

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 奨励賞

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

ミュージアムタワー京橋における開放型超高層ビルの実現と検証

所在地

東京都中央区京橋1-7-2

応募に係わる建築設備士の関与

株式会社日建設計	三由 賢
	久保 洋香

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	株式会社日建設計		
建築主	株式会社永坂産業		
建築主	公益財団法人石橋財団		
設計者	株式会社日建設計		
施工者	戸田建設株式会社		
施工者	高砂熱学工業株式会社		
施工者	株式会社朝日工業社		
施工者	三菱電機ビルテクノ株式会社		
建物管理者	三井不動産ビルマネジメント株式会社		
検証者	東京理科大学 教授 倉淵隆		
延床面積	41,829.51	m ²	
階数	地上23階	地下2階	塔屋2階
主用途	店舗・展示施設		
竣工年月日	2019年7月		

支部選考委員長講話

本建物は、東京駅に近い晴海通りに面して建つ賃貸オフィスと美術館からなる23階（高さ150m）、延床面積41,830㎡の超高層複合建築である。テナントビルは自社ビルに比べて収益性を重視し、事務室のフレキシビリティの観点からモジュールを重視し、テナント専有部のセキュリティへの配慮等から画一的なオフィス空間とした建物が多かったが、本建物は「開放系の超高層」をコンセプトに、建築・構造・設備設計さらに工法・施工のエンジニアリングを横断的に駆使して「働く人のためのオフィス」を実現している。10階～20階が1フロア400坪（27m×45m）の無柱空間のフロア貸し。全周にバルコニーを介した4面自然採光、蓄熱を兼ねたPC躯体現し高天井（4.2m）等、開放的オフィスになっている。

近年の建築物の共通の課題である脱炭素、室内環境、事業継続に対して、建築・構造・設備等の設計者の発想力・デザイン力と、建物として造り上げた施工者の卓越した技術力の共創によるものであることが、随所から読み取れる。

環境対応技術が採用されにくい都心のオフィスビルであるが、年間の一次エネルギー消費量1,442MJ/m²、CO₂排出量は62.7kg-CO₂/m²で、参照値1,859 MJ/m²（東京都環境局の2015年度の用途別のエネルギー消費原単位平均値から設定）に比べて23%の削減をしている。オフィス・共用部分の実績値では1,168 MJ/m²で2015年度の東京都の事務所用途の平均値（2,130 MJ/m²）に対して36%の削減となっている。美術館部分は1,919 MJ/m²で東京都の文化施設用途の平均値（2,130 MJ/m²）に対して約10%の削減となっている。全体の削減率が低そうに感じるのは、省エネルギー対策がしにくいとされる美術館のエネルギー消費が、約30%～40%を占めることが影響している。それと2020年4月から2021年3月までのエネルギー使用実績値が、新型コロナ禍における3密回避の1つである「換気」確保のためCO₂による外気量制御等の運用ができなかったことも影響したと思われる。

<省エネルギーへの取り組み・工夫>

オフィス部分に建築計画と設備の融合した革新的な省エネルギー対策が実施されている。分散型ルーバーとダブルスキンによる外皮負荷削減、超高層ビルでの高効率熱源・搬送システム（外気負荷：空冷HPモジュールチラー、室内負荷：水熱源ビル用マルチパッケージ）、空調ゾーニング（超小型外調機による床吹出空調と水熱源ビル用マルチパッケージの併用）、自然採光・自然換気（ダブルスキン利用）、外気量制御（ペリカウンター内超小型外調機制御によるCO₂・方位切替え制御、美術館では床目地吹出空調と人員カウンタに基づく外気量制御）、明るさ感を高める高効率照明方式（小梁直付型下面照射用LEDユニットで上面配光も実現（梁懐部の明るさ感の向上）、低消費電力照明：約5W/m²（作業面照度：750lx時）、中水（雑用水・雨水・空調ドレン）利用、高効率モーター、インバーター制御、ダイレクトドライブ型のECファンモーターの採用、在室検知による空調と照明制御、WEB活用、テナントエネルギーの見える化（エコ啓発）など。

<再生可能エネルギー利用・工夫>

太陽光発電を10kW設置し年間4.1t-CO₂/年（0.1%）に貢献している。雨水、空調ドレン、厨房排水をトイレの洗浄水として再利用し、年間で雑用水の71%を賅っている。加湿期間は空調ドレンが増加し再利用水の寄与率が100%になる。超高層ビルの高低差を利用して動力を使用しない雨水フィルター処理を行っている。従来のオフィス構築に重要とされてきたモジュール化、セキュリティ対応への懸念はあるが、ペリカウンター内に組み込んだ超小型外調機と水熱源ビル用マルチパッケージを併用した小さな空調ゾーンの形成、大梁フランジ幅をダクトスペースに利用、小梁下に面発光LED照明を取付けエッジ部分の光拡散で明るさ感、卓越風・温度差による自然換気、季節に応じた外気取入れ方位切替えなど、高度な技術を駆使して、開放的なオフィス空間を造り上げた。

当建物で採用されたさまざまな技術は独創性、先進性があり、検証結果の公表により今後の普及が期待される。当建物に関わった設計者、設備技術者の卓越した知識と気概を感じる。

業績の名称： ミュージアムタワー京橋における開放型超高層ビルの実現と検証

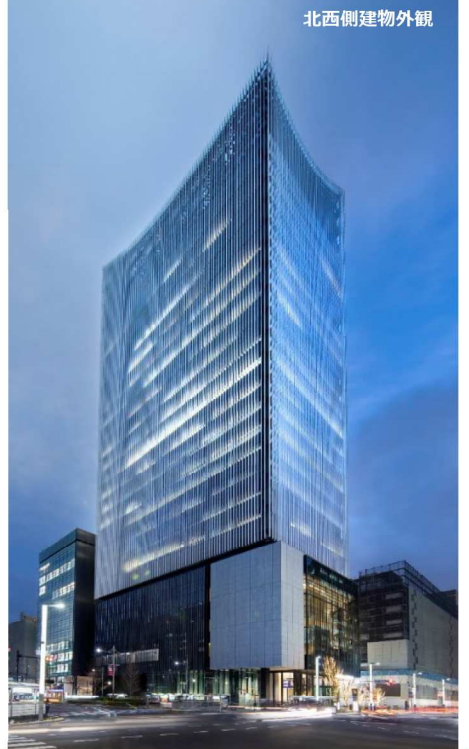
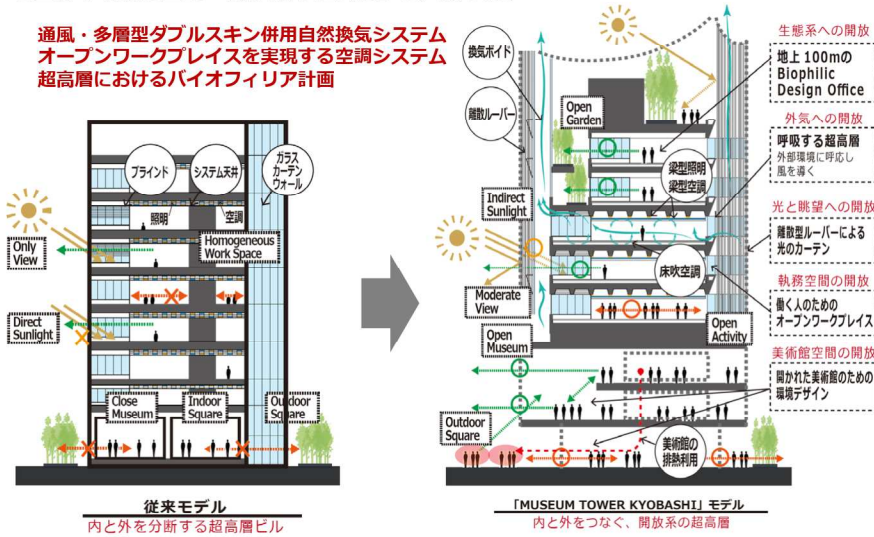
■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの説明

1/4

1. ミュージアムタワー京橋の計画概要～開放系の超高層～

本建物は、東京駅前、京橋に建つ、**ハイグレード賃貸オフィスと美術館からなる高さ150mの超高層複合建築**である。都市部の大型建築は、建築技術・工法上の難易度、経済性、高い環境基準値の達成等が加わり、人のアクティビティや外部環境が分断された閉じられた姿となりがちである。また、大規模再開発は、本来周辺の街とつながりを持つべき低層部は収益施設が並び、公共空間とは隔たりがある場合が多い。本建物は都心部の超高層建築が近年共通で抱える脱炭素性能、事業継続性能、室内環境性能というテーマに対して、最先端技術を統合しながら、**都心部において環境や街とつながることで、環境負荷を低減し豊かな環境を生む「開放系の超高層」を目指した。**

**通風・多層型ダブルスキン併用自然換気システム
オープンワークプレイスを実現する空調システム
超高層におけるバイオフィリア計画**



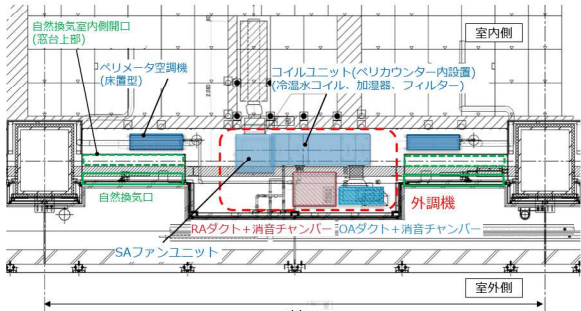
北西側建物外観

2. 働く人のための「オープンワークプレイス」

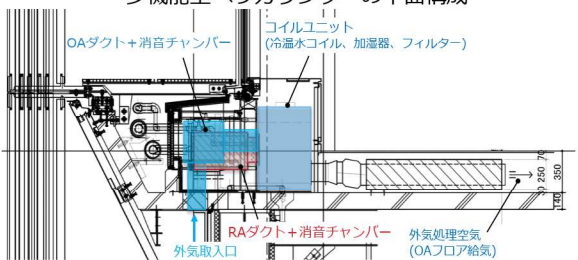
10～20階は、約400坪の無柱空間フロア貸しテナントオフィスとなっている。廊下を設けない回遊型プラン、全周のパルコニーを介した4面自然採光、蓄煙を兼ねたPC 躯体現し高天井（4.2mH）等により、開放的なオフィス空間を形成することで、多様なオフィス活動に対して寄与する次世代型テナントオフィスを目指した。

多機能型ペリカウンター

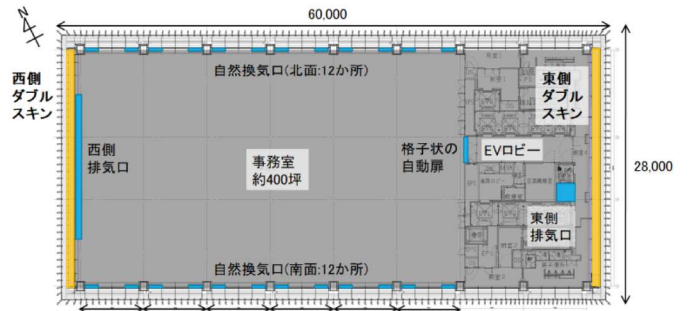
南面・北面の窓下には、様々な環境調整機能を集約した「**多機能型ペリカウンター**」を設けている。7.5mの柱スパン間に、超小型外調機が1台、ペリメータ負荷処理用の室内機が2台、自然換気口が2カ所ある。超小型外調機を各所に分散配置することで、**中央熱源系の外気処理空調機を用いながらも専用の空調機械室を不要とし、成形なオフィスプランの構築に寄与している。**また、ペリカウンター内部の空間をパルコニーの床下部分まで平面・断面的に拡張し、空調機器類を屋内空間側に設置することを可能である。



多機能型ペリカウンターの平面構成



多機能型ペリカウンター廻りの断面構成

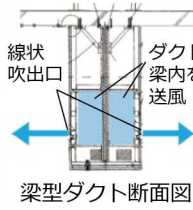


*東西面DS：外側：フロートガラス、内側：Low-e複層ガラス、室内側ブラインド
南北面：Low-e複層ガラス、室内側ブラインド

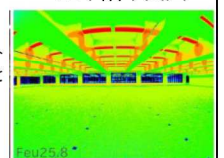
基準階平面図



建築と一体化した梁型ダクトによる空調と明るさ感を高める照明



梁型ダクト断面図



面発光照明のエッジを利用した光の拡散

明るさ感を高める照明 60mm

開放性・明るさ感の両立した天井

デザインと一体化した梁型ダクト吹出口や、小梁と一体化した照明による開放感がある天井面とした。**高天井での換気効率に配慮し、超小型外調機からの外気給気を床吹出とした。**OAフロア内がチャンバーとなることで床面温度を維持する。建築・設備の工夫で放射環境を向上、居住者を包み込む空調計画としている。小梁直付型照明器具は、下面照射用LEDユニットのみで上面配光を実現。梁懐部の明るさ感を向上し、**低消費電力：約5W/m²（作業面基準照度：750lx時）**を実現。明るさセンサ、人感センサによる昼光利用・在室検知制御、また最終退出連動制御による省エネルギー運用を可能とした。

3. オープンワークプレイスを実現する空調システムの計画と評価

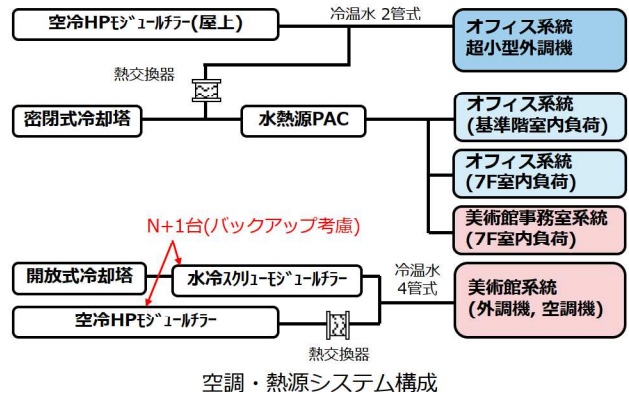
離散型ルーバーとダブルスキンによる外皮負荷削減

都市部の高層ビルで柔らかく外部と繋がることを目指し、建物全周にバルコニーを設け、コンピュータショナルデザインによる離散型ルーバーで覆っている。遮蔽した日射の二次反射で別のルーバーの裏面を照らし、室内側から明るく感じながら柔らかく自然採光を行う。バルコニー、高性能Low-Eガラス、東西面ダブルスキンにより日射遮蔽・断熱性能を高めて、四周開口であるがPAL*値は22%削減となった。



超高層ビルでの高効率熱源・搬送システム

中央熱源系統と個別熱源系統を併用するシステムとした。オフィスの外気処理は新開発の『超小型外調機』で行い、熱源は維持管理性と冗長性に優れた空冷HPモジュールチラーとした。室内負荷処理は水熱源ビル用マルチパッケージとした。冷房時の放熱は密閉式冷却塔により行い、暖房時熱源は空冷HPチラーからの温水を利用する。熱原水は熱源ユニット台数に応じた変流量制御とし、更に冷却塔による排熱時は熱原水の制御温度を外気湿球温度に応じて自動追従することで熱源ユニットの高効率運転を目指した。美術館熱源は24時間空調対応で超高効率な水冷スクリーンチラーと空冷HPモジュールチラーの構成とした。



空調ゾーニング

10~22階オフィスは、超小型外調機による床吹出空調+水熱源ビル用マルチパッケージを併用した空調システムとした。窓台にミニマムに統合された超小型外調機を開発し、廊下がない平面計画に合わせた適正な配置を行い、南北面の7.5mスパンに設けた多機能型ペリカウター毎に1台設置した。必要外気量分 (6m³/hm²) を供給する。

水熱源パッケージによる高層ビルでの搬送動力低減

水熱源パッケージによる空調で超高層での搬送動力低減、冷暖混在時の熱融通、個別制御による自己効力感向上等に配慮した。外調機側の潜熱処理と共に高顕熱運転による機器効率の向上を図っている。

『超小型外調機』の開発/きめ細かな外気量制御

超小型外調機により、100m程度の区画毎に発停、制御が可能である。効率の高いダイレクトドライブ型のECファンモーターとし、単機風量650m³/hの超小型外調機ごとにCO₂濃度に応じてファン動力を低減可能である。パッケージ室内機の高顕熱運転のため、冷水水コイルにより14℃まで過冷却可能とし、床下への吹出は18℃前後、暖房時は30℃前後まで設定可能とした。天井内には外気冷房専用のファン1,000m³/hを設置し、梁ダクトからの外気冷房を可能とした。

超小型外調機の仕様

構成	機器	仕様
ECファンユニット	ECファン	650m³/h、機外静圧150 Pa 1φ200V、0.78kW、ダイレクトドライブ型INV内蔵型のECモータ(IE4相当)
コイルユニット	冷水水コイル	冷却能力: 9.4kW、7℃→17℃、14L/min 加熱能力: 8.5kW、45℃→35℃ 13L/min
	フィルター	プレフィルター
	加湿器	水気化式、5.5kg/h
共通	外板	遮音パネル(板厚t 1.0)+遮音シート(t 2.0)

超小型外調機の制御概要

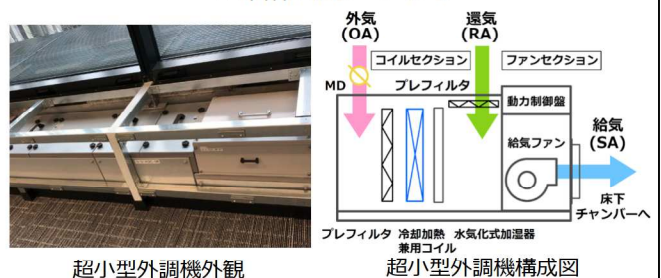
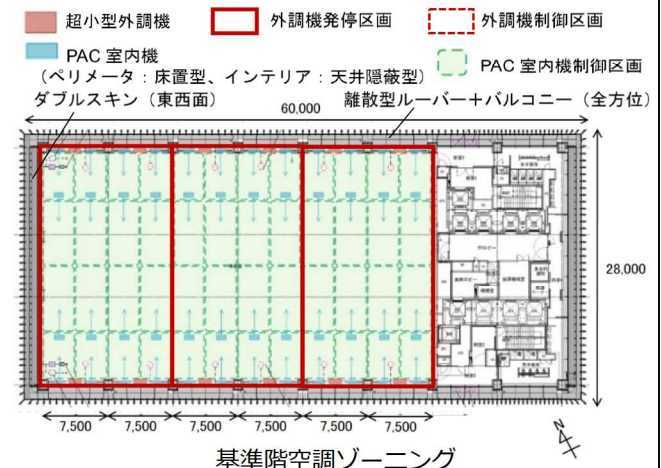
コア時間帯中のオフィス空調は、外気取入方法を様々な要素から選択し制御する。機械換気で温湿度確保を優先する「通常空調モード」と、自然換気を利用する「省エネモード」を設けている。省エネモードには、自然換気と空調を併用する「ハイブリット運転」と、空調を停止し自然換気のみとする「自然換気専用運転」がある。

空調モードと制御機器概要

制御設備	通常空調モード			省エネモード	
	CO₂制御	送風方位制御	外冷制御	ハイブリット運転(自然換気+空調)	自然換気専用運転
PAC空調	運転	運転	運転	運転	停止
外調機	運転	運転	運転	運転	停止
外冷FAN	停止	運転/停止	運転	停止	停止
自然換気窓	閉	閉	閉	開	開

空調と照明のメリハリ制御・WEB活用

自席PCやモバイル端末で空調・照明操作が可能な空調照明WEBシステムを開発。空調・照明の発停や設定温度、自然換気操作が可能である。センサによる昼光利用・在室検知、最終退出運動制御を採用した。工口啓発のため、各インターネット経由でテナント毎の各種エネルギー使用量をWEBブラウザ上でグラフ表示可能としている。



空調照明WEBシステム画面

4. 通風・多層型ダブルスキン併用自然換気システム

自然換気システムの概要

都心部の超高層ビルで安定した自然換気利用実現のため、通風・多層型ダブルスキン(以下、DS)併用型の自然換気システムを導入した。オフィス基準階の南北面ペリカウターの自然換気口により、卓越風による自然換気を可能とした。自然換気口はペリメータ用空調吹出口と隣接配置とし、ハイブリット空調時には導入外気は室内空気と混合されてから居住域に到達することで、自然換気有効期間の拡大を図った。また、風力換気効果と共に、東西面の多層型DSの重力換気により換気量を増大できる計画とした。DS高さは東面110m、西面95mで換気対象最上階から頂部まで高さを約40mとし、中性帯を高層側にあげること自然換気効率に配慮した。



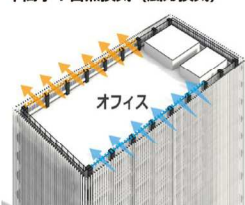
自然換気有効期間の拡大と活用ポテンシャル

外気温15~26℃の中間期に空調エネルギー削減が期待でき、標準気象データを元に試算すると、年間空調想定時4,745時間のうち約30%の1,415時間程度が風力換気により自然換気有効と推定される。さらに外風圧による風力換気が期待できない時間帯も一定の日射により重力換気が行われ、132時間程度換気有効時間拡大が見込まれる。ハイブリット空調時は、低温外気導入を想定し有効期間を217時間程度拡大できる試算である。

自然換気効果の検証

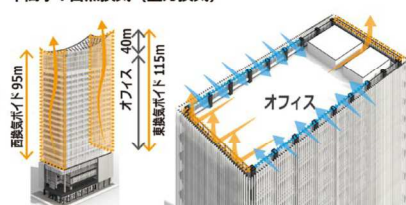
シミュレーションでの換気回数は高層部でも目標値である2回換気程度の効果が見込まれる。2019年10月に自然換気システムの性能検証を実施し、風速・風向、室圧基準のダブルスキン内部の圧力差や温度の測定、空気齢測定を行った。換気回数は1.8~3.1回/h、空気交換効率は0.5であった。強風時には南北開口部の通風による換気が主体となり、弱風時には東西ダブルスキン内部の温度と外気温度との差による温度差換気の影響を受けて、ダブルスキンの排気風量が増加する傾向がみられた。

中間季：自然換気（風力換気）



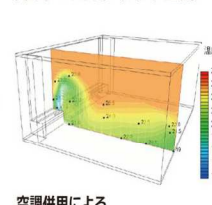
風力換気有効時間 1.425(h)

中間季：自然換気（重力換気）



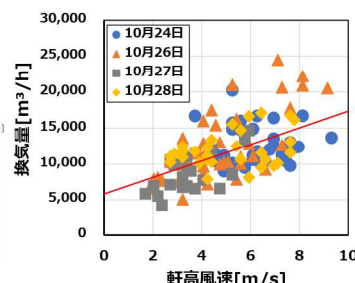
重力換気有効 +132(h)

中間季：ハイブリット空調



空調併用による自然換気有効期間の拡大 +132(h)

通風・多層型ダブルスキン併用型の自然換気システムと換気有効期間の拡大



自然換気実測結果 (風速と換気量の相関)

5. 基準階空調システムの性能検証

CO₂制御及び送風方位制御の効果

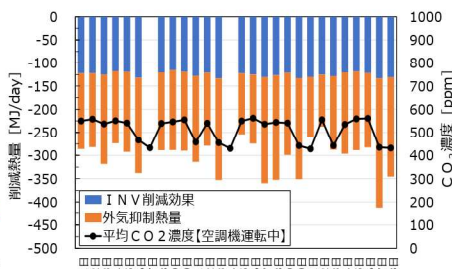
2020年8月よりCO₂制御(設定値600ppm)及び送風方位制御を許可運用した。冬期代表月で18階における平均CO₂濃度及び、超小型外調機のインバータ(以下、INV)による削減電力量及び外気抑制熱量を示す。INVによる電力削減効果が夏季・冬季とも確認された。外気抑制熱量は給気温度と外気温度のエンタルピー差が大きい冬期の方が大きく削減されていた。

中間期：外気冷房時の効果

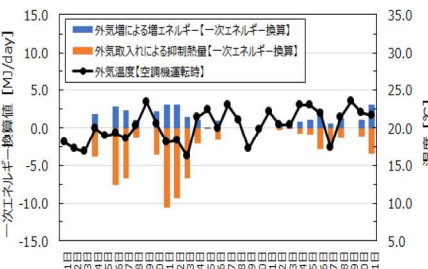
2021年5月における外気冷房時の外気冷房ファン稼働による増工エネルギーと抑制熱量を示す。1か月でみると増加エネルギー(31MJ)より抑制熱量(67MJ)の方が大きく、1フロアあたり1か月で34MJ程度の外気負荷削減効果が確認された。

季節に応じた外気取入方位の切替 (送風方位切替制御)

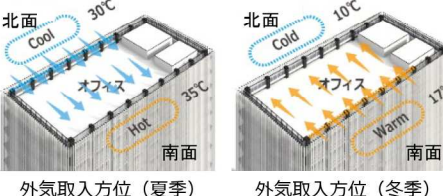
超高層ビルの外壁周辺温度特性を生かし、季節・外部環境に応じ外気取入れ優先方位を変更可能とした。夏は日陰側の北面からの取入を優先し日射負荷を避け、冬は日向側の南面を優先し南側の底部分で集熱、チャンバー空間に溜まる熱を利用して日射を余熱に利用する。実測値で夏季は最大4℃程度、冬季は最大9℃程度、北面と南面の外気温度には差があった。同制御により1フロアあたり夏期は11.9MJ/dayの削減、冬期は56.0MJ/dayの外気負荷削減効果が最大で見込まれる。



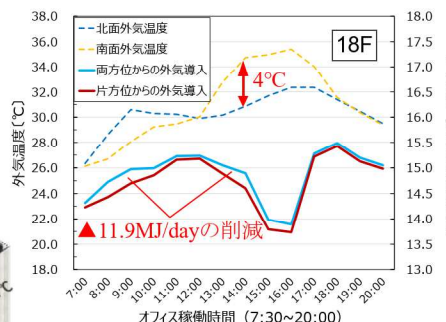
冬季代表月のCO₂制御効果 (2021年2月)



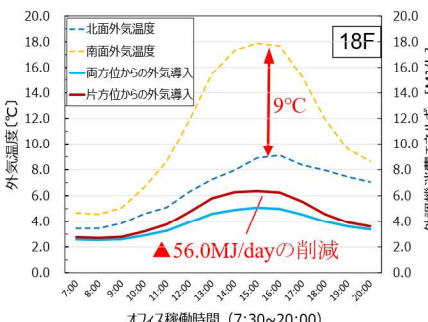
外気冷房時の運転状態と効果(2021年5月)



外気取入方位 (夏季) 外気取入方位 (冬季)



夏季外気温と送風方位切替による削減効果 (2020年8月4日)



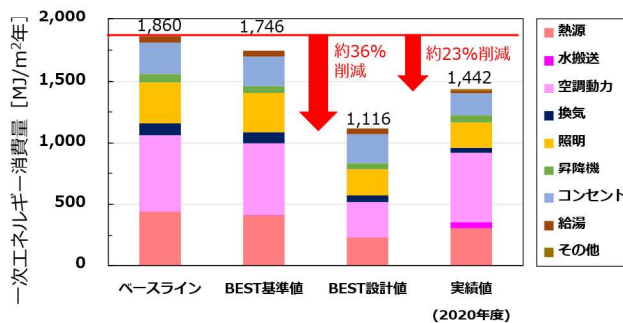
冬季外気温と送風方位切替による削減効果 (2021年2月24日)

5. コロナ禍でのエネルギー使用実績の検証

テナントビルとしての室内環境の維持と省エネ改善を目標とし、運用状況を確認する性能検証会議を毎月開催し、関係者により運転性能検証と改善を継続的に行っている。2020年は在室人員を注視してコロナ対策に必要な外気量確保をしながら省エネ運用を図った。

年間一次エネルギー消費量の計画値と実績の比較

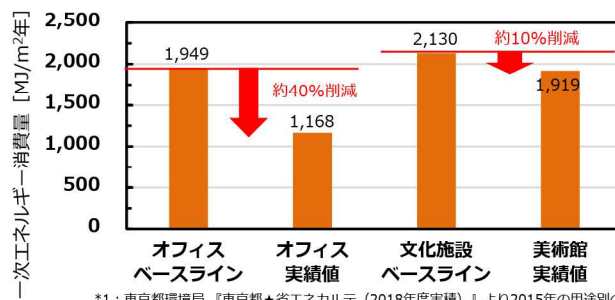
年間の一次エネルギー消費量原単位は1,442MJ/m²年、CO₂排出量は62.7kg-CO₂/m²年となった。ベースラインに比べて約23%の削減となっており、設計想定値を上回っていた。オフィス・共用部分の実績値では1,168MJ/m²年となり、2015年度東京都の事務所用途の平均値(1,949MJ/m²年)に対して約36%の削減となった。美術館部分では、1,919MJ/m²年となり 2015年度東京都の文化施設用途の平均値(2,130MJ/m²年)に対して約10%の削減となった。設計想定よりも熱源や空調動力等が大きい結果となった。新型コロナウイルス発生禍による出社制限の影響もある一方、CO₂制御等の省エネルギー制御が換気量確保のため想定どおり運用できず熱源周りの消費電力が増大、自然換気運用もできなかったことが大きいと考えられる。



*1: 東京都環境局『東京都★省エネカルテ(2018年度実績)』より2015年の用途別のエネルギー消費原単位平均値から本建物のベースラインとして設定
*2: BEST基準値及び設計値は、H28年省エネ基準のBESTプログラムを用いて美術館の開館時間や展示室等の24時間空調を考慮して算出
年間一次エネルギー消費量の計画値と実績の比較

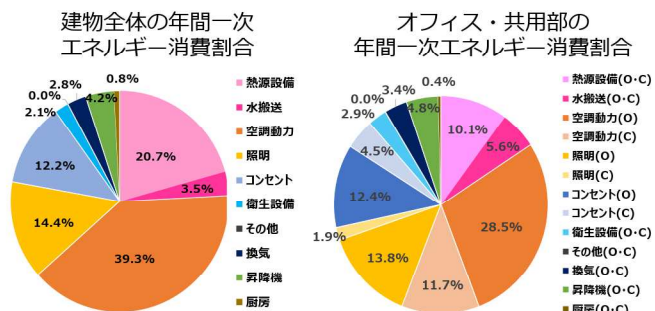
月別一次エネルギー消費量の推移

テナントの出社人数の調整等があるものの、建物全体が稼働状況にあった。省エネよりも換気量確保を優先とし、CO₂制御の設定値を従前の900ppmから600ppm等に大きく下げて運用している。美術館システムの消費量は年間を通して約30%~40%の割合を占めており、24時間空調のシステムを含む美術館熱源・空調動力がその中の大部分を占めている。また、水熱源ビルマルの高頭熱運転を意図していたが、夏期の外調機吹出温度設定が想定値より高く、潜熱がビルマル側で処理され空冷チラー稼働小さく、設定温度変更により次年度の改善を図っている。建物全体で割合が大きい熱源・空調の運用改善により、引き続きさらなる省エネを図っている。



*1: 東京都環境局『東京都★省エネカルテ(2018年度実績)』より2015年の用途別のエネルギー消費原単位平均値をベースラインに設定した。

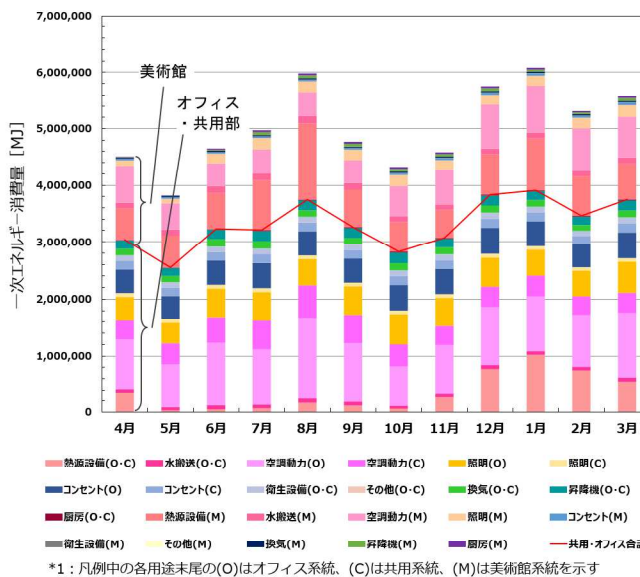
用途別の一次エネルギー消費量のベースラインと実績値



超高層ビルの高低差を利用した節水型ビルの実現

給水使用量原単位の平均は29 l/m²/月であり、『建築設備情報年鑑』における竣工設備データ(2019年)の給水使用量統計値(55.3 l/m²/月)と比較すると約50%削減となった。

雨水・空調ドレン、厨房排水をトイレの洗浄水として再利用し、雑用水の約71%を再生水で賄うことができた。加温期間は加温給水量も増加しているが、空調ドレンの雑用水再利用も多く、同期間の中水寄与率は100%となった。雨水の再利用は、室内設置型雨水コレクターを中間機械室に設置し、超高層ビルの高低差を活かし、重力により雨水コレクター上部から落下させてフィルターを伝った雨水を回収することで、極力ポンプ動力を使用しない雨水再利用を実現した。



*1: 凡例中の各用途末尾の(O)はオフィス系統、(C)は共用系統、(M)は美術館系統を示す

建物全体の一次エネルギー原単位の月別推移 (2020年4月~2021年3月)

