

都市部の高層事務所ビルにおける ZEB の実現「近畿産業信用組合本店」

Study on net Zero Energy Buildings in Urban Areas Office Tower「Central Branch of Kinkisangyo Shinkumi Bank」

大成建設株式会社関西支店設計部

TAISEI CORPORATION, Kansai Branch, Design Department

永吉敬行

Takayuki NAGAYOSHI

キーワード：ZEB (Net Zero Energy Building)、都市型高層ビル (Urban Areas Office Tower)、ダブルスキン (Double Skin Facade)、再生可能エネルギー (Renewable energy)、顕熱交換器 (Sensible Heat Exchanger)

1. はじめに

従来の ZEB を達成した建築の多くは郊外型低層タイプで、外壁率が低く日射負荷等の外乱が小さい。さらに郊外にあるため十分な敷地と建物広さが確保されており、先進的な再生可能エネルギー・未利用エネルギー技術等の導入により省エネルギー・創エネルギー効果を得やすい。一方、都市型高層タイプは外壁率が高く、高層であるために空調等の搬送動力が増大し、ZEB 達成の難度が上がる。都市型高層タイプでの ZEB の普及を目的とし、都市型高層タイプの事務所ビルにおいて、各種の省エネルギー技術を積み重ねることで ZEB Ready を達成した建物を構築したので、その報告を行う。

2. 建築・設備概要

外壁に全層型のダブルスキンを用いたシンボリックな外観デザインにより、地域のランドマークとなる建物を目指した。図 1 に配置図、表 1 に建物概要、写真 1 に建物外観を示す。外皮は日射負荷に配慮し西面に開口部を設けず、南・東面に設けた開口部はダブルスキン構造とし、室内空間の快適性を確保しつつ外壁の高断熱化を行う計画とした。

図 2 にダブルスキン概念図を示す。ダブルスキンのインナースキンは Low-E 複層ガラスとし、インナースキンとアウトースキンの中間層内に太陽追尾型電動ブラインドを設置し、日射・外気による熱負荷の低減を図った。

図 3 に主な導入技術を示す。持続可能な都市型高層 ZEB の実現をコンセプトとして、多くの技術を計画に取り入れた。



図 1 配置図

表 1 建物概要

所在地	大阪府大阪市
敷地面積	1,134.39m ²
建築面積	658.76m ²
延床面積	11,335.38m ²
構造	鉄骨造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）
階数	地上18階、地下1階、塔屋1階
建物用途	事務所（金融機関本店）
竣工	2019年1月



写真 1 建物外観



図 2 ダブルスキン概念図



ZEB30L-00014-P

図 4 ZEB
リーディング・
オーナー登録票



図 5 CASBEE
Sランク登録票



図3 主な導入技術

本計画では、一次エネルギー消費量を基準建物である約 1,167MJ/年 m² から省エネルギーのみで 60%以上削減の 458MJ/年 m² (創エネルギーを含む場合は約 454MJ/年 m²) とした計画を行った。そして、(一社)環境共創イニシアチブが定める ZEB リーディング・オーナー登録制度において、ZEB Ready (BEST BEI=0.39 (その他含まず、創エネルギー含む)) の登録を行った。(図4) さらに都市部の高層事務所ビルで ZEB Ready を目指した取り組みについて、波及性・普及性が期待できるものと評価され、平成 28 年度 (第 2 回) サステナブル建築物等先導事業 (省 CO₂ 先導型) に採択された。その他に、総合的な建築物の環境性能評価である CASBEE S ランク (第三者認証) を取得している。(図5)

3. ZEB・省エネルギー技術の多様な採用と深化

3.1 ダブルスキン構造による高断熱化

図6にダブルスキンとシングルスキン (Low-E 複層ガラス) の外皮性能比較を示す。ダブルスキンはシングルスキンに比べて BEST-PAL* で約 6% 低く、外皮性能が高いことが分かる。なお、4~7月の BEST-PAL* は、シングルスキンはダブルスキンに比べて約 5% 低い、これは冷房負荷のある季節で室温より外気温が低い時に、シングルスキンの方が熱貫流率が高いために、冷熱が室内へ移動し執務室の冷房負荷が低減されるからである。

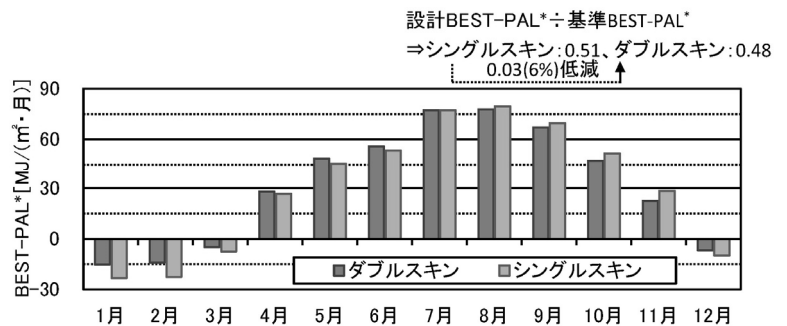


図6 外皮性能比較

表 2 にダブルスキンの方式比較（夏期想定）を示す。ダブルスキン形状を決定するにあたり、温熱・気流シミュレーションを実施した。全層換気型は上下開口型に比べて気流が速く、換気効率が向上しダブルスキン内の温度が低くなることが確認できた。そのため今回は、夏期に自然通風により温度上昇を低減できる全層換気型を採用した。

表 2 ダブルスキンの方式比較（夏期想定）

方式	(a) 上下開口型	(b) 全層換気型
温熱シミュレーション	<p>【方式概要】 建物の最上部と最下部の開口で外気との換気を行う。</p> <p>開口高さ L [mm]</p> <p>100mm 200mm ← 開口高さ (l)</p>	<p>【方式概要】 各ガラス上下で外気との換気を行う。</p> <p>開口幅 W [mm]</p> <p>300mm 450mm 600mm ← 開口幅 (w)</p>
	<p>温度 [°C]</p> <p>70 65 60 55 50 45 40 35</p>	<p>温度 [°C]</p> <p>70 65 60 55 50 45 40 35</p>

3. 2 外気導入量の最適化

図 7 に空調システム概念図を示す。屋上に設けた外調機から執務室内に外気処理した新鮮空気を供給し、パスタクトにて共用廊下へ導き、トイレや倉庫等からの排気を外調機に設けた全熱交換器へ戻して熱回収を行っている。カスケード換気（非居室への空調空気の 2 次利用）方式とすることで外気導入量を最適化し、外気負荷の低減を図った。トイレには天井埋込型のオゾン脱臭装置を設け、さらに外調機的全熱交換器はイオン交換樹脂吸着剤を利用した臭気移行防止型を採用することで、熱交換時の臭気対策を行い、快適性の向上と省エネルギーの両立を図った。さらに、執務室等への外気導入量は各室内に設けた CO₂ センサーによる変风量（VAV）制御や、照明と連動した定风量（CAV）制御とすることで最小风量制御を行い、外気導入量の最適化を図った。従業員食堂の厨房換気には未処理外気 40% と外調機による処理外気 60% を利用した、省エネルギー高効率給排気フードを計画した。未処理外気のエアーカーテン効果により、調理環境の快適性を確保しつつ、外気負荷の低減を図った。厨房フードは厨房機器の用途毎に、厨房機器の発停と連動した定风量（CAV）制御を行い、外気導入量の最適风量制御を行った。

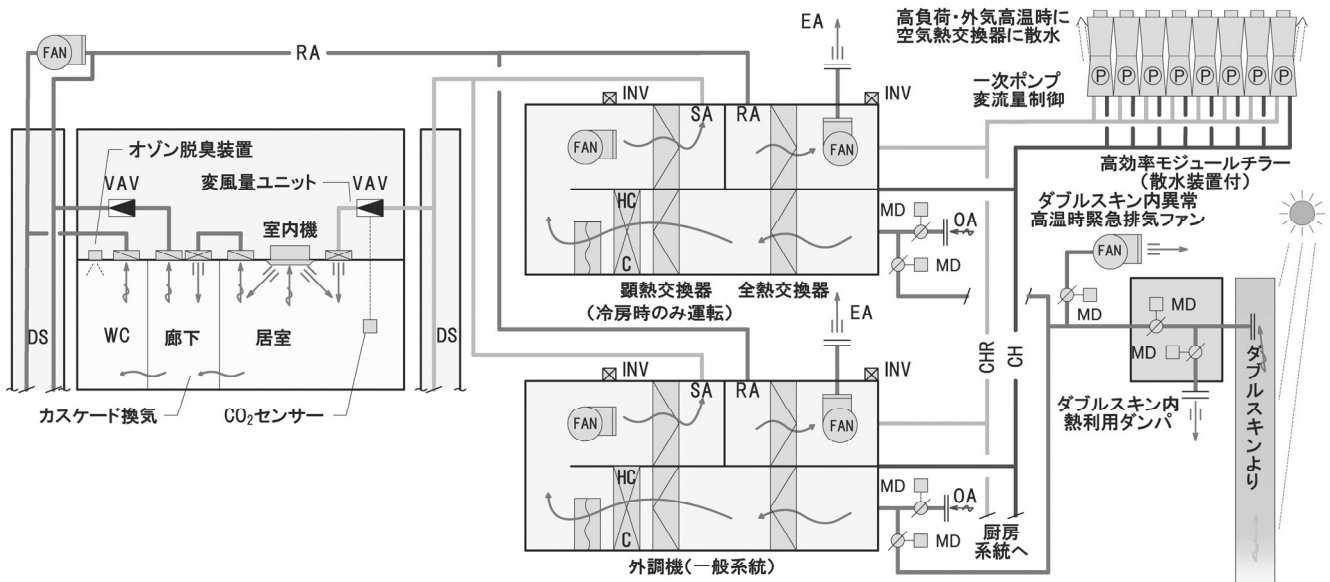
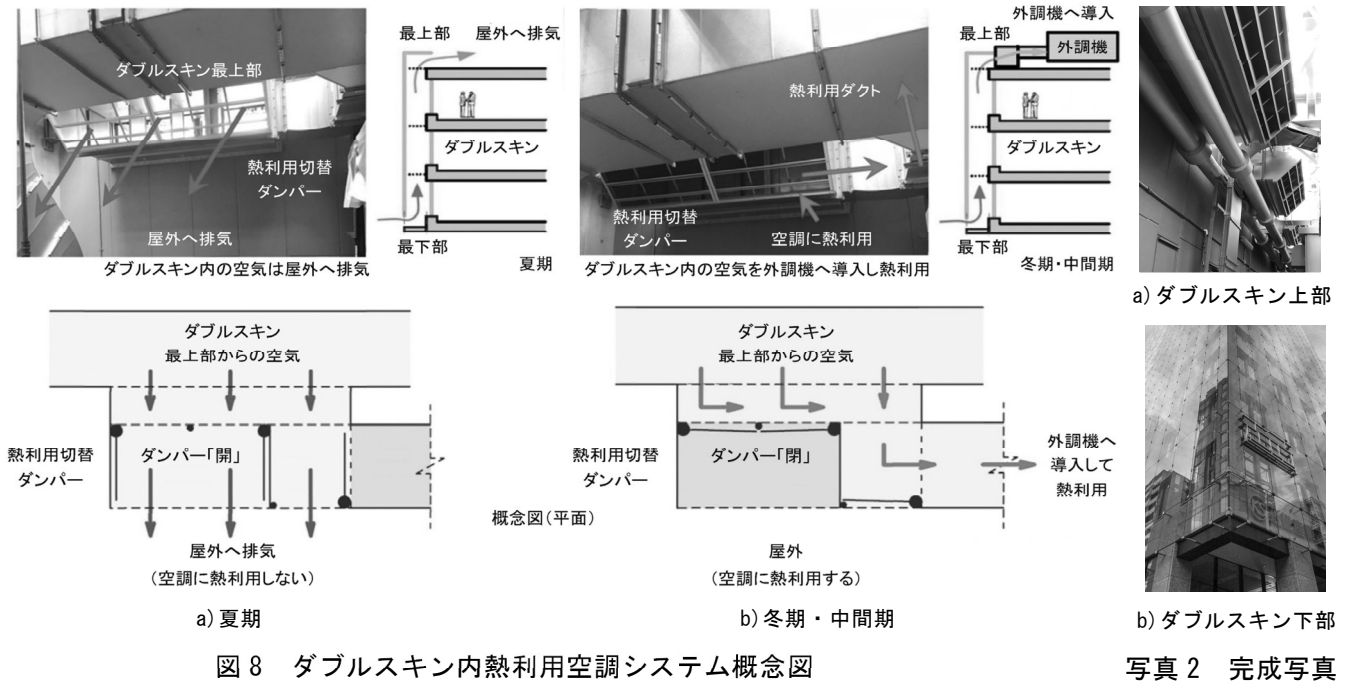


図 7 空調システム概念図

3. 3 自然エネルギーの有効活用

(1) ダブルスキン内の熱利用

ダブルスキン内の熱利用を行うために、ダブルスキン上部から外調機までダクトにて繋いでいる。夏期と冬期・中間期で空気の流れの切り替えを行うため、ダブルスキン上部に切り替え機構を設置した。通常、ダブルスキンの排気側出口形状は雨の侵入防止等の理由からガラリで構成されていることが多いが、ガラリ形状ではダブルスキン内の空気を直接外調機に導けない。そこで、ガラリの代わりに自然換気用の排気開口と外調機のダクト接続用の開口の両方の機能を有し、切り替え可能なダンパの開発を行った。形状は、ダンパ前面に自然換気用の開口、側面にダクト接続用の開口を設けた。ダンパはダブルスキン側に閉じる羽根と、屋外側に閉じる羽根で構成し、その間に可動式の仕切り板を設置することで、切り替えが可能な形状とした。図8にダブルスキン熱利用空調システム概念図、写真2に完成写真を示す。夏期は、ダブルスキン内の温度上昇を防ぐために、ダブルスキン内は自然換気により、屋外へ排気を行っている。一方、冬期は、冷たい外気をダブルスキン内で日射により昇温後、外調機へと導き、暖房の予熱として利用する。中間期は、冬期と同様にダブルスキン内の熱を外調機へと導き、過冷却除湿後の再熱エネルギーとして利用する計画としている。

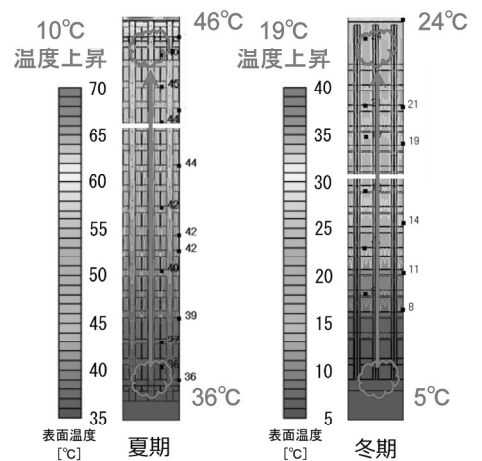


(2) シミュレーションによる効果の検討

ダブルスキン内の熱利用の効果を検討するため、温熱・気流シミュレーションを実施しダブルスキン内での温度上昇を確認した。図9にダブルスキン内の温熱・気流シミュレーションの結果を示す。夏期は外気温度約36℃から約46℃へ約10℃の温度上昇、冬期は約5℃から約24℃へ約19℃の温度上昇が確認できた。

(3) ダブルスキン内熱利用ダンパの形状の検討と実験

ダブルスキン頂部はダブルスキン内の自然換気のため通常、ガラリ形状が多いが、本建物は夏期と冬期・中間期で空気の流れを切替える熱利用ダンパを設置したため、自然換気の妨げとならないか抵抗の確認を1/2スケールモックアップを作成し行った。熱利用ダンパの内部抵抗を小さくするため、開口部面積を大きく確保し、抵抗を抑えられる形状とした。図10にモックアップ実験



の様子を示す。熱利用ダンパの抵抗は3.7Paで、通常ガラリ14.9Paに比べ約75%低減することが確認できた。

(4) 竣工後の実測結果

図11に2020年2月18日のダブルスキン内温度の経時変化を、図12にダブルスキン内の実測温度分布を示す。6~11時にかけて日射量の上昇に合わせてダブルスキン内の温度も上昇し、11時に外調機の外気取入温度はPH階外気温度に比べて約16.6℃温度上昇しており、実測においてシミュレーションでの温度上昇約19℃と同程度の効果が確認できた。図13に2019年2月(1ヶ月間の1時間毎)の日射量と温度の関係を示す。外気温度(1階)と日射量はほとんど相関がないのに対し、ダブルスキン内の熱利用時の外気取入温度と日射量はやや相関が見られる。ビル影の影響で、日射量と外気取入温度の上昇率にばらつきはあるが日射量の上昇に合わせて約5~20℃の温度上昇が確認できた。図14に隣接建物によるビル影の様子を示す。

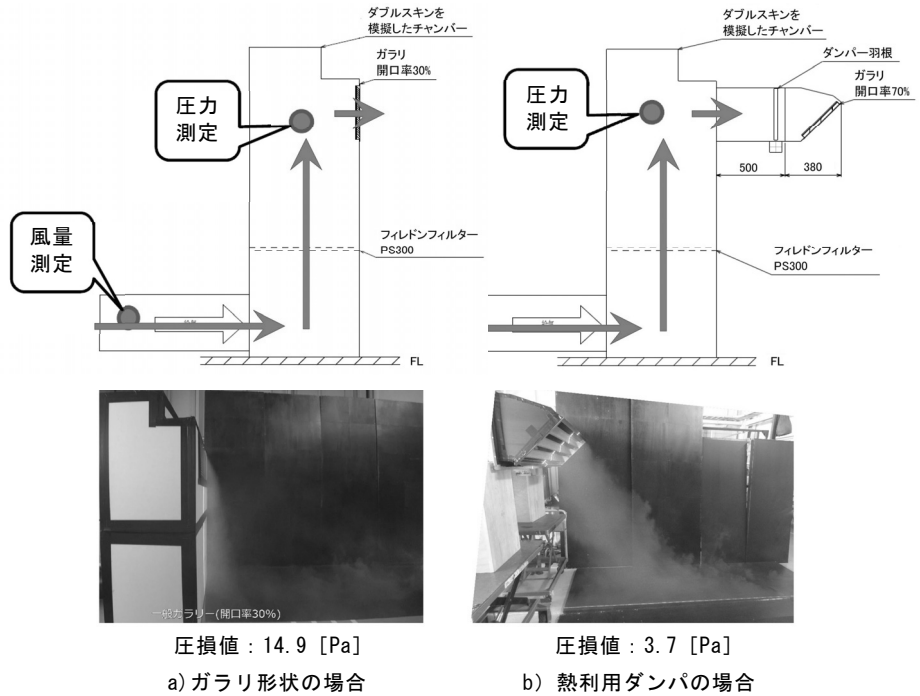


図10 モックアップ実験の様子

ヶ月間の1時間毎)の日射量と温度の関係を示す。外気温度(1階)と日射量はほとんど相関がないのに対し、ダブルスキン内の熱利用時の外気取入温度と日射量はやや相関が見られる。ビル影の影響で、日射量と外気取入温度の上昇率にばらつきはあるが日射量の上昇に合わせて約5~20℃の温度上昇が確認できた。図14に隣接建物によるビル影の様子を示す。

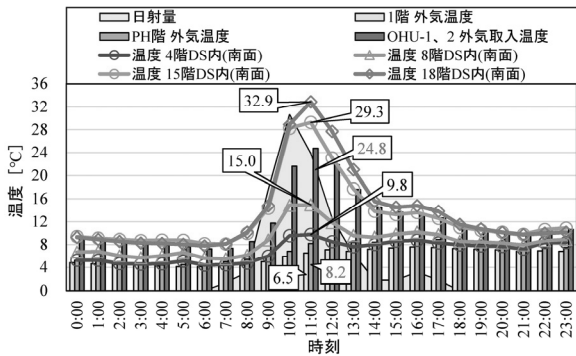


図11 ダブルスキン内温度の経時変化 (2020/2/18)

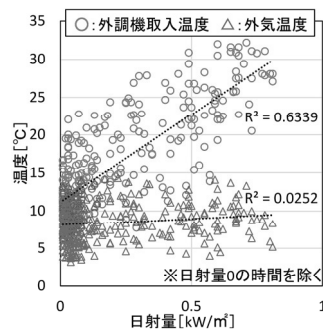
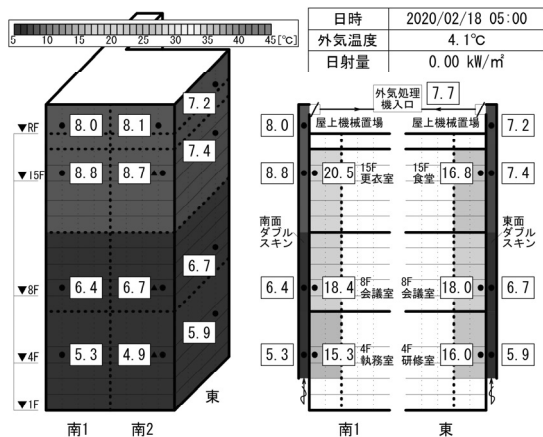


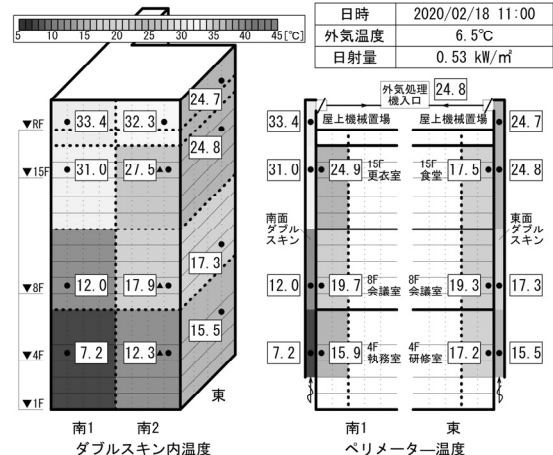
図13 日射量と温度の関係 (2019/2)



図14 隣接建物によるビル影の様子



a) 2020/2/18/AM5:00



b) 2020/2/18/AM11:00

図12 ダブルスキン内の実測温度分布 (2020/2/18)

4. 設備の高効率化による快適性を省エネの両立

4. 1 顕熱交換器による再熱

(1) 顕熱交換器による再熱空調システムの概要

図 15 に顕熱交換器による再熱空調システム概念図を示す。外調機には全熱交換器の他に冷房時に過冷却除湿後の再熱用に顕熱交換器を設置した。一般的に冷房時の過冷却除湿後には、吹き出し空気によるコールドドラフト防止のための再熱を行うことが多い。通常、再熱を行うための熱源やエネルギーが必要となるが、本計画では外調機の冷却コイル前後に跨る部分に顕熱交換器を設置し、冷却コイル前と後で顕熱交換を行うことで、除湿時におけるコイルでの冷却エネルギーを削減し、再熱エネルギーが不要なシステムを構築した。

(2) 空気線図フロー

空気線図フロー（図 15）は、①全熱交換器により新鮮外気と室内レターンが熱交換（a→b）、②顕熱交換器で過冷却後の空気と熱交換して冷却（b→c）、③コイルで過冷却し除湿（c→d）、④ファン発熱で温度が少し上がる（e→f）、⑤顕熱交換器で全熱交換器後の空気と熱交換をして再熱（f→g）となる。

(3) 中間期でのダブルスキン内の熱利用

図 16 に中間期でのダブルスキン内の熱利用概念図を示す。中間期で外気温度が低く、除湿要求のある冷房時に、顕熱交換器による再熱を行っても熱交換量が小さく、吹き出し温度が低くなる場合がある。そこで、ダブルスキン内の空気を少し取り入れて、外調機の入り口温度を加温することで、顕熱交換器での熱交換量を大きくして再熱し、吹き出し温度を上げる制御を導入した。

4. 2 人検知センサーによる最適照明制御

執務室の照明器具にはシステム天井用 LED 照明を採用し、設計照度 700lx（机上面）で計画した。器具は 136.9lm/W の高効率かつグレアを抑えたフラットな発光面の配光設計となっている（写真 3）。

照明制御は人検知センサーによる照明制御の他、昼光制御・照度一定制御を採用した（図 17）。人検知センサーによってリアルタイムに得た在席情報によって、照度を在エリアは適正照度で調光

（700lx）、不在エリアは減光（200lx）に自動制御することで、快適性と省エネルギーの両立を図った。さらに不在エリアを通り抜けた場合は、直ぐには調光制御を行わない通り抜け制御を行うことで、頻繁な増光や減光の繰り返しを防ぎ、執務者への不快感の抑制を図っている。

人検知センサーによる「在」、「不在」情報を BEMS に取り込むことで、実運用に合った設備性能が適切に機能しているか検証可能な計画とした。



写真 3 執務室

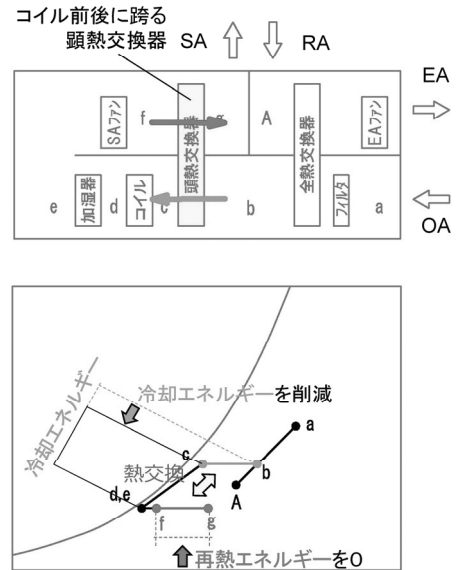


図 15 顕熱交換器による再熱空調システム概念図

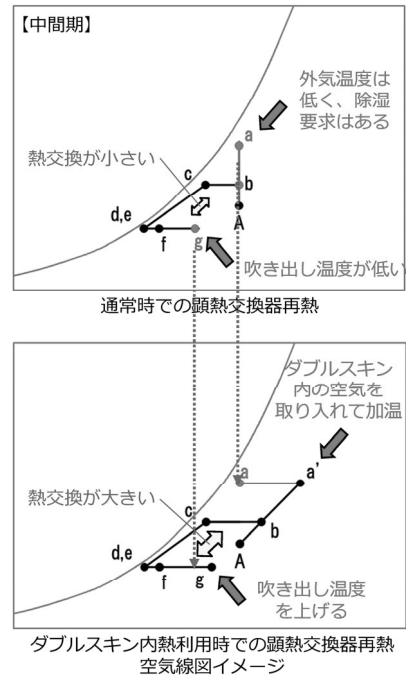


図 16 中間期でのダブルスキン内の熱利用概念図

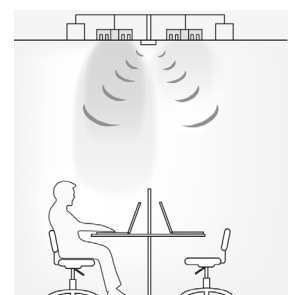


図 17 人検知センサー照明制御

5. 運用後の実績値

5.1 エネルギーの見える化による啓蒙活動

本建物では、BEMS により設備機器の最適運転を支援し、エントランスにエネルギーの見える化モニターを設置することで省エネルギーの啓蒙活動を行っている。図 18 に今回導入した BEMS 見える化モニター画面を示す。画面には建築物省エネ法の BEI 項目ごとに日別・月別のエネルギー使用量と基準値の比較や前年との比較が可能のように各種計測・計量を行って表示している。

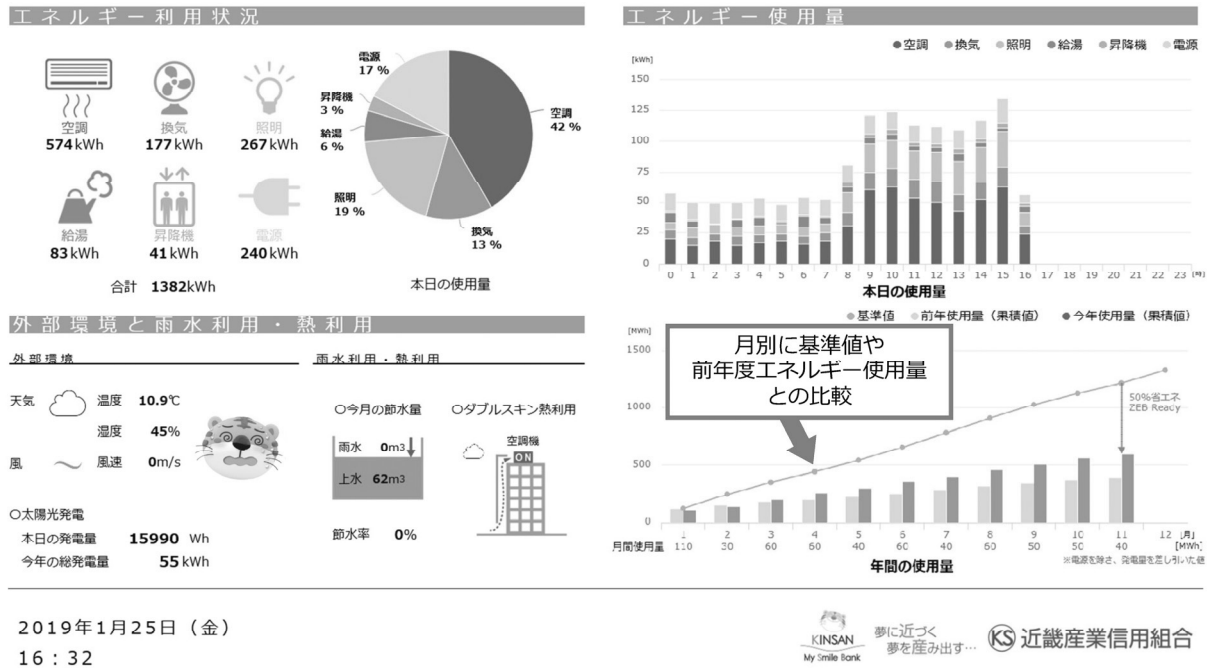


図 18 BEMS 見える化モニター画面

5.2 1次エネルギー消費量の実績値

図 19 に年間の 1 次エネルギー消費量の比較を示す。本建物は、1 次エネルギー消費量を基準建物である

1,141.9MJ/(年・㎡)から省エネルギーのみで 60%以上削減の 448.2MJ/(年・㎡)

(BEST BEI=0.39 (その他含まず、創エネルギー含む))とした計画を行った。竣工後 1 年間 (2019 年 2 月～2020 年 1 月) での 1 次エネルギー消費量の実績値は、計画値から 28%削減、基準値から 72%削減の 324.1MJ/(年・㎡)で ZEB Ready を達成した。

図 20 に各月毎の 1 次エネルギー消費量の比較を示す。グランドオープン以降の 5 月～12 月、1 月の実績値は基準値に比べて約 61～71%と高い割合でエネルギーの削減ができており、月毎の基準値の大小に関わらず相対的にエネルギー削減の効果が得られていることが

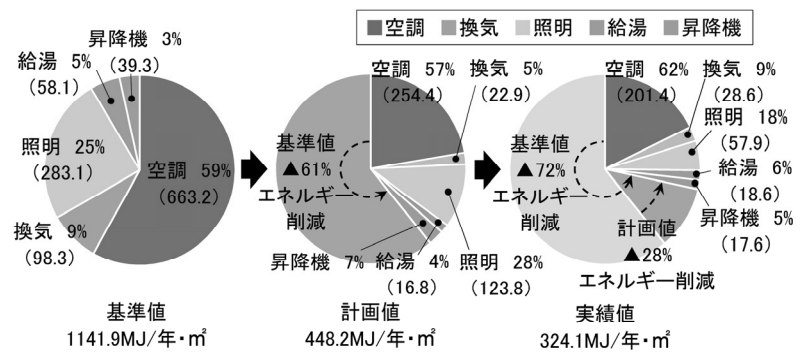


図 19 年間の 1 次エネルギー消費量の比較

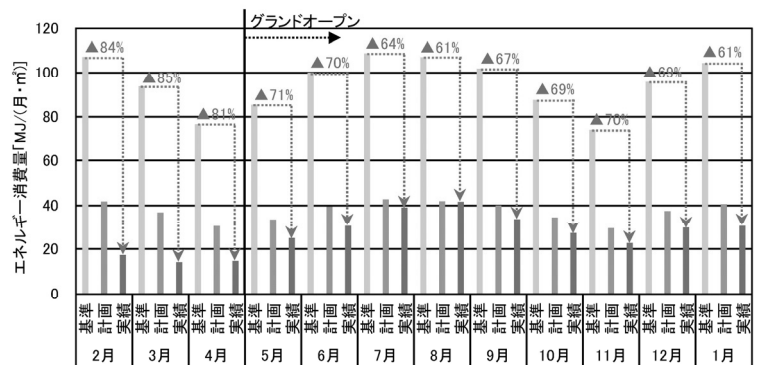


図 20 各月毎の 1 次エネルギー消費量の比較

分かる。

図 21 に 1 次エネルギー消費量と平均外気温度の比較を示す。グラウンドオープン以降の 5~11 月の夏期、中間期においては外気温度の上昇に伴い、1 次エネルギー消費量が大きくなるのが分かる。また 11、12、1 月の 1 次エネルギー消費の実績値は計画値に比べて小さいことが分かる。これは外気温度が実績値の方が基準値に比べて高く、冬期における外気負荷が低減したことが影響していると考えられる。

図 22 に 8 月の空調設備の電力消費量と平均温度の比較を示す。外気の平均温度が高い 8 月 5~9 日に比べて平均温度が約 3~4℃低い 8 月 26~30 日は空調設備の 1 次エネルギー消費量が 25%程度低く、外気温度の影響が大きいことが分かる。

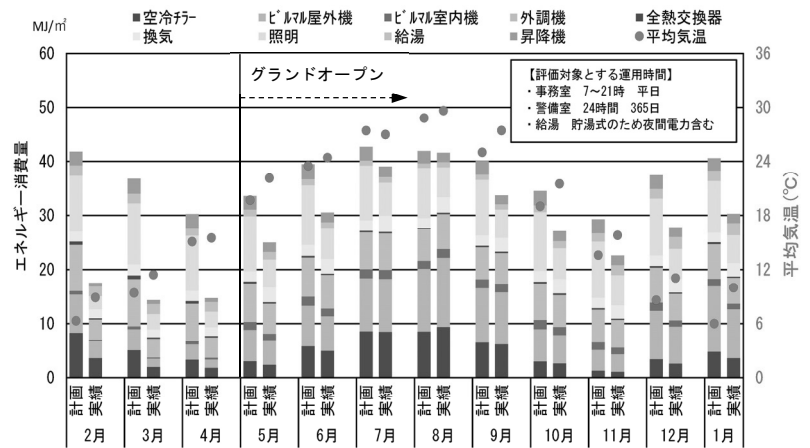


図 21 1 次エネルギー消費量と平均外気温度の比較

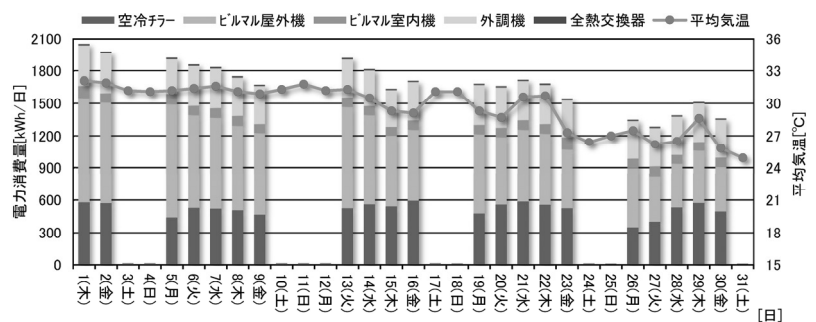


図 22 空調設備の電力消費量と平均外気温度の比較 (8 月)

5. 3 運用時の省エネルギー提案

本建物では、竣工後、当社にて BEMS データを用いたエネルギーの遠隔監視を行い、隔月毎に毎月のエネルギーレポートを作成し提出を行っている (図 23)。エネルギーレポートの中でエコチューニング (快適性を確保した上での運用の実態に合わせた省エネルギー改善策) を提案し、実施している。表 3 にエコチューニングの実施内容 (一例) を示す。

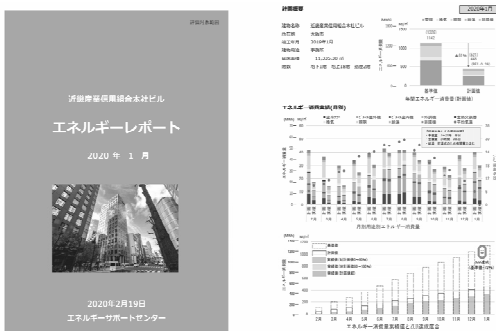


図 23 エネルギーレポート (一例)

表 3 エコチューニングの実施内容 (一例)

実施日	No.	種別	項目	実施内容
2019年5月	1	給湯	セントラル給湯システムの貯湯量設定変更	・平日の最大貯湯量を90%に変更。 ・土日祝の最大貯湯量を40%に変更。
	2	給湯	セントラル給湯システムの貯湯量設定変更	・平日の最大貯湯量を70%に変更。 (No.1設定後、数日後に更に変更。)
2019年6月	3	衛生器具	トイレ便座温度調整	・温水洗浄便座の便座、洗浄水の温度設定を「高」→「低」に変更。
	4	衛生器具	トイレ便座節電設定	・温水洗浄便座を節電モードに設定 (役員室以外)。使用のない時間帯は便座と洗浄水のヒーターを停止。
	5	給湯	セントラル給湯システムの貯湯量設定変更	・平日の最大貯湯量を60%に変更。
2019年7月	6	照明	食堂の照明減光スケジュール設定	・食堂の照明スケジュールを設定。 ・15時以降は50%の照度に設定。
	7	換気	喫煙対応室用局所排気ファンの夜間切り忘れ対策	・常駐警備員へ夜間巡回時に在室者が不在で運転している場合は停止するように依頼。
2019年10月	1	空調熱源	中間期における空冷HPチャラー (外調機熱源) の運転開始時刻の変更	・10月の外気温度は比較的低いいため、通期で4時からのチャラー運転を中間期は7時からに変更。
	2	空調熱源	中間期における空冷HPチャラー (外調機熱源) の冷水温度の緩和	・冷房負荷の少ない中間期においては冷水設定温度を緩和し、空冷HPチャラー消費電力の削減を図る。

6. まとめ

都市部の高層事務所ビルにおいて各種の省エネルギー技術を積み重ねてエネルギー消費を半減し ZEB Ready を達成した建物の建築・設備概要および竣工後 1 年間の 1 次エネルギー消費量の実績値について報告した。さらにダブルスキン内の熱を利用した空調システム、顕熱交換器による再熱空調システムの導入

手法を報告した。今後は導入した各種の省エネルギー技術の効果検証や顕熱交換器による再熱の効果検証、運用時のさらなる問題抽出などを行い、より良い設備システムの検討を試みる。

<参考文献>

- 1) 根本昌徳、湯浅孝、坂下泰士、永吉敬行、齋藤允喜哉：竣工フラッシュ 近畿産業信用組合本店、建築設備士、pp10-19, 2019. 7
- 2) 根本昌徳、湯浅孝、坂下泰士、永吉敬行、齋藤允喜哉：竣工事例 近畿産業信用組合<都市型高層ZEBの実現>、建築設備と配管工事、pp. 57-67, 2019. 10
- 3) 永吉敬行、湯浅孝：ZEB化の最新技術動向と取り組み、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、C-1, 2019. 3
- 4) 湯浅孝、永吉敬行：都市部における高層事務所ビルのZEB化に関する研究 その1 建物概要および竣工後1年間の1次エネルギー消費量の実績値、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1989-1990, 2020. 7
- 5) 永吉敬行、湯浅孝：都市部における高層事務所ビルのZEB化に関する研究 その2 ダブルスキン内熱の空調利用手法と顕熱交換器の再熱利用手法、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1991-1992, 2020. 7
- 6) 永吉敬行、湯浅孝：都市部における高層事務所ビルのZEB化に関する研究（第1報）建物・設備概要および竣工後1年間の1次エネルギー消費量の実績値、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2020. 9（予定）