

関西電力病院における省エネルギー・省資源システムの計画と室内環境・エネルギー性能の検証・評価
 Study on Verification and Evaluation of Indoor Environment and Energy Performance
 In The Kansai Electric Power Hospital

関西電力株式会社
 The Kansai Electric Power Co., Inc.
 松岡 紗矢佳、林 英人
 Sayaka Matsuoka, Hideto Hayashi

キーワード：都市型病院(Urban Hospital)、省エネルギー(Energy Conservation)、
 性能検証(Performance Verification)、BEMS(BEMS)、
 LCEMツール (Life Cycle Energy Management Tool)

1. はじめに

関西電力病院（以下、本病院）は大阪市中心部に立地する都市型病院である。周囲に建物が密集する狭隘な敷地にあり建物を高層化せざるを得ない中、「地球環境への“負荷”を低減し、治療環境の“質”を向上させる都市型病院」を目指して新病院の建設が進められ、2010年3月に着工、2013年5月に開院した。

計画においては、上述のコンセプトに基づいて様々な省エネルギー・省資源システム（図1.1）を導入し、レファレンス^{文1}に対して一次エネルギー消費量原単位^{注1}および水使用量原単位の20%以上削減を目標とした。運用においては、建物引き渡し前段階から関係者による性能検証体制を構築し、BEMSや実測データを活用して継続的に室内環境およびエネルギー性能の検証・評価を行った。

地球環境への“負荷”を低減し、治療環境の“質”を向上させる都市型病院

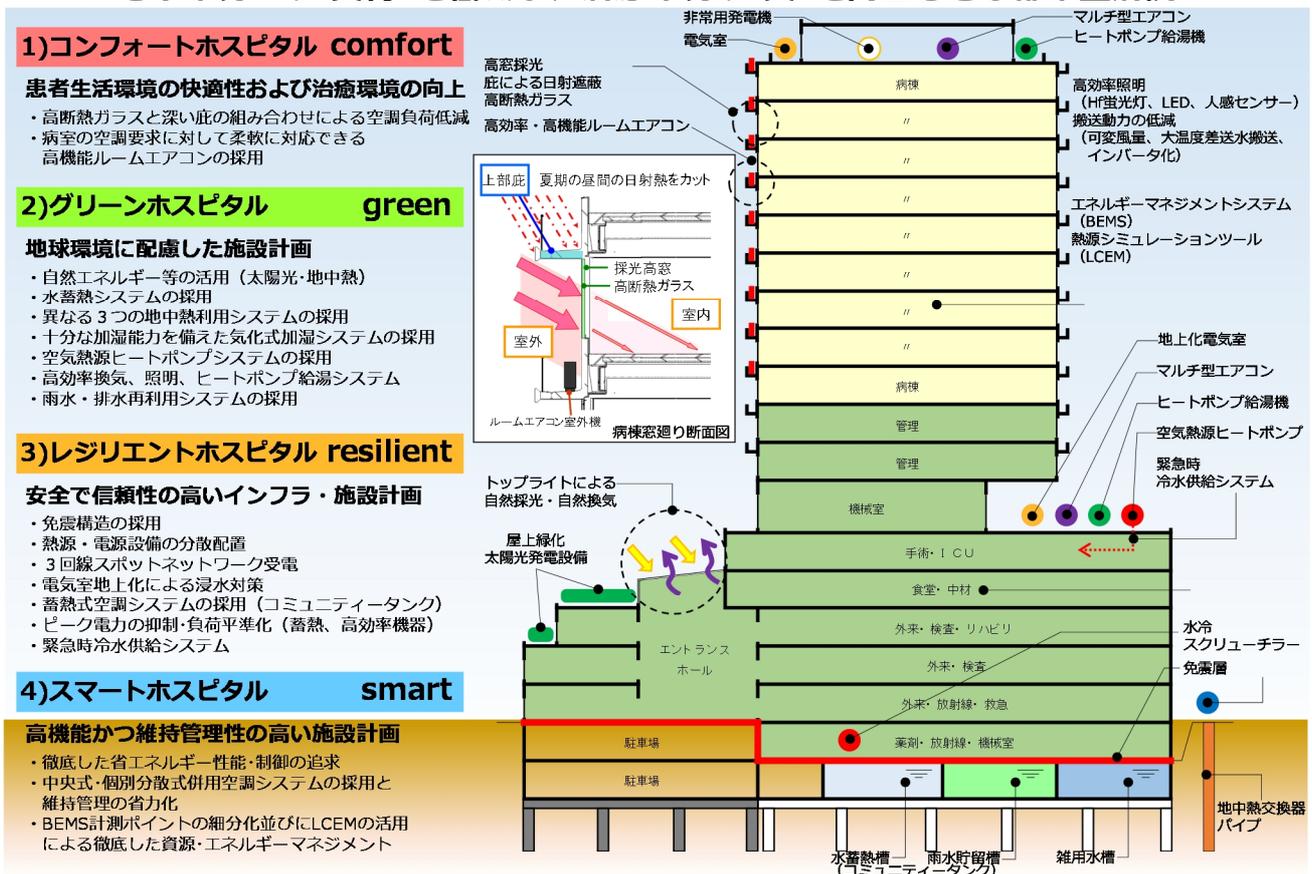


図 1.1 4つのコンセプトと具体的な取組み

2. 計画概要

建築概要

建設地：大阪市福島区福島2丁目1-7
 地域地区：商業地域、防火地域、駐車場整備地区
 敷地面積：9,664㎡
 建築面積：4,429㎡
 延床面積：(I期)33,753㎡
 (I+II期)40,116㎡
 構造：鉄筋コンクリート造、一部鉄骨造、免震構造
 階数：地下2階、地上18階、塔屋1階
 建物高さ：81m
 駐車場台数：103台
 病床数：400床
 工事期間：(I期)平成22年3月～平成25年3月
 (I期開院)平成25年5月
 (II期)平成25年6月～平成27年2月
 (II期開院)平成27年2月



写真 2.1 建物外観

設備概要

<電気設備>
 受電方式：3回線系統ネットワーク受電
 受電電圧・周波数：3相3線、22kV、60Hz
 受変電設備仕様：特高変電設備/閉鎖型配電盤
 高圧変電設備/キュービクル
 発電機仕様：ガスタービンエンジン、2000kVA
 特A重油、72時間分
 配電方式：電灯/単相3線 210/105V
 動力/3相3線 210V
 主たる照明器具：高効率高周波点灯型蛍光灯
 中央監視制御：分散処理方式、オープンネットワーク方式
 通信・情報設備：テレビ共聴、ナースコール、入室管理、ITVカメラ
 防災設備：自動火災報知設備、非常放送、非常コンセント、避難口誘導灯
 <空調設備>
 熱源：空気熱源ヒートポンプチャ、水冷スクリーチラー、地中熱利用ヒートポンプチャ、水蓄熱槽
 空調方式：外来診療/単一ダクト+ファンコイル方式、又は単一ダクト+ヒーター方式
 病棟/外気処理70%+個別パッケージエアコン方式
 配管：冷水、温水、冷温水、冷媒、ドレン
 ダクト方式：低圧ダクト
 換気：第一種換気(居室)、第三種換気(トイ)
 排煙方式：機械排煙方式、一部自然排煙
 自動制御：DDC方式
 <給排水衛生設備>
 給水設備：病棟/重力給水方式、一部加圧診療/加圧給水方式
 給湯設備：ヒートポンプ給湯システムによるセントラル給湯方式
 排水設備：汚水、雑排水、厨房排水、高温排水、滅菌排水、中和排水、RI排水
 通気：ルーフ通気
 消火：スプリンクラー、連結送水管、泡消火、不活性ガス消火
 その他：医療ガス設備
 <搬送設備>
 エレベータ(15台)、エスカレータ(4台)、小荷物専用昇降機(4台)

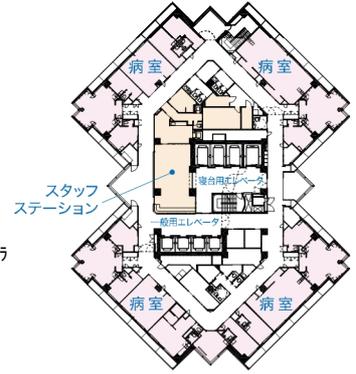


図 2.1 高層階平面図

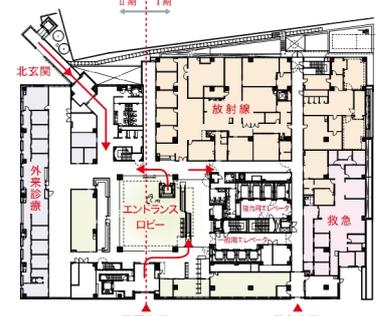


図 2.2 低層階平面図

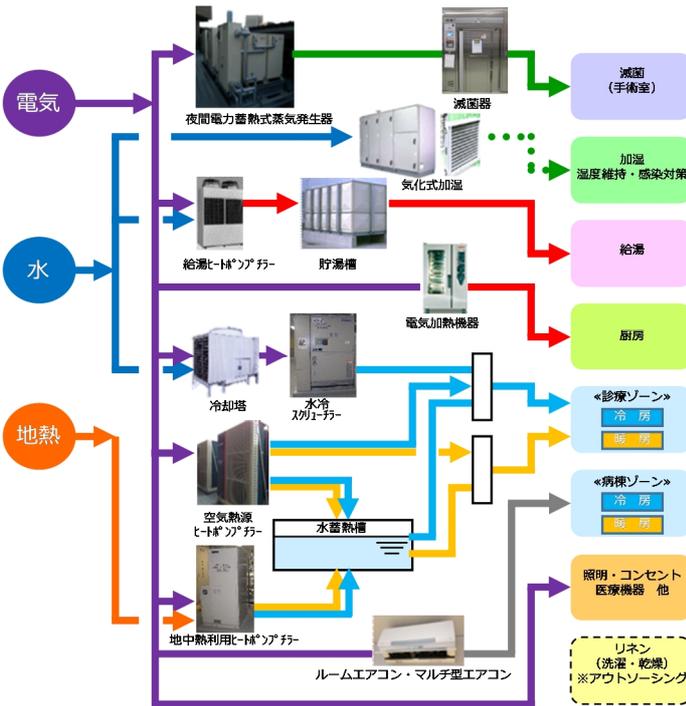


図 2.3 熱源システムフロー図

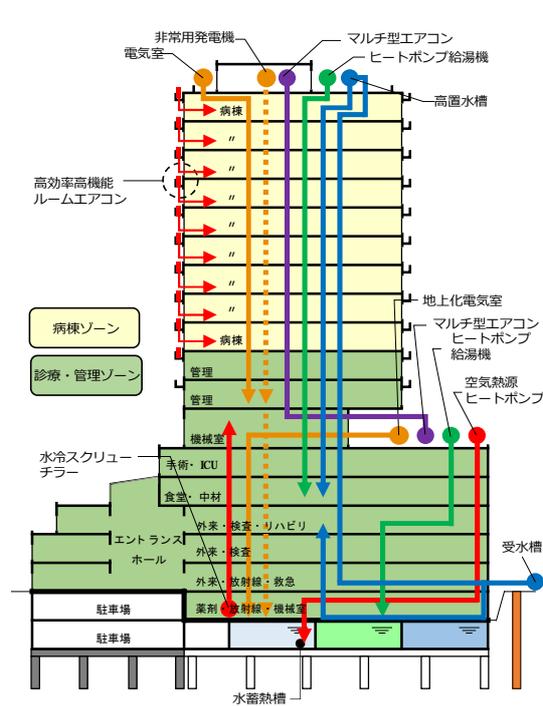


図 2.4 設備インフラの概要

3. 滴下浸透式気化式加湿器を用いた空気調和システムの計画と室内環境およびエネルギー性能の評価

病院では一般的に、加湿の制御性能や空気清浄度に対する要求レベルが高く、かつ省エネルギー性の高い加湿システムが要求される。本病院では、要求湿度や運転時間に応じて、滴下浸透式気化式加湿器(以下、気化式加湿器)を主に用いた外気処理空気調和システムを3年に亘る試験を経て計画し、運用開始後も、空気清浄度、湿熱環境およびエネルギー性能の検証・評価を行った。

3.1 計画段階における検討(試験装置による加湿性能と空気清浄度の評価)

図 3.1 に示す試験装置をもって、加湿器種別(蒸気式、気化式 A, B, C 社)による加湿性能と衛生上の特性を3年に亘る試験によって明らかにした。加湿器の運転状況(図 3.2)は、蒸気式加湿は相対湿度 25%

~70%を変動したが気化式加湿は安定的に推移した。有効加湿効率は蒸気式が 89.5%に対して気化式加湿は 97.1%であり、補給水の利用率が蒸気加湿と同等以上に高いことを確認した。清浄度調査（図 3.3）では、加湿後空気中の生菌・真菌数は加湿器の種別によらず、高い清浄度が維持されることを確認した。

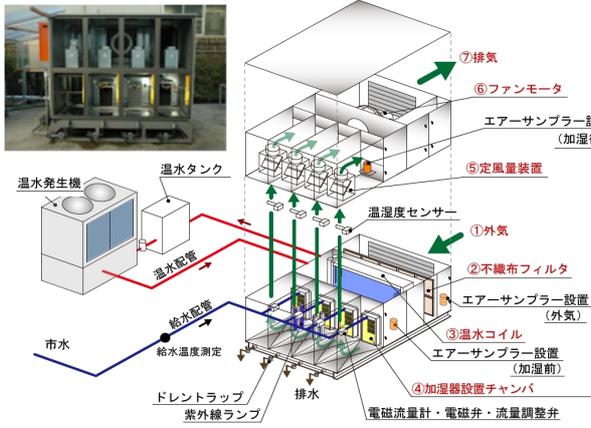


図 3.1 試験装置の概要と計測位置

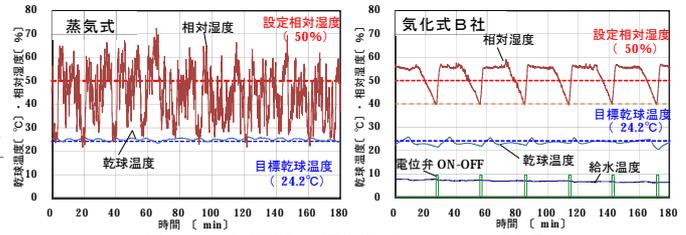


図 3.2 加湿器の運転状況（1500時間運転時）

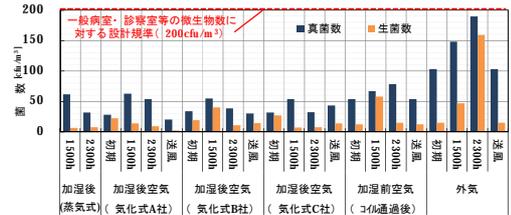


図 3.3 空調機通過空気の中浮遊菌数（'08年）

3.2 運用段階における検証・評価

加湿方式が異なる 6 台の空調機を対象に加湿空気清浄度の評価を行った（図 3.4）。実フィールドでも、気化式加湿による空調給気中(FU)の清浄度は蒸気式と同程度であり、室内空気(RM)は冬期は勿論、外気中の浮遊菌数が増える夏期でも設計規準^{文2}：200cfu/m³、維持管理規準：500cfu/m³を十分に満たす清浄度であった（図 3.5(a) (b)）。

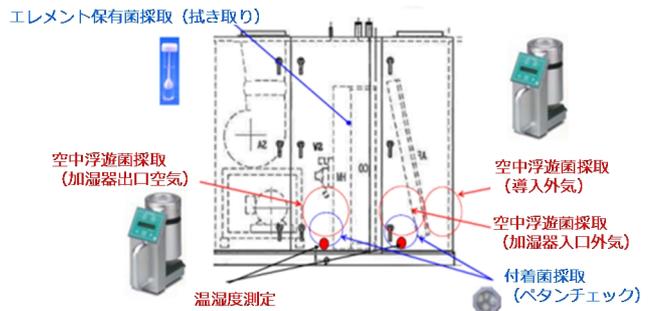


図 3.4 空調機の空気採取位置

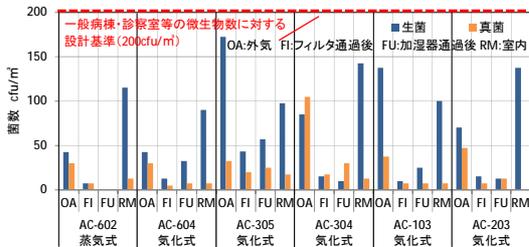


図 3.5(a) 空中浮遊菌数（冷房期）

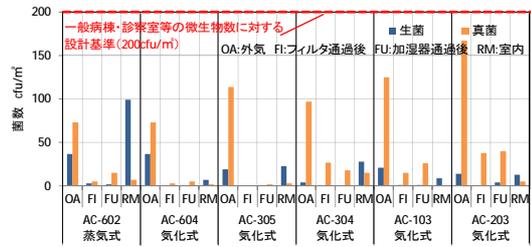


図 3.5(b) 空中浮遊菌数（暖房期シーズンアウト）

また表 3.1 に示す 3 系統について、評価指標として外気処理エネルギー効率を定義し、エネルギー効率の評価を行った。外気処理エネルギー効率の期間平均値は気化式加湿器のみの方式が 1.52 で最大となり、電熱式蒸気加湿器のみの方式が 1.11 で最小となった（図 3.6）。

表 3.1 外気処理エネルギー効率の定義

	記号	(1) 気化式加湿器 + 空調機バイパス	(2) 電熱式蒸気加湿器 + 気化式加湿器	(3) 電熱式蒸気加湿器
1. 空気線図上の状態点				
2. 消費エネルギー	C	①→② $Q_c \times \text{COP}$ [MJ] ②→③ 0 [MJ]	①→② $Q_c \times \text{COP}$ [MJ] ②→③ 0 [MJ] ③→④ $E_{hu} \times 3.6$ [MJ]	①→② $Q_c \times \text{COP}$ [MJ] ②→③ $E_{hu} \times 3.6$ [MJ]
	合計	$Q_c \times \text{COP}$ [MJ]	合計 $Q_c \times \text{COP} + E_{hu} \times 3.6$ [MJ]	合計 $Q_c \times \text{COP} + E_{hu} \times 3.6$ [MJ]
3. 空調機外気処理負荷	L	①→③ $\rho \times V \times (h_1 - h_2)$ [MJ]	①→④ $\rho \times V \times (h_1 - h_2)$ [MJ]	①→③ $\rho \times V \times (h_1 - h_2)$ [MJ]
4. 空調機外気処理エネルギー効率	A	L/C [-]	L/C [-]	L/C [-]

COP: 熱源システムCOP(=熱源生成熱量/熱源主機+熱源補機消費電力量) Q_c:空調機コイル負荷[MJ] h₁:空調機入口エンタルピー[J/kg(DA)] h₂:空調機出口エンタルピー[J/kg(DA)] V:空調機給気風量[m³] ρ:空気密度(=1.2)(kg(DA)/m³) C:消費エネルギー[MJ] E_{hu}:電熱式蒸気加湿器消費電力[kWh]

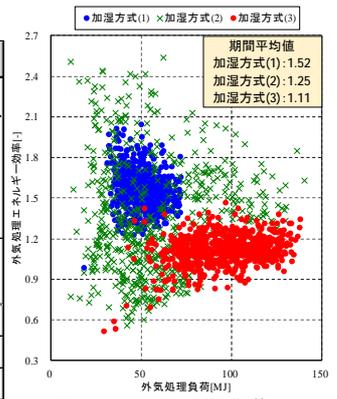


図 3.6 外気処理負荷と外気処理エネルギー効率の関係

4. 厨房換気システムおよび病棟外気処理システムの計画と検証・評価

病院は外気導入量が一般施設よりも多く、外気負荷削減による省エネルギー効果は大きい。本病院では、厨房の換気にはオール電化厨房の利点を活かし厨房器具消費電流に応じた変風量システムを、病棟の換気には外気処理エアコンの台数制御を採用し、省エネルギー性能の検証・評価を行った。

4.1 厨房換気システム

厨房用空調換気システムは、全外気空調による処理負荷の大きな系統となるため、外気負荷を低減するための風量制御方法として、系統毎の『Hi/Lo 切替制御』および各系統の厨房器具消費電流値による『風量比例制御』から選択できる計画とした。『風量比例制御』は、厨房器具電流値の定格値を設定風量とし、電流値の減少に比例して VAV 風量を低減し、風量下限値（40%）以下では、下限値を維持するものとした（図 4.1）。『風量比例制御』の場合、定風量（推計）と比較して給気ファンの消費電力量は 77% の削減、空調機の処理熱量は 66% と削減となった（図 4.2、図 4.3）。なお、風量制御方法を変更しても室内温度は同程度であった。

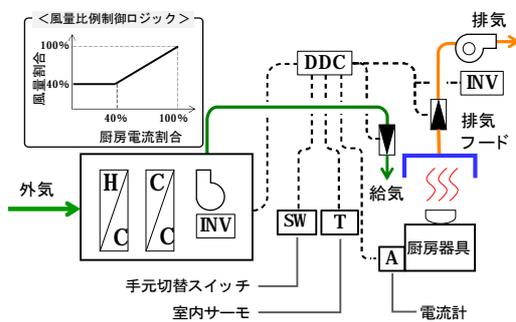


図 4.1 厨房変風量システム図

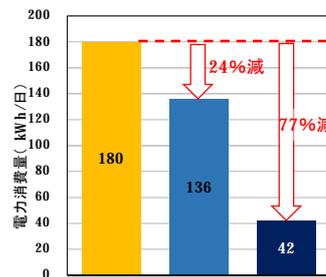


図 4.2 風量制御方法による消費電力量の比較

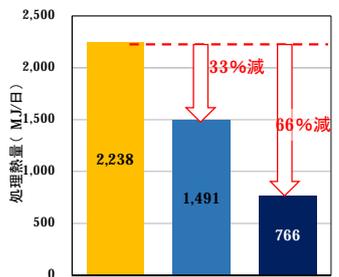


図 4.3 風量制御方法による処理熱量の比較

4.2 病棟外気処理システム

病棟の外気は、各階に 2 台設置している外気処理エアコン（給気露点温度制御による気化式加湿）からループダクトを介して病室等に供給する計画とした（図 4.4）。昼間は 2 台運転だが、活動量が少ない夜間は一台毎のローテーション運転としている。外気処理エアコンの実測電力量は外気温度と線形の関係を示し、夜間交互運転時には同時運転時の半分程度の電力量であった（図 4.5）。また年間消費電力量の試算では、夜間交互運転の場合は同時運転に対して 42% 削減、全体では 14% の削減となった（図 4.6）。なお代表室における冬期の湿度は、夜間交互運転とした場合でも設定相対湿度である 40% 以上を概ね満足していることを確認した。

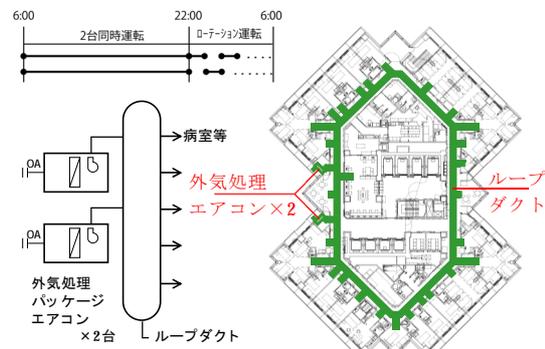


図 4.4 病棟階の外気処理ダクト系統図と平面図

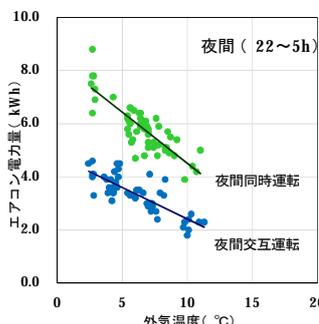


図 4.5 外気処理エアコンの電力量と外気温の関係

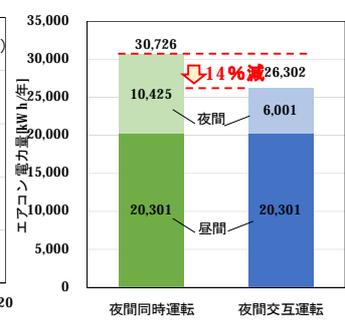


図 4.6 外気処理エアコンの年間電力消費量比較

5. 水蓄熱槽を有する高効率熱源システムの計画と LCEM ツール^{注2}を用いた性能検証・評価

診療ゾーンでは、コンパクトかつ高効率なシステムに加えて、信頼性が高く、医療機器入替えによる負荷変動、夜間の小負荷にも柔軟に対応できる熱源システムが求められた。本病院では、熱源容量のコンパクト化と高効率化を両立した水蓄熱槽を有する高効率ヒートポンプ式熱源システムを採用し、モジュール型熱源機やインバータポンプの活用により負荷変動に対応できる計画とした。

表 5.1 中央熱源システム機器表

機器番号	冷却能力	加熱能力	台数	備考
空気熱源ヒートポンプチャラー AHP-601(蓄熱時/追掛時)	420/447kW	308/309kW	1セット	3分割モジュール
空気熱源ヒートポンプチャラー AHP-602(蓄熱時/追掛時)	837/893kW	656/659kW	1セット	5分割モジュール
水冷スクリーチャラー SR-B101	520 kW	-	1	
地中熱利用ヒートポンプチャラー WHP-B101	39 kW	49 kW	1	
蓄熱系統熱交換器 HEX-B101	408 kW	338 kW	1	蓄熱系統
蓄熱系統熱交換器 HEX-B102	816 kW	675 kW	1	蓄熱系統
放熱系統熱交換器 HEX-B103-1・2	1,300 kW	1,300 kW	2	放熱系統
冷水水蓄熱槽 CH-T	容量	1,100 m ³	1	

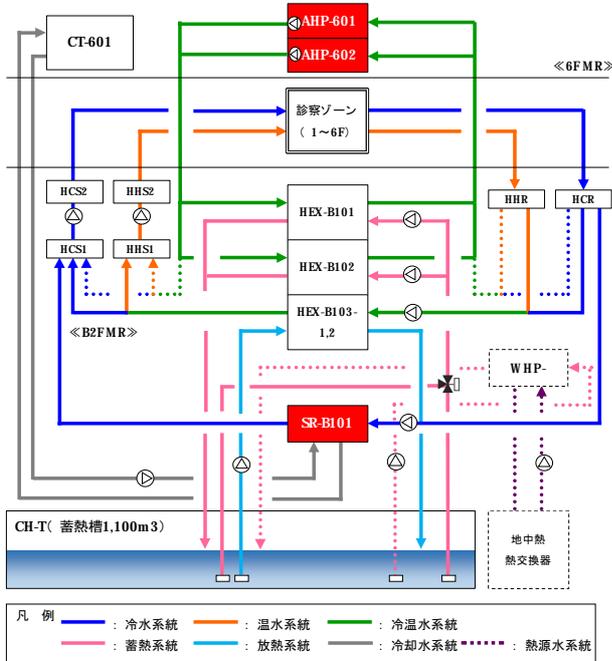


図 5.1 中央熱源システム系統図

5.1 システムの計画概要

本病院は、低層診療ゾーンに中央熱源方式の水蓄熱システムを採用した(表 5.1, 図 5.1)。地下ピットを利用した連結式完全混合型水蓄熱槽(CH-T)に冷水または温水を蓄熱し、熱交換器を介して蓄放熱を行っている。熱源は、冷温水兼用のモジュール型空気熱源ヒートポンプチャラー(AHP)2台と地中熱利用HPチャラー(WHP)、冷水専用の水冷スクリーチャラー(SR)で構成される。基本的な熱源運転方法は、夏期冷房時はAHPとWHPによる蓄熱運転とSRによる二次側への冷水直接送水の併用、中間期・冬期冷房時はSRによる二次側への冷水直接送水、冬期暖房時はAHPとWHPによる蓄熱運転としている。

5.2 運用段階における検証、評価

LCEMモデルによる運転状態の計算結果と実測を比較し、モデルの妥当性を確認した。電力消費量(図 5.2)は計算結果と実運転が概ね一致しており、運転状況が再現できていることを確認した。なお実運転では週末に蓄熱を手動停止したが、モデルでは自動運転としている。また、機器単体及びシステム全体の性能比較では、実運転とシミュレーション結果が概ね一致しており、所定の性能が得られていることを確認した(図 5.3, 5.4)。なお蓄熱槽温度プロフィールについても蓄熱・放熱時間帯共に、実運転はシミュレーション結果によく一致していることを確認した(図 5.5)。

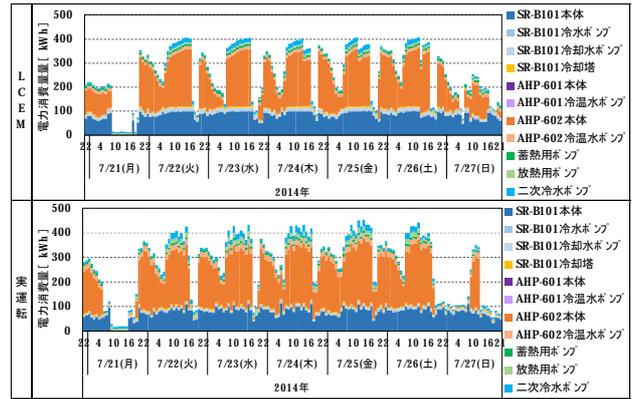


図 5.2 熱源関連電力消費量時刻変動(夏期代表週)

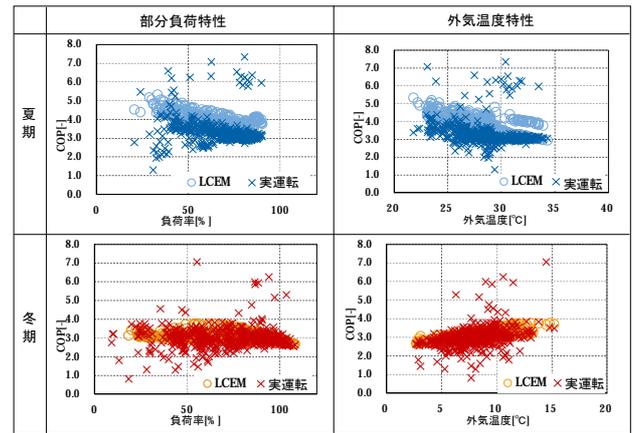


図 5.3 機器単体性能の比較(AHP-602)

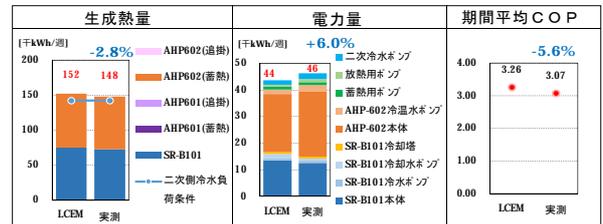


図 5.4 期間システム性能の比較

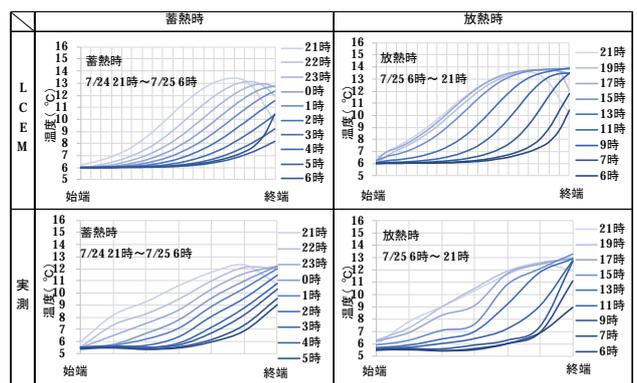


図 5.5 水蓄熱槽温度プロフィールの比較(夏期)

6. 地中熱利用ヒートポンプシステムの計画と LCEM ツールを用いた性能検証・評価

都市部のヒートアイランド対策として、空調排熱を削減することが求められる。本病院では、都市部における地中熱活用を見据えて、各種熱交換方式を組み合わせた地中熱利用ヒートポンプシステムについて、熱交換方式の選定チャートを構築し、適正な組み合わせを検討した。また、LCEM ツールを用いてエネルギー性能の検証・評価を行った。

6.1 システムの計画概要

本病院では、ボアホール型、連壁 (SMW) 利用型および杭基礎利用型の 3 方式の熱交換器を併用した地中熱利用ヒートポンプシステムを導入した (表 6.1、図 6.1、図 6.2)。地中熱利用水冷ヒートポンプチャラー (WHP) で製造された冷水あるいは温水は水蓄熱槽を介して、空調負荷処理に利用している。

6.2 運用段階における検証・評価

冬期の期間平均採熱量は、実長あたり杭基礎 155W/m、ボアホール 31.4W/m、SMW13.9W/m であった。夏の放熱量も冬期と同様の傾向を示し、杭基礎 188W/m、ボアホール 53.7W/m、SMW20.0W/m であった (表 6.2)。また地中熱システムの長期運用にあたり、シミュレーションによる適正な運転設定を検討した結果、「土日運転停止、8 時間運転/日」が最も良い結果を示し、実運転にも反映させた (図 6.3)。

表 6.1 機器仕様

機器番号	機器名称	機器仕様	容量 (kW)
WHP-B101	地中熱利用 水冷ヒートポンプチャラー	冷却能力 39 kW 冷水 14℃ → 6℃, 71L/min 冷却水 30℃ → 35℃, 142L/min	10.21
		加熱能力 49 kW 温水 38℃ → 46℃, 88L/min 熱水 12℃ → 7℃, 106L/min	12.56
PCH1-B201	一次冷水ポンプ	32φ × 94L/min × 15mmAq	0.75
PCD-B101,102	冷却・熱源水ポンプ	32φ × 150L/min × 25mmAq	2.2

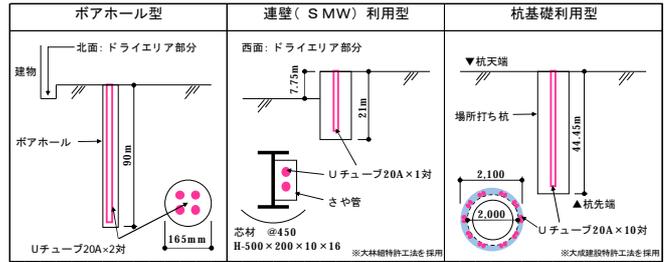


図 6.1 各熱交換器断面図

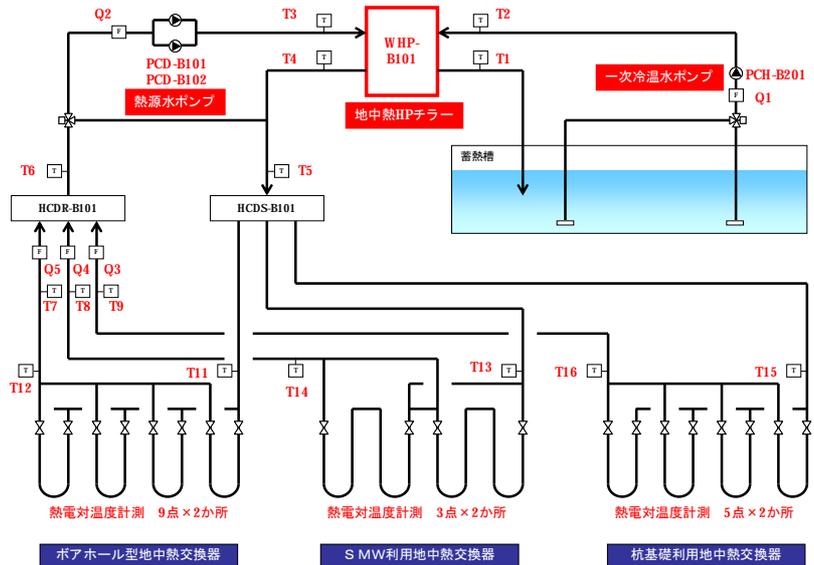
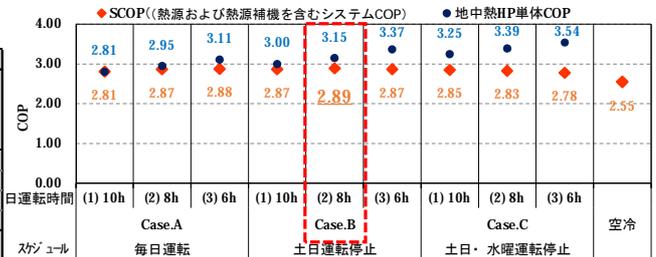


図 6.2 システム系統図

表 6.2 各地中熱交換器の期間平均採熱・放熱量

断面図		ボアホール	SMW	杭基礎
仕様		Uチューブ 20A × 2対 深さ 90 mH 本数 3.0 本 実長 270 m	20A × 1対 20 mH 4.0 本 80 m	20A × 10対 45 mH 4.0 本 180 m
実長さあたり採熱量 (冬期)		31.4 W/m	13.9 W/m	155 W/m
実長さあたり放熱量 (夏期)		53.7 W/m	20.0 W/m	188 W/m



※運転時間が短いために賅えない負荷については、空冷ヒートポンプにより処理するものとした。空冷ヒートポンプのシステムCOPは、運転実績より設定した。

図 6.3 ケーススタディによる最適運転検証結果

7. 資源・エネルギーマネジメントシステムの構築と用途別部門別消費量の分析・評価

本病院では、設備機器の監視、記録を行う中央監視設備のほか、約 4,000 点の計測ポイントを持つ BEMS を導入している。BEMS から得られたデータから、資源 (水、給湯)・エネルギー使用状況を部門別、用途別に分析し、詳細に把握をしている。さらに、BEMS から書き出されるデータを LCEM ツールに取り込むことで、実際の運用データによる機器単体およびシステムの性能検証およ

び評価を実施し、実運用に反映させるシステムを構築した（図 7.1）。また、引き渡し前段階から関係者による性能検証体制を構築し（図 7.2）、継続的なサイクルでのマネジメントに取り組み、表 7.1 示すような省エネルギー対策を立案、実施してきた。

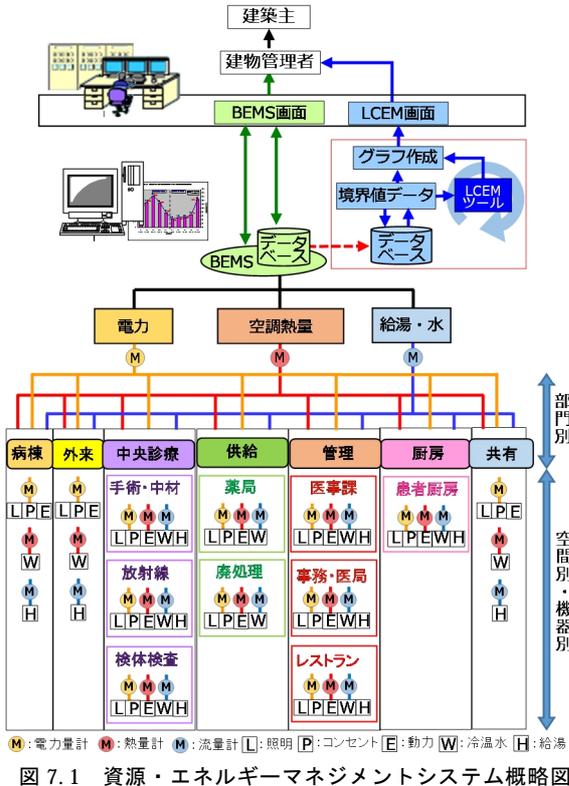


図 7.1 資源・エネルギーマネジメントシステム概略図

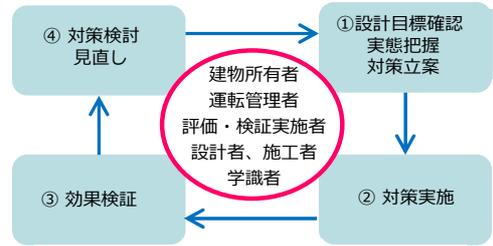


図 7.2 性能検証関係者と取組みサイクル

表 7.1 実施した省エネルギー対策項目と推定削減率

項目		推定削減率
空調熱源	1 「中間期」における水蓄熱の使い切り運用	—
	2 「中間期」における冷水送水温度の緩和	0.04%
	3 冷却水下限設定値の変更	0.12%
搬送	1 放熱一次ポンプ周波数下限値引下げ	0.11%
	2 温水二次ポンプ周波数下限値引下げ	0.05%
	3 冷水二次ポンプ周波数下限値引下げ	0.04%
	4 温水二次ポンプ吐出圧低減	0.14%
	5 冷水二次ポンプ吐出圧低減	0.35%
空調機・換気	1 機械室等室内設定温度の緩和	0.07%
	2 厨房系統換気制御の実施	0.75%
	3-1 空調機の運用時間の短縮 第1回	0.61%
	3-2 空調機の運用時間の短縮 第2回	1.65%
	4 CO2制御空調機の設定値緩和	0.59%
蒸気	1 蒸気発生器の昼間運転の減少	—
照明	1-1 共用部減灯・消灯時間変更1st	1.70%
	1-2 共用部減灯・消灯時間変更2st	0.69%

7.1 電力消費量の分析

用途別電力消費の割合では、熱源空調が **38%**と最も大きく、次いで照明・コンセントが **31%**であった（図 7.3）。なおコンセント分には、病室のルームエアコン約 **130** 台の電力消費量も含む。

部門別電力消費の構成比は、大規模病院の部門別エネルギー構成比の調査結果^{文3}と比較すると、各部門の割合は概ね同傾向であったが、病棟の電力消費割合が小さいことが分かる（図 7.4）。部門毎の用途別電力消費構成比では、病棟の電力消費量に占める熱源空調の割合が小さい（図 7.5）。これは病棟に個別分散型空調を採用したことによる、空調不要室の停止等の運転時間最小化、搬送動力の低減が要因として考えられる。

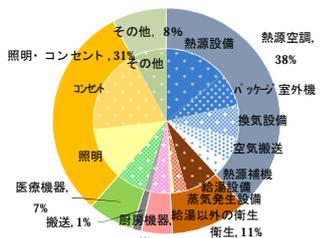


図 7.3 用途別電力消費量割合

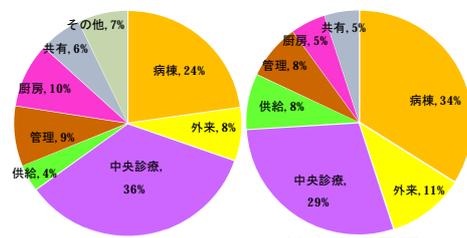


図 7.4 部門別電力消費量割合

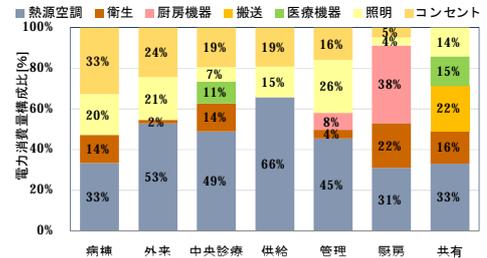


図 7.5 部門毎の用途別電力消費構成比

7.2 水使用量の分析

本病院で使用する水源として市水のほか、雨水、空調・加湿ドレン、貯湯槽排水等を雑用水の一部に再利用している（図 7.6）。特に、高層階空調・加湿ドレン排水は、夏期冷房時の熱源高効率化を目的とした **AHP** への散水に利用された後、再度回収することで再利用率を高めた。

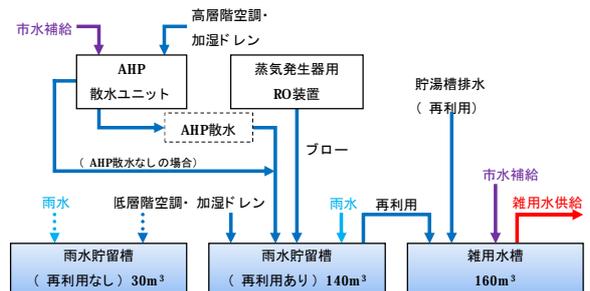


図 7.6 再利用水系統図

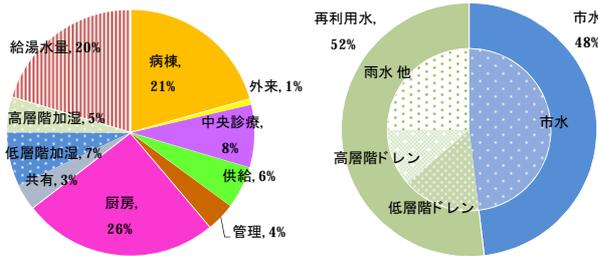


図 7.7 上水使用構成比

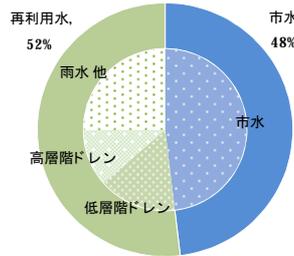


図 7.8 雑用水供給構成比

上水使用構成比は、厨房が26%と最も大きく、次いで病棟が21%であった(図7.7)。また雑用水に占める再利用水年間比率は52%を占めていた(図7.8)。なお月推移では夏期および冬期に再利用水の量が多い傾向を示していた。これは夏期はAHP散水後の水および空調ドレンの回収量が増え、冬期は加湿ドレンの回収量が増えるためと考えられる。

年間水使用の構成は、市水受水は87%、空調・加湿ドレン、貯湯槽等からの排水および雨水利用による再生水利用は13%となっている(図7.9)。雑用水は水使用の30%を占め、雑用水への上水補給は全体の12%であった。

7.3 エネルギー・水の消費量原単位

2014年4月～2015年3月における一次エネルギー消費量原単位の実績データ分析結果を図7.10に示す。本病院の年間実績値^{注3}は2,934MJ/m²・年であり、レファレンス^{文1}に対して28%減となり、本病院の設計時目標値に対してさらに8%減を達成した。水使用量原単位はレファレンス^{文1}における使用原単位の平均値750L/床・日に対して、本病院の市水使用量は530L/床・日となっており、目標値である20%減を大幅に上回る30%減となった(図7.11)。

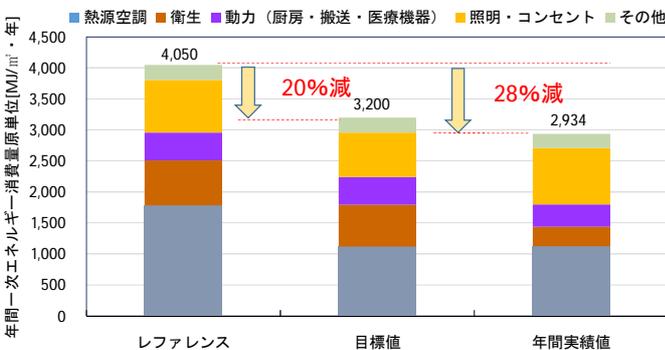


図 7.10 一次エネルギー消費量原単位

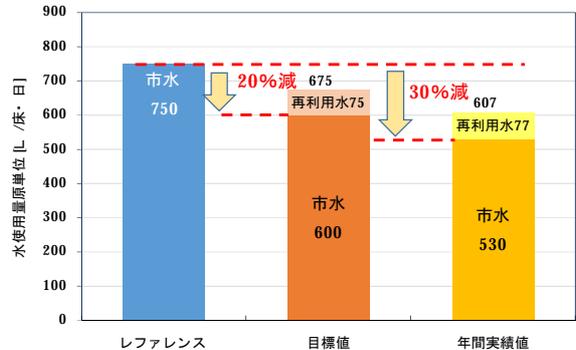


図 7.11 水使用量原単位

8. おわりに

関西電力病院は、気化式加湿器、変風量システム、高効率熱源システム、地中熱利用ヒートポンプシステムなどの様々な省エネルギー・省資源システムを計画し、室内環境やエネルギー性能を検証・評価した。その結果、レファレンスに対して当初目標である20%の削減を上回り、年間一次エネルギー消費量原単位は28%の削減、水使用量原単位は30%の削減を達成できた。今後も、これまでの取り組みを継続して実施しながら、性能の維持および更なる向上を進める所存である。

【参考文献】

- 文1 一次エネルギー消費量原単位(従来型の大規模病院):平成15年度ビルの省エネルギー使用に係る実態調査,(財)省エネルギーセンター
- 文2 微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説, AISES-A002-2013, 日本建築学会(2013)
- 文3 (財)省エネルギーセンター:病院の省エネルギーポイント

【注記】

- 注1 一次エネルギー換算係数:電力(昼):9.97(MJ/kWh) 電力(夜):9.28(MJ/kWh)
- 注2 国土交通省/LCEM(Life Cycle Energy Management)ツール
- 注3 2015年2月にII期エリアが開院したため、4~2月度についてはI期エリアの面積(33,750 m²)を、3月度についてはI期+II期エリアの面積から改修部分を除いた面積(39,000 m²)を用いて原単位を算出した。