

カーボンニュートラル賞

受賞名称
第10回カーボンニュートラル賞 関東支部
カーボンニュートラル賞選考支部名称
第10回カーボンニュートラル賞選考委員会 関東支部
業績の名称
新菱神城ビルの環境配慮技術
所在地
東京都千代田区神田多町 2丁 目9-2

応募に係わる建築設備士の関与

株式会社三菱地所設計	羽鳥 大輔
	平須賀 信洋
	加藤 駿

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	株式会社三菱地所設計		
建築主	新菱冷熱工業株式会社		
設計者	株式会社三菱地所設計		
検証者	芝浦工業大学 教授 秋元孝之		
延床面積	4,620	m ²	
階数	地上9階	地下1階	塔屋1階
主用途	事務所		
竣工年月日	2020年7月		

支部選考委員長講評

本建物は、東京都千代田区神田に建つ中規模（9階4,620㎡）のテナントオフィスビルである。テナントビルは自社ビルに比べて収益性を重視し、画一的なオフィス空間としたものが多かったが、設備工事会社の建物を象徴するような「設備技術による快適性と環境配慮を追求したビル」が出来上がった。導入した2つの空調システムは、いずれも従来のダクトレス空調方式をベースにしている、それぞれ独自の開発技術を追加することにより、省エネルギー性能を大きく向上させた。ダクトレス方式を導入し、天井高さを確保しながら階高を低く抑えて、通常であれば8階建が限度であったが、9階建が実現した。我国の2050年カーボンニュートラル達成には既存の中小規模ビルの脱簡素化が課題であり、当建物で開発した空調方式をその課題解決に役立てることが期待できる。

年間の一次エネルギー消費量は555MJ/㎡で参照値1,782MJ/㎡（東京都★省エネカルテ2018年度実績事務所の平均を設定）との比較で71.1%減の非常に大きな削減を達成している。

<省エネルギーへの取り組み・工夫>
 省エネルギーへの取り組み・工夫（再生可能エネルギー利用を含まない）でのCO₂の削減率は68.5%で、省エネルギー技術だけで大きな削減を達成している。

直通避難階段を建物前面に配置し、縦動線として、また入居者のコミュニケーションを促進させる場としての利用と、中間期のチムニー効果を利用した自然換気、中間期以外はダブルスキンとして空調負荷の抑制を行う場として両立している。

導入した2つのダクトレス空調方式（変風量コアングダ空調とダイナミックレンジ放射空調）では快適性を損なわずに省エネルギー性能の向上を図った。

コアングダ空調方式においては、変風量においてもコアングダ効果を維持できるよう自立式風速一定吹出口「Air-Soarer」を開発し、搬送動力の大幅な低減を可能にした。ダイナミックレンジ放射空調では、放射空調の高温水を効率よく造るために①冷却塔によるフリークーリングを追加、②ヒートポンプの特性を活用するVWV-VT制御（負荷が大きいときは変流量、小さい負荷のときは送水温度を高くする制御）、③環水温度カスケード制御（放熱量を環水温度で制御し、環水温度設定値を室温よりカスケード可変設定）を実施した。VWV-VT制御が効果的に働き、往還温度を高め維持することでフリーリングの利用期間が延長され、冷却塔の運転時間が年間冷房運転時間の約70%になっていて、高温冷水製造におけるシステムCOP平均が8.1となった。さらに放射パネル樹脂チューブの酸素透過による配管の腐食対策を実施し、熱交換器レスを可能にした。

<再生可能エネルギー利用>
 太陽光発電（定格設備容量15.8 kW）を設置し年間1.8 t-CO₂ / m²（2.6%）の削減に寄与している。

本建物に導入された2つのダクトレス空調方式は、設備技術者らしい技術の追求が大幅なCO₂削減という素晴らしい成果を生み出した。脱炭素だけでは改修に踏み出すことはできないことが多いが、オフィスのグレードアップも可能となれば、改修気運が高まり、階高が低い中小規模オフィスの改修への採用が進むと思われる。我国のカーボンニュートラルに向けた中小規模オフィスの脱炭素化の課題解決に、2つの新しいダクトレス空調方式が貢献することを期待する。

関与した建築設備士の言葉

東京都の神田に立つ本建物の敷地周辺は、いわゆる下町の街並みが残る建物密集地であり、大きな平面積を取ることが難しく屋上の太陽光パネルの設置可能面積が小さいなどの条件下で、いかにカーボンニュートラルに近づけられるかにチャレンジしたプロジェクトです。

高さ制限のなか、有効面積を少しでも多くとりたいというテナントビルの要望に応じるため、対流式と放射式の二つのダクトレス空調に向け新しい省エネルギー技術の開発に取り組み、階高を抑えつつ省エネルギーで快適な空間を実現しました。都心に在りながら階段室を利用した自然換気や、フリークーリングを長期間可能にする制御方式の導入などにより自然エネルギーを最大限活用し、高いエネルギー性能を発揮することができました。

これら前例のないシステム開発には、立案、事前検証、運用分析、あるいはチューニングの過程で、多くの関係者にお力添えいただきこの計画は実現しました。関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

(羽鳥 大輔 平須賀 信洋 加藤 駿 : 株式会社三菱地所設計)

業績の名称： 新菱神城ビルの環境配慮技術

■ 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

1/4

新菱神城ビルは東京都千代田区神田に建つ省エネルギーに配慮した中規模テナントオフィスビルである。敷地周辺はいわゆる下町の街並みで建物が密集しており、平面的に大きな建築面積の確保が困難である。太陽光パネル(図1-2)も屋上に最大限設置しているが、15.822kWと再生可能エネルギーの利用は限定的である。そのうえでカーボンニュートラルに資するため、計画段階から様々な新技術の開発に取り組み導入した。狭小中規模テナントオフィスという都心では極めて一般的な制約条件下でのカーボンニュートラルの在り方を示し、そして広く普及することができるシステムを導入した建築である。なお、BELSでは★5「ZEB Ready」、LEED(v3)でGOLDを取得している。(図1-3)

建築計画

通常コアに配置されることが多い直通避難階段を建物前面に配し、縦動線の活性化、入居者のコミュニケーションを促進させる場として、ファサードをデザインしている。この階段室は、中間期にはチムニー効果を利用した自然換気、中間期以外も屋外からの侵入熱のバッファゾーン(ダブルスキン)として空調負荷の抑制にも貢献している。(図1-4)

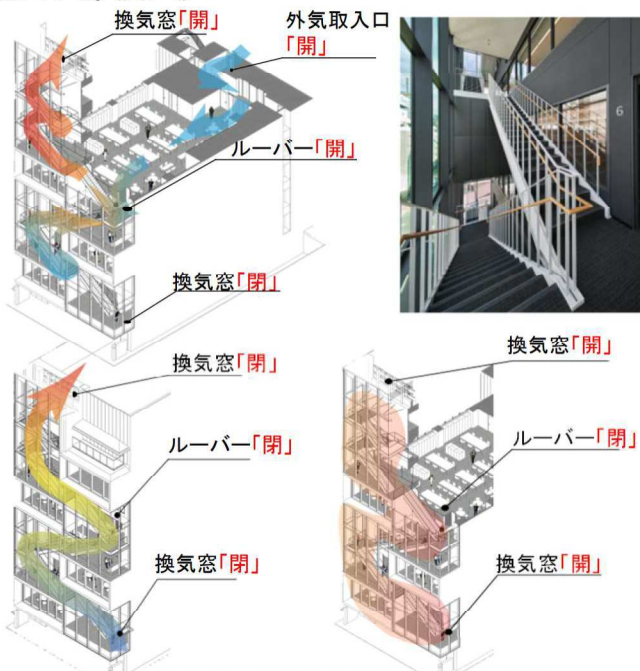


図1-4 階段室の自然換気とダブルスキン機能 (左上:中間期、左下:夏期、右下:冬期、右上:階段室写真)

2つのダクトレス空調と天井高

建築設備計画における大きな特徴として、各階にダクトレス空調を採用している。ダクトレスとすることで天井高を確保しながら階高を低く抑え込み、一般的な天井高を確保すると8階建てとなることを同じ天井高を確保しながら9階建てとすることを実現した(図1-5)。導入したダクトレス空調は、「変风量コアンダ空調(図1-6)」と「ダイナミックレンジ放射空調(図1-7)」で、いずれの空調方式も従来のダクトレス空調をベースにしているが、それぞれに独自の開発技術を追加することで、従来方式に比べて省エネルギー性能が大きく向上している。

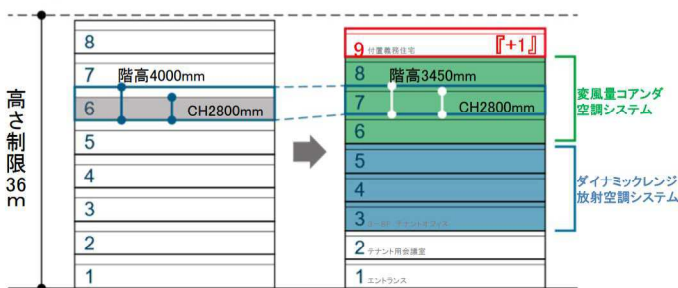


図1-5 階高の縮小

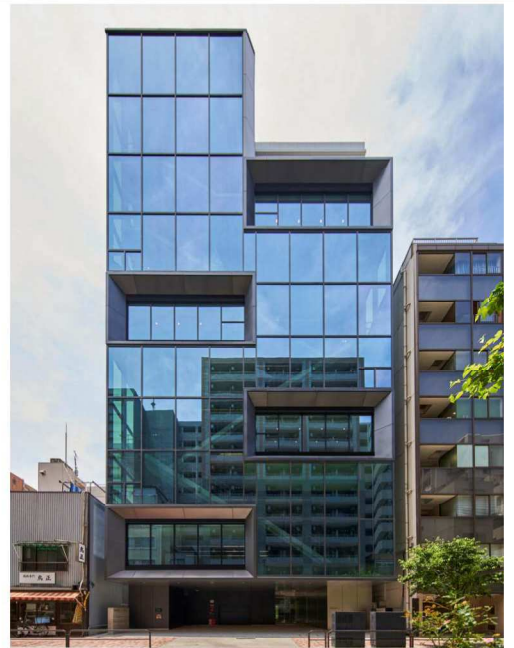


図1-1 建物外観



図1-2 屋上の太陽光パネル



BELS ★5 「ZEB Ready」



LEED v3 GOLD

図1-3 取得した認証

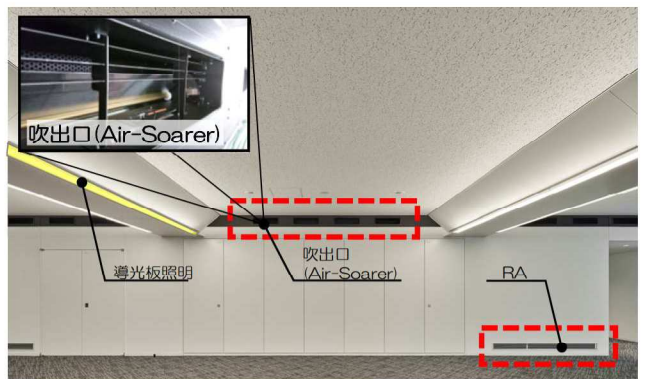


図1-6 変风量コアンダ空調 (3-5F)

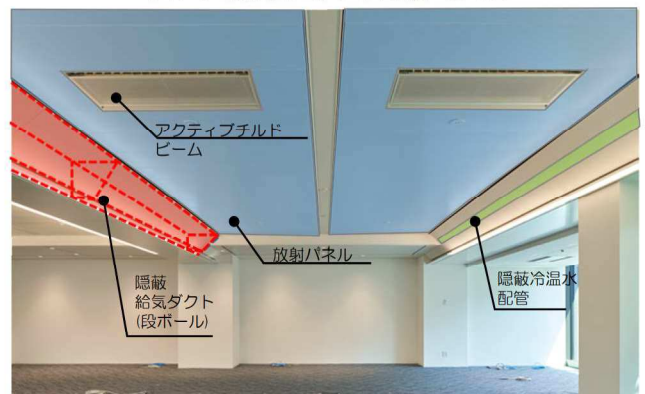


図1-7 ダイナミックレンジ放射空調システム (6-8F)

変风量コアンダ空調システムとは

室内に吹き出した噴流状の空気が、天井面などを這って遠方まで到達する現象をコアンダ効果と呼ぶ。変风量コアンダ空調システムは、コアンダ効果を生かした空調方式と、搬送動力の省エネ化に貢献する変风量方式を両立させるために開発した、空調制気口「Air-Soarer」(図2-1)を主体とする一連のシステムである。

変风量コアンダ空調システムの技術要素

- ①「ダクトレス空調」 室内へ均一に制気口を設けてダクト接続する方式に対し、ダクトレス空調は文字通り天井内等のダクト敷設が不要のため、天井高を維持したまま階高の縮小が可能である。
 - ②「コアンダ効果」 居室の片側から空調を行う場合の最たる課題は、均一な温熱環境の形成である。そこで天井近くから噴流状に吹き出すことで、天井面に沿ったコアンダ効果により空調空気を室奥まで搬送し、室全体を均一に空調することを図った。
 - ③「変风量制御」 変风量制御は搬送動力の省エネルギー化に大きく寄与し、カーボンニュートラル化のためには必須である。しかし付着流を利用して到達距離を確保させるには一定の吹出風速を維持する必要があるため、従来のコアンダ空調では定风量制御が一般的で、変风量制御との両立が困難であった。(図2-2)
- ①～③の技術要素を同時に実現させたのが、自律式風速一定吹出口Air-Soarerによる「変风量コアンダ空調システム」である。

変风量コアンダ空調システムが目指したこと

- 高い天井高を低階高で建築することを実現しているが、それと同時に①メンテナンスの必要がなく、②快適性と安全性を損なわずに、③様々な空間を空調でき、④既存の省エネ技術と親和性高く省エネルギーを実現することを目指し開発をおこなった。
- ①メンテナンス性の観点では、電源を一切利用しない自律式の構造とし、メンテナンスフリーとしている。
- ②快適性を確認するために、実大モックアップを用いた気流実験(図2-3)、被験者実験(図2-4)に加え、数多くのCFD解析を行った。壁面吹出ダクトレス空調の課題として認識されていた、冷房時上方から落ちてくる気流が居住者に不快感を与えないこと、室内の温度・気流が不均一にならないこと、暖房時の足元の温まりが問題ないこと、小风量時、飛沫防止などのパーティションがあっても空間が均一に換気でき、優れた空気齢となることを確認している。
- ③新築だけでなく、ダクト空調を使っていた物件のリニューアルで、天井高を高くするバリューアップや、大空間での空調など、広く対応できるシステムである。障害物や梁などがどの程度影響を与えるのか、影響が大きい場合の改善方法についても、実大実験室での検証やCFD検証を行っている。
- ④既存の省エネ技術「自然換気」「外気冷房」「高温冷水利用」等と親和性が高く、またそれが十分な省エネルギー効果を発揮し、72%の省エネルギー効果があったと実績値より試算している。(図2-5)

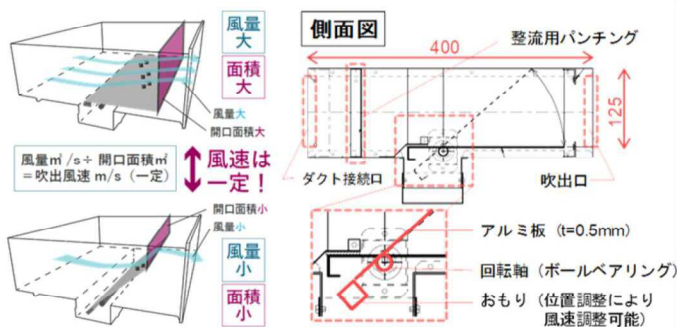


図2-1 自律式風速一定吹出口 Air-Soarerの概要と側面図

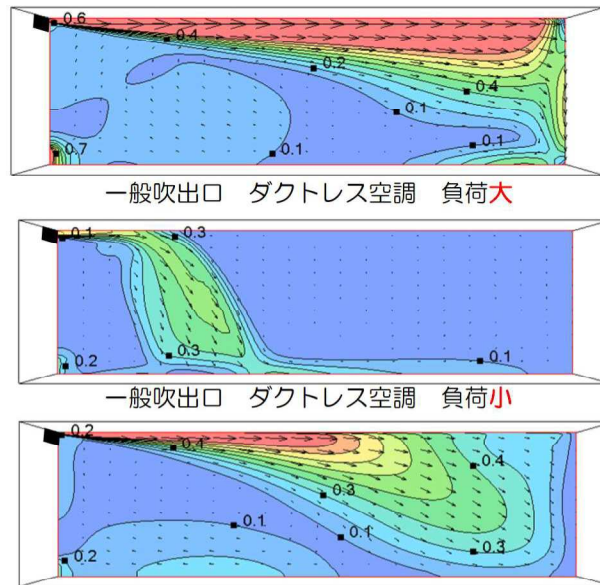


図2-2 Air-Soarer利用有無の変风量コアンダ空調の気流イメージ

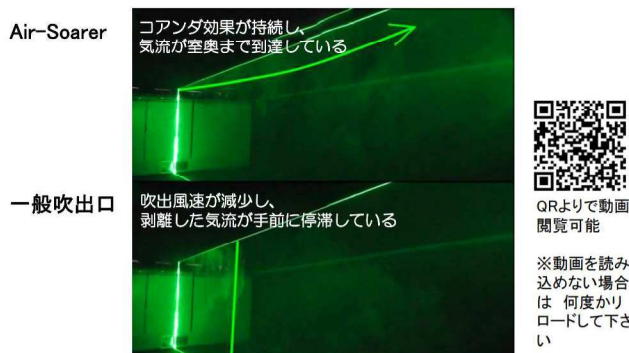


図2-3 Air-Soarer利用の気流確認実験

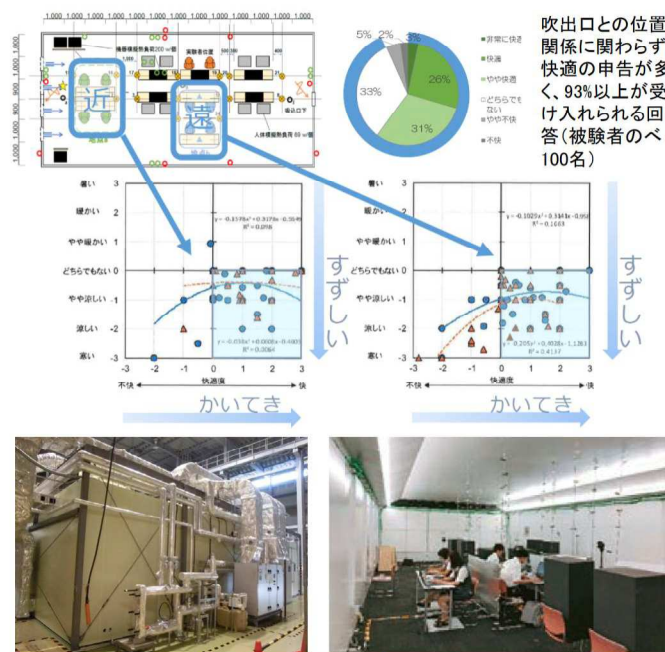


図2-4 モックアップと夏期被験者実験の様子と結果

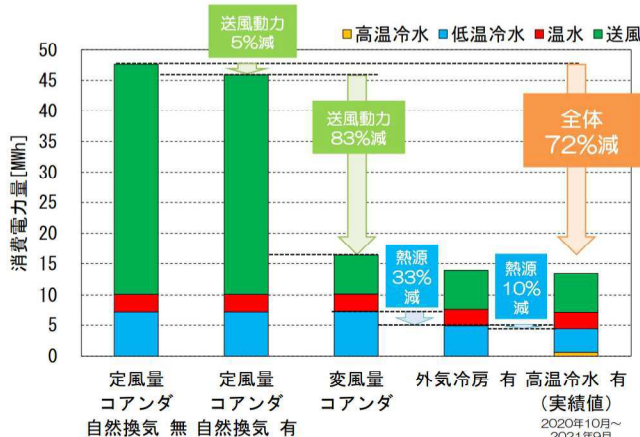


図2-5 年間消費電力量削減効果

ダイナミックレンジ放射空調とは

水式放射空調は、熱容量が大きい水で熱を運ぶため熱搬送効率が高いこと、あるいは高温冷水で運用できるので熱源機器の効率を高くできることなどから、省エネルギー性が高い空調方式といわれている。しかしながら、従来の放射空調には下記に示すような省エネルギーを阻害する要素もいくつかあった。

- ・制御応答性が悪く不安定な制御になりがち
- ・放射パネルの樹脂チューブからの酸素透過による腐食対策に熱交換器が必要で、抵抗増大、熱交二次側に循環ポンプ動力が必要
- ・経済性、結露抑制などから外気冷房との併用が困難

今回開発した「ダイナミックレンジ放射空調」では、主に4つの導入技術により、これら従来の放射空調での省エネルギー上の課題を解決する。(図3-1)

ダイナミックレンジ放射空調の技術要素

- ①「自然エネルギー活用をはかるプレクール冷却塔」
空冷ヒートポンプチャラーの直前に冷却塔を設置し、高温冷水を予冷(プレクーリング)、または条件により冷却塔だけで冷却(フリークーリング)する。
- ②「ヒートポンプの特性を活用するVWV-VT制御」
VWV-VT制御とは、負荷(流量)が大きいときは変流量制御(VWV)で搬送動力を低減し、部分負荷時は流量を低減するより往還温度レンジを高温に移行(VT)させて熱源COPの向上と冷却塔の活用期間拡大を狙う方が、省エネルギー効果が大きくなることに着目した熱源システムの制御方式である。従来VWV制御とVWV-VT制御のとおり負荷率70%前後でVWV制御とVT制御を切り換え、熱源の送水温度を還水温度に追従可変設定する。
- ③「熱交レスを可能にする無薬注防食システム」
放射パネルの樹脂チューブが酸素を透過するため、配管、機器の腐食対策として、無薬注型防食システム「Corro-Guard®」と脱酸素装置を併設した。
この防食技術により、省エネルギー上のデメリットが多い熱交換器を設置しない熱交レス配管システムを可能とした。
- ④「応答性を改善する還水温度カスケード制御」
放射能力と水温・水量の関係に示す放射パネルの能力特性のとおり、放射パネルの還水温度が放射量にほぼ比例関係にあることを利用し、放熱量を還水温度で制御する(図3-2)。還水温度の設定値を室温によりカスケード可変設定とすることで、負荷変化に対応し安定して室温を維持する。過渡応答性の高い還水温度で能力を制御することで、制御応答性を改善するとともにオーバーシュートも抑制されシステム全体の安定化にもつながる。
前述のとおり、還水温度設定値を負荷に応じて上下させることから、その情報を用い送水温度を適切に追従可変させることで、フリークーリング期間を拡大させるなど、システム効率を向上させている。
この送水温度可変制御の効果はほかにも、温水と冷水の切り換えもシームレスになる、配管放熱量が低減する、室内の露点温度設定を送水温度に応じて上昇させることが可能となるなどのメリットも得ることができる。

ダイナミックレンジ放射空調の実績

特筆すべき実績として最高外気温が30℃近くの日でも往還温度レンジを高く維持し、終日チャラーを利用せず、フリークーリングのみで処理することができている。(図3-3)上記も含め、年間(2020年10月~2021年9月)の自然エネルギー活用状況を空気線図にプロットしたものを示す。(図3-4)

計画時は年間冷房運転時間の約70%で自然エネルギーの活用を予想していたが、実績もほぼ予想とおりで推移している。

ダイナミックレンジ放射空調では、VWV-VT制御が効果的に働き、往還温度を高く維持することで、対流空調では外気冷房ができない室温、あるいは室エンタルピ(空気線図-太破線)を超える外気環境でも、フリークーリング運転が多用されているため、従来の放射空調が自然エネルギーの活用が困難である課題を十分にクリアするシステムが構築されている。

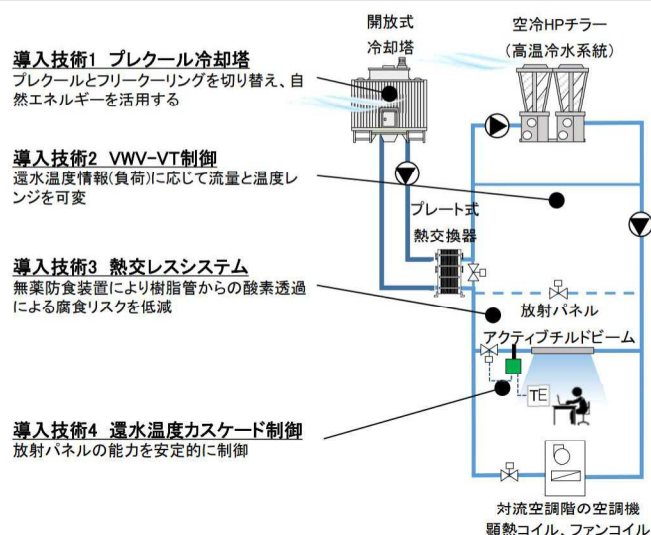


図3-1 ダイナミックレンジ放射空調の構成技術

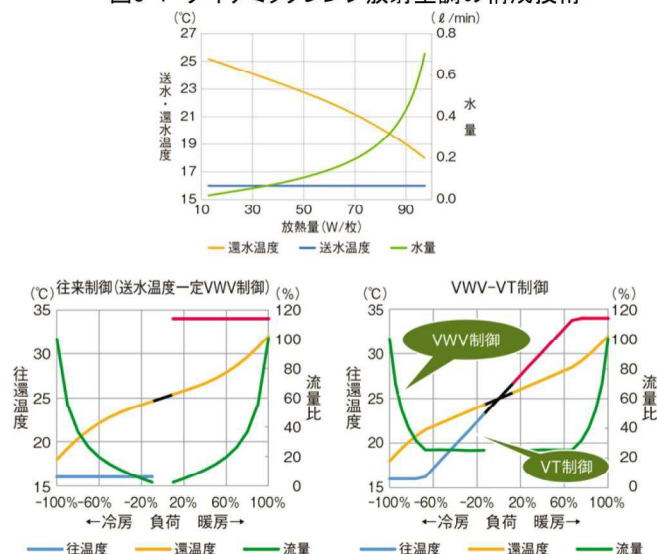


図3-2 放射能力のパネル特性とVWV-VT制御

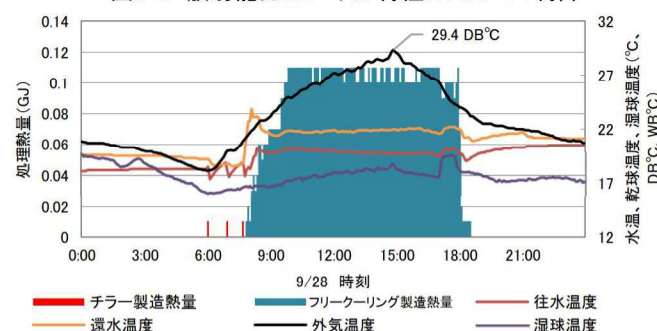


図3-3 2020年9月28日フリークーリング関係トレンド

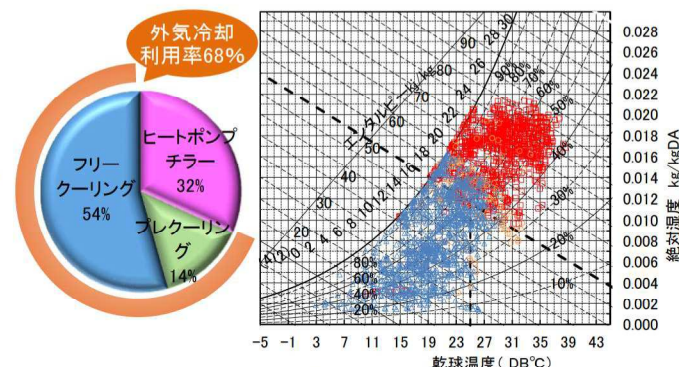


図3-4 ダイナミックレンジ放射空調 自然エネルギー活用実績

総合効率評価

1年間の運転データから低温冷水、高温冷水熱源の総合効率を算出した。(図4-1)年間総合システムCOPは8.1と、極めて高いシステム効率を発揮していた。ただしCOPは二次側熱量合計値であり、チラーのPLC消費電力は差し引いている。処理熱量とCOPの分布をみると、高温冷水の最高システムCOPは35程度であった(図4-2)。また、フリークーリング活用率高く、冷房顕熱負荷も増え始める3~5月、及び10月に高い総合効率を示した。なお、1~4月はほぼフリークーリングのみで顕熱負荷を処理しており、自然エネルギーの有効利用が、COPの効率を押し上げていた。

建物利用の実態

本館の入居率は100%であり、コロナ禍であっても建物の利用がなくなることにはなかった。また、テナントビルとしての宿命であるが、フロア間の使用実態が大きく異なる。(図4-3)多くのテナントのコンセント負荷は5W/㎡程度と近年の省エネルギービルの状態に近いが、5Fだけは24W/㎡と突出して高い。この高い値に対応した設計を行いながら部分負荷でも高い効率を出すことがテナントビル設計では重要である。今回開発の両システムは、変风量制御、VWV-VT制御など、これに寄与するシステムであり、省エネルギー化に寄与した。

月別の一次エネルギー消費量実績

実績値を月別に比較すると、主に空調一次エネルギー消費量が変動し、それ以外の項目は季節間での差異はさほど生じなかった。(図4-4)また、対流と放射の両空調方式に大きなエネルギー消費量の差異(図4-5)はなく、どちらも省エネルギーに運用ができていた。

実績値と参照値の比較

実運用の一次エネルギー消費量を、2020年10月~2021年9月で集計した。なお、コンセント以外の電力消費量も「その他」(制御盤、給排水機器、機械式駐車場等)として計上している。太陽光の効果を除いたエネルギー使用量は555.1MJ/㎡、含めると514.7MJ/㎡・年と非常に小さい値となった。参照値である「東京都★省エネカルテ(2018年度実績)事務所」1、782MJ/㎡・年と比較すると、71.1%削減となり、各種、省エネルギーへの取り組み・工夫と再生可能エネルギーの利用により、大きなCO₂削減を達成した。(図4-6)

まとめ

本建物は、都内の中規模ビルでカーボンニュートラル化の課題としてしばしばみられる、太陽光パネルを大規模に設置できない建物形状のビルである。建物内負荷のコントロールが難しいテナントビルであり、コロナ禍であっても100%の入居率であったが、空調システム開発を軸にした徹底した省エネルギー対策の結果、一次エネルギー消費量は514.7MJ/㎡年(コンセント含む) 建物のCO₂排出量は18.2kg-CO₂/年・㎡、低減率71.1%と優れた性能を達成した。

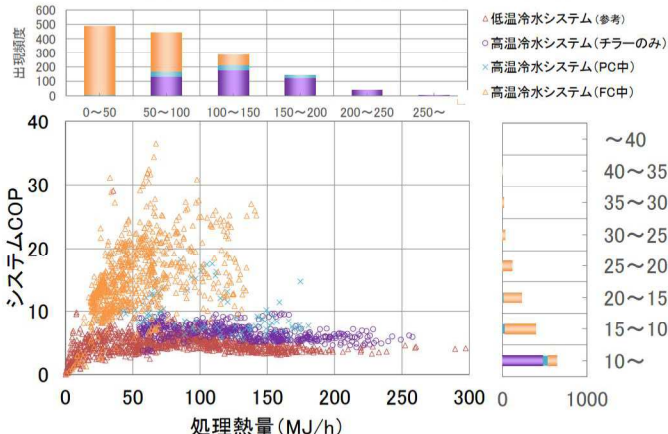
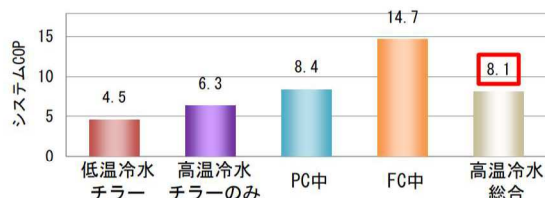


図4-2 処理熱量—システムCOP実績の関係と高温冷水の度数分布

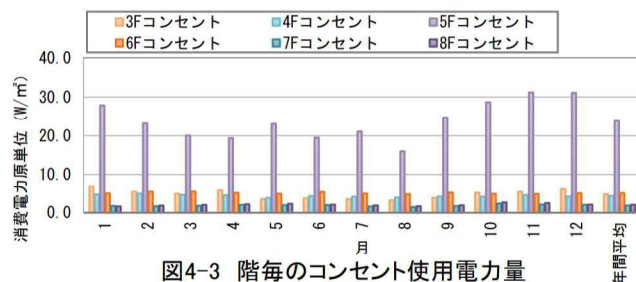


図4-3 階毎のコンセント使用電力量

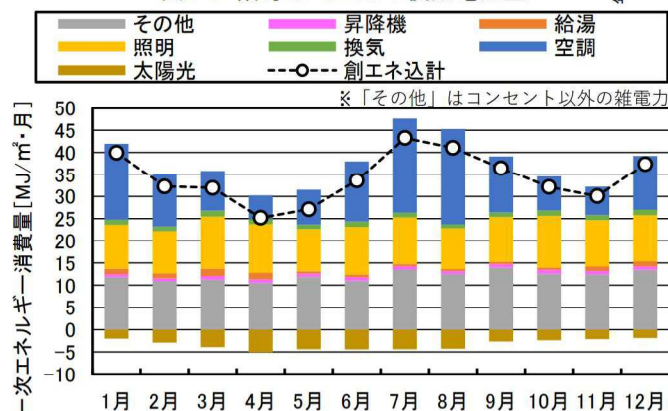


図4-4 建物全体 月別の一次エネルギー消費量実績

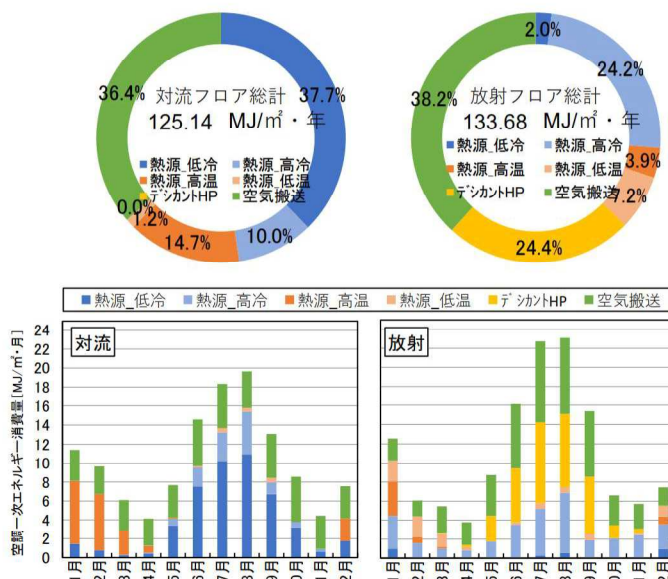


図4-5 システムによる年間・月別空調一次エネルギー消費量比較

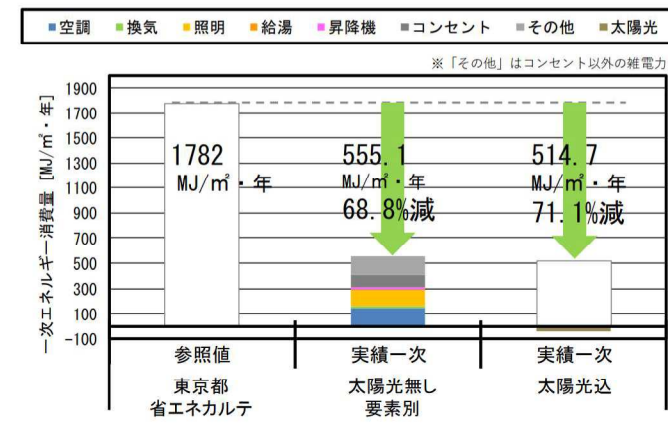


図4-6 建物全体の実績一次エネルギー消費量と参照値