

自然エネルギーを最大限に活用した 中規模オフィスのZEB化に関する研究

稲 田 雄 大^{*1} 佐 竹 晃^{*2}
山 口 福太郎^{*3} 今 林 憲 一^{*1}

要 旨

当社研究開発施設「ICI LAB」は、2018年に茨城県取手市の鉄道駅に直結する約53,000㎡の敷地に、当社創業100周年記念事業として建設された。本施設は、管理中枢機能を受け持つ「エクステンジ棟」、リフレッシュスペースとなる木造「ネスト棟」、実験施設の「ガレージ1」「ガレージ2」の4棟で構成される。エクステンジ棟は、「ZEBと知的生産性向上を実現する次世代型オフィス」をコンセプトに、当敷地の豊富な井水をランドスケープや建築デザイン、設備技術と融合して利用することを中心に、各種の自然エネルギーの活用を最大限に配慮した中規模事務所ビルである。本報では、本施設全体の概要、及びエクステンジ棟に導入した各種ZEB技術の概要とこれら技術の運用後の評価や生産／消費エネルギーの評価結果を示し、運用後6年間に亘って『ZEB』の実現を確認した結果を報告する。

キーワード ZEB／自然エネルギー／カーボンニュートラル／自然換気／外ブラインド／井水熱

目 次

- | | |
|------------------|---------------------|
| 1. はじめに | 4. 外部認証制度における評価 |
| 2. 施設概要 | 5. エネルギーの計画値と6年間の評価 |
| 3. ZEB建物の導入技術と評価 | 6. まとめ |

RESEARCH ON 『ZEB』 OF MID-SIZED OFFICE BUILDING THAT TAKE FULL ADVANTAGE OF THE NATURAL ENERGY

Yuta INADA
Fukutaro YAMAGUCHI

Akira SATAKE
Kenichi IMABAYASHI

Synopsis:

We relocated our technical laboratory in 2018 as part of a project commemorating the 100th anniversary of our founding. A medium-sized office building, which serves as the central facility for the technical laboratory, was placed at the center of the site. The building was designed as a zero energy building (ZEB) to enhance intellectual productivity, and various technologies were tested and incorporated into the plan. The building also takes full advantage of the site's rich natural environment.

In this paper, we report on the technologies introduced into the ZEB building, the results of their evaluation, and provide an outline of the laboratory and the ZEB building. In addition, the energy balance between consumption and production was zero during the first six years of operation.

* 1 建築事業本部 プロジェクト推進部

* 2 建築事業本部 設備部環境技術グループ

* 3 ICI 総合センター ICI テクノロジーセンター

1. はじめに

2050 年カーボンニュートラル社会の実現に向け、建築分野でも CO₂ 排出量削減の取り組みが様々になされている。なかでも事務所ビルや商業施設などの業務部門からの CO₂ 排出量は国全体の約 2 割を占めており、省エネルギーへの対応が早急に求められている。また近年では、生産性向上や健康などの「働き方」への関心が高まっており、大幅な省エネルギーを実現する ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）と室内外の環境品質向上、知的生産性向上との両立を図るオフィスが注目を浴びている。このような背景の中、当社の創業 100 周年記念事業として練馬区にあった技術研究所を移転することとなった。そこで旧技術研究所を ZEB プロトタイプとして改修¹⁾し、各種技術を検証した上で今回の計画に反映した。本報では、本施設全体の概要、及びエクスチェンジ棟について、各種導入 ZEB 技術の概要及び各技術の供用後の評価や生産／消費エネルギーの評価結果を示し、運用後 6 年間に亘り『ZEB』実現を確認した結果を報告する。

2. 施設概要

2.1 施設全体の概要

図-1 に本施設の鳥瞰写真を、

表-1 に施設概要を示す。計画地は茨城県取手市に立地し、敷地面積約 53,000 m² の自然環境豊かな広大な敷地に計画した。建物は、事務所用途の「エクスチェンジ棟（本研究対象）」、リフレッシュスペースも備えた「ネスト棟」、実験施設の「ガレージ 1」「ガレージ 2」の 4 棟で構成されている。その中で、エクスチェンジ棟は研究開発の拠点として管理中枢機能を受け持ち、『ZEB』として計画しただけでなく、BCP（Business Continuity Plan）にも配慮した。

2.2 エクスチェンジ棟の全体計画

図-2 に本研究対象であるエクスチェンジ棟の南面外観を示す。地上 3 階建ての RC-S 造（柱 RC 梁 S）で柱スパンを大きくし、執務室は無柱の広い空間を確保している。南・北面はハイサッシュを設置し開放性が高くフレキシビリティに優れた空間構成となっている。東・西面には、トイレや機械室、階段室などのコア部分を配置し、外皮からの熱負荷削減に配慮した。建物南側には豊富な井水や雨水を利用した大きな水量を配置し、景観に配慮するだけでなく、水面に反射した太陽光の室内採光や、壁面設置の太陽光パネルへの間接的利用をすることで、さらなる効率化を図った。

2.3 エクスチェンジ棟の設備概要

表-2 に主な設備概要を示す。空調設備は、豊富な井水を最大限活用するため、地中熱利用の水冷 HP（ヒー



図-1 本施設の鳥瞰写真

表-1 施設概要

名称		ICT [†] LAB
敷地概要	所在地	茨城県取手市
	敷地面積	52,572.43 m ²
エクスチェンジ棟 (本研究対象)	用途	事務所
	構造・階数	RC-S 造(免震構造)・地上 3 階
	延床面積	2,122 m ²
ガレージ 1 (総合実験棟)	用途	実験施設
	構造・階数	S 造・地上 2 階
	延床面積	4,982 m ²
ガレージ 2 (構造実験棟)	用途	実験施設
	構造・階数	S 造・地下 1 階, 地上 2 階
	延床面積	3,525 m ²
ネスト棟	用途	事務所・リフレッシュスペース
	構造・階数	木造・地上 1 階
	延床面積	644 m ²

[†]Incubation × Cultivation × Innovation の略



図-2 エクスチェンジ棟外観（南面）

表-2 設備概要

空調設備	熱源	地中熱利用水冷 HP チラー10kW×9 台
	空調	外気処理空調機 天井放射空調（井水利用水式・空気式） 空冷 HP パッケージエアコン
	換気	第 1 種, 第 3 種, 自然換気併用
衛生設備	給水	受水槽＋加圧給水方式（井水利用）
	給湯	局所式電気温水器, 燃料電池排熱利用
電気設備	受電	単相：127kVA, 三相：94kW (施設全体容量：6,100kVA)
	照明	LED 照明（300～750lx） 人感センサ・画像センサ制御
	中央監視	監視点数約 900 点
	太陽光発電	屋上：110.7kW, 壁面：21.6kW

トポンプ) チラーを採用した中央熱源方式とした。3 階執務室は、外気処理空調機+天井水式放射空調とし、その他のフロアや会議室などの個室は利便性を考慮し、外気処理空調機+空冷 HP パッケージエアコンとした。また、詳細は後述するが、中間期には自然換気を併用することで、空調消費電力の削減を図った。太陽光発電設備は屋上(傾斜約 4°)と南壁面に計 132.3kW 設置し、余剰電力については施設内の他の建物で利用している。



図-3 各所の自然換気窓

3. ZEB 建物の導入技術と評価

図-3 に導入技術一覧を示す。自社施設であることから実験的な技術も導入した。次項以降に各導入の技術概要²⁾と運用後の評価結果を示す。

3.1 自然換気による中間期の空調消費電力削減

(1) 技術概要

図-4 に各所の自然換気窓を示す。計画地における中間期や夏期の朝夕における風向は、時期・時間により大きく異なる。そこで、どの風向からの風も取り込めるよう建物四隅に取入口を設けた。また、より多くの風を取り込むために取入口は建築的工夫により、風を積極的にとらえる形状(ウインドキャッチャー)とした。建物の内部に入った風は、北東または南西の階段室を介して屋上に抜ける構造とし、無風時にも強制的に外気を誘引できるよう誘引ファンを設置した。なお、各所の換気窓は、外気条件に応じて自動制御を行い、自然換気の有効時には熱源・空調を停止し、空調の消費電力削減を図った。

表-3 に自然換気の運転条件を示す。外気温度および

表-3 自然換気運転条件

項目	基準条件設定値
外気温度	16℃≦外気温度≦26℃
露点温度	-3℃DP≦外気露点温度≦16℃DP
エンタルピ	室内エンタルピ>外気エンタルピ
その他	降雨判定：1mm 以上で禁止 風速：3m/s 以下で誘引ファン稼働 風向：開閉する窓を変更(現在は無効)

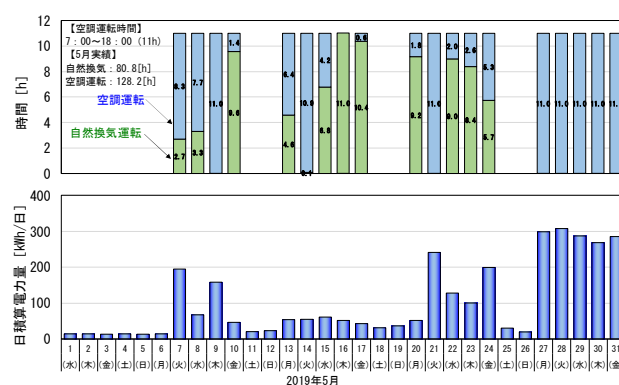


図-4 自然換気運転時間・空調消費電力

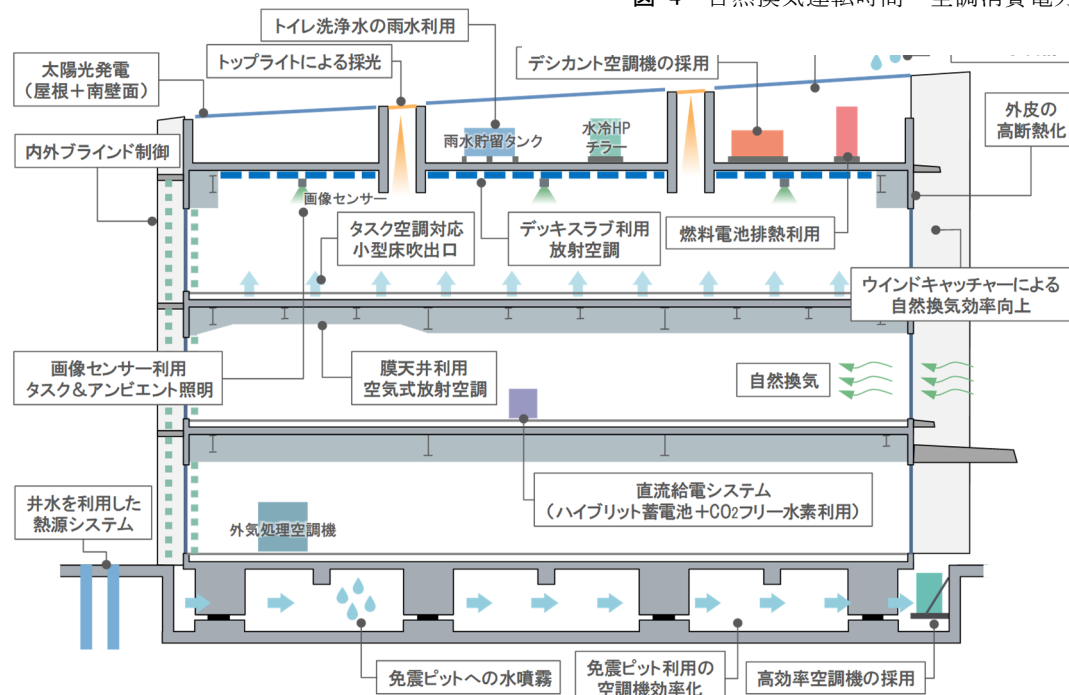


図-5 導入技術一覧

外気露点温度の上下限設定および室内外のエンタルピーにより判断を行い、条件範囲内の場合、自然換気が有効となり、自動で換気窓が開閉する。また、低風速でも換気量が確保できるよう、外気風速が 3m/s 以下の場合、階段室頂部に設置した誘引ファンを稼働させるよう設定をしている。なお、当初はシミュレーション結果より、風向により開閉する窓を変更し、換気量を多く確保する計画をしていたが、風向にばらつきが多く安定しないため、現在は風向を考慮せずにすべての窓を開放している。

(2) 評価

図-5 に自動制御により運用した 2019 年 5 月の自然換気運転時間および空調消費電力の実績を示す。上段の運転時間より、自然換気での運転時間は 80.8 時間となり、月の約 4 割を自然換気にて運用できていることを確認した。とくに 5 月中旬ごろは自然換気の運転時間が長く、熱源システムの停止時間が長くなり、空調消費電力を大幅に削減できることを確認した。

図-6 に全期間（5 月～10 月）で自然換気を実施した場合の運転時間と消費電力削減量の試算結果を示す。2019 年は試験的に 5 月のみの自然換気運用であったため、全期間（5 月～10 月）で自然換気を実施した場合の省エネルギー効果を試算した。なお本試算においては、外気温度の実測値より自然換気運転条件を満たす時間は自然換気を行うものとした。自然換気の運転時間は、5 月が最も多く、空調運転時間の約 7 割を自然換気運転できることを確認した。5 月～10 月で運用した場合、空調運転時間を約 21%削減できることを確認した。また空調消費電力の削減率は約 15%となり、自然換気により大幅な省エネルギーが可能であることを示唆した。

3.2 内外ブラインドによる日射コントロール

(1) 技術概要

図-7 に内外ブラインドの設置状況を示す。南北面には自然豊かな計画地の眺望を確保するためにハイサッシュを採用し、南面には室内外に電動ブラインドを設置した。内外ブラインドとも太陽の位置や天候により自動で昇降とスラット角を変更するシステムとした。冷房期の建物南面における日射遮蔽は重要な要素であったため、多くの選択肢の中から眺望を確保しながら、日射を確実に遮蔽できる外ブラインド方式を採用した。一方で暖房期は、内ブラインドを利用することで日射熱を室内に取り込み暖房負荷の削減を図った。

(2) 評価

図-8 に対象室平面図および計測位置を、図-9 に測定位置断面図を示す。対象フロアはガラスパーテーションを挟んで 2 部屋から構成されており、その中の南側の一室を対象室とした。空調方式は水式天井放射空調と外気処理空調機を用いた対流方式の空調システムが併

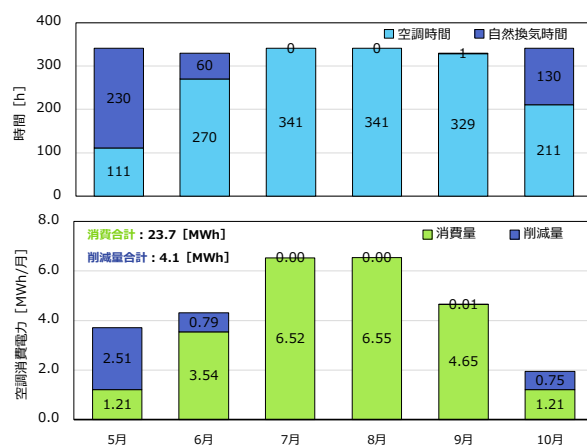


図-6 自然換気による消費電力削減効果の試算



図-7 内外ブラインド（南面）

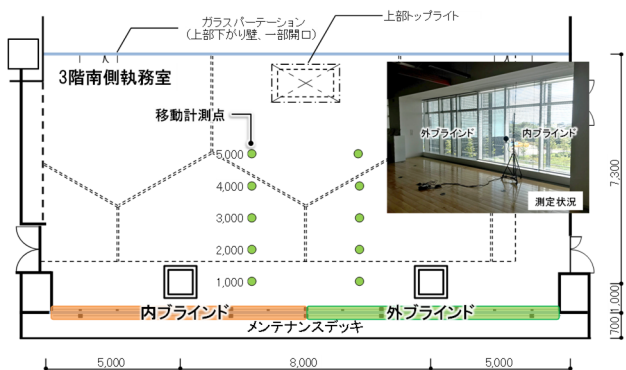


図-8 対象室平面図および測定位置

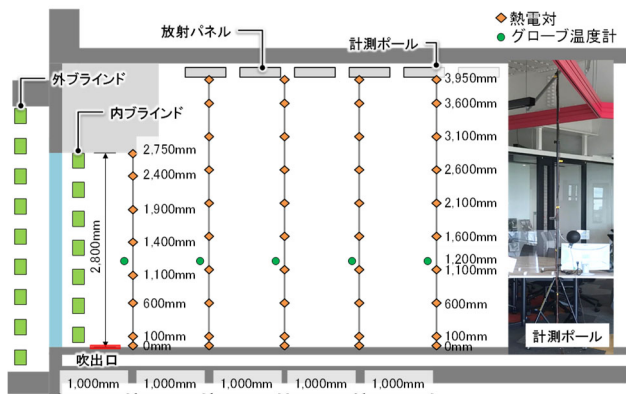


図-9 測定位置断面図

用されている。外気処理空調機の給気は床下吹出方式であり、窓面下部の床面スリットおよび床吹出口から給気

している。上下空気温度差を把握するために、ポールに熱電対を設置し窓近傍より 1,000mm 間隔で計測した。同ポールには、グローブ温度計を設置し放射温度を算出できるようにした。なお各データは、データロガーにて 1 秒間隔にて計測した。

実測は 2021 年 9 月 24 日 13 時～14 時（夏期）に行った。実測を行う約 3 時間前に実測条件を安定させるために対象室の東側半分を外ブラインドに、西側半分を内ブラインドとし、スラット角は水平に設定した（図-8）。計測は外ブラインドの窓から 1,000mm 地点より移動計測を行い、内外ブラインドと合わせて計 10 カ所計測を行った（図-8, 9）。なお、本実測では水式天井放射空調による効果を把握するために、タスク域の床吹出口はすべてオフとし、部屋への給気は窓面下部の床面スリットからのみとした。

図-10 に断面空気温度分布の計測結果を、図-11 に窓面の熱画像を示す。図左の内ブラインドでは、窓面から天井面にかけての温度上昇が見られる。これは日射の影響により内ブラインドの温度が上昇し、暖められた空気が上昇したと考えられる。一方で、右図に示す外ブラインドにおいては、窓面付近の温度上昇が抑制されており、外ブラインドによる日射遮蔽効果を確認した。図-11 の熱画像からも各ブラインドによる窓面温度の差が見られ、外ブラインドにより良好な放射環境が形成できていると料する。

3.3 地中熱利用オープンループ空調システム

(1) 技術概要

図-12 に地中熱利用オープンループ空調システムの概要を示す。建設前の該当敷地には、ハウストマト栽培場とゴルフ練習場があり、ハウス内の散水や根の冷却、ゴルフボールの洗浄や飲料水として井水を使用しており、井水が豊富かつ年間を通じてほぼ一定の温度であることがわかっていて。そこで本計画では、豊富な井水を最大限に活用する空調システムとした。汲み上げた井水の熱は熱交換器を介し、冷房時は外気処理空調機の予冷と天井放射パネルへ送水した後に水冷 HP チラーの冷却水としてカスケード利用し、水冷 HP チラーで生成した冷水（10℃）を外気処理空調機に供給し外気処理を行っている。暖房時は、外気処理空調機の予熱および水冷 HP チラーの採熱水として利用し、外気処理空調機および放射パネルへは水冷 HP チラーより温水（45℃）を供給する。水冷 HP チラーは 10kW×9 台と細分化し、負荷に応じて台数制御を行うことで、低負荷時においても高効率で運転できるよう配慮した。

二次側空調システムは、タスク&アンビエント空調とし、タスク空調はファン付きの小型床吹出口（図-13）を、アンビエント空調には、デッキスラブ利用水式放射空調（図-14）を採用した。タスク空調の小型床吹出口は、床下に外気処理をした空気を給気し、利用

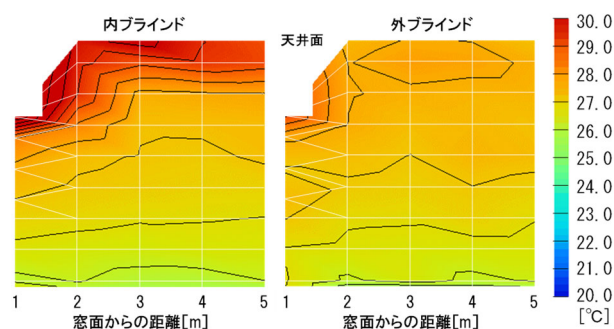


図-10 断面空気温度分布

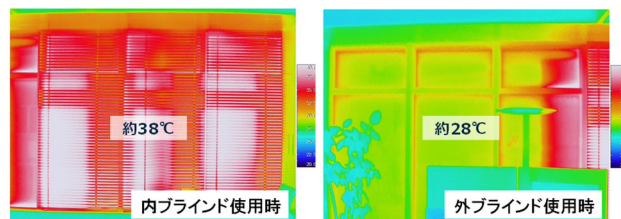


図-11 窓面の熱画像

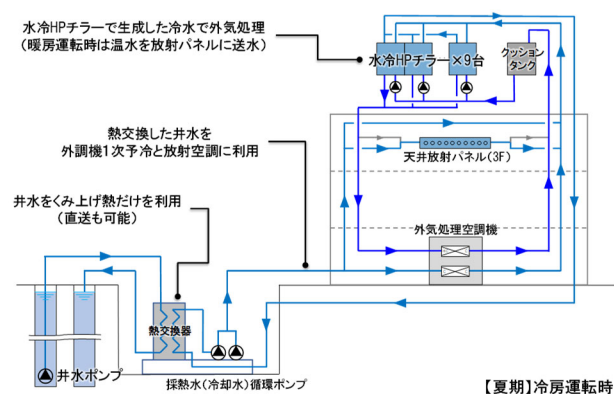


図-12 地中熱利用オープンループ空調システム



図-13 タスク空調用小型床吹出口（3 階）

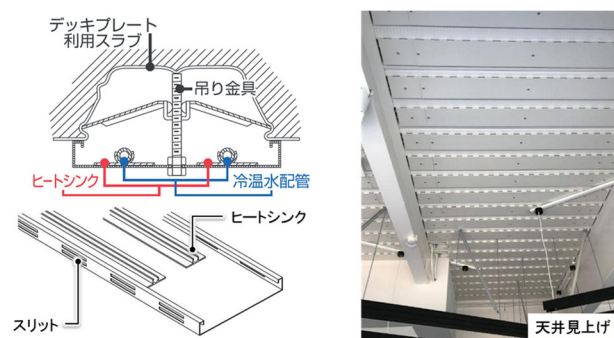


図-14 デッキスラブ利用水式放射空調（3 階）

者が必要に応じてフットスイッチにて操作することで、省エネルギーかつ快適性を確保できるよう計画した。水式放射パネルは、躯体工事のデッキプレートに通常は照明器具等を固定する吊り金具で固定しており、放射面積を多く確保するとともに、パネル側面にスリットを設けることで冷気の自然降下も期待できるよう新規に開発をした。

(2) 評価

図-15 に 2019 年度から 2021 年度における井水温度および採熱水温度の月推移を示す。外気温度と異なり井水温度は、季節による変動がほぼなく、17℃一定であることがわかる。一方で、熱交換後の採熱水温度は、夏期冷房運転ピーク時（8 月）において約 23℃と上昇するものの、20℃程度で推移していることを確認した。これはピーク時において熱源機の稼働台数が多いなり、井水の冷却能力を超えたため、採熱水温度が上昇したと考えられる。暖房時も同様の傾向を示しており、熱源機の台数運転制御の調整、井水流量の調整が必要であるものの外気温度と比較して好条件にて熱源機を運転できていることを確認した。

図-16 に同期間における熱源単体 COP（Coefficient of Performance）および熱源システム COP の月推移を、図-17 に年度推移を示す。なお、熱源機の単体定格 COP は冷房時 4.20、暖房時 4.29 である。熱源単体 COP の月推移をみると、ほとんどの月において定格 COP を上回っており、冷房運転時で 7.00 以上、暖房運転時には、8.00 以上で運転している月があることを確認した。一方で、中間期においては、熱源単体 COP が低下する傾向である。これは、熱源機の台数制御により熱源機の起動・停止が頻繁に起こり、COP が低下したと考えられる。2020 年度以降では、夏期ピーク時にも COP 低下が見られるが、これは、コロナ禍により出社を制限していたことにより、室負荷の低下により中間期同様に熱源機の起動・停止が頻繁に起こったことに起因していると思料する。熱源システム COP においては、井水ポンプ、1 次ポンプなど補機類が多いことにより、1.00 から 3.00 程度で推移する結果となったが、冷暖ピーク時には、3.00 程度と高効率な運転ができていることを確認した。図-17 の年度推移からも定格 COP を上回る高効率な運転ができていることを確認したが、単体およびシステム COP が年度を追うごとに低下している。これは、コロナ禍により室の使用状況が大幅に変わり、室負荷が変動したことにより、一概に比較することができないため、参考値として留めておきたい。

3.4 膜天井利用空気式放射空調

(1) 技術概要

図-18 に膜天井利用の空気式放射空調を採用した 2 階執務室の様子を示す。天井内にパッケージエアコンの

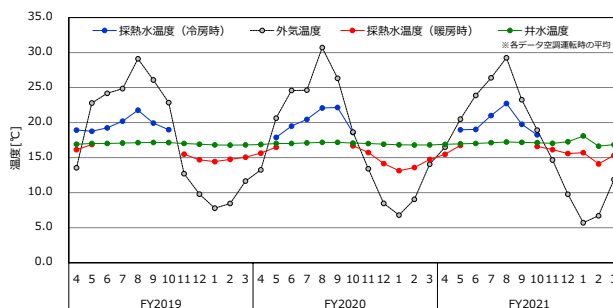


図-15 井水温度および採熱水温度の月推移

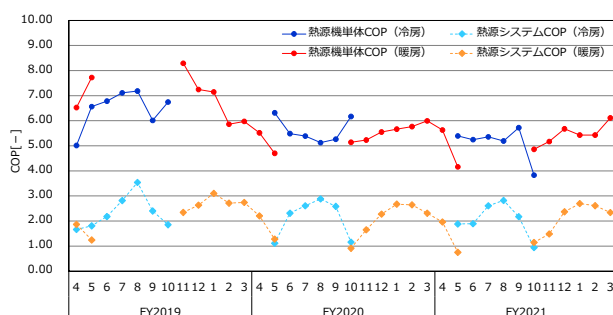


図-16 熱源単体およびシステム COP の月推移

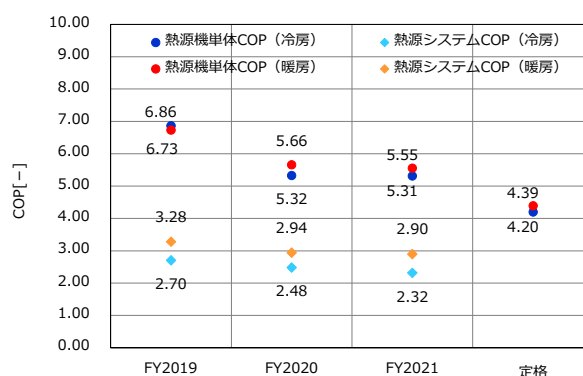


図-17 熱源単体およびシステム COP の年度推移

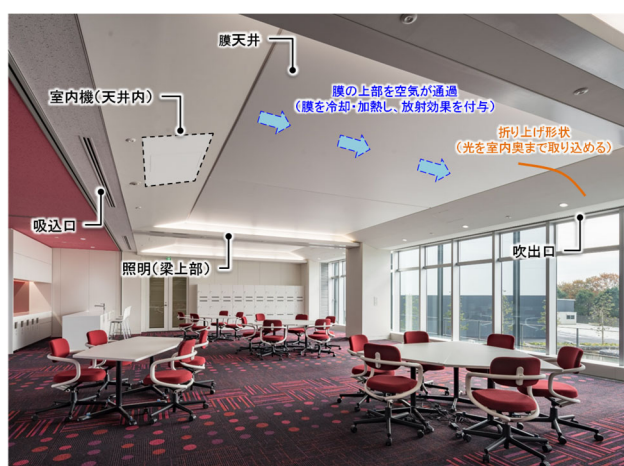


図-18 膜天井利用空気式放射空調（2 階）

室内機を設置し、膜の上部を空気が通過することにより、膜材自体を冷却・加熱し放射効果を得られる空調方式とした。また、天井を折り上げ形状とすることで、

南面のハイサッシュからの採光を室内奥まで取り込めるよう配慮した。

(2) 評価

図-19 に冬期の断面温度分布を示す。測定は外皮からの日射の影響がない冬期の夜間に実施し、窓面から0.5m 毎に移動計測を実施した。断面温度分布より、温度むらがなく、均一な温度となっていることを確認した。床近傍においても 20.5℃程度と上下温度差も小さい環境が形成できていることを確認した。

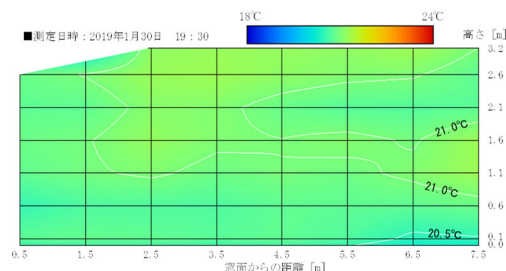


図-19 冬期の断面温度分布



図-20 免震ピットへの室外機設置状況

3.5 免震ピットを利用した空調機効率化³⁾

(1) 技術概要

図-20 に本建物 1, 2 階用の空冷パッケージ型空調機(ビル用マルチエアコン) 室外機の免震ピットドライエリアへの設置状況を示す。従来、免震ピット階を給気経路として利用するクールピットの事例は多いが、ピット内の臭気やカビの対策が課題となる事例がみられる。また、エアコン室外機は複数台の室外機が屋上等の限られたスペースに集中設置されることが多く、自他の室外機排熱がショートサーキットし効率低下を招いている事例が見られる。本件ではエアコン室外機をドライエリアに設置し、ピットを経由した空気を室外機の吸い込みとすることで、ショートサーキットの抑制とともに地盤と躯体の蓄熱効果を利用して高効率化を行った。

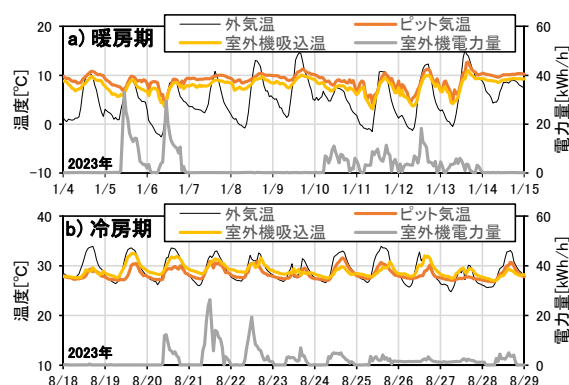


図-21 暖房期、冷房期の毎時の温度、室外機電力量

(2) 評価

図-21 に暖房・冷房期の各点温度と室外機毎時電力量の推移を示す。室外機吸込温は両期ともにピット気温に近く推移した。室外機電力量から、a)暖房期は休み明け 1/5, 6 朝は電力量 30kWh/h 超の最大出力相当で運転し、その後土休日明け 1/10~13 は弱めの連続運転がされたことが分かる。室外機吸込温は、休み明け 1/5, 6 の暖房運転後には外気温同等まで低下し、その後土休日の室外機停止時は終日約 10℃と外気温の日平均より 5℃程高め、1/10~13 連続低負荷運転時の夜~明け方は外気温より 5℃程高く推移した。b)冷房期の室外機吸込温はピット気温同等の 29℃前後で推移し、昼は外気温より 2~5℃低い傾向が見られた。

図-22 に室外機連続運転時(毎時電力量が定格比 10%以上(2.7kWh/h) 時とした)の外気温と室外機吸込温の相関を示す。外気温 21℃を境として 2 つの集団が現れ、それぞれが暖房時、冷房時の特性と見られる。暖房時は外気温 5℃以下、冷房時は外気温 25℃以上の時、室外機吸込温が外気温より高く、室外機の高効率運転に有利となる傾向が確認された。また、外気温が 0℃以下や 35℃以上の厳冬・酷暑時は約 5℃有利であった。

これら実測結果と室外機効率等のメーカー公表値に基づく理論値を用い、本計画による室外機電力の削減

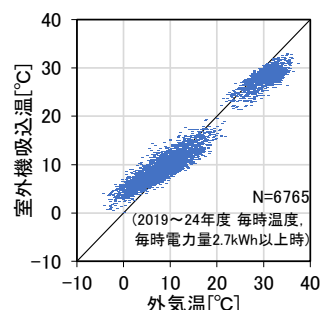


図-22 室外機連続運転時の外気温と室外機吸込温の相関

表-4 ピット利用効果推計の計算ケース

ケース	室外機吸込温	備考
C1	ピット気温(実測値)	—
C2	外気温	ショートサーキットが無い状態
C3	外気温±3℃ ※	同上が有る状態を既往文献を参考に設定

※外気温が冬 0℃、夏 35℃時に±3℃、21℃時に±0℃とし線形補間した。

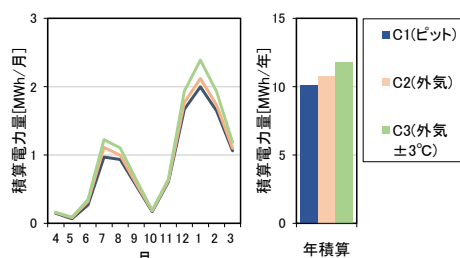


図-23 推計積算電力量の比較 (2022~2024 年度平均)

効果を推計した。表-4 に推計を行った 3 ケースを記す。室外機吸込温を実測値としたケース C1 に対し、外気温とした C2, 多少のショートサーキットがある通常ビルを想定した C3 について計算した。

図-23 に室外機電力量推計値の月別値と年積算値を示す。本計画 C1 は 7, 8, 12~3 月に電力量が減少し、室外機の屋上集積時を想定したケース C3 比で 0.85, ショートサーキットが全く無いことを想定したケース C2 比で 0.94 であった。免震ピットの蓄熱効果を活用した本報の室外機配置計画により、▲6~15%減の効率向上が期待されることを確認した。

3.6 タスク&アンビエント照明

図-24 にタスク&アンビエント照明を採用した執務室の様子を示す。各デスクにはタスク照明を配置し、利用者が必要に応じて使用することで、アンビエント域の照明は、基準照度を 500 lx とした。さらにアンビエント照明はエリア毎に設置した画像センサと連動することで、不在エリアの消灯を行い、照明消費電力の削減している。評価は 5.2 節に記す。



図-24 タスク&アンビエント照明 (3 階)



図-25 LEED 認証

4. 外部認証制度における評価

計画段階において各種認証制度の取得をした。BELS 評価 (建築物省エネルギー性能表示制度) では★★★★★で『ZEB』, CASBEE (建築環境総合性能評価システム) においては S ランクを取得した。また、国際的な環境性能評価システム「LEED V4 BD+C NC」では、既存緑地の保護, ZEB 化と知的生産性の両立, 室内快適性の向上, eco 建材の活用などを行うことで、高く評価され、国内第一号 (2019 年 2 月時点) でブラチナ認証を取得した (図-25)。

計画から運用開始後にかけては、様々な表彰制度 (表-5) からの評価を得た。特に、一般社団法人建築設備技術者協会が主催する第 9 回カーボンニュートラル賞では、「今後のオフィスの在り方の参考となる多様な試みとともに、大幅な CO2 削減を達成したこと」が評価され、カーボンニュートラル大賞を受賞した。

表-5 各種表彰制度

表彰制度	主催	受賞	受賞年
第 18 回 建築・設備デザイン賞	一社) 建築設備総合協会	入賞 (建築・設備統合デザイン部門)	2020
2020 年度 省エネ大賞	一財) 省エネルギーセンター	資源エネルギー庁長官賞 (省エネ事例部門, 業務分野)	2020
第 9 回 カーボンニュートラル賞	一社) 建築設備技術者協会	カーボンニュートラル大賞 (カーボンニュートラル賞, 関東支部)	2021
令和 3 年度 新エネ大賞	一財) 新エネルギー財団	審査委員長特別賞	2022
第 1 回 SDGs 建築賞	一財) 住宅・建築 SDGs 推進センター	審査委員会奨励賞 (大規模建築部門)	2023

5. エネルギーの計画値と運用実績

5.1 計画値

図-26 に計画値の ZEB チャートを示す。Web プログラムでの計算値は、基準値 1,081 [MJ/m²・年] に対して、設計値は 516 [MJ/m²・年] と 52%省エネとなった。併せて太陽光発電による創エネが 549 [MJ/m²・年] となり『ZEB』となった。

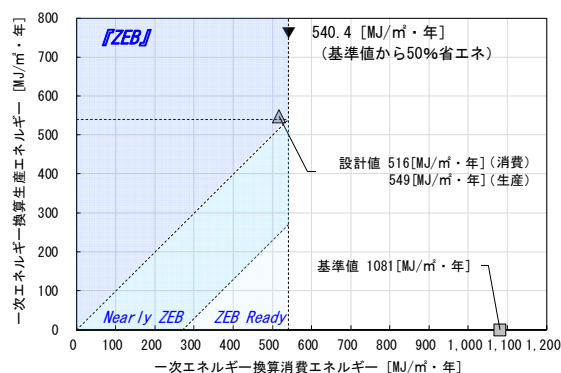


図-26 計画値 (ZEB チャート)

5.2 電力評価

(1) 照明

図-27 に 2019 年度と 2021 年度における照明消費電力の実績値を示す。1 F は会議室中心の室構成のため、コ

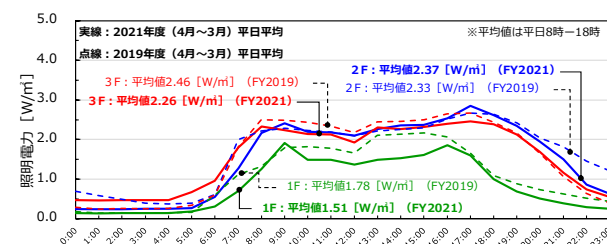


図-27 照明消費電力 (2019 年度・2021 年度)

コロナ禍でテレワークによる出勤率減やオンライン会議中心となったことにより、2021年度の平均は1.51W/m²と2019年度と比較して減少した。一方で2Fと3Fは執務室中心であり、2021年度は出勤率が減少しているものの、執務者が分散して執務室を利用していることで消費電力の変化は少なく、2.3W/m²程度となった。

(2) 代表日の用途別電力消費および発電状況

図-28に各季節における代表日の用途別消費電力と発電量の推移を示す。図上段より、夏期、冬期、中間期を示し、代表日は日積算日射量が多く天候が良いと思われる日を選定した。季節を問わず、空調・換気用途の消費電力が多いこと、照明消費電力はLED照明の採用により些少であることを確認した。夏期は、夕方にかけて消費電力が増加し、消費電力の少ない午前中において太陽光発電の余剰分が発生していることがわかる。一方で、冬期は朝の空調立ち上がり時においてピークが発生し、その後なだらかに減少するが、夏期と比較して空調用途の消費電力が大きいことを確認した。中間期は、自然換気を実施していないが、空調用途の消費電力が他季節と比較して少なく、太陽光発電の余剰電力が多く発生した。これより、自然換気運転の実施や空調システムのさらなる運用改善により空調用途の消費電力を削減することが重要だと示唆した。

(3) 消費電力の月推移

図-29に用途別月積算消費電力量と月平均外気温度の月推移を示す。空調用途の消費電力が最も多く消費電力の5割程度を占め、次いでコンセント用途の消費電力が多いことを確認した。照明消費電力は、照明のLED化により全体の1割程度となった。新型コロナウイルス感染拡大の前後（2019年度と2020年度・2021年度）を比較しても、消費電力量に大きな差はないが、空調用途において若干の増加傾向が見られる。これは、感染防止対策として換気量を増加させたことや、冬期における人体負荷減少による暖房負荷の増加が要因と考えられる。また、照明・コンセント用途については、出勤率制限により利用者は減少しているが、定常的に稼働している機器（サーバやデジタルサイネージ）が多いこと、執務者が分散することによる照明点灯範囲の拡大などの影響により微減となった。

(4) 太陽光発電システムの月推移

図-30に太陽光発電量の月推移および屋上パネルと壁面パネルの発電割合を示す。天候により発電量が変動するものの、安定して発電できていることを確認した。2020年8月は天候に恵まれ17,000kWh程度発電していた。上段のパネル設置場所による発電量割合を見ると、設置容量に差（屋上：壁面＝5：1程度）があるものの、季節によっては壁面パネルでの発電量が全体の2割程度を賄っていることを確認した。

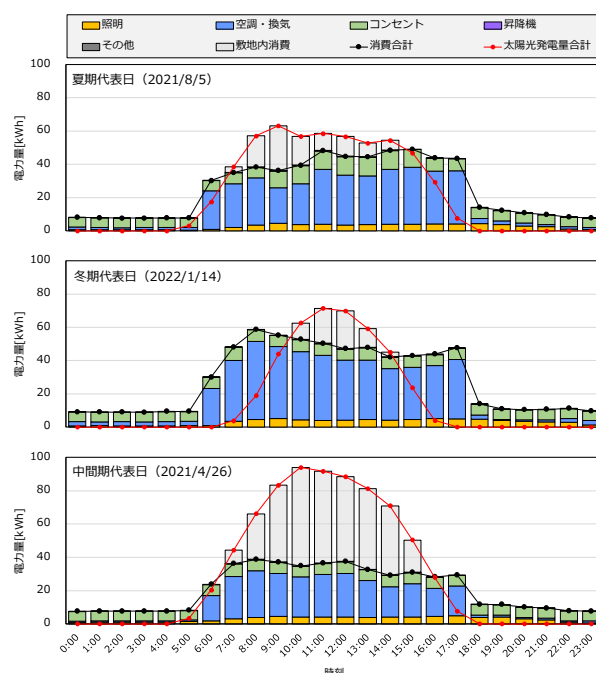


図-28 代表日の用途別消費電力・発電推移

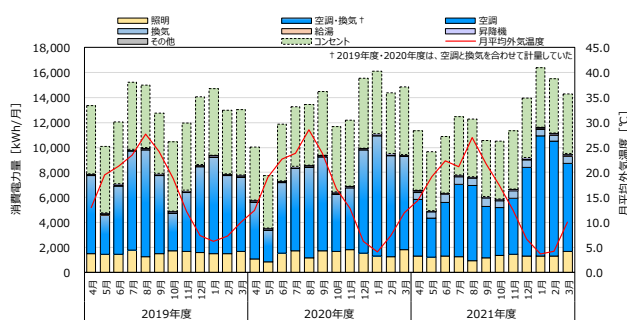


図-29 消費電力推移（用途別）

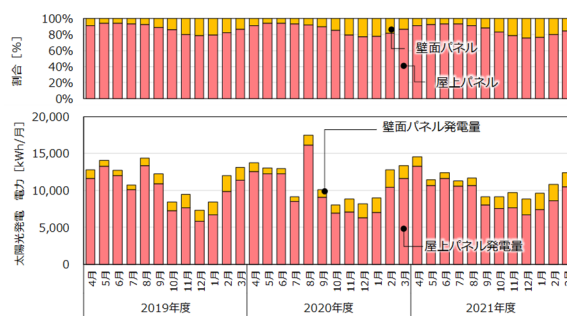


図-30 太陽光発電量の推移および発電割合

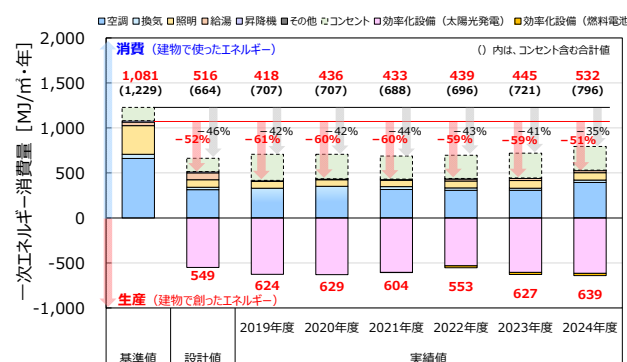


図-31 一次エネルギー消費量実績

5.3 一次エネルギー消費量・生産量の実績

図-31 に 2019 年度から 2024 年度まで 6 年間の一次エネルギー消費量の実績値を示す。なお、各図中には Web プログラムによる基準値および設計値を併記した。建物運用時間などにより補正はしていないため、一概に比較はできないが、基準値と比較して各年度ともに約 60% 減と設計値を上回る省エネ運用ができており、竣工後 6 年間に於いて『ZEB』を達成した。2024 年度においては、空調運転時間を 12h (6 時-18 時) から 14h (6 時-20 時) に変更しており、空調のエネルギー消費が増加した。太陽光発電 (効率化設備) による創エネルギーも設計値を上回る結果となった。図-31 には、参考としてコンセントを含む値を示しているが基準値に対して 35%~46% 減に留まっており、今後、空調設備のさらなる省エネ化や OA 機器の待機電力削減などを行う予定である。

5.4 BI ツールを用いたデータ活用と運用改善

本建物では、ZEB 評価を目的に日々の運用データが BEMS を介して計測・収集・蓄積されており、このデータを分析・運用へフィードバックすることは、ZEB の効果的な運用に有効である。しかし、高度なデータ分析は作業負荷が高くノウハウが俗人化し易いため、継続的な実施が困難という課題がある。そこで本施設では、BI ツールを用いて運用データを半自動で分析・可視化する環境を構築した。BI ツールには、Microsoft Power BI を用い、社内職員が Power BI Desktop を用いて自由に可視化画面を作成、Power BI Service を介して社内公開でき、施設の運用改善を効率的に推進することができる。

図-32、図-33 に BI ツールの画面例を示す。ともに 30 分間隔の積算電力量を、評価日とその前年のデータを時系列で併記したものであり、前者は積算値を時系列で表示、後者は累積値を時系列で表示している。図-32 は瞬間的な大小は直感的に判断可能だが、時間や日レベルの積算値の大小は直感的な評価が困難である。そこで、図-33 のように累積値を併記することで、時間や日レベルの積算値の大小も直感的に評価可能となる。同様のグラフを BI ツールで自動生成し、階やエリア、使用用途等の複数視点で確認していくことで日々の運用の良し悪しを直感的に評価、フィードバックできるよう図った。

6. まとめ

本報では、導入した技術の効果検証結果および竣工後 6 年間に於ける建物運用実績について報告した。導入技術の効果検証においては、水式放射空調を採用した執務室における外ブラインドによる日射遮蔽効果や室内環境に優れること、自然換気により空調消費電力の大幅な削減が期待できること、免震ピットの蓄熱効

電力量の比較 (30分積算電力)

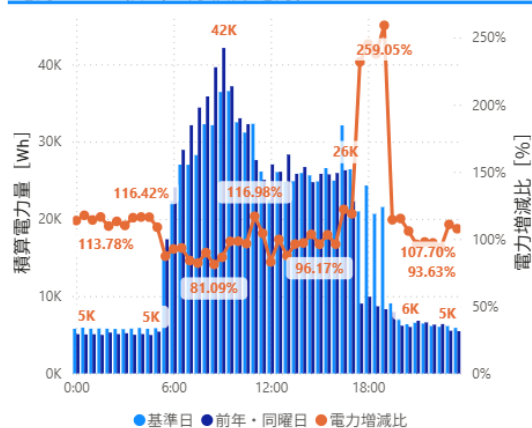


図-32 運用データの可視化例 (積算値)
日累積電力量 (30分積算電力)

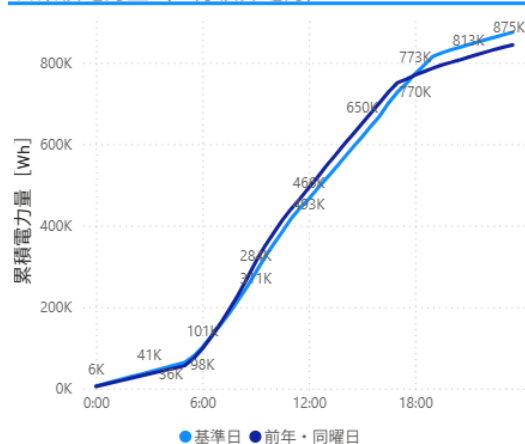


図-33 運用データの可視化例 (累積値)

果利用によりエアコン室外機の効率向上効果があること等を検証した。また、計画時と運用後における外部評価を記し、最後に竣工後 6 年間に亘り『ZEB』を達成したことを報告した。今後は、空調・熱源システムに関するデータ分析、運用改善の継続を通してさらなる省エネルギーに取り組むとともに、自社設計物件の技術展開に知見を活用していく。

参考文献

- 1) 稲田雄大他：中小規模事務所の ZEB 設計技術に関する研究 既存事務室における ZEB 改修概要と性能・エネルギー検証結果、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集、2018.9、pp.301-304
- 2) 仲井匠他：自然エネルギーを最大限に活用した中規模オフィスビルの ZEB 化に関する研究 (第 1 報) (第 2 報)、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集、2022.9
- 3) 佐竹晃他：自然エネルギーを最大限に活用した中規模オフィスビルの ZEB 化に関する研究 (第 5 報) 免震ピット利用による空調室外機の効率向上計画の長期評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集、2025.9