



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 他
Description	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
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 10, 49-52
Issue Date	2002-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7098
Type	departmental bulletin paper
File Information	10-3-1_p49-52.pdf



3-1

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—

○齋藤 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 (アープ建築研究所)

濱田 靖弘 (北海道大学)
窪田 英樹 (北海道大学)
落藤 澄 (北海道大学)
照井 康穂 (アープ建築研究所)

はじめに

筆者らの研究室において地下熱利用システム^{1),2)}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ー・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9m、合計26本のコンクリート製摩擦杭(外径302mm、内径232mm)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

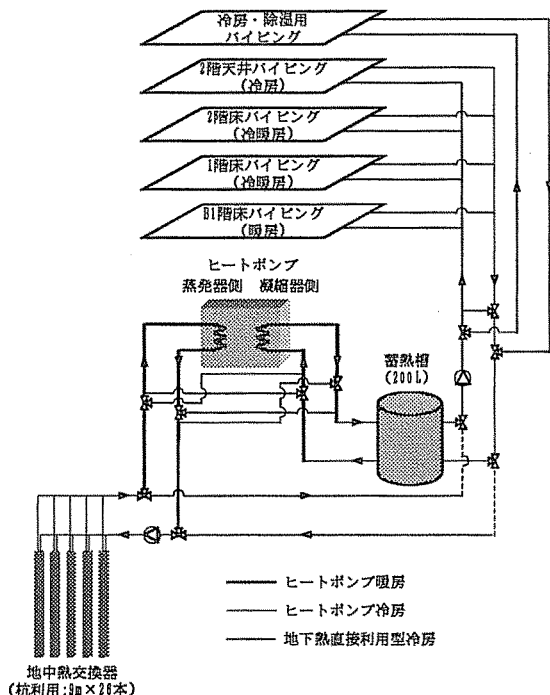


図-1 暖冷房設備の系統図

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°C、建物側温水温度50°Cの場合の電力消費量、成績係数は、それぞれ3.8kW、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(200L)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戻り温度、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°Cでおおむね安定した推移を示している。また、地盤側熱媒戻り温度の日平均値は19.3°C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戻り温度、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°Cとなったが、室内気温は23.3~24.9°Cで安定した推移を示している。また、地盤側熱媒返

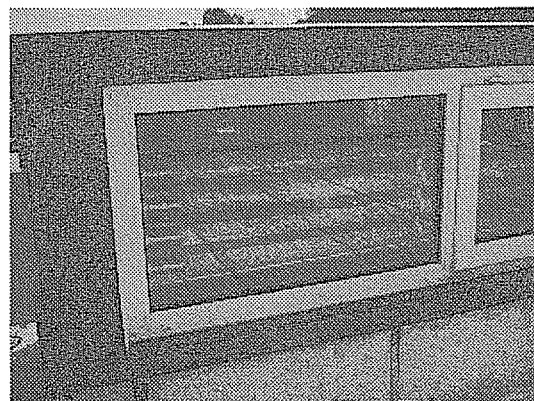


図-2 冷房・除湿用配管

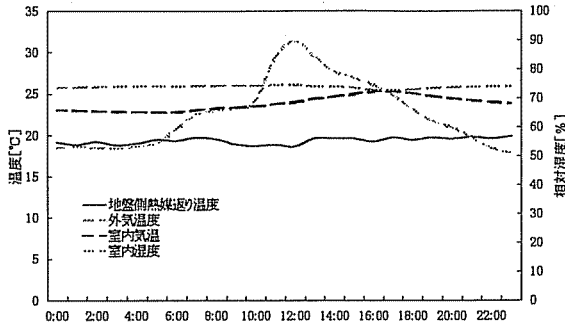


図-3 代表日における温湿度の変動
(一年目・地下熱直接利用型冷房)

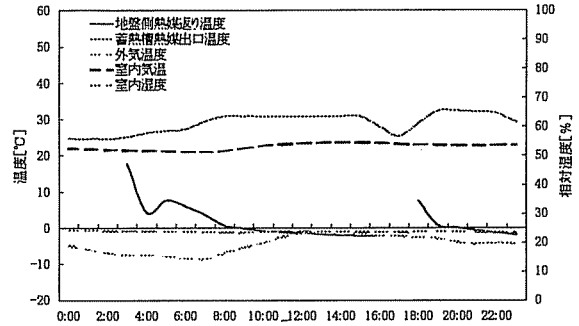


図-5 代表日における温湿度の変動
(二年目・ヒートポンプ利用暖房)

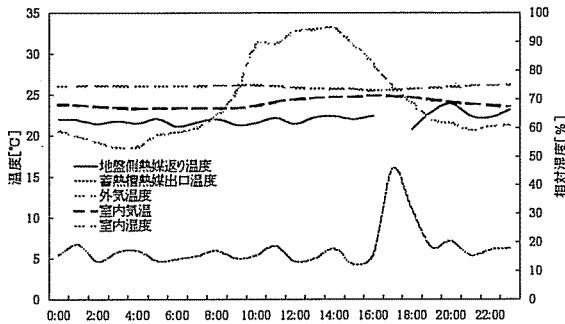


図-4 代表日における温湿度の変動
(一年目・ヒートポンプ利用冷房)

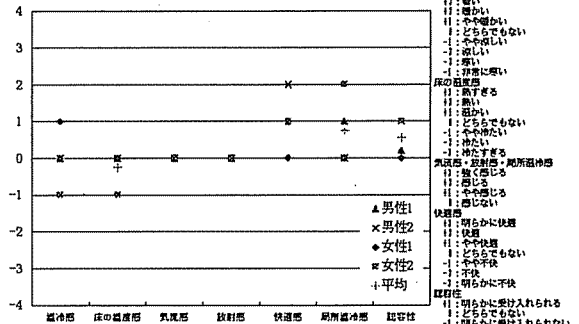


図-6 居住者による主観申告結果

り温度の日平均値は 22.0°C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戻り温度、建物側熱媒送り温度、室内温湿度および外気温の変動を示す。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°C、最低-8.7°Cであり、7.6°Cの温度幅があったのに対して、室内気温は20.9~23.6°C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、地盤側熱媒戻り温度の日平均値は1.6°C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°C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

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戻り温度、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24.0~26.6°Cでおおむね安定した推移を示している。また、室内湿度は59.2~63.3%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_h :室供給熱量, E_h :ヒートポンプ電力消費量, E_p :搬送・制御系電力消費量, E_t :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戻り温度の平均値は5.9°C、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%、

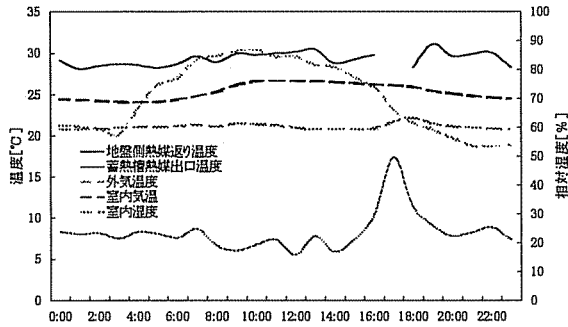


図-7 代表日における温湿度の変動
(二年目・ヒートポンプ利用冷房)

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 [°C]	送り	2.9
	返り	3.3
摩擦抗表面温度 (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 [MJ/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/日]	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 _h /E _h]	3.9	4.5
SCOP ₁ [=Q _h /(E _h +E _{h1})]	3.2	3.7
SCOP ₂ [=Q _h /(E _h +E _{h1} +E _{h2})]	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)⁹⁾ 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/m³⁸⁾, 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/m³⁸⁾, 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)

	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 [°C]	送り	21.2
	返り	20.0
摩擦抗表面温度 (5点平均) [°C]	15.1	-
建物側熱媒温度 [°C]	送り	20.0
	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	-
EBR [=Q _c /E _c]	18.6	-
ヒートポンプ利用冷房		
室内気温 [°C]	24.3	23.5
室内湿度 [%]	65.8	52.3
地盤側熱媒温度 [°C]	送り	27.4
	返り	24.1
摩擦抗表面温度 (5点平均) [°C]	15.4	17.9
蓄熱槽熱媒出口温度 [°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 [MJ/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 [=Q _c /E _c]	3.9	3.9
SCOP ₁ [=Q _c /(E _c +E _{c1})]	3.0	3.1
SCOP ₂ [=Q _c /(E _c +E _{c1} +E _{c2})]	2.3	2.6

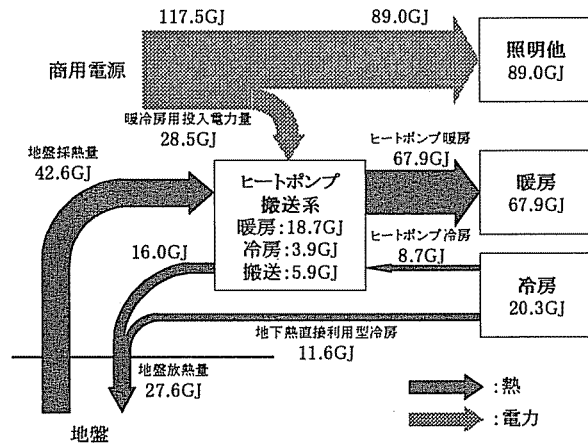


図-8 年間エネルギー収支

料金 105.75 円/m³, (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

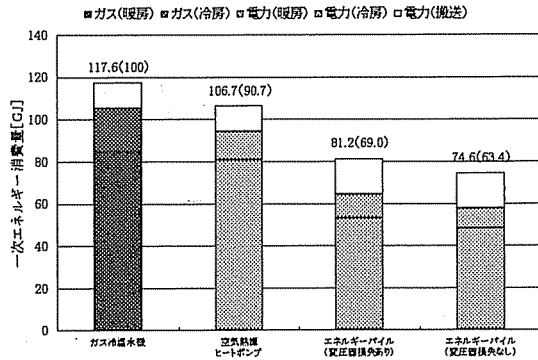


図-9 一次エネルギー消費量の比較

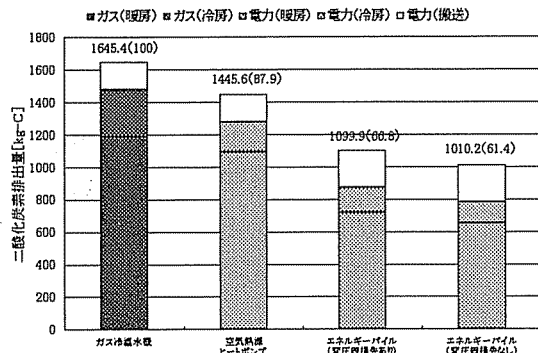


図-10 二酸化炭素排出量の比較

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戻り温度の期間平均値は20.0°C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戻り温度の期間平均値は24.1°C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戻り温度は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

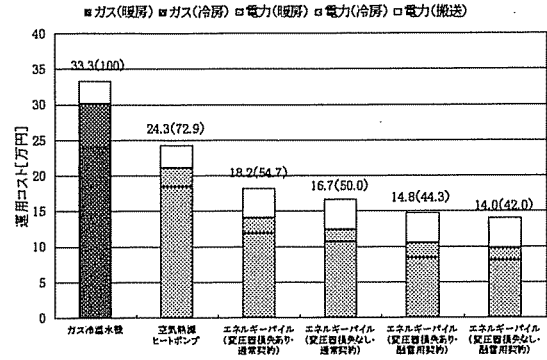


図-11 運用コストの比較

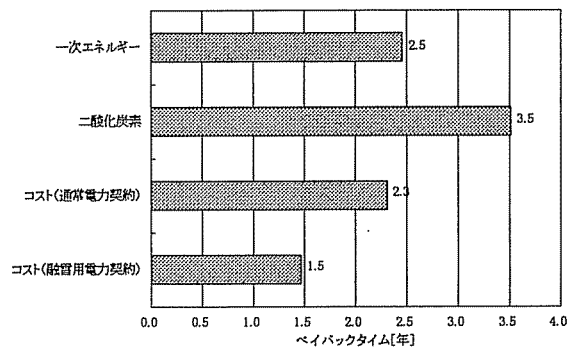


図-12 ペイバックタイムの計算結果

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”による。(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, 建築設備と昇降機, 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・園山彬雄・照井康穂: 空調用エネルギーパイルシステムに関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2001-9), pp.353~356 4) Stiebel Eltron: Wärmepumpen-systeme planung und installation (Mar., 2000), pp.33~37 5) 佐藤方彦監修・横山真太郎ら共編: 人間工学基準数値式式便覧(1992), p.296, 技報堂 6) 濱田靖弘・中村真人・落藤 澄・長野克剛・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自律型住宅に関する研究(第3報) 数値解析による年間エネルギー収支および土壌熱源ヒートポンプの評価, 空気調和・衛生工学会論文集, 80(2001-1), pp.77~86 7) 省エネルギーハンドブック編集委員会: 省エネルギーハンドブック '98(1998-4), 住宅・建築 省エネルギー機構 8) 空気調和・衛生工学会: 都市ガスによるコーゼレーションシステム計画・設計と評価(1994-6), 丸善 9) 地球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・衛生工学会 10) <http://www.hepco.co.jp/> 11) <http://www.hokkaido-gas.co.jp/> 12) 日本建築学会: 建物のLCA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.23~30 14) 資源協会: 家庭生活のライフサイクルエネルギー(1994), あんぼるめ 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