

■ 研究論文 ■

土壌熱源型ヒートポンプ式地域冷暖房システムの西新宿地区における フィジビリティと夏季廃熱削減効果

Feasibility of a Regional-Scale Heat Supply and Air-Conditioning System Using a Ground Source Heat Pump around the Nishi-Shinjuku Area and Its Effect on Reducing Anthropogenic Heat in Summer

玄地 裕*・近藤 裕昭**・亀卦川 幸浩***・小宮山 宏****

Yutaka Genchi Hiroaki Kondo Yukihiro Kikegawa Hiroshi Komiyama

(原稿受付日1998年11月16日, 受理日1999年4月14日)

Abstract

We present a feasibility study and assessment of the potential exhaust heat reduction resulting from the establishment of a regional air conditioning system around the Nishi-Shinjuku area, one of the largest consumption areas in Tokyo. The system uses a ground source heat pump which suppresses emission of exhaust anthropogenic heat and thereby acts as a possible countermeasure against the heat island effect.

The required underground heat exchanger length was estimated by a one-dimensional heat conduction equation, assuming a generally used heat pump process temperature level. We concluded that even during the summer period where the largest daily heat consumption occurred, a ground source heat pump system with a 3m pitch, 234m long underground heat exchanger installed over only 0.21km² of the Nishi-Shinjuku area could effectively sequester most of the generated anthropogenic heat. The total reduction and distribution of anthropogenic heat in the area due to the introduction of this system were estimated for August, the period when the heat island effect in the most serious in Tokyo, assuming that each building has its own independent cooling system. Under these conditions without the introduction of the ground source heat pump system, the daily averaged anthropogenic heat emission in the Nishi-Shinjuku area was 76.8W/m² and reached 140W/m² from 09:00 to 18:00.

The anthropogenic heat emission was reduced to 11.7W/m² after the introduction of the proposed system. This result indicates that, in daytime, more than 100W/m² of the sensible heat flux from anthropogenic heat could be reduced by using the proposed system.

1. 緒言

1997年京都で行われた気候変動枠組み条約第3回締約国会議(COP3)において,日本は国際公約としてCO₂排出量を1990年レベルに対して6%削減することで合意した。地球温暖化ガス排出削減は,地球規模で全人類が協力して解決すべき課題としてますます対策が急がれている。日本における温暖化ガス排出削減ポテンシャルは,技術の熱力学的限界を考慮すると冷暖房需要(主に都市部),廃棄物,リサイクル,植林といった技術と社会システムに関連する部分が大いこ

とが示されている¹⁾。特に,建物の断熱が向上すれば熱負荷が減ること,冷房に必要な最小エネルギーは逆カルノーサイクルの効率と考えると良いことから現状の1/10程度であることを考慮すると,冷暖房需要の削減ポテンシャルは鉄鋼,セメント,石油化学産業と比べても決して小さくない。毎年省エネ型エアコンが発売されるにもかかわらず,夏季最大電力消費量は増加の一途をたどっている²⁾ことが端的に示すように,個別の空気熱源型エアコンの省エネルギー化だけでは省エネルギーにはなっていないのが現状である。これは,都市温暖化(ヒートアイランド)によって生じる熱負荷の増大と冷暖房機器の販売台数の増加が原因であらと推定される。個別の対策だけではなくヒートアイランド対策も含めた総合的都市冷暖房省エネルギーシステムの開発が必要なのである。

本研究ではこれらの背景から,冷暖房需要が地域としては都市最大である西新宿高層ビル街に,大都市に

* 通商産業省工業技術院資源環境技術総合研究所 エネルギー資源部研究員

** " " " " 環境影響予測部大気環境予測研究室室長

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-3

*** 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)研究員

〒170-0013 東京都豊島区東池袋3-1-1 サンシャイン60

**** 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻教授

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

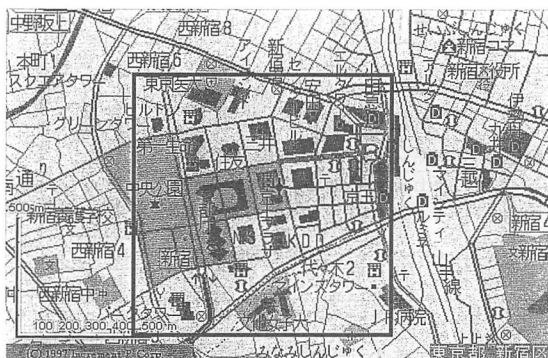


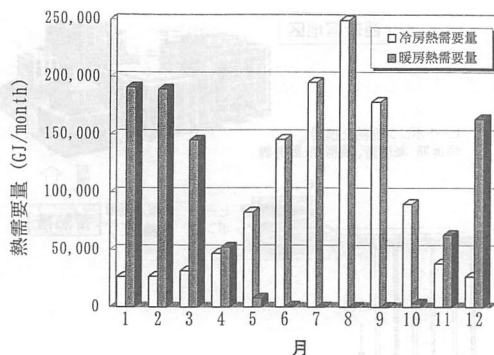
図1 ケーススタディーエリアの選定範囲

おけるヒートアイランド対策として有望である³⁾人工
 廃熱削減型の土壤熱源型ヒートポンプを用いた地域冷
 暖房システムを適用した場合の設備規模を見積もるこ
 とによって土壤熱源型システムのフィジビリティと
 その廃熱削減効果について検討を行った。

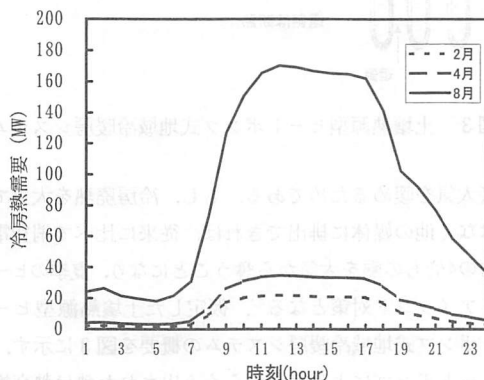
2. 冷暖房需要の推計

西新宿高層街区1km四方(図1)を対象として地
 域冷暖房需要を推計した。評価対象とする土壤熱源型
 の仮想的な地域熱供給システムが供給する冷温熱の利
 用用途は冷房、暖房、給湯用とし、需要の推計は熱負
 荷原単位法により行った。年間熱負荷原単位とその月
 別・時刻別の変動係数は、建物用途別調査結果⁴⁾より
 得られた値を採用した。エリア内の建物床面積は、土
 地利用現況調査メッシュデータ⁵⁾より抽出された床面
 積を用いた。熱需要の最大値(最大熱負荷)に関して
 も年間熱需要と同様の原単位法⁶⁾により推計を行っ
 た。その際には、原単位として年間熱負荷原単位のかわり
 に最大熱負荷原単位を用いた。

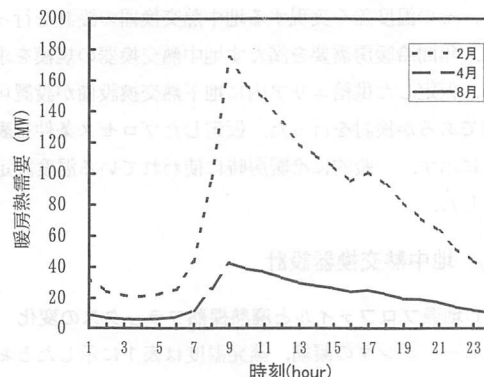
月別・時刻別の冷暖房熱需要推定結果を図2に示す。
 5月から10月までは冷房需要が暖房需要を上回っており、
 逆に12月から3月までは暖房需要が冷房需要を大幅に
 上回っていた。4月と11月はほぼ冷暖房需要が拮抗
 していた。西新宿地区の最大熱需要は冷房需要とし
 ては平均8,030GJ/day(平均93MW相当, 8月),
 暖房需要としては平均6,756GJ/day(平均78.2MW
 相当, 2月)であった。最大需要は冷房負荷が暖房負
 荷を上回り、オフィスビル街の特徴が現れていた。年
 間全冷房需要は 1.05×10^6 GJであった。この推計結果
 から、冷房期間は5月1日から10月31日、暖房期間は
 12月1日から3月31日、4月と11月は地下熱交換器を
 利用しないと仮定して設備規模の計算を行った。



(a)西新宿高層街区1km四方における月別熱需要量



(b)西新宿高層街区における時刻別冷房熱負荷
 最大需要: 170.2MW (8月12時)



(c)西新宿高層街区における時刻別暖房熱負荷
 最大需要: 175.2MW (2月9時)

図2

3. 仮想システムの概要

一般のヒートポンプ冷房機では、消費電力とくみ出
 す熱量の比(成績係数; COP)は約3である⁷⁾。つま
 り、室外機は消費電力の4倍の熱を大気に排出してい
 る。ヒートアイランドの原因の一つは、冷房廃熱が直

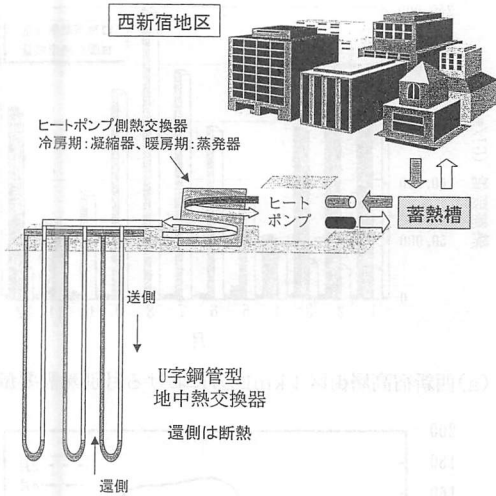


図3 土壤熱源型ヒートポンプ式地域冷暖房システム

接大気を暖めるためである。もし、冷房廃熱を大気ではなく他の媒体に排出できれば、従来に比べて消費電力の4倍もの熱を大気から奪うことになり、夏季のヒートアイランド対策となる⁹⁾。仮定した土壤熱源型ヒートポンプ式地域冷暖房システムの概要を図3に示す。ヒートポンプにより室内からくみ出された熱は熱交換器でブラインに伝えられ、地中熱交換器から地中へ廃熱される。ここではヒートポンプのプロセスを定め、その温度差を実現する地中熱交換器の設計を行った。年間冷暖房需要を満たす地中熱交換器の規模を求め、仮定した供給エリア内に地下熱交換設備が設置可能であるか検討を行った。仮定したプロセス条件を表1に示す。一般的に冷暖房時に使われている温度設定とした。

4. 地中熱交換器設計

4.1 地温プロファイルと廃熱採熱フラックスの変化

ヒートポンプの凝縮、蒸発温度は表1に示したとおりである。なお、ヒートポンプシステムは地上に別の蓄熱槽をもち、常に全負荷運転していると仮定した。地中熱交換器の熱交換量、熱フラックスを見積もるためには、本来、鉛直方向と管半径方向の円柱座標系を考慮した2次元非定常熱伝導方程式を解くべきであるが、ここでは鉛直方向の熱拡散は管半径方向と比較して温度差が小さいため無視して、図4に示すような系に対して1次元円柱座標熱伝導方程式を数値計算によって解き、熱交換器周りの温度分布の経年変化を求め、熱フラックスと熱交換量を求めた。解くべき熱伝導方

表1 仮定したヒートポンププロセス

項目		温度	
ヒートポンプ	蒸発	0℃→5℃	
	冷媒温度	凝縮 42℃→37℃	
熱交換器	温度差	5℃	
地中熱交換器	冷房時	入口	37℃
		出口	32℃
	暖房時	入口	5℃
		出口	10℃

表2 計算に用いた土壌の物性値

土壌物性	値
熱拡散係数 [m ² /s]	3.7×10 ⁻⁷
熱伝導 [W/mK]	1.0

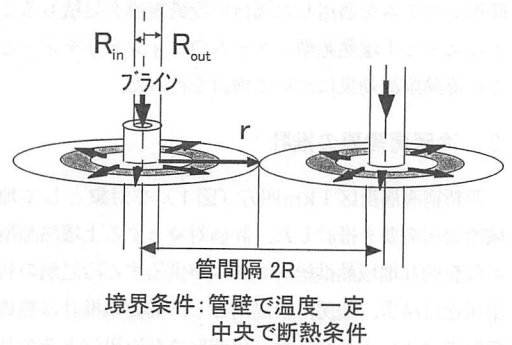


図4 計算条件

程式は

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

となる。ここで、 T [K] は地温、 K [m²/s] は熱拡散係数、 r [m] は管中央からの距離である。 $r = R_{in}$ (: 1.25×10⁻² m) が管の内壁位置、 $r = R_{out}$ (: 1.60×10⁻² m) が管の外壁位置、管と管の間隔を $2R$ [m] とした。初期条件は、測定値⁸⁾をもとに地温18℃一定とした。境界条件は、 $r = R$ において断熱条件、 $r = R_{out}$ で運転時には温度一定、休止時には断熱条件とした。一定であると仮定した $r = R_{out}$ における熱交換器還側壁温度は、冷房時には最も低い32℃、暖房時には最も高い還側のブライン温度10℃(冷房期間、暖房期間でそれぞれ一定温度)とした。計算に用いた土壌の物性値を表2に示す。文献値から得られた平均的な値を用いた。管径は、管径と放熱、採熱量の関係を調べた文献値⁹⁾を参考にして内径25mm、外径32mm、U字管鋼管型(VP規格品)とした。これらの条件の

下で、時間刻み30秒として5月1日の冷房開始から10年運転させた場合の計算を行った。

上記のシミュレーションによって計算した地下熱交換器管間隔の違いによる地温プロファイルの初年度の变化を図5に示す。管間隔 R が2mのときには、熱交換器周りの蓄熱体積が十分取れないため、冷房期間中に土壌平均温度が熱交換器温度の 32°C 付近まで上昇した。 R が3, 4, 5, 6mと広がるに連れて周辺土壌の年平均温度上昇量は小さくなった。

R_{out} での温度勾配と熱伝導率から求めた廃熱、採熱時熱フラックスの経年変化を図6に示す。 R が2mのときには、冷房期間初期には $370\text{W}/\text{m}^2$ もの熱フラックスがあるが、終了時にほぼ熱フラックスがゼロとなり、冷房能力が不足した。反対に R が広い場合には冷房期間初期の熱フラックスは $200\text{W}/\text{m}^2$ と2mの場合の半分程度であるが、終了時にも $100\text{W}/\text{m}^2$ 以上の熱フラックスが確保できるために安定した供給が可能であった。熱フラックスは、管間隔が3m以下では1サ

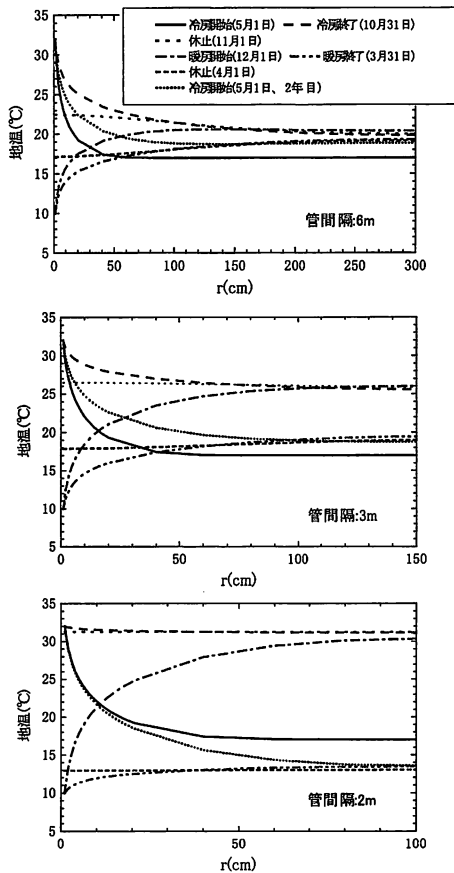


図5 管間隔が異なる場合の地温分布年変化(1年間)

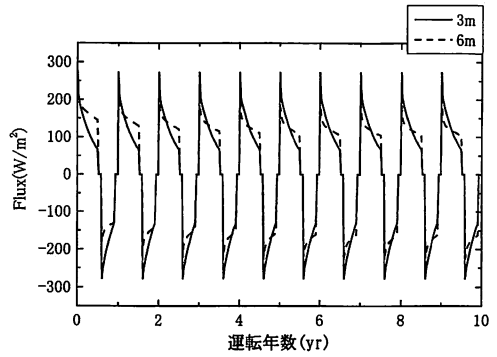
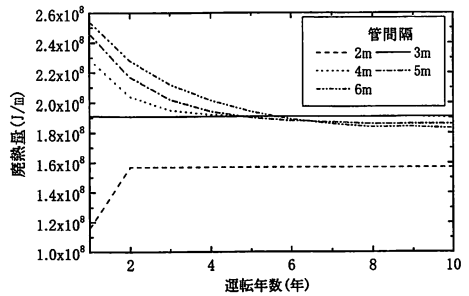


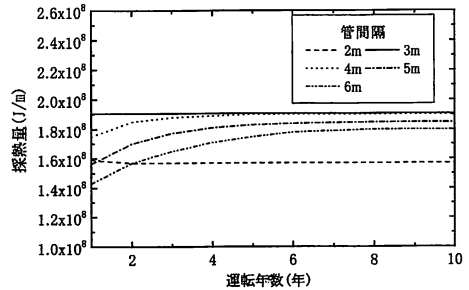
図6 管間隔の違いによる廃熱採熱時熱フラックスの経年変化



冷房期間単位長さあたりの年間廃熱量の経年変化

管壁温度: 32°C , 初期地温: 18°C

冷房: 5-10月, 暖房: 12-3月, 休止: 4, 11月



暖房期間単位長さあたりの年間廃熱量の経年変化

管壁温度: 10°C , 初期地温: 18°C

冷房: 5-10月, 暖房: 12-3月, 休止: 4, 11月

図7 単位熱交換器長さあたりの年間廃熱、採熱量の経年変化

イクルで周期定常的变化を示したが、4m以上では1サイクルでは地温が周期定常的变化にはならず、6mで6年程度の期間を経て周期定常的变化を示すようになった。これは、管の廃熱温度、採熱温度、廃熱期間、採熱期間、初期地温、管間隔が決まると、何年か運転するうちに平均的な地温上昇(または下降)が起こり、地温熱交換器温度の温度差が廃熱、採熱量で均衡し、

年平均地温が定常となることを意味している。

年間廃熱、採熱量の経年変化を図7に示す。管間隔が4m以上では確かに初期には管間隔が短い3mよりも廃熱量が大きいが、定常時には3mの廃熱量が大きかった。これは、冷房期間と地中熱拡散係数から考えられるおよその拡散距離が2.3mであるため、3mの場合には1サイクルで断熱境界まで熱が拡散できるのに対して、6mの場合には1サイクルでは断熱境界まで熱が拡散できないため採熱時にまだ断熱境界に向かって拡散している熱が回収されないためであると考えられた。このように、冷房期間終了時のフラックスと年間の熱回収量は比例するわけではなく、必要なフラックスを確保できる最短管間隔が望ましかった。

4.2 一本当たりの必要管長

冷房期間終了時点、つまり冷房期間で最も熱フラックスが小さい条件でブライン往還温度差5℃となる管長 l [m] を見積もった。ただし、管長 l [m] の熱交換器全域で熱フラックスは一定であるとした。管長 l [m] の見積もりは以下の式を用いた。

$$C_p \rho \pi R_{in}^2 u \Delta T = 2\pi R_{out} l k \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_{out}} \quad (2)$$

$C_p \rho$ [J/(m³・K)]: ブライン熱容量, u [m/s]: ブライン管内鉛直線流速, l [m]: 管長, k [W/(m・K)]: 土壌熱伝導率, ΔT [K]: ブライン往還温度差, である。 u [m/s] は管内伝熱を無視できるようにレイノルズ数が遷移領域から乱流領域になる0.1m/sとした。ブラインから管、管の材質中の伝熱は、土中の伝熱に比べて速いため、ここでは無視した。ブラインが入口と出口5℃の温度差によって熱交換器一本あたりから放出する熱量は約1.5kWである。この熱量を冷房期間終了時の廃熱フラックスでも達成できるように管長を設定した。冷房開始時の熱フラックスは例えば管間隔3mのとき約270W/m²であるため、1本あたりの交換熱量は約6kWにも達する。このように、熱交換器規模は冷暖房初期には過大設備の見積もりとなっており、実際の運転を想定した場合には使用熱交

換器本数を減らすなどの操作が必要となる。また、前提条件として、地下水の流れが熱拡散に比べて十分遅く、熱は熱交換器周辺に蓄熱されると考えた。地下水の流れが熱拡散に比べて十分速い場合には蓄熱が起これないため、地温は年間を通じて一定であると考えて良い。その場合、熱交換器と地温の温度差を大きく保つことが可能なために、設備規模は試算よりも小さくなる。また、熱交換器最深部以深の地温差(32℃と18℃)による鉛直熱フラックスが、熱交換器入口から最深部にかけての地温の上下温度差(5℃)による鉛直熱フラックスよりも大きいため、熱は熱交換器以深へと散逸することが予測される。そのため、計算よりも管壁と周囲地温の温度差は大きくなると考えられる。以上のことから、本計算から求められた地中熱交換器の設備規模は、過大評価であり、最大規模の見積りであると考えられた。

求めた必要管長の管間隔による違いを表3に示す。フラックスがゼロに近い2mでは700m以上の管長が必要になるが、それ以上の管間隔では3mで230m、6mでも150m程度の管長となった。これは、十分実用的な長さであった。

4.3 地中熱交換器設置面積の見積もり

$r=R_{out}$ における熱フラックスを(3)式のように年間冷房期間について積分して単位長さあたりの年間放熱量 H_{out} [J/m] を計算した。年間採熱量 H_m [J/m] も同様に計算した。

$$H_{out} = \int_{5月}^{10月} k \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_{out}} dt \quad (3)$$

求めた H_{out} , H_m と管長 l から地中熱交換器一本あたりの採熱、放熱量を計算した。地域から地中に排出される年間廃熱量は、年間冷房需要の推計 1.05×10^6 GJ と COP から算出した。ヒートポンプは、可逆過程という極限を考えると逆カルノーサイクルによって運転されていると近似できる。低温熱源と高温熱源の温度を T_L , T_H とすれば極限において COP_{ideal} は次のように表される。

表3 地中熱交換器規模の見積り (冷房期間, COP=3.2をもとに計算)

設定	管間隔	必要管長 [m]	一本あたりの廃熱量 [J/本]	設備面積 [km ²]
年間冷房廃熱量 1.38×10 ¹⁵ J	2m	7.4×10 ²	1.2×10 ¹¹	0.052
	3m	2.3×10 ²	4.5×10 ¹⁰	0.21
	4m	1.7×10 ²	3.3×10 ¹⁰	0.53
	5m	1.6×10 ²	2.9×10 ¹⁰	0.93
	6m	1.5×10 ²	2.8×10 ¹⁰	1.4

$$\text{COP}_{ideal} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{COP}_{real} &= \eta \frac{T_L}{T_H - T_L} \\ &= \eta \text{COP}_{ideal} \end{aligned} \quad (5)$$

実際のCOP_{real}はこれに効率 η が乗じられて決まっていると理解することができる。例えば、一般家庭で使用されているヒートポンプにおいて冷房時、凝縮温度は約40℃、蒸発温度は約5℃である。このときCOP_{ideal}は7.9である。これが、圧縮機、熱交換器等による損失によって、40%程度になり、実際のCOPである3.2になる。ここでは、表1に示したプロセス温度から対数平均温度差を求め、効率 η を40%としてCOPを計算した。COPを考慮すると廃熱量と採熱量は次のように表される。

$$\text{廃熱量} = \left(1 + \frac{1}{\text{COP}}\right) \times \text{冷房需要} \quad (6)$$

$$\text{採熱量} = \frac{\text{COP}}{1 + \text{COP}} \times \text{暖房需要} \quad (7)$$

地域からの年間廃熱量を一本あたり採熱、放熱量で除して、地中熱交換器必要本数を算出し、管間隔から算出される一本あたりの面積と地中熱交換器必要本数から設置面積を算出した。

本システムを導入した場合の西新宿地区年間地中廃熱量は約1.38×106GJと推定された。このときの設備規模は、管間隔が2m、3m、4m、5m、6mのとき、それぞれ0.052、0.21、0.53、0.93、1.4km²であった。6m以上の管間隔では、設置面積が西新宿地区の面積を超えてしまい、現実的ではなかった。対象地域である西新宿地区の地中熱交換器設置可能な場所として公的機関と分類できる場所（官公庁、公園、教育文化施設、厚生医療施設）を選んだ場合、これらの全面積が0.18km²であることと現実的な管長が200m程度であることから、周辺の道路も利用することで管間隔を3mとすれば熱交換器の設置が実現可能であった。

地中熱交換器は地温変化が周期的定常に達すると結局廃熱量と採熱量が等しくなってしまうことがシミュレーションの結果から示唆された。ここで、廃熱量と採熱量を等しいとおくと周期的定常時に供給可能な冷房需要と暖房需要は次の関係となる。

$$\text{冷房需要} = \left(\frac{\text{COP}}{1 + \text{COP}}\right)^2 \times \text{暖房需要} \quad (8)$$

ここではヒートアイランド対策を目的としているので冷房需要にあわせて設置面積を求めたが、実際に西新

宿地区に適用する場合には余剰暖房能力を周辺住宅の地域暖房に振り分けるなどといった工夫も必要となる。新しい都市への適用を考えた場合には、都市計画段階で廃熱量と採熱量を成績係数（COP）も考慮して等しく設定されていることが望ましい。

土壌熱源型ヒートポンプの設備コストはほぼ地中熱交換器のためのボーリング費用であると考えてよい³⁾。ビルなどの建設前にその土地の地質を調査する目的で、建設前には必ずボーリングが行われる。その際の費用はおおよそ、深さ1m当たり、10,000円程度である。この費用には調査費が含まれるため、今回考えているような単純に熱交換器用縦孔を1万本以上掘る場合には、当然費用が安くなると考えられる。そこで、今回の見積もりでは、1m当たりのボーリング費用を5,000円として見積もった。その結果、管間隔3mのときのボーリング費用は約361億円であった。

5. 夏季廃熱削減量の見積り

土壌熱源型地域冷暖房システムを導入した場合と個別に空調設備を導入した場合の人工廃熱量について見積もりを行い、特に夏季ヒートアイランドに対する廃熱削減効果を評価した。

5.1 各建物における冷房システムの設定

近年における冷房用熱源設備の導入傾向に基づき、エリア内建物（高層オフィスビル、ホテル、病院等）について、建物用途・規模別に最も一般的と考えられる熱源設備を仮定した⁶⁾。そして、熱負荷原単位法による各需要家建物の冷房負荷算定結果と冷房システム効率（COP）の設定値¹⁰⁾に基づき、冷房廃熱設備からの廃熱量を算出した。

西新宿地区の建物は延べ床面積ベースで全体の約70%が事務所系ビル（事務所、官公庁施設）で占められており、さらにその65%（エリア総床面積の45%程度）までが床面積100,000m²以上の超高層ビルとなっている。一般的に床面積が50,000m²以上の大規模ビルの熱源機器は、電動圧縮式冷凍機とガス吸収式冷温水発生機の構成が多く、中小規模事務所ビルにおける冷房用熱源機器としては、パッケージ型エアコン等の空気熱源ヒートポンプが近年主流である。また、病院、ホテル、商業施設ではガス吸収式の冷温水発生器が一般的である。集合住宅、専用独立住宅、住商併用建物に関しては一般的であると考えられる空気熱源ヒートポンプを設定し、教育文化施設（主に学校）についてはガス吸収式冷温水器を仮定した⁴⁾。上述の熱源構成に

において電動圧縮式冷凍機とガス吸収式冷温水器の廃熱設備は一般的な冷却塔であるとした。なお、大規模ビルの熱源機器ではコージェネレーションによる廃熱回収システムの導入事例が増加しているが、設備容量の設定に際して導入建物の熱受領と電力需要間の関係、運転パターン（熱主電従または電主熱従）の設定等、建物個別の複雑な検討を必要とするために本ケーススタディーでは考慮しなかった。

評価対象エリア内の冷房廃熱を推計すためには各種熱源設備のCOPについても設定を行う必要がある。COPは実用上熱源機器の定格効率（全負荷運転時のCOP）と、気象条件も考慮に入れた部分負荷特性に基づき算定されるべきものであるが、その作業は非常に複雑である。そこで、本研究では既存の検討例を引用してCOPの設定を行った。亀谷ら¹⁰⁾は地上12階建ての中規模事務所ビルモデルを対象として、大阪の標準気象データを用いた空調熱負荷計算を行い、各種冷房システムを用いた場合の期間平均COPの推定を行っている。ここでは彼らの計算結果の中から、冷房ピーク月である8月におけるCOPを用いて検討を行った。

以上の設定に基づく廃熱量の算定においては、気温に対して加熱源として直接的な影響を及ぼす顕熱成分のみに着目した。空気熱源型ヒートポンプについては廃熱の全量が顕熱で放出されるものとした。また、冷却塔からの廃熱に関しては一般的な顕熱割合を文献値⁷⁾に基づいて70%と設定した。熱負荷原単位法による建物単位での冷房負荷の算定結果に基づき(9)式より各建物からの顕熱成分廃熱量を8月の各時刻ごとに出した。

$$\text{冷房廃熱量} = \frac{\text{COP} + 1}{\text{COP}} \times \text{冷熱需要量} \times \text{廃熱中の顕熱割合} \quad (9)$$

その際、自動車廃熱中の顕熱割合としては発熱量ベースで都内の自動車用燃料消費量の60%以上を占めるガソリンの低位発熱量と高位発熱量の比(93.3%、軽油の場合は93.5%)を設定した。

5.2 人工廃熱推計結果

冷房システム廃熱以外の人工廃熱である自動車からの廃熱は、水野ら¹¹⁾の手法により算出したエリア内での各時刻における総燃料消費量を熱量換算することで廃熱量を求めた。算出した冷房システム廃熱と自動車廃熱を8月の各時刻別に合算して、西新宿地区の人工廃熱量とした。図8に人工廃熱量の時間変化を示す。土壌熱源型地域冷暖房を導入した場合には冷房システ

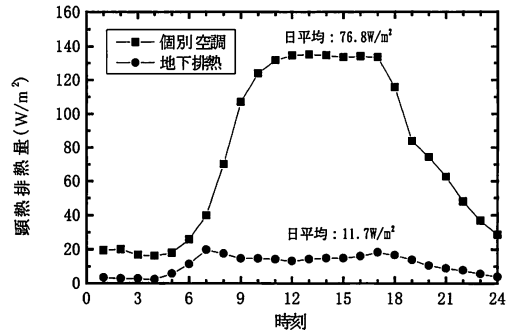


図8 西新宿エリアにおける人工廃熱の日内変化(8月)

ム廃熱の全量が削減されることから、人工廃熱は自動車廃熱のみとなる。図8にも示された通り、人工廃熱源のうちのほとんどが冷房廃熱であった。人工廃熱は就業時間帯である9時から18時にかけて $140\text{W}/\text{m}^2$ にも達した。これは、日中の地表面からの顕熱輸送量と同等の値であった。個別の廃熱を行った場合には $76.8\text{W}/\text{m}^2$ にも達した平均廃熱量が、土壌熱源型地域冷暖房を導入した場合には $11.7\text{W}/\text{m}^2$ に減少し、8月の日平均人工廃熱量の84.7%を削減することが可能であった。このことは、土壌熱源型地域冷暖房を導入することによって日中の地表面からの顕熱輸送量にも相当する¹²⁾人工廃熱量を、ビル街の熱収支を考える際には無視できる程度までに削減可能なことを示している。

日中に $100\text{W}/\text{m}^2$ 以上の顕熱輸送量が削減された場合には、現状の排出場所、ビルの構造、気象条件などにもよるが、ある程度地域の気温が下がることが予想される。したがって、気温降下による2次的な冷房負荷の軽減が起こり、都市全体の省エネルギーとして土壌熱源型ヒートポンプが機能することが期待される。この効果の検討は今後の課題である。

6. 緒言

東京で最もエネルギー消費密度の高い西新宿地区について、土壌熱源型ヒートポンプを用いた地域冷暖房システムの設備規模と廃熱削減効果について検討した。

一般的に使用されているヒートポンププロセス温度を仮定した場合の最大地中熱交換器管長と最適管間隔を1次元熱伝導シミュレーションを利用して近似的に求めた。その結果、最適管間隔は3mであり、このとき管長約230m、敷地面積 0.21km^2 が必要な設備規模であった。ボーリングコストはおよそ361億円であった。公的機関総面積 0.18km^2 と周辺道路を利用して地

中熱交換器の設置面積を確保することができるため、西新宿地区に土壤熱源型ヒートポンプを用いた地域冷暖房システムを導入することは十分可能であった。

特に廃熱によるヒートアイランドが問題となる夏季について、建物用途、規模別に最も一般的と考えられる熱源設備のCOPと熱負荷原単位法を用いてビルごとに空調設備を導入した場合の西新宿地区人工廃熱量を算出した。算出した人工廃熱量を基に、西新宿地区に土壤熱源型地域冷暖房を導入した場合の廃熱削減量を見積もった。その結果、対策により100W/m²以上の人工廃熱量が削減であると推測され、大きなヒートアイランド軽減効果が期待された。

参考文献

1) 小宮山; 化学工学, 62巻 (1998), 461~464
 2) 東京電力編; 平成6年度版 数表で見る東京電力1995)

3) 玄地裕, 霞浩樹, 猿田弘行, 顧蔚新, 小宮山宏; エネルギー・資源, 18巻 (1997), 491~497
 4) 亀谷茂樹, 下田吉之, 水野稔, 西隆良, 空気調和・衛生工学会論文集; 64巻 (1997), 49~59
 5) 下田吉之, 百瀬敏成, 水野稔, 金地孝行, 亀谷茂樹; 空気調和・衛生工学会論文集, 61巻 (1996), 67~77
 6) 尾島俊夫研究室; 建築の光熱水源単位 (1995), 早稲田大学出版部
 7) 井上市市編; 空気調和ハンドブック (1996), 丸善
 8) 玄地裕, 大谷武弘, 天野治男, 小杉信明, 長豊, 長本英俊, 小宮山宏; 天気, Vol.45, No.9 (1998), 707~715
 9) Mei, V. C. and Baxter, V. D.; Oak Ridge National Laboratory, CU-6828 Reserach Project (1990)
 10) 亀谷茂樹, 葛原浩美, 水野稔, 西隆良, 下田吉之; 空気調和・衛生工学会論文集, 62巻 (1996), 1~11
 11) 水野建樹他; 平成7年度NEDO提案公募型・最先端分野研究開発事業研究成果報告書 (1997)
 12) 近藤純正編著; 水環境の気象学 (1995), 朝倉書店

次号予定目次「エネルギー・資源」1月号(119号) (刊行: 平成12年1/5)

【巻頭言】	.....エネルギー・資源学会副会長, 摂南大学	鈴木 胖
【新春座談会】	21世紀の担い手が語るエネルギー・資源と環境	
	.....大阪大学	大川 宮雄
	大阪ガス(株)	加賀城俊正
	東京大学	松橋 隆治
	関西電力(株)	山中 亨
	(司会) 大阪大学	野村 正勝
	(〃) 川崎重工業(株)	森 建二
【展望・解説】		
我が国のエネルギー政策について	.....通商産業省 資源エネルギー庁	藤富 正晴
WE-NET第Ⅱ期研究開発について	.....通商産業省工業技術院	増田 勝彦
【特集】	水素エネルギー社会を目指して	
(1)WE-NETプロジェクト第Ⅰ期研究開発成果	.....(財)エネルギー総合工学研究所	福田 健三
(2)学振: 未来開拓研究プロジェクトの展開	.....京都大学	塩路 昌宏
(3)固体高分子電解質水電解技術の開発	.....京都大学	山口 幹昌
(4)高温水蒸気電解のための新規材料開発	.....京都大学	八尾 健
(5)石炭揮発分の水蒸気改質による水素製造	.....北海道大学 千葉 忠俊, 東京大学	林 潤一郎 堤 敦司
(6)水素供給ステーションの検討とその課題	.....岩谷産業(株)	松岡 美治
(7)高性能水素エンジンの開発	.....京都大学	石山 拓二
(8)水素自動車導入シナリオの研究	.....(財)エネルギー総合工学研究所	蓮池 宏
(9)水素燃焼タービンの設計と要素技術開発	.....三菱重工業(株)	上松 一雄
【研究論文】		
熱の多段階利用における温度別料金	.....山梨大学	島崎 洋一
	東京農工大学 秋澤 淳,	柏木 孝夫
【見聞記】		
「エネルギー負荷平準化に関するヨーロッパ調査」に参加して	.....東京大学	山地 憲治
【書評】		
「環境学」入門(藤原 和著)	.....専修大学	齋藤 雄志
【グループ紹介】	日本環境技術株式会社	
【技術・行政情報】	.....(財)電力中央研究所	鈴木達治郎
【談話室】 StupidかIntelligentか	.....東京ガス(株)	疋田 知士
【編集委員会便り】	.....東京大学	吉田 邦夫
【編集後記】	.....川崎重工業(株)	森 建二