

社会医療法人生長会 ベルランド総合病院の空気調和・衛生設備 Heating, Air-Conditioning and Sanitary Facility of Bell-land General Hospital

清水建設株式会社
SHIMIZU CORPORATION

太田昭彦、浅野勝弘、中村友久、吉澤茂之
Akihiko OTA, Katsuhiro ASANO, Tomohisa NAKAMURA, Shigeyuki YOSHIZAWA

キーワード：省エネルギー(Energy Saving)、コージェネレーションシステム(Cogeneration System)、
病棟エコ換気システム(Eco Ventilation System for Hospital Room)、
森からの自然外気利用(Forest Air used for Ventilation)、
熱源システム予測制御(Predictive Control for Heat Source)

1. はじめに

当病院は、AIF 理念（愛の医療と福祉の実現）に基づいて患者・家族本位の急性期医療を実践し、周産期・救急・がん・小児・循環器などの分野で地域における中核的な役割を担ってきたが、開設後約 30 年が経過し、施設の狭隘・老朽化による病院建替の必要に迫られていた。建替にあたっては AIF 理念を引継ぐとともに、さらには患者・家族にとって最適な療養環境を提供する関西エリアのトップブランドとして揺るぎない地位を確立することを目標とした。

2. 計画コンセプト

計画のコンセプトとしては、以下の 4 つを掲げた。

- ・「パートナー本位の急性期医療の実現」
- ・「CS*と ES*に優れた最高水準の医療施設整備」
- ・「機能の継続性の確保」(BCP)
- ・「ライフサイクルバリュエーション」(ECO)

BCP は地域の中核を担う病院としては当然であり、また、ECO を実現することは、環境にも優しくという病院の思いでもある。

BCP については災害に強く、また ECO にも貢献できる熱源を採用し、ECO については、アクティブ要素のみならず、パッシブ要素も取組み、自然に恵まれた当地の特性を活かした建築・設備一体となった計画を行っている。

*CS：Customer Satisfaction・・・顧客満足

*ES：Employee Satisfaction・・・従業員満足

写真-1 建物外観



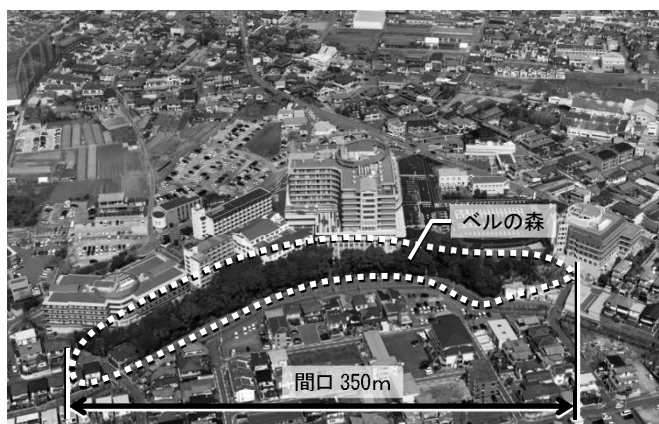
表-1 建築概要

建築名称	社会医療法人生長会ベルランド総合病院
建築主	社会医療法人生長会
設計・監理	清水建設(株)関西支店一級建築士事務所
C M	株式会社 昭和設計
所在地	大阪府堺市中区東山
用途	病院 477床
敷地面積	33,882.35 m ²
建築面積	6,152.03 m ²
延床面積	42,966.72 m ²
構造	RC造(一部S造)付加制震構造
階数	地下2階・地上10階建
工期	2013年4月1日～2015年3月31日

3. ベルの森

新病院外観構成のモチーフともなった敷地南側に大らかな曲線を描いて長さ 350mにもわたって広がる弓型の緑地は高低差も 10mあり、その豊かな自然の中には数々の動植物が生息しており、堺市から保存緑地として指定されている。この恵まれた敷地の持つ自然の力を少しでも子ども・家族・スタッフの方々に行き渡るよう、建物の外と内をつなげる工夫を各所に取り入れる計画とするとともに、省エネルギー利用にも活用している。

写真-2 敷地俯瞰（ベルの森）



4. CGSを導入した熱源システム

建物の年間負荷特性や冷暖切替の必要性等を考慮し、空調熱源は中央熱源と個別熱源の併用方式を採用している（図-1）。

中央熱源は BCP を考慮し、中圧ガスを熱源とする機器構成とした。発電能力 400kW の CGS2 台を設置する計画とし、季節毎の冷暖房負荷に応じて、暖房熱交、給湯予熱槽、ジェネリンクに排熱供給を行い、電力デマンドを優先としつつ、排熱利用効率が最大となる様に CGS の台数制御を行う。また、BCP を鑑み個別熱源には電気方式を採用した。

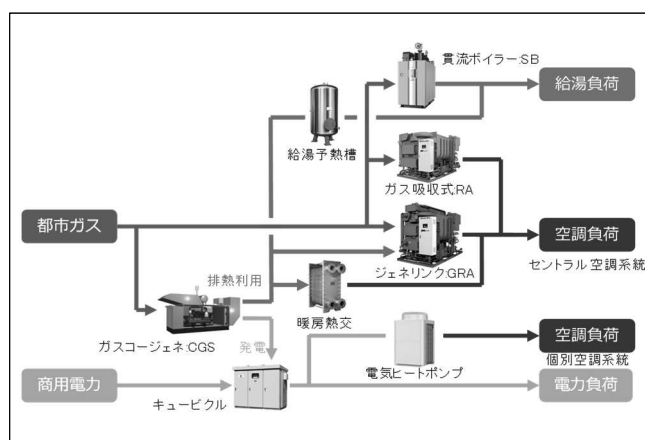


図-1 熱源システムフロー図

5. 病棟エコ換気システム

5.1 病棟エコ換気システム概要

病院では一般的に病室の必要換気量を HEAS 基準の最小必要外気量に則り 2 回換気としている。しかしながらこの数値は、『建築物における衛生的環境の確保に関する法律』（ビル管法）による換気量と比べると約 2 倍の外気量となっており（図-2）、それに見合う外気導入量を処理するエネルギーが必要となるため、通常の建物よりも省エネルギー性能は悪くなる。そこで換気量低減を図るために、病室換気の主目的である室内の臭気注目し、臭気が 1 日の中でどのような挙動を示すかを建替前の病室で臭気実測を行った（図-3）。この際、臭気強度（図-4）の設定目標としては、病院はオフィスほど匂いに敏感な施設ではないため、臭気強度 2（何らかのにおいがわかる弱いにおい）から臭気強度 3（楽に感知できるにおい）の間に収めることとした。

図-5 に臭気実測の結果を示す。日中は排泄処理、食事等のイベントの際に臭気が多く発生し

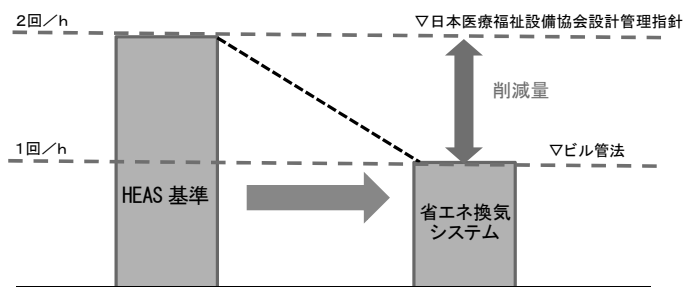


図-2 病室換気量

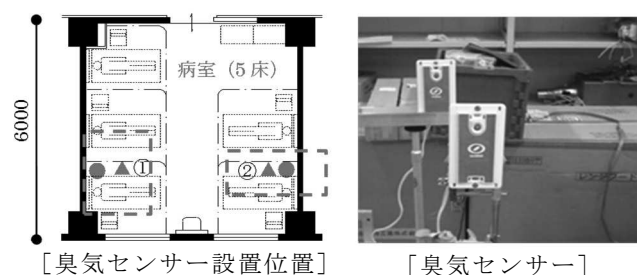


図-3 実測状況

ていることがわかる。また夜間はイベント等がないため、臭気は穏やかに低下し、臭気強度 2～3 の間に収まっている。このことから、比較的臭気強度の低い夜間は換気量を低減する制御が効果的であると考えられる。

この結果を反映し、図-6 に示すような夜間換気量をビル管法風量に抑える制御を行う省エネルギー換気システムを採用した。

臭気強度	6段階臭気強度表示法	イソブタノール濃度 (ppm)	センサー値 (V)
4	強いにおい	70	5<
3	らくに感知できるにおい	4	3.3
2	何らかのにおいがわかる弱いにおい	0.2	1.3
0～1	無臭～やっと感知できるにおい	0～0.01	≤1.0

図-4 臭気強度

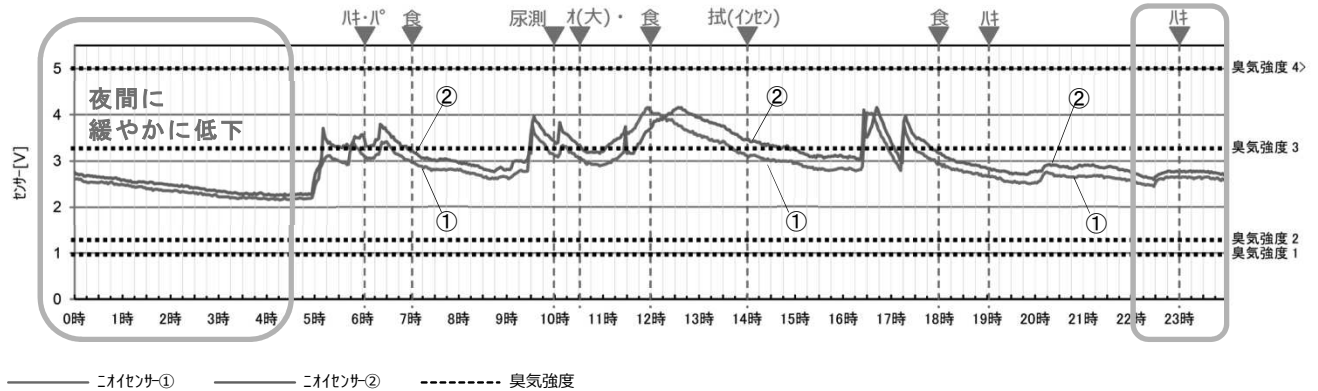


図-5 病室臭気実測結果

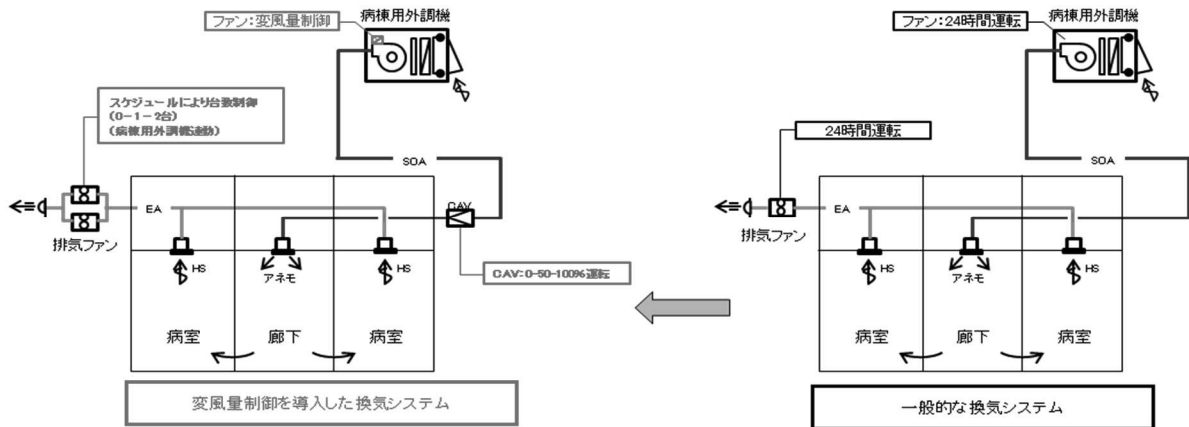


図-6 病棟エコ換気システム

5.2 病棟エコ換気システムの導入効果検証

実際の病院の運用形態をもとに、エコ換気とする時間帯は 23 時 (消灯時間以降)～5 時 (朝食前) とした。その間の換気量を半分に絞る (排気ファンを 2 台運転から 1 台運転に台数制御を行う) 制御を行い、夜間の外気負荷を 50% 削減する。これを病棟全床 (477 床) に適用した場合の年間月別の換気量に対する空調負荷を、通常換気、エコ換気別に図-7 に示す。また、図-8 に病棟換気による外気負荷の年間合計、エコ換気による削減量を示す。冬期暖房負荷において 291,640MJ の外気負荷の削減効果が見込めることがわかる。冬期においては夜間の内外気温度差が大きく、外気負荷が大きくなるため、エコ換気による外気負荷削減効果が顕著に表れる。

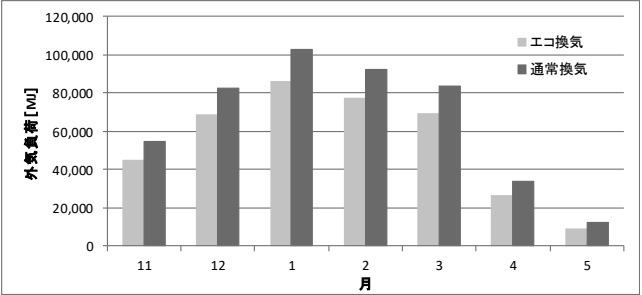


図-7 月別病室外気負荷

なお、この検証は病棟排気量を導入外気量とし、年間の外気温度変動からその外気負荷を計算したものであり、排気ファンの消費電力の減少分は見込んでいない。

6. 自然外気の有効利用技術の導入

6.1 ベルの森からの外気取入れ効果

B1 階の診察・診療系統において、ベルの森から冷涼な外気を外調機に導入し、外気負荷の低減を図っている。

図-9 にベルの森の外気実測結果を示す。屋上の外気温と比べ、日中で最大 5.8°C 、平均で約 2°C ベルの森のほうが低い外気温となった。これはベルの森が常に日陰である、傾斜地のため風が流れやすい、地面が土のため地表面放射熱が低い等に起因するものと考えられる。

図-10 に夏期における該当外調機の運転時間月合計、ベルの森による削減外気負荷を示す。夏期ピークの8月において約 $9,300\text{MJ}$ の外気負荷低減となった。

6.2 講堂の外気冷房制御効果

B1 階の講堂は在室人員が多いため、そもそもの外気導入量が多くなることから外気冷房制御を導入している。外気冷房の条件としては、外気の温度・絶対湿度・室内外エンタルピー差などを判定値とした。

図-11 に外気の時間毎年間の温湿度を空気線図にプロットした散布図に、外気冷房運転可能範囲を示す。時間頻度として年間の約 22% 程度が外気冷房運転条件範囲に該当する結果となった。範囲としては4～6月、10～11月の中間期に集中して見られる。

図-12 に月別の外気冷房運転時間（実際に運転した時間）の合計と、その外気負荷を示す。中間期では外気冷房時間が長く見られ、11月では約 240 時間（8 時間/日）外気冷房を行っていることがわかる。またその外気負荷削減量はピークで約 $55,000\text{MJ}$ /月の削減に相当することがわかる。

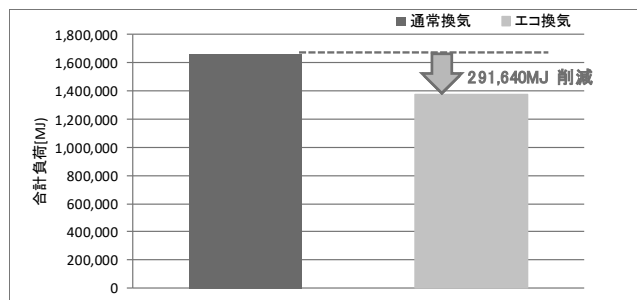


図-8 エコ換気システムによる外気負荷削減量

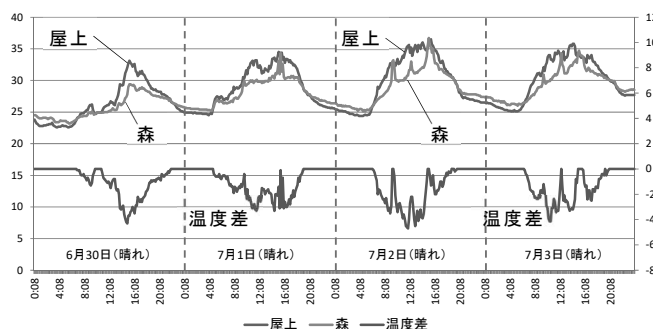


図-9 ベルの森 外気温度差実測結果

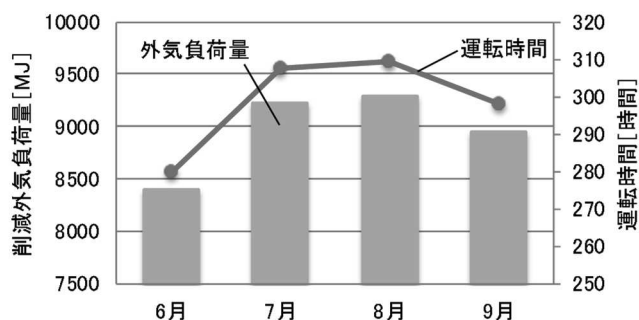


図-10 ベルの森からの外気取入れによる負荷削減量

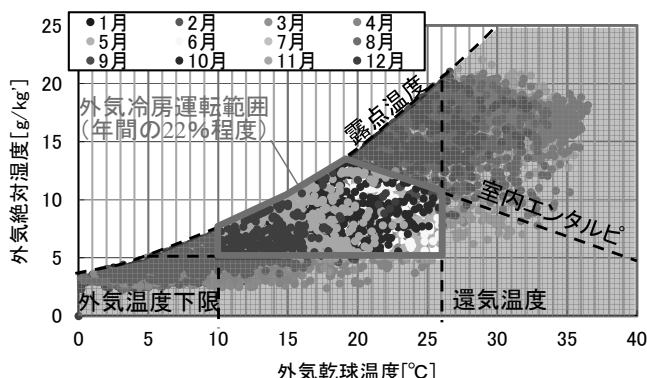


図-11 外気温湿度出現散布図（空気線図）

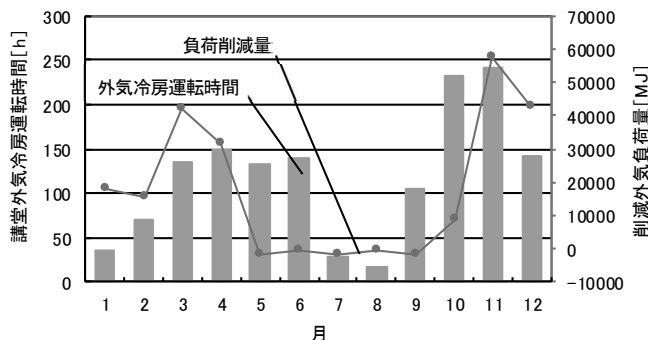


図-12 講堂空調機外気冷房運転時間と外気負荷削減量

7. 省エネ運転ナビ

7.1 省エネ運転ナビ概要

図-13 に省エネ運転ナビの予測制御概念図を示す。中央監視システムのサブシステムとして熱源システムの予測制御（省エネ運転ナビ®）を導入している。気象予報データを基に負荷予測値を算出し、予測値を基に設備機器の翌日の運転スケジュール作成や、翌日の制御方式を判定する

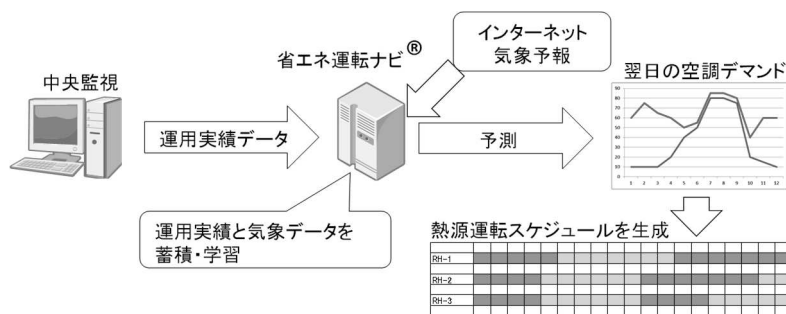


図-13 熱源システム予測制御の概念図

ことで最適な熱源制御が可能となる。過去の熱源運転について、気象実績と建物空調負荷実績を用いて、評価することも可能である。

本建物では特に、CGS の発電と排熱利用を最適化することに注目し、予測システムの改良を行っている。竣工後 1 年の実績データの蓄積に基づいて省エネ運転ナビ®の運用を開始した。

7.2 結果解析

図-14 に夏期代表日（2015 年 8 月 5 日）のガス使用量・受電電力量・1 次エネルギー量・CGS 運転台数・排熱有効利用率・電力デマンドについての実績値と省エネ運転ナビ®に従った運転との比較を示す。この表から省エネ運転に従った運転を行うと一次エネルギー消費量が削減されることがわかる。排熱利用率の平均効率においても省エネ運転のほうが 5% 程度上昇している。

2015年8月5日（水）

実績値	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1日合計
ガス使用量合計	2,295	2,160	2,115	2,160	2,070	3,465	7,695	10,395	10,665	11,385	10,935	11,835	11,745	11,925	11,700	12,240	11,295	11,925	10,980	11,520	7,425	3,465	3,195	270	184,860
受電電力量	11,029	11,126	10,736	10,736	10,834	11,614	9,858	9,370	11,126	12,395	12,298	11,614	11,419	11,907	12,005	12,786	11,614	8,979	7,613	6,832	8,296	11,712	11,517	11,322	258,738
1次エネルギー量	13,324	13,286	12,851	12,896	12,904	15,079	17,553	19,765	21,791	23,780	23,233	23,449	23,164	23,832	23,705	25,026	22,909	20,904	18,593	18,352	15,721	15,177	14,712	11,592	443,598
CGS運転台数(実績)	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
排熱有効利用率(実績)	0%	0%	0%	0%	0%	56%	64%	58%	59%	60%	55%	62%	61%	60%	59%	62%	62%	65%	64%	61%	59%	0%	0%	0%	60%
電力デマンド(実績)	1,130	1,140	1,100	1,100	1,110	1,190	1,010	960	1,140	1,270	1,260	1,190	1,170	1,220	1,230	1,310	1,190	920	780	700	850	1,200	1,180	1,160	
省エネ運転	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1日合計
ガス使用量合計	2,295	2,160	2,115	2,160	2,070	5,715	7,470	10,395	10,665	11,385	10,935	11,835	11,745	11,925	11,700	12,240	11,295	7,650	6,750	7,200	6,390	3,465	3,195	270	173,025
受電電力量	11,029	11,126	10,736	10,736	10,834	9,156	9,858	9,370	11,126	12,395	12,298	11,614	11,419	11,907	12,005	12,786	11,614	12,619	11,252	10,472	8,933	11,712	11,517	11,322	267,835
1次エネルギー量	13,324	13,286	12,851	12,896	12,904	14,871	17,328	19,765	21,791	23,780	23,233	23,449	23,164	23,832	23,705	25,026	22,909	20,269	18,002	17,672	15,323	15,177	14,712	11,592	440,860
CGS運転台数(省エネ)	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0
排熱有効利用率(省エネ)	0%	0%	0%	0%	0%	58%	68%	58%	58%	60%	55%	62%	61%	60%	59%	62%	62%	86%	82%	77%	66%	0%	0%	0%	65%
電力デマンド(省エネ)	1,130	1,140	1,100	1,100	1,110	938	1,010	960	1,140	1,270	1,260	1,190	1,170	1,220	1,230	1,310	1,190	1,293	1,153	1,073	915	1,200	1,180	1,160	

図-14 実績値と省エネ運転ナビ®との比較表（2015/8/5）

同日の CGS 運転台数・排熱有効利用率・CGS 推奨運転台数の実績値・省エネ運転別グラフを図-15 に示す。日中は 2 台運転でほぼナビ通りの運転となっているが、立ち上がり・立ち下がり時間付近では 1 台運転に絞ることにより高い排熱有効利用率となることわかる。

さらに図-16 に受電電力量・CGS 発電量の積み上げグラフを示す。CGS1 台運転のラインを超えると CGS が 1 台動き、2 台運転ラインに近づくともう 1 台が運転し、契約電力量をデマンドが超えないような制御となっていることがわかる。

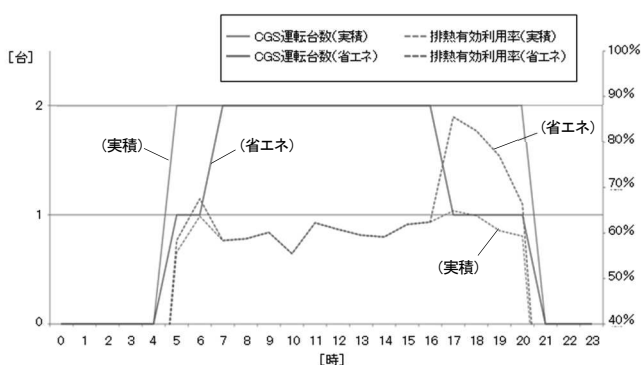


図-15 運転台数と排熱有効利用率（2015/8/5）

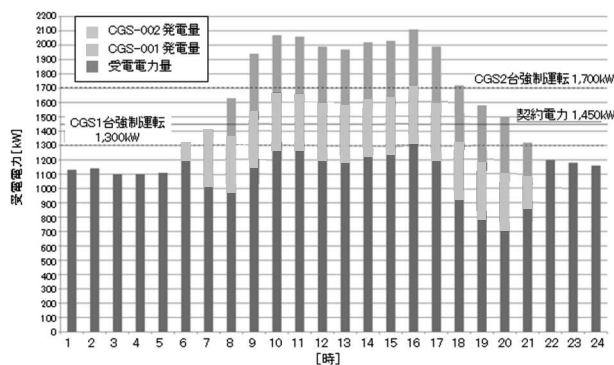


図-16 総需要電力量（2015/8/5）

8. 衛生設備

8.1 給水設備について

(1) 給水設備計画

給排水システムフローを図-17に示す。上水受水槽・雑用水槽容量は、災害時の確保すべき水量として3日間以上を確保するとともに、外部に上水受水槽を設置することで、災害時に給水車が容易に給水出来る計画とした。また、敷地内にある井戸を有効活用して雑用水には井水を利用することとし、災害時のインフラ途絶時にも雑用水については井戸が枯水とされない限り継続使用を可能としている。なお、井水は敷地内の特別養護老人ホームと看護学校に、上水は看護学校に、それぞれの受水槽より給水を行っており、敷地内全体のインフラ供給を兼用している。

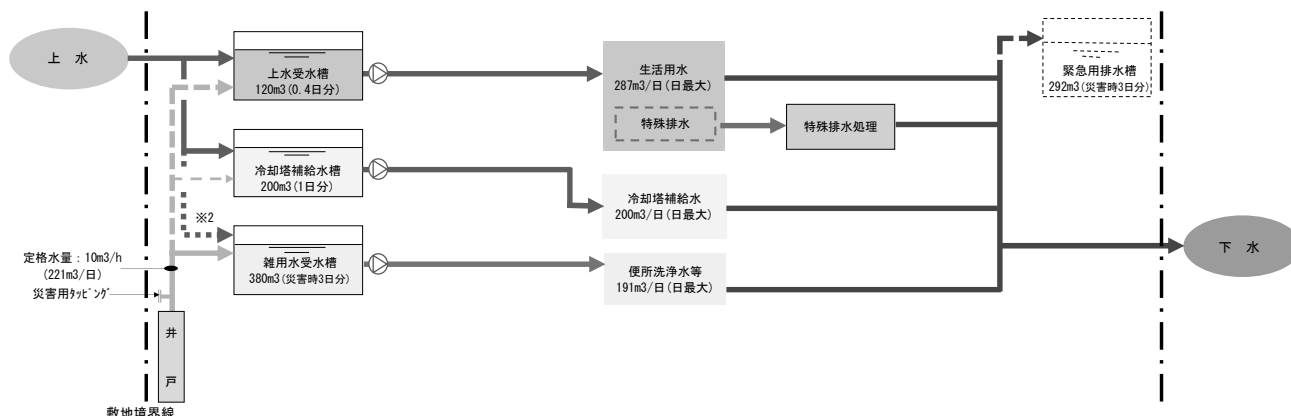


図-17 給排水システムフロー図

(2) 給水使用量における既存病院との比較検討

図-18に建て替え前の旧病院と建て替え後の新病院における、上水（市水を利用）と雑用水（井水を利用）の年間使用量実績を示す。建て替えにあたりベッド数には変更がない。よって使用量について単純比較を行うと、上水では年間約9,440m³（54L/床・日）の削減、雑用水では年間約37,800m³（217L/床・日）の削減となり、特に雑用水については使用量が大幅に削減され、その削減率は64%となっている。

雑用水使用量の大幅な削減の達成は、新病院では節水便器等を積極的に採用したことに起因すると類推される。

上水の削減率は14%と建て替えによる効果は小さいが、旧病院時にシャワーカラン等が節水器具等に交換されていたことを鑑みると全館自動水栓の採用効果が反映された結果と考えられる。削減した上水のCO₂排出削減量としては、約1,880kg/年*（10.8g/床・日）となった。

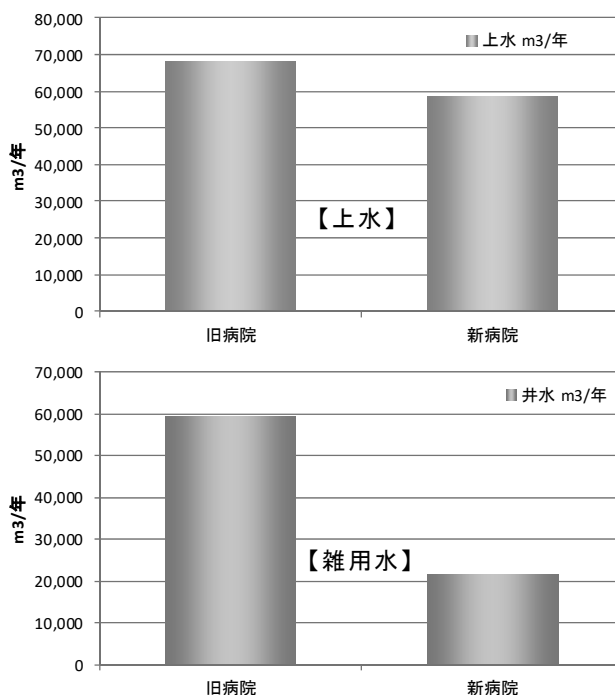


図-18 上水・雑用水使用量実績

*上水 1m³あたり 200gCO₂ 排出として算出。

8.2 給湯設備について

(1) 給湯設備計画

給湯システムのシステムフローを図-19に示す。給湯方式は、ガス焚き温水ボイラー+CGS 排熱回収予熱槽による全館中央熱源方式を採用した。CGSの排熱は、ジェネリンクによる冷水製造を優先としているが、給湯予熱としても利用することで、年間を通して余すこと無く有効に活用している。

(2) CGS 排熱利用による給湯省エネ効果検証

図-20 に給湯予熱槽の排熱回収熱量、ボイラーの発生熱量の積み上げを示す。

給湯に要するエネルギーのうち、予熱槽の排熱回収熱量は給湯量全体の平均で 67% を占めており、省エネに大きく貢献していると判断できる。病院という建物用途の特性上、給湯負荷は年間を通してほぼ一定で存在し、通年で CGS 排熱を有効に利用できていることがうかがえる。

5 月以降で予熱槽割合が増えている理由は、

CGS の運用改善により運転時間・台数を見直したためである。冬期になると CGS 排熱は主に温水発生熱源（熱交換器・ジェネリンク）として優先使用されるため、給湯への割合が減少している。

図-21 に予熱槽の排熱回収熱量をボイラー使用した場合のガス消費量を示す。月平均で約 8,200 m³ N、年間で約 98,000 m³ N のガス量が削減されている。

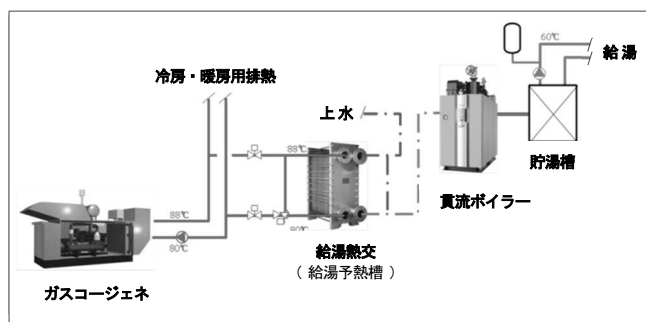


図-19 給湯システムシステムフロー図

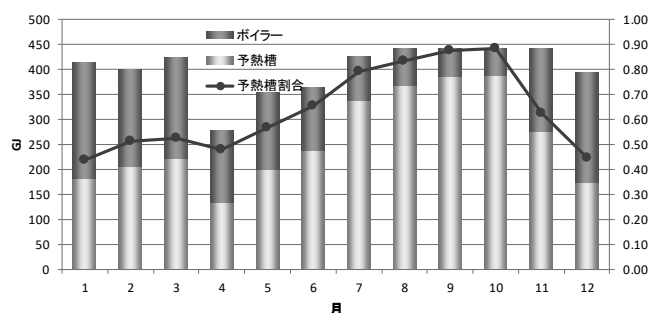


図-20 月別給湯使用熱量

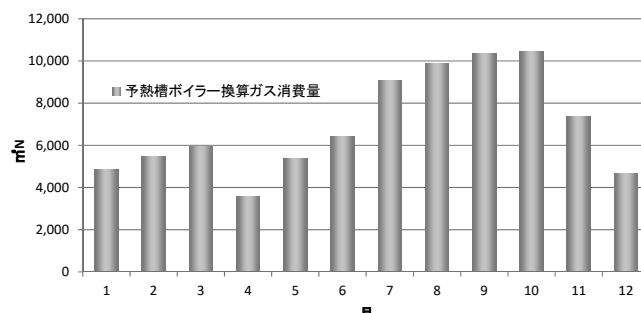


図-21 予熱槽回収熱量のボイラー換算ガス量

9. エネルギー評価

9.1 計画値に対する実績値

病院全体のエネルギー消費量の計画値と実績値の比較について、図-22 に年間一次エネルギー消費量を示す。前項で述べた様々な省エネルギー手法の採用と季節毎の CGS 運転モード切替えなどを行うことにより、当初予定の省エネ率を達成することができた。なお図中の導入前の数値は PAL・CEC 標準値から算出している。

※季節毎の運転モード切替

- ・冷熱源：CGS 排熱利用優先(4～11 月)
- ・温熱源：CGS 排熱利用優先(12～3 月)

図-23 に月別一次エネルギー消費量の設備別内訳を示す。図中の「その他」はボイラーのガス消費量を示すが、冬期以外の期間では CGS 排熱利用による削減効果がみとれる。なお、この消費量は ZEB 基準に則り医療用機器動力、医療用コンセント等については除外して算出している。

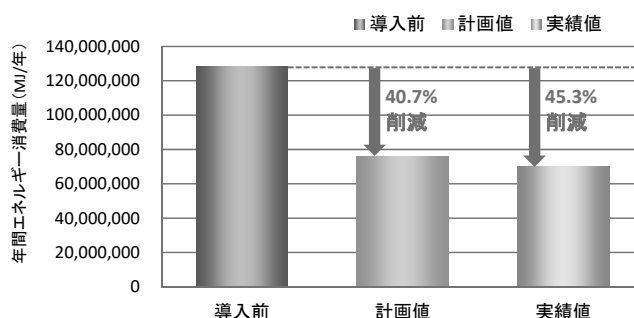


図-22 年間一次エネルギー消費量推移

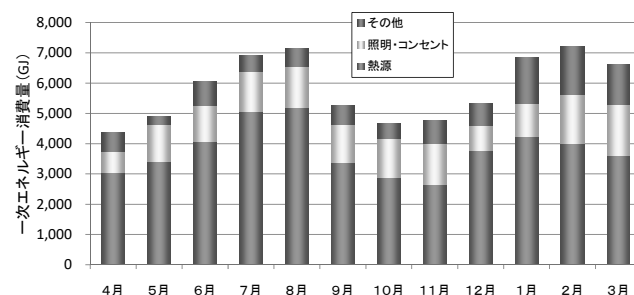


図-23 月別一次エネルギー消費量内訳（計量区分別）

9.2 一般病院との比較

図-24 に単位面積あたりの年間一次エネルギー消費量の当病院の実績値と、省エネルギーセンターの示す病院の平均値を示す。

当病院の値は $2,620\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ となり、省エネルギーセンターが発表している病院の平均値 $4,050\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ と比べて約 35% の減を達成し、省エネルギー性能に優れた病院となっている。

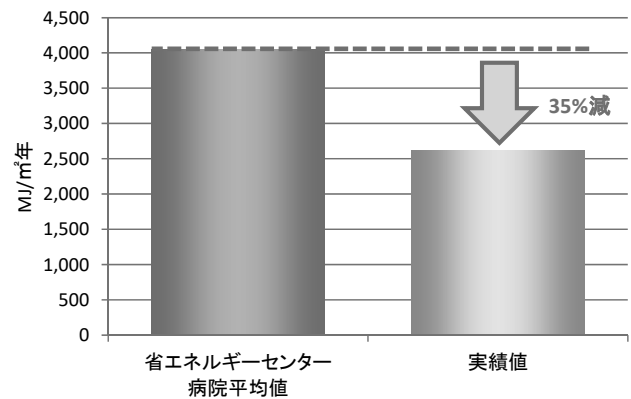


図-24 単位エネルギー消費量比較

10. まとめ

当病院ではここで紹介した設備的な省エネルギー技術だけではなく、建築的な配慮を含むさ

まざまな省エネルギー化に取り組んでいる。その結果、昨年度の年間一次エネルギー消費量は、一般病院に対して約 35% 減を達成し、急性期病院かつ総合病院のために大型医療機器や治療機能が多く、大きなエネルギーを投入しているにもかかわらず、エネルギー消費の少ないエコホスピタルを実現している。

最後に、計画から竣工までご協力頂きましたベルランド総合病院関係者の皆様、㈱昭和設計の皆様、建設に参加いただいた多くの皆様に紙面をお借りして厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 辻裕次、中村友久、竹島卓磨、山口一：多床病室の臭気特性と換気量制御に関する研究 (第 1,3 報),平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演会梗概集
- 2) 辻裕次、中村友久、竹島卓磨、山口一：室内環境に合わせた病室の換気量制御に関する研究(第 1,3 報),2013 年度日本建築学会大会学術講演会梗概集
- 3) 中村友久：病院施設の省エネルギーと BCP 対応事例ーベルランド総合病院,第 45 回日本医療福祉設備学会
- 4) 病院設備 2016 年 9 月号