

横浜市役所の ZEB の実現

左 勝 旭

横浜市役所は、ZEB Ready を目指して 2020 年 5 月に竣工した。竣工時の BELS 評価では BEI 値 0.48 を取得し、計画当初から目標としていた大都市庁舎の ZEB を実現した。本稿では ZEB を実現した都市型市庁舎の計画概要、環境・設備計画概要、基準階執務室計画、空調設備計画、運用と検証について報告する。

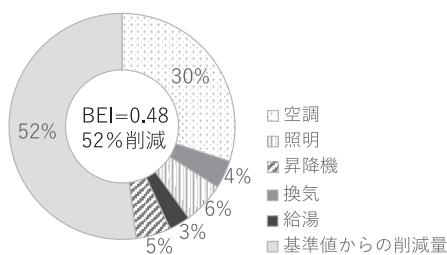
キーワード：ZEB、市庁舎、輻射、自然換気、地中熱、デシカント、環境センシング、RFID タグ

1. はじめに

SDGs 未来都市である横浜市は 2030 年のあるべき姿の実現に向けた優先的なゴール、KPI を設定し取り組んでいる。横浜市役所（以降、本建物）の計画と建設は、横浜市の設定した KPI に貢献するために、本建物の計画及び建設に関する課題を掲げ取り組んできた。また、ZEB Ready を目指し基本計画から積極的に取り組み、2020 年 5 月竣工を迎えた。竣工時の BELS 評価にて BEI 値 0.48（**図一**）を取得し ZEB ready となり、計画当初からの目標である大都市における市役所の ZEB を実現した。



写真一 横浜市旧市役所



図一 エネルギー削減量

2. 計画概要

開港百周年（1959 年）を記念に建てられた村野藤吾設計による旧市役所（**写真一**）は、横浜市の人工増加や社会状況の変化に伴う業務範囲の拡大により執務スペースは不足し、庁舎機能は約 20 の民間ビルや市所有施設に分散していた。執務環境の改善と災害時対応などが課題となっていた。一方、横浜市は SDGs 未来都市に選定され、環境モデル都市として環境負荷

を抑えながら、市民生活の質を向上させるまちづくりを進めている。8 代目となる新市庁舎は上記目標を達成するため、豊かな市民力を活かす開かれた市庁舎、国際都市に相応しいホスピタリティにあふれる市庁舎、危機管理の中心的役割を果たす市庁舎、低炭素型市庁舎、長期間に使い続けられる市庁舎の実現を基本理念として進められた。

計画地は横浜アイランドタワーに隣接し、北仲・馬車道地区の中央に位置する。みなとみらい 21 地区の都市景観は、ランドマークタワーをピークとするなだらかなスカイラインを形成している。新たに街が開かれる北仲・馬車道地区においても、みなとみらい 21 地区と対をなすスカイラインを形づくり、新たな港まち横浜の景観に寄与することを目指した（**写真二**）。

旧市庁舎で村野が提示した「行政・市会棟と対等に位置づけられる市民広場」という空間構成を受け継ぎ、アトリウムが開かれた市庁舎の核となり、水辺の回遊性と快適性の高い空間とあいまって、内外部空間を自由に往来する歩行者ネットワークによる街のにぎわいの創出を目指した。



写真—2 横浜市役所鳥瞰

BCPの観点において、危機管理諸室整備、ハイブリッド中間層免震、主要設備機械室の免震層の上階設置、地震・構造モニタリング、緊急離着陸場など、レジリエンスを重要視した。免震層は高潮・津波の浸水リスクを避ける2～3階間に配置することで、行政執務階昇降機の運行継続を確保している。また、6,000人以上の市職員が執務する大規模施設ゆえ、積極的な環境配慮技術の導入を試みた。

本プロジェクトは設計・施工一括発注方式の高度技術提案型総合評価落札方式であった。当チームは当初よりデザイン監修者に横文彦、設計に竹中工務店および横総合計画事務所、監理にNTTファシリティーズも参画し、第三者性の高い設計・監理体制を組成した。公告前から設計両者の細部に亘る勉強会を開き知識を深め、基本設計着手後は建築文化の浸透を意図するシンポジウムや「ひろば」を考える市民ワークショップを企画するなど、新たな市庁舎の姿を探った。施工者とは技術情報の早期共有を实践することで、高い目標を実現可能な要素に落とし込むことが可能となった。

3. 建物概要

建物概要を表—1に建物外観を写真—3に示す。低層部（1-3階）には、オープンな賑わいの場として、商業スペースや、市民協働スペース、多様な活動や賑わいを創出する3層吹抜けのアトリウムを設けている。

中層部（5-8階）には議会機能、高層部（9-31階）には行政機能を配置し、これらの機能を分節化することで独立性を象徴している。耐震性能・業務継続性は、中間層免震と制振構造併用によるハイブリッド免震の採用により確保する。中間免震層（2～3階の間）より上階に基幹設備室（4階）を配置し、津波の浸水に対する機能保護と安全性を確保している。また、非常電源の確保等による災害後の迅速な建物機能回復、傾斜地盤・液状化に対して安全性の高い基礎計画を行っている。

表—1 建物概要

所在地	神奈川県横浜市
建物用途	市庁舎・議会・商業
竣工	2020年5月
敷地面積	13,143 m ²
建築面積	7,941 m ²
延床面積	142,582 m ²
規模	B2・F32・P2
高さ	155.4 m



写真—3 建物外観

4. 環境・設備計画概要

(1) 建築・設備・IoTをインテグレートした快適な低炭素型市庁舎の実現

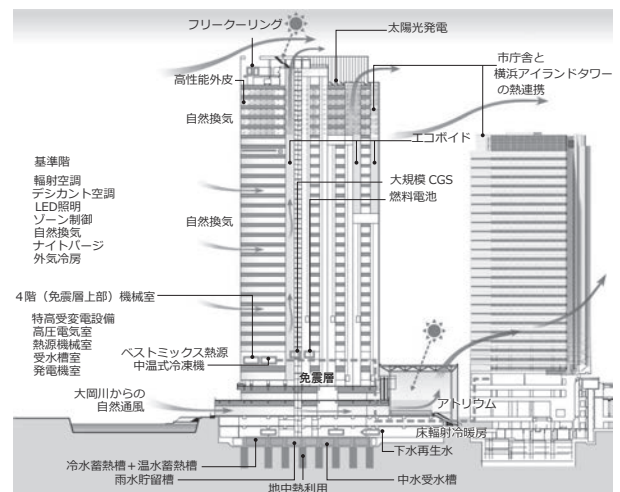
低炭素型市庁舎、環境建築を目指し、様々な先進的な技術を導入した（図—2）。年間を通して太陽光・自然採光、中間期は自然換気、夏期・冬期は地中熱、冬期・中間期はフリークーリングなどを併用することで、一年を通じて自然エネルギーを活用する。屋上塔屋には太陽光発電パネル約100kWを設置した。地中熱は基礎杭に挿入した熱交換ホースにより採放熱し、アトリウム冷暖房及び高層部空調に利用している。

外装はダブルスキン（図—3）とし且つ、南北を執務ゾーン、西面に非執務ゾーンを配置することで建物方位を最適化し空調負荷を低減している（図—7）。

外皮負荷を削減することで輻射主体の空調を可能とし、デシカント空調機により外気を含む潜熱処理を行う。デシカントロータはDHCのCGS排熱を主熱源とする温水にて再生する。

手動自然換気パネルとエコボイドを利用した自然換気・ナイトパージを実践し空調負荷の削減を図る。

机上にRFIDタグを活用した環境センサを配置し、



図—2 環境・設備計画 概念図

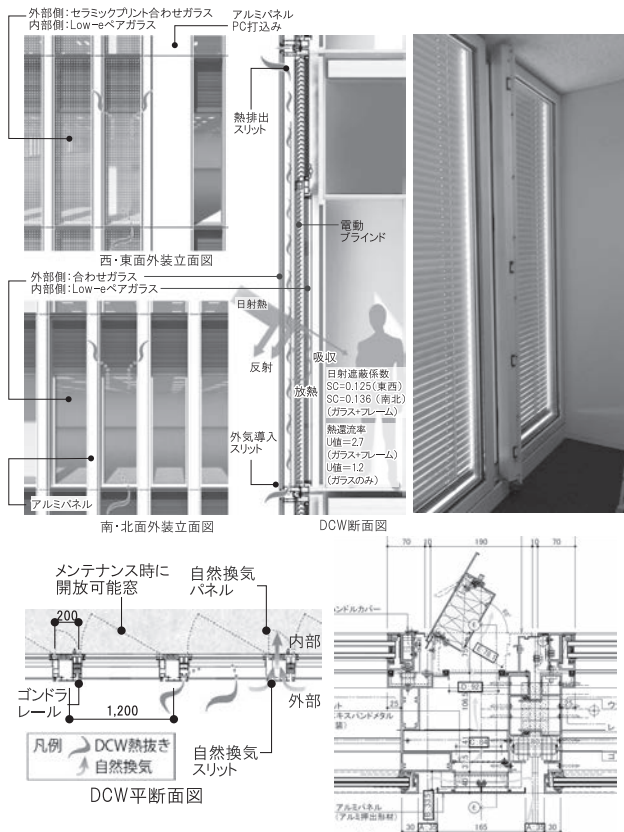


図-3 自然換気パネルー体型ダブルスキン

居住域の環境を正確に把握し空調制御の精度を向上する。更に等価温度制御にて輻射成分の効果を制御に反映し更なる省エネを実現している。

(2) 自然換気・ナイトパーズ

5～31階の外装に1フロアあたり約80箇所の手動自然換気パネル(図-3)を配置し、北東、南西の2箇所のコーナーエコボイド(写真-4)、特別避難階段、EV上部のセンターエコボイドを使用した自然換気、ナイトパーズを行う。室内の時計の下には自然換気有効時を光と音で知らせるランプ(図-4)を配置し、ランプ点灯時には執務者が手動で換気パネルを開け、エコボイドのダンパが自動で開く。外部からの気持ち良い風を取り込みながら空調負荷を低減させる。



写真-4 コーナーボイド内観

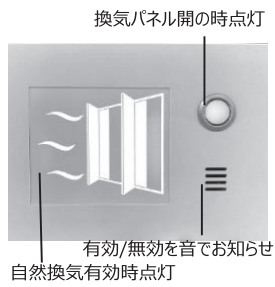


図-4 自然換気ランプ

(3) 市庁舎のレジリエンス

(a) インフラ停止リスクの軽減と非常電源の確保
特別高圧スポットネットワーク受電、中圧ガス引込みにてインフラ停止の際のリスクを軽減する。発電機の燃料備蓄により、停電時に重要機能へ7日間電力を供給する。太陽光発電・電気自動車・蓄電池を用いた自立電源供給システムにより発電機停止時でも一定の電力を供給可能なシステムとした。

(b) 上下水インフラ停止時も水を確保
トイレ洗浄水の水源として蓄熱槽熱源水を活用し、7日間のトイレ利用を可能とする。受水槽は4階及び32階(免震層より上部)に設置し上水を継続供給する。

(c) 市民にひらかれたアトリウムの災害時対応
市民の憩いの場であるアトリウムの空調は、地中熱を利用した自己熱源で且つ、燃料電池で電源を供給し停電や災害の際にも空調を可能とする(図-5)。

(d) 災害時にも有効に機能する自然換気システム
基準階の自然換気パネルは手動操作であり、エコボイドと居室を繋ぐダンパなどは非常電源で稼働するため災害時にも換気を可能とする。

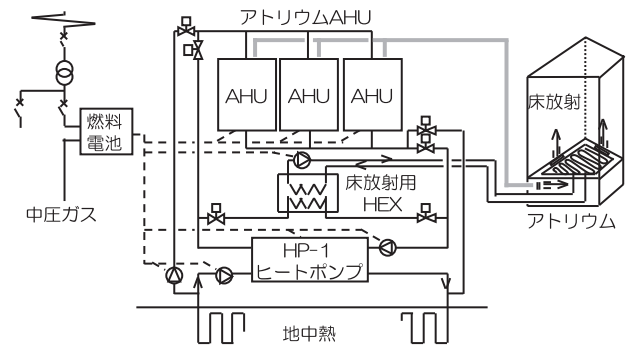


図-5 アトリウム空調概念図

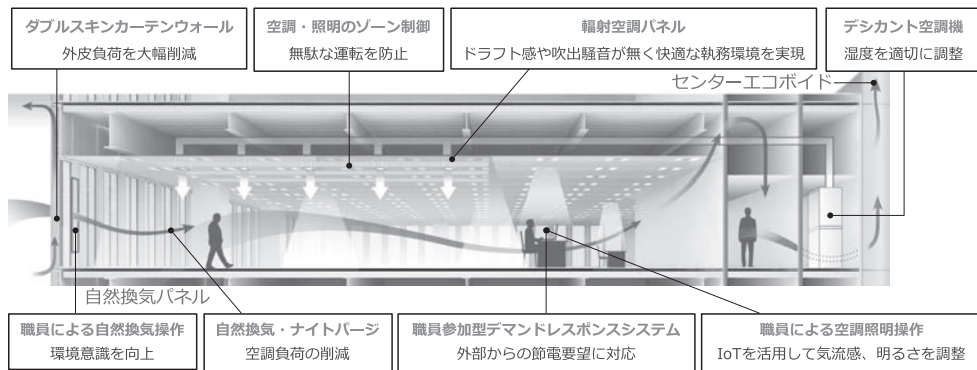
5. 基準階執務室計画(図-6)

基準階プランは図-7に示すように、東側にコアを配置した逆コの字型の執務室である。設備エリア区分としては北、南、西の3つに分割し、エリア毎にMR, EPS, DPSを配置した。

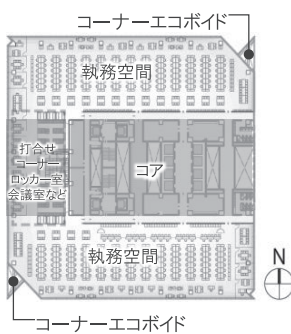
執務室は図-8に示すような3.6m×3.6mを基本モジュール単位とし、システム天井面積の約60%に輻射パネルを敷設し、システム照明2灯、小風量吹出口2個を配置した。

(1) 空調設備

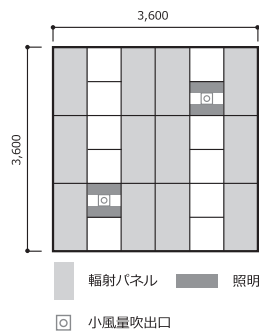
執務室は輻射とデシカント空調機による潜熱・顕熱分離方式とした。顕熱を主に天井輻射パネルにて処理



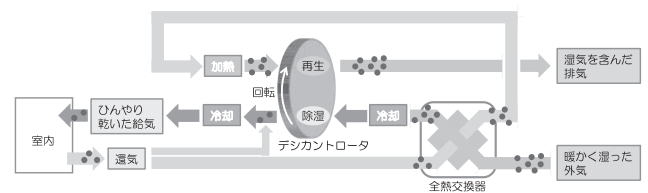
図一六 環境・設備計画 (基準階)



図一七 基準階プラン



図一八 基本モジュール



図一九 低温再生型デシカント空調機の処理プロセス

し、外気負荷、室内潜熱、輻射空調パネルで賄えない残りの顕熱をデシカント空調機にて処理する計画である。

執務室の熱負荷計算は夏期 26℃、人員 0.15 人 / m²、照明 10 W / m²、機器 25 W / m² で算出した。輻射パネルとの併用により必要空調風量が少なくなるため、60 m³ / h の小風量吹出口を開発し照明に組み込み、室内に均等に新鮮外気を含んだ空調空気を供給している。小風量吹出口のコーンはモーターで上下できる機構とし、冷房時は自動的にコーンを下げて水平吹出、暖房時にはコーンを上げて垂直吹出となる。

制御は等価温度制御または温度制御を選択することができ、CO₂ 制御、外気冷房などにより快適な空間を創出しながらエネルギー削減を実現する。

デシカント空調機は、高温高湿の外気を冷却加熱兼用のプレコイルにて予冷・予除湿させた後、デシカントロータを通過させることで更に低湿な処理外気を生成する。室内還気と混合させ、冷却専用のアフターコイルにて温度のみ調整し、室内へ給気する。室内の還気露点温度を設定値に保つようにプレコイルの冷却量は調節され、アフターコイルでは室内温度を設定値に保つように冷却量が調節される。デシカントロータの再生は、DHC から供給されるコジェネ排熱や熱回収ヒートポンプによる冷房排熱を利用した温水 45℃ を利用するシステムとした (図一九)。

(2) 環境センシング (図一十)

省エネ性、執務者の快適性や知的生産性等の更なる向上を目的に、居住域の環境をより細かく正確に把握し、空調制御等に反映するために RFID 技術を利用した環境センシングシステムを構築した。

本システムは、居住域の環境を計測できるだけでなくセンサの配置の自由度が高く、維持管理が容易で拡張性が高いシステムとなっている。本システムにより、居住域の温度を空調制御に反映したり、在不在を検知し照明制御に反映したりすることで、省エネ性、快適性の向上を目指している。手動開閉式の外装自然換気パネルの開閉検知にも RFID システムを利用している (特許出願中)。

(3) クラウド BEMS

クラウドプラットフォームを利用し、照明や吹出口の個別操作、電力負荷予測、デマンドレスポンス対応、執務室の環境状況の見える化を可能とするクラウド BEMS を構築した。環境センシングなどのビッグデータの効率的かつ安定的な処理と一括管理、他設備システムとの適切な連携を図っている。空調制御や照明制御へのセンシングデータの活用、リアルタイム性を持つ室内環境の見える化等を可能としている。

通信幹線として設備統合ネットワークを構築し、適切な通信設定によりセキュリティレベルを高めている。通信プロトコルは BACnet IPv6 をベースに、一部に MQTT などの IoT に適したプロトコルを採用した。これにより他設備システムとクラウドとの柔軟で

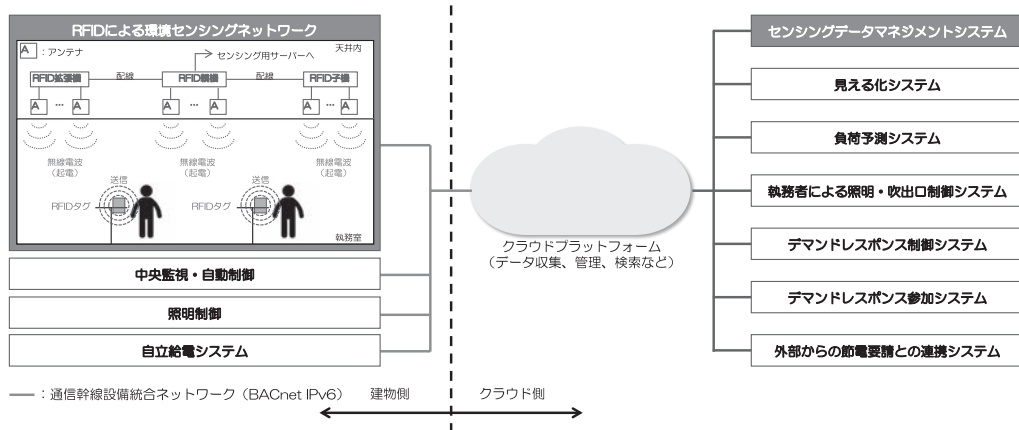


図-10 クラウドを利用したデータ処理及びデータ連携システム

拡張性のある効率的なデータ連携を実現している。

6. 空調設備計画

本建物は、本建物内に構築される DHC より熱供給を受ける。DHC はエネルギーの高効率利用を行うシステムとするために、蓄熱システム・コージェネレーションシステム・未利用エネルギー（下水再生水）を活用する電気・ガス複合システムが採用されている。

本建物は冷水 7℃ と中温水 11℃、温水 45℃ の 3 種類の熱媒の供給を受ける。冷水 7℃ は一般空調機、デシカント空調機（プレコイル）、中温水 11℃ は輻射空調、デシカント空調機（アフターコイル）、温水 45℃ は輻射空調、一般空調機、デシカント空調機さらにデシカント吸湿剤の再生に用いる。中温水は 6 月～9 月は 11℃、10 月～5 月は 14℃ にて供給を受ける計画である。

吸湿剤の再生は主に DHC プラント内に設置された CGS からの排熱と熱回収ヒートポンプによる冷房排熱活用にて賄い、輻射空調、デシカント空調機に活用する。中温水は、フリークーリング及び中温水製造により高 COP となるターボ冷凍機より供給を受ける計画である。DHC プラントと本建物の空調計画は総合的に高効率で省エネを実現する計画となっている。

7. 運用と検証

(1) 横浜市の取組

横浜市、設備管理会社と共に竣工後も最適な運転を目指し取り組んでいる。2020 年度は横浜市の意欲的な次の取組の実践にて使用電力の再生可能エネルギー 100% (RE100) を実現している。

- ・横浜市内の焼却工場にて発電された再生可能エネ

ルギー電力を、自己託送制度を活用し本建物に供給。

- ・市内の卒 FIT を活用したメニューを採用し、電力小売事業者から本建物へ供給。
- ・焼却工場のバイオマス発電の環境価値を、市が留保して本建物にて使用。
- ・DHC の為に利用する電力はグリーン電力証書を活用し、国内トップ水準の低炭素熱供給により、地域全体での大幅な低炭素化を実現。

(2) 検証

横浜市と共に竣工前より検証に取り組んでいる。BEMS を活用した継続的なデータ収集と期間を限定した詳細測定やアンケートの実施により、最適な運用のためのチューニングを実践している。図-11 に代表的な執務室 1 フロアの 2020 年 5 月の空調エネルギー消費における CO₂ 排出量の削減率を示す。自然換気の利用等により約 49% の CO₂ 排出量の削減を実現している。自然換気は BELS 評価において未評価技術の一つであるが運用時に効果の検証に取り組んでいる。今後も運用実績と更なる運用改善に取り組み、快適な低炭素型市庁舎を実現する。

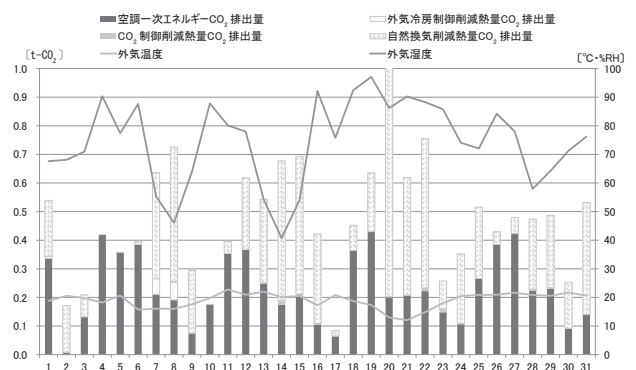


図-11 代表フロアの 5 月の空調エネルギー消費における CO₂ 排出量の削減率

8. おわりに

謝 辞

計画時から竣工に至るまでご指導、ご協力いただきました横浜市新市庁舎整備担当の皆様をはじめ、施工者他多くの関係者の皆様に、この誌面をお借りして心より謝辞を申し上げます。

JCM A



[筆者紹介]

左 勝旭（ひだり かつあき）
㈱竹中工務店 東京本店
設計部 設備部門
設備2グループ長

