Title	空調用エネルギーパイルシステムの開発-二年間の運転実績と総合評価-
Author(s)	斎藤, 央; 濱田, 靖弘; 中村, 真人; 窪田, 英樹; 横山, 真太郎; 落藤, 澄; 圓山, 彬雄; 照井, 康穂
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 10, 49-52
Issue Date	2002-10-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/7098
Туре	bulletin (article)
Note	第10回衛生工学シンポジウム(平成14年10月31日(木)-11月1日(金) 北海道大学学術交流会館). 3 建築環境・エネルギー利用. 3-1
File Information	10-3-1_p49-52.pdf



空調用エネルギーパイルシステムの開発 3 - 1-二年間の運転実績と総合評価-

○斎藤 央(北海道大学) 中村 真人(北海道大学) 横山真太郎(北海道大学) 圓山 彬雄 (アーブ建築研究所)

澄(北海道大学) 照井 康穂(アーブ建築研究所)

濱田 靖弘(北海道大学)

窪田 英樹(北海道大学)

落藤

はじめに

筆者らの研究室において地下熱利用システム 11,21 の有効性を実証してきたが、本報は地中熱交 換器の経済面の改善をめざして,建築物の摩擦杭 を空調用熱交換器として利用するエネルギーパ イル方式 3) を実際の建物に適用し、その導入効 果について明らかにすることを目的としたもの である. まず, 2000 年 12 月に竣工した対象建築 物の導入設備システムおよび本年度新たに設置 した冷房・除湿用配管の概要を示す.次いで,暖 冷房システムの二年間の運転実績を整理すると ともに、対象建築物の年間エネルギー収支をまと める. さらに, 実測結果に基づき, 従来方式との 比較を行うことにより,本システムの省エネルギ 一・環境保全・経済性を評価する.

1. 暖冷房設備の概要と測定項目

図-1 に暖冷房設備の系統図を示す. 深さ9 m, 合計 26 本のコンクリート製摩擦杭(外径 302 mm, 内径 232 m) を地中熱交換器として用いる. 杭 の中空部に配管を施し、熱媒を循環させるものと し,空隙部分にはモルタルを充填している.建物 側の暖冷房方式については,床および天井に敷設 した配管を用いた放射暖冷房を採用した.暖房方

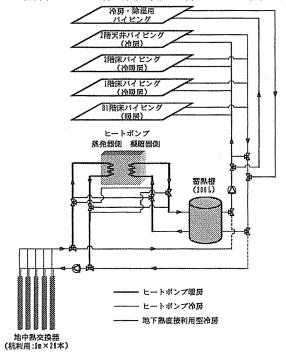


図-1 暖冷房設備の系統図

式は,地盤熱源ヒートポンプである.冷房時には, 熱媒を直接建物側に循環させることによって,地 下の冷熱を取り入れる地下熱直接利用型と,地盤 を凝縮器のヒートシンクとするヒートポンプ利 用型の二種類の運転を行う.ヒートポンプの冷媒 には R290 を採用している.地盤側不凍液温度 0℃, 建物側温水温度 50℃の場合の電力消費量、成績 係数は、それぞれ 3.8 kW、3.3 である 4. 温水側 には、補助電気ヒータ(4kW)内蔵型の蓄熱槽(200 L) を設けている. さらに, 本年度より天窓付近 に新たに冷房・除湿用配管を9本施し、冷水を循 環させ、管表面に積極的に結露させることにより 除湿を行うものとした(図-2).除湿運転は,2002 年6月の冷房開始時より行っている. なお, 対象 建築物の仕様および導入手法は既報 3) による.

2. 暖冷房の運転実績と評価

2.1 一年目冷房運転

一年目の冷房運転は,2001年6月6日から2001 年9月18日まで行った. 図-3に地下熱直接利用 型冷房の代表日として 2001 年 7 月 20 日におけ る地盤側熱媒返り温度,室内温湿度および外気温 度の変動を示す. 外気温度の変動に対して, 室内 気温は 22.7~25.3℃でおおむね安定した推移を 示している.また,地盤側熱媒返り温度の日平均 値は 19.3℃であり、良好な冷水が得られている と考えられる. 図-4 にヒートポンプ利用冷房の 代表日として 2001 年 7 月 14 日における地盤側 熱媒返り温度,建物側熱媒送り温度,室内温湿度 および外気温度の変動を示す. 外気温度は最高 33.1℃となったが,室内気温は 23.3~24.9℃で 安定した推移を示している.また,地盤側熱媒返

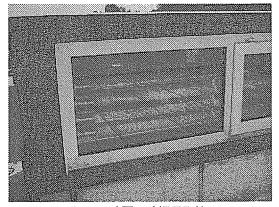


図-2 冷房·除湿用配管

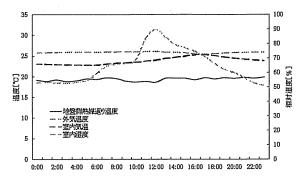


図-3 代表日における温湿度の変動 (一年目・地下熱直接利用型冷房)

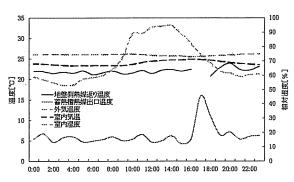


図-4 代表日における温湿度の変動 (一年目・ヒートポンプ利用冷房)

り温度の日平均値は 22.0℃であり、凝縮器のヒートシンクとして有効であると考えられる.

2.2 二年目暖房運転

二年目の暖房運転は,2001年11月3日から 2002年4月14日まで行った.図-5にヒートポン プ利用暖房の代表日として2002年1月5日にお ける地盤側熱媒返り温度,建物側熱媒送り温度, 室内温湿度および外気温度の変動を示す. 16:00 から 18:00 までは、融雪用電力の契約条件により、 ヒートポンプの運転は停止している.外気温度は 最高-1.1℃,最低-8.7℃であり,7.6℃の温度幅 があったのに対して,室内気温は 20.9~23.6℃ でおおむね安定した推移を示しており,良好な室 内環境が保たれているものと考えられる.また, 地盤側熱媒返り温度の日平均値は 1.6℃であり, ヒートポンプの熱源として有効であると考えら れる. 図-6 に 2001 年 11 月 19 日における居住者 による主観申告結果を示す. 申告者は, 健康な成 人男女合計 4 名 (男性 2 名,女性 2 名)である. 日最低外気温度は-1.5℃であった. Nevins らの 式⁵ による居住者の平均的な clo 値は 0.70 であ った. 温冷感, 快適感の平均値は, それぞれ 0.00, 1.00 であり、床の温度感、気流感および放射感 は、ほぼ「感じない」程度であった、また、認容 性の平均値は 0.55 であり、居住者にとって良好 な環境が得られていたものと考えられる.

2.3 二年目冷房運転

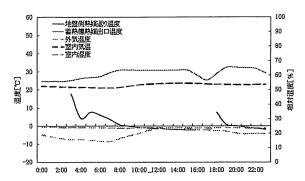


図-5 代表日における温湿度の変動 (二年目・ヒートポンプ利用暖房)

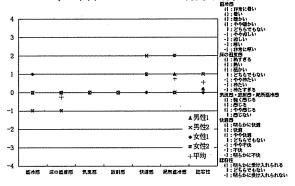


図-6 居住者による主観申告結果

二年目の冷房運転は、2002 年 5 月 31 日より行っている。図-7 にヒートポンプ冷房の代表日として 2002 年 8 月 1 日における地盤側熱媒返り温度、建物側熱媒送り温度、室内温湿度および外気温度の変動を示す。室内気温は $24.0\sim26.6$ ℃でおおむね安定した推移を示している。また、室内湿度は $59.2\sim63.3$ %で安定し、良好な室内環境が保たれており、除湿用配管の効果が大きいと考えられる。

2.4 一年目・二年目における運転実績の比較

表-1 に一年目 (2000年12月21日~2001年4 月 30 日),二年目(2001 年 11 月 3 日~2002 年 4 月 14 日)における暖房運転実績の比較(Q。:室 供給熱量、E₆:ヒートポンプ電力消費量、E₆:搬 送·制御系電力消費量, E_i:変圧器電力消費量) を示す. 二年目の暖房期間における地盤側熱媒返 り温度の平均値は5.9℃,ヒートポンプの成績係 数は 4.5 であり, いずれも一年目よりも高い値と なっている.表-2に一年目(2001年6月6日か ら 2001 年 9 月 18 日), 二年目 (2002 年 5 月 31 日~2002年8月18日) における冷房運転実績の 比較を示す.地下熱直接利用型冷房時におけるエ ネルギー使用効率(Energy Efficiency Ratio: EER) [=室供給熱量/搬送系電力消費量] は 18.6 であり,極めて高効率であった.一方,ヒートポ ンプ利用冷房時の成績係数は3.9であり,経年変 化はほとんど見られなかった. また, 一年目・二 年目における室内湿度は、それぞれ 65.8%、

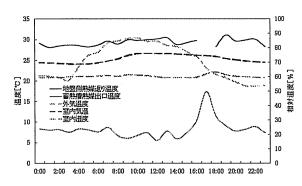


図-7 代表日における温湿度の変動 (二年目・ヒートポンプ利用冷房)

表-1 一年目・二年目における暖房運転実績の比較 (期間平均値)

		一年目	二年目
室内気温	[°C]	23.3	22. 2
室内湿度	[%]	38.9	31, 2
地盤側熱媒温度「°C7	送り	0.3	2. 9
20.20000000000000000000000000000000000	返り	3. 3	5.9
摩擦杭表面温度 (5点平均)	[°C]	7.5	10.0
蓄熱槽熱媒出口温度	[°C]	30.4	30.6
建物側熱媒返り温度	[°C]	28. 4	28. 1
日積算室供給熱量	[HJ/日]	503.8	404.4
日積算ヒートポンプ・変圧器電力消費量	[MJ/日]	173.3	111.3
日積算ヒートポンプ稼働時間	[h/H]	14.3	9.3
日積算搬送・制御系電力消費量	[MJ/日]	27.5	23. 1
COP [=Q _E /E _b]	[-]	3.9	4, 5
SCOP ₁ [=Q _R /(R _b +R _p)]	[-]	3. 2	3. 7
SCOP, $[=Q_B/(E_b+E_s+E_s)]$	[-]	2. 8	3. 3

52.3%であり,除湿運転の効果が大きいことがわかった.

3. 対象建築物における年間エネルギー収支

図-8 に対象建築物における年間のエネルギー収支 (2001年6月1日~2002年5月31日)を示す・暖房時におけるヒートポンプ投入電力量,地盤採熱量は、それぞれ18.7 GJ、42.6 GJ であり、地下熱の寄与率は62.7%であった。また、冷房時における地盤放熱量は、27.6 GJ (地下熱直接利用型:11.6 GJ、ヒートポンプ利用:16.0 GJ)であり、地盤採熱量の6割程度であった・

4. 省エネルギー,環境保全,経済性の評価 空調用エネルギーパイルシステムと従来方式 (ガス冷温水機(成績係数:暖房0.8,冷房1.0) および空気熱源ヒートポンプ(システム成績係 数:暖房 2.2, 冷房 3.1) ⁽¹⁾) について一次エネル ギー消費量,二酸化炭素排出量および運用コスト の比較を行った (エネルギー種別熱量換算値:電 力 10.258 MJ/(kW·h)⁷⁾,都市ガス 13A 46.055 MJ/㎡ 8),二酸化炭素排出係数:電力0.139 kg-C/(kW·h)9), 都市ガス 13A 0.647 kg-C/m^{3 8)}, コスト:電力 ¹⁰⁾ (従量電灯 B) 基本料金 1550 円/月, 電力料金 24.39 円/(kW·h), (融雪用電力 B) 基本料金(設 定した3箇月)1200円/(kW·月),(その他の月) 300円/(kW·月),電力料金7.53円/(kW·h),都市 ガス¹¹⁾13A(暖房用季節契約)基本料金(11月, 5月)4100円/月,(12~4月)8200円/月,従量

表-2 一年目・二年目における冷房運転実績の比較 (期間平均値)

AND THE PARTY OF T	一年目	二年目			
地下熱直接利用型冷房					
室内気温	[°C]	24, 5	-		
室内湿度	[%]	66. 8	-		
地盤側熱媒温度 [℃]	送り	21. 2			
地面に対象を回びして	返り	20.0	-		
摩擦杭表面温度(5点平均)	[°C]	15. 1			
建物側熱媒温度「°C]	送り	20.0			
是700回 MRX 图 C C J	返り	21, 2	-		
日積算室供給熱量	[MJ/日]	166.4	-		
日積算搬送・制御系電力消費量	[MJ/日]	14.9	-		
EER [=Qc/E,]	[-]	18.6			
ヒートポンプ	可用冷房				
室内気温	[°C]	24.3	23.5		
室内湿度	[%]	65.8	52.3		
地盤側熱媒温度 [℃]	送り	27.4	31.6		
	返り	24. 1	29. 1		
摩擦杭表面温度(5点平均)	[°C]	15.4	17.9		
蓄熱褶熱媒出口温度	[°C]	8. 7	8. 0		
建物側熱媒返り温度	[°C]	21. 1	10, 8		
日積算室供給熱量	[M]/日]	173.6	373.3		
日積算ヒートポンプ・変圧器電力消費量	[MJ/日]	78.9	136. 1		
日積算ヒートポンプ稼働時間	[h/日]	10.3	13.9		
日積算搬送・制御系電力消費量	[MJ/日]	20.0	23.5		
COP [=Qc/Eh]	[-]	3.9	3. 9		
SCOP, [=Qc/(Bh+B,)]	[-]	3.0	3. 1		
$SCOP_2 = Q_c/(E_b+E_p+E_1)$	[-]	2. 3	2.6		

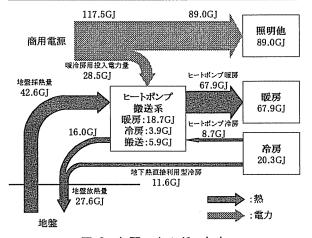


図-8 年間エネルギー収支

料金 105.75 円/㎡, (空調夏期契約) 定額基本料 金5000円/月,流量基本料金1100円/月,従量料 金84.1円/m³).図-9~図-11にそれぞれ一次エネ ルギー消費量,二酸化炭素排出量および運用コス トの比較を示す.変圧器損失を考慮した場合の一 次エネルギー消費量,二酸化炭素排出量は,それ ぞれ 81.2 GJ, 1099.9 kg-C であり, ガス冷温水 機に対する削減率は、それぞれ 31.0%、33.2% であった。また、運用コストに関しては、融雪用 電力の適用により 58.0%と極めて高い削減効果 が期待できると考えられる. 図-12 に空気熱源ヒ ートポンプに対するペイバックタイムを示す(地 上設備:エネルギー6131 MJ¹²⁾,二酸化炭素 114.5 kg-C¹²⁾, コスト 0.242 千円/MJ¹³⁾, 地下設備:エ ネルギー268.6 MJ/m¹⁴⁾,二酸化炭素 5.2 kg-C¹⁵⁾, コスト 0.6 千円/m¹⁴⁾). 一次エネルギー消費量, 二酸化炭素排出量に関するペイバックタイムは、 それぞれ 2.5 年, 3.5 年であった. また, 融雪用 電力の適用により,運用コストのペイバックタイ

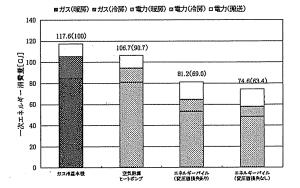


図-9 一次エネルギー消費量の比較

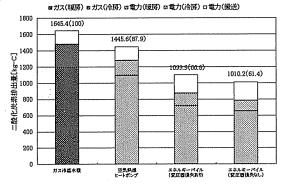


図-10 二酸化炭素排出量の比較

ムは 1.5 年となる. いずれも 4 年以下であり,省エネルギー性,環境保全性,経済性ともに,非常に優れたシステムであると考えられる.

まとめ

- 1) 長さ9mの摩擦杭26本を空調用熱交換器として利用するエネルギーパイルシステムを2000年12月に竣工した対象建築物に適用した.
- 2) 一年目の冷房運転実績を整理した.地下熱直接利用型冷房における地盤側熱媒返り温度の期間平均値は 20.0℃であり、良好な冷水が得られていることを示した.また、搬送系電力消費量に対する室供給熱量の比として定義したエネルギー使用効率は 18.6 と極めて高効率であった.
- 3) ヒートポンプによる冷房運転時の地盤側熱媒返り温度の期間平均値は 24.1℃であり、凝縮器のヒートシンクとして有効であることがわかった。また、このときの成績係数は 3.9 であった。
- 4) 二年目の暖房運転における期間平均の地盤側 熱媒返り温度は5.9°C,ヒートポンプの成績係数 は4.5であった。また、主観申告の結果より、居 住者にとって良好な環境が得られていることを 示した。
- 5) 二年目の冷房運転におけるヒートポンプ利用 冷房時の成績係数の期間平均値は3.9であり,経 年変化はほとんど見られなかった.また,二年目 における室内湿度は,52.3%であり,除湿の効 果が大きいことを示した.
- 6) 対象建築物における年間エネルギー収支を整

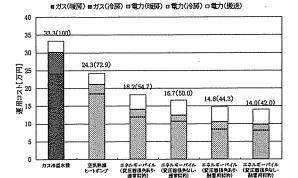


図-11 運用コストの比較

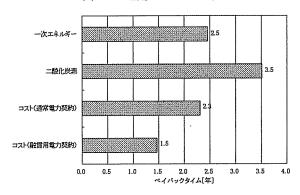


図-12 ペイバックタイムの計算結果

理した・暖房時におけるヒートポンプ投入電力量, 地盤採熱量は、それぞれ 18.7 GJ, 42.6 GJ であ り、地下熱の寄与率は 62.7%であった・また、 冷房時における地盤放熱量は、27.6 GJ であった・ 7) 従来の暖冷房方式に対する運用段階における 年間の削減率は、一次エネルギー、二酸化炭素に ついて、それぞれ 31.0%、33.2%であった・コ ストについては、融雪用電力の適用により 58.0%と極めて高い削減率が得られた・さらに、 ペイバックタイムによる評価を行った結果、摩擦 杭利用による建設段階における大幅な削減によ って、エネルギー、二酸化炭素、コストのいずれ においても 4 年以内となった・

本研究の一部は、財団法人矢崎科学技術振興記念財団 2001 年度奨励研究助成 "空調用エネルギーパイルシステムの開発"によった、〈参考文献〉1) K. Ochifuji et al.: Ground-source Heat Pump Systems in Japan, IEA Heat Pump Centre Newsletter ,17-1(Mar., 1999), pp.13~14 2) 落藤 澄:地下蓄熱の現状、建築設備を昇降機、21(1999-9), pp.10~15 3) 濱田靖弘・窪田英樹・中村真人・長倉香織・斎藤 央・横山真太郎・落藤 澄・固山佐雄・照井康穂:空調用エネルギーバイルシステムに関する研究、空気調和・衛生工学会育論演論対論、文集(2001-9), pp.353~356 4) Stiebel Eltron:協下mepumpen-systeme planung und installation (Mar., 2000), pp.33~37 5) 佐藤方彦監修・横山真太郎ら共編:人間工学基準数値数式(要克則・横山真太郎:自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー収支および土壌熱源ヒートボンブの評価、空気調和・衛生工学会第文集、80(2001-1), pp.77~86 7) 省エネルギーハンドブック海線・長野克則・横山真太郎・自然エネルギーの評価、空気調和・衛生工学会系上等人と言えるコージを表上、カンギー機構 8) 空気調和・衛生工学会・部・ガスによるコージ環境に関する委員会:地球環境時代における建築設備の課題(1995-7)、空気調和・6年生工学会 10 http://www.hepco.co.jp/ 11 http://www.hokkaido-gas.co.jp/ 12) 日本建築学会:建物の ICA 指針(案)(1999) 13) 橋本 建ら:建築設備の環境負荷評価、空気調和・衛生工学、70-2(1996-2)、pp.23~36 14) 資源協会:家庭生活のライフサイクルエネルギー(1994)、あんほるめ 15) 石福 昭ら:地球環境時代における建築設備の課題、空気調和・衛生工学、70-2(1996-2)、pp.115~157