地中熱ヒートポンプシステムの 全電化熱源における最適運転 モードに関する研究 —病院における実施例—

STUDY OF THE MOST SUITABLE OPERATION OF GROUND SOURCE HEAT PUMP SYSTEM FOR TOTALLY ELECTRIFIED HEATING AND COOLING SYSTEM — A practical example in a hospital —

若山尚之 — *1 長野克則 — *2
金田一清香 — *3

Hisashi WAKAYAMA — *1 Katsunori NAGANO — *2
Sayaka KINDAICHI — *3

キーワード：
地中熱, 昼夜間蓄熱, 基礎杭, 全電化熱源, 低温型床暖房

Keywords:
Ground source, Short term heat storage, PHC foundation, Totally electrified heating and cooling, Low temperature floor heating

This paper indicates a heat source system which is installed in a totally electrified hospital built in April 2008. The heat source system consists of a high efficient screw type heat pump chiller with ice storage and another module type air cooled heat pumps. A ground source heat pump system is also introduced by using the foundation piles as ground heat exchangers. In this paper, seasonal and daily operation modes of the system are investigated. Measures for high efficient operation and energy saving in the whole system are finally proposed.

1. はじめに

病院施設は一般的に熱エネルギー多消費型の施設といわれている。実際、空調については、病棟エリアは24時間空調が必要になり、運転時間も長くなる。また、給湯も病棟での入浴、厨房での洗浄と多く利用してしまうのが現状である。このような多消費型施設であるため、とりわけ熱源計画を行う際には省エネルギーへの配慮が重要となってくる。

今回紹介するR病院は、リハビリテーションに特化した病院である。したがって、総合病院にある手術室関連諸室や中央材料系統は計画に含まれておらず、滅菌のための高温熱源は施設条件として不要である。そういったこの病院の施設の特性や設計条件を元に、後述する熱源設備の設計コンセプトを掲げ、全電化型の熱源システムによる計画を行った。この規模における全電化熱源システムを導入した病院の実績は数例報告されているものの、実績は少ないのが実情である。

また、熱源の一部として基礎杭利用型の地中熱ヒートポンプシステムも導入している。本報では、そのR病院における熱源計画の概要を紹介すると共に、地中熱ヒートポンプシステムについても焦点を当て、運用における省エネルギー概念についても報告する。

2. 施設概要

本研究の対象とした病院は、脳血管疾患などによる後遺障害に対処するため、発症初期から集中的なリハビリテーションを施すことにより、早期に社会復帰することができるところを目指す、リハビリテーションに特化した病院である。機能回復を目的とした理学療法、自宅での生活を想定した作業療法が行えるような設備を完備し、患者の視点に立った建築となるよう計画策定されている。施設の竣工は平成19年12月に完了し、平成20年4月に開院した。

3. 熱源システム概要

3.1 基本方針

本施設は病院という特性上、稼働時間によるゾーンが明確に分かれている。また、熱源としては大きく空調用と給湯用それぞれが必要になる。そういった病院としての特徴を前提に、「環境性への配慮」、「ライフサイクルの視点によるコストの有効性」、「安全性・信頼性の高いシステム」という観点から、全て電力による熱源システムを構成した。

3.2 熱源機器構成

まず、高効率のモジュール型空冷ヒートポンプチラー(HHP)を冷却、加熱の主熱源とし、冷却専用熱源として高効率スクルーチラー(SHP)を設置するとともに氷蓄熱ユニット(IHP)を併設し、蓄熱運

表1 建築概要

	内容
所在地	千葉県船橋市
主要構造	RC, S
階数	4階
建築面積	5,949.5 m ²
延床面積	13,946.9 m ²
最高の高さ	GL+18m
病床数	200床

図1 建物全景

*1 ㈱日本設計九州支社 主任技師
(〒810-0001 福岡市中央区天神 1-13-2 福岡興銀ビル)
*2 北海道大学大学院工学研究科 教授
*3 東京大学大学院工学系研究科 特任助教

*1 Senior Engineer, NIHON SEKKEI INC. KYUSYU BRANCH
*2 Prof., Faculty of Engineering, Hokkaido Univ.
*3 Project Assistant Prof., School of Engineering, The Univ. of Tokyo

転も行っている。また、加熱専用熱源としてモジュール型空冷ヒートポンプチャラーのヒートマシン仕様(EHP)を設置し、給湯加熱用には給湯用空冷ヒートポンプ(HWHP)を設置している。更に、本計画の大きな特徴である地中熱ヒートポンプ(GSHP)システムを熱源に組み込んでいる。(以下括弧内の記号により表記)

3.3 熱源システム概要

熱源システムとしては、冷水温水を同時供給し、温度設定を自由に行える4管式システムとした。また、各室に設置されたファンコイルユニット及び空調機は2コイルとし、冷暖房を自由に行うことのできるシステムで構成している。

本熱源での特徴的な省エネルギーコンセプトを以下に示す。

- ① トップランナー機種の選定：冷凍機選定の際には高効率実績のある種類を導入の前提とする。
- ② 部分負荷時高効率特性への着目：HHPの部分負荷時における高効率性を有効に活用するため、負荷変動分をHHPで賄うことで熱源全体での効率を向上させる。
- ③ 熱源の段階活用によるシステムとしての高効率化：給湯加熱はまず予熱として夏季夜間はGSHPによる加熱、その他季節はEHPにより補給水温度から38℃まで加熱し、続いてHWHPにより給湯温度60℃まで昇温させることで給湯全体での効率を向上さ

せている。また、この段階加熱方式とすることで、製品価格がまだ高い給湯専用ヒートポンプのみの給湯加熱に比較して、加熱熱量あたりのイニシャルコスト低減にもつなげている。

- ④ 電力料金システムの有効活用：電力料金の割引条件に一部運用を適用することでランニングコストの低減につなげている。
- ⑤ 地中熱ヒートポンプシステムの導入：詳細コンセプトは後述
- ⑥ 温水供給温度の分離分割供給：中央系統の温水供給温度(45℃)とは床暖房への温水供給を分離し、GSHPより低温水(約35℃)で供給し、機器のCOPを高い条件で運転させる。

表2 熱源機器概要

主要機器名	台数	仕様	設置場所
空冷 HP チャラー (HHP)	11 ユニット	総冷熱：1,177kw 総温熱：1,298kw	屋上
空冷 HP チャラー (ヒートマシン仕様) (EHP)	3 ユニット	総冷熱：(321kw) 総温熱：354kw	屋上
高効率スクリーチャー +水蓄熱ユニット (SHP)	1 セット	冷熱：490kw 冷熱蓄熱量：3,498kwh ※水蓄熱槽3基を設置	冷却塔：屋上 チャラー：主機械室 蓄熱槽：地上
地中熱利用型水冷ヒート ポンプチャラー (GSHP)	1基	冷熱：50kw 温熱：62kw	主機械室
給湯用空冷ヒートポンプ (HWHP)	3基	温熱：52kw 消費電力：20kw	屋上

図2 熱源システム概略系統図

熱源機器の構成及び能力については表2に示す。また、熱源の概略系統図を図2に示す。

3.4 熱源システム作動概念

本計画における熱源システムの運用方法について、夏季、冬季の季節毎に昼間、夜間それぞれの運転概念を示すと共に、想定されるピーク時負荷変動を各機器の熱供給量の合計として提示する。

(1) 夏季

a) 昼間

冷水は後述する作動概念により GSHP を第一順位とし、SHP を第2順位としている。負荷変動分に関しては部分負荷時の効率が非常に高い HHP で追従させ、熱源全体で高効率となる熱源の運用を目指している。また、ピーク時間帯である 13 時～16 時に関しては氷蓄熱からの供給とすることで、ピーク時間調整契約を活用し、ランニングコストについても最大限低減する運用を行っている。

b) 夜間

夜間は低負荷のため、冷水は部分負荷時効率の高い HHP にて供給する。SHP は製氷運転により氷蓄熱を行う。また、GSHP は給湯予熱を行う。

図3 冷房運転想定熱供給パターン

(2) 冬季

a) 昼間

冬季は暖房及び給湯予熱のための温水供給が主たる負荷であり、HHP より供給する。冷水は SHP での供給をベースとする。GSHP はセントラル系統と切り離し、床暖房専用で供給温水温度を 30℃程度まで下げ、高効率な運転を行う。基本的に床暖房は夜間の蓄熱を主とし、昼間は追掛け運転とする。

b) 夜間

温水供給は昼間と同じく HHP、冷水は SHP での供給。GSHP は基本的に深夜電力を活用し、床暖房として躯体への蓄熱運転を行う。

図4 暖房運転想定熱供給パターン

3.5 熱源エネルギーフロー概要

本熱源設備に関して、一次側の年間電力投入量、各熱源機器からの年間熱供給量を想定し、図5にエネルギーフロー図として示す。熱源機器の想定消費電力量については、上段が昼間電力、下段が深夜電力を表している。想定熱供給量についても、上段が昼間の供給熱量、下段が深夜の供給熱量である。熱源機器からの供給先については、利用形態毎に分類し、それぞれに利用温度を付記している。また、想定投入電力量、想定供給熱量に加えて、熱源機器からの空気中への放熱量、採熱量と、地中への放熱量、採熱量を想定される年間積算値として示している。

図5 熱源システムエネルギーフロー概念図

3.6 地中熱利用システム概要

(1) 導入の目的

本計画では地中熱を利用するシステムを採用している。これは、冬季においては外気よりも温度が高く、夏季は外気温度よりも温度レベルの低い地中からの採熱を行うことで、外気熱源よりも熱効率の高いシステムを実現するための手法という位置づけである。一方、ヒートアイランド防止という観点からも、夏季昼間の空気中への放熱量削減のため、土壌内への放熱を行うことで、周辺環境の空気温度上昇を緩和するという設計趣旨も併せ持っている。また、採熱管施工方法も新規に土壌内を掘削し配管工事を行うことをせずに、建築で工事を行う基礎杭内部に配管を施工することで、地中熱利用技術採用の最大の導入阻害要因であるイニシャルコストの増加を抑え、コスト低減にも配慮を行った計画としている。

(2) システム概要

システムの構成要素は、まず採熱パートとして基礎杭内部に高密度ポリエチレン製(20A)のUチューブ2対を設置し、採熱管により地中内の熱を採放熱する。また、昇温・冷却を行うための4方弁内蔵地中熱利用型水冷ヒートポンプを熱源機械室に設置している。ヒ

図6 GSHPシステム運転作動概念図

ートポンプ以降は全体の熱源システムに接続したセントラル熱源システムとの連結と、単独熱源での床暖房用熱供給を切り替えることが可能なシステムとしている。

地中熱ヒートポンプシステムの運用方法については、図6に夏・冬、昼・夜の運転概念をそれぞれモード毎に示す。冬季は温水（35℃）を床暖房用配管に循環させ、深夜電力時間帯にヒートポンプを稼働させて躯体蓄熱を行い、昼間は躯体蓄熱からの放熱とし、追掛け運転を最小限行う計画である。冬季運転時は全体熱源系統とは切り離し、床暖房配管へ直接温水を供給するシステムとしている。これは、温水供給温度を30～35℃にすることで、高齢者の低温火傷防止という安全性を確保すると共に、供給温度を一般暖房系統の45℃から10℃を超えて低下させることでヒートポンプのCOPを向上させるという、運用上及び省エネルギー性向上の目的も兼ねた措置である。

夏季は、セントラル系統と連結させ昼間は冷水を供給させる。この際、冷水運転時には地中熱ヒートポンプから温熱を地中に放熱している。夜間は深夜電力を利用して給湯予熱槽を加熱、つまり温熱蓄熱を行うが、夜間運転時はヒートポンプが温熱供給運転であり、冷排熱を地中へ放熱する運転である。この運転については、昼間の冷水運転時の地中への温排熱は夜間の給湯予熱運転から見れば温熱蓄熱という位置づけとなる。同様に、夜間の給湯予熱運転時の地中への冷排熱は昼間の冷水運転から見た場合、冷熱蓄熱と見ることができる。つまり本システムではこのようにモードを昼夜で切り替えて運転させることで、熱効率を最大限向上させる計画としている。これは、地中熱利用システムでの効率低下の働きをもたらす土壤の蓄熱性を逆手にとり、COP向上及び温熱と冷熱負荷の時間的な不一致を蓄熱することにより解消しようというコンセプトである。

(3) 地中熱ヒートポンプシステムパフォーマンス予測

以上述べた地中熱ヒートポンプシステムに関するコンセプトの有用性について数値解析によりパフォーマンス予測を行った。数値解析はGSHP設計性能予測ツール³⁾を用いて分析を行い、表3では解析条件を上段に、解析結果を下段に示した。CASE1では冬季床暖房の

み、夏季は冷熱という一般的な運転条件、CASE2では、冬季床暖房のみ、夏季夜間に給湯予熱運転、昼間に冷水供給を繰り返すという条件である。解析結果ではGSHPのCOPとして見ると、冷房運転時、一般的な運転条件であるCASE1に比較して、夜間に給湯予熱運転、昼間に冷水供給運転を繰り返す条件のCASE2で3.7→4.2と効率改善が期待できる結果となった。数値解析の上では、地中熱の特性である「蓄熱性」が効率改善に寄与する結果となったが、実際の運用時におけるパフォーマンスを実測、分析を行って、検証することが望まれる。

表3 地中熱システム数値解析条件及び結果

解析条件	季節	昼/夜	CASE1	CASE2
			冬季：床暖房 中間季：運転無 夏季：冷房のみ	冬季：床暖房 中間季：運転無 夏季：冷房/給湯
	冬季	夜間	深夜電力による3時間床暖房加熱運転	
		昼間	12時以降1時間毎に15min追い掛け運転	
	夏季	夜間	運転無	給湯予熱運転
昼間		8時間冷房運転	8時間冷房運転	
解析結果	季節	対象	CASE1(COP)	CASE2(COP)
	冬季	床暖房	5.7	5.5
	夏季	冷房	3.7	4.2
		予熱	—	4.5
備考	※給湯予熱解析条件は(12m ³ 、25→40℃)。 ※床暖房の温水供給温度は35℃と設定 ※解析結果COPは季節平均。			

4. あとがき

本報告ではR病院の熱源設備計画について、システムの概要を述べると共に省エネルギーの概念をエネルギーフローとして示し、計画段階における検討の結果を示した。今後は実運転におけるデータ計測を行い、詳細な分析を行っていく予定である。

本研究を遂行するに当たり、R病院、船橋市役所の関係各位、東京電力の野田浩志氏、濱村誠彦氏及び担当者の皆様、ダイダンの石井勝氏、そして、数値解析においては北九州市立大学の葛隆生氏に協力頂きました。本プロジェクトにおけるすべての関係者の方々に対し、ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 若山、長野、葛、金田一、佐伯：全電化熱源システムを導入した病院のエネルギー環境に関する研究(第1報)熱源システムの構成と導入した省エネルギー手法、空気調和衛生工学会大会学術講演論文集 pp. 1587～1590, 2008
- 2) 石井、若山、長野、葛、金田一：同題(第2報)基礎杭利用型地中熱システムの概要、空気調和衛生工学会大会学術講演論文集 pp. 1591～1594, 2008
- 3) 長野克則：講座「地中熱利用ヒートポンプシステム」地上施設の計画と施工 Vol. 28 No. 1 日本地熱学会誌 2006 年第1号 pp. 107～124
- 4) 関根、大岡、深尾、立原、横井、村上：基礎杭利用による地中熱空調システムの経済的導入可能性の調査研究 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集 pp. 1045～1048, 2003

[2009年2月19日原稿受理 2009年4月6日採用決定]