ZEB の現状と事例紹介

ZEB 実現のための要素技術の検証を目的とした 環境技術実証棟の概要

Outline of the Building for Environmental Technology to Verify Elemental Technologies for the ZEB

伊藤 優 1・村江行忠 1・栗木 茂 1・鈴木孝彦 1・磯部滝夫 2

1. はじめに

近年、地球温暖化対策の進展とともに建築物に対しては、ZEBに代表されるような省エネルギー、CO₂排出量の削減などの環境負荷低減や安心・安全への要求がさらに高まりつつある。一方、オフィスなどにおける室内環境に対しては、快適性のみならず、「働き方」への注目とともに、働く空間としての生産性の向上や健康への配慮も求められている。そのため、建物の安心・安全を確保した上で、エネルギー負荷低減手法、効率化技術、さらには室内環境を形成する手法など、様々な要素技術を高度に組み合わせて、室内環境負荷を削減しつつ環境品質を向上させる必要がある。

上記背景のもと、関連技術に関して実証的な研究を行うことを目的として、オフィスビルを想定した環境技術実証棟を建設した¹⁾. 本報ではその概要とともに、外装システムの熱性能と自然換気性能について一部の検証結果を紹介する.

2. 建物概要

2.1 建築概要

建物 名;環境技術実証棟

工事場所; 茨城県つくば市(筑波技術研究所内)

施 主;戸田建設株式会社

施 工;戸田建設株式会社関東支店

設計監理;戸田建設株式会社一級建築士事務所

構造規模; RC造(免震構造), 地上2階

建築面積;379.61 m² 延床面積;724.72 m² 建物高さ;11.85 m

工 期;2016年5月~2017年3月

2.2 設備概要

1) 電気設備

・高圧受電;トランス容量 350kVA・事務室照度;調光調色照明 最大 2000lx

・その他;自動火災報知設備,放送設備, LAN 等

2) 衛生設備

·給水設備;受水槽+加圧給水

· 給湯方式; 局所方式(電気温水器) · 排水通気方式; 屋内合流, 屋外合流 · 排水処理設備; 既存净化槽利用

3) 空調設備

・熱源設備; 空冷ヒートポンプラー 1 台(132kW)

冷温水発生器(132kW)

・空調設備;AHU 4 台(合計 18,490m³/h)

一部 HP パッケージ(合計 45kW)

·換気設備;第1種換気, 自然換気併用

·自動制御中央監視設備等;系統数 334, 監視点数 850

2.3 建物計画

写真1に環境技術実証棟の外観を,写真2に内観を,図1に平面図を,図2に架構モデルを示す.環境技術実証棟は地上2階建てのRC造で,積層ゴム,すべり支承,オイルダンパーからなる免震構造を採用して高度な安全性を確保している。また,プレストレスを導入したボイドスラブを,東・西の大壁で支える架構形式を採用することで,免震構造に対応する質量を確保しつつ,南面への開放性が高く,フレキシビリティに優れた空間構成を可能とした.

東・西・北側は機械室・ユーティリティなどで囲み、開放された南側に面して各階3室の事務室を構

^{*1} 戸田建設(株)技術開発センター

^{*2} 戸田建設(株)設備設計部



写真1 南側外観

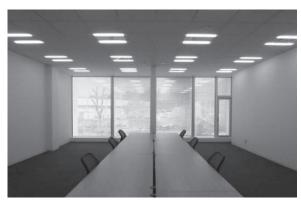
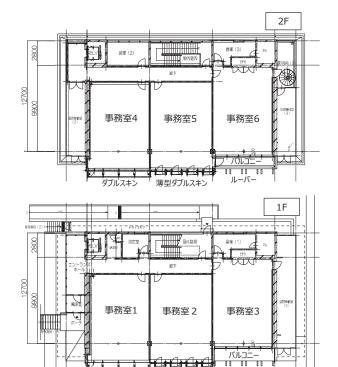


写真 2 内観 (事務室 4)



成し、室内はOAフロアおよびグリッドシステム天井により可変性に配慮した。事務室の仕様は表1に

図1 平面図

7200

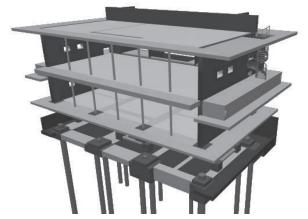


図2 架構モデル

表1 事務室仕様

項目	仕 様
面積	約 72m ² /室×6 室
天井高	2,900mm
床	OA フロア (h=250mm) +タイルカーペット
壁	石膏ボード+ビニルクロス
天井	グリッドシステム天井+岩綿吸音板

示す通りである.

3. 実証仕様概要

図3に環境技術実証棟における主な実証項目を示す.この内,環境関連の主な実証研究に対応する仕様などの概要について述べる.

3.1 外装システム(低負荷外装)

写真3に外装システムの外観を、表2に外装システム諸元を示す、外装システムは、熱負荷低減による省エネルギーや、採光や放射など室内環境形成の観点から極めて重要な建築要素である。実証棟には、以下の3種の外装システムを実装した。

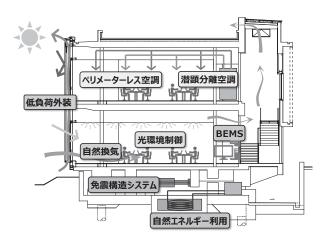


図3 主な実証項目

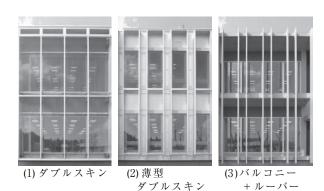


写真3 外装システム外観

表2 外装システム諸元

_(1)ダブルスキン				
	アウター:透明単板 8mm			
ガラス	インナー:Low-E 8mm+空気層 12mm+			
	透明 8mm			
	奥行き: 690mm, 2層吹抜け			
キャビティ	上部換気口:3.6m²,開閉式			
	下部換気口:5.0m², 常時開			
ブラインド	スラット幅:35mm(キャビティ内)			
(2)薄型ダブルスキン				
ガラス	アウター:透明単板 6mm			
	インナー:Low-E 6mm+空気層 6mm+			
	透明 8mm			
キャビティ	奥行き: 385mm,幅: 1,200mm×4 箇所			
	2層吹抜け			
	上部換気口:0.02m ² ×2×4 箇所,常時開			
	下部換気口: 0.46m ² ×4 箇所, 常時開			
ブラインド	スラット幅:60mm			
ノソイント	(キャビティ内,太陽光自動追尾)			
パネル部	アルミパネル 2mm+ロックウール断熱材			
	30mm+アルミパネル 2mm			
(3)バルコニー	ー+ルーバー			
ガラス	Low- E 6mm+空気層 6mm+透明 6mm			
ブラインド	スラット幅:25mm (室内)			
	庇(バルコニー): 出寸法 1,500mm			
	ルーバー:幅 340mm,ピッチ 600mm, 1,200mm			

(1) ダブルスキン

環境配慮型の中高層建物での採用例が多い,キャビティの奥行きが690mmで2層吹抜けのダブルスキンを全面に採用した.上部には開閉可能な換気口を設け,夏期は開放しての排熱を行い,冬期は閉鎖して温室効果による熱負荷の低減を行う.

ブラインドのメンテナンスなどはキャビティ内から行う.

(2) 薄型ダブルスキン

都市部の高層建物でも採用が見られる,キャビティ奥行き 385mm で省スペース性に優れる薄型ダブルスキンを外壁面 2/3 に設置し,上部には,雨掛りを考慮した常時開放されている換気スリットを設けた.外壁面の 1/3 は自然換気口(後述)を設けたパネルで構成した.

太陽光と連動した自動制御も可能なブラインドを

設けており、メンテナンスなどはインナーガラスを 室内側から開けて行う。

(3) バルコニー+ルーバー

Low-E 複層ガラスの外部に奥行き約 1,500mm の バルコニーと、その外側に幅 340mm の縦ルーバー 8 本を設けた形式の外装システムで、外部での日射 遮蔽を期待している。ブラインドは室内側に設置した。

それぞれの外装システムについて, 熱貫流率や日射熱取得率などの熱性能だけではなく, 放射熱, コールドドラフト, 昼光照度など室内環境への影響も含めて, 様々な角度から検証を行っている.

3.2 照明システム (光環境制御)

環境技術実証棟では無線制御による調光・調色が可能な LED 照明システム ²⁾ を採用し、事務室 1 部屋あたり 20 台の照明器具を配置した、照明器具は省エネルギーを図りながら、明るさ感を得ることを考慮し、拡散性のある配光特性である。

図4に照明システムイメージを示す.制御はメッシュ通信を行う無線制御システムを利用し,照明器具毎に制御が可能である.ソフトウェア上で任意にゾーニングが可能であり,自己発電型ワイヤレス調光センサーとの組合せにより,外装システムとの関係も含めて,最適な調光制御を行うためのセンサー位置やゾーニングについての検討も可能である.

また,スケジュール制御(調光・調色)によりサーカディアン・リズムを考慮した制御も可能である(写真4).

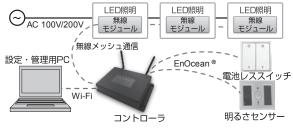


図4 照明システムイメージ

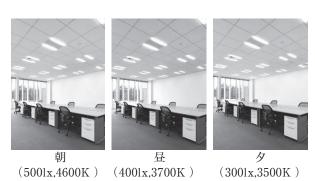


写真4 事務室内の調光調色制御状況

3.3 換気システム(自然換気)

環境技術実証棟では通常の機械換気の他に、中間の薄型ダブルスキンを有する事務室 2,5 では自然換気に対応している。図5 に断面図・自然換気イメージを、写真5 に換気パネルを、写真6 に階段室内観を示す。

薄型ダブルスキンの間に設置された換気パネルの 換気開口から外気を取り込み,照明器具レタンス リットを介して天井裏パスダクトから階段室に流 れ,階段室頂部に設置された排気口から排気される 経路を想定した.換気パネルには上下方向に4箇所 の換気開口を設けており,開口位置による換気性状, 室内環境への影響を比較できる.

また,事務室5(2階)は自然換気の他,事務室2(1階)のパスダクトで計測した自然換気風量と同じ風量を排気するよう換気ファンを制御することで,模擬的な自然換気を行い,同時に比較可能とした.

3.4 空調システム (ペリメータレス, 潜顕分離 空調)

空調システムの略図を図6に示す。各階毎にインテリア系統とペリメータ系統の2台の空調機(AHU)を有し、VAVによる変風量制御を行っている。ペリメータ系統のAHU停止とダンパの切替により1

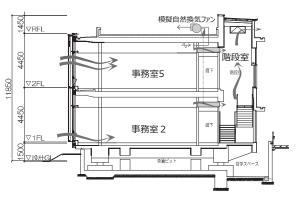


図5 断面図・自然換気イメージ



写真5 換気パネル



写真6 階段室内観

系統での空調にも対応しており、外装の熱性能とペリメータレス空調との関係を検証可能である.

熱源は空冷式チラーと冷温水発生機を有する。それらを組合せて温度の異なる冷水を潜熱コイルと顕熱コイルに通すことにより、潜熱処理(低温冷水;約7°C)と顕熱処理(中温冷水;約12°C)を別々に行う潜顕分離空調が可能である(写真7).

通常の顕熱と潜熱を一括で処理する空調システムでは大量の冷水が必要となるが、一般に冷水を作り出す熱源機は冷水温度が低いほど効率が下がる. 潜顕分離空調では低温の冷水量を潜熱処理のみに用いることで、その量を減らし熱源の高効率化を図ることが期待できる. また、冷水のカスケード利用によるさらなる運転効率の向上も可能である.

室内側は天井吹出し(角形アネモ)方式の他,一部の事務室では,高さ250mmのOAフロア内を給気チャンバーとした床吹出空調の対応も可能である.

3.5 雨水熱利用(自然エネルギー利用)

都市部においては雨水流出抑制や災害時の給水対策として雨水貯留が求められることがあり、地下ピットに雨水貯留槽を設けることが一般的である。その場合、貯留水は年間を通じて温度変化の少ない地中熱の影響を受けるため熱源となり得るが、降雨により入れ替えが発生するため、有効性は未知数である。

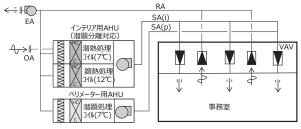


図6 空調システム略図





写真7 潜顕分離対応空調機

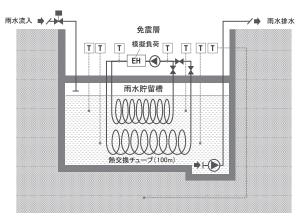


図7 雨水熱利用実証システム略図

図7に雨水熱利用実証システムの略図を示す. 免 震層下部(地中)に設けた200m³の雨水貯留槽に, 熱交換チューブ,ポンプ,ヒートポンプを想定した 模擬負荷を設置し,各所温度や熱量を測定すること で雨水熱の利用可能性についての検討が可能であ る.

3.6 その他

詳細は割愛するが、上記以外に防汚建材などの各種建築材料や、壁・床部の断熱工法などによる室内環境向上、環境負荷や維持管理コスト低減への効果も実証している.

4. 実証状況

4.1 長期測定概要

実証は2017年4月より開始し、2018年12月現 在も実施中である。表3に測定項目を、図8に室内

表 3 長期測定項目

測定項目	測定箇所	高さ [mm]	測定機器
空気温度	事務室内 (5 箇所)	FL+100 FL+600 FL+1100 FL+1700 FL+2200 FL+2800	T型熱電対
	キャビティ内 (ダブルスキン・薄型ダブルスキン) (メラス(両面)	FL+100 FL+1100 FL+1900 FL+2800 FL+3700	
表面温度	ブラインド	FL+1450	T型熱電対
熱流	室内壁面 ガラス表面	FL+1450 FL+0	熱流センサ Z2016
	床面 天井面	CL-0	(HIOKI)
グローブ 温度	ペリメータ インテリア	FL+1100	T型熱電対
南 面 鉛 直 日 射 量	ガラス面室内側	FL+1450	MS-602 (英弘精機)
外気温度 南面鉛直 日射量	屋上	_	T型熱電対 MS-602 (英弘精機)

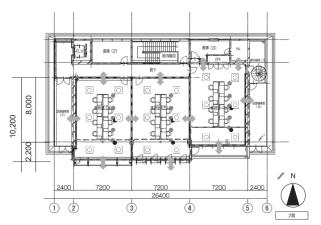


図8 室内測定点(平面)

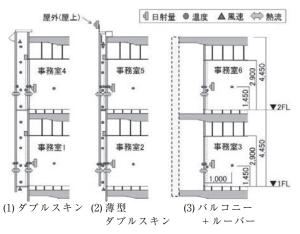


図9 外装周り測定点(断面)

測定点(平面)を、図9に外装周り測定点(断面)を示す。主に外装の熱性能と室内温熱環境のデータを長期的に取得し、分析を行っている。

室温の設定は夏期 26^{\mathbb{C}}, 中間期 24^{\mathbb{C}}, 冬期 22^{\mathbb{C}} とし, 平日の在室時間を想定した $8:00\sim18:00$ に空調している.

ダブルスキンの排気窓は、夏期と中間期は平日の 8:30~17:30 に開放し、冬期は常時閉鎖している。

実証棟には通常執務者が滞在しないので、事務室内の人体などの熱負荷は模擬で与えた. 顕熱負荷は、椅子に設置した電気毛布により人体発熱分を模擬した(一部屋あたり55W/ヶ所×8). また、機器発熱分はパネルヒーターなどを随時使用している. 潜熱負荷については、4人分/台(90ml/人·h)の湿気発生装置を室中央部に2台置くことで模擬した.これらは想定在室時間8:00~18:00に、タイマー制御にて稼働させた.

4.2 外装システム熱性能の評価結果

(1) 熱性能比較 (夏期)

図10に2017年夏期における外装熱性能比較を示

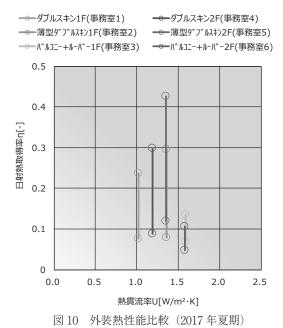


図 10 より、ダブルスキンが最も熱性能が良好という結果であった。薄型ダブルスキンはダブルスキンより熱貫流率が大きく特に 2F の日射熱取得率の幅が大きかった。ダブルスキンと同等の熱性能とするにはさらなる仕様の検討をする必要がある。バルコニー+ルーバーはシングルガラスであることから1F、2F とも熱貫流率が1.6 [W/m²K] で他の外装より大きかったが、日射熱取得率が小さく、庇としてのバルコニーや外側の縦ルーバーが日除けとしての効果があると確認できた。

今後は冬期の熱性能についても分析しつつ, さらなる熱性能向上を目指した仕様の提案・検証を行う予定である.

図11 に、2017 年8月9日における、ダブルスキンと薄型ダブルスキンのキャビティ内温度の時間変化を示す。この日は外気温度が最高33℃であり、ダブルスキンではキャビティ内が43℃、薄型ダブルスキンが58℃まで上昇し、その差が約15℃となった。 薄型ダブルスキンのキャビティ内の温度が高いのは、上部開口面積が小さく十分に排熱するだけの換気がなされていないためである。

4.3 自然換気

(1) 測定概要

自然換気実施時における、外気導入口の高さ位

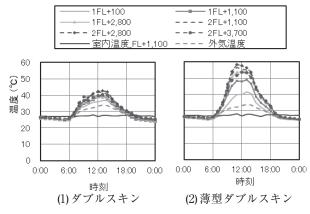


図11 キャビティ内温度の時間変化 (2017/8/9)

表 4 自然換気測定ケース

ケース	給気口位置	給気口面積[m²]
Case1	上段	0.135×4=0.54
Case2	中段	0.383×4=1.534
Case3	下段	0.135×4=0.54

置の違いによる換気量や室内環境への影響を検証した⁵⁾.

測定は事務室 2 (1 階)を対象に、2017年の秋期 (10/30~12/1)に実施した。表4に自然換気測定ケースを示す。写真 5 に示した換気パネルにある、上下方向 3 種類(縦長の開口は 2 つ同時に使用して「中段開口」とする)の給気口位置を変えた 3 ケースとし、一日 1 ケースを 5 日間ずつ実施した。

図12に測定点(平面)を示す.各開口断面における風速と温度,室内における風速,上下温度分布,湿度および外気の温度,湿度を測定した.各室間では差圧より空気の流れの向きを確認した.また,測定日の10:30,13:30,16:30頃の一日3回,図

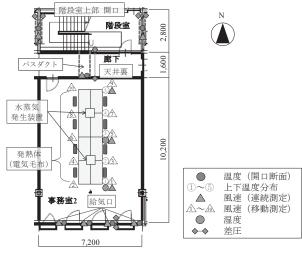


図12 自然換気測定点(平面)

12 中に \triangle で示す $1 \sim 10$ の測定点の FL + 600mm において、室内風速分布を移動測定した。各測定点では 1s 間隔で 60s 間データを採り、平均値を求めた。

自然換気実施日には、8:30~17:30に各開口を開放した。実証測定であるため、温湿度や外部風速条件による自然換気有効/無効の設定をせず、降雨が無い限り一日中自然換気を継続するものとした

(2) 測定結果

①換気量

図 13 に換気量の全期間および日平均を示す. 換気量は天井裏パスダクトの風速値に断面積を乗じて得た. 全期間の平均の換気量を比較すると, Case1: $590\text{m}^3/\text{h}$, Case2: $442\text{m}^3/\text{h}$, Case3: $420\text{m}^3/\text{h}$ の順に多かったが, 換気回数としてはいずれも 2.0 回 /h 以上であった. 日別にみると Case1の 10/30 が $1,298\text{m}^3/\text{h}$ (換気回数 6.1 回 /h) で最も多く, この日は外部風速が大きくてその影響を受けていた

②室内上下温度分布

図 14 に、各ケース代表日 13:30 の測定点①・③・⑤における、FL + 1,100mm に対する温度差の上下分布を示す。Case1、2 はペリメータから室奥側に進むに連れ上下温度差が小さくなる傾向であった。一方、Case3 は廊下側の測定点⑤でも上下温度

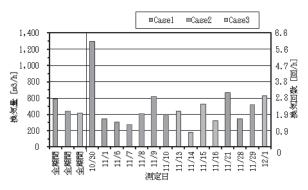


図13 換気量の全期間および日平均

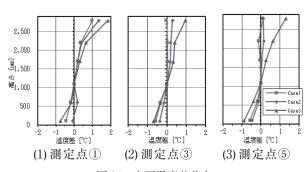


図 14 上下温度差分布

差が大きく、特に足元 FL + 100mm において FL + 1,100mm との温度差が 0.9 であった。低温の外気が床面付近で室奥へと広がったと考えられる。下段開口からの外気導入は、温熱環境の悪化が懸念される。

③室内風速分布

図 15 に移動測定の風速分布を示す. いずれの測定回・測定点においても, 風速は0.15m/s以下であった. 13:30 頃は, 測定点 $5\sim10$ において Casel は他2 ケースより若干風速が大きめであった. 16:30 頃の測定時は, Casel は換気量が少ないにも関わらず最も風速が大きく, 気流感を得る効果が期待された.

5. おわりに

各種環境要素技術の検証を目的とした実証棟の概要および一部の検証結果を報告した。今後も引き続き,本建物において検証した技術や検証データが,様々な建物の省エネルギーや環境負荷低減のために活用できるよう取り組んでいく所存である。

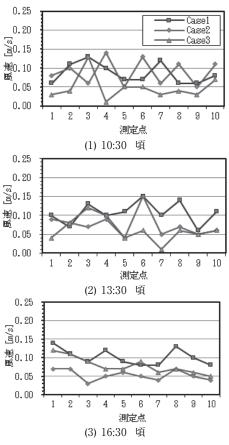


図 15 風速分布 (FL + 600mm)

6. 参考文献

- 1) 村江他:オフィス建築を対象とした環境創造技 術に関する研究 その1 要素技術の実証研究を 目的とした環境技術実証棟の概要,日本建築学 会大会学術講演梗概集,2017
- 2) 大島他:オフィスにおける光環境制御に関する研究 その1明るさ感とサーカディアン・リズムを考慮した調光調色制御に関する被験者実験、戸田建設技術研究所報、Vol.42, 2016
- 3) 栗木他:オフィス建築を対象とした環境創造技術に関する研究 その4 夏期における外装3種類の熱性能に関する実測評価,日本建築学会大会学術講演梗概集(東北),pp1229-1230,2018.9
- 4) 浅野他:最適なオフィス環境の創造を目指した 要素技術に関する研究、(第4報)室内温熱環 境及び空調処理熱量の評価、空気調和・衛生工

- 学会大会学術講演論文集(名古屋), pp265-268. 2018.9
- 5) 伊藤他:最適なオフィス環境の創造を目指した 要素技術に関する研究,(第5報) 秋期測定に よる自然換気性能評価,空気調和・衛生工学会 大会学術講演論文集(名古屋),pp269-272, 2018.9

著者略歴



伊藤優 (イトウ ユウ) 2010年3月 東北大学大学院工学研 究科博士課程前期修了 同年4月 戸田建設株式会社 入社 2011年4月より現職

主に建築空間の温熱・気流環境に関する研究開発を 担当

資格 一級建築士