

オペテージビル環境・設備計画と実施

Planning and Implementation of Environmental and System Design in Optage Building

小林 佑輔 (竹中工務店) 粕谷 敦 (竹中工務店) 和田 一樹 (竹中工務店)
 桑山 絹子 (竹中工務店) 渡邊 啓太郎 (竹中工務店) 増田 恭大 (竹中工務店)
 小林 知広 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)

Yuusuke Kobayashi *1, Atsushi Kasuya *1, Kazuki Wada*1, Kinuko Kuwayama*1,
 Keitarou Watanabe*1, Yasuhiro Masuda*1, Tomohiro Kobayashi*2, Toshio Yamanaka*2

*1 Takenaka Corporation *2 Osaka University

キーワード：環境不動産 (Environmental real estate), 知的生産性 (Workplace Productivity), 自然換気 (Natural ventilation), パーソナル空調 (Personal air conditioning), 冷媒自然循環システム (Refrigerant Natural Circulation System)

オペテージビルは、大阪城北東の大阪ビジネスパークエリアの魅力再生につなげるために、テナントオフィスビルとして普及性の高い環境不動産の創出を目指して計画された。本計画では、不動産としての事業性と、環境性・快適性・知的生産性・安全性の最適化を目指した。計画・実施内容として、①テナントオフィスビルの機能性と省エネルギー性を両立する建築・設備計画、②オフィスの快適性・知的生産性と省エネルギー性を高める空調システムの開発、③省エネルギー・省資源化とライフサイクルマネジメント に取り組んだ。

はじめに

本計画は大阪城北東の大阪ビジネスパーク (以下、OBP) 内に位置する、OBP 開発後、明期に竣工した旧松下電工ビルの建替えである (写真-1, 表-1, 図-1)。OBP エリアの魅力再生につなげるために、テナントオフィスビルとして普及性の高い環境不動産の創出を目指した。

環境不動産に求められるのは、エネルギー・資源にとどまらず、快適性・知的生産性・健康性や BCP・レジリエンスなどに広がり、深まりつつある。また、テナントオフィスビルの環境不動産形成の課題として、ビルオーナーにとっての不動産事業の適正化、テナントに対する情報の可視化が挙げられる。ビルオーナーの不動産事業について、貸室レントブル比の重視、テナントに対応したフレキシビリティ、コンセント・空調容量、利便性などの機能確保がある。また、テナントに対する情報の可視化について、環境評価や運用の情報提供と共有化がある。

本計画では、これらに対して、不動産事業性と、環境性・快適性・知的生産性・安全性の最適化を目指した。

表-1 施設概要

所在地	大阪市中央区城見二丁目1番5号
建築主	関電不動産開発(株)
建物用途	事務室・店舗
敷地面積	31 869.70 m ²
建築面積	2 740.40 m ²
延べ床面積	49 612.41 m ²
階数	地上22階・塔屋2階
構造	鉄筋コンクリート造、鉄骨造、免震構造
竣工	2017年9月
設計・監理	(株)竹中工務店
施工	(株)竹中工務店



写真-1 建物外観

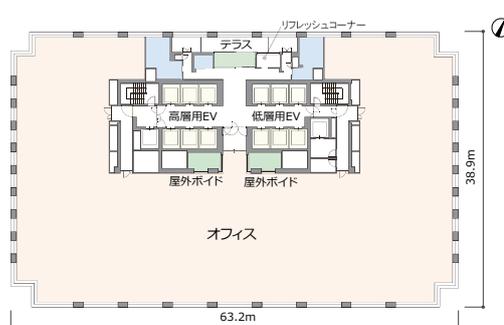


図-1 基準階平面図

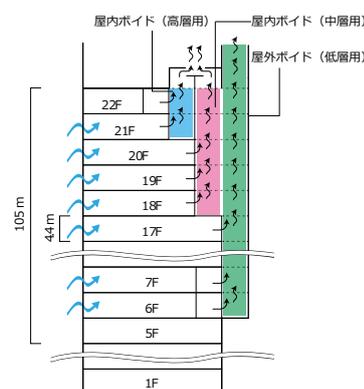


図-2 複数ポイドを活用した自然換気

表-2 自然換気制御温度と気象条件

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
	4/19	4/27	10/23	10/24
自然換気制御温度	18[°C]	20[°C]	16[°C]	16[°C]
風向	西南西	南南西	北北東	北
風速	5.0[m/s]	4.3[m/s]	3.3[m/s]	5.8[m/s]
外気温 T	20.9[°C]	20.3[°C]	18.8[°C]	20.9[°C]
室内外温度差 ΔT	4.3[°C]	5.0[°C]	6.2[°C]	4.2[°C]

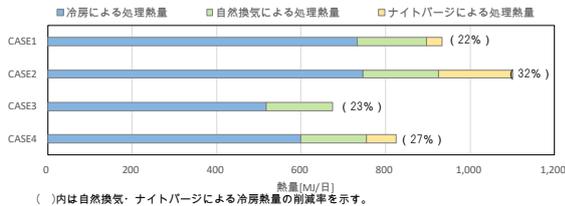


図-4 自然換気による冷房処理熱量

1. テナントオフィスビルの機能性と省エネルギー性を両立する建築・設備計画

1.1 複数ボイドを活用した自然換気

自然換気は、外周部の自然換気装置と低層用（6～17階）・中層用（18～20階）・高層用（21～22階）のフロアで使い分けたボイドを併用し、テナントオフィスビルのスペース効率を確保しながら、自然換気効果を向上させている。自然換気概念図を図-2に示す。外周部各方位の窓台部の自然換気装置を自動開閉し、自然換気を行う計画としている。計画時において、風洞実験、換気回路網計算、自然換気装置の基礎実験を行い、実施計画に反映している。

実運用下における自然換気量を評価するため、2018年4月16日～27日、10月15日～26日の期間で19階を対象として実測を行った。自然換気開放の制御温度と気象条件を表-2に、CASE1（4/19）の自然換気量の流入・流出量を図-3に、自然換気による冷房処理熱量を図-4に示す。負値は室からの流出を表し、ボイド開口では常に室内からボイドに流出し、自然換気口では流入・流出が入れ替わっている。9～18時における換気回数（平均値）はそれぞれ2.20、2.18、1.39、1.84 [1/h]であった。春期に比べて秋期の換気量は小さく、これは季節間の主風向の違い（秋期：北風、春期：西風）が主な要因と考えられる。

また、自然換気に対する受容度評価は「受け入れられない」と答えた人の割合はいずれの日でも10%を下回り、「受け入れられる」と答えた人は50%以上の結果となった。

1.2 ファサード計画と明るさ感を高める照明システム

構造フレームと外装計画により、ファサードの環境性能を合理的に確保している。外殻フレーム構造は、方位を考慮して南北面が6.4m間隔、東西面が3.2m間隔として、水平・垂直ひさしの日射遮蔽効果を高めている。高性能

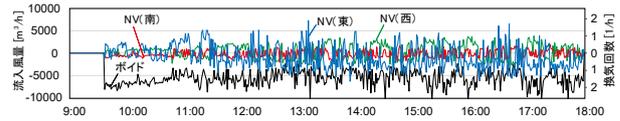


図-3 自然換気の流入・流出量(CASE1 : 4/19)

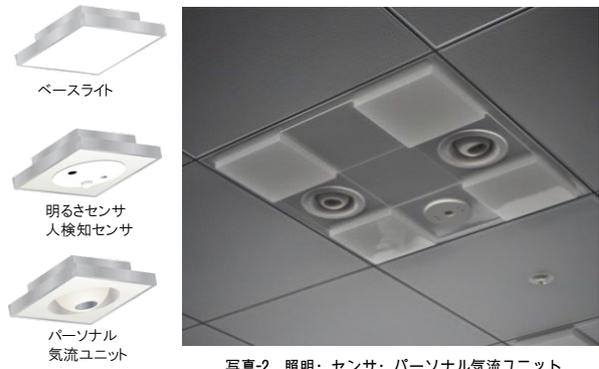


写真-2 照明・センサ・パーソナル気流ユニット

写真-2 照明・センサ・パーソナル気流ユニット

能 Low-e ペアガラスと角度変化型ブラインドにより、日射遮蔽と自然採光効果を両立している。オフィスに面する屋外ボイド周辺は、ボイド頂部の太陽光自動追尾集光装置により、自然採光効果を高めている。

オフィスの照明は、テナントのフレキシビリティ・快適性と省エネルギー性の両立を目指している。照明器具・センサ・パーソナル気流ユニットを写真-2に示す。グリッド天井対応の照明器具は、3×3のスクエア形状になっており、照明発光部のほかに各センサ、パーソナル気流ユニットを複合設置可能で、フレキシビリティを高めている。照明発光部は天井面から14.5mm突出して、執務者の視野角および天井面の明るさ感を高めることで、低照度での視環境を向上している。照明制御は、基準モジュール3.2×3.2mごとに明るさセンサ、人検知センサを配置して、きめ細かな調光制御により省エネルギー性を高めている。

角度変化型ブラインドとボイドによる自然採光、照明・センシングのエネルギー効果を評価するため、実測を行った。照明電力は、角度変化型ブラインドにより10%、人検知センサと明るさセンサにより41%の削減効果が見られた。照明電力は4.4～4.7W/m²であった。

1.3 BCP性能を高める設備計画

OBP地区は、浸水リスクが低い、ゲリラ豪雨などを考慮して、電気室・発電機室を5階に配置している。受電は特高22kV異変電所からの2回線受電方式としており、商用電源の信頼性を高めている。商用電源の停電時には、非常用発電機（ビル用1,250kVA、テナント用1,500kVA）を72時間運転可能として、オフィス・共用照明の20%とオフィスのコンセント15VA/m²、テナントの特定負荷に電源供給可能としている。

給排水インフラ遮断時対応として、上水は4日分、雑

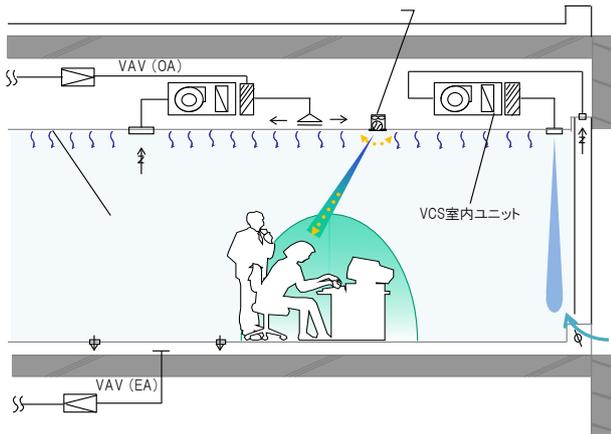


図-5 放射併用パーソナル空調システム概念図

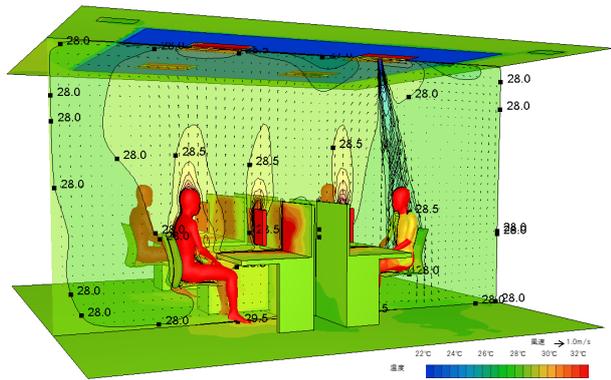


図-6 温度分布・気流ベクトルの解析結果

表-3 サーマルマネキンを用いた実測結果

条件名	空気温度 [°C]	パーソナル吹出し温度 [°C]	顕熱損失量 [W/m ²]	等価温度 [°C]
設定 25°C (パーソナル OFF)	25.4	-	43.2	25.4
設定 26°C (パーソナル OFF)	26.9	-	37.3	26.7
設定 26°C (パーソナル ON)	27.0	24.8	41.4	25.7
設定 27°C (パーソナル OFF)	27.9	-	34.2	27.5
設定 27°C (パーソナル ON)	27.7	25.5	38.6	26.4

注 空気温度は FL+1 050 mm とする。

用水は 2 週間分、排水一時貯留槽は 2 週間分を確保している。雑用水は、水蓄熱槽より給水のバックアップ供給が可能な計画としている。

建物のセキュリティ対策として、指静脈認証を主体とした入退出管理と監視カメラを導入している。1 階エントランスには指静脈認証と連動したフラッパーゲート、テナント出入口扉にはアンチパズバック方式の指静脈認証装置を設置している。ビル共用部などにはネットワーク監視カメラ、テナントオフィスの一部には全方位監視カメラを設置し、高いセキュリティ性能を確保している。

雷保護対策として、統合接地方式としている。接地は、地下構造体接地と接地極の共有化により、接地システムの等電位化を図り、低接地抵抗としている。

火災時の安全性とスペース効率を高めるため、換気兼用加圧防排煙方式を導入している。加圧防排煙システム

は、特別避難階段付室や非常用エレベータ付室の出入口扉などの開口部において、圧力を制御することで付室内への煙の侵入を防止している。本計画では、セントラル換気の立てダクトを兼用した“換気ダクト兼用加圧防排煙システム”として、レンタブル比 1% 向上に寄与している。

2. オフィスの快適性・知的生産性と省エネルギー性を高める空調システムの開発

2.1 環境選択範囲を広げる放射併用パーソナル空調システム

オフィスにおいて、省エネルギー性と室内温熱環境を向上させて知的創造空間を創出する手法として、パーソナル空調や放射空調が注目されている。気流感の少ない放射空調とパーソナル空調を組み合わせた放射併用パーソナル空調システムは、個人の環境選択範囲を広げて、省エネルギーで温熱満足度が高いオフィス空間を提供できる。本計画では、多様なワークスタイルにフレキシブルな対応が求められるテナントオフィスビルへの導入に取り組んだ。

放射併用パーソナル空調システム概念図を図-5 に示す。放射空調は、インテリアゾーンの室内ユニットの冷風を利用して、天井金属パネルを冷却する空気式としている。天井放射パネルとして、開口率 15% のアルミ製パンチングパネルのグリッド天井を設置している。パーソナル気流ユニットは執務者ごとに設置し、Web 操作により、気流の強・弱・停止の切替えを行う計画としている。また、人検知センサにより不在時の停止制御を行っている。

パーソナル気流ユニットは、これまで十数件の建物へ導入してきたが、本計画への導入を目指して新型機種の開発に取り組んだ。開発は、これまでの導入建物の検証結果および利用者・管理者などへのヒアリングを行い、ニーズを把握して、机上検討、試作、基礎実験を繰り返し行った。最終の試作品について、気流性状の実験、人体熱モデル JOS を連成した CFD 解析 (図-6)、サーマルマネキンを利用した人体冷却効果の実験などにより、効果を検証した。新型機種は、気流を吹き出す開口部の径を 41mm から 45 mm に広げており、吹き出し口内部形状の変更で気流抵抗の抑制と整流機構の向上、ファン仕様の見直しなどにより、消費電力と発生騒音を大幅に低減している。

放射併用パーソナル空調の計画および運用検討として、数値流体力学 (CFD 解析) を用いて執務エリアにおけるパーソナル気流ユニットの運転状態による室内環境への影響、自然換気運用時に放射併用パーソナル空調を同時に運転した場合の相互の干渉の検討を行った。

実オフィスにおける本システムの人体冷却効果を検証するため、サーマルマネキンを用いた実測を行った。実測は、設定温度 27°C でパーソナル気流なしのパターンを標準条件として等価温度を算出した。実測結果を表-3 に示す。全身の等価温度は、パーソナル気流ユニット運転あ

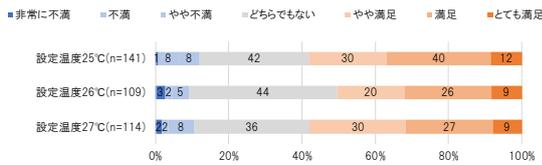


図-7 パーソナル空調ユニットの満足度

りは運転なしに比べて1.0~1.1°C低下した。設定温度27°Cでパーソナル気流ユニット運転ありは、設定温度26°Cで運転なしより、等価温度が0.3°C低い値となった。パーソナル気流ユニットの運転により、室内温度を1°C以上緩和しても同等の冷却効果があることが示された。

パーソナル気流ユニットの利用実態調査を行った。パーソナル気流ユニットの満足度申告を図-7に示す。設定温度によらず、「やや満足」、「満足」、「とても満足」の合算は半数を占めており、パーソナル気流ユニットを個人で操作できることに高い満足感が得られていると考えられる。となった。パーソナル気流ユニットの運転により、室内温度を1°C以上緩和しても同等の冷却効果があることが示された。

パーソナル気流ユニットの利用実態の把握と更なる利用を促進するため、利用状況を調査した。パーソナル気流ユニットの満足度申告を図-7に示す。設定温度によらず、「やや満足」「満足」「とても満足」の合算は半数を占めている。パーソナル気流ユニットを個人で操作できることに高い満足感が得られていると考えられる。

2.2 熱搬送効率を高める冷媒自然循環システム

潜熱・顕熱分離空調は、熱媒温度帯を室内温度に近づけて省エネルギー化を図ることができる。また、熱源の効率化だけではなく、中温冷水と空調二次側の適合性をより高めて、システム全体の省エネルギー化を図る必要がある。中温冷水に対応して、冷媒搬送動力のいらぬ冷媒自然循環システム (Vapor Crystal System : VCS) を組み合わせることで、省エネルギー性をさらに高めることができる。本計画の熱源・空調システムを概念図を図-8に示す。冷媒自然循環システムは、冷媒の相変化に伴う潜熱を比重差と圧力差による自然循環力で熱搬送する。冷房サイクルは、冷水により凝縮器の冷媒が冷却・液化し、室内ユニット冷房コイルで室内空気と熱交換し、冷媒が加熱・ガス化して凝縮器に戻る。暖房サイクルは、温水により蒸発器の冷媒が加熱・ガス化し、室内ユニット暖房コイルで室内空気と熱交換し、冷媒が冷却・液化して蒸発器に戻る。冷媒自然循環システムは、個別分散型空調による利便性や搬送動力の低減効果などのメリットがあり、これまで主に氷蓄熱の低温冷水と組み合わせて導入されてきた。冷媒自然循環を中温の冷水温度レベルに適合させて、熱源・熱搬送を最適化することで、さらなる省エネルギー化が可能となる。そこで、中温冷水 (9~13°C) に対応した冷媒自然循環システムの開発と実施に取り組んだ。

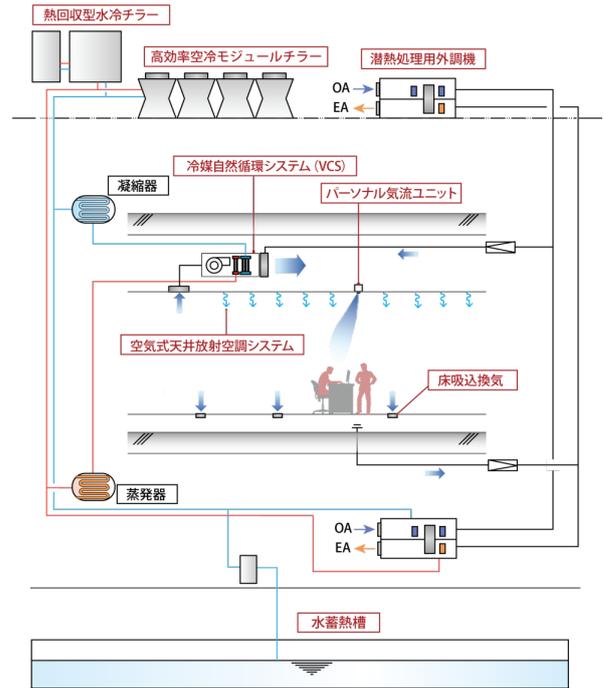


図-8 熱源・空調システム概念図

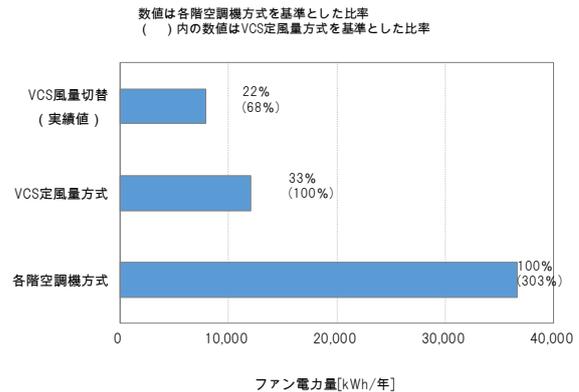


図-9 冷媒自然循環システムの搬送動力低減効果

冷媒自然循環システムは、冷媒の比重差と圧力差で自然循環しており、中温冷水への適合は冷媒圧力損失の抑制が重要となる。開発は、冷媒サイクルの適正化、室内ユニットファン電力の最小化など試作・基礎実験に取り組んだ。実システムの検証として、冷暖房能力および制御性を確認した。また、空気搬送の実績について、本計画と各階空調機 VAV 方式の比較結果を図-9に示す。本計画の搬送動力は、稼働時間当たり 1.56 W/m² であり、各階空調機 VAV 方式に比べて 78%低減している。

冷水搬送は、冷媒自然循環を1段階目、空調機を2段階目とした多段 (カスケード) 利用する計画としている。冷水搬送効率 WTF の実績は、冷水カスケード利用および冷水二次ポンプの実末端差圧制御により、日中で30~60、7~8月の月平均37であった。

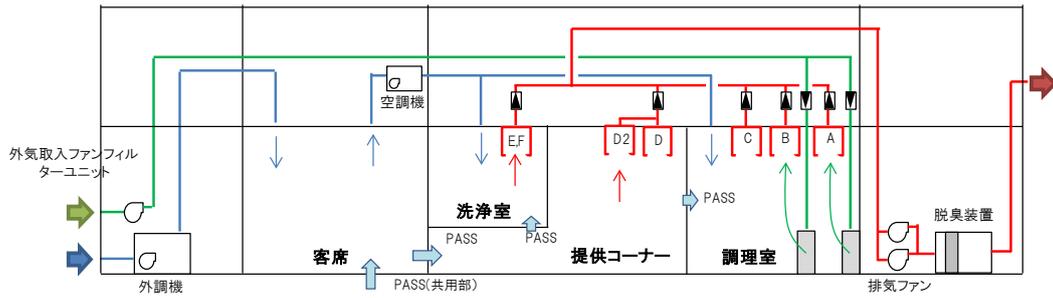


図-10 ちゅう房の空調・換気システム概念図

2.3 熱製造効率を高める中温熱源と冷温水可変温度制御

中温熱源として、高効率空冷モジュールチラーと熱回収型水冷チラー、低水深温度成層型水蓄熱槽で構成し、冷水供給温度を 9~13℃として熱源効率を向上している。空冷モジュールチラーは、部分負荷効率が高いロータリーコンプレッサー搭載機種としている。熱回収型水冷チラーは、排熱を活用しながら冷水と温水を同時に取り出して、高効率運転を可能としている。温度成層型水蓄熱槽は、多層連結方式とし、夜間に熱回収型水冷チラーにて冷水 8℃で蓄熱し、昼間 9℃で放熱することで、蓄熱時の効率も高めている。夏季における冷水システム COP の期間平均は 4.5、温水システムを含めた年間 COP は 4.2 であった。

熱源の冷温水温度は、熱負荷状態に合わせて自動で可変温度制御を行い、効率をさらに高めている。冷水・温水可変温度制御については、全体の冷水・温水熱量の使用状況に加えて、凝縮器・蒸発器・空調機などの制御弁開度情報をもとに、冷水と温水の可変制御を行っている。テナントオフィスビルにおいて、熱負荷の偏在など一部のテナントで熱需要が大きい場合などを考慮した制御としている。12~3月の冷水送水温度設定の稼働時間は、全体の 70%程度が 10℃以上で、送水温度 13℃以上が 25%と最も高い比率となった。冷水需要に対応した冷水可変温度制御により、熱源の高効率運転に寄与していると考えられる。

冬期における冷却塔フリークーリングは、中温冷水利用により有効運転範囲・期間を広げており、省エネルギー化を図っている。冷却塔フリークーリングは、水冷チラーが熱回収運転モードで冷却水が不要となり、外気湿球温度が設定値以下の場合に運転される。11~3月において、フリークーリングによる冷水製造熱量は、全体の冷水製造熱量に対して 21~39%であった。また、フリークーリング運転の月平均 COP は 12~28 であった。

3. 省エネルギー・省資源化とライフサイクルマネジメント

3.1 全電化厨房の省エネ換気と換気風量制御

3階カフェテリアの厨房換気は、厨房機器まわりのパン



図-11 屋外利用を促進する行動喚起システム

チング壁から低風速で未処理の新鮮外気を供給し、フードより排気する省エネルギー型換気システムとし、ちゅう房内の温熱環境と省エネルギー性を両立している。また、全電化ちゅう房機器の電流値を計測して、負荷率に合わせてエリアごとの外気取入れと排気の風量を制御することで、大幅な省エネルギー化を図っている。ちゅう房の空調・換気システム概念図を図-10に示す。給気・排気ファンはインバータ制御として、排気ファンは、2台に分割して台数制御を行っており、ちゅう房機器の低負荷状態での小風量時の制御性向上を図っている。また、客席の余剰空気を空調機により冷却処理してちゅう房へ供給することで、エネルギーの多段利用化を図っている。

代表日のファン消費電力量は風量制御がない場合と比較して、約 62%の削減ができています。

3.2 屋外利用を促進する行動喚起システム

本建物では、執務者の健康性・知的生産性に配慮し、屋外利用を促進するため、屋外環境の快適度合を表示する行動喚起システムを導入している。屋外利用を促進する行動喚起システムを図-11に示す。行動喚起システムは、屋外環境をリアルタイムで測定して快適度合をネットワーク指数として大型ディスプレイ、エレベータかご内のサインージ設備に表示し、屋上テラスや1階ピロティをワークスペースやリフレッシュスペースとしての利用を促す計画としている。地上22階の屋上テラスは、ワークスペース(デスク)、ワークリフレッシュスペース(日陰)、リフレッシュスペース(ベンチ)の3エリアに分かれて

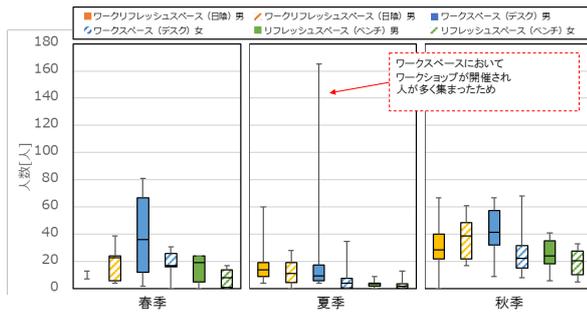


図-12 要素別の年間一次エネルギー消費量

いる。リフレッシュスペースには、ドライミストを設置している。屋上テラスの利用状況を調査した。春期においてワークスペースの利用者が最も多く、最大81名（全館収容人員の2%程度）である。中間期においてワークスペース、リフレッシュスペースで男性利用者が多く、ワークリフレッシュスペースでは女性利用者が多い傾向がみられた。

3.3 施工時・運用時の省資源化とエネルギーマネジメント

建設時の品質向上と省資源化を図るため、省人化工法を積極的に採用している。省人化工法として、低圧幹線バスダクト、オフィス照明のワンタッチコネクタケーブルユニット、全ユニットトイレ、樹脂管スプリンクラ、冷温水配管と雨水配管を一体化したライザーユニット、電気室・CVCF室・検証サーバ室などにソックダクトを導入した。また、雨水利用の上水代替率の実績は13%となった。

BEMSは、テナントの執務者への見える化をサポートする計画としている。BEMSにはテナントの空調エネルギー量を簡易的にあん分する機能を持たせており、熱源・空調および電灯・コンセントなどテナントごとの電力量をテナント用PCとエントランスの大型ディスプレイに表示して、省エネルギー化を啓発する計画としている。

テナントオフィスビルのエネルギーマネジメントとして、ビルオーナーと設計者、ビルマネジメント会社・ビル管理会社とテナントを含めて体制を構築している。マネジメント活動として、ヒアリング、実測、BEMSによる期間評価を行い、運用改善効果の共有に取り組んでいる。

3.3 環境認証とエネルギー消費量の実績

環境評価として、CASBEE大阪みらいはSランク、BEE=4.6、DBJ Green Building 認証は最高ランクの☆☆☆☆☆、建築物省エネルギー性能表示制度 (BELS 認証) は最高ランクの☆☆☆☆☆、BEI=0.48 (ZEB Ready) を取得している。また、国土交通省の平成26年度住宅・建築物省CO₂ 先導事業に採択されている。

2018年4月～2019年3月までの建物全体のエネルギー消費実績を評価した。電力デマンドは最大1,830kW (37W/m²) であり、全電化建物としては低い値である。年間一次エネルギー消費量について、省エネルギー要素別の実績を図-12に示す。削減効果について、自然換気・

自然採光・ファサードで11%、照明・センシングで12%、中温熱源・VCS・搬送で16%、ちゅう房換気・給湯・その他で5%である。全体で977MJ/(m²・年)で一般建物に対して44%低減、コンセントを除くと53%低減と大幅な省エネルギー化を実現した。

おわりに

本業績は、テナントオフィスビルとして普及性の高い環境不動産の創出を目指して、計画・実施・検証したものである。テナントビル事業と環境性能の最適化に取り組んだことで、広く社会に展開されることを期待している。最後に、本プロジェクトの計画・設計・施工・運用・検証評価においてご指導・ご協力いただいた多くの皆様に、この誌面をお借りして厚くお礼申し上げます。

Planning and Implementation of Environmental and System Design in Optage Building

Synopsis The Optage Building was planned in order to recreate attractions of Osaka Business Park area northeast of Osaka Castle. We planned this building with the aim of creating highly popular environmental real estate as a tenant office building.

In this plan, we aimed at optimizing the business potential as real estate, and as well as its environmental friendliness, comfort, workplace productivity and safety.

The following contents were planned and implemented:

- (1) Building and system planning that to achieve both functionality and energy savings of tenant office buildings,
- (2) Development of air conditioning system to enhances office comfort, workplace productivity and energy saving,
- (3) Energy and resource saving and life cycle management.