

# ZEBをもっと身近に<sup>®</sup>

## 特別な技術や高額な設備を用いず、ZEBと脱炭素を実現

白石晃平

企業の脱炭素経営に不可欠な建築物のZEB化ニーズが高まっている。来たる脱炭素社会を見据え、ZEBの普及拡大を目指し、実用オフィスビルの新築において、ZEB実現の課題であるコストの克服をはじめ汎用性・快適性等をそなえることで、波及性の高いZEBを計画した。設計から運用まで設計者と建築主の一体となった取り組みで、運用実績としてNearly ZEBを達成し、オフィス運用の脱炭素化を実現した。国内の大半を占める5,000 m<sup>2</sup>以下の中小ビルのZEB化を、特別な開発技術や高い費用をかけず、汎用技術による設計の工夫と運用で、経済的に可能とすることを実証した。

キーワード：脱炭素, ZEB, 普及, 経済性, 快適性, 汎用性, 簡便性

### 1. はじめに

2050年の脱炭素社会実現の取組が加速しているが、本プロジェクトの計画当時は(2016~17年)、パリ協定を受け、RE100参加企業の広がりなど企業活動における脱炭素化を見据えたZEBの民間ニーズが高まりつつあった。一方、ZEBの実現にはコストがかかり、投資に慎重になる事業者も多く、コストがZEB普及の課題となっている。

本建物は、市街地内に立地する、自動車内装部品の製造企業であるテイ・エス テック(株)の本社ビルの新築である(写真-1)。建築主とのパートナーシップにより、エネルギーデザイン&マネジメントのPDCAを設計から運用まで一貫して実施し、ZEBの社会普及と今後の脱炭素モデルの形成に資するZEBの実現に取り組んだ。



写真 小川重雄

写真-1 外観

表-1 プロジェクト概要

建物名	テイ・エス テック新本社ビル
建築主	テイ・エス テック(株)
設計施工	(株)竹中工務店
建物用途	事務所(新築)
建築地	埼玉県朝霞市
延床面積/規模	3,727m <sup>2</sup> 、地上3階・棟屋1階、鉄骨造
工事期間	2017年5月~2018年3月
実績データ	2018年4月~2020年3月

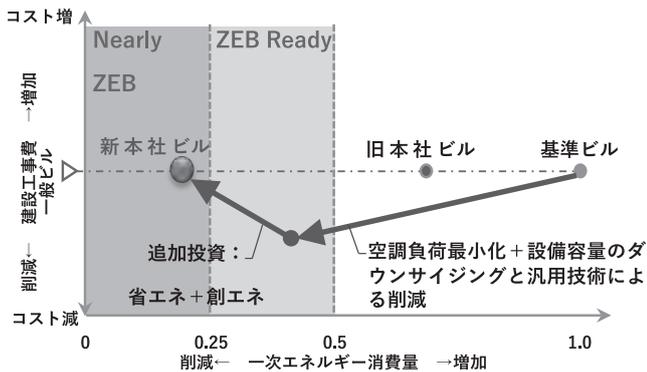
### 2. 取組概要

#### (1) ゴールの設定と達成ロードマップ

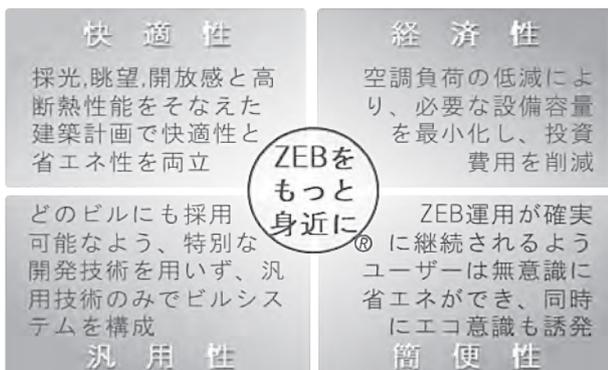
将来の脱炭素社会の姿を考えたとき、都市部や市街地では、最大限の省エネ・創エネによって建物のエネルギー収支を最小化したうえで、再生可能エネルギーを外部調達(買電等)する脱炭素モデルが主流となると考えられる。またZEBの普及には、一般ビルと同等以下のコストでZEB領域のビルを実現することがカギとなる。これら考察より本プロジェクトのゴールを「一般オフィスビルの建築費の平均以下でNearly ZEB オフィスを実現する」ことに設定した。達成ロードマップとして「建物負荷を最小化して設備容量をダウンサイジングしエネルギー消費量と投資コストの両方を削減→その削減費用で更なる省エネ+創エネを行う」計画とした(図-1)。

#### (2) 計画のコンセプト

ZEBの普及に向けて「ZEBをもっと身近に<sup>®</sup>」をテーマに掲げ、①快適性 ②経済性 ③汎用性 ④簡便性



図一 1 ゴールの設定と達成ロードマップ



図一 2 計画のコンセプト

の4つをそなえたZEBであれば、より多くの顧客に採用され広く社会に普及すると考え、この4点を普及型ZEBとしてのコンセプトに設定し計画した(図一2)。

(3) 運用時の取組み

ZEB運用の継続を目的とし、運用開始後1年間(2018年4月~19年3月)、設計者と建築主で「エネマネ会議」を月例で実施し、エネルギー実測データに基づき、目標値に対する達成度合いを管理した。目標値を超えた負荷を中心に、空調・照明の発停スケジュールや空調温度の再設定等、設備システムのチューニングとビルの運用改善にフィードバックするPDCAサイクルを回した。

3. 取組詳細と効果検証

(1) 負荷の最小化と空調機器のダウンサイジング

外皮負荷(外壁・窓からの熱貫流及び日射取得)、外気負荷、内部発熱(照明・コンセント)を低減することで(詳細下記)オフィスエリアの空調負荷を98.8 W/m<sup>2</sup>に抑制し(図一4)、エネルギー消費の主因となる熱源機器(高効率パッケージエアコン(以降PAC)屋外機)容量を113 W/m<sup>2</sup>(延床面積比)とした。同規模の一般オフィスビル比で機器容量を

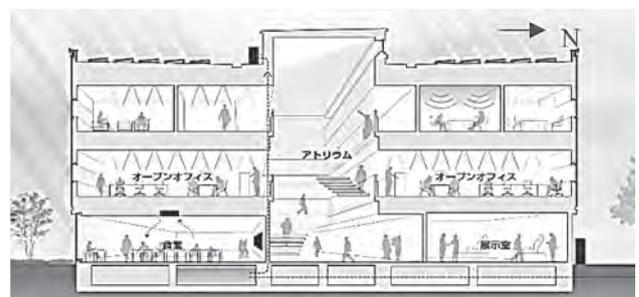
34%、空調設備工事コストを25%(当社比)それぞれ削減した(図一5)。省エネ効果は当対策が最も寄与度が高く、設計ベースで全体の37.4%のエネルギー削減に寄与した。以下に詳細を示す。

(a) 建築計画と高効率外皮(快適性と両立)

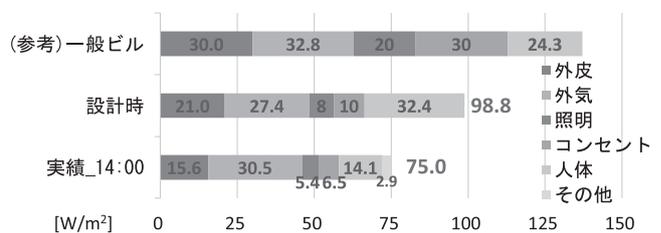
建物は南北面に間口を広げて配置し、外装は高性能断熱パネルと南北の横連窓(南面Low-E複層ガラス)で構成することで、外壁全体の熱貫流率を0.9 W/m<sup>2</sup>Kに抑制した。開口部はほぼ南北面のみとして窓面積は快適な眺望と十分な採光が得られるサイズに抑え、ピーク日射負荷を抑制した。ハイサイドライトより自然光を取込んだアトリウムでオープンオフィスを挟む内部空間とし、窓面積を抑えても開放感の感じられる快適な室内空間を生み出した(図一3)。眺望・採光・開放性を確保しつつ、ペリメータの外皮負荷を最小化し、BPI値0.7を達成している。

(b) 外気負荷の低減

オフィスエリアは実使用人数150人であり将来最大200人にも対応を可能とする設計要件であった。建築主との討議により、将来200人収容の場合もほぼ在籍率100%とならない使い勝手が確認できたことから、実使用人数に対し30 m<sup>3</sup>/h人、最大人数で25 m<sup>3</sup>/h人がともに確保できる風量設定として、換気量が過大に



図一 3 新本社ビル断面イメージ



図一 4 オフィスエリア空調負荷 W/m<sup>2</sup> (延床面積比)



図一 5 熱源設備容量(延床面積比)と費用比較

ならないよう配慮し、空調負荷低減を図った。

(c) 照明負荷の低減

オフィスエリアは机上面設計照度 500 Lux とし、照明は全館 LED で高効率ライン型器具 (149 lm/W) を基本とした。昼光利用による照明の出力制御も行った。これによりオフィス部分の照明による空調負荷を 8 W/m<sup>2</sup> に設定し、運用実績は昼休みを除くコアタイム 9:00~18:00 で年平均 4.9~5.6 W/m<sup>2</sup> となった。

(d) コンセント負荷の低減

新本社への移転に伴う最新ノート PC への切替えを踏まえ、また類似オフィスのコンセント負荷の実態調査も行い、オフィス部分のコンセントによる空調負荷を 10 W/m<sup>2</sup> に設定した (一般には 30 W/m<sup>2</sup> 程度)。運用実績は、コアタイムで年平均 3.4 ~ 6.5 W/m<sup>2</sup> で推移した。

(e) ダウンサイジングによる省エネ効果の検証

今回、空調負荷を小さくした分、熱源容量をダウンサイズして実装したが、仮にダウンサイズしなかった場合を仮想 PAC として、電力消費量を比較した。PAC は負荷率が 20% を下回ると COP の悪化が実測から判り (図-6)、仮想 PAC では低負荷率運転時間が長くなることから (図-7)、結果、通年で 10% ~ 17% 電力消費量の増加が認められた。空調負荷を削減し、それに応じて空調機器の容量も低減することで、機器の高効率運転につながり、効果的にエネルギー削減が行えることが確認できた。

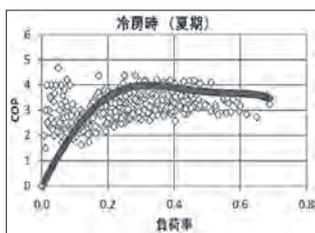


図-6 COP- 負荷率相関実績

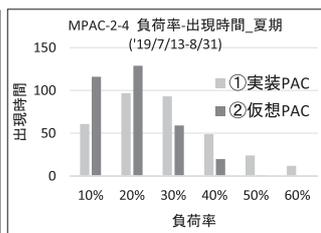
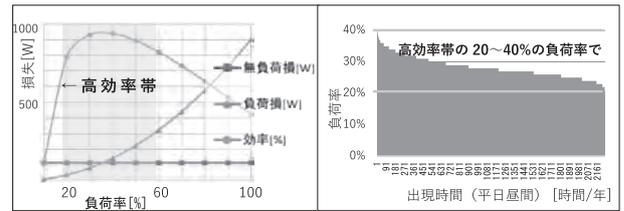


図-7 各負荷率帯の出現時間

(2) 変圧器容量のダウンサイジングと高効率運転

変圧器は超高効率型を採用し、上述の空調設備容量・照明・コンセント負荷の低減により、変圧器容量の適正化を図った (電灯 100 kVA, 動力 300 kVA, 延床面積比 107 VA/m<sup>2</sup>)。これにより平日昼間の電灯用変圧器の運転実績は、高効率帯である負荷率 20~40% で推移し (図-8)、年間を通して高効率運転が行えた。受変電設備全体における損失の年間実績は 3.6% で低水準となった。また、変圧器容量の低減で、受変電設備工事費は一般オフィスビル比で 31% 削減となった。



100kVA 電灯用変圧器 仕様 100kVA 電灯用変圧器 負荷率の実績 (平日昼間)

図-8 変圧器の高効率運転実績

(3) PAC 屋外機の潜熱冷却

PAC 屋外機に散水を行い (メーカー付属既製品)、潜熱冷却効果による高効率化を図った (外気温が 30℃ 以上で散水自動運転)。散水部分の屋外機表面温度は散水の無い部分に比べ 10℃ 程度低減され (図-9)、屋外機の処理熱量は 10% の処理熱量の増加が確認できた。散水には雨水再利用水を利用し、上水使用量も抑制した。



図-9 サーモカメラによる屋外機表面温度実測

(4) 空調・照明の在不在制御とワイヤレス化

フレックス制の導入など様々な働き方に対しても省エネ運用が可能なよう、赤外線アレイセンサ (市販の赤外線感知型画像センサ) を用い、人の在不在によって空調・照明を細かいエリアごとに自動発停し、ビルユーザーが無意識のうちに省エネ運用が行えるシステムとした。照明制御は全てワイヤレス化し、電工工事における労務工数を 18% 削減し施工の省人化にも寄与している。

(5) 外気導入制御

オフィスエリアは、全熱交換器の付属機能を活用して室内の CO<sub>2</sub> 濃度により外気導入量を抑制した。換気量大きい厨房の給排気ファンはインバータを搭載して仕込みや片付け等の火気不使用時には換気風量を半減する運用とし、換気動力及び空調負荷を 54% 削減した。エネマネ会議を通じて風量半減モードの利用を定着させた。

(6) 積極的な階段利用の誘発

動線を中心となる建物中央部のアトリウム部分に

オープン階段を計画し、各階への移動はほとんど階段利用の運用となった。階段利用を誘発した建築計画により昇降機エネルギー消費量は基準ビル比 69%削減となった。

(7) 省エネ達成度と屋外快適性のリアルタイムモニタリング

確実に省エネ運用が継続されるよう、省エネ達成度をサイネージ画面とエコランプ(オフィス各所に設置)の点灯によってリアルタイムにワーカーに知らせ、省エネの目標値管理を行いやすくするほか、ワーカーに日頃から働き方とエネルギーの関係を意識してもらえよう省エネ行動を促している(図-10)。またサイネージには外の快適度も表示し、リフレッシュ等での屋外活用も促した。市販のマルチ気象計を用い、実測データ(温度・湿度・日射量・風向・風速・降雨)から演算したSET\*(標準新有効温度)の値より屋外の快適度を表示する仕組みとし、どのビルにも導入可能なよう汎用化している(図-11)。



省エネ達成 目標オーバー  
ECO I 節電してください  
ランプ消灯 ランプ点灯

図-10 サイネージとエコランプ

図-11 屋外快適度お知らせ

(8) 太陽光発電量の最大化と経済性の両立

屋上に 87.9 kW の高効率太陽光発電パネルを設置して 88,000 kWh/年の発電量を計画し、2018年度は 101,432 kWh (273 MJ/m<sup>2</sup>) の実績を得、年間電力自給率は 44%となった。一般に設置角は 25°~30°が最も発電効率が良いが、発電量シミュレーションを行いパネル同士の陰の影響の少ない 5°で設置した(図-12)。屋根のシート防水と一体で溶着する専用ディスクを用いることで架台レス化した(図-13)。これにより、限られた面積で発電量を最大化しつつパネル設置費用を 20%低減した。架台レス化により耐風圧を軽減でき、外部からの視線カットにもなり、安全性と意匠性も向上している。

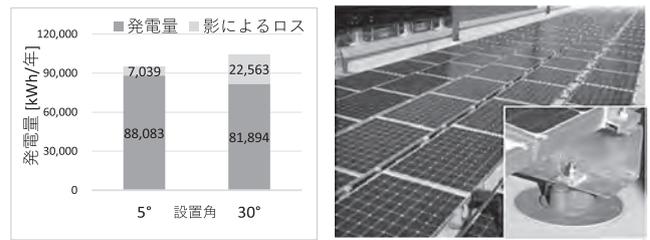


図-12 太陽光発電量シミュレーション

図-13 屋上の太陽光発電パネルと専用ディスクによる架台レス化

(9) ゼロウォータービルに向けて

エネルギーに加え水使用量の削減にも取り組んだ。屋外機散水、トイレ洗浄、外構散水は、雨水再利用水を濾過・滅菌して使用し、大便器は超節水型(3.8L/回)を採用した。2019年度の水使用量実績値は旧本社ビルから 35.5%削減、上水使用量は 63.5%の削減となった(図-14)。年間の上水補給水量は 1m<sup>3</sup>と、雑用水のほぼ全量を雨水利用できたことを確認した。

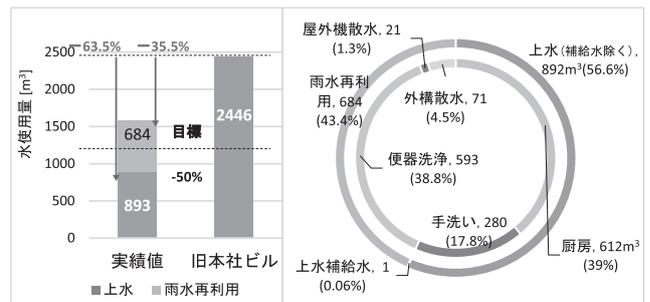


図-14 水使用量実績 (2019年度)

4. コスト評価

本建物及び当社の類似規模・用途のビル (= ZEBでない一般オフィスビル)における、全体工事コストとそのうちの設備コスト(太陽光発電設備含む)を図-15に示す。設備機器のダウンサイジング及び汎用技術の展開を中心としたコスト低減の取組みにより、一般ビルの建設コスト以下で ZEB を実現できたことを確認した。

本建物で採用した主要要素技術のうち導入費用としてコストインパクト(増または減)のあったものについて、設備工事費全体を 1とした場合のインシャルコスト指数を計算した(図-16)。マイナス値は削減効果を示す。熱源機器容量の削減効果が最も大きく\*、当削減及び変圧器容量の削減分を太陽光発電や赤外線アレイセンサ等の各エネルギー削減技術の導入による

\*熱源容量削減は、冷媒蒸発温度制御を含む高効率型機器の採用による増額分の相殺を導入費用に、同採用の効果を運用コストに、それぞれ算入。

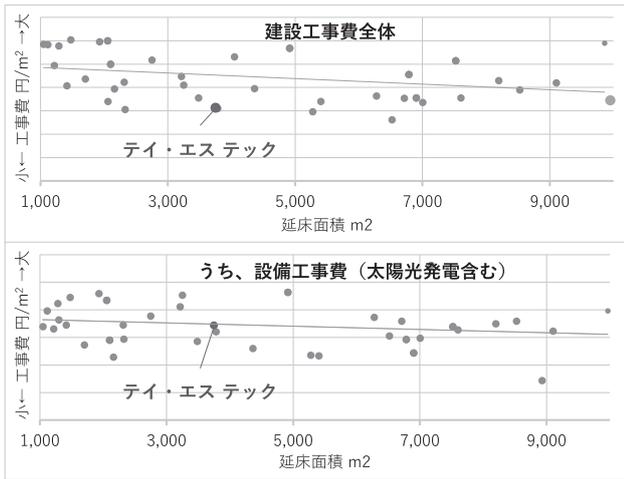


図-15 本建物と類似案件の工事費比較

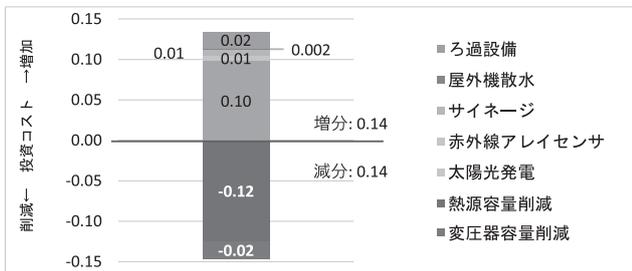


図-16 主要 ZEB 化設備のイニシャルコスト指数 (設備工事全体=1)

追加費用に充当し、コスト増減をバランスしていることを確認した。

## 5. エネルギー収支

### (1) 設計時 (BELS 認証の取得)

以上の取組により年間一次エネルギー消費量 (建築物省エネ法評価分) は、基準ビル 1,107 MJ/m<sup>2</sup> に対し、新本社ビルは 234 MJ/m<sup>2</sup> となり 78.9% 削減できた。建築物省エネルギー性能表示制度 (BELS) において、Nearly ZEB (BEI\*5=0.22) を認証取得した (2018/1/4, 図-17)。更に、CASBEE 埼玉県において S ランクを取得し、総合的な環境性能においても



図-17 BELS 評価: Nearly ZEB

高い評価を得た。また CASBEE-WO (ウェルネスオフィス) 暫定版評価の試算においても S ランクとなり健康性指標でも高評価の結果を得た。

### (2) ZEB の実証 (運用時評価) と脱炭素化へ

2019 年度の建物全体の年間一次エネルギーの収支 (消費 - 発電) 実績は 384 MJ/m<sup>2</sup>, BELS 評価分で 133 MJ/m<sup>2</sup> (基準ビル比 87.9% 削減) となり、運用実績としても Nearly ZEB (BEI=0.121) を達成したことを確認した (図-18, 19)。

設備容量のダウンサイジングや汎用技術による設計と運用で中小規模ビルの ZEB 化が経済的に達成可能であることを実証した点が評価され、2019 年度省エネ大賞の省エネ事例部門で経済産業大臣賞を、第 8 回カーボンニュートラル賞で大賞を、それぞれ受賞した。

本社ビルでは買電分をグリーン電力に切替え、本社業務の脱炭素化を達成し、汎用技術等を用いることで特別な初期投資を行うことなく本社業務の脱炭素化を実現した事例となった。更に、テイ・エス テックの国内全事業所にて ISO 50000 を取得し、本社ビルの ZEB 運用の継続に加え、国内外の各事業所において体系的なエネルギーマネジメントを展開している。

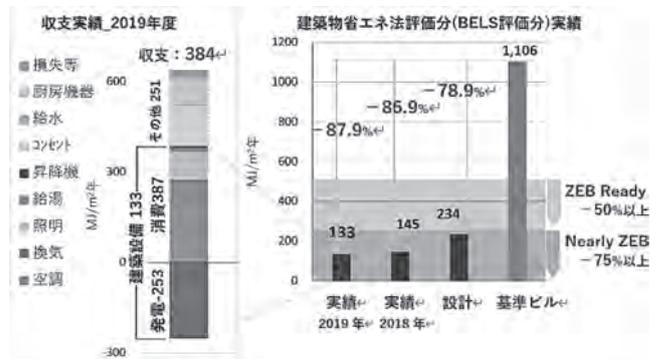


図-18 一次エネルギー収支実績 2019 年度

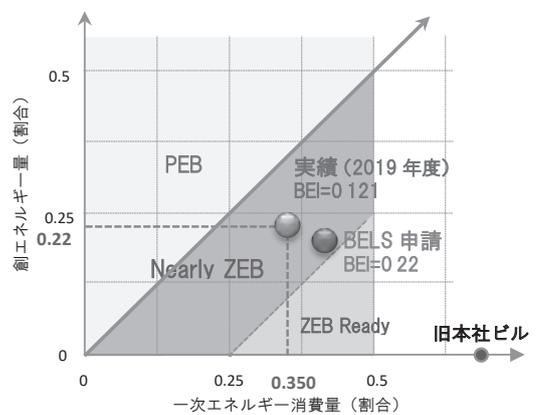


図-19 ZEB マップ

## 6. おわりに

我が国におけるエネルギーの海外依存率は90%を超え、その調達費用は税収の1/3にも相当する20兆円にのぼる。これは、企業活動や地域社会における持続可能性の低下、更には我が国の低い労働生産性を招く要因の一端となっていると考えられる。最近の不安定な国際情勢や為替変動による我々の暮らしへの影響を増幅する主因にもなっている。

これらの解決には短期長期ともに省エネが最も安価といわれている。一方、建築物や地域の省エネは、自動車や電化製品とは異なり、需要家（ビルユーザー）の努力による活動が中心となっており、専門でないことからその推進は進みにくく、民生部門のエネルギー削減の鈍化の要因となっている。建築物の設計者、特に設備設計者が専門的な見地に立ち、建築主とのパートナーシップにより、設計から運用までコストとエネルギーをデザイン&マネジメントし、経済的にZEBを実現していく本プロセスは、ZEBの普及と事業の脱炭素化における1つのモデルケースとなると実感している。建築物に留まらず、都市や地域のエネルギーの削減と自立に向けて積極的に関与し、持続可

能な脱炭素社会の構築に貢献していきたい。

設計時より運用時まで、多大なご協力を頂いた関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

JICMA

※ ZEB の定義（経済産業省資源エネルギー庁）

ZEB Ready：基準一次エネルギー消費量から50%以上削減（再生可能エネルギーを除く）

Nearly ZEB：上記に加え同75%以上削減

Net ZEB：上記に加え同100%以上削減

いずれもコンセント電力を除く数値で評価

### 《参考文献》

- 1) 白石, 他：新築実用オフィスビルにおける「普及型 ZEB」に関する研究（第1～第3報）空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2019, 2020
- 2) 田中, 他：既存オフィスの ZEB 化に関する研究（第1～第6報）空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2017
- 3) 藤川, 他：OA 機器更新に伴う内部発熱減少の実証と空調熱負荷の変動 日本建築学会技術報告集第21巻, 2015

### 【筆者紹介】

白石 晃平（しらいし こうへい）  
 ㈱竹中工務店 東京本店  
 設計部 設備部門  
 シニアチーフエンジニア

