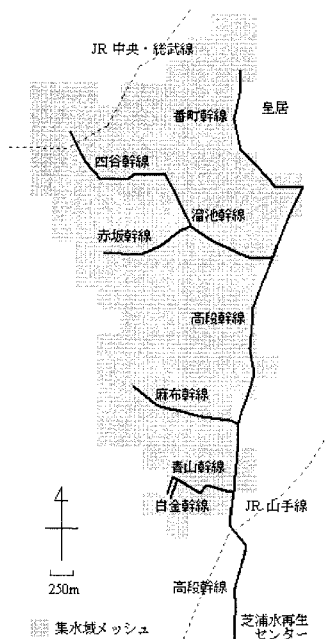


図-6 高段幹線系の幹線と集水域メッシュ

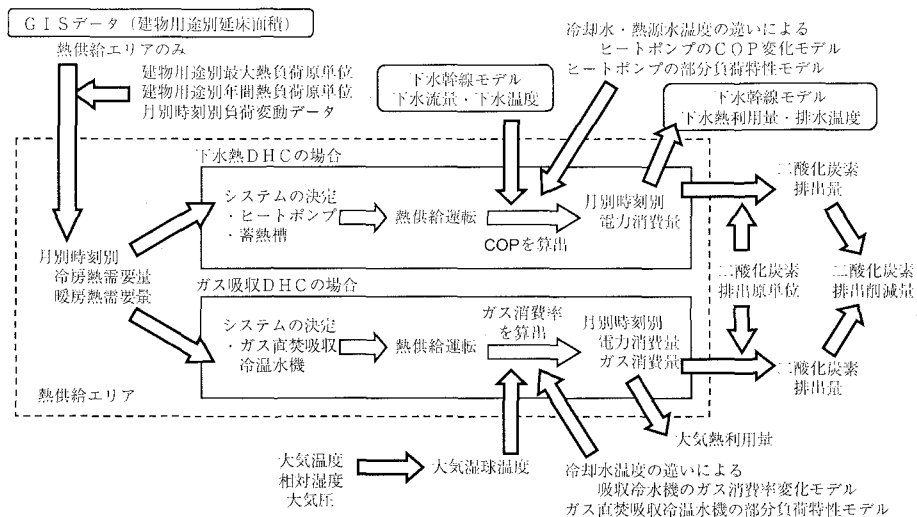


図-8 DHCプラントシミュレーションモデルの概要

(1) 熱需要量の計算

熱供給エリアメッシュの月別時刻別の冷房熱需要量および暖房熱需要量は、建物用途別延床面積データと年間熱負荷原単位、時刻別負荷変動データを用いて算出した。12ヶ月×24時間の熱需要量に加えて、12月から2月と7月から9月については、年間熱負荷原単位ではなく最大熱負荷原単位を用いて、ピーク日の熱需要量も算出した。熱負荷原単位や負荷変動のデータの建物用途の分類は、GISのデータの分類とは異なっていたため、地域冷暖房による熱供給の対象を、1建物あたり500m²以上の集合住宅、2000m²以上の業務施設、500m²以上の商業施設、宿泊施設、医療施設を対象とし、延床面積データは表-1のように再分類して利用した。建物用途別の熱負荷原単位データ⁹⁾は、業務施設以外の用途については建築環境・省エネルギー機構(IBE)Cのデータ¹⁰⁾を用い、業務施設については、規模別の原単位を用いるため、東京都環境保全局のデータ¹¹⁾の平均値を用いた。なお、集合住宅については、1戸あたりの原単位であったので、1戸あたり延床面積を100m²として利用した。負荷変動のデータは、夜間の冷房需要を考慮するため、冷房については東京都環境保全局のデータを用い、暖房についてはIBEのデータを用いた。

表-3 下水熱利用ヒートポンプシステムデータ

※単位はUSRT、HPはヒートポンプ、#は台数

No.	HP-A	#	HP-B	#	Total
1	500	2	-	-	1000
2	500	1	1000	1	1500
⋮					
36	1000	1	2000	3	7000
37	1000	2	2500	2	7000
⋮					

(2) システムの決定

計算されたピーク日の熱需要量を基に、適したDHCシステムを決定した。各DHCにおけるシステムの決定方法を示す。

a) 下水熱DHC

下水熱DHCのシステムは、大小2種類の圧縮式ヒートポンプと蓄熱槽、下水取水設備などからなる。

まず、ヒートポンプ容量は500USRT(US冷凍トン)から3,000USRTまで用意できるものとし、大小のヒートポンプ容量とそれぞれの台数のデータを持つシステムデータを用意した。これを表-3に示す。

次に、蓄熱槽の容量を決定した。蓄熱槽は、8月の冷房熱需要ピーク日における一日の冷房熱需要量の5%の冷熱を蓄熱できる容積のものを用意できることとした。

冷房と暖房の需要量のバランスを基に、一年を3つの蓄熱モードに分け、夏期蓄熱モードは蓄熱槽をすべて冷水蓄熱用とし、中間期蓄熱モードおよび冬期蓄熱モードでは、一部を温水蓄熱用として用いることとした。これはつまり、蓄熱槽が3槽に分かれており、季節に応じて冷水と温水を切り替えることができることを意味する。

冷房需要最大月(8月)の需要量ピーク日において、蓄熱槽からの放熱量も考慮した上で、昼間の各時刻における冷房熱需要量分の熱を製造するために必要なヒートポンプ容量と、中間期や冬期の冷暖両方の需要がある日において、熱回収ヒートポンプを運転するのに適したヒートポンプ容量をもとに、システムデータの中から最適なシステムを選択させた。このとき、設備予備率を5%とし、設備容量に余裕を持たせた。また、システムデータのヒートポンプ台数の一部を熱回収ヒートポンプとした。以上により、ヒートポンプ容量・台数、熱回収ヒートポンプ容量・台数、蓄熱槽容量が決定された。

表-4 DHCの熱供給条件

	往水温度	還水温度 (平均)
冷熱 (冷房用)	7℃	15℃ (11℃)
温熱 (暖房用)	47℃	37℃ (42℃)

b) ガス吸収DHC

ガス吸収DHCのシステムは、大中小3種類の直焚吸収冷温水機と、冷却塔などからなる。

大と中の吸収冷温水機の容量は 500USRT から 1,500 USRT まで用意されており、小の吸収冷温水機は、低負荷時に対応するため 150USRT から 500USRT の範囲で1台用意できるものとした。システムデータは大と中の吸収冷温水機の容量と台数のデータを持ち、下水熱DHCの場合と同様に、冷房需要最大月のピーク日の熱需要量を基に、システムデータの中から適したシステムを選別させた。小の吸収冷温水機の容量は、1年のうちの最小の熱負荷を基に、150USRT または 300USRT、500USRT の3種の中から選択させ、台数は1台とした。以上により、直焚吸収冷温水機の容量・台数が決定された。

(3) 熱供給運転

システムが決定されると、各月各時刻において、冷房暖房の熱需要量に応じた熱を供給するためにシステムをどのように運転するかを決定した。基本的な熱供給条件を表-4に示す。

a) 下水熱DHC

圧縮式ヒートポンプは電力を利用するので、蓄熱槽を利用して昼間の負荷を減らし、代わりに夜間に運転することで、負荷の平準化に重要な役割を果たす。また、夜間の電力は火力発電によるものの割合が小さく、環境負荷の小さい電力であるともいえる。電気料金も安い。そのため、蓄熱は基本的に夜間の22時から8時までの10時間で行うものとし、夜間の熱需要量に蓄熱容量を加えた量を蓄熱できるようにヒートポンプを運転することとした。蓄熱温度は、冷水は5℃、温水は50℃とした。夏期においては、13から16時の3時間が電力需要のピーク時で、環境負荷も大きく、電気料金も高いため、この時間帯に優先的に冷熱を放熱することとした。冬期では、朝の暖房熱需要量が大きいので、8時から順次放熱していくこととした。

昼間(8時から22時)のヒートポンプの運転は、蓄熱槽からの放熱量を考慮しながら、放熱量では補えない分を製造するために運転ヒートポンプとその台数を決定した。ただし、1日のなかで、同じヒートポンプを冷房用から暖房用、あるいは暖房用から冷房用に切り替えるのは昼間と夜間の変わり目の最大2度までとした。また、熱負荷がヒートポンプ容量の30%を下回るような低負荷の場合は、蓄熱槽からの放熱によって賄うものとした。

熱回収ヒートポンプは、冷房熱需要と暖房熱需要が同

時に存在する場合や、一方あるいは両方が蓄熱運転の場合に、最大限利用するものとした。熱回収ヒートポンプを利用することで、冷房排熱を暖房熱製造の熱源として利用することができ、高効率な運転を行うことができる。

b) ガス吸収DHC

直焚吸収冷温水機においても冷房用と暖房用の切り替えは、1日2度までとし、各月各時刻における熱需要量に適した台数の冷温水機を運転するものとした。1台ある最小の吸収冷温水機については、その容量よりも冷房熱需要量が小さい場合や、冷房熱需要量が大きく、この吸収冷温水機を含めないと残りの冷温水機では対応し切れない場合にのみ利用するものとし、その他の場合は利用しないものとした。

(4) 電力消費量・ガス消費量・熱利用量の計算

各月各時刻における熱源機器の運転台数や、導水ポンプの運転状況を基に、各月各時刻における電力消費量やガス消費量を計算した。その際、ヒートポンプのCOPや部分負荷特性、補機の動力については、冷凍機メーカーから得たデータを基に作成し利用した。直焚吸収冷温水機のデータについても、冷凍機メーカーパンフレット^{12,13)}より39%省エネルギー型(ガス焚)の機器データを基に作成し利用した。計算方法の詳細を以下に示す。

a) 下水熱DHC

ヒートポンプの電力消費量を計算する際に、COPが必要になるため、まずCOPの計算を行った。ヒートポンプのCOPは熱源水や冷却水の温度によって変化するが、シミュレーションの際には、様々な温度に対応しなければならないため、5℃から40℃の温度範囲のCOPモデルを作成した。これを図-9に示す。

下水幹線モデルで得られた取水地点での下水温度から各月各時刻の熱源水または冷却水の温度を計算した。シェルアンドチューブ型の熱交換機を想定し、アプローチ温度は設計時に用いられることが多い2℃とした。

COPモデルを用いて時刻毎のCOPの値を決定した。各月各時刻における熱供給量とCOP、部分負荷特性データを利用して電力消費量を計算した。さらに、式(4)および(5)を用いて下水熱利用量を計算した。

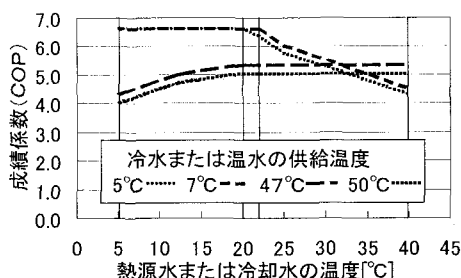


図-9 下水熱利用ヒートポンプの成績係数モデル

$$Q_{w,d} = Q_c + E \quad (4)$$

$$Q_{w,a} = Q_H - E \quad (5)$$

Q_w : 下水熱利用量[MJ/h], 添え字 d は放出, a は取得.

$Q_{c,H}$: 冷房暖房熱供給量[MJ/h], E : 電力消費量[MJ/h]

ヒートポンプの出入口温度差は、現況を踏まえ、基本的に最大 5℃とした。そのため、計算された下水熱利用量を基に下水の取水量が決定される。取水ポンプは 5 台まで用意できるものとしており、取水量が最大となる時間を基に取水ポンプの容量を決定し、各月各時刻において運転台数を決定した。取水量は最大で下水流量の 80% としたが、下水幹線モデルによって計算された下水流量の 80% よりも取水量が多い場合は、取り得る最大量を取水量とした。このとき、下水熱の利用温度差が 5℃以上となり、ヒートポンプの COP が低下するため、COP の計算からやり直すものとした。

ヒートポンプの補機の電力消費量は、容量 1USRT あたり 43.2kJ/h (12W) という値を用いて算出した。

ポンプについては、下水取水ポンプ、冷却水ポンプ、熱源水ポンプ、冷水放熱用ポンプ、温水放熱用ポンプなどを用意した。下水取水ポンプ以外は可変流量ポンプとし、ポンプ効率を 0.7 として、流量や各ポンプに定めた揚程を用いて電力消費量を計算した。

b) ガス吸収 DHC

直焚吸収冷温水機的气体消費率は、以下の値を用いた。冷却水温度が 32℃の場合の冷熱製造運転時のガス消費量は、冷熱 12.658MJ (1USRT で 1 時間運転) あたり 0.258Nm³ (Nm³:標準状態における体積 m³) とし、温熱製造運転時のガス消費量は、温熱 10.126MJ (冷熱製造運転時の能力の 80%) あたり 0.258Nm³ とした。これらの値と月別時刻別の熱供給量、負荷率、部分負荷特性データを利用して、月別時刻別のガス消費量を計算した。このとき、温熱製造運転については常に同じ効率で運転できるものとしたが、冷熱製造時は、次のように算出した冷却水の温度によって効率が異なるものとした。

大気湿球温度を用い、気象庁の 2001 年から 2003 年にかけての 3 年間の観測地点「東京」における気圧および気温、相対湿度の観測データから、月別時刻別の平均値を算出し、式(6)を用いた。

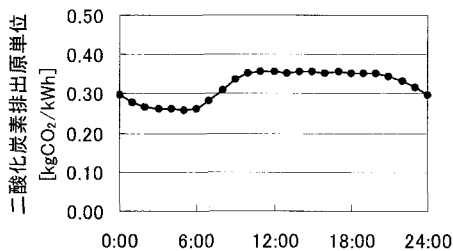


図-10 電力の CO₂ 排出原単位

$$e_d \cdot \frac{Rh}{100} = e_w - 0.000662P(t_d - t_w) \quad (6)$$

e : 飽和水蒸気圧 [hPa], P : 大気圧[hPa]

Rh : 相対湿度[%], t : 温度 [℃]

添字は、乾球 (d), 湿球 (w) を意味する。

飽和蒸気圧は、Goff-Gratch 式を用いて算出した。この式(6)の中には、湿球温度とその湿球温度における飽和水蒸気圧があり、直接的に湿球温度を計算することはできないため、反復計算によって 0.1℃の精度で湿球温度を計算した。東京都においては 27℃の湿球温度に対して冷却塔出口温度 (冷却水温度) を 32℃として冷却塔を設計していることが多いため、簡単のため、湿球温度に常に 5℃を加え冷却水温度とした。

計算された月別時刻別のガス消費量を基に、式(7)により大気熱利用量を算出した。

$$Q_A = Q_c + H \cdot V \quad (7)$$

Q_A : 大気熱利用量[MJ/h], Q_c : 冷房熱供給量[MJ/h]

H : 温熱製造時の単位ガス量あたりの発熱量[MJ/Nm³]

V : 冷熱製造時ガス消費量[Nm³/h]

直焚吸収冷温水機の補機の電力消費量は、容量 1USRT あたり 144kJ/h (40W) という値を用いて算出した。また、冷却塔の送風機の電力消費量も同様に、1USRT あたり 108kJ/h (30W) という値を用いて算出した。

ポンプについては、冷却水ポンプは定流量とし、熱供給用のポンプは可変流量とした。下水熱 DHC の場合と同様に電力消費量を計算した。

(5) 二酸化炭素排出量の計算

計算された月別時刻別の電力消費量とガス消費量を基に、CO₂ 排出原単位を用いて年間の CO₂ 排出量を計算した。電力の CO₂ 排出原単位には、東京電力(株)算出¹⁴⁾の時刻別 CO₂ 排出原単位を用いた。これを図-10 に示す。また、都市ガス(13A) の CO₂ 排出原単位には、東京ガス(株)の環境報告書¹⁵⁾より 2.36 kgCO₂/Nm³ という値を用いた。ガス吸収 DHC の場合の CO₂ 排出量から下水熱 DHC の場合の排出量を引いたものを CO₂ 削減量とした。

(6) DHC プラントモデル単独でのシミュレーション例

DHC プラントシミュレーションモデルを単独で利用した場合、熱供給エリアの建物用途別延床面積データを入力データとして与えると、仮想的なエリアに DHC を導入した場合の電力消費量や CO₂ 排出量などを計算することができる。計算結果の表示画面の例を図-11 に示す。

熱供給エリアが大規模業務施設、延床面積 300,000m² であった場合のシミュレーション結果を表-5 に示す。下水熱 DHC の CO₂ 排出量は、ガス吸収 DHC の約 47% であり、半分以下となっていた。

表-5 DHCプラントシミュレーション結果の例

熱供給エリア		
大規模業務施設	300,000[m ²]	
熱需要量 (熱供給量)		
冷房熱	76.59 [TJ/yr]	
暖房熱	37.68 [TJ/yr]	
比較		
下水熱 DHC	項目	ガス吸収 DHC
27.95	電力消費量[TJ/yr]	10.77
-	ガス消費量[k(Nm ³)/yr]	1,955
72.85(放出)	下水熱利用量[TJ/yr]	-
15.44(取得)		
-	大気熱利用量[TJ/yr]	120.46(放散)
2,637	CO ₂ 排出量[tCO ₂ /yr]	5,626

下水熱DHCの決定システム		
圧縮式ヒートポンプ (内,熱回収型)	750USRT	2(2)台
	1,750USRT	3(0)台
合計	6,750USRT	5(2)台
蓄熱槽	309m ³	1 槽
	618m ³	1 槽
	926m ³	1 槽
合計	1,853m ³	3 槽
ガス吸収DHCの決定システム		
直焚吸収冷温水機	150USRT	1 台
	500USRT	2 台
	1,500USRT	4 台
合計	7,150USRT	7 台

5. 実際のシミュレーション例

(1) 幹線上に1ヶ所のDHCを導入した場合の例

a) 計算対象メッシュ

芝浦処理区全体を対象として、1ヶ所のDHCを導入した場合のシミュレーションを行った。

芝浦処理区内にある1077メッシュの内、下水幹線が通過しているのは438メッシュであった。低熱需要密度のメッシュでは、必要ヒートポンプ容量が500USRT未満になり、本モデルでは適当なシステムを用意できない。また、熱需要量に対して下水の流量が少ない場合は、下水熱の利用温度差を大きくする必要があり、その場合、熱源水・冷却水温度が5℃以上40℃以下という本モデルの適用範囲から外れてしまう。これらの場合はDHCには適さないメッシュとして除外し、229メッシュを対象とした。複数の幹線が対象メッシュを通過する場合を考慮し、合計323通りのシミュレーションを行った(表-6)。

b) 計算結果と考察

CO₂排出削減量の上位20メッシュの計算結果データの一部を表-7に示す。メッシュの位置を図-12に示す。各メッシュの建物利用用途は、H、K、L以外のメッシュは大部分が業務施設で、Hは約4分の1が商業施設で残りが業務施設、Kは大部分が宿泊施設、Lは約3分の1が宿泊施設で残りが業務施設という構成であった。

1位と2位は千代田区内幸町一丁目付近のメッシュAにDHCを導入した場合であった。1位は中段幹線から取水した場合、2位は銭瓶幹線と中段幹線の両方から取水した場合であった。メッシュAの銭瓶幹線単独利用については、下水流量が少なすぎるため計算対象外であった。中

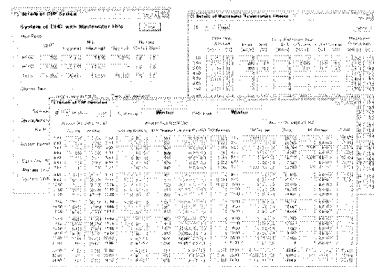


図-11 DHCプラントシミュレーションの結果表示画面

段幹線単独利用の場合も、下水量が十分ではないため利用温度差が大きくなり、排水最高温度が40℃を超えていた。銭瓶・中段幹線同時利用の場合は流量が十分であるため、利用温度差を小さく抑えることができ、より効率の良いヒートポンプの運転が可能であるが、CO₂排出削減

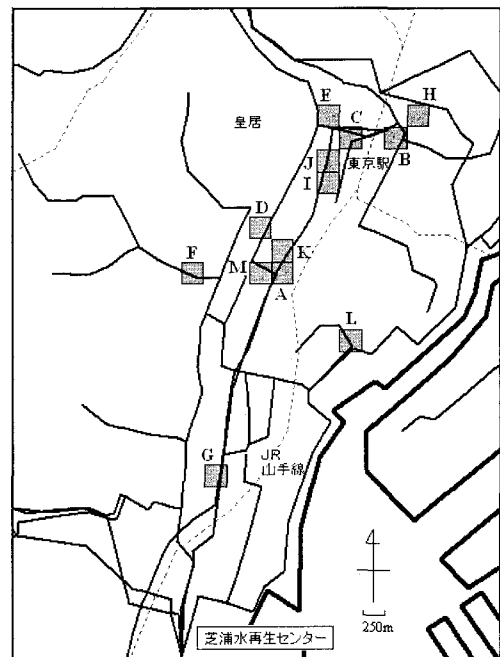


図-12 CO₂排出削減量上位メッシュの位置
(細実線：下水幹線、点線：JR 線)

表-6 芝浦処理区の計算対象メッシュ数

芝浦処理区の全体	1077
下水幹線が通過している	438
熱需要量が少なすぎるためDHCに不適	138
下水流量が少なすぎるためDHCに不適	71
計算対象メッシュ	229

表-7 芝浦処理区内にDHCを1ヶ所導入した場合のシミュレーション結果

順位	メッシュ*1	幹線名	熱需要量 (熱供給量)		二酸化炭素 排出削減		排水 最高 温度 [°C]	末端 最低 温度 [°C]	熱利用量		
			冷房 [TJ/yr]	暖房 [TJ/yr]	総量 [tCO ₂ /yr]	割合*3 [%]			下水 放出 [TJ/yr]	取得 [TJ/yr]	大気*2 放散 [TJ/yr]
1	A	中段	112.18	59.19	4,517	53.2	42.34	12.26	105.74	24.72	176.47
2	A	銭瓶 中段	112.18	59.19	4,487	52.9	31.65	14.49	105.73	24.72	176.47
3	B	銭瓶ポンプ所	82.67	45.32	3,372	53.2	31.30	13.30	77.72	19.50	130.40
4	C	銭瓶	78.21	43.75	3,267	54.1	43.61	12.71	73.47	19.20	123.10
5	C	大手町	78.21	43.75	3,267	54.1	43.60	13.97	73.47	19.20	123.10
6	C	銭瓶 大手町	78.21	43.75	3,230	53.5	32.34	14.46	73.47	19.20	123.10
7	D	中段	80.23	40.85	3,201	53.6	37.82	14.34	75.71	16.78	125.36
8	E	中段	71.43	37.29	2,849	52.9	31.43	14.46	67.34	15.50	112.63
9	F	溜池	67.68	38.03	2,763	52.7	34.79	14.21	63.63	16.66	106.70
10	G	中段	60.66	33.05	2,440	52.9	32.88	14.77	57.06	14.25	94.58
11	G	銭瓶 中段	60.66	33.05	2,440	52.9	31.35	15.05	57.06	14.25	94.58
12	G	銭瓶	60.66	33.05	2,440	52.9	37.23	13.72	57.07	14.25	94.58
13	H	第二低段	62.44	30.89	2,413	52.0	41.55	13.13	62.23	14.99	97.72
14	I	銭瓶	55.65	35.02	2,411	53.3	39.15	13.79	52.03	16.53	87.28
15	J	銭瓶	60.28	32.15	2,397	52.8	33.65	14.01	56.76	13.58	93.95
16	K	銭瓶	35.49	55.74	2,356	51.2	38.84	10.02	37.68	43.52	55.86
17	L	芝浦	42.74	45.67	2,356	52.8	32.85	14.56	41.76	29.37	66.67
18	L	芝浦 汐留	42.74	45.67	2,355	52.8	31.60	14.56	41.76	29.37	66.67
19	M	銭瓶	54.78	31.84	2,319	53.8	38.34	12.46	51.41	14.32	86.44
20	M	銭瓶 中段	54.78	31.84	2,308	53.6	31.79	14.99	51.40	14.32	86.44

*1 メッシュの記号は図-12の記号と対応している。

*2 ガス吸収DHCの冷却塔からの放散熱量

*3 二酸化炭素排出削減割合は、ガス吸収DHCの二酸化炭素排出量に対する割合

減量が中段幹線単独利用と比較してやや減少していた。これは下水の取水ポンプ容量が大きくなり、ポンプ動力が増加したためであった。下水道への排除基準が温度40℃未満であることを考えると、芝浦処理区内に下水熱DHCを1ヶ所導入する場合の最適メッシュは、銭瓶・中段幹線を利用したメッシュA（表-7の2位）であることがわかった。このとき、下水熱DHCの年間の効果として、下水からの熱の取得量が24.7TJ、下水への熱の放出量が105.7TJ、ガス吸収DHCを導入する場合と比較して、CO₂排出量が約4500トンの削減という結果が得られた。

この表-7の上位20メッシュでは、メッシュKを除いて冷熱の供給量よりも、下水への放出熱量が下回っており、また、下水からの熱の取得量が温熱の供給量の半分を下回っている。これは、業務施設の冬の冷房需要が多く、冬期に熱回収ヒートポンプによる熱回収運転を行うことができるため、下水を利用せずとも効率よく運転している結果であろう。それに対し、メッシュKでは、宿泊施

設が中心であるため冷房需要に対して暖房需要が大きく、熱回収ヒートポンプの利用効果が小さいため、冬期の下水熱取得量が多くなり、幹線末端の下水最低温度は10℃と非常に低くなっていた。

この計算結果の上位20位のように、熱需要量が多い地域はほとんどが業務施設であったため、建物用途の違いのCO₂排出削減量への効果を検証することはできなかったが、基本的には熱需要量が多い程CO₂排出削減量が大きくなることが確認できた。また、熱需要量が多い場合でも、下水流量が少ない場合はヒートポンプを運転できないか、あるいは排水温度が高くなってしまうため、DHC導入に適さないということになるので、熱需要量に見合った下水量が存在することがDHC導入の条件になることも確認できた。また、熱回収ヒートポンプをより多く利用できる程、下水熱の利用量は小さく、下水の温度変化が小さくなるため、下流側でさらに下水熱利用DHCを導入する場合に有利になるといえるだろう。

表-8 高段幹線系の計算対象メッシュ数

高段幹線系の集水域全体	156
下水幹線が通過している（集水域外含む）	61
熱需要量が少なすぎるためDHCに不適	17
下水流量が少なすぎるためDHCに不適	6
計算対象メッシュ	38
38ヶ所から5ヶ所の選び方は501,942通り	

(2) 幹線上に複数のDHCを導入した場合の例

a) 計算対象メッシュ

芝浦処理区内の下水幹線の内、比較的流量の多い高段幹線系を対象として、同一幹線上の5ヶ所にDHCを導入した場合のシミュレーションを行った。計算対象のメッシュ数を表-8に示す。

表-9 二酸化炭素排出削減量が最大となる5ヶ所のそれぞれのDHC導入メッシュでの計算結果

メッシュ *1	幹線名	熱需要量 (熱供給量)		二酸化炭素 排出削減		排水 最高 温度 [℃]	末端 最低 温度 [℃]	熱利用量		
		冷房 [TJ/yr]	暖房 [TJ/yr]	総量 [tCO ₂ /yr]	割合*3 [%]			下水		大気*2 放散 [TJ/yr]
								放出 [TJ/yr]	取得 [TJ/yr]	
a	溜池	30.02	30.47	1,590	52.4	34.56	－	30.49	20.34	46.81
b	溜池	67.68	38.03	2,749	52.4	37.26	－	63.75	16.64	106.70
c	高段	32.44	26.73	1,567	52.1	37.11	－	30.14	14.31	50.69
d	高段	42.99	40.14	2,189	52.2	38.98	－	41.42	24.10	67.31
e	高段	34.86	33.19	1,779	52.0	39.10	－	33.84	20.26	54.37
	幹線末端	－	－	－	－	－	10.03	－	－	－
	合計	208.00	168.55	9,874	52.3	－	－	199.64	95.64	325.89

*1 メッシュの記号は図-13の記号と対応している。

*2 ガス吸収DHCの冷却塔からの放散熱量

*3 二酸化炭素排出削減割合は、ガス吸収DHCの二酸化炭素排出量に対する割合

b) 計算方法

東京都下水道条例の排除基準が40℃未満であることや、下水処理における窒素除去に大きな影響を与えないよう下水温度の著しい低下を避けるべき、という観点から、排水温度が40℃未満、幹線末端における温度が10℃以上であることを条件として、DHCを5ヶ所導入した場合に、CO₂排出削減量が最大となるような導入メッシュの位置を決定するためのシミュレーションを行った。

c) 計算結果と考察

計算対象メッシュ38ヶ所から5ヶ所の選び方は501,942通りであり、これらすべての場合でシミュレーションを行った。排水温度や末端温度の条件を満たし、CO₂削減量の合計が最も多かった5ヶ所のDHCの位置を図-13に、その各DHCでの計算結果を表-9に示す。この5ヶ所のメッシュは対象メッシュにおける熱需要量上位5メッシュであったが、これは高段幹線の流量が十分多かったため

であろう。さらにDHCの導入箇所を増やしていった場合や流量が少ない幹線の場合は、熱需要量の上位メッシュから順に選べると、排水温度や末端温度の条件を満たすことができなくなると予想される。よって、このシミュレーションモデルを適用することで、導入箇所数やCO₂削減量の限界も検討できると考えられる。

1本の幹線に複数ヶ所下水熱利用DHCを導入すると、下流側のDHCでは上流側のDHCでの熱の利用により、下水温度が不利な方向に変化し、ヒートポンプの効率が低下する。図-14は8月および2月のピーク日の13時の幹線上の各マンホールにおける下水温度を計算した結果である。DHCで熱を利用することにより、夏は温度が上昇し、冬は下降することが見て取れた。途中、別の幹線からの流入によりわずかに温度が回復するが、8月ピーク日の13時においては、全体で約9℃の温度上昇が起こることになる。このような下水の流下に伴う温度変化が下流側へ与える影響の大きさは、表-7のメッシュFと表-9のメッシュbとが同じメッシュであることから考察することができる。単独でDHCを導入したFの場合は、CO₂排出削減量は年間2,763トンであったが、上流側で熱が利用された後のメッシュbの場合は、削減量が2,749トンで、

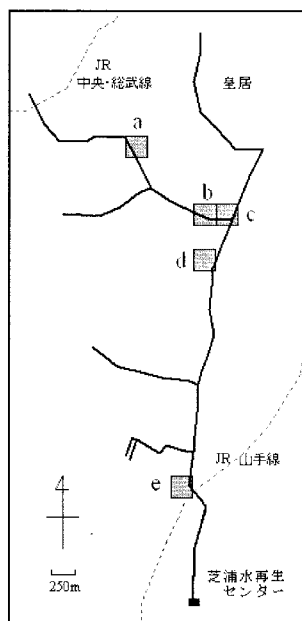


図-13 二酸化炭素排出削減量が最大となる5ヶ所のDHC導入メッシュ位置

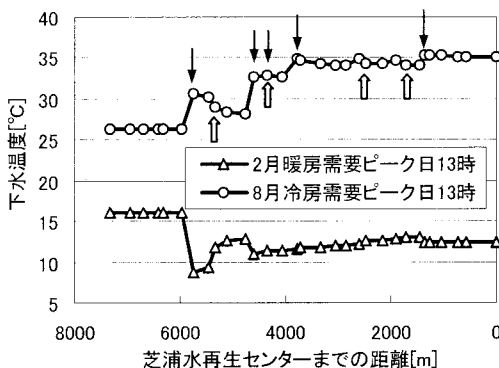


図-14 高段幹線系においてDHCを5ヶ所導入した場合の流下に伴う下水温度の変化

※下向き矢印はDHCの位置（下水熱の利用地点）
白抜上向き矢印は別の幹線からの流入がある地点

ヒートポンプの効率の低下により、約0.5% CO₂排出削減量が減少していることが確認できた。

CO₂排出削減量は5ヶ所で9,874トンであり、下水熱利用量は、熱源水としての利用が95.64TJ、冷却水としての利用が199.64TJであった。高段幹線末端での1年間の下水流量の計算結果は約5400万m³であるので、冷却水としての利用平均温度差は流量全体の0.88℃分、熱源水に至っては、わずか約0.42℃分という結果となった。

6. まとめ

本研究においては、代表的な未利用エネルギーである下水熱の利用価値を定量的に評価するために、下水熱利用地域冷暖房システムと下水幹線のシミュレーションモデルを開発した。これを用いて、供給される未利用エネルギーの量としての下水流量と熱需要量との空間的整合性や、利用時刻による下水温度や負荷率の違いによるヒートポンプのCOPの変化などを考慮した、東京都の芝浦処理区における解析を行った。幹線上に複数のDHCを導入した場合の下水温度の変化も計算することができ、下流側DHCの効率の低下も確認できた。

今回、DHCプラントや取水設備等の建物建設時の環境負荷や経済性については、検討しておらず、今後、CO₂排出量やコストについてライフサイクルの評価を行えるよう改良が必要であるが、このシミュレーションモデルを用いて、建物用途による冷温熱需要のバランス、熱需要密度や下水流量などが下水熱の利用効果にどのような影響を与えているのかなど、さらなる解析を行うことで、下水熱の効果的な利用のための戦略的導入への指針を与えることができると考えている。

謝辞：データの提供や御助言を頂きました東京都下水道局、(株)東京下水道エネルギーの関係者の皆様、(株)荏原製作所の吉田可紀様、五島満様に感謝いたします。

参考文献：

- 1) 三好伸浩，楠田哲也，井村秀文：都市における下水廃熱の利用性に関する研究，環境システム研究，Vol.18，pp.118-123,1990
- 2) 一ノ瀬俊明，川原博満，花木啓祐，松尾友矩：下水熱有効利用可能性解析ツールとしてのG I Sの開発，土木学会論文集，No.552/VII-1，pp.11-21，1996
- 3) 一ノ瀬俊明，川原博満：G I Sによる下水熱源地域熱供給事業の地域別適性評価，土木学会論文集，No.643/VII-14，pp.29-36，2000
- 4) 河原能久，末次忠司，小林裕明，木内豪：水熱エネルギーを利用した地域冷暖房システムによる排熱・排ガスの削減効果の算定—2010年の東京都23区を例として—，第28回環境システム研究論文発表会講演集，pp.443-448，2000
- 5) 下田吉之，水野稔，亀谷茂樹，百瀬敏成，金地孝行：都市未利用エネルギーの活用可能性評価手法に関する研究（第1報），空調調和・衛生工学会論文集，No.61，pp.67-77，1996
- 6) 日本地域開発センター：下水熱利用システム計画マニュアル，pp.1-005，1998
- 7) 荒巻俊也，杉本留三，花木啓祐，松尾友矩：G I Sを用いた東京都区部における人工系水循環モデルによる雑用水供給システムの導入効果の検討，土木学会環境工学研究論文集，Vol.36，pp.341-352，1999
- 8) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説（前編），2001年版，pp.201，2001
- 9) 日本地域冷暖房協会：地域冷暖房技術手引書，2002
- 10) IBEC：コンパクトエネルギーシステムの開発，1985
- 11) 東京都環境保全局：地域冷暖房推進に関する指導要綱，1991
- 12) 荏原冷熱システム株式会社：エバラ直焚吸収冷温水機RED型シリーズ，2003
- 13) 荏原冷熱システム株式会社：エバラ直焚吸収冷温水機RCDシリーズ，2003
- 14) 古森秋文，塚田裕二：系統電力の環境性に関する考察，空気調和衛生工学会学術講演会論文集，2001
- 15) 東京ガス：東京ガス環境報告書2004，2004

EFFECTS OF ENVIRONMENTAL LOAD REDUCTION BY STRATEGIC IMPLEMENTATION OF DISTRICT HEATING AND COOLING SYSTEMS USING WASTEWATER HEAT

Takashi IKEGAMI, Toshiya ARAMAKI and Keisuke HANAKI

In order to accurately evaluate effectiveness of introducing District Heating and Cooling (DHC) systems using wastewater heat, simulation programs were developed. Their characteristics were as follows; the wastewater flow, temperature and thermal energy demand were calculated along with the main sewer using GIS building data; hourly temperature values of wastewater and efficiency loss in partial load of heat pumps were taken into account. Coefficients of performance of heat pumps were calculated for each condition. The optimal place to introduce the Sewage Waste Heat DHC system in Tokyo Shibaura Treatment Area was searched from the viewpoint of CO₂ emission reduction.