

東京都区部における下水熱利用地域冷暖房システム導入による 二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計

(独) 国立環境研究所 正会員 ○池上 貴志
東洋大学 正会員 荒巻 俊也
東京大学大学院 正会員 花木 啓祐

1. 研究の目的

本研究では、東京都区部に下水熱を利用した地域冷暖房システムを導入した場合の CO_2 排出削減効果の推計を行った。これまでの下水熱利用効果の評価では、下水流量全体の 5°C 分の熱エネルギーを取得可能として算出している場合が多いが、この 5°C という値には理論的な根拠はない。またヒートポンプの成績係数(COP)は時々刻々と変化するが、供給可能熱量の計算時に用いられる COP は、時間解像度が1年や1ヶ月などと解析精度が低いものが多い。本研究では、これらの問題を踏まえ、より厳密に下水熱利用効果を評価することを目的として下水幹線モデルと地域冷暖房(DHC)モデルの2つのモデルを開発した^{1),2)}。建物用途別延床面積や下水幹線位置の地理情報システム(GIS)データを利用した下水熱と熱需要量との空間的整合性の解析に加え、熱源水・冷却水温度・負荷率によって変化する熱源機器の性能データや、月別時刻別の下水流量・下水温度・熱需要量などを考慮した時間的整合性の解析も合わせて行い、精度の高い計算が可能となった。本稿では、2つのモデルの概要と、東京都区部を対象に本モデルを適用した結果について述べる。

2. シミュレーションモデルの概要と解析方法

下水幹線モデルとDHCモデルは東京都区部を対象としたものであり、250m四方のメッシュ毎の建物用途別延床面積と下水幹線のマンホール位置座標データの2つのGISデータを利用して、晴天時を対象とした月別(12ヶ月)時刻別(24時間)のシミュレーションを行うことができる。

下水幹線モデルの全体像を図-1に示す²⁾。このモデルでは、月別時刻別の下水流量・下水温度を、下水幹線上の各地点において計算することができる。各下水幹線の流域図を基に集水域を決定した点や、流下に伴う時間のずれを考慮した点、1本の幹線上に複数のDHCを導入する場合に上流側での熱利用による下水温度変化の影響を下流側DHCで考慮できる点が特徴である。

図-2にDHCモデルの全体像を示す²⁾。DHCモデルは、下水温度や負荷率によって変化する熱源機器の性能データや、熱供給エリアの時刻別の熱需要量のデータを用いて、下水の取水、熱の取得から、熱源機器の運転、熱の供給までを月別時刻別にシミュレーションするモデルである。このモデルでは、下水熱源HPによるDHC(以下、下水熱DHC)と近年採用事例の多いガス直焚吸収冷温水機によるDHC(以下、ガス吸収DHC)の2つのシステムについて運転シミュレーションを行い、それぞれのDHCにおける月別時刻別の電力消費量、ガス消費量、下水熱利用量などを計算することができる。

本研究では、1つのDHCによる熱供給エリアを、延床面積データと同じ250m四方のメッシュ1つとし、下水幹線が通過し、DHCを導入するのに適した熱需要密度が存在するメッシュに限定した。DHCを導入するメ

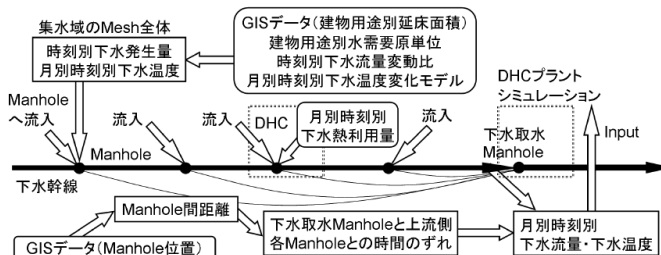


図-1 下水幹線シミュレーションモデルの全体像

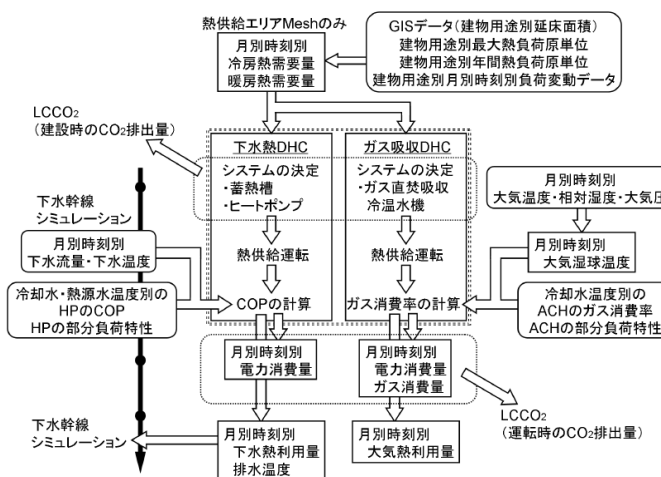


図-2 地域冷暖房プラントシミュレーションモデルの全体像

キーワード 地域冷暖房, 下水熱, 未利用エネルギー, ライフサイクル分析, 地理情報システム, 東京連絡先

(独) 国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化対策評価研究室

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2 TEL: 029-850-2227 E-mail: ikegami.takashi@nies.go.jp

ッシュにおける月別時刻別の下水流量・温度を下水幹線モデルで計算し、それを用いて DHC モデルで運転シミュレーションを行って、下水熱 DHC およびガス吸収 DHC における電力・ガスの消費量を計算した。運転時の電力・ガスの消費量から運転時の CO₂ 排出量やコストを算出し、さらに、DHC システムの導入時やメンテナンス時、解体時などの CO₂ 排出量およびコストをそれぞれ算出して、ライフサイクル的な評価を行った²⁾。ガス吸収 DHC と下水熱 DHC の LCCO₂ 排出量の差をもって下水熱利用による LCCO₂ 排出削減量とし、これが最大となる最適な DHC 導入メッシュの組合せを探した。

3. 東京都区部全体を対象とした計算結果

東京都区部全体を対象として、処理区毎に下水熱利用による LCCO₂ 排出削減量が最大となる最適な DHC 導入メッシュを分岐限定法を用いて決定した。ただし、下水道法により下水道に受け入れる水の温度は 40℃未満と定められており、また、下水温度が低くなりすぎると窒素除去を始めとした下水処理に悪影響を与えてしまうことから、「DHC からの排水最高温度は 40℃未満」、「処理場に流入する下水温度は 10℃以上」という制約条件を設けて計算を行った。

表-1 に処理区毎の最適な導入メッシュの組における計算結果を示す。東京都区部の中心部に位置する熱需要密度の特に高い芝浦処理区では、59 ケ所に下水熱利用 DHC を導入することにより、ガス吸収 DHC を導入した場合と比較して 49,913[tonCO₂/yr]の CO₂ 排出量が削減されることが分かった。これは芝浦処理区内の民生部門の CO₂ 排出量の約 0.70%に相当する量であり、またそのときの CO₂ 排出削減コストは 9.5[k¥/tonCO₂]と他の処理区の結果と比較して安かった。下水流量あたりの LCCO₂ 排出削減量は 1.87[tonCO₂/10⁴m³]で、熱需要密度が低い他の処理区よりも高い値となっていた。

東京都区部全体では 137,389[tonCO₂/yr]の CO₂ 排出削

減ポテンシャルを有しており、排出削減コストは平均すると 16.8[k¥/tonCO₂]、下水流量あたりの LCCO₂ 排出削減量は 0.87[tonCO₂/10⁴m³]であった。

1 年の間には下水熱を非常に多く使っている時間帯や全く使わない時間帯が存在しているが、年間で最も下水熱を利用している芝浦処理区の結果でも、平均すると熱の取得による下水温度低下は約 0.52℃、熱の放出による下水温度上昇は約 0.88℃、合わせても 1.4℃分の熱しか利用していない。下水熱の利用温度差を 5℃として算出したこれまでの下水熱利用ポテンシャルは過大評価されている可能性があると言える。

4. まとめ

下水幹線モデルおよび地域冷暖房モデルを開発し、CO₂ 排出量とコストについてのライフサイクルインベントリ分析を導入することで、下水熱利用効果をこれまでよりも厳密に評価することができた。これらのモデルを東京都区部全域に適用して、下水熱利用地域冷暖房の導入による CO₂ 排出削減ポテンシャルや経済性についての定量的な解析を行った。

DHC からの排水温度 40℃未満、幹線系末端での下水温度 10℃以上という制約条件の下での結果では、東京都区部全体で 320 ケ所の下水熱利用 DHC を導入することで約 14 万[tonCO₂/yr]（民生部門の排出量の 0.54%）の削減ポテンシャルを有していることが分かった。

謝辞：本研究は環境省地球環境研究総合推進費 S-3-3 の一部として実施されたものである。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 池上貴志, 荒巻俊也, 花木啓祐：「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」, 環境システム研究, Vol.33, pp.343-354, 2005.
- 2) 池上貴志, 荒巻俊也, 花木啓祐：「ライフサイクルインベントリ分析による下水熱利用地域冷暖房システム導入効果の解析」, 土木学会論文集, Vol.64, No.2, 2008, 掲載予定.

表-1 処理区別の CO₂ 排出削減量と削減率

	導入 DHC 数	LCCO ₂ 排出削減量 [tonCO ₂ /yr]	民生部門 の CO ₂ 排出削減率	CO ₂ 排出 削減コスト [k¥/tonCO ₂]	年間平均 下水温度変化[℃]		下水流量あたり LCCO ₂ 排出削減量 [tonCO ₂ /10 ⁴ m ³]
					低下	上昇	
芝浦処理区	59	49913	0.70%	9.54	-0.52	0.88	1.867
三河島処理区	46	19964	0.69%	16.89	-0.34	0.45	1.026
砂町処理区	37	9772	0.49%	27.17	-0.31	0.28	0.771
小台処理区	10	3111	0.42%	20.36	-0.22	0.24	0.593
落合処理区	24	10853	0.56%	13.47	-0.29	0.33	0.815
森ヶ崎処理区	79	27568	0.58%	20.36	-0.25	0.40	0.799
小菅処理区	2	306	0.06%	39.89	-0.03	0.02	0.076
葛西処理区	27	7502	0.53%	26.64	-0.28	0.31	0.739
新河岸処理区	31	7261	0.24%	30.13	-0.11	0.15	0.308
中川処理区	5	1140	0.12%	23.85	-0.06	0.05	0.152
合計	320	137389	0.54%	16.80	-0.28	0.40	0.874

※削減率は、各処理区内全域の民生部門の CO₂ 排出量に対する LCCO₂ 排出削減量の割合。