

カーボンニュートラル賞

受賞名称
第8回カーボンニュートラル賞 中国・四国支部
カーボンニュートラル賞選考支部名称
第8回カーボンニュートラル賞選考委員会 中国・四国支部
業績の名称
川崎医科大学総合医療センターにおける地域共生型環境配慮病院の取組み
所在地
岡山県岡山市北区中山下2丁目6番1号
応募に係わる建築設備士の関与
株式会社竹中工務店 広島支店 中下 一成

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	株式会社竹中工務店 広島支店		
建築主	学校法人川崎学園		
設計者	株式会社竹中工務店		
施工者	株式会社竹中工務店		
建物管理者	学校法人川崎学園		
延床面積	78,198	m ²	
階数	地上15階	地下2階	塔屋2階
主用途	病院		
竣工年月日	2016年8月		

支部選考委員長講評

本件（川崎医科大学総合医療センター）では「安全・安心な医療を提供し地域と共生する病院」というコンセプトの下で建築・設備計画を行い、都市計画上の制限や、防災拠点としての条件を満たしつつ、CO2削減率50.4%（ZEB Ready）の環境配慮型病院を実現しています。

医療施設は他の施設に比べ、エネルギー消費が多いことが特徴ですが、本件では後述する省エネルギーへの取り組みによって平常時の低炭素化を促進しています。またBCP（事業継続計画）の観点からも、災害時における病院機能維持に必要なエネルギーを軽減することによって医療の継続性を向上させています。

省エネルギーへの取組み・工夫としては、① 熱負荷・日射負荷の低減、② コージェネレーションシステムの効率的活用、③ 空調熱源・熱輸送の最適化運転、④ 雨水の活用等が挙げられます。それぞれの詳細は以下の通りです。

- ① 熱負荷・日射負荷の低減に関しては、建物外壁南面・西面への複層Low-eガラスの採用による熱負荷低減、エアコン室外機やチラーユニットへの日射遮蔽による空調機の効率低下防止が挙げられます。
- ② 本件では、BCPの観点から導入したガス・コージェネレーションシステムを活用することにより、節電とデマンドピークカットによる電力負荷平準化を実現しています。また、コージェネレーションシステムからの排熱は、夏期は吸収式冷温水機の熱源、冬期は暖房の熱源、また通年で給湯の熱源として利用し、年間の排熱利用率87%、総合効率62%という好成績を実現しています。
- ③ 空調熱源の最適化運転に関しては、熱源の送水温度を変化させる「ゾーンマッピング制御」という独自の制御手法を導入しています。これは、最小コイル余裕の空調機特性からの逆算により空気線図上にマッピングを行い、外気温湿度の情報だけで空調機が能力を発揮できる送水温度の設定を行う方式です。また、熱輸送の最適化に関しては、大温度差送水（ $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$ ）とインバータポンプによる変流量制御等を導入することにより搬送動力を低減しつつ冷暖房需要に対応できるようにしています。
- ④ 本件において給水設備は上水および雑用水の2系統給水としており、建物屋根の雨水を収集・濾過し、トイレ洗浄などに利用することで上水使用量を低減しています。

再生可能エネルギーの利用・工夫としては、雑用水を未利用冷熱源として、厨房のプレハブ冷凍・冷蔵庫の放熱器の冷却に使用するという工夫が挙げられます。また、再エネの利用に準じるものとして、庭園に面した病室において自然採光や自然通風を可能とし、照明・換気・空調負荷の低減に努めていることが挙げられます。

本件は、岡山市中心市街地という都市計画上の制限があり、また、地域防災拠点としての機能が求められるという制約条件が課せられている中で、省エネ・再エネ技術を相互に連携させながら運用し、その結果としてCO2排出量を大幅に削減しております。地域に根ざしたカーボンニュートラル建築を実現する上で参考になる事例であると言えます、中国・四国支部としては本件をカーボンニュートラル賞に推したいと考えております。

関与した建築設備士の言葉

本病院は、岡山市中心部の救急医療と高度医療を担う災害拠点機能のヘリポートや免震構造を持つ総合医療センターです。「安全・安心な医療を提供し地域と共生する病院」をコンセプトとし、災害に強く信頼性の高い、低カーボンな地域共生型環境配慮病院を目指し、自然エネルギー利用、コージェネレーション導入、熱源運転の最適化などの建築・設備計画によって、2018年度実績ベースでの1次エネルギー消費量は1,675[MJ/m²・年]となり、病院参照値に比べ50.4%の削減とZEB Readyの水準を達成することができました。

また、計画敷地であった小学校の元グラウンド部分は、緑豊かな広場に再整備・開放することで、周辺住民のメモリアルの保全、災害時の防災拠点の形成、ヒートアイランドの緩和など都市環境を向上させる取組みにより、地域のまちづくりへ貢献しています。

(中下 一成 : 株式会社竹中工務店)

業績の名称： 川崎医科大学総合医療センターにおける地域共生型環境配慮病院の取組み

■ 業績の概要とカーボンニュートラルに係わる取り組みの説明

1/4

1. 建物全体の計画コンセプト

はじめに

川崎学園は岡山下に医科大学を中心とした病院や学校を有する学園であり、市内に建つ旧病院の老朽化に伴い、川崎医科大学総合医療センターを近隣の小学校跡地へ新築・開院した。本病院では、「安全・安心な医療を提供し地域と共生する病院」をコンセプトに、**災害に強く信頼性の高い、低カーボンな地域共生型環境配慮病院**を目指し、これを実現する高層化・高密度化に対応した建築・設備計画を行った。また、小学校の元グラウンド部分は、緑豊かな広場に再整備・市民へ開放し、周辺地域の活性化や防災拠点の形成、ヒートアイランドの緩和など**都市環境を向上させ、低炭素なまちづくり**に取り組んだ。



建築主	: 学校法人 川崎学園
建築地	: 岡山市北区中山下2丁目
建物用途	: 病院 (647床)、駐車場 (280台)
敷地面積	: 12,089 m ²
建築面積	: 5,594 m ²
延床面積	: 78,198 m ²
構造	: RC + S 造
規模	: B2F・15F・P2F
開院	: 2016年12月

計画コンセプト

医療施設は他業種よりも多くのエネルギーを消費する建物であり、日常的に病院内へ導入され大量に使用される主なエネルギー源としては、熱や水や空気が挙げられる。(図1) これらのエネルギーを最小化できるように建築と設備を融合し、「熱」・「水」・「空気」のもつエネルギーを緻密にコントロールすることでカーボンニュートラルを促進できるコンセプトを計画した。(図2)

また、低カーボン化により災害時における病院機能維持に必要なエネルギーが軽減されるため、長時間に渡って医療継続が行われ、BCP向上にも寄与できる。



出典：東京都環境局発行の「東京都★省エネカルテ」

図1 業種別施設のエネルギー消費量原単位



図2 計画コンセプト

2. 建築・設備計画の融合

医療施設の一般的な計画として、大規模病院は多機能・多用途のエリアが複合的に連携し、動線が複雑に絡み合うため、外来と病棟を分節した「基壇型」や「多翼型」の建築形態が適用される。一方で「ブロック型」の建築形態は、ゾーニングと動線に制約が少ない中小規模の病院に事例が多い。本病院は、動線や平面計画の工夫と変形グリッドなどの工構法を採用し、**大規模病院でありながら「ブロック型」での建築形態を実現し**、次のメリットを得た。(図3、図4)

- ・コンパクトに高層化することにより、敷地内の約40%のエリアは、**地域に開放した緑豊かな広場と防災拠点（災害時の一時避難場所）を創出**
- ・電気室や熱源機械室などの主要機械室を中層階と最上階に分散・積層配置することで、BCP対策と設備メインートの短縮化を両立
- ・ブロック型の利点を活かし、各フロアの空調機械室を同位置に配置し、縦シャフトの一本化により**水搬送メイン配管を高密度に建物内に敷設**
- ・空調機械室と給気口は、建物の四隅に配置し、排気は東西面および凹部にすることで、臭いやショートサーキットの防止に配慮
- ・建物中央部に排煙用ダクトスペースを設けることで、各ダクトルートの重なりを少なく、かつ最短とできる機能的な設備ゾーニング

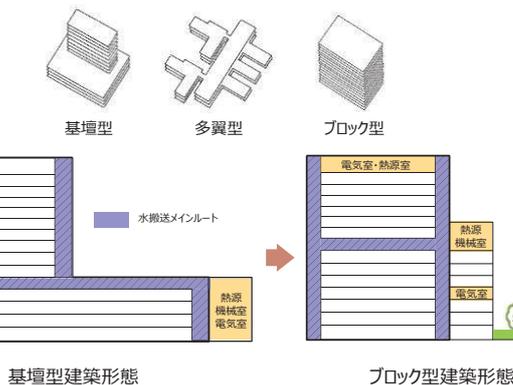


図3 建築形態と断面計画

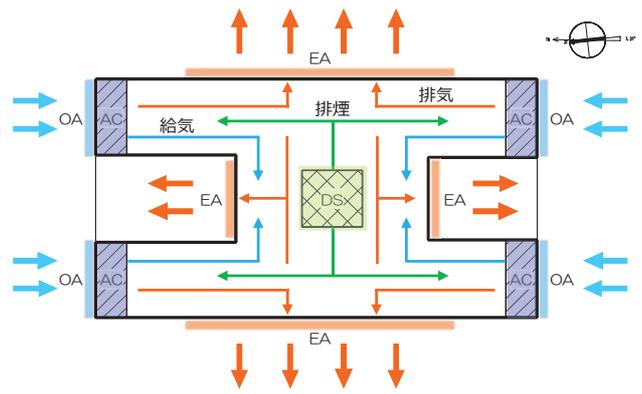


図4 平面計画

3. 熱負荷・日射負荷の低減

- ①建物外壁の南面・西面の開口部には外皮性能の高い複層Low-eガラスを採用し、南側屋外広場の緑化とともに、**建物内の病棟階や最上階も立体的に緑の庭園を配置**することにより、断熱性を高め熱負荷を低減した。(図5)
- ②病棟階はH型プランとして隣棟間隔を確保し、庭園に面した病室は自然採光や自然通風を積極的に取り込む計画とした。(図6)
- ③PAC室外機は半外部スペースに設置し、屋外テラス上部には目隠しを兼ねた日除けルーバーを設け、**日射による空調機の効率低下を軽減**した。(図7)

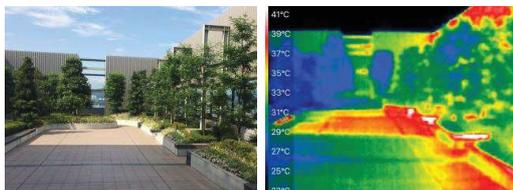


図5 15階屋上庭園のサーモカメラ (2019/8/26 外気31.9℃、植栽表面25.7℃、スラブ表面41.1℃)



図6 病室の開口部



図7 日射遮蔽の工夫

4. コージェネレーションシステムの熱融通

本建物に導入したガスコージェネレーションシステムを図8に示す。2018年度の最大需要電力日の実績より、コージェネ有効発電量は8,150kWh/日で、**需要電力量の23%を賄い、電力ピークカット率は57%の実績となっており、節電効果とデマンドピークカットによる電力負荷平準化を図り、CO2排出量の抑制に寄与している。**(図9)

コージェネからの排熱は、空調や給湯の熱源システムに融通し、最大限有効利用する計画とした。夏期は排熱投入型吸収式冷温水機での冷房、冬期は熱交換器での暖房、通年はエコキュート+温水ヒーターのシステムに給湯保温として利用し、**年間の排熱利用率は87%、総合効率は62%と高い実績となり、エネルギーの総合効率を向上させた。**(図10、11)

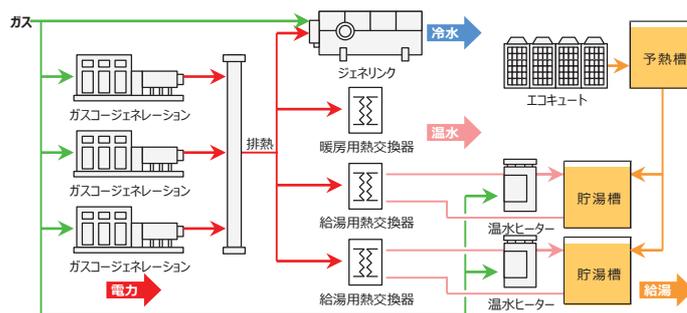


図8 コージェネレーションシステム

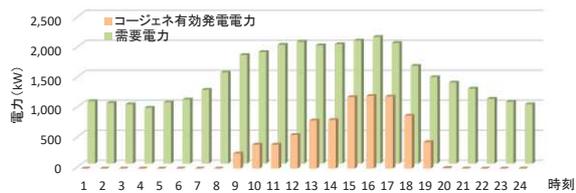


図9 時刻別需要電力 (最大需要電力日)

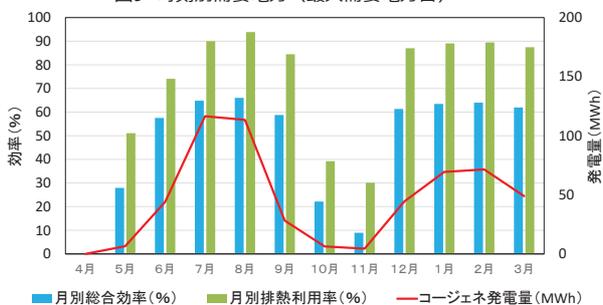


図11 コージェネレーションシステムの月別運転実績 (竣工後2年間実績)

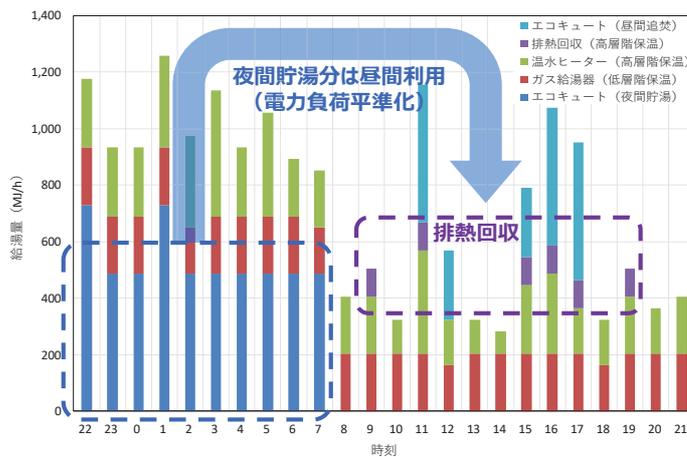


図10 排熱回収の給湯利用実績 (代表日)

5. 水の節約と未利用エネルギー活用

給水方式は上水および雑用水の2系統給水を採用し、地下階に上水受水槽および雑用水槽 (ピット利用) を設け、屋上階に高架水槽を設置する重力方式とした。また、建物屋根の雨水を収集・ろ過し、トイレ洗浄水や散水栓に利用することで上水使用量を低減している。(図12)

厨房のプレハブ冷凍・冷蔵庫の放熱器は水冷方式を採用し、地下ピットに貯留している雑用水を冷却水として循環利用する計画とした。竣工後の実績より、循環水量は約3,800m³/年で、循環利用にかかるポンプ電力量は約2,150kWh/年 (電気料金は約2万円/年) と僅かなエネルギー使用量となっており、**雑用水のもつ未利用エネルギーをうまく活用し、水資源を節約しつつ経済性にも寄与している。**(図12)

建物全体の水使用量は、空気調和・衛生工学便覧の病院の設計値1,500L/日・床、および移転前の病院実績値594L/日・床に対して、移転後の2018年度の実績値は338L/日・床となり、水を大切につかう様々な取り組みにより、**設計値から77%、移転前から43%削減**することができた。(図13)

※原単位算出の病床数は、病室稼働状況が全647床に対して100床未稼働のため、547床として算出した。

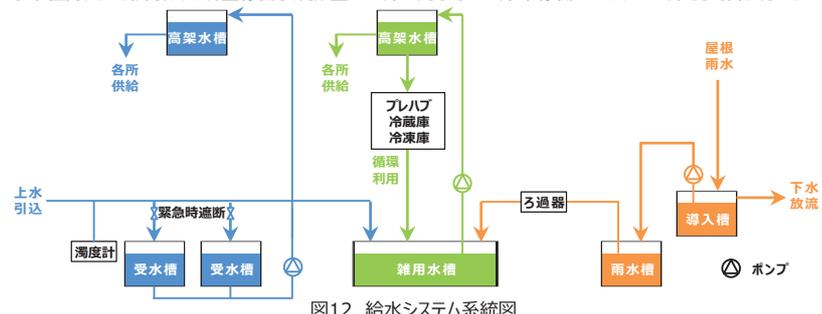


図12 給水システム系統図

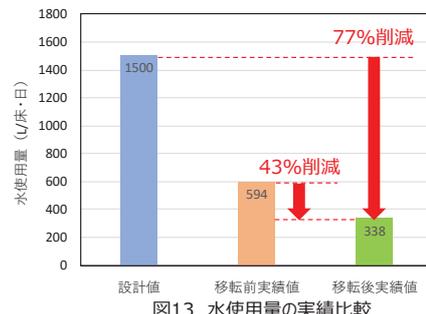


図13 水使用量の実績比較

6. 空調熱源の最適化運転

病院の消費先エネルギーとターゲット

病院の消費先エネルギー比率より、消費先は空調熱源が32%、次いで照明・コンセントが21%となっている。(図14)

本病院において、**照明は全館LED化**により省エネルギー対策を行っており、コンセントは院内の使用状況に依存し抜本的な低減は難しいことから、**最大の消費先である空調熱源・熱輸送の44%をターゲット**にして、様々な対策を行いエネルギー削減を図った。

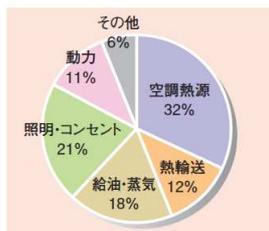


図14 病院の消費先エネルギー比率
出展：(財)省エネルギーセンター

熱源機	冷房能力	暖房能力
インバーターボ冷凍機	450RT 1台	1,582kW
定速ターボ冷凍機	350RT 1台	1,231kW
空冷ヒートポンプチャラー	40HP 9台×2組	2,700kW 1,782kW
吸収式冷水機	560RT 1台	1,969kW 1,292kW
吸収式冷水機(ジェネリンク)	560RT 1台	1,969kW 1,293kW
温水ヒーター	2,073kW 3台合計	2,073kW
コージェネ排温水暖房用熱交換器	970kW 1台	970kW
合計	9,451kW	7,409kW

表1 熱源構成機器

熱源システムの概要

空調熱源は、ターボ冷凍機、空冷ヒートポンプチャラー、吸収式冷水機、温水ヒーター、コージェネ排温水暖房用熱交換器の複数熱源による電気・ガスのベストミックス方式とした。(表1)

病院の熱負荷形態の特徴である低負荷から高負荷時までの全域で高効率な運転ができるように、定格・部分負荷効率の異なる特性をもつ熱源構成とし、容量は熱負荷に対して約20%の余裕をたせ、効率的かつ自由度の高い運用を可能とした。

熱源の高効率運転制御

部分負荷時の効率が飛躍的に高いインバーターボ冷凍機**の特性を最大限活かす**ため、高COP帯の負荷率30~70%での運転を長時間行える運転制御を採用した。通常時は、冷凍機1次ポンプ水量を70%に制御し、ピーク時に空調能力が不足する場合は、100%運転に移行する制御を組んだ。(図15)

2018年度冷房期のインバーターボ冷凍機の負荷率出現回数(1時間毎)は、**30~70%の負荷率が全体の80%を占めており、狙い通りの高COP帯での運転を達成した。**(図16)

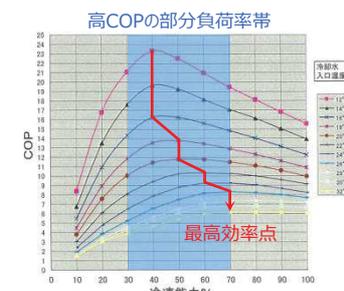


図15 インバーターボ冷凍機の性能曲線

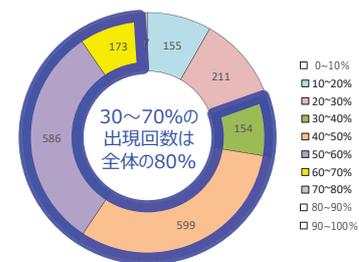


図16 インバーターボ冷凍機の負荷率出現回数

冷房時		ゾーン E	
DB	WB	DB	WB
① 24.0℃	23.4℃	① 16.9℃	16.4℃
② 34.6℃	23.5℃	② 22.7℃	16.5℃

暖房時		ゾーン F	
DB	WB	DB	WB
① -1.4℃	-1.9℃	① 14.0℃	11.8℃
② 14.0℃	5.7℃	② 19.9℃	13.9℃

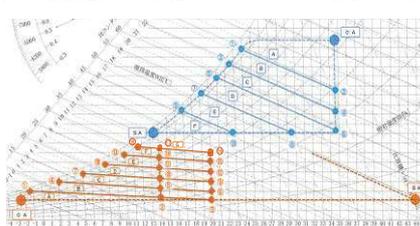


図17 空気線図マッピングとゾーン別送水温度

熱源送水温度可変制御

従来、熱源の送水温度は一定(冷水7℃、温水50℃)で運用されているが、中間期などの低負荷時には送水温度を緩和し、省エネルギーを計る手法として、送水温度を可変させる熱源最適化制御を取り入れた。制御に工夫を行い、最小コイル余裕の空調機特性からの逆算値を空気線図上にマッピングし、**外気温・湿度の情報だけで空調機が能力を満足できる送水温度に自動設定するゾーンマッピング制御とした。**(弊社開発特許技術) マッピングという簡易な判定方法のため、従来の熱源全体シミュレーションからフィードバックする複雑で高価な熱源最適化制御に比べ、**安価でありながら汎用性の高いシステムを実現した。**(図17)

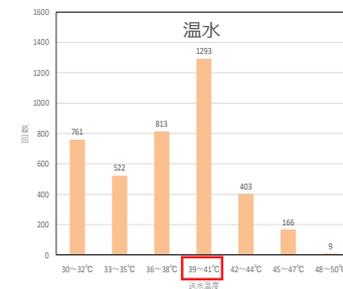
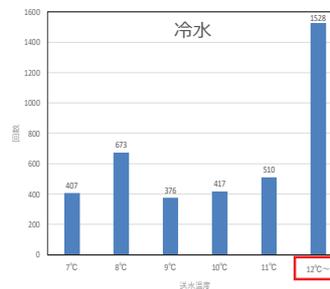


図18 冷水・温水の送水温度出現回数

熱源最適化による運転実績

- 2018年度における冷水・温水ヘッダー往きの送水温度の出現回数実績(1時間毎)を示す。(図18) **冷水7℃、温水50℃の回数は少なく、最も多い温度は冷水12℃、温水40℃前後**になっており、外気温・湿度に合わせて送水温度が緩和されていることを確認した。また、湿度の高い梅雨時期において、送水温度は7℃程度に制御され、外調機コイルでの除湿能力を確保することで、**低カーボン化と室内温熱環境の快適性を両立**させている。(図19)
- 2018年度冷房期におけるインバーターボ冷凍機の部分負荷率・送水温度・COPの関係を示す。(図20) 夏期ピークの送水温度7℃時はCOP5~6でほぼ定格通りのCOPとなっている。中間期のCOPは7~最大18となっており、送水温度が高くなるにつれてCOPが良くなっていることから、インバーター単体として、**部分負荷率改善と送水温度可変制御の相乗効果により、高いCOPで運転していることを確認した。**
- 送水温度を7℃、50℃に固定した場合との比較を行った結果、実績値から省エネルギー効果は、冷房時で約12%、暖房時で約10%の削減となった。

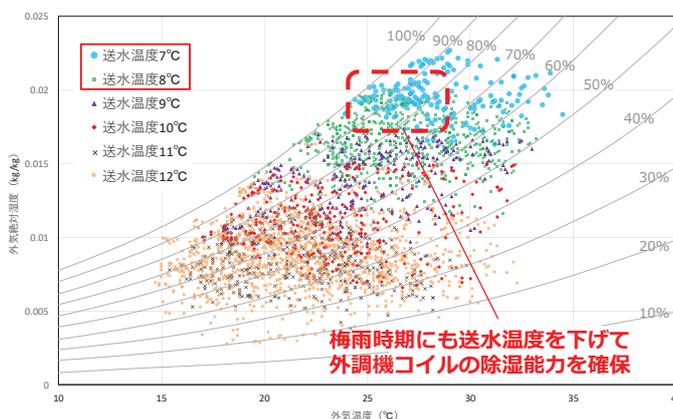


図19 冷房時の外気温・湿度と送水温度

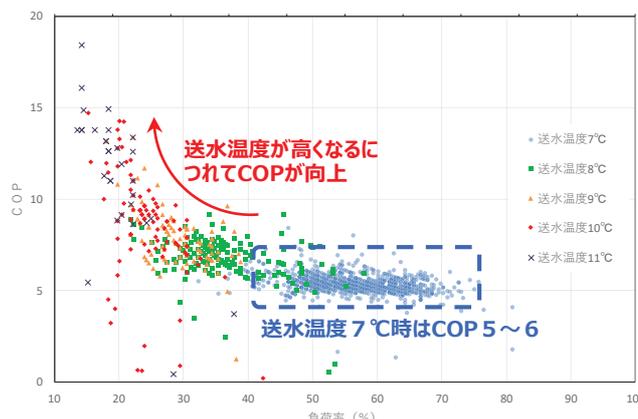


図20 インバーターボ冷凍機の部分負荷率・送水温度・COP

7. 搬送エネルギーの低減と熱源システムの運転実績

搬送エネルギーの低減

熱源搬送システムは、大温度差送水 ($\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$)、送水ポンプのインバータ変流量制御、外調機の制御弁差圧の推定末端圧制御などを採用した。

2018年度における熱源全体と冷水・温水2次ポンプの電力量および水搬送システム効率 (WTF) を示す。(図21) 2次ポンプの電力量は熱源全体の約3%と非常に小さく、WTF年間平均値は174という極めて高い実績となった。これは、前述の建築形態を活かした設備計画により、低層から高層に渡る水搬送メイン配管が高密度に敷設され、配管抵抗を小さくできたことが、搬送動力を大幅に低減する結果につながったと推定される。



図21 冷水2次ポンプの水搬送システム効率

熱源システムの運転実績

2018年度における熱源製造熱量および1次エネルギー換算の熱源システムCOPを示す。(図22、23) 年間製造熱量は冷熱18,600GJ/年、温熱17,800GJ/年という実績で、1次エネルギー消費量は31,000GJ/年となり、後述の建物全体のエネルギー消費量に対する空調・搬送エネルギーの割合は、ターゲットとした44%に対して約29%と一般病院に比べて大幅に改善した。また、冷熱源システムCOPは年間平均で1.5、中間期や冬期の部分負荷時には2.0を超えており、熱源全体システムCOPは1.2と年間を通して高効率な運用がなされている。

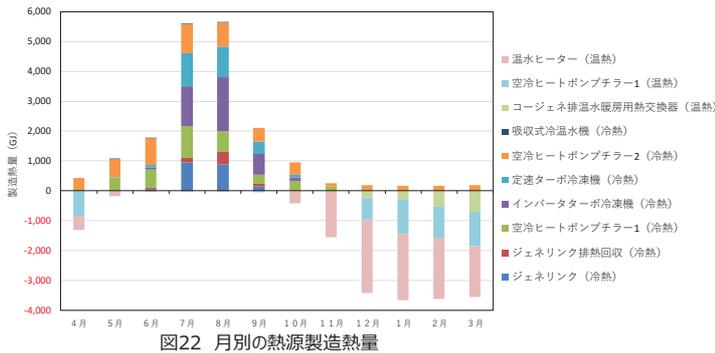


図22 月別の熱源製造熱量

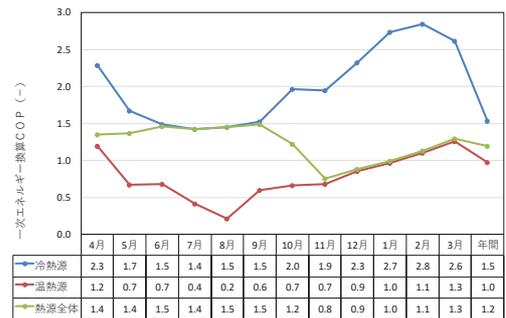


図23 月別の熱源システムCOP

8. BCP対策と地域の防災拠点

地域の防災拠点になる病院として免震構造を採用し、地震時のインフラ途絶に備えて、オイルタンクや受水槽は3日間分の容量、コージェネ発電機による停電対応など医療継続に必要なライフラインを確保した。

岡山市の洪水ハザードマップにおいて0.5m程度の浸水が想定されており、電気室・熱源機械室など主要室は地上階に配置とし、水没対策を図った。

病院と岡山市とで包括連携協定を結んでおり、災害時には、敷地内の広場を一時避難場所として地域に開放し、隣接した建物内の集会室や記念ホールは、トリアージスペース (約400人収容可能) として連携できるように、医療ガス、非常電源、非常照明、保安空調、保安エレベータといった防災機能も兼ね備えている。(図24、25)

また、低カーボン化によるエネルギー削減への取組がBCPの有効性を向上させている。

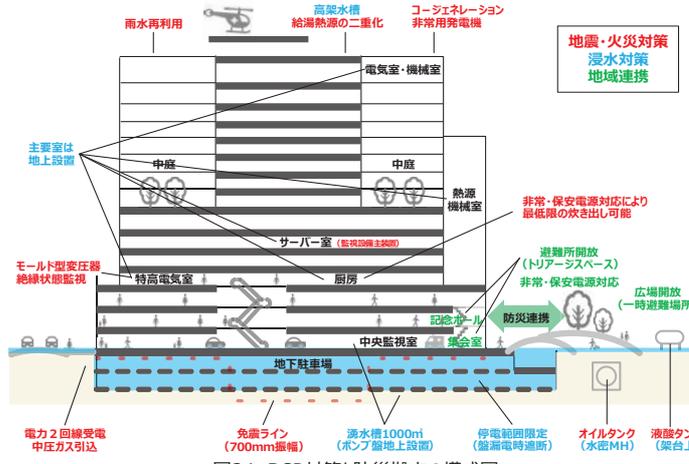


図24 BCP対策と防災拠点の模式図



図25 山陽新聞記事

9. 建物全体のエネルギー消費量の実績

1次エネルギー消費量とCO2排出量の実績

竣工後2年間の電力使用量、ガス使用量より、建物全体の単位延床面積あたりの1次エネルギー消費量は、2017年度1,734[MJ/m²・年] 2018年度1,675[MJ/m²・年]の実績となった。(図26)

〔(財)省エネルギーセンター 病院の省エネルギーP5 病院の種類とエネルギー消費量〕における中～大規模の短期 (外来・手術) タイプの病院の参照値である1次エネルギー消費量3,374 [MJ/m²・年]に対して、2017年度は48.6%の削減であった。さらに2018年度は、コージェネ排熱回収のチューニングなど運用における低カーボン化の推進により50.4%の削減となり、実績ベースでの1次エネルギー消費量はZEB Readyの水準となった。また、CO₂排出量についても、2018年度の実績において105 [kg-CO₂/m²・年]と非常に小さい値となっている。

おわりに

地方中核都市部の地域共生型環境配慮病院として、様々な低カーボン化に取組み、大規模病院でありながらZEB Readyを達成した。今後も継続的な運用改善とともに、学園のもつ建物や新たに作る施設全体に水平展開することで、カーボンニュートラルの更なる促進が期待される。



図26 単位延床面積あたりの1次エネルギー消費量

※単位延床面積は、地下駐車場の床面積を除き、病室稼働状況が547床 (100床未稼働) のため、未稼働病棟1フロアを除いた床面積の63,602m²として算定した。