

カーボンニュートラル賞

<b>受賞名称</b>
第11回カーボンニュートラル賞 近畿支部 奨励賞
<b>カーボンニュートラル賞選考支部名称</b>
第11回カーボンニュートラル賞選考委員会 近畿支部
<b>業績の名称</b>
武庫川女子大学公江記念館におけるZEBと満足度・快適性の両立に向けた取り組み
<b>所在地</b>
兵庫県西宮市鳴尾1丁目46, 100, 105, 105-2

応募に係わる建築設備士の関与

株式会社竹中工務店	上田 真也
-----------	-------

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					
建築主	学校法人武庫川学院					
設計者	株式会社竹中工務店					
施工者	株式会社竹中工務店					
延床面積	9,149	m <sup>2</sup>				
階数	地上8階	地下1階	塔屋-階			
主用途	大学・専門学校					
竣工年月日	2020年3月					

支部選考委員長講評

<p>本施設は、女子大学の新校舎であり、女子学生の教育に適した満足度の高い空間づくりと ZEB 化の実現を目指して建設された。学生へのアンケート結果を設備計画に反映させるとともに、熱源最適化制御や冷温水の変流量制御、画像センサーによる制御等を導入し、満足度の高い開放的な空間づくりと調和しながら、CO<sub>2</sub> 削減率 73%（コロナ禍の実績値, 通常運用の推定値は 66%）を実現したことは高く評価できる。</p> <p><b>【省エネルギーへの取り組み】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱源最適化制御（中央熱源と個別熱源のベストミックス）</li> <li>・冷温水（ワンポンプ方式）の変流量制御および大温度差制御</li> <li>・全館 LED</li> </ul> <p><b>【再生可能エネルギー利用】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自然換気</li> <li>・自然採光</li> <li>・外気冷房</li> </ul> <p><b>【先進性・独創性】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像センサーによる空調換気および照明制御（人の操作が難しいオープンエリアでの省エネの工夫）</li> <li>・熱源送水温度制御</li> </ul> <p><b>【普及性】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・省エネ性と満足度の両立という課題に対し、居住者（学生）へのアンケートを実施し設備計画に反映（足元の冷え、ドラフト、乾燥対策）したことは、省エネ運用の実効性を高める手法として他の建築プロジェクトにも展開できる好事例</li> </ul>
---

業績の名称： 武庫川女子大学公江記念館におけるZEBと満足度・快適性の両立に向けた取組み

■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの説明

1. はじめに

本計画は、創立80周年を迎えた日本最大規模の総合女子大学の経営学部の新校舎の計画である。そこで、より良い温湿度環境の実現及び満足度の向上は、学生にとって知的生産性の向上を実現させ、人材教育につながる大切な要素と考えた。また、グローバルな視点での活躍が期待される学生が学ぶ学舎にふさわしい場を提供するため、エネルギー消費量の削減を意識し、社会貢献をより身近に感じられる学舎を目指した。そこで、「女子学生の教育に適した満足度の高い空間づくりとZEB化の実現」を設備計画の重要課題と位置付けた。

教育目標を達成する上で、立体ワンルーム型空間という開放的な空間づくりによって、居場所を自由に選択ができるように計画を行った。しかし、自由に場所を選べるだけでは満足度は上がらない。本計画では、立体的ワンルーム型空間と調和し、かつ快適性と省エネルギー性とを両立させる難題にチャレンジした。(図1、図2)

また、快適な空間と感じることに對する男女間の性差を考慮し、女子学生の意見を取り入れることも快適な環境づくりに重要な要素であると考え、アンケートを通して、学生の想いを知り、設備計画に反映させた。(図3)

2. 女子学生の思いを反映した設備計画

2-1. 足元の冷え対策

「足元の冷えを不快に感じるか」と聞いた事前アンケートでは、半数近くが「はい」「どちらかと言えばはい」と回答した。

本計画のワンルーム型校舎は、従来型校舎より足元が冷える危険性が高いため、床吹出空調で不快感の軽減を図った。運用時アンケート結果から、足元の冷えによる不快感が解消されており、冬季における床吹出空調は快適性向上に有効であり、満足度の向上に寄与した。(図4)

2-2. ドラフト対策

「空調の風を不快に感じるか」と聞いた事前アンケートでは「はい」「どちらかと言えばはい」が過半数を超えた。

本計画では暖房時は足元からの吹出し風速を1m/s未満に抑え、冷房時は人に当たらないエリアから吹出し不快感の軽減を図った。運用時アンケートから、暖房時に床から低速度で吹出す床吹出空調は、ドラフトによる不快感を与えにくいことが示された。(図5)

2-3. 乾燥対策

「乾燥を不快に感じるか」と聞いた事前アンケートでは「はい」「どちらかと言えばはい」が過半数を超えた。

本計画では各階に外気処理空調機を設置し暖房時には気化式加湿を行った。運用時アンケート結果から、乾燥が気になる学生の割合は減少していることが分かる。なお、BEMSデータから室内湿度が50%程度に保たれていることも確認している。(図6)

なお、事前アンケートは2016年に本計画のための実態調査を目的に、運用時アンケートは2022年に計画内容の評価を目的に実施したため、質問内容などは異なっているが、事前アンケート結果を反映させた計画手法が、効果を発揮していることを示せたと考えている。

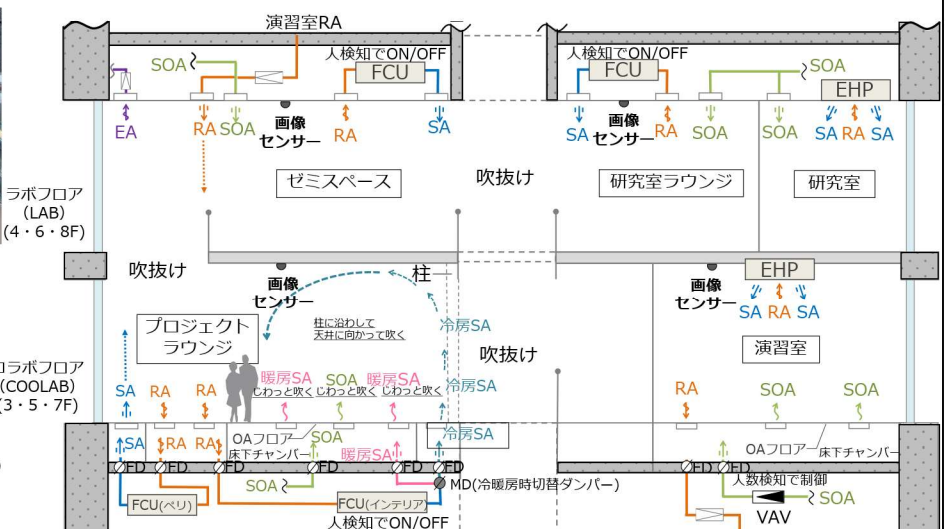
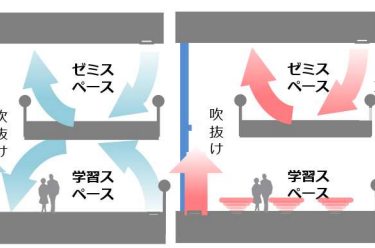
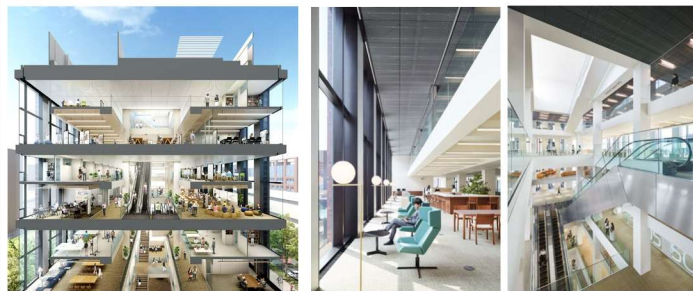


図1 断面イメージと館内写真

図2 快適性に配慮した空調概念図

図3 空調計画概要図

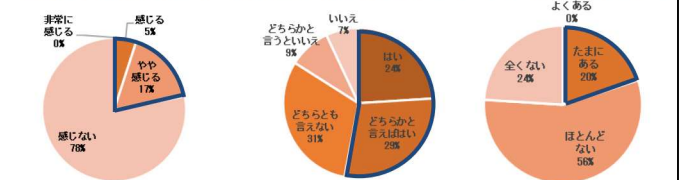
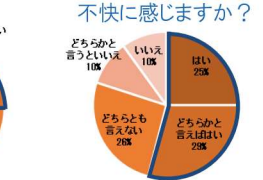
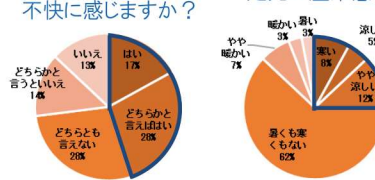


図4 足元の冷えに関するアンケート

図5 ドラフトに関するアンケート

図6 乾燥に関するアンケート

### 3. 省エネルギーへの取り組み

#### 3-1. 画像センサーによる制御

オープンエリアでは、人の操作による小まめな空調・換気機器の操作や照明器具の消灯は難しいため、画像センサーによる制御が有効と考えた。そこで、学生が自由に利用できるオープンエリアでは、人数検知機能、人の不在検知機能、明るさ検知機能を備える画像センサー（Panasonic社製NQX12401：検知範囲は約7m四方）を天井面に設置し、熱源、空調及び照明のエネルギー消費量の削減を図った。また、照明エネルギーについては自然採光の導入により更なる削減を図った。（図7）

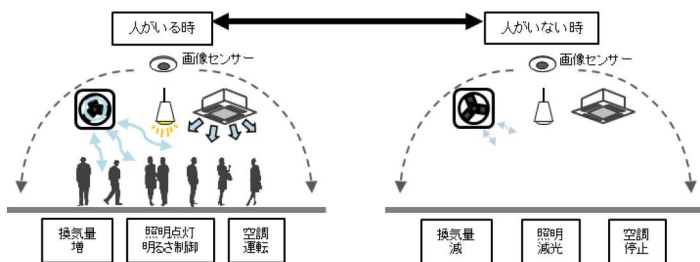


図7. 画像センサー制御の概要

#### 3-2. 熱源最適化制御

##### 3-2-1. 中央熱源と個別熱源のベストミックス

図8に熱源系統概要図を示す。オープンエリアは中央熱源方式で、空冷モジュールチラーおよびGHPチラーを採用し、熱源を二重化している。空冷モジュールチラーをベースで稼働させ、GHPチラーでピークカットを行う。研究室・演習室等の個室は、空冷パッケージによる個別方式を採用しており、各室の用途に応じて、中央熱源・個別熱源を使い分けている。（図8）

中央熱源については、契約電力、一次エネルギー消費量、イニシャル・ランニング・ライフサイクルコスト等の面から比較検討した上で、節電要請、エネルギーの高騰など社会変化に柔軟に対応できるよう、電気とガスのベストミックス案が採用された。（図8）

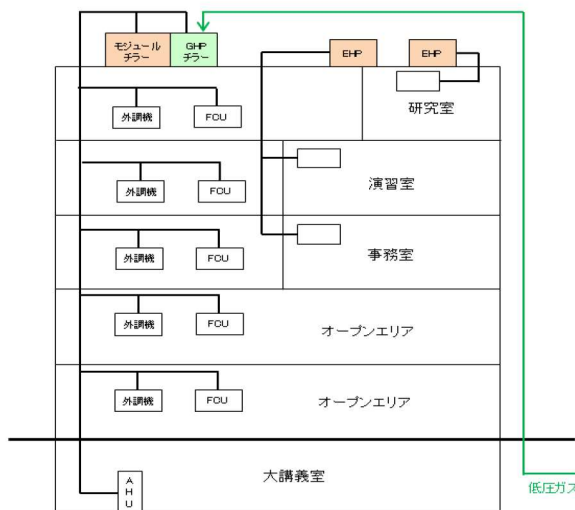


図8. 熱源系統概要図

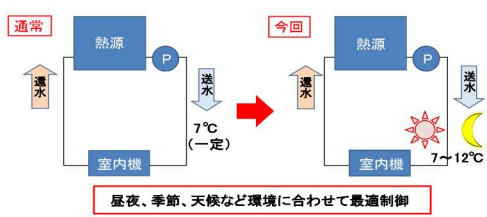


図9. 熱源送水温度制御（冷房時）

##### 3-2-2. 熱源送水温度制御（VWT制御）

外気温湿度と外気処理空調機の特長から熱源送水温度を自動演算する熱源送水温度制御（竹中工務店特許技術第6577760号）を行っている。これは空気線図上にマッピングを作成し、外気温湿度の情報だけで、空調機が能力を満足させることができる熱源送水温度を設定できるものである。その結果従来は熱源送水温度を一定で運用、あるいは運転管理者の経験で送水温度を都度変更していたが、自動で無駄のない高COP領域での運用が可能になる。（図9）

##### 3-2-3. 外気冷房制御による熱源負荷の削減

全館においては、外気と室内のエンタルピー差にて外気冷房可否判断を行う外気冷房制御を行うことで外気処理熱量の削減を図っている。中間期での処理量が多く、4月で全熱源負荷の25%、11月で39%と削減率が大きかった。5月の外気処理負荷と9月はデータ欠損となっている。（図10）

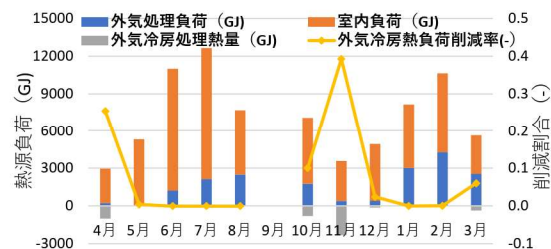


図10. 月ごとの中央熱源負荷の実績値

##### 3-2-4. 熱源システムCOP

図11に2021年度における月毎の二次側負荷熱量とシステムCOPを示す。冷房時1.64、暖房時1.23、年間1.46となった。4月から7月中旬まで熱源送水温度設定値が0°C固定になっていた不具合を加味すると、今後はさらなるCOPの向上が期待できる。（図11）

#### 3-3. ZEBの実現

##### 3-3-1. ZEB ReadyのBELS認証

「快適性の向上」と「エネルギー消費量の削減」の両立を目指し、以下に示すコストパフォーマンスの高い技術を採用することでBEI値はWEBPROの標準入力法による計算で0.41（コンセントを含む0.42）のZEB ReadyでBELS認証を取得している。（図12、表1）なお、自治体のCASBEE-建築（新築）2016年度版にてSランクとなった。なお赤字はWEBPRO未評価技術となっている。

- ①画像センサーによる空調・換気・照明制御
- ②中央熱源と個別熱源のベストミックス
- ③外気温湿度による熱源送水温度制御
- ④ワンポンプ方式による変流量制御（大温度差搬送）
- ⑤外気冷房制御
- ⑥43号線沿いにおける適正な自然換気
- ⑦全熱交換器を採用
- ⑧自然採光
- ⑨全館LED
- ⑩Low-E複層ガラスの採用
- ⑪AI制御システム（学習中）

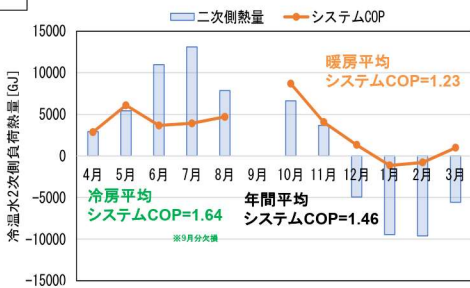


図11. 月毎のシステムCOPの実績値

図12. BELS認証

### 3-3-2 エネルギー消費量の実績値

本校舎は、大きな吹抜け空間で繋がっているため、空調する際はショッピングモールのように全館空調となる。そうすると、一般的な大学よりもはるかに多いエネルギー消費量となってしまう。(図13)一方、大学校舎なので、学習環境として知的生産性や快適性を満足させる空間と省エネルギーの両立が大きな課題であった。

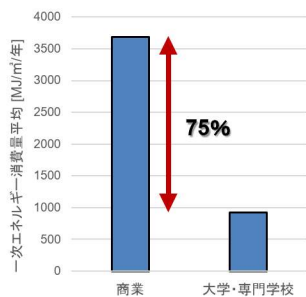


図13. エネルギー消費量の比較

なお図13は、DECC(日本サステナブル協会)の大学・専門学校と本計画と同規模の商業施設の平均値を示している。

表1に2020年4月から2022年3月(竣工1年目と2年目)までの2年分の年間一次エネルギー消費量の実績値(WEBPROとの比較)を、図14に2020年4月から2022年3月(竣工2年目)までの月別一次エネルギー消費量の実績値を示す。この結果より実績値でBEI値が0.23と「Nearly ZEB」と計画値の0.41に比べて小さくなっていることが分かる。熱源送水温度制御、冷温水変流量制御、画像センサーによる在室者検知による空調・換気制御などのWEBPRO未評価技術の効果が実績に現れたためと考えられる。

以上より、感染症蔓延中ではあるが、学習環境として知的生産性や快適性を満足させる空間と省エネルギーの両立を達成できたと考えている。

### 3-3-3. 通常利用時の省エネルギー効果の検証

図15に示すように、パンデミックに加え、全学年の学生が在籍しておらず、在室者数が少ない状態での実績値であるため、通常運用時の検証を行った。

次ページ(3)の月ごとの日積算熱源・空調換気エネルギーと日平均FCU運転時間との回帰式、日積算照明エネルギーと日積算在室者数強度の回帰式から、通常運用時(日平均FCU運転時間12h、日積算在室者数強度1200人・h/日)のエネルギー消費量を類推した。その結果、529(MJ/m²・年)、その他抜きBEI値0.30となった。(表1)これも計画値0.41よりも小さな値となっており、WEBPRO未評価技術の効果が反映された結果と考えている。学院側の脱炭素への強い思いで導入したAIシステムと合わせ、通常運用時でも「Nearly ZEB」を目指す。

表1. 単位床面積当りの1次エネルギー消費量の実績値と削減率

	WEBPRO基準値	WEBPRO設計値 (予測値)	竣工1年目 2020.4~2021.3	竣工2年目 2021.4~2022.3	通常運用案
	1次エネルギー消費量 [MJ/(m²・年)]				
熱源・空調・換気設備	1238.49	474.49	188.58	211.20	299.75
照明設備	252.96	101.21	102.50	90.81	105.25
給湯・昇降機設備	37.32	42.79	65.09	67.20	46.35
その他	46.17	46.17	52.95	59.04	77.43
合計	1574.94	664.66	409.12	428.25	528.78
合計(その他抜き)	1528.77	618.49	356.17	369.21	451.35
BEI値	1.00	0.42	0.26	0.27	0.34
BEI値(その他抜き)	1.00	0.41	0.23	0.24	0.30

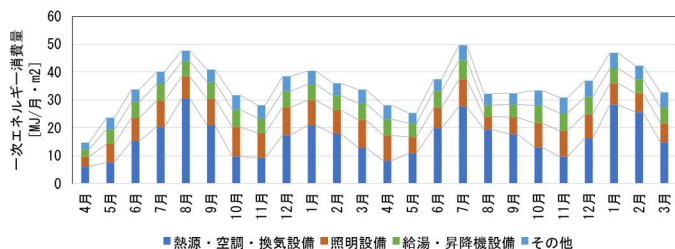


図14. 月別用途別一次エネルギー消費量の実績値  
(2020年4月~2022年3月)

### 3-4. 温熱環境の改善

運用時の冬季アンケート結果より自由意見の29件中9件で「夏季にオープンエリアが暑い」という意見があった。図16に2021年の夏休みの空調停止中、降雨がなく外気温度も同等の期間における室内温度の経時変化を示す。この結果より、本建物は、空調停止中は貫流熱や日射取得熱によりどんどん蓄熱され室内温度が上昇することが分かった。さらに図17に各階ゾーンごとのFCUの日平均運転時間を示す。この結果から、感染症拡大による影響で利用者が想定以上に少なく、画像センサー制御にて空調の運転時間が短くなり、建物各所に蓄熱されてしまったことが暑さの原因と推察した。そこで、6月から9月において、FCUを8時から20時までの運用中常時運転に切替える改善提案について学院と協議したところ、**昨今のエネルギー価格の高騰や節電要請の観点から、屋上からの貫流熱が発生する7、8階のみ常時運転する改良改善策にて実施した。**

図18に2022年7月1日と同様の外部状況であった2021年8日6日における外気温度と室内温度(3、5、7階)の経時変化の比較を示す。運用改善策では利用時間の9時から20時において、各階の室温が25~27℃と冷房時の快適温度域に入っており、「暑さ」が改善されている。

なお、7月と8月において、常時運転に切替える改善提案での熱源・空調換気1次エネルギー消費量の予測値44、46(MJ/m²・月)に対して、7、8階のみ常時運転とした実績値は、33、30(MJ/m²・月)となり、**温熱環境の改善と省エネルギーの両立が実現できた。**

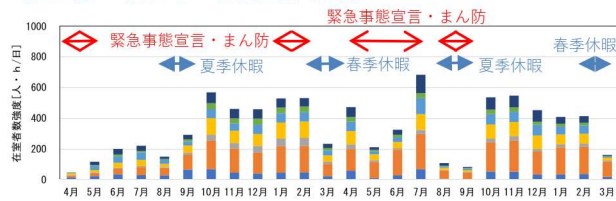


図15. 当学部での在室者数強度(2020年4月~2022年3月)



図16. 夏季休暇中の外気、室内温度と降雨量の経時変化

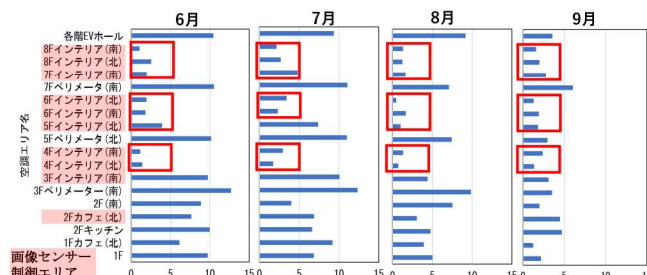


図17. FCU一台当たりの運転時間(2021年)

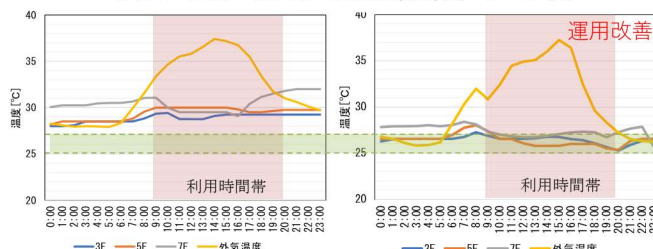


図18. 外気温度と室内温度  
(左: 2021年8月6日 右: 2022年7月1日)

省エネルギーに貢献したWEBPRO未評価技術について

(1) 熱源送水温度制御 (VWT制御)

■制御方法

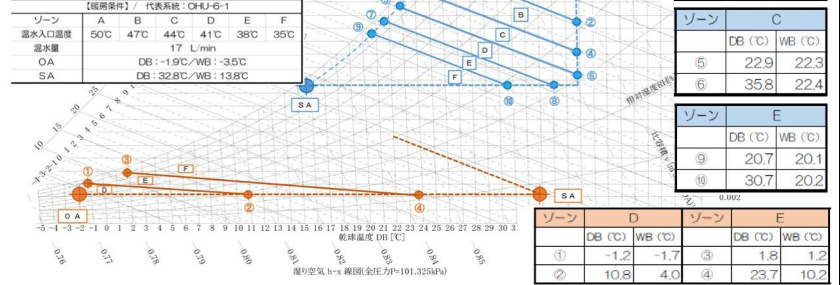
熱源送水温度の最適値を空調機特性から逆算  
→空気線図上のマッピングを作成  
(計算ではなく閾値によるプロット)  
→外気温度と湿度の入力だけで、最適な熱源送水温度を設定

②代表空調機特性から空気線図上のマッピングを作成

②-1 代表空調機の計算条件の設定

ゾーン	A	B	C	D	E	F
冷水入口温度	7℃	8℃	9℃	10℃	11℃	12℃
冷水量	21 L/min					
OA	DB: 35.8℃/WB: 27.2℃					
SA	DB: 15.6℃/WB: 15.1℃					

②-2 計算結果から空気線図にゾーンをマッピング



■具体的手順

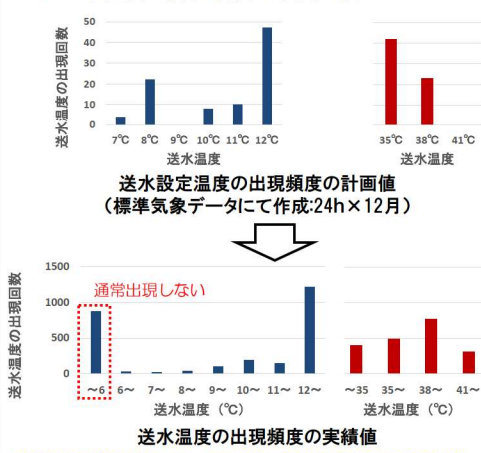
①代表空調機選定

コイル余裕率が最小の空調機

□ 冷房・暖房代表機

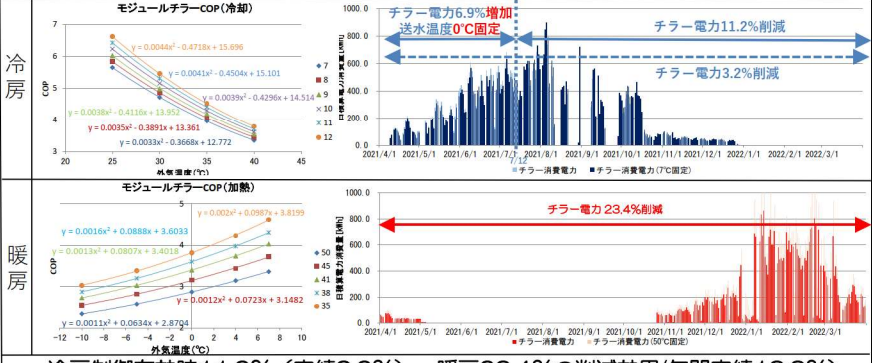
No.	系統名	サイズ	全重量 (kg)	コイル数	決定割数	冷凍計算割数	コイル	冷凍量 (kW)	暖房量 (kW)	暖房余裕率
001	09H-2	AJ 40-40-80	2,750	1	8	6.14	2.23	1.30	3.59	
002	09H-7	AJ 40-40-80	2,750	1	6	5.43	2.18	1.10	2.75	
003	09H-1	AJ 40-40-80	2,400	1	8	7.44	4.09	1.08	1.96	
004	09H-2	AJ 40-40-80	2,750	1	8	7.33	4.06	1.09	1.97	
005	09H-3	AJ 40-40-80	1,300	1	8	6.83	3.76	1.17	2.13	
006	09H-4	AJ 40-40-80	1,000	1	6	5.53	3.09	1.08	1.94	
007	09H-5	AJ 40-40-80	1,100	1	7	5.77	3.22	1.21	2.17	
008	09H-4	AJ 40-40-80	1,000	1	5	4.76	3.06	1.05	1.83	
009	09H-2	AJ 40-40-80	1,100	1	6	5.45	3.30	1.10	1.82	
010	09H-1	AJ 40-40-80	850	1	5	4.39	2.87	1.14	1.74	

■送水温度の出現頻度の予実比較

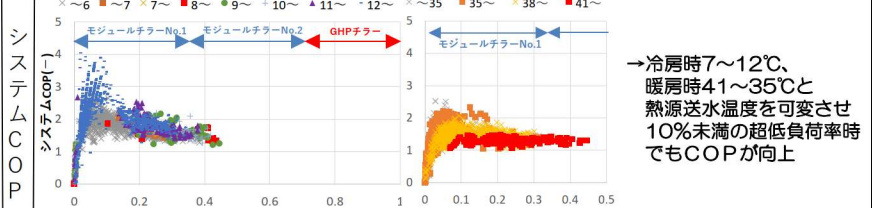


4月から7月中旬まで、AI制御との連携不具合にて熱源出口温度設定値が0℃に固定されていたことが原因で、6℃未満の出現頻度が高い。  
→6℃未満領域を振り分けると計画値に近づくと推察  
計画値に比べ38℃以上の出現頻度が高い  
→標準気象データより厳しい外気条件と推察

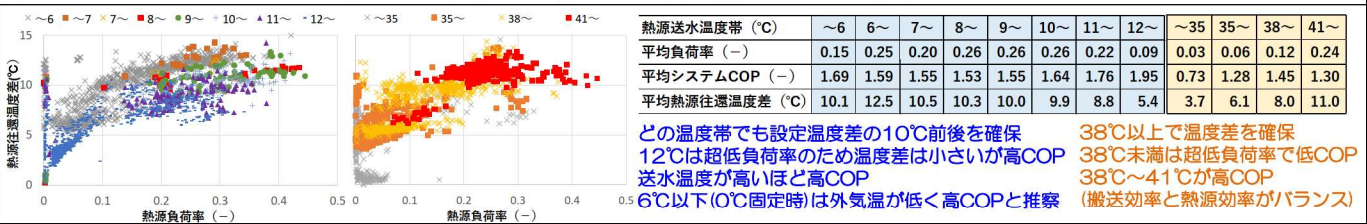
■熱源送水温度制御の効果



冷房制御有効時11.2% (実績3.2%)、暖房23.4%の削減効果(年間実績13.3%)



(2) ワンポンプ方式による冷温水の変流量制御 (大温度差搬送 ΔT=10℃設定)



(3) 画像センサーによる空調換気・照明制御 (人数検知による外気量制御、在不在検知による空調・照明制御)

