

# 中小規模事務所の ZEB 設計技術に関する研究

—既存事務室の ZEB 化改修と性能・エネルギー検証—

佐竹 晃<sup>\*1</sup>・山口 福太郎<sup>\*1</sup>・河原 博之<sup>\*2</sup>

## Empirical Study on ZEB Planning Technology for Small and Medium-Sized Office Building

—Evaluation of Performance and Energy Consumption in Existing Office Room Renovated to ZEB—

Akira SATAKE, Fukutarou YAMAGUCHI, Hiroyuki KAWAHARA

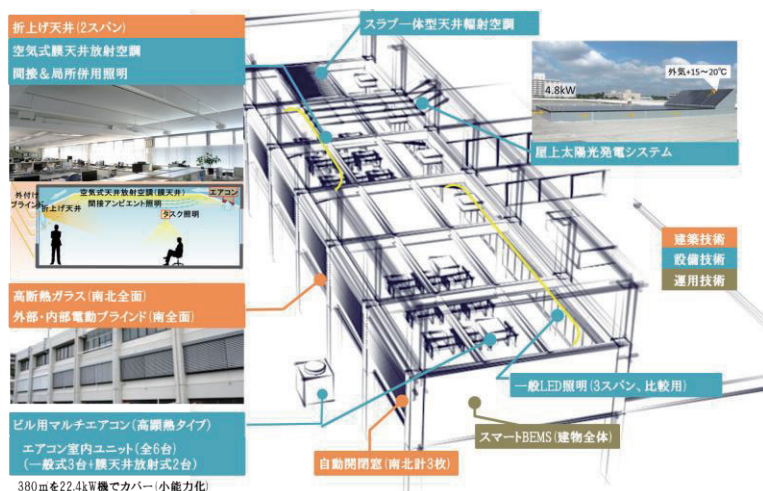


図-1 省エネ総合改修計画の全体像

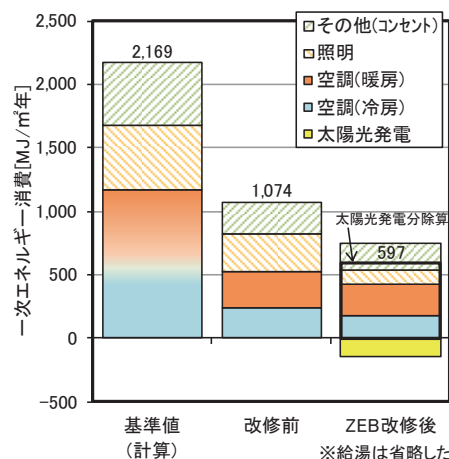


図-2 改修前後の用途別エネルギーの計算・実績値

## 研究の目的

ZEB の普及が世界的に推進され、公的刊行物にて設計法、計算・評価法、コスト試算が解説・報告される等により、普及性が高まってきた。また、建物のストックは膨大であることから ZEB 化改修の重要性も増している。適正な室内環境を確保しながら消費エネルギーの極小化を図る ZEB の設計技術向上に向けては、実証実験により、室内環境や建築の熱・光特性、設備機器の運転・エネルギー特性の詳細を把握し、設計技術やエネルギー計算技術にフィードバックし高度化していく開発サイクルが求められる。そこで本研究では、既存事務室を ZEB 仕様に総合改修し、運用化での実証研究を開始した。

## 技術の説明

当社技術研究所である低層建物（1976 年竣工）の事務室を、窓ガラス、ブラインド、床・天井、照明、換気、空調、BEMS に渡り ZEB 仕様に改修し、2016 年 8 月より実運用下での実証実験を開始した。適用技術は、様々な建物へ技術展開することを念頭に、汎用的な建材・設備・機器をベースとし、コスト合理性や既存建物への適用性に配慮した技術を主体に選定、開発した。改修後において、室内環境やエネルギー消費の長期性能、エネルギー設計値の検証、エネルギー効率を高める運用・制御方法の検討等を進め、ZEB 設計技術の高度化を目指している。本報では、改修計画の概要と、改修後 1 年間のエネルギー実績等の評価結果を記す。

## 主な結論

- ・ ZEB 改修後の設計 BEI(省エネ性能の指数)は 0.23 にまで大幅に減り、ZEB に相当する設計と判定された。
- ・ 外部ブラインド、傾斜折上げ天井、空気式膜天井放射空調等の導入技術の機能・性能が優れることを実証した。
- ・ 改修後 1 年間のエネルギー実績は 597MJ/m<sup>2</sup>・年であった。これは、省エネ基準値に比べ 0.28 倍、現時点の ZEB 建築物の実績値平均に比べ約 0.7 倍と換算され、改修後のエネルギー性能は非常に優れると評価された。
- ・ 改修後のエアコン年間エネルギー消費効率 (APF) は 5.19 と推計され、高効率な空調運転がされていた。
- ・ 実証実験の結果、暖房エネルギーが設計値より 2 倍近く多いことやエアコン APF が公表値を下回る等の実際的な課題とその原因・改善法を把握し、ZEB 設計・エネルギー計算に関わる実用的な知見・技術を拡充した。

\*1 本店 技術研究所

\*2 本店 建築技術部技術開発グループ

# 中小規模事務所ビルのZEB設計技術に関する研究 —既存事務室のZEB化改修と性能・エネルギー検証—

佐 竹 晃<sup>\*1</sup>山 口 福 太 郎<sup>\*2</sup>河 原 博 之<sup>\*3</sup>

## 要 旨

ZEBの普及が世界的に推進され普及性が高まってきた。また、建築物のストックは膨大であることからZEB化改修の重要性も増している。適正な室内環境を確保しながら消費エネルギーの極小化を図るZEB設計技術の向上に向けては、実証的な開発研究により室内環境や建築外皮・窓の熱・光特性、設備機器の運転・エネルギー特性の詳細を把握し、設計技術やエネルギー計算技術を高度化していくことが求められる。そこで本研究では、既存事務室を、窓ガラス、ブラインド、床・天井、照明、換気、空調、BEMSに渡りZEB仕様に改修し、運用化での実証研究を2016年8月から開始した。本報では、ZEB化改修の計画を概説し、導入技術の効果、ZEB化改修後1年間のエネルギー実績、空調設備（ビル用マルチエアコン）における運転特性の検証結果を報告する。

キーワード ZEB／長期実測／省エネ改修／外部ブラインド／ビル用マルチエアコン／高効率照明

## 目 次

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1. はじめに             | 5. 一次エネルギー消費量の年間実績 |
| 2. 改修計画の概要          | 6. ビル用マルチエアコンの運転特性 |
| 3. 一次エネルギー消費量の設計計算値 | 7. おわりに            |
| 4. 導入技術の概要と効果       |                    |

## EMPIRICAL STUDY ON ZEB PLANNING TECHNOLOGY FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED OFFICE BUILDING —EVALUATION OF PERFORMANCE AND ENERGY CONSUMPTION IN EXISTING OFFICE ROOM RENOVATED TO ZEB—

Akira SATAKE  
Hiroyuki KAWAHARA

Fukutarou YAMAGUCHI

### Synopsis:

NET-ZERO ENERGY BUILDING (ZEB) has begun to spread worldwide. Also, since the stock of buildings is so numerous, the renovation to ZEB has become important as well. In this research, we aim to develop ZEB planning technology which simultaneously realizes good indoor environment and very low consumption energy. In August 2016 our existing office was renovated to ZEB specification, and empirical research was started. In this report, we outline the plan of building renovation, and show the results of energy performance for 1 year after renovation, the evaluation results of actual operation performance of air conditioning equipment, etc.

\* 1 本店 技術研究所 高度空間・エネルギーマネジメント研究室

\* 2 本店 技術研究所

\* 3 本店 建築事業本部 建築技術部 技術開発グループ

## 1. はじめに

ZEB の普及が世界的に推進され、国は 2030 年までに新築建築物の平均で ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) を実現することを目標に掲げている<sup>1)</sup>。そして、公的刊行物の「ZEB 設計ガイドライン」<sup>2)</sup>にて、ZEB の設計法、計算・評価法、コスト試算が解説される等の情報発信、啓蒙活動が推進され、普及性が高まってきた。ZEB は新築を想定されることが多いが、国内の建築物ストックは膨大であることから、ZEB 化改修の重要性も増している。

適正な室内環境を確保しながら、消費エネルギーの極小化を図る ZEB 設計技術の向上に向けては、実証的な開発研究を通して、室内環境、建築・外皮の熱・光特性、設備機器の運転・エネルギー特性等を詳細にわたり分析・把握し、設計技術やエネルギー計算技術にフィードバックし高度化していく開発が求められる。また、ZEB 設計に不可欠のエネルギー計算には、建築物省エネ法<sup>3)</sup>の「エネルギー消費性能計算プログラム」<sup>4)</sup>が活用でき、各種認証にも使われるため、本計算値の実建築物での検証は ZEB 設計の高度化に繋がる。

本研究では、当社技術研究所 (1976 年竣工) の主要室である約 350 m<sup>2</sup>の事務室を、窓ガラス、ブラインド、床・天井、照明、換気、空調、BEMS に渡り ZEB 仕様に改修し、2016 年 8 月より実運用下での実証実験を開始した。適用技術は、様々な建築物へ技術展開することを念頭に、汎用的な建材・設備・機器をベースとし、コスト合理性や既存建築物への適用性に配慮した技術を主体に選定、開発したものである。改修後において、室内環境やエネルギー消費の長期性能、エネルギー設計値の検証、空調のエネルギー効率を高める運用・制御方法の検討を進めてきた。

本報では、改修計画の概要、各種導入技術の特性と効果、ZEB 改修後 1 年間のエネルギー実績や、空調設備の特性・エネルギー性能を報告する。

## 2. 改修計画の概要

図-1 に改修対象の事務室の平面図を、表-1 に改修前後の建築・設備仕様を示す。改修対象室は、3 階建て建物の 2 階に位置し、4 周が外壁、南北面に窓を有する東西 38.8m (西から各々の柱間をエリア 1~6 と呼ぶ)、南北 9.1m、床面積 353 m<sup>2</sup>の室で、2016 年 7 月に改修を終えた。

改修内容として、外皮は、窓ガラスを透明単板から真空断熱 Low-E 複層に交換

し、南側は電動ブラインドを内と外に併設し (写真-1、2)、北側は既設の手動ブラインドとした。ガラスは、南側は冬の直達日射取得を図る目的で日射取得型とし、北側は日射遮蔽型とした<sup>5)</sup>。天井は、エリア 2、3 を傾斜折上げ天井 (図-2) とし、採光性と天井高を上げることに伴う開放感の向上を図った。3 箇所の窓は室内外温度に応じて自動開閉する電動窓とし、中間期に自然換気による外気冷房を行う。

表-1 改修前後の建築・設備仕様

|              |             | 改修前                                 | 改修後                                                       |
|--------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>室仕様</b>   |             |                                     |                                                           |
| 所在           |             | 東京都練馬区                              |                                                           |
| 床面積          |             | 353m <sup>2</sup> (3階建て建物の2階)       |                                                           |
| 外壁           | 面積          | 304m <sup>2</sup> (4方位ともほぼ外壁)       |                                                           |
|              | 仕様          | 無断熱 一部(17m <sup>2</sup> )発泡ウレタン30断熱 |                                                           |
|              | 窓面積(南)      | 59m <sup>2</sup> (開口率45%)           |                                                           |
|              | 窓面積(北)      | 43m <sup>2</sup> (同上)               |                                                           |
| 天井           |             | 一般天井(CH2.450)                       | 一般天井、昼光利用折上げ天井併用(一部スラッパ型放射空調)                             |
| 人員           |             | 約50人                                |                                                           |
| <b>窓仕様</b>   |             |                                     |                                                           |
| サッシ          |             | アルミ                                 |                                                           |
| ガラス          |             | 単板                                  | 真空断熱Low-E複層                                               |
| 熱貫流率         |             | 6.5W/m <sup>2</sup> °C              | 南 1.4W/m <sup>2</sup> °C<br>北 1.0W/m <sup>2</sup> °C      |
|              | 日射熱取得率      | 0.88                                | 0.66 0.49                                                 |
| ブラインド        | 内部/手動(一部電動) | 内部/手動(一部電動)                         | 外部、内部併設 内部/手動共に日射追尾制御 常時開運用                               |
|              | 常時開運用       | 常時開運用                               | 常時開運用                                                     |
| 自然換気         |             | 引違い窓、手動                             | 同左+南北計3枚、5m <sup>2</sup> を電動窓                             |
| <b>照明</b>    |             |                                     |                                                           |
| 方式           |             | FHF蛍光灯、全般照明                         | LED、「全般照明エリア」と「間接+局所照明エリア」混成                              |
| 定格電力         |             | 4.5kW (計72灯)                        | 2.8kW (計81灯)                                              |
| 制御方式         |             | 明るさ調光(器具別)、初期照度補正                   | 明るさ調光(500lx)、エリア1、4は人員画像検知(不在時下限調光)                       |
| <b>空調</b>    |             |                                     |                                                           |
| 室 負荷         | 方式          | 空冷パッケージエアコン (ツイン2セット+シングル2セット)      | 空冷ビル用マルチエアコン (室内機6台)                                      |
|              | 定格出力(合計)    | 冷68kW/暖74.8kW                       | 冷22.4kW/暖25.0kW                                           |
|              | 熱源機COP      | 冷2.8/暖3.3                           | 冷3.9/暖4.3                                                 |
| 外気 負荷        | 方式          | 熱交換換気+FCU                           | 換気量CO <sub>2</sub> 濃度制御、空冷PAC                             |
|              | 定格出力        | 冷2.5kW/暖4kW                         | 冷7.1kW/暖8kW                                               |
|              | 熱源機COP      | 冷2.3/暖4.0                           | 冷4.4/暖4.9                                                 |
| 制御           |             | 利用者にて手動制御                           | タイマー+温冷感申告型制御                                             |
| <b>太陽光発電</b> |             |                                     |                                                           |
| 方式           |             | -                                   | アモルファス+単結晶混成                                              |
| 設置方法         |             | -                                   | 南向き/傾斜角6° (平均)                                            |
| 定格出力         |             | -                                   | 4.8kW                                                     |
| <b>備考</b>    |             |                                     |                                                           |
| コンセント負荷      |             | -                                   | ・使用頻度少の共用PC等を搬出<br>・足元電気ヒーター3台の使用短縮                       |
| BEMS         |             | 電力(3点、空調・照明・電灯)                     | 電力(約30点)環境(気象・温湿度・照度・CO <sub>2</sub> )、設備状態(ブラインド・電動窓・空調) |
| 消費電力可視化      |             | -                                   | 共用部にて電力消費を表示                                              |

各エリアの改修仕様

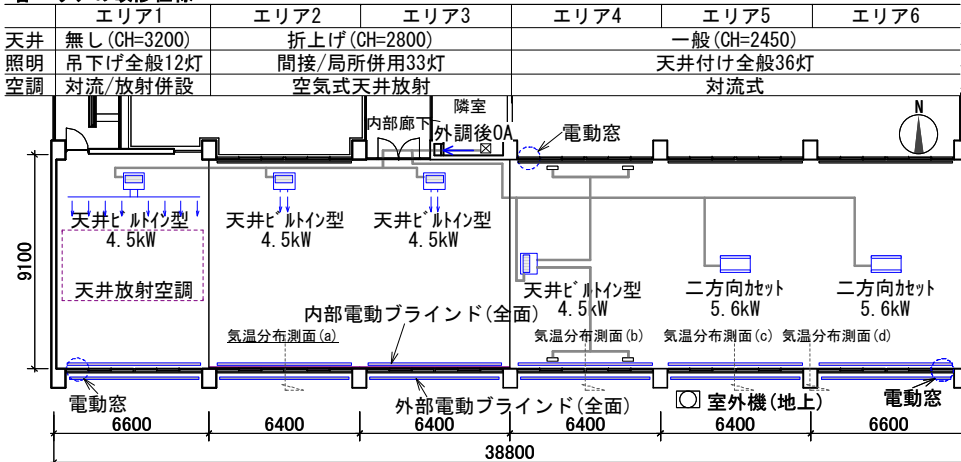


図-1 改修対象室 (2 階事務室) の平・断面図と改修仕様

照明は、天井付け Hf 蛍光灯を LED に交換し、東側半分は既存の一般天井に直付けの全般照明、傾斜折上げ天井エリアは間接照明と局所照明を組み合わせた（図-2、写真-3）。LED は全数を無段階調光型とし、明るさ・人感センサーによる調光制御を行う。机上面照度は、改修前の実績 600lx を、改修後は 500lx 運用に変更した。

空調は、室負荷用の空冷パッケージエアコン×4 セットを、空冷ビル用マルチエアコン（室内機 6 台）に更新した。エアコン室内機は実験的に 2 種を導入し、傾斜折上げ天井エリアでは天井中央部を膜天井として膜天井内を空調の給気経路とする空気式膜天井放射（図-2）とし、その他は対流式とした。換気外気は床面積約 20 m<sup>2</sup>の隣室を経由し対象事務室に機械給気する計画とし、同隣室を高効率パッケージエアコンで空調する外気処理方式とした。総冷房能力は、改修前 80.5kW を改修後は 29.5kW に 0.42 倍に減らし、単位床面積あたりは 79W/m<sup>2</sup>とした。熱源能力は、最大熱負荷計算において内部発熱を照明 4W/m<sup>2</sup>、OA 機器 7W/m<sup>2</sup>と設定する等により、過剰な安全率を除く実際に即した能力設計をし、過大な熱源能力に伴う実運用効率低下の防止を図った。

建物屋上には、対象室床面積の 7%相当のパネル面積の太陽光発電（定格 4.8kW）を設置し、対象室用の分電盤にみなし系統連携をした。

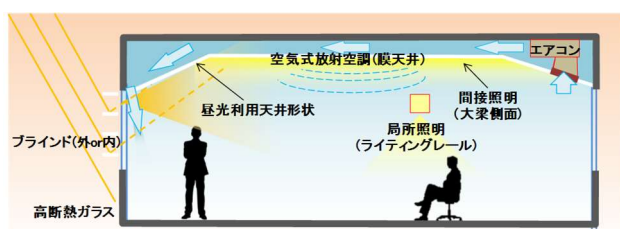


図-2 傾斜折上げ天井、間接/局所照明、空気式膜天井放射空調の概念図（エリア 2、3）



写真-1 対象室の外観（外部ブラインド巻き下ろし状態）



写真-2 対象室の内観（内部ブラインド巻き下ろし状態）

### 3. 一次エネルギー消費量の設計計算値

#### 3.1 エネルギー消費性能基準の適合判定

図-3 に、建築物省エネ法の「エネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版）Ver 2.3.0（2017.04）<sup>4)</sup>」による、対象室の改修前後の BPI<sup>補1</sup>、BEI<sup>補2</sup>を示す。対象室である事務室専用部のみを計算対象とした。

BPI は、窓の高断熱化等により 1.19 から 1.00 に減少し、基準適合と判定された。BEI は、改修前で既に 0.68 と基準値 1.0 以下であったのがさらに削減され、効率化設備（太陽光発電）分を含めて 0.23 と、基準を大幅に下回ると判定された。BELS（建築物省エネルギー性能表示制度）等による ZEB の基準値<sup>3)</sup>である BEI=0.5 をも大きく下回る設計性能である。

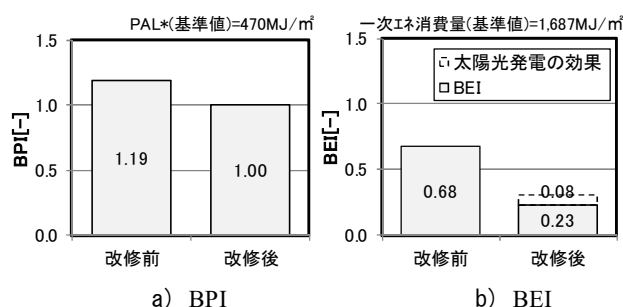


図-3 対象室のエネルギー消費性能計算結果

#### 3.2 用途別エネルギーの基準値と設計値

図-4 に、前記プログラムによる基準一次エネルギー消費量（基準値）と、改修前・後の設計一次エネルギー消費・生産量（設計値）の計算結果を用途別に示す（その他と効率化設備（太陽光発電）を含む）。改修後の設計値は 868MJ/m<sup>2</sup>・年と算定され、基準値 2,169 MJ/m<sup>2</sup>・年に比べ 0.40 倍に、改修前 1,625 MJ/m<sup>2</sup>・年に比べ 0.53 倍に削減すると算定された。改修前・後を用途別に比較すると、改修後は冷房、暖房、照明のいずれも半分以下になると算定された。

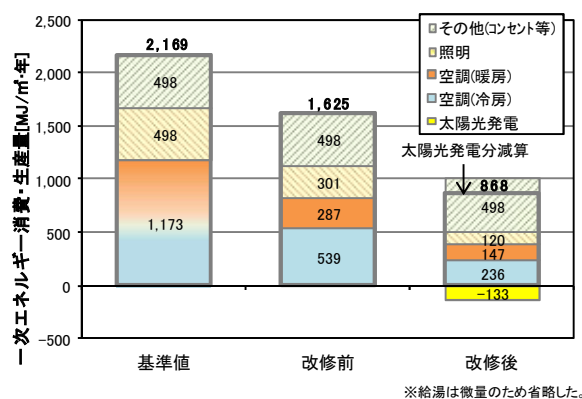


図-4 用途別の設計一次エネルギー消費量

## 4. 導入技術の概要と効果

### 4.1 南窓の日射制御

#### 4.1.1 計画概要

南窓には、夏の日射遮蔽のための外部電動ブラインドを設置し、冬の日射取得のため、及び夏に強風で外部ブラインドが使えない時のために、内部電動ブラインドを併設した。両ブラインドのスラット角や高さは、建物屋上に設けた気象センサーで検知される日射量や太陽方位・高度に応じ、直達光を遮るよう太陽追尾制御される。内外ともに3タイプの仕様・色を実験的に設置し、内部の1タイプには、スラットを閉鎖した状態でも上側約1/3のスラットが開く自然採光形のものを導入した（写真-2）。

#### 4.1.2 日射熱取得率の評価

ブラインドを含む窓の日射熱取得率 $\eta$ を、外部ブラインド（エリア1）と内部ブラインド（エリア5）の窓において、連続測定により推計した。外部ブラインドでは、南外壁面日射量 $I$ と窓中央のガラス内側の南鉛直面日射量 $I_{t\_out}$ を、内部ブラインドでは、ブラインド室内側の南鉛直面日射量 $I_{t\_in}$ とスラットの上面と下面の熱流量 $H_{up}$ 、 $H_{ud}$ を、窓中央で1分間隔で連続測定し、両 $\eta$ を下式により推計した。なお、両ブラインドのスラット角は、前記の太陽追尾制御により外向き約 $50^\circ$ に閉じられていた。

外部ブラインド： $\eta_{out} = I_{t\_out} / I$

内部ブラインド： $\eta_{in} = (I_{t\_out} + H_{up} + H_{ud}) / I$

図-5に、2017/7/16～17の南外壁面日射量 $I$ と、日射熱取得率 $\eta_{out}$ 、 $\eta_{in}$ の30分平均値の推移を示す。外部ブラインド窓の日射熱取得率が低く、両者の加重平均値は、外部0.17、内部0.36と2倍以上異なり、外部ブラインドにより冷房期の日射熱負荷を半減できることを確認した。

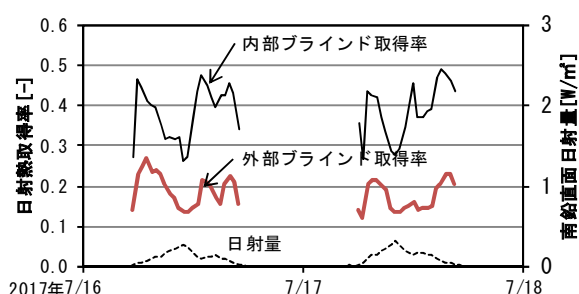


図-5 南窓の内/外ブラインド別の日射熱取得率

### 4.2 昼光利用、照明計画

#### 4.2.1 計画概要

傾斜折上げ天井エリアでは、照明電力削減、光環境向上、開放感の向上を目的に、傾斜折上げ形状の天井（図-2、写真-3）とした。中央部の天井から露出する外壁直交大梁は、間接照明の反射面として利用し、視界の平均輝度（明るさ感）を高める照明計画とした。天井下側には

ライティングレールを吊り下げ、デスクレイアウトに合わせて局所照明を配置できる。照明器具は無線調光制御式のものとし、個別もしくはグループ毎に、明るさセンサーに応じた昼光連動制御や、タイマーによる点滅や出力調整ができる仕様とした。



写真-3 傾斜折上げ天井部の内観（エリア2、3）

#### 4.2.2 傾斜折上げ天井の自然採光性の効果検証

一般天井（エリア4）と傾斜折上げ天井（エリア3）において、外部ブラインド利用時の天井の明るさの差の確認、および机上上面照度（ $h=710\text{mm}$ ）の測定を行った。確認、測定時は、両窓の鉛直面照度が同一になるよう、外部ブラインドのスラット角を調整した。

写真-4に天井の状況を示す。一般天井では、ブラインドのスラットや地表の反射による、窓から室内側への上向き発散光が天井に及ぶ範囲が窓際に留まり、天井の明るい範囲が狭い。傾斜折上げ天井では、明るい範囲が室内側に伸び、窓反対側の傾斜天井も相対的に明るい様子が確認された。

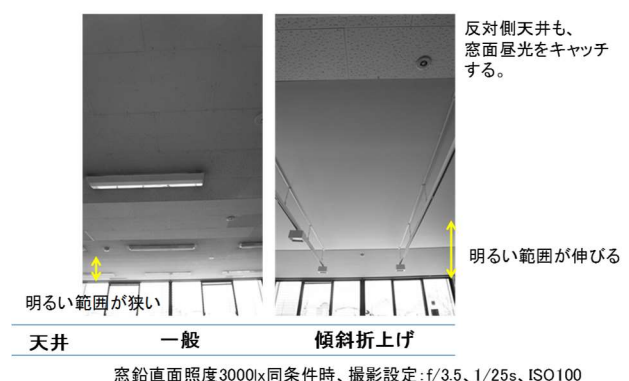


写真-4 天井形状別の天井の見え方の差  
(2016/8/11 10:00、曇り)

図-6に、天井形状別の窓からの距離と机上上面照度比（各点机上上面照度／窓際机上上面照度）の関係を示す。室中央における机上上面照度比は、傾斜折上げ天井が一般天井より高かった（1.29倍）。

これらのことから、傾斜折上げ天井は、窓の昼光発散面（ブラインドスラット面、地表面、窓から見える天空

面)と窓際の傾斜天井との形態係数が低く、かつ室内の傾斜天井との形態係数が高いため、室内に日光を届ける効果があり、一般天井における窓際と室内の明るさの違いが大きい課題を改善できることを確認した。

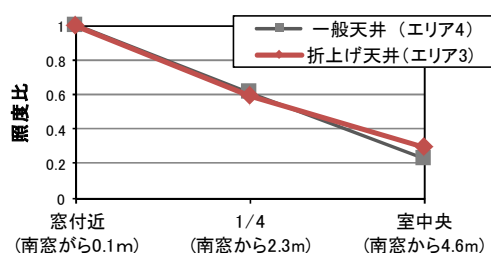


図-6 天井形状別の窓からの距離と机上面照度の関係  
(2016/8/11 9:30 頃、曇り)

### 4.2.3 照明電力の評価

図-7 に、平日の単位床面積あたりの照明電力の日推移を改修前後について示す。改修前は 2015 年度 (4/1～翌年 3/31)、改修後は 2016/8/1～2017/7/31 の平日の毎時平均値である。昼休みを除く 9～21 時の日平均値は、改修前 7.9 W/m<sup>2</sup>から改修後 3.1W/m<sup>2</sup>にまで削減された (0.39 倍)。

改修前の年間電力実績を日中平均電力で除した年間点灯相当時間は、改修前は 3,780 時間、改修後は 3,740 時間と推定された。これは、前記のエネルギー消費性能計算プログラムにおける想定値 3,133 時間 (標準的な事務室の照明点灯時間) の 1.20 倍に相当し、対象室は標準よりも長時間利用される運用条件だったと判定された。

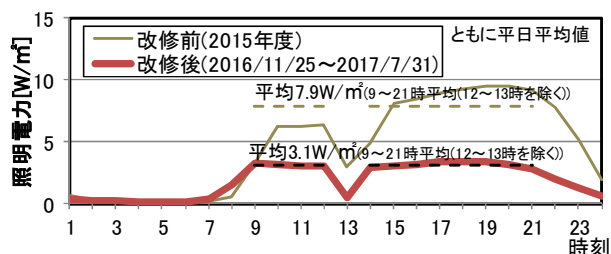


図-7 改修前後の単位床面積あたり照明電力の日推移

## 4.3 空調計画

### 4.3.1 計画概要

室負荷処理用の空調機は、中小規模事務所で圧倒的に普及するビル用マルチエアコン (以下、ビル用マルチ) とし、潜・顕熱分離空調方式に対応できる、高顕熱型を導入した。室内機は実験的に、エリア 1～4 は天井ビルトイン形とし、エリア 2, 3 は傾斜折上げ天井内に空調給気を通し中央膜天井から放射伝熱を図る空気式膜天井放射方式、エリア 4 はアネモ型吹出し口を用いたダクト方式とした。エリア 5, 6 は 2 方向カセット形とした。換気外気は、一度隣室に給気し 4 方向カセット形パッケージエアコンとデシカント方式の除・加湿ユニットで温湿度

調整した後に、対象室の各室内機にダクト接続する計画とした。

### 4.3.2 室内温度環境の実測

#### (1) 冷房時の天井表面温度

図-8 に、サーモビューアカメラで測定した、一般天井エリアと空気式膜天井放射エリアの冷房時天井表面温度の比較を示す。空気式膜天井放射エリアの天井表面温度は約 26℃であり、室温 27℃より約 1℃低く、一般天井の表面温度約 28℃に比べると約 2℃低かった。空気式膜天井放射による空調方式は、放射環境が優れる空調方式であることを確認した。

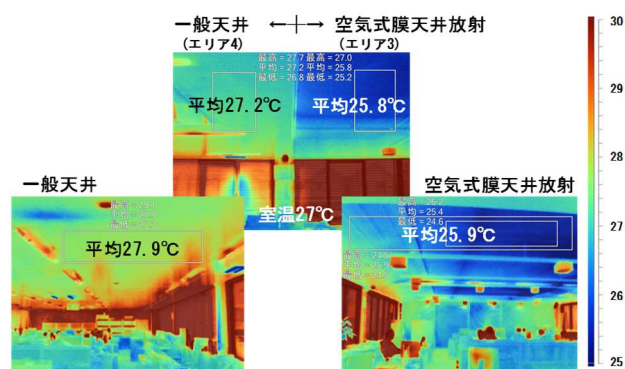


図-8 冷房時の天井表面温度の比較  
(2016/8/9 14:30、外気 36.6℃)

#### (2) 冷暖房時の鉛直断面温度

空調方式が異なるエリア 2, 4, 5 における、南北鉛直断面の室温の実測結果を、冷房時を図-9 に、暖房時を図-10 に示す。測定は計 4 測面で行い (図-1)、エリア 2 (空気式膜天井放射)、エリア 4 (ダクト給気式) は各エリアの東西中心を、エリア 5 (2 方向カセット形) では同エリアの東西中心 (室内機中心) とエリア 5, 6 の境界 (室内機間) を測定した。冷暖房ともに、利用者にて各エリアのリモコン設定温度が手動調節された、実運用状態下の終業後に測定した。

冷房時は、「c) 2 方向カセット形 (室内機中心)」にて局所的に 23℃の低温域があり好ましくなかった。その他の 3 測面は温度むらが殆どなく、良好な温度環境であった。3 側面の温度を比較すると、「a) 空気式膜天井放射」の室温が、その他の 2 測面より約 1℃高めで運用されており、天井温度が低く放射環境が優れる空調方式により、室温を緩和できる可能性があることが示唆された。

暖房時も、「c) 2 方向カセット形 (室内機中心)」の温度むらが大きく、着座状態における頭部と足下の上下温度差が 5℃もあり好ましくなかった。その他の 3 測面の同温度差は約 2℃に抑えられ良好であり、「a) 空気式膜天井放射」は温度差がほぼ解消されており秀逸であった。

「a) 空気式膜天井放射」では面積が大きい天井と床の間

で放射熱伝達が促進され床表面が暖められ易くなっていた可能性があることが示唆された。

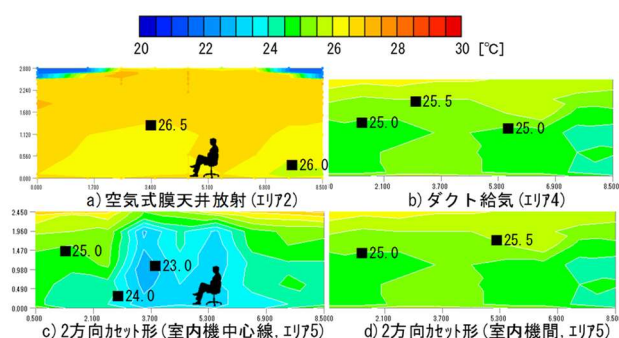


図-9 冷房時の室内気温分布 (2016/9/9 21:00 頃)

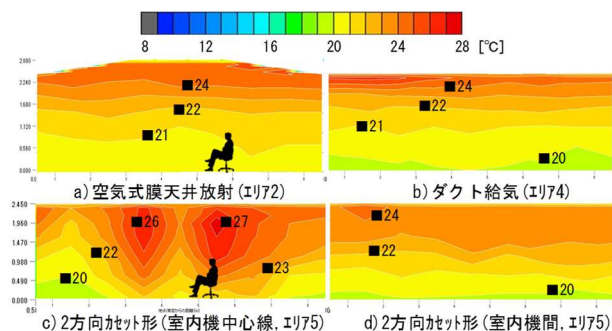


図-10 暖房時の室内気温分布 (2017/2/9 21:00 頃)

#### 4.3.3 日積算電力

図-11 に、日平均外気温と日積算空調電力（ビル用マルチの室外・室内機、換気外気処理用エアコン、換気ファンの合計）の関係を改修前後について示す。改修前は 2015 年度（4/1～翌年 3/31）、改修後は 2016/8/1～2017/7/31<sup>補3</sup>の平日の結果である。同図には、外気温 15℃以下は暖房電力、20℃以上は冷房電力とした一次近似式を併記した。本近似式の勾配係数を改修前後で比較すると、冷房は 44 が 26 と 0.59 倍に、暖房は 33 が 24 と 0.73 倍に低下・改善されたと評価された。なお、改修後の暖房には外気温が 8～13℃の範囲に近似式を上回るデータが多く見られ、冬の晴天日の室の過昇温を緩和する制御調整や設計配慮が必要なが確認された。

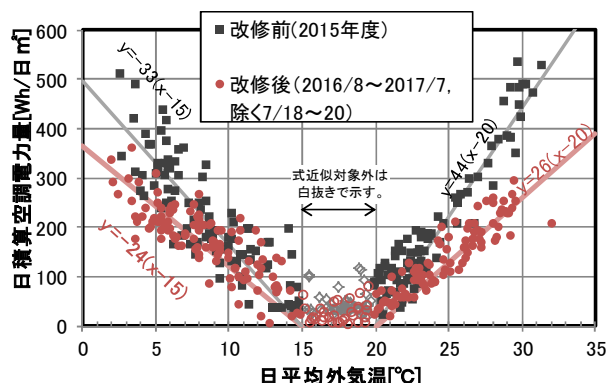


図-11 日平均外気温と床面積あたり日積算エアコン電力

#### 5. 一次エネルギー消費量の年間実績

図-12 に、改修前（2015 年度）と改修後の年間一次エネルギー消費量の実績値に、設計値（図-4）を併記して示す。

改修前の実績値は 1,074 MJ/m²・年であり、基準値 2,169 MJ/m²・年の 0.50 倍と既に十分な省エネが進んでいた。改修前の設計値と実績値を比べると、暖房と照明は同等で、冷房とその他は実績値が約 0.5 倍と大幅に少なかった。

改修後の実績値は 597 MJ/m²・年であり、これは基準値 2,169 MJ/m²・年の 0.28 倍に相当し、非常に高い省エネ性能だったと言える。改修後の設計値 868 MJ/m²・年と実績値を比べると、総量では 0.69 倍であり、照明は同等、冷房は少なかった一方、暖房が 1.70 倍と多かった。暖房が乖離した原因は、空調の設計計算条件である室内発熱量の参照値が、照明、機器ともに 12W/m²であるのに対し、実績は照明 3.1W/m²、機器 5.3W/m²と少なかったことや、後述する休日の深夜等にも暖房運転されてしまっていたことと冬期の室温が高く運用されたことが主な原因と考えられる。

なお、最新の調査<sup>6)</sup>による、ZEB 建築物の実績値平均は、消費量 801 MJ/m²・年、創エネを含み 594 MJ/m²・年である。一方、本改修後の消費量 745 MJ/m²・年は、事務室専用部のみの実績である。そこで、同値から専用部比（レントابل比）0.7 である建築物全体の消費量を略算<sup>補4</sup>すると 589 MJ/m²・年と換算され、本改修後の実建築物相当消費量は、前記 ZEB 建築物の平均消費量 801 MJ/m²・年の 0.73 倍に相当する高性能であると評価された。さらに、室の利用時間が前記推計から 3,750 時間相当と、標準より長時間利用された条件下での実績であることも考慮すると、本改修後のエネルギー性能が、現時点の ZEB 建築物に比べて、非常に優れることを確認した。

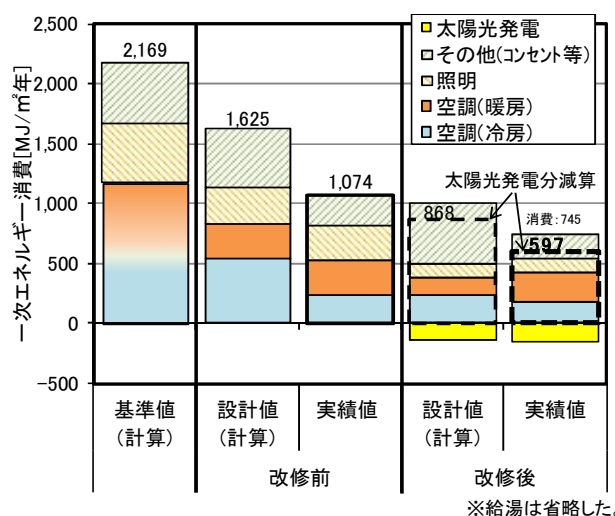


図-12 一次エネルギー消費量の設計値と改修前後の実績値

## 6. ビル用マルチエアコンの運転特性

ビル用マルチを含む、エアコンの COP (成績係数, Coefficient Of Performance) は、室内外の温湿度条件や空調出力により大きく変化する<sup>7)</sup>ことや、冷房時の冷媒蒸発温度を高める高顕熱運転により向上することが知られているものの、詳しい特性は公表されていない。この COP 特性の詳細が明確になれば、ビル用マルチの最適な計画法や運用法の検討、並びにエネルギー予測計算の基礎データとして役立つ。また、長期測定時において、消費電力と外気温といった測定が容易なデータから、実運転時の空調出力や COP の推計、長期評価ができると、本対象室のみならず、他の建築物における評価にも応用でき、望ましいと考えられた。これら目的の元で、COP 特性に関わる詳細な実測と分析を行った。

### 6.1 実測・分析の概要

実測は、2016 年度の夏 (8/11~9/16) と冬 (11/14~1/15) に、室外機吸込み温湿度 (図-13 の◆)、冷媒配管温度 (同★)、冷媒圧力 (同▼)、室外機の消費電力を 5 分間隔で連続測定した。測定期間は、室内機風量の中ノッチ (2 方向カセット形: 720m<sup>3</sup>/h、天井ビルトイン形: 660m<sup>3</sup>/h) に固定し、エアコンの設定温度は冷房 25~27℃、暖房 20~22℃で運用した。上記測定値の 15 分平均値を、冷凍サイクル計算プログラムソフト ver.2<sup>8)</sup>の入力値に与え、実測時の空調出力や COP を推計した。

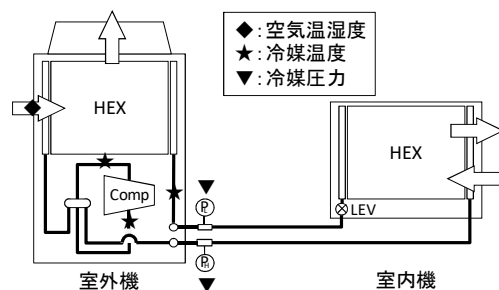


図-13 室外機廻りの連続測定点

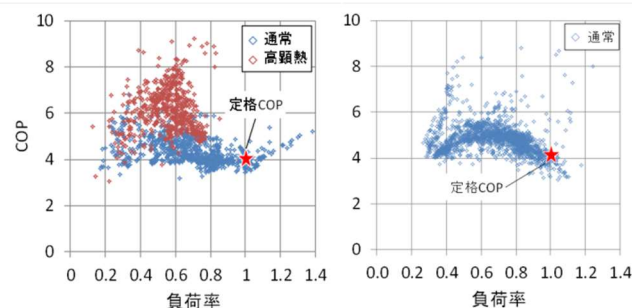
### 6.2 分析結果

#### (1) 負荷率、室外機吸込み温度と COP

図-14 に負荷率 (運転出力/定格出力) と COP の関係を、図-15 に室外機吸込み空気温度 (冷房時は乾球温度、暖房時は湿球温度) と COP の関係を示す。いずれも、実測値と定格値 (図中 ★) は良く合致しており、COP 実測値は信頼できると判断された。

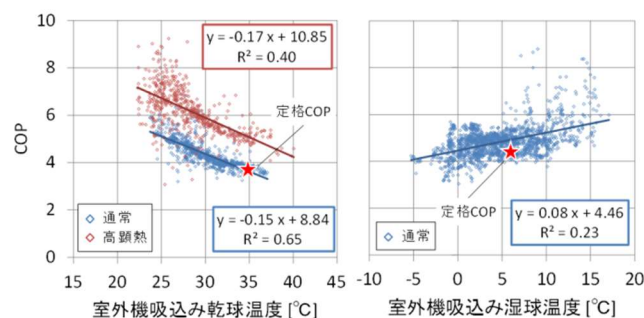
図-14 からは、冷房、暖房ともに負荷率 0.6 程度で COP が最高となることや、冷房時の高顕熱運転は通常運転より 1.4 倍前後 COP が高まる傾向を確認した。図-15 からは、特に冷房時において室外機吸込み温度が定格試験条件 (外気 35℃) より緩いほど COP が向上する傾向を把握した。

これらの特性図は、一般的に用いられるものであるが、図-15 a) の冷房-通常運転を除き、相関が弱く、明確な近似式を導けなかった。



a) 冷房 b) 暖房

図-14 負荷率と COP

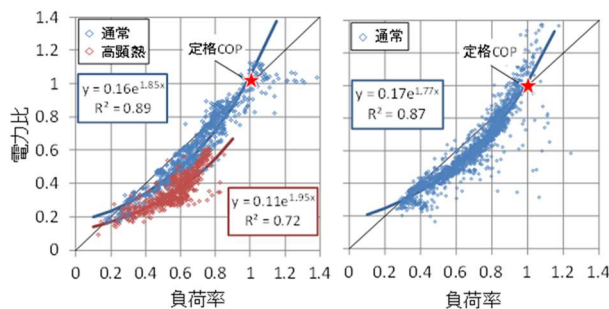


a) 冷房 b) 暖房

図-15 室外機吸込み空気温度と COP

#### (2) 負荷率と電力比

図-16 に、負荷率と電力比 (消費電力/定格消費電力) の関係を示す。冷暖房ともに、図-14 よりも相関が良くなり、近似曲線の決定係数 ( $R^2$ ) は 0.7~0.9 と良好であった。同近似式を用いることで消費電力の実測値から運転出力の推計が可能となった。また、動的熱負荷計算で求めた空調負荷から、熱源機の消費電力を推計することにも使える。ただし、冷房においては、通常運転と高顕熱運転の近似式が異なり、運転モードに応じて 2 つの式を使い分ける必要がある。



a) 冷房 b) 暖房

図-16 負荷率と電力比

### (3) 室外機吸込み空気と冷媒の温度差と COP

図-17 に、室外機吸込み空気温度と冷媒温度の温度差と COP の関係を示す。冷媒温度として、冷房は蒸発温度、暖房は凝縮温度の制御目標値（ともにメーカー技術資料による固定値）を与えた。冷房は、通常運転と高顕熱運転で異なる固定値となる。

冷房は、通常運転と高顕熱運転の両データ 1 つの曲線で近似ができるようになり、室外機吸込空気温度と消費電力という測定が簡易な実測値と、目標蒸発温度が分かれば、実運転時の空調出力と COP が推計可能になった。また、動的熱負荷計算で求めた空調負荷から、通常運転と高顕熱運転を考慮して消費電力を推計することにも使える。一方、暖房の相関は弱く、図-16 b) の近似式の方が良いと判断された。

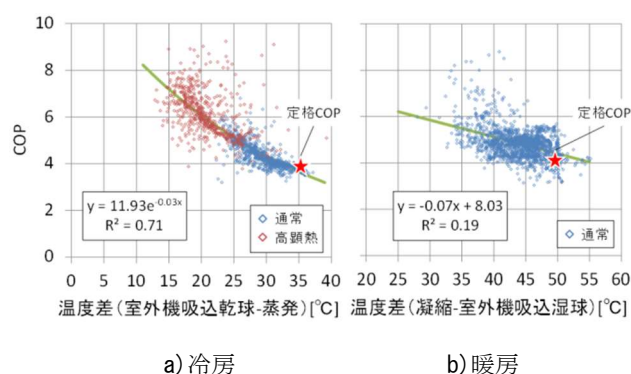


図-17 室外機吸込み空気と冷媒の温度差と COP

## 6.3 ビル用マルチのエネルギー性能の年間評価

6.2 の分析で得た近似式を用い、ZEB 改修後 1 年間（2016/8/1～2017/7/31）における、空調出力や COP を推計した。冷房は図-17a)、暖房は図-16b) の近似式を用い、室外機吸込み温度には最寄りの気象庁観測外気温の補正値<sup>補5</sup>を、冷房の通常/高顕熱モードに筆記録値を、消費電力には実測値を用い、一時間毎に計算をした。そして、これら結果を集計し、改修後 1 年間の APF（年間エネルギー消費効率、Annual Performance Factor）を推計した。

### (1) COP と処理熱量の月別値

空調運転時における年間月別の、COP、負荷率、電力比の月平均値を図-18 の上段に、消費電力と処理熱量の月積算値、及び月平均外気温を同図の下段に示す。月平均外気温には、空調停止時も含んだ純粋な月平均外気温（全日外気温）を併記した。

冷房処理熱量は、外気温が最高の 2017/7（空調運転時外気温：30.8℃）が最大で、負荷率は 0.74、電力比は 0.54 であった。暖房処理熱量は、外気温が最低の 2017/1（同 6.1℃）が最大で、負荷率は 0.72、電力比は 0.66 であった。

COP は、冷房は 4.8～7.5、暖房は 4.7～4.9 であり、冷房は初夏・晩夏の負荷率の低下に応じて向上したが、暖房は負荷率が低下しても殆ど上昇しなかった。

空調運転時外気温と全日外気温を見比べると、中間期では、2016/10 は差が小さいのに対し、2017/5 に空調運転時外気温が約 5℃高く突出していた。電動換気窓の自動制御を 2017/5 から運用開始したことにより、自然換気による外気冷房が機能していたことが分かる。冬期は、日中利用が主体の事務所では、空調運転時外気温の方が高くなると考えられるが、両者の差が殆どなかった。休日を含む深夜の暖房運転が多かった影響と考えられる。

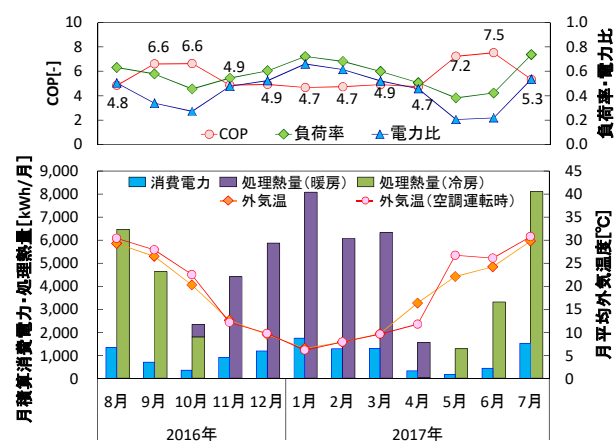


図-18 消費電力・熱出力・COP の月推移

### (2) 年間エネルギー消費効率 (APF) の推計

図-19 に、APF のメーカー公表値と、実測に基づく推計値を示す。公表値は、JIS B8616 に定められた方法である、「年間総合負荷（既定条件）÷ 年間消費電力（試験室性能値を用いた計算値）」であり、実測値は、図-18 の「処理熱量の年積算 ÷ 消費電力の年積算」である。実測値は 5.19 と推計され十分に高効率だったと言えるが、公表値 5.90 に対しては 0.88 倍と低かった。

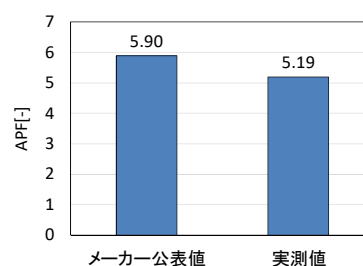


図-19 APF の比較

### (3) APF 向上のための分析

図-20 に、外気温毎の年間空調運転発生時間について、JIS B8616 の APF 算定条件（東京、事務所）と、ZEB 改修後 1 年間の実測値を示す。年間空調運転発生時間は、JIS 条件の 2,753 時間に対して実測が 4,104 時間で 1.49 倍も多かった。特に、暖房の運転時間の差が大きく、外気温 5℃以下と 10℃以上の発生時間が全く異なった。この理由としては、夜間無人時の暖房運転時間が長かったこ

とや、11月や3月の日中の室温が過昇温していたことが分かっている。冷房では、外気温 19～23℃における実測の発生時間が極端に少なく、25℃以上では各温度で約 50 時間ずつ多い。この理由としては、前者は内部発熱量が少なくまた電動換気窓が設置された ZEB 改修後は、外気温 19～23℃時には外気冷房で済んでいたこと、後者は室利用時間が長かったことと 2017/7 の外気温（月平均 27.3℃）が平年値（同左 26.2℃）より高かったためと考えられる。

以上のように実測では、冷房の COP が高くなる 19～23℃の発生時間が少なく、COP が低い暖房の発生時間が多かったため、APF の実測値が公表値より低くなったと考えられる。2 年目には運用改善を進め、運転時間と消費電力の削減や、APF の向上を図っていく予定である。

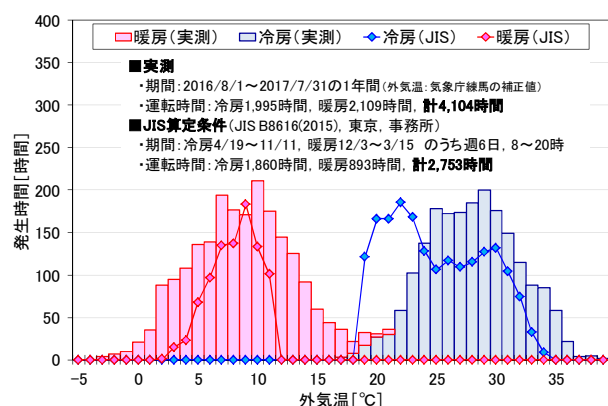


図-20 外気温ごとの年間空調運転発生時間

## 7. おわりに

ZEB の設計技術の高度化を目的に、既存事務室を ZEB 仕様に改修し、各種導入技術の効果検証や改修後 1 年間のエネルギー性能の評価を行った結果、次の知見を得た。

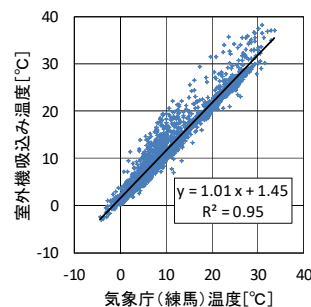
- 改修仕様の設計 BEI は 0.23 にまで大幅に減り、ZEB に相当する設計と判定された。
- 導入技術である、夏の日射負荷削減のための外部ブラインド、昼光利用のための傾斜折上げ天井、快適性向上のための空気式膜天井放射空調等が、標準的な計画・仕様に比べ、優れた性能であることを確認した。
- ZEB 改修後 1 年間の一次エネルギー実績は 597MJ/㎡・年であった。同実績は、省エネ基準値に比べ 0.28 倍、現時点の ZEB 建築物の実績値平均に比べ 0.73 倍と評価され、エネルギー性能が非常に高いことを確認した。
- エネルギー消費性能計算プログラムによる設計値は、照明は実績値とよく合致するが、暖房、その他は乖離が大きいことを把握する等の、ZEB のエネルギー設計に有用な各種データ・知見を得た。
- 改修後のビル用マルチの APF は 5.19 と推計され高効率な空調運転がされていた。メーカー公表値 5.9 より低い原因として、内部発熱量減、外気冷房効果、利用時間

の長さ等が影響していることを把握した。

- ・実証研究の結果、改修後 2 年目のエネルギー性能向上と ZEB 設計技術の高度化に資する、実際の課題やその原因・改善法の知見・技術を得た。

## 補記

- 補1) BPI(Building PAL\* Index, 建物外皮の省エネ性の指数) = 年間熱負荷係数 (設計値) / 年間熱負荷係数 (基準値)
- 補2) BEI(Building Energy Index, 建物・設備の省エネ性の指数) = 設計一次エネルギー消費量 (その他を除く) / 基準一次エネルギー消費量 (その他を除く)
- 補3) ビル用マルチエアコンを 2017/7/20 (木) に修理した経緯があり、特に 7/18~20 の相関がその前後と大きく異なったため、同 3 日間は本相関図から除外した。
- 補4) 専用部比 0.7, 共用部エネルギー = 専用部 × 0.3 と仮定した時。
- 補5) 室外機吸込み空気温度は、付図-1 に示す気象庁練馬観測値と室外機吸込み気温実測値の相関近似式による推計値とした。



付図-1 外気温度の比較（気象庁練馬と室外機付近）

## 参考文献

- 1) 経済産業省：エネルギー基本計画，平成 26 年 4 月
- 2) ZEB ロードマップフォローアップ委員会：これからの建築環境の方向性 ZEB 設計ガイドライン<ZEB Ready・小規模事務所編>他，2017 年 2 月
- 3) 建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律，平成 27 年 7 月公布
- 4) 国立研究開発法人建築研究所：建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報，<http://www.kenken.go.jp/becc>
- 5) 佐竹晃：照明・空調負荷削減のための窓部日射制御手法に関わる研究（その 2）オフィスビルにおける日射制御手法別の空調・照明エネルギーの解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.41-42, 2016 年
- 6) 環境共創イニシアチブ：平成 24 年度～平成 28 年度 ZEB 実証事業の調査研究発表（平成 24～26 年度補助事業実績値），平成 28 年 11 月
- 7) 空気調和・衛生工学会：ビル用マルチパッケージ型空調システム—計画・設計から性能評価まで—，pp.127-129, 2014 年 9 月
- 8) 日本冷凍空調学会：冷凍サイクル計算プログラムソフト ver.2, 2006 年 4 月