

### S - 3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案 手法の確立に関する総合研究プロジェクト

#### 3．都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

##### ( 6 ) 都市系バイオマスと未利用エネルギーの活用によるエネルギー削減効果

東京大学

大学院工学系研究科都市工学専攻 荒巻俊也・長谷川聖

#### [ 要旨 ]

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を導入した場合のそれぞれについて解析を行った。解析は250m角のメッシュ単位で行い、そのメッシュ内で地域冷暖房を行うものとした。今回のモデルはそれぞれ独自に開発したもので、特に下水熱を利用した地域冷暖房に必要な情報を与え、またその効果が評価できるように工夫して作成した。

シミュレーションの結果、1カ所の設置の場合には、対象地域1077のメッシュのうち、438メッシュはそのメッシュ内に下水幹線を有するが、それらの中で熱需要量が小さすぎたり、逆に下水流量が少なすぎるメッシュを除いた229に対してシミュレーションをすべて行った。その中では最大年間約4,500 t-CO<sub>2</sub>の二酸化炭素排出削減が可能なメッシュが存在した。また5カ所設置の場合には5メッシュ合計で二酸化炭素の排出量削減は9900 t-CO<sub>2</sub>であった。これらの下水熱利用地域冷暖房は通常のガスの地域冷暖房に比べて二酸化炭素排出量が約半分であった。なお、地域によっては夏季の冷房排熱が大きく利用後の下水の温度が40℃を超えてしまう場合もあり、このような場合は適用不可能と考えた。

これらの検討を通じて、実際の都市内での下水熱利用地域冷暖房による二酸化炭素排出削減効果を緻密なモデルに基づくシミュレーションによって評価することが可能になった。

#### [ キーワード ] 二酸化炭素、対策技術、未利用エネルギー、下水熱、地域冷暖房

#### 1．はじめに

未利用エネルギーは都市の中の貴重なエネルギー源である。本研究では、そのうち下水熱に注目した。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。このような大きな利点が

あることが、下水熱の利用に注目した理由である。

下水熱を都市内の熱需要密度に応じて導入するための検討は行われている<sup>1)</sup>が、下水熱の賦存量については、きわめて粗い評価しかなされていない<sup>2)</sup>。それは、下水量あたり 5 分の熱が回収され、その熱に相当するエネルギーが節約されるというものである。しかし、実際には 5 分の熱が回収されるとは限らず、またヒートポンプを介して冷暖房が行われるので、省エネルギー量の推計はさほど単純ではない。そこで、本研究ではこのような概略の推定を脱し妥当な計算ができるように緻密なシミュレーションのモデルを組み、さらに都市内の下水管の情報を元に現実的に節約できる電力とそれに相当する二酸化炭素量を算出した。

## 2. シミュレーションモデルの全体構成

### (1) モデルの概要と適用対象

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と下水幹線の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、DHC（地域冷暖房システム）が実際に導入される可能性の高い芝浦処理区を対象地域とした。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、平面直角座標系第IX系(東京測地系)での座標を基点とする、250 m角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、下水幹線上のメッシュ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 $N C_M$ 通りある。ただし、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考慮するため、さらに場合の数は増加する。これらすべてを自動的に選択させ、すべての場合においてシミュレーションを実行させた。

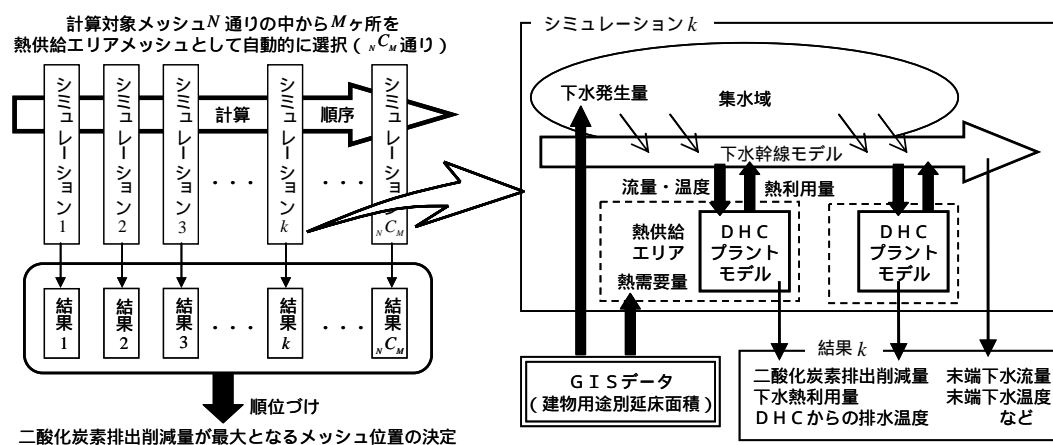


図-1 シミュレーションモデルの全体構成

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、二酸化炭素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．開発したシミュレーションモデルの内容

#### (1) 下水幹線シミュレーションモデル

##### モデルの構成

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<sup>3)</sup>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を抽出し、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、本研究の対象が污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污水幹線データを用いた。これを図-3に示す。

GISデータとマンホール位置データから、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。本モデルは、以下の計算部分からなっている。

##### 下水流量の計算

建物用途ごとに時刻別の下水発生原単位を設定し、建物情報に基づく用途別床面積を乗じることによって各メッシュからの下水発生量を求めた。一方、下水道幹線ネットワークデータをもとに流入マンホールを決定し、さらに下水管内の流下時間も考慮して幹線の各地点での下水流量を推定した。

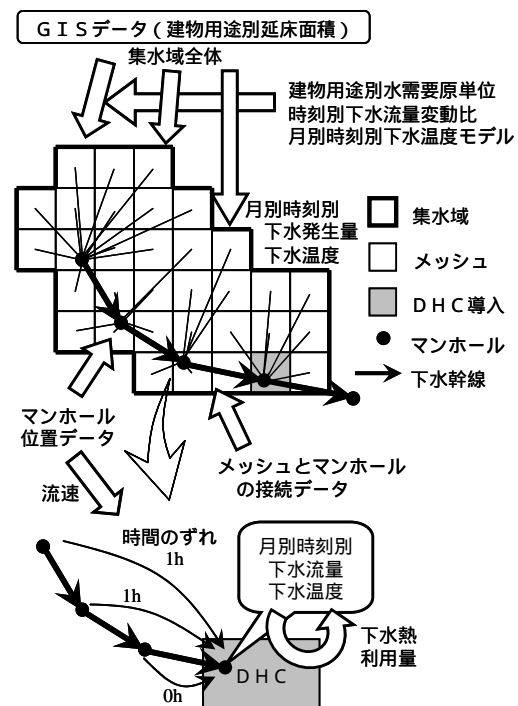


図-2 下水幹線シミュレーションモデルの概要

## 下水温度の計算

発生下水の温度は後楽一丁目の下水熱利用 D H C のデータに基づいて推定した。一方、下水熱利用の D H C 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、D H C の下流側の下水温度は変化する。そこで、D H C 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、D H C 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、D H C 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。

### 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）を例に、下水流量の計算結果を示す。高段幹線系の位置とその集水域メッシュを図-4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-5に示す。住宅系の下水発生量ピークは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。



図-3 利用した東京23区の下水幹線ネットワークデータ

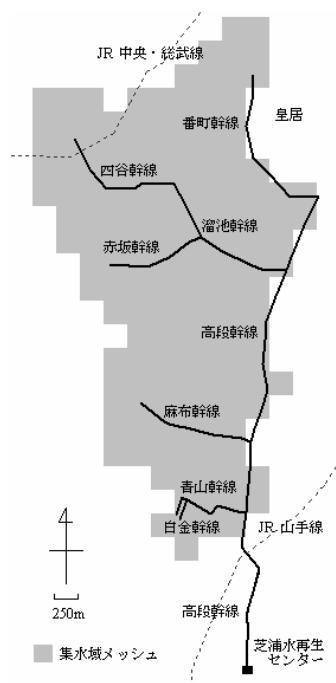


図-4 高段幹線系の幹線と集水域メッシュ

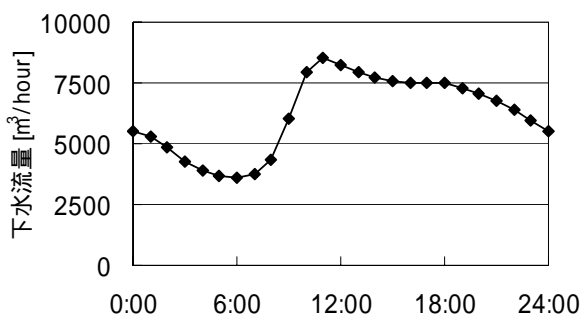


図-5 高段幹線末端マンホールの流量の計算結果

## (2) 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-6に示す。

本モデルは、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、二酸化炭素排出量などを算出するモデルである。DHC プラントシミュレーションモデルの詳細については割愛する。

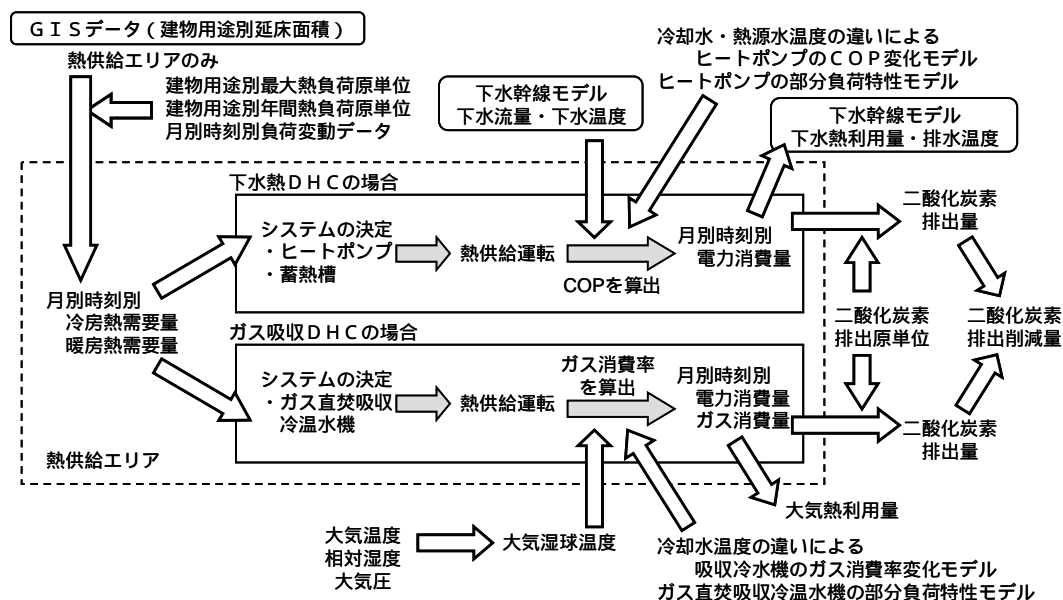


図-6 DHC プラントシミュレーションモデルの概要

本モデルによって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、二酸化炭素排出原単位を用いて年間の二酸化炭素排出量を計算した。電力の二酸化炭素排出原単位には、東京電力(株)算出<sup>4)</sup>の時刻別二酸化炭素排出原単位を用いた。これを図-7に示す。

もっとも一般的な地域冷暖房システムであるガス吸収DHCの場合の二酸化炭素排出量から下水熱DHCの場合の排出量を引いたものを二酸化炭素削減量とした。

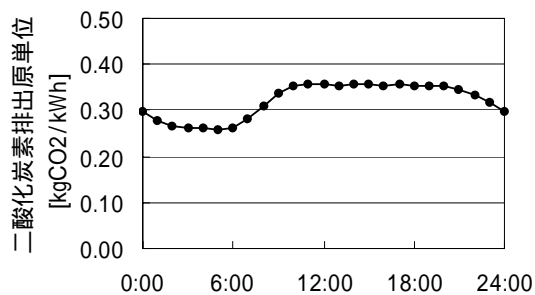


図-7 電力の二酸化炭素排出原単位

## 4. 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

#### 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。このうち、熱需要量が小さすぎるため、システムの最大ヒートポンプ容量が500USRT未満の場合は、適当なシステムを用意できずDHCには適さないとした。また、熱需要量に対して下水の流量がが少ない場合は、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5℃以上40℃

以下というヒートポンプの温度範囲条件から外れてしまう。この場合も D H C には適さないとした。これらの不適なメッシュを除外した229メッシュに複数の幹線が同一メッシュを通過していることを考慮した、合計323通りのメッシュを計算対象とした。これを表-1に示す。

#### 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-2に示す。メッシュの位置を図-8に示す。各メッシュの建物用途としては、AからGまでとI、J、M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 D H C 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排出量が中段幹線単独利用と比較して増加していた。これは下水の取水ポンプの容量が大きくなったためのポンプ動力の増加によ

表-1 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 D H C に不適 | 138  |
| 下水流量が少なすぎるため D H C に不適 | 71   |
| 計算対象メッシュ               | 229  |

表-2 芝浦処理区内に D H C 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<br>*1 | 幹線名    | 熱需要量<br>( 熱供給量 ) |               | 二酸化炭素<br>排出削減       |                 | 排水<br>最高 | 末端<br>最低 | 熱利用量          |               |                           |
|----|------------|--------|------------------|---------------|---------------------|-----------------|----------|----------|---------------|---------------|---------------------------|
|    |            |        | 冷房<br>[TJ/yr]    | 暖房<br>[TJ/yr] | 総量<br>[tCO2/yr<br>] | 割合<br>*3<br>[%] |          |          | 下水            |               | 大気<br>*2<br>放散<br>[TJ/yr] |
|    |            |        |                  |               |                     |                 |          |          | 放出<br>[TJ/yr] | 取得<br>[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 D H C のクーリングタワーからの放散熱量

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

るものであることもわかった。下水道の排除基準が温度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-2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24.7 TJ、下水への熱の放出量が105.7 TJ、ガス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。

またこの表-2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った結果であろう。そのため、メッシュKでのDHC導入による幹線末端の下水最低温度は10 と非常に低くなっている。

## (2) 幹線上に複数のDHCを導入した場合の例

### 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-3に示す。

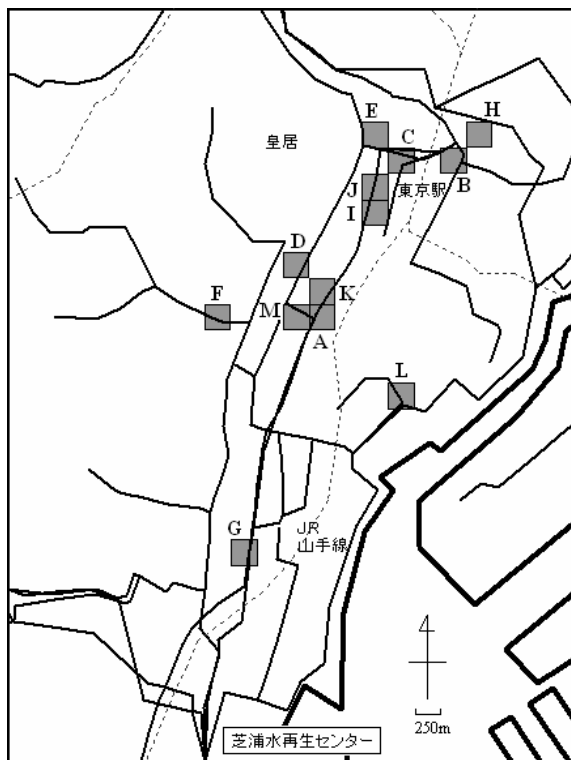


図-8 CO<sub>2</sub>排出削減量上位メッシュの位置  
(細実線：下水幹線、点線：JR線)

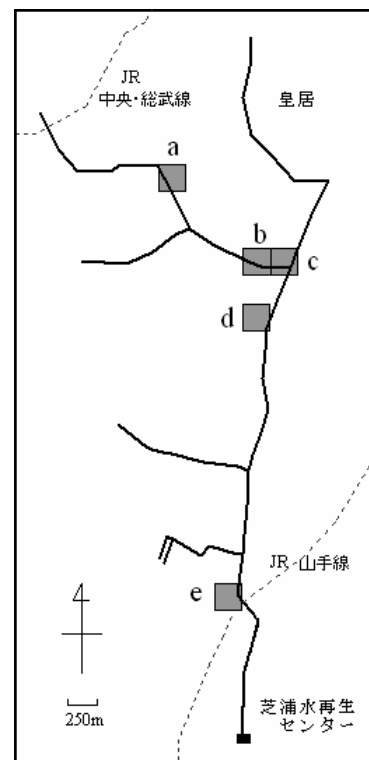


図-9 二酸化炭素排出削減量が最大となる5ヶ所の  
DHC導入メッシュ位置



## 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、D H C を5ヶ所導入した場合に、CO<sub>2</sub> 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。

表-3 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D H C に不適   | 17  |
| 下水流量が少なすぎるためD H C 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 |     |

表-4 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D H C 導入メッシュでの計算結果

| メ<br>ッ<br>シ<br>ユ<br>*1 | 幹線名  | 熱需要量<br>( 熱供給量 ) |               | 二酸化炭素<br>排出削減       |             | 排水<br>最高<br>温度<br>[    ] | 末端<br>最低<br>温度<br>[    ] | 熱利用量              |                   |                       |
|------------------------|------|------------------|---------------|---------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
|                        |      | 冷房<br>[TJ/yr]    | 暖房<br>[TJ/yr] | 総量<br>[tCO2/<br>yr] | 割合*3<br>[%] |                          |                          | 下水                |                   | 大気*2<br>放散<br>[TJ/yr] |
|                        |      |                  |               |                     |             |                          |                          | 放出<br>[TJ/yr<br>] | 取得<br>[TJ/yr<br>] |                       |
| 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        | -                        | -                        | 199.6<br>4        | 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D H C のクーリングタワーからの放散熱

## 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、二酸化炭素排出削減量の合計が最も多かった5ヶ所のD H C の位置を図-9に、その各D H C での計算結果を表-4に示す。

1本の幹線に複数ヶ所下水熱利用D H C を導入すると、下流側のD H C では上流側のD H C 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-10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。D H C 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多少は温度が回復するが、8月ピーク時の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-2のメッシュFと表-4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D H C を導入したFの場合は、二酸化炭素の排出削減量は年間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、ヒートポンプの効率の低下により、約0.5%二酸化炭素排出削減量が減少していることが確認できた。

二酸化炭素排出削減量は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m<sup>3</sup>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。



## 5. 本研究により得られた成果

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。また、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、二酸化炭素排出量やコストについてライフサイクル的評価を行えるよう改良が必要であるが、このようなシミュレーションモデルを用いた解析により、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。

シミュレーションの結果、1カ所の設置の場合には最大年間約4,500 t-CO<sub>2</sub>の二酸化炭素排出削減が可能なメッシュが存在した。また5カ所設置の場合には5メッシュ合計で二酸化炭素の排出量削減は9900 t-CO<sub>2</sub>であった。

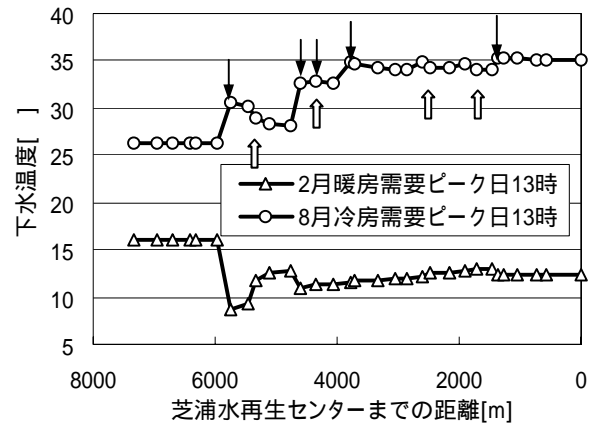


図-10 高段幹線系においてDHCを5ヶ所導入した場合の流下に伴う下水温度の変化

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

## 6. 引用文献

- 1) 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GISの開発, 土木学会論文集, No.552/VII-1, pp.11-21, 1996
- 2) 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
- 3) 荒巻俊也, 杉本留三, 花木啓祐, 松尾友矩: GIS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
- 4) 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

## 7. 国際共同研究等の状況

該当なし

## 8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

なし

<その他誌上発表（査読なし）>

なし

（ 2 ）口頭発表（学会）

Takashi Ikegami, Toshiya Aramaki, Keisuke Hanaki, ISIE 2005 Conference, International Society for Industrial Ecology ( 2005 ) “Evaluation of Effectiveness of District Heating and Cooling Systems with Recovering Heat from Wastewater”（アブストラクト提出・受理済み）

（ 3 ）出願特許

なし

（ 4 ）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

（ 5 ）マスコミ等への公表・報道等

なし

9．成果の政策的な寄与・貢献について

本研究の成果は、現実には下水熱利用によって二酸化炭素削減を図る際の事前調査の有力な手法になるもので、今後その精度を上げるとともに、実際の適用に向けて努力していく予定である。