

次世代型グリーンホスピタル 足利赤十字病院

(株)日建設計 塚 見 史 郎 ・ 渡 邊 賢 太 郎

■キーワード／病院・省エネルギー・省CO₂・井水熱利用・放射冷暖房

1. はじめに

足利赤十字病院は、栃木県の両毛地区の災害拠点病院として、「患者の皆さまがかかってよかった、職員のひとりひとりが勤めてよかった、と言える病院を創ります。」という理念のもと、2011年4月に竣工した(写真-1)。

新病院は、明るく気持ちの良い療養環境を提供するとともに、風と光と水の自然エネルギーを活用した省エネ・省CO₂に配慮した(Green)、安全・安心な(Safety)、患者・スタッフにやさしい(Smart)をキーワードにした「次世代型グリーンホスピタル」をめざした。こうした取り組みが評価され、国土交通省「住宅・建築物省CO₂推進モデル事業」の採択を受けている。また、竣工後の技術検証、省エネルギー・省CO₂の実績により、第27回空気調和・衛生工学会振興賞技術振興賞、第1回カーボンニュートラル大賞、第11回環境・設備デザイン賞(BE賞)を受賞している。



写真-1 足利赤十字病院の外観

2. 建物概要

名称 足利赤十字病院
 所在地 栃木県足利市五十部町284-1
 建築主 足利赤十字病院
 建築用途 病院 病床数555床
 設計・監理 (株)日建設計
 施工 清水・渡辺・大協特定建設工事共同企業体
 [電気] (株)関電工
 [空調] 新菱冷熱工業(株)・東洋熱工業(株)
 [衛生] 三建設備工業(株)
 [昇降機] 三菱電機(株)
 敷地面積 57,403.80㎡
 建築面積 13,838.22㎡
 延床面積 51,804.46㎡
 構造・規模 RC造(免震)地上9階 塔屋1階 地下1階
 工期 2009年6月～2011年4月

ヒートポンプとその応用 2013.10.No.86

3. 災害・緊急時を配慮した建物計画

病棟・外来棟・中央診療棟は、免震構造を採用し、災害や緊急時への配慮した計画とし、100%バックアップの非常用発電機や井戸水の飲適ろ過による給水機能の確保(写真-2)、備蓄性の高い蓄熱システムによる空調・熱源・給湯機能の確保、電化厨房による災害時の調理機能の確保等を行っている(表-1)。



写真-2 非常用発電機(左)と井戸水の飲適ろ過装置(右)

表-1 災害・緊急時への配慮

地震	免震構造の採用	
大雨・河川氾濫	建物地盤レベルの1mUP	
火災	全館真空式スプリンクラーの採用	
インフラダウン	電源	非常用発電機によるフルデマンドバックアップ オイルタンクによる2日分の燃料備蓄
	給水	井水の飲用ろ過設備による上水設備のバックアップ 井水による雑用水3日分の備蓄
	排水	全排水系統を汲取り可能なポンプアップ排水
	給湯	深夜電力による1日分の給湯備蓄
	空調	水蓄熱2,000m ³ +井水熱源による空調バックアップ
	食事 備蓄	電化厨房により災害時も美味しく温かい食事提供 エネルギーセンター内に災害用備蓄倉庫80m ² を確保
パンデミック	感染患者隔離スペースとして利用可能な講堂 風力発電を目印とした外部トリアージスペースの確保	
バイオテロ	救急車ごと除染可能な散水装置を設置した救急入口 室内上下からの排気可能なガラス張りの初療室	

さらにパンデミック時に感染患者の隔離スペースとなる講堂は、直接外部からアクセス可能で、壁面に医療ガス・医療コンセントを配備し、全外気運転による感染対応空調が可能となっている。また、第三次救急の救命救急センターは、バイオテロ等を想定し、救急車ごと除染可能な散水設備のある救急入口や室内の上下から排気可能なガラス張りの初療室が設けられている(写真-3)。



写真-3 隔離対応の講堂(左)とガラス張りの初療室(右)

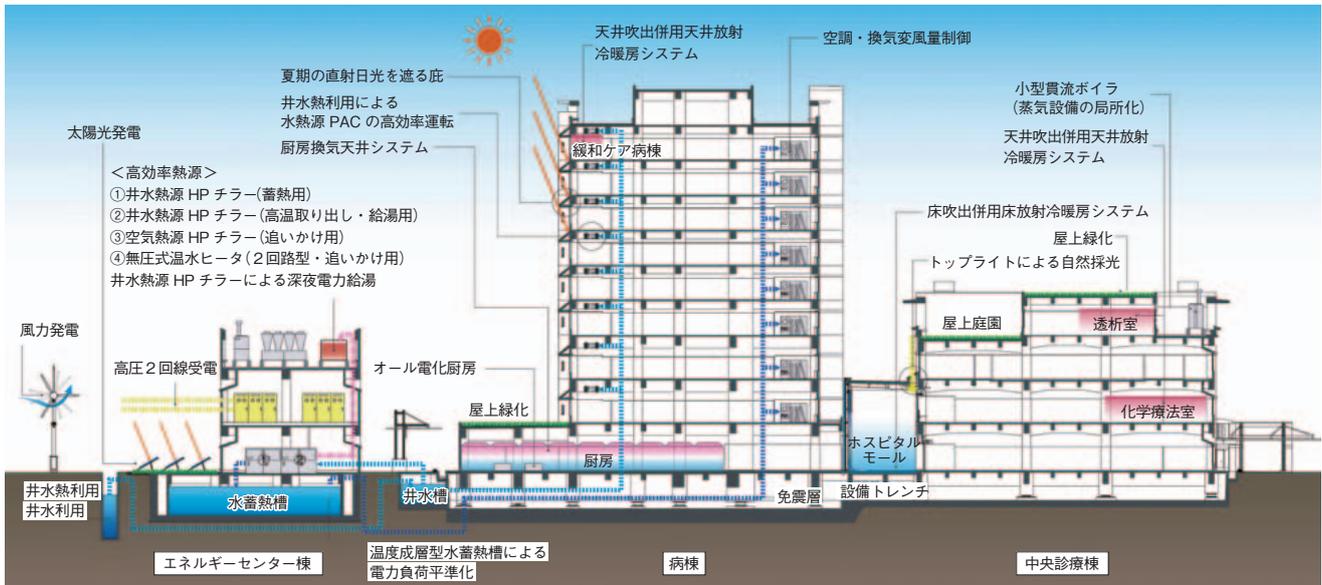


図-1 省エネルギー・省CO₂手法の概要

4. 省エネルギー・省CO₂手法の概要

本計画にて採用している省エネルギー・省CO₂手法の環境断面を示す(図-1)。

4-1 建築的な熱負荷低減手法

一般病室は、プライバシーに配慮して、全室個室になっており、トイレやシャワー室の水廻りコアを窓面ラインより外周部に配置し、糞害対策の鳥除けとして角度をつけた躯体傾斜庇とペアガラス+凹凸のあるファサードにより、日射遮蔽効果を高めている(写真-4)。



写真-4 一般病室の内観(左)と傾斜庇の外観(右)

4-2 高効率熱源システム

従来の病院の熱源で多く採用されている蒸気設備を主体とした熱源システムは、配管からの放熱ロスが大きく、全体として、エネルギー多消費となっている傾向が見られた。こうしたエネルギー構造を見直し、病院の熱源負荷となる7つの負荷種別(室内冷房負荷、室内暖房負荷、外気冷房負荷、外気暖房負荷、加湿負荷、給湯負荷、医療用蒸気負荷)の特性¹⁾に合わせた熱源機器を組み合わせ、蒸気設備の利用を医療用の蒸気負荷のみに局所化した分散型の熱源システムとした(図-2)。

概略熱源フローと熱源機器概要を示す(図-3、表-2)。

■次世代型熱源：分散型



図-2 7負荷種別による熱源システムの構築

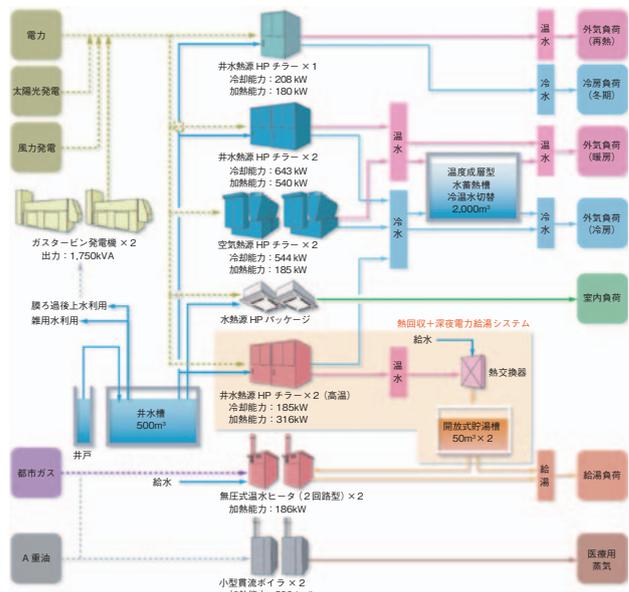


図-3 概略熱源システムフロー

表-2 熱源機器概要

機器	冷房	暖房	台数	備考
井水熱源 HP チャラー	284.0kW	340.2kW	2	貯湯用
井水熱源 HP チャラー	621.4kW	530.0kW	2	夏期冷水・冬期温水
井水熱源 HP チャラー	386.0kW	339.3kW	1	手術室専用 夏期温水 冬期冷水
空気熱源 HP チャラー	544.0kW	412.0kW	2	夏期冷水・冬期温水
無圧式温水ヒータ	-	186.0kW	2	給湯追いかけ・暖房補助
熱源(井水)水槽	(500m ³)		1	熱源水・雑排水給水系統兼用
蓄熱槽	16,282kW(2,000m ³)		1	温度成層型

(1) 井水熱利用高効率空調熱源システム

年間の負荷予測が容易な外気負荷に対しては、高効率な空気熱源HPチラー、井水熱源HPチラーによる熱源機器構成とし、敷地内に自噴する豊富な井水と安価な深夜電力を利用して、大規模な水蓄熱システムを導入した。

容量2,000m³の水蓄熱槽は、水深約4.5mの温度成層型とし、外気負荷にあわせた冷温水シーズン切替方式により、外気負荷のピークカットおよび熱源の定格運転による高効率化をはかった(写真-5)。



写真-5 温度成層型水蓄熱槽(2,000m³)

空気熱源HPチラーは、フィンへ井水を散水し熱交換性能を向上させる仕様(散水時定格COP:5.5)とした。

井水熱源HPチラーは、熱源水として15~20℃と安定した井水を利用しCOPの向上をはかった(写真-6)。



写真-6 空気熱源HPチラー(左)と井水熱利用HPチラー(右)

また熱源機器の台数制御、1次ポンプ・2次ポンプ変流量制御を採用し、システム運用の高効率化をめざした。

加湿方式は、全システムに気化式加湿を採用し、蒸気熱源を医療用の滅菌用途に限定する構成とした。加湿器のエレメントは、水切れのよいハニカム形状とし、常時湿潤状態による汚染に配慮し、乾燥運転が可能ないように加湿器を50%能力の並列配置とした。

外気負荷および手術室の室内負荷の合計の冷房負荷熱量の年間のデュレーションカーブを示す(図-4)。ピーク時の負荷熱量は、9,373MJとなり、単位面積あたりの原単位は、50W/m²となった。年間の冷房負荷の発生時間は、約3,800時間となり、2,000MJ(10W/m²)以下の低負荷の発生時間が約60%となっている。



図-4 冷房負荷年間デュレーションカーブ

加湿を含む外気負荷の暖房負荷熱量の年間のデュレーションカーブを示す(図-5)。ピーク時の負荷熱量は、8,994GJとなり、単位面積あたりの原単位は、48W/m²となった。年間の暖房負荷の発生時間は、約4,500時間で、冷房に比べ、暖房負荷の発生時間が長いことが分かる。

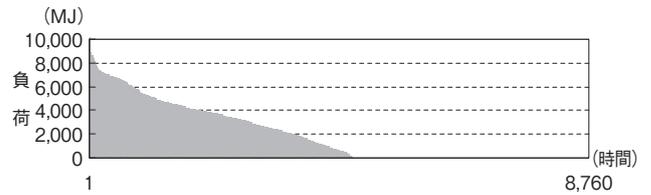


図-5 暖房負荷年間デュレーションカーブ

病院の中央熱源システムを構成する井水熱源HPシステムの季節別および年間のCOPを示す(表-3)。

システムCOPの算定は、生産熱量を井水熱源HPチラーおよび1次ポンプ、井水の汲み上げ・放流ポンプの消費電力で除し、1次エネルギーベースで求めた。夏期、中間期、冬期で差は見られるものの、年間の平均で、システムCOP1.33となった。

表-3 井水熱源HPシステムのサブシステムCOP

期 間	井水熱源 HP 生産熱量		井水熱源 HP システム 消費電力 kWh	COP
	MJ	kWh		
夏期(7~9月)	5,434,925	1,509,701	350,001	1.59
中間期(10, 11, 4~6月)	2,963,041	823,067	252,452	1.20
冬期(12~3月)	8,840,300	2,455,639	726,925	1.25
年間	17,238,266	4,788,407	1,329,378	1.33

病院の中央熱源システムを構成する空気熱源HPシステムのサブシステムCOPを示す(表-4)。サブシステムCOPの算定は、生産熱量を空気熱源HPチラーおよび1次ポンプの消費電力で除し、1次エネルギー基準で求めた。夏期、中間期、冬期で差は見られるものの、年間サブシステムCOPは1.2となった。

表-4 空気熱源HPシステムのサブシステムCOP

期 間	空気熱源 HP 生産熱量		空気熱源 HP システム 消費電力 kWh	COP
	MJ	kWh		
夏期(7~9月)	2,621,900	728,306	175,365	1.5
中間期(10, 11, 4~6月)	1,705,100	473,639	128,880	1.4
冬期(12~3月)	4,552,800	1,264,667	427,223	1.1
年間	8,879,800	2,466,611	731,468	1.2

井水熱の季節別・年間利用量および揚水・放流に要するポンプの電力量を示す(表-5)。年間の利用熱量は、23,701,064MJ/年であり、単位面積あたりの井水熱利用量は、457.5MJ/m²年となった。年間の1日あたりの平均揚水量は、2,700m³/日であった。

表-5 年間の井水利用熱量と揚水量

期 間	利用熱量		ポンプ動力	水量	
	MJ	kWh	kWh	m ³	m ³ /日
夏期(7~9月)	11,676,781	3,243,550	103,533	285,037	3,098
中間期(10, 11, 4~6月)	4,929,530	1,369,314	111,562	194,678	1,281
冬期(12~3月)	7,094,752	1,970,765	219,888	508,886	4,206
年間	23,701,064	6,583,629	434,984	988,601	2,708

(2) 井水熱利用高効率給湯熱源システム

給湯は、深夜電力を利用して1日分の給湯量(約100m³)を貯める電力負荷平準化に配慮した給湯方式とし、熱源には、夏期は冷房時の排熱利用、冬期は、井水から熱を汲み上げる井水熱源HP方式とした(写真-7)。



写真-7 井水熱源HP(左)と貯湯槽(50m³×2)(右)

井水熱源HPおよび無圧式温水ヒータを併用した給湯システムCOPを示す(表-6)。給湯システムCOPの算定は、生産熱量を井水熱源HPおよび1次ポンプ、井水の揚水・放流ポンプの消費電力と無圧式温水ヒータのガス消費量で除し、1次エネルギー基準で求めた。夏期、中間期、冬期で差は見られるものの、年間給湯システムCOPは0.82となった。

表-6 給湯システムCOP

期 間	生成熱量	電力+ガス	COP
	MJ	MJ	
夏期(7~9月)	902,320	1,093,888	0.82
中間期(10, 11, 4~6月)	2,170,498	2,562,162	0.85
冬期(12~3月)	2,137,990	2,728,664	0.78
年間	5,210,808	6,384,714	0.82

次に、井水熱源HPによる給湯サブシステムCOPを示す(表-7)。このサブシステムCOPの算定は、生産熱量を井水熱源HPおよび1次ポンプ、井水の揚水・放流ポンプの消費電力で除し、1次エネルギー基準で求めた。季節による差は見られるものの、井水熱源

表-7 井水熱源HPによる給湯サブシステムCOP

期 間	生成熱量	電力	COP
	MJ	MJ	
夏期(7~9月)	286,520	194,888	1.47
中間期(10, 11, 4~6月)	979,418	818,249	1.20
冬期(12~3月)	960,190	872,417	1.10
年間	2,226,128	1,885,553	1.18

HPの年間給湯サブシステムCOPは1.18となった。

無圧式温水ヒータのみの給湯サブシステムCOPを示す(表-8)。このサブシステムCOPの算定は、生産熱量を無圧式温水ヒータのガス消費量で除し、1次エネルギー基準で求めた。夏期、中間期、冬期で差は見られるものの、無圧式温水ヒータの年間サブシステムCOPは0.72となった。

表-8 無圧式温水ヒータによる給湯サブシステムCOP

期 間	生成熱量	ガス	効率
	MJ	MJ	
夏期(7~9月)	615,800	808,954	0.76
中間期(10, 11, 4~6月)	1,191,080	1,590,252	0.75
冬期(12~3月)	1,177,800	1,723,140	0.68
年間	2,984,680	4,122,346	0.72

給湯の負荷熱量の年間デュレーションカーブを示す(図-6)。ピーク時の負荷熱量は、2,854MJとなり、単位面積あたりの原単位は、15W/m²となった。給湯負荷の発生時間は、年間を通じて低負荷な運転時間が長く、配管の放熱ロスのための負荷が発生していると考えられる。

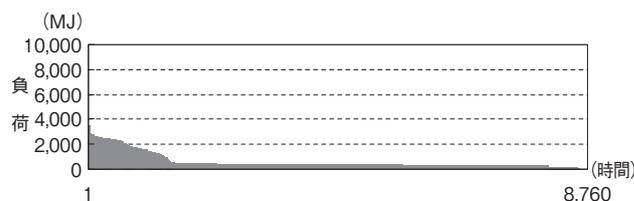


図-6 給湯負荷年間デュレーションカーブ

医療用蒸気負荷熱量の年間デュレーションカーブを示す(図-7)。ピーク時の負荷熱量は、956MJとなり、単位面積あたりの原単位は、5W/m²となった。医療用蒸気負荷は、中央材料部門の滅菌用途のみに限定しており、病院全体に占める負荷は、非常に小さいことが分かる。

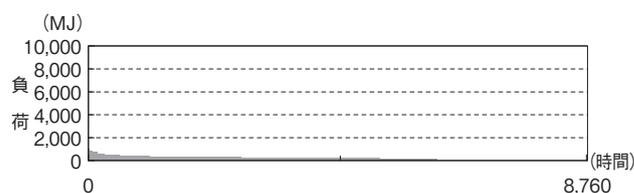


図-7 医療用蒸気負荷年間デュレーションカーブ

4-3 井水熱利用高効率個別空調システム

ほぼ全館の空調室内機において、井水熱を利用した水熱源HPエアコン(インバータ制御)により、部屋ごとに冷暖房が自由に運転可能で、高効率な個別空調システムを構築した。エアコンのリモコンは、表示の分かりやすいバリアフリーリモコンとした。

本計画では、個別空調と放射空調を組み合わせた放射・対流空調システムを緩和ケア病室に採用し、患者に直接気流をあてない身体に負担の少ない空調とした(写真-8)。



写真-8 バリアフリーリモコン(左)と緩和ケア病室の放射・対流空調(右)

同様に、患者が長時間横になった状態で過ごす透析室、化学療法室にも放射・対流空調を採用した(写真-9)。



写真-9 透析室(左)と化学療法室(右)の放射・対流空調

4-4 空調・換気変風量制御システム

外気負荷削減のため、外調機については、夜間時間帯や外気負荷のピーク時に外気導入量を最少化させる変風量制御を採用し、搬送動力および外気負荷の低減をはかった。

外気温度が、夏期35℃以上、冬期8℃以下の場合には、外調機風量を50~70%に絞り、病室等の24時間系統は、夜間時間帯も同様に風量の絞り運転を行う計画とした。

4-5 厨房換気天井システム

発熱の少ない電化厨房機器や厨房換気天井システム、さらに厨房エリア内の強弱切替の変風量制御により、換気用エネルギーの大幅な削減をはかった(写真-10)。



写真-10 厨房換気天井システム

厨房換気天井システムの場合、一般の排気フードに比べ、風量を約30%に抑えることができ、弱運転時は、さらに約32%風量を削減することができる。

4-6 風力・太陽光発電

自然エネルギー利用として、風力・太陽光発電設備を導入した。

風力発電は、10kW×4台、合計40kWを設置した(写真-11)。青、赤、黄、緑の4色のクジラの形の風車は、駐車場の目印となるだけでなく、災害時の患者の選別スペースを表すためのトリアージカラーになっており、発

電機能だけでなく、建物のサインの一部としての機能も付加している。



写真-11 トリアージカラーの風力発電

太陽光発電は、来院者やスタッフへのエコ啓発にも役立つように、メインエントランス正面の植栽と同じ地上レベルの見やすい位置に、20kWを設置した(写真-12)。



写真-12 地表面に設置した太陽光発電

自然エネルギー利用の風力・太陽光の年間発電量は、風力発電量：8,627.9kWh、太陽光発電量：24,379.5kWhとなった(図-8・9)。風力は、年間の電力量の約0.08%、太陽光は、約0.22%を占め、年間の自然エネルギーによる合計発電量は、約0.3%となった。

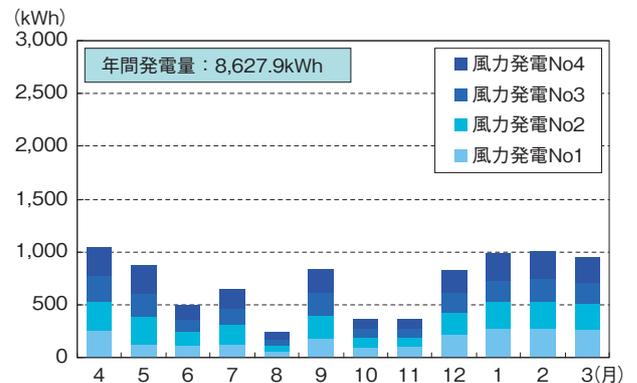


図-8 風力発電の発電量

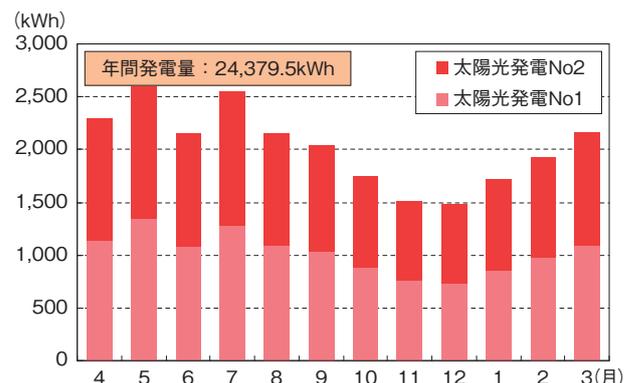


図-9 太陽光発電の発電量

4-7 BEMSデータの見える化によるエコ啓発

BEMSデータをエコ啓発に活用するため、エントランスホールに「エコ・インフォメーション」モニター(写真-13)を設置して、デジタルサイネージによる見える化(写真-14)を行い、来院者やスタッフへのエコ啓発を行っている。また、建物のエネルギーデータを専門家の分析によらずにグラフ化や一次エネルギー・CO₂・原油等への単位換算が可能な自動エネルギーレポート機能(図-10)、LCEMツールによる運用シミュレーション機能を付加した中央監視システムを構築した。



写真-13 エントランスホールのエコ・インフォメーション



写真-14 デジタルサイネージによる見える化

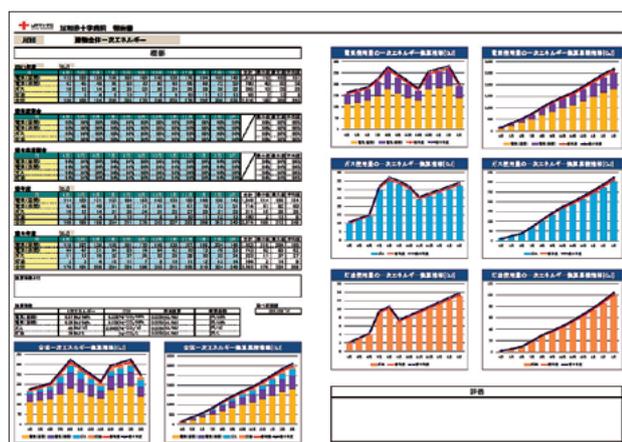


図-10 エクセル形式で単位変換容易な自動エネルギーレポート

4-8 メンテナンスへの配慮

天井裏やシャフト内の配管・ダクトは、保温材で覆われていて、一見すると判別しにくいですが、配管・ダクトの種別ごとに保温材の仕上げにカラー金網を使用して、災害時の点検等でも分かりやすい「配管・ダクトの見える化」に配慮した計画とした(写真-15)。

保温仕様



写真-15 配管・ダクトの見える化

5. エネルギー使用量実績

5-1 病院全体の一次エネルギー使用量原単位

BEMSデータによる病院全体の1年間の一次エネルギー使用量原単位の月別推移を示す(図-11)。

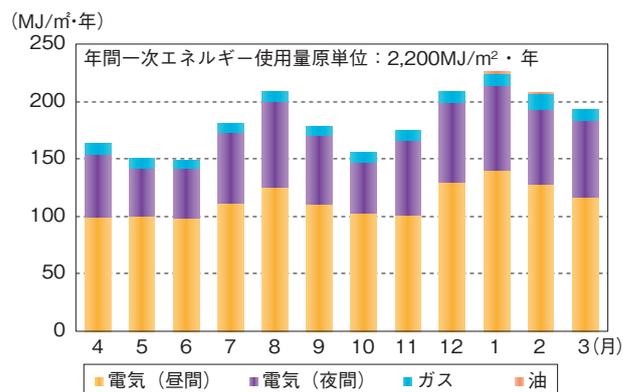


図-11 一次エネルギー使用量原単位の月別推移

なお、一次エネルギーの換算係数は、電力(昼): 9.97MJ/kWh, 電力(夜): 9.28MJ/kWh, 都市ガス: 45.0MJ/Nm³, A重油: 39.1MJ/Lとした。年間一次エネルギー使用量原単位の合計は、2,200MJ/m²・年であり、月平均では183 MJ/m²・月となっている。

5-2 用途別一次エネルギー使用量原単位

一次エネルギー使用量原単位を大規模病院の原単位4,050MJ/m²年³⁾と比べて、46%削減となった(図-12)。

用途別の一次エネルギー使用量原単位の割合を見ると、熱源・空調: 32%, 熱搬送: 19%, 給湯・蒸気: 6%, 照明・コンセント: 28%, 動力: 11%, その他: 4%となっており、文献値⁴⁾の割合と比較すると、給湯・蒸気の割合が少なく、照明・コンセントの割合が多くなっている特徴があることが分かる(図-13)。

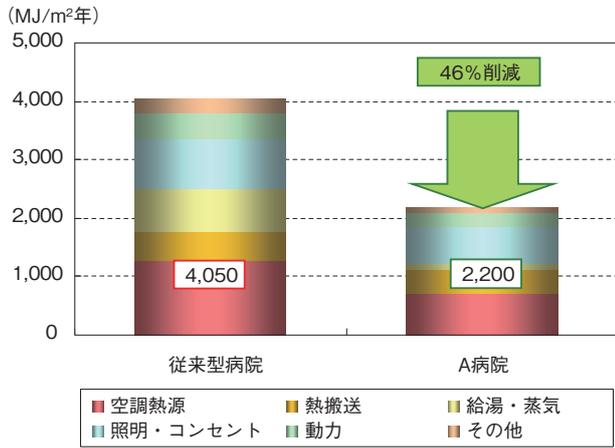


図-12 一次エネルギー使用量原単位比較

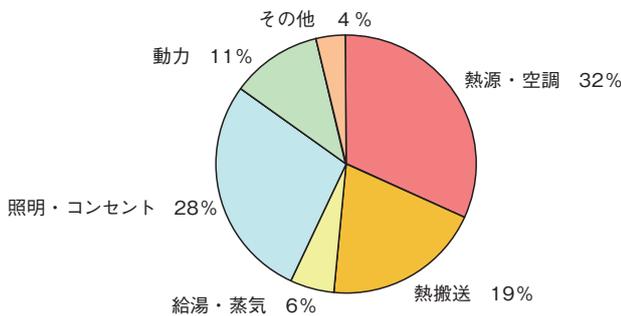


図-13 用途別一次エネルギー使用量原単位割合

5-3 CO₂排出量実績

CO₂排出量原単位は、81.3kg-CO₂/㎡年となり、東京都地球温暖化対策計画書制度にて公表されている最新データ(平成22年度)と比較すると、最小の排出量となっており、74病院の平均値(139.7kg-CO₂/㎡年)に比べて、38%削減となった(図-14)。なお、CO₂排出量原単位の換算係数は、平成22年度東京都地球温暖化対策計画書の換算係数とし、電力(昼):0.0382t-CO₂/GJ、電力(夜):0.0382t-CO₂/GJ、都市ガス:0.0138t-CO₂/GJ、A重油:0.0189t-CO₂/GJとした。

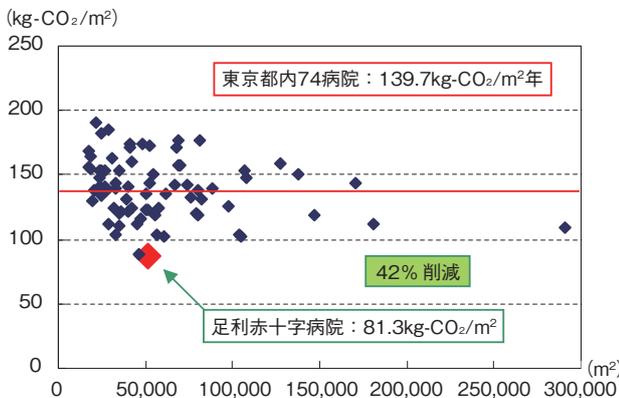


図-14 CO₂排出量原単位比較

5-4 水使用量実績

2012年度の月間給水使用量原単位の平均値は、148

ℓ/㎡月であり、病床数1床1日あたりの給水使用量原単位は、450ℓ/床日となった(図-15)。

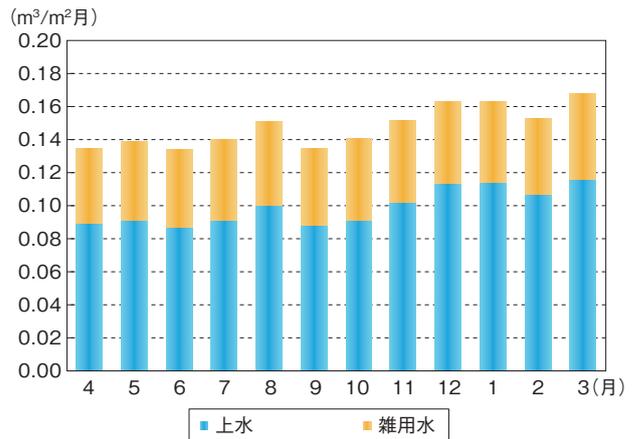


図-15 月別給水使用量の推移

給水使用量の上水と雑用水の割合は、文献値⁵⁾等で見られている70%:30%もしくは60%:40%とほぼ同様に、上水67%、雑用水33%となった(図-16)。

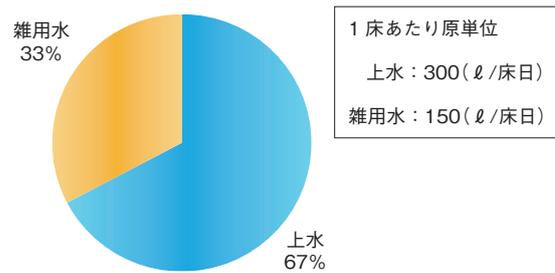


図-16 上水・雑用水使用量の割合

建築設備技術者協会「建築設備情報年鑑」の病院建築における竣工設備データ(1996年、2001年、2006年、2011年)の給水使用量の調査年度別の推移と比較すると、給水使用量原単位は年々減少しており、最大である1996年に比べると、60%削減となった(図-17)。

全館での洗面器の自動水栓の採用や節水便器の採用、浴槽を減らし、シャワー利用が多い点などが、大きな節水につながっていると考えられる。

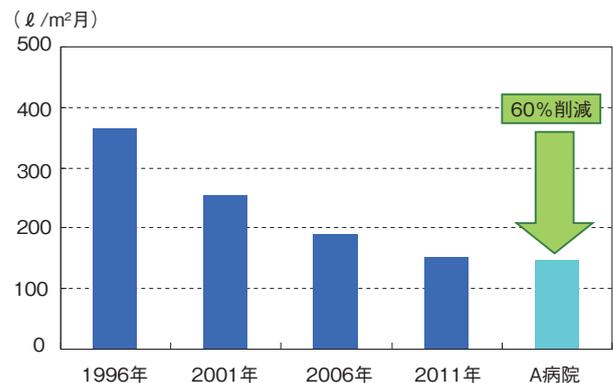


図-17 給水使用量原単位の比較

6. エコ運用説明会&エコパトロールによるエコ推進

足利赤十字病院は、病院長自ら、次世代型グリーンホスピタルとしての取り組みについて、雑誌・新聞・講演等のメディアを通じて、対外的に積極的な情報発信を行っている(写真-16)。

また、事務部長を委員長としてエコ委員会を組織し、病院の職員と施設管理者が一体となって、継続的に省エネルギーに取り組んでいる。

エコパトロールや設計者を交えたエコ研修会を行い、省エネルギー目標を設定し、照明の消灯やエアコンの室内温度設定のチェックを行っている(写真-17)。

対外的な病院施設の見学を受け入れており、開院後2年間で、100施設以上が見学を訪れている。



写真-16 メディアへの情報発信(左)とエコ委員会腕章(右)



写真-17 エコ運用説明会(左)とエコパトロール風景(右)

7. おわりに

足利赤十字病院では、建物ハードの省エネルギー・省CO₂技術の構築と運用側の継続的な取り組みにより、開院して2年が経過しているが、従来の病院ベンチマークに比べ、大幅な省エネルギー・省CO₂を達成することができ、こうした取り組みを積極的に情報発信している。

最後に、足利赤十字病院が、省エネ・省CO₂に配慮した(Green)、安全・安心な(Safety)、患者・スタッフにやさしい(Smart)、地域に貢献する病院として、今後ますます発展していくことをお祈りいたします。

計画段階から竣工までご協力いただいた小松本院長、鷲見事務部長はじめ、建設準備室、工事関係者等、数多くの関係者の皆さまに誌面をお借りして深く感謝を申し上げます。

<参考文献>

- 1) 塚見他：次世代型グリーンホスピタルの構築手法と実性能評価 その1 A病院の省エネ・省CO₂手法の概要とエネルギー使用実績、日本建築学会大会学術講演会論文集、2012. 9
- 2) 塚見他：次世代型グリーンホスピタルの建築環境性能検証に関する実践研究 第1報 A病院におけるグリーンホスピタルの構築概要とエネルギー使用実態、空気調和・衛生工学会大会論文集、2012. 9
- 3) (財)省エネルギーセンター「平成15年度ビルのエネルギー使用実態調査」
- 4) (財)省エネルギーセンター「病院の省エネルギーポイント」
- 5) 一般社団法人日本医療福祉設備協会規格病院設備設計ガイドライン(衛生設備) 1. 2. 6 受水槽容量