

## ■ 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を西新宿地区に導入した場合のCO<sub>2</sub>ペイバックタイム

## CO<sub>2</sub> Payback Time Assessment of a Regional-Scale Heating and Cooling System

### Using a Ground Source Heat Pump in the Nishi-Shinjuku Area

玄地 裕\*・亀卦川 幸浩\*\*\*・稲葉 敦\*\*

Yutaka Genchi Yukihiro Kikegawa Atsushi Inaba

(原稿受付日1999年9月2日, 受理日2000年4月14日)

#### Abstract

We present an assessment of a regional heating and cooling system around the Nishi-Shinjuku area of Tokyo, Japan to estimate the CO<sub>2</sub> payback time that air source heat pumps are replaced with a ground source heat pump system.

Transportation of equipment sets for cooling tower, underground heat exchanger materials, digging loads, and transportation loads incurred by installation of GSHP system in place of an air source cooling system were calculated as CO<sub>2</sub> emissions. The total CO<sub>2</sub> emission from the installation was estimated to be 67,701t-CO<sub>2</sub>, with 87% of the CO<sub>2</sub> emissions occurred from digging.

CO<sub>2</sub> emissions from operation were estimated from total energy efficiency and the heating and cooling demand in Nishi-Shinjuku area. Using the ground source heat pump system, 33,935t-CO<sub>2</sub> will be emitted in one year.

We estimate that the air source heat pump system results in an annual CO<sub>2</sub> emission rate of 73,454 t-CO<sub>2</sub>, so using the ground source heat pump system results in a savings of 54% of the CO<sub>2</sub> emissions, 39,519t-CO<sub>2</sub>, in one year.

From these results, the CO<sub>2</sub> payback time is assessed to be 1.7 years for changing the heat pump system in the Nishi-Shinjuku area to the ground source heat pump system.

## 1. はじめに

地球温暖化問題に対する各国の具体的な取り組みが、気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)で採択された。それに伴い、日本においても2010年ごろまでに温暖化ガス排出量を1990年基準に対して6%削減することが国際公約となっている。温暖化ガス排出量のうちで60%以上を占めるCO<sub>2</sub>排出の主原因であるエネルギー消費量の日本における内訳(1996)は、産業49.6%、民生26.0%、運輸部門24.5%である<sup>1)</sup>。このうち、産業部門のエネルギー消費が1990年から1996年にかけて年平均1%程度の伸びにとどまっているのに対して、民生部門と運輸部門は同期間に年平均3%程度の伸びを示し、全体では年平均1.5%もの伸びを示している。このように、高い伸びを示す民生、運輸部

門に対して具体的な省エネルギー対策実施が大きな課題となっている。

特に、民生部門のエネルギー消費で大きな割合を占める都市冷暖房用省エネルギー対策として多様な未利用エネルギー(土壌、下水、河川、ゴミ焼却熱など)を利用した地域冷暖房導入案が検討されている。この中でも、土壌を熱源とした地域冷暖房システムは、地温と室温との差が空気と室温の差よりも小さいことから空気熱源ヒートポンプと比較して本質的に効率が良いこと、夏季の排熱を冬季の熱源として利用可能(長期蓄熱)、河川、清掃工場などの制約条件がないためどこでも利用可能、夏季には大量の排熱を地中に逃すためヒートアイランド抑制効果も期待できるといった利点から、エネルギー消費の集中した大都市の地域冷暖房システムとして有望視されている。土壌熱源型地域冷暖房システムについて東京都内で最もエネルギー消費の大きい場所の一つである西新宿地区1km<sup>2</sup>におけるフィジビリティとヒートアイランド抑制効果の検討結果として、地下熱交換器設置面積は0.3km<sup>2</sup>で設置可能、日平均約3℃のヒートアイランド抑制効

\* 通産省工業技術院資源環境技術総合研究所

エネルギー資源部エネルギー評価研究室研究員

\*\* 資源環境技術総合研究所企画室室長

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-3

\*\*\* 爾富士総合研究所 環境・資源エネルギー研究部主事研究員

〒101-8443 東京都千代田区神田錦町2-3 竹橋スクエア

果があることが明らかになっている<sup>2)</sup>。

本論文では、土壤熱源型地域冷暖房システム導入によるCO<sub>2</sub>排出削減効果について検討した。システム導入によるCO<sub>2</sub>排出量は、初期工事、運用時、廃棄時といったシステムのライフサイクル全体で考える必要がある。この考え方にに基づき、近年空調システムや建築に関するライフサイクル分析によるCO<sub>2</sub>排出量の検討が行われている。これらの論文、報告書では、建築寿命全体で排出されるCO<sub>2</sub>を1年あたりの排出量に換算して建物長寿命化による排出削減量の比較を行っているのが一般的である。例えば日本建築学会の報告書<sup>6)</sup>から、省エネ対策を施した寿命35年の建築物と同じ寿命100年の建築物では1年あたりのCO<sub>2</sub>排出量負荷を約12%減らすことができると試算された。ここで注意すべき点は、建築のように初期工事におけるCO<sub>2</sub>排出量が運用時の排出量と比較して大きい場合には、1年あたりのCO<sub>2</sub>排出量負荷と実際に毎年排出されるCO<sub>2</sub>の量が異なることである。建築運用年数の初期には従来の建築をそのまま使っていた方がCO<sub>2</sub>排出量としては有利になる期間がある。

そこで本論文では、従来のライフサイクル全体でのCO<sub>2</sub>排出量という指標の他に、何年以上運用した場合にCO<sub>2</sub>排出量として有利になるかというCO<sub>2</sub>ペイバックタイム(CPT)を指標として導入した。初期工事排出分と、運用時排出量、従来型個別冷暖房運用時排出量との比較からCPTを用いて西新宿地区における空気熱源型地域冷暖房システム(従来型)から土壤熱源型地域冷暖房システムへの入れ替え効果について評価を行った。

2. 評価範囲の設定

土壤熱源型地域冷暖房導入対象地域は、西新宿高層



西新宿高層街区1km×1km

図1 土壤熱源型地域冷暖房導入対象地域

表1 地中熱交換器規模<sup>2)</sup>

熱交換器間隔 [m]	必要管長 [m]	本数 [本]	設置面積 [km <sup>2</sup> ]
3	234	43,200	0.21

街区1km四方(図1)とした。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(48,464RT,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。年間全冷房需要は $1.14 \times 10^6$ GJ,全暖房需要は $8.16 \times 10^5$ GJであった。地下熱交換器規模は著者らの関連研究<sup>2)</sup>で得られた値をもとに表1のように定めた。土壤熱源型ヒートポンプを利用した地域冷暖房システムを西新宿地区に導入する場合に必要な地下熱交換器の規模は、U字型熱交換器深さ234m,熱交換器間隔3m,本数約43,200本である<sup>2)</sup>。

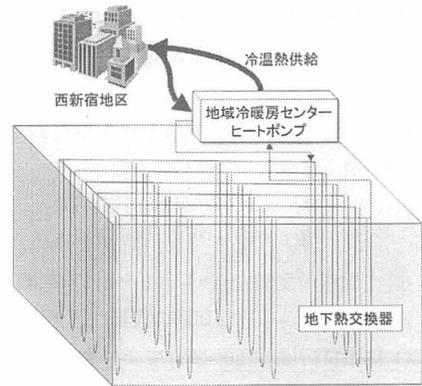


図2 土壤熱源型地域冷暖房システムの概念図

CO<sub>2</sub>排出量は、従来型地域冷暖房システムと土壤熱源型地域冷暖房システムについて検討した。土壤熱源型地域冷暖房システム(図2)は、通常の冷暖房設備と比較して、冷却塔部分が地下熱交換器に置き換えられたものと考えられた。そこで、初期工事からのCO<sub>2</sub>排出負荷として、冷却塔に関しては設備、運搬を考慮し、地下熱交換器に関してはボーリング工事、運搬、設備負荷を考慮して比較を行った。仮定が必要な場合にはCO<sub>2</sub>排出量が大きくなる方向で数値設定を行い、CO<sub>2</sub>排出負荷として最大値を見積もるようにした。

3. 冷却塔のCO<sub>2</sub>排出負荷

冷却塔の素材構成と産業連関分析の結果<sup>3)</sup>をもとに、冷却塔設備の単位USRTあたりのCO<sub>2</sub>排出量インベ

表2 角形冷却塔一式イベントリー<sup>3)</sup>とCO<sub>2</sub>排出負荷(冷房需要48,500RTからCO<sub>2</sub>排出負荷算出)

項目	資材分類	重量 [t]	排出原単位 [t-CO <sub>2</sub> /t]	CO <sub>2</sub> 排出量 [t-CO <sub>2</sub> ]	合計 [t-CO <sub>2</sub> ]
角形冷却塔	プラスチック板管棒	149.0	3.148	469	683
	普通鋼形鋼	157.2	1.303	205	
	鉛(含再生)	3.2	2.78	9	
防震架台	普通鋼形鋼	3.6	1.303	5	6
	合成ゴム	0.2	4.222	1	
	プラスチック板管棒	0.1	3.148	0	
コンクリート基礎	セメント(現場打)	40.8	0.839	34	58
	砂利, 採石	98.4	0.008	1	
	碎石	110.7	0.008	1	
	普通鋼小棒	18.5	1.163	22	
小計					747
運搬	冷却塔重量	10tトラック台数	運搬距離	燃費	軽油
	308.9t	31台	60km	1.5km/l	1240 l
合計					750

ントリーを作成した。結果を表2に示す。西新宿地区の冷房需要約48,500RTから冷却塔設備に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷量を算出した。その結果、冷却塔設備のCO<sub>2</sub>負荷は747t-CO<sub>2</sub>であった。冷却塔運搬に伴うCO<sub>2</sub>負荷は、3t-CO<sub>2</sub>に過ぎなかった。これは次の手順で求めた。単位USRTあたりの冷却塔重量から運搬する冷却塔の総重量を見積もり、運搬に必要なトラック台数を算出した。文献<sup>3)</sup>より運搬距離は往復60km、燃費1.5km/lとして燃料である軽油消費量を求め、軽油のCO<sub>2</sub>排出原単位2.65kg-CO<sub>2</sub>/lを用いてCO<sub>2</sub>負荷を算出した。以上から、冷却塔の設備、運搬から発生するCO<sub>2</sub>排出負荷は、750t-CO<sub>2</sub>であった。なお、設置工事として行われるコンクリート基礎、防震架台設置の負荷は、冷却塔設備として設備負荷に含まれている。

#### 4. 地下熱交換器のCO<sub>2</sub>排出負荷

##### 4.1 熱交換器素材、運搬に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷

土壌熱源型ヒートポンプは、氷点下になる可能性の小さい地下を熱源としているため、特に北欧、スイス、アメリカなど寒さの厳しい国において空気熱源型ヒートポンプの代替としてすでに実用化されている<sup>4)</sup>。これらの地下排熱設備ではU字型ポリエチレン製チューブが熱交換チューブとして主に利用されている。そこで、地下熱交換器素材はポリエチレン100%であると

表3 地下熱交換器設備、素材のCO<sub>2</sub>排出負荷

項目	資材分類	重量	排出原単位	CO <sub>2</sub> 排出量
		[t]	[t-CO <sub>2</sub> /t]	[t-CO <sub>2</sub> ]
ポリエチレンU字管	ポリエチレン(高密度)	2,860	1.928	5,513

してCO<sub>2</sub>排出負荷を算出した。管径は主に使用されている内径25mm、外径32mm(U字管型)とした。ポリエチレンの密度0.90t/m<sup>3</sup>を用いると表1に示した規模において熱交換器素材の総重量は2,860tであった。結果を表3に示す。ポリエチレン(高密度)のCO<sub>2</sub>排出負荷原単位1.928t-CO<sub>2</sub>/t<sup>5)</sup>をもちいて見積もった結果、熱交換器材料設備負荷は5,513t-CO<sub>2</sub>であった。

熱交換器素材の運搬から発生するCO<sub>2</sub>排出負荷は冷水塔の場合と同様の手順で求めた。総重量2,860tの資材を10tトラックで運搬すると仮定した。運搬距離、燃費は冷水塔の場合と同様にそれぞれ60km、1.5km/lとした。以上から熱交換器素材の運搬に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷は、30t-CO<sub>2</sub>であった。

##### 4.2 残土処理のCO<sub>2</sub>排出負荷

地下熱交換器の場合、ボーリングから残土が発生するため、廃棄物運搬負荷が生ずる。残土処理に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷検討結果を表4に示す。ボーリングから

表4 残土処理に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷

残土 体積	密度	残土 重量	10tトラッ ク台数	軽油	CO <sub>2</sub> 排出量
[m <sup>3</sup> ]	[t/m <sup>3</sup> ]	[t]	[t]	[l]	[t-CO <sub>2</sub> ]
79,600	2.0	159,200	159,200	1,061,000	2,813

発生する残土の量は、U字管を埋設する穴径0.1mとして約79,600m<sup>3</sup>であった。残土を2t/m<sup>3</sup>と換算<sup>6)</sup>すると総重量は159,200tとなり、処理のためには10tダンプ延べ15,920台が必要であった。運搬距離を往復100km<sup>3)</sup>、燃費を1.5km/lとしたときの残土運搬に伴うCO<sub>2</sub>負荷は2,813t-CO<sub>2</sub>であった。

表5 掘削工事に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷

掘削速度 [m/h]	軽油消費率 [l/h]	全掘削長 [m]	延べ移動時間 [h]	軽油消費量 [l]	CO <sub>2</sub> 排出量 [t-CO <sub>2</sub> ]
2	4.4	10,108,000	5,054,000	22,111,000	58,594

表6 掘削工事に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷 (ベントナイト)

全掘削体積 [m <sup>3</sup> ]	全熱交換器体積 [m <sup>3</sup> ]	必要ベントナイト混合水 [m <sup>3</sup> ]	ベントナイト濃度 [%]	ベントナイト重量 [t]	CO <sub>2</sub> 排出量 [t-CO <sub>2</sub> ]
79,600	16,300	63,300	10	6,330	443

#### 4.3 ボーリング工事に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷

熱交換器を設置する、深さ234m、熱交換器間隔3m、本数約43,200本の穴を掘るボーリング工事に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷を見積もった。作業プロセスとして、掘削機の運搬、掘削、掘削に伴うベントナイト注入、坑井への熱交換チューブ導入、が必要である。このうち坑井への熱交換チューブ導入は、手作業であるため無視した。運搬、掘削とベントナイトの材料に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷を見積もった。

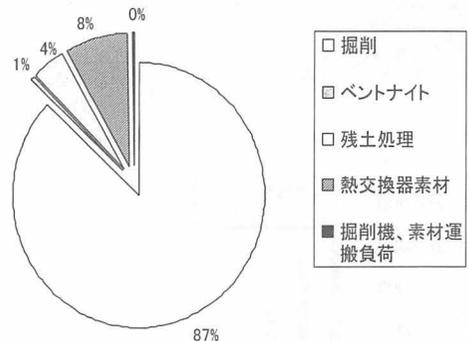
##### (1) 掘削

現場調査をもとに掘削方法は、穴数が多数であること、間隔が3mと短いことから自走可能なトラックマウント式の掘削機を用いて穴径0.1mの掘削を行い、一つの穴の掘削終了後、次の穴へトラックマウントによって自走して移動すると仮定した。掘削時にケーシングは行わず、一つの掘削完了直後にU字型熱交換チューブを挿入して土圧によるチューブと土壌の密着を行うとした。

新宿周辺の地層は、地表が第4紀中～後期更新世の相模層群の火山灰よりなる下末吉ローム層であり、層厚が約10mである。表層下が基盤になっており、基盤は鮮新世末から更新世前期の上総層群の砂岩及び泥岩よりなっている。深さ234mであるため95%以上の作業は基盤掘削である。表層の掘削を無視して、現場作業をもとに基盤の掘進率は1時間あたり約2mとした。掘削穴総延長は10,108,000mなので、掘削には延べ5,054,000時間かかることになる。作業は1日8時間行うとして、現場調査から8時間の燃料消費は掘削機、ポンプ、その他含めて軽油35lとした。結果を表5に示す。軽油の総消費量は22,111,000lなので軽油の原単位2.65kg-CO<sub>2</sub>/lを用いて掘削によるCO<sub>2</sub>排出負荷は、58,594t-CO<sub>2</sub>と見積もられた。

##### (2) 掘削機運搬

工期を1年(稼働日300日)として必要な掘削機台数を求めた。掘削延べ時間は5,054,000時間なので必要となる掘削機台数は704台であった。1台の10tト

図3 地下熱交換器のCO<sub>2</sub>排出負荷内訳

ックで1台の掘削機を運ぶとして、前節同様に運搬距離往復100km、燃費1.5km/hとすると軽油総消費量は46,900lとなった。軽油の原単位を用いて掘削によるCO<sub>2</sub>排出負荷は、124t-CO<sub>2</sub>と見積もられた。

##### (3) ベントナイト

掘削時に泥水を使用するが、その泥水が土中に散逸しないようベントナイト混合水による止水を行いながら掘削を行う。掘削径0.1mなのでU字型熱交換器体積を除いた63,300m<sup>3</sup>が全ベントナイト混合水量である。ベントナイト濃度は10%程度なので混合水の比重は水と同じとした。必要となるベントナイト重量は6,330tであった。結果を表6に示す。ベントナイトの原単位70kg-CO<sub>2</sub>/tを用いてCO<sub>2</sub>排出負荷は443t-CO<sub>2</sub>と見積もられた。

地下熱交換器のCO<sub>2</sub>排出の内訳を図3に示す。以上の検討から地下熱交換器建設工事に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷67,701t-CO<sub>2</sub>の87%は掘削工事によるものであった。

## 5. 運用時のCO<sub>2</sub>排出量

土壌熱源型地域冷暖房システムで西新宿地区の全冷暖房熱需要を賄う場合、運用時年間エネルギー消費、年間CO<sub>2</sub>排出量を見積もった。比較対象として空気熱源型地域冷暖房システム(電力によって熱源設備を駆動するもの)を設定して、省エネルギー効果、CO<sub>2</sub>排出削減効果について評価した。

表7 ケーススタディエリアにおける熱需要（年間熱需要と最大熱負荷量）<sup>7),8)</sup>

建物用途	延べ面積		年間熱負荷原単位 (MJ/年m <sup>2</sup> )		年間熱需要 (GJ/年)		最大熱負荷原単位 (W/m <sup>2</sup> )		最大熱負荷 (MW)		
	面積 (m <sup>2</sup> )	構成比 (%)	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	
事務所建築物	2,416,875	57.39	大規模事務所	255	125	616,255	303,076	73.2	53.4	176.8	129.1
宿泊・遊戯施設	511,875	12.15	ホテル	443	627	226,802	320,946	69.7	68.5	35.7	35.1
官公庁施設	460,000	10.92	大規模事務所	255	125	117,291	57,684	73.2	53.4	33.6	24.6
専用商業施設	268,125	6.37	商業施設	502	125	134,492	33,623	89.4	168.4	24.0	45.1
集合住宅	197,500	4.69	集合住宅	33	84	6,604	16,511	68.5	80.1	13.5	15.8
厚生医療施設	145,000	3.44	病院	184	380	26,668	55,155	80.1	223.8	11.6	32.4
教育文化施設	129,375	3.07	教育施設	63	192	8,112	24,876	24.4	341.5	3.2	44.2
住商併用建物	34,375	0.82	集合住宅	33	84	1,150	2,874	68.5	80.1	2.4	2.8
専用独立住宅	13,750	0.33	集合住宅	33	84	460	1,150	68.5	80.1	0.9	1.1
未建築宅地・未利用地	13,125	0.31	—	—	—	—	—	—	—	—	—
供給処理施設	10,000	0.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
倉庫・運輸関係施設	8,750	0.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
屋外利用地・仮設建物	1,250	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—
公園・運動場（管理施設等）	1,250	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計	4,211,250	100	—	—	—	—	1,137,833	815,894	—	—	—

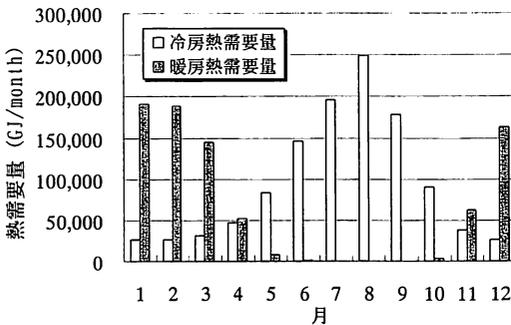


図4 西新宿における月別熱需要量

### 5.1 冷暖房熱需要

評価対象とする土壌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、暖房として、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<sup>7),8)</sup>より得られた値を採用した。エリア内の建物床面積は、東京都土地利用現況調査メッシュデータより抽出された床面積を用いた。床面積構成比と用いた熱負荷原単位を表7に示す。

月別の冷暖房熱需要推定結果を図4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8月の平均値8,030GJ/day（平均93MW相当）、暖房需要としては2月の平均値6,756GJ/day（平均78.2MW相当）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 $1.14 \times 10^6$  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計算を行った。

表8 土壌熱源型地域冷暖房システムと従来型地域冷暖房システムの総合エネルギー効率の比較

総合エネルギー効率1 = プラント送出熱量 / プラントにおける1次エネルギー換算電力消費量  
 総合エネルギー効率2 = プラント送出熱量 × (1 - 導管熱損失率) / プラントにおける1次エネルギー換算電力消費量  
 地域導管の熱損失は、都内年間販売熱量上位5位の地域冷暖房プラントにおける実績値平均<sup>11)</sup>

	システム	総合エネルギー効率1	地域導管の熱損失率	総合エネルギー効率2
土壌熱源型	冷房期	4.84	3.65%	1.78
	暖房期	4.88	3.05%	1.72
従来型	—	—	—	0.81

### 5.2 土壌熱源型地域冷暖房システムの効率

土壌熱源型地域冷暖房システムのCOPは、欧米等におけるCOPの実績値<sup>9)</sup>3～6、土壌に近い温度レベルで土壌熱源型システム同様にブラインによる熱交換を行う下水処理水を熱源とした地域冷暖房のCOP<sup>10)</sup>を参考にして冷房時：4.84、暖房時：4.88とした。この値は、開発されているスーパーヒートポンプの使用を考慮して現在使用されているヒートポンプよりも高く設定した。また、本検討では蓄熱槽をもち、稼働状態は一定であるように運転することを仮定したため、COPは一定値を用いた。空気熱源型地域冷暖房システムのCOPは、都内の電力型地域冷暖房システムの総合エネルギー効率：0.81<sup>11)</sup>を用いた。ここで、総合エネルギー効率とは需要家側（受熱端）における受け取り熱量をプラントにおけるエネルギー消費量（一次エネルギー換算値）で除する事により得られたものである。需要家（受熱端）側の受け取り熱量はプラント送出熱量に地域導管における輸送時熱損失割合を掛けて求めた。土壌熱源型システムでは前節にて見積もった需要側の年間必要受熱量と地域導管における熱損失率<sup>11)</sup>から送出熱量を求め、送出側システムCOPをも

表9 西新宿エリアにおけるCO<sub>2</sub>削減効果（従来型システムと土壌熱源型地域冷暖房システムの比較）  
従来型に対する年間削減率：54%

月	従来型		土壌熱源型	
	冷暖房電力 [Gcal]	CO <sub>2</sub> 排出量 [t-CO <sub>2</sub> ]	冷暖房電力 [Gcal]	CO <sub>2</sub> 排出量 [t-CO <sub>2</sub> ]
1	56,374	8,602	26,625	4,063
2	55,868	8,525	26,386	4,026
3	42,868	6,541	20,246	3,087
5	24,462	3,733	11,117	1,697
6	43,043	6,567	19,561	2,985
7	57,668	8,800	26,207	3,997
8	73,540	11,220	33,420	5,100
9	52,713	8,041	23,955	3,656
10	26,597	4,059	12,087	1,844
12	48,328	7,374	22,825	3,433
計	481,461	73,454	222,428	33,935

とに、送出熱量を電力消費量に換算して、総合エネルギー効率を求めた。総合エネルギー効率に関する土壌熱源システムと従来型システムの比較結果を表8に示す。従来型の総合エネルギー効率0.81に対して土壌熱源型は1.79（冷房期）、1.72（暖房期）と総合エネルギー効率が1を越え、従来型と比べ120%（暖房期）～111%（冷房期）も高効率のシステムとなりうる可能性が示された。

地域冷暖房プラントにおける電力消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量の算定に用いた排出原単位は、津川・田中による東京電力の月別・時間帯別排出原単位の算定結果<sup>12)</sup>から年平均値343.3g-CO<sub>2</sub>/kWh（93.62g-C/kWh）、発電効率38%を用いた。

両ケースにおけるエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の推計結果を表9に示す。空気熱源方式の従来型地域冷暖房システムでは、年間CO<sub>2</sub>排出量が73,454t-CO<sub>2</sub>に対して土壌熱源型システムの場合には年間CO<sub>2</sub>排出量が33,935t-CO<sub>2</sub>にとどまり、土壌熱源型システムの導入により年間CO<sub>2</sub>排出量（発電所からの排出を含むように境界を設定）を39,519t-CO<sub>2</sub>、54%のCO<sub>2</sub>排出削減効果があると見積もられた。

### 6. CO<sub>2</sub>ペイバックタイム

従来型地域冷暖房システムを廃棄して土壌熱源型地域冷暖房システムを導入した場合のCPT [年] を求めた。このときのCPTは以下の式により計算した。冷却塔設備廃棄に伴う負荷は運搬のみであると考え、

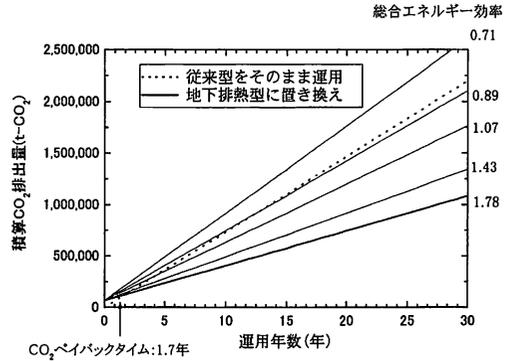


図5 従来型地域冷暖房システムを廃棄して土壌熱源型地域冷暖房システムを導入したときの積算CO<sub>2</sub>排出量とCO<sub>2</sub>ペイバックタイム

設置時の冷却塔の運搬と同じ負荷を与えた。

ボーリング工事、運搬、熱交換器設備のCO<sub>2</sub>負荷+冷却塔設備廃棄CO<sub>2</sub>負荷  
運用時の年間CO<sub>2</sub>排出削減量

使用年数に対する積算CO<sub>2</sub>排出量の比較を図5に示す。以上の計算からCPTは1.7年と見積もられた。冷却塔の設備に関するCO<sub>2</sub>負荷が地下排熱設備に関する負荷、年間CO<sub>2</sub>排出削減量と比較して十分小さいために新規地域冷暖房導入の場合とシステムの入替えの場合のCPTは同じであった。

総合エネルギー効率（システムCOP）は、運転状況によって大きく変化する。また、設定したCOPは文献を参考にした仮定値である。そこで、総合エネルギー効率が10%ずつ低下したときのCPTについても検討を行った。図5に結果を示す。CPTを約5年以内に抑えるためには、総合エネルギー効率1.0程度が必要であった。

建物更新サイクルが約35年、冷暖房設備の更新が20年程度であることを考慮すると20年時点で排出されるCO<sub>2</sub>負荷は、検討に用いた総合エネルギー効率1.78の場合、土壌熱源型地域冷暖房システムでは従来型システムの51%であった。

### 7. 結論

西新宿高層街区1 km四方に土壌熱源型地域冷暖房システムを導入した場合のCO<sub>2</sub>ペイバックタイム（CPT）を指標として求め、空気熱源型地域冷暖房システムから土壌排熱型地域冷暖房への入れ替え効果についてライフサイクル的CO<sub>2</sub>排出量の観点から評価を行った。

初期工事からのCO<sub>2</sub>排出負荷として、冷却塔に関しては入れ替え時の設備、運搬を考慮し、地下熱交換器に関してはボーリング工事、運搬、設備負荷を考慮して比較を行った。その結果、地下熱交換器建設工事に伴うCO<sub>2</sub>排出負荷は、67,701t-CO<sub>2</sub>であり、その87%は掘削工事によるものであった。

土壌熱源型システム同様にブラインによる熱交換を行う下水処理水を熱源とした地域冷暖房のCOPから推定した総合エネルギー効率1.78と、西新宿地区の熱需要から、運用時のCO<sub>2</sub>排出負荷を求めた。その結果、土壌熱源型システムの場合には年間CO<sub>2</sub>排出量が33,935t-CO<sub>2</sub>にとどまり、土壌熱源型システムの導入により空気熱源型システムと比較して年間CO<sub>2</sub>排出量を39,519t-CO<sub>2</sub>、54%のCO<sub>2</sub>排出削減効果があると見積もられた。

ボーリング工事、運搬、熱交換器設備のCO<sub>2</sub>負荷、冷却塔設備廃棄CO<sub>2</sub>負荷と運用時の年間CO<sub>2</sub>排出削減量の比較からCPTを求めた結果、CPTは1.7年であった。逆に、CPTを約5年以内に抑えるためには、総合エネルギー効率1.0程度が必要であった。検討に用いた総合エネルギー効率1.78の場合、土壌熱源型地域冷暖房システムでは設備更新までの間にシステム起因で排出されるCO<sub>2</sub>は従来型システムの51%にとどまり、初期工事を含めたライフサイクル的なCO<sub>2</sub>排出負荷の観点からも有望なシステムであることが示された。

#### 謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構

(NEDO)平成10年度新規産業創造型提案公募事業「高効率の熱交換・熱拡散促進型の省エネ都市形成手法の開発」研究の一部として実施された。また、ボーリング工事インベントリー作成に際しては、成和機工株式会社小泉瑛夫氏、地熱エンジニアリング株式会社高杉真司氏、池内研氏にご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 資源エネルギー庁総合エネルギー調査会；需給部会中間報告(1998)
- 2) 玄地裕，亀卦川幸浩，近藤裕昭，小宮山宏；エネルギー・資源，20巻，6号，(1999)，562～569
- 3) 地球環境委員会成果報告書；「建築設備と地球環境に関する研究」(1999)，社団法人空気調和・衛生工学会
- 4) 関信弘編集；「蓄熱工学1基礎編」(1995)，森北出版
- 5) LCA実務入門編選委員会；「LCA実務入門」(1998)，社団法人産業環境管理協会
- 6) 日本建築学会地球環境シンポジウム資料；「建物のLCA指針(案)～地球温暖化防止のためのLCCO<sub>2</sub>を中心として～」(1998)，日本建築学会
- 7) 東京都環境保全局；「地域暖冷房推進に関する指導要綱」(1991)
- 8) 空気調和・衛生工学会；「コージェネレーションシステム設計・計画と評価」(1994)
- 9) 落藤澄，他3名；「地下蓄熱と地下熱利用セミナー資料集」(1998)，財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター
- 10) 空気調和・衛生工学会編，田中俊彦著；「未利用エネルギーと蓄熱式空調システム」(1994)，理工図書
- 11) 日本環境技研株式会社；「環境保全型地域暖冷房推進調査報告書」(1992)
- 12) 津川透子，田中俊彦；空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，(1996)，817～820