

竹中工務店東関東支店 ZEB 化改修 Renovation for net-Zero Energy Building of Takenaka Corporation Higashikanto Branch Office

(株)竹中工務店 設計部設備部門

Takenaka Corporation, M&E Engineering Section, Design Department

田中 宏治

Koji TANAKA

キーワード： ZEB(Zero Energy Building)、改修(Renovation)、放射冷暖房(Radiant cooling and heating)、自然換気(Natural ventilation)、自然採光(Natural lighting)、知的生産性(Workplace productivity)

1. はじめに

本計画は、千葉市にある実際に営業・稼働している竹中工務店の支店を、快適性・知的生産性を両立させながらネット ZEB 化、さらにはプラスエネルギービルへ改修したプロジェクトである。計画立案に当たっては、新しいワークスタイルの提案や、各種省エネ技術の導入により ZEB 化を図るとともに、快適性の向上や災害時に備えた BCP の向上など更なる付加価値も追求した。

施設概要 (写真 1)

建物名称 竹中工務店 東関東支店
建築主 株式会社竹中工務店
設計・施工 株式会社竹中工務店
建築地 千葉県千葉市中央区中央港 1-16-1
建築用途 事務所
敷地面積 1,432.02 m²
構造・階数 S 造、F2
延床面積 1,318.11 m²
既存竣工年 2003 年 11 月
工期 2015 年 10 月～2016 年 3 月



写真 1 外観写真

2. 改修を機会とした徹底的な負荷削減

2.1 外皮熱負荷の削減

ZEB 化においては照明、OA 機器の内部発熱が大幅に減少することにより、冬期の暖房負荷が増大するため、外皮の断熱性能の強化が重要となる。外壁及び屋根を断熱強化するとともに、ガラス開口部においては既存ガラスを除外し、アルゴンガス封入 Low-ε ガラスに取替えることにより、開口部断熱性能の向上を図った。外側にはブラインド及びアウタースキンとなるシングルガラスを設置することでダブルスキンを構成し、さらにアウタースキン外側に既存の縦ルーバーを再利用することで、効率的に日射遮蔽を行うファサード計画とした。ダブルスキンの構成を図 1 に示す。ダブルスキンの熱貫流率の実

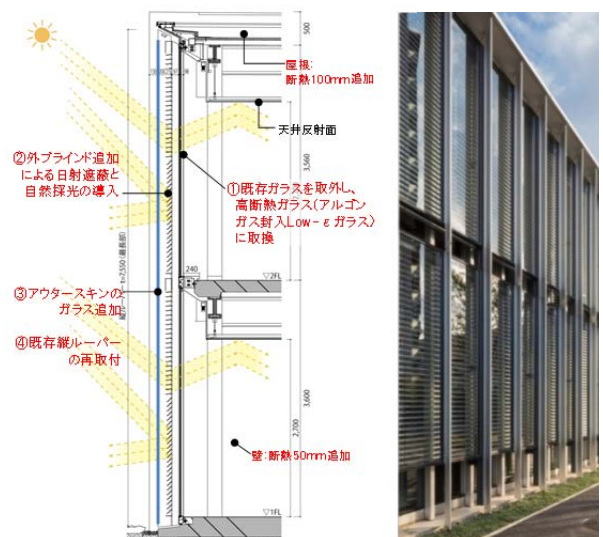


図 1 ダブルスキンの構成

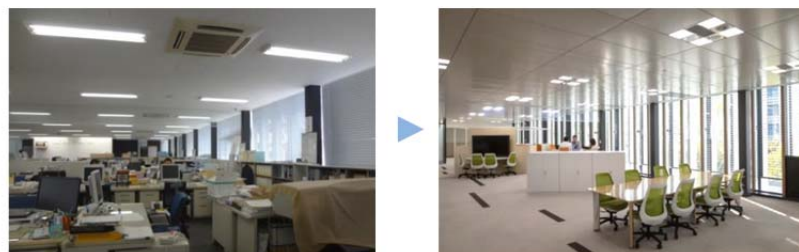
測値は平均で U_g は約 1.0、 U_w は約 1.1 ($W/m^2/K$)であった。また、ダブルスキンの日射熱取得率の実測値は南東面で約 0.09、北西面で約 0.04 の結果が得られており、高断熱・高遮熱化を実現した。

2. 2 照明負荷の削減

日射遮蔽装置を手動ブラインドから自動制御される外ブラインドに改修し、自然採光を最大限利用する計画とした。人工照明については、全般照明からタスク・アンビエント方式に変更し、アンビエントの設定照度の低減やLEDによる発光効率の向上などの効果により、改修前に比べて消費電力を大きく削減した。改修前後のオフィス内観及び照明器具配灯を図2に示す。

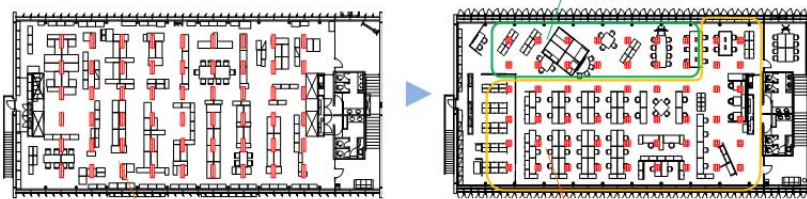
照明制御は自然採光を最大限に活用するため、照度センサーによってワークプレイスエリアの机上面照度を 300lx、打ち合わせエリアの机上面照度を 500lx に自動調光制御している。さらに人検知センサーによる人検知制御を行い、周辺の執務者の在席状況に応じた設定照度に自動制御している。

昼光利用による消費電力低減効果を確認するため、曇天日と晴天日の照明消費電力の実測を行った。2階オフィスにおける曇天日の照明消費電力を図3、晴天日を図4に示す。曇天日のアンビエント照明消費電力は $2.1W/m^2$ 、タスク照明は $0.2W/m^2$ 程度である。晴天日の消費電力はアンビエント照明が $1.6W/m^2$ 、タスク照明は $0.2W/m^2$ 程度であり、昼光利用により約 24%の照明消費電力を削減している。



改修前内観

改修後内観



改修後:HI88W(2灯用高出力型)×54灯

改修後:LED45W×54灯

図2 改修前後の内観と照明器具配灯

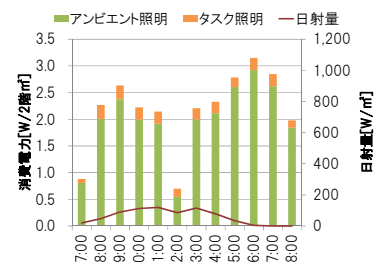


図3 曇天日の消費電力 (2016/12/14)

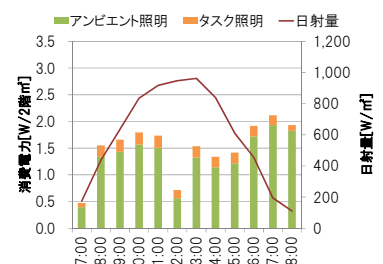


図4 晴天日の消費電力 (2016/6/17)

3. 自然エネルギーと未利用エネルギーの最大利用

3. 1 自然換気

自然エネルギー利用を最大化するため、自然換気開口を大幅に増設し、さらに外界条件に合わせた自動制御を行った。自然換気窓を南東面および北西面にそれぞれ6か所ずつ新設するとともに、既存トップライトを電動開閉できるように機能を加えた。壁面の換気窓からトップライトへの風の流れを形成する計画とした。自然換気窓およびトップライトの配置と平面シミュレーション結果を図5に示す。

自然換気の利用時間を最大化するため、開閉は自動制御にて行っている。自然換気窓は近傍に設置した手動操作スイッチにて開度の調整を可能としてい

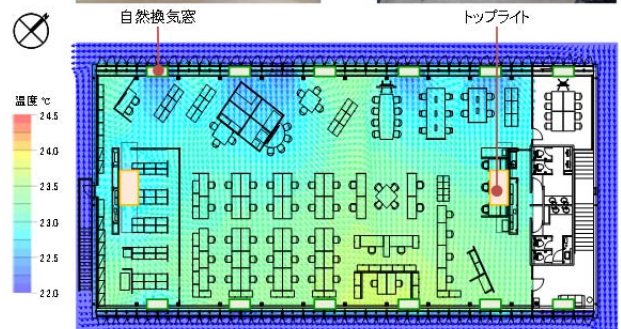


図5 自然換気窓・トップライトの配置と平面シミュレーション結果

る。これによって個人の判断により窓の開度を調整でき、執務者に環境の選択権を与えることで自己効力感を高め、自然換気を運用しやすい環境を整備した。

2017年5月の自然換気実施状況を図6に示す。ナイトパーズを含めると、多くの日で1日あたり10時間以上の自然換気を行っており、平日日中の窓開放時間率は64%と高い水準となっている。夜間についても窓開放時間率は37%であり、有効にナイトパーズを行っている。

2016年10月から2017年9月までの1年間に自然換気で処理した熱量は41,945MJであった。COP=3.0として一次エネルギー消費量に換算すると28.8MJ/m²・年となり、これは空調設備の年間一次エネルギー消費量の17%に相当する。

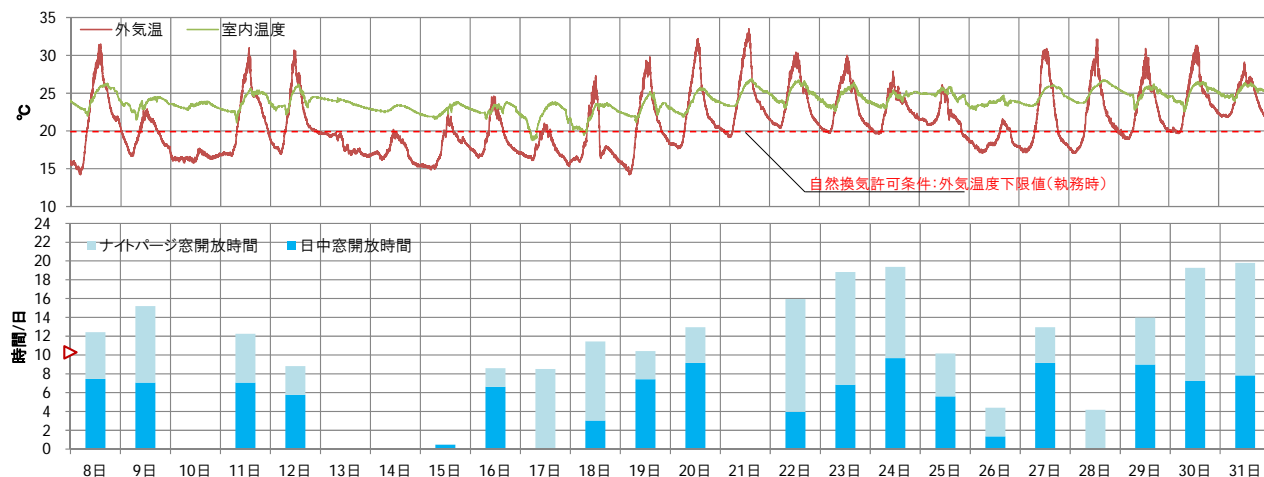


図6 自然換気実施状況 (2017年5月)

3.2 自然採光

今回の改修では外ブラインドを新たに設置し、自動制御によって日射侵入時にスラットをCut-off角(直射日光を遮蔽できる最小のスラット角)に制御しながら、自然採光を最大限利用する計画とした。このように外ブラインドの自動制御を活用し自然採光を行っているオフィス室内の視環境性能評価を実施した。晴天時に机上水平面照度の実測を行った。昼光により窓側執務エリアは設定照度300lxより高くなるが、その他の時間帯はアンビエント照明の調光制御によって、概ね設定照度300lxを満たしていた。また、竣工後に撮影・変換した明るさ画像(東工大中村教授開発)を図7に示す。明るさ感はオフィスの推奨平均NB値6~7.5の範囲内であり、主観評価も空間全体、机上面共に明るさ感が適切であった。

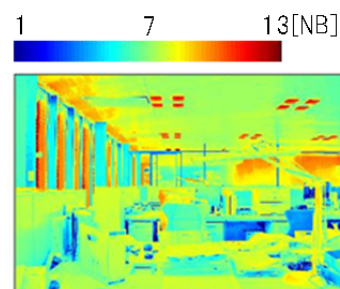


図7 明るさ画像¹⁾

3.3 地中熱・太陽熱の直接利用

熱源システムは1次側が空冷ヒートポンプチラーと地中熱利用システム(地中熱直接利用と水冷ヒートポンプチラー)および太陽集熱装置で構成されており、2次側が室内顕熱負荷処理用の放射パネル系統と潜熱負荷処理用のデシカント外調機系統およびデシカント再生熱系統で構成されている。空調熱源の運転モードは地中熱を放射パネル等へ直接利用するモードとヒートポンプの熱源水として間接的に利用するモードがある。また、太陽集熱パネルから得られる熱をデシカント外調機の暖房および再生熱に利用するシステムとしている(図8)。

地中熱利用について冷房時は地中熱の送り温度をモニタリングし、地中熱直接利用→空冷ヒートポンプチラーの順番で運転を行う計画とした。図9に2階オフィスにおける年間利用熱量の内訳を示す。1年目の実績として、夏期冷房負荷の40%を地中熱直接利用、夏期デシカント外調機再生の43%を

太陽熱、冬期暖房負荷の 21%を太陽熱で賄った。2 年目の夏期は、デシカント再生温度を 60℃から 45℃に変更し、デシカントの除湿能力低下を補うため、冷水の送水温度を 13→10℃とし冷水コイルでの除湿能力を高めて運用した。その結果、デシカント再生熱用の空冷 HP 温水器の製造熱量を大幅に削減した。

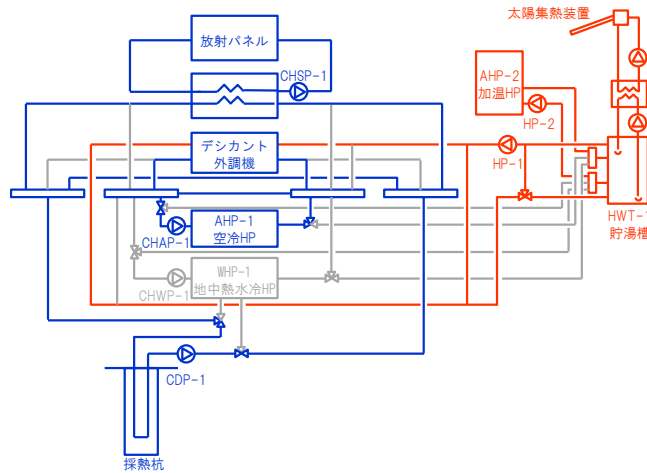


図 8 空調熱源システム系統図

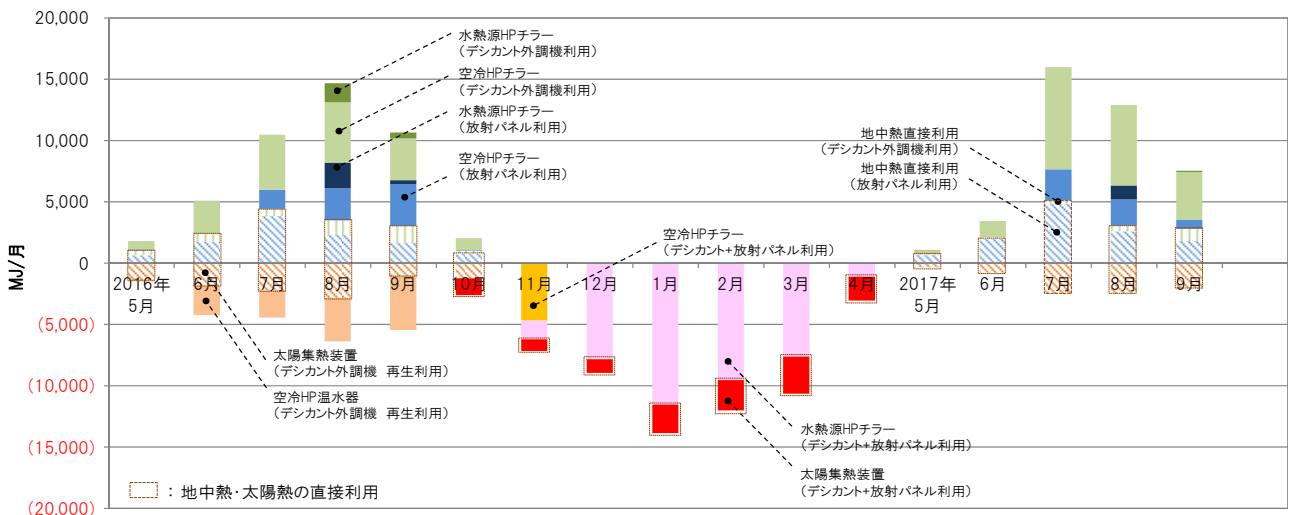


図 9 年間利用熱量の内訳

4. 人のワークモードに合わせた快適性と知的生産性の再考

4. 1 均質なユニバーサルオフィスの見直し

均質なユニバーサルオフィスを見直し、ワークプレイス、コミュニケーションエリア、ファイリングエリアの3つのエリアにゾーニングした。部門毎のオフィスレイアウトから3つのエリアにゾーニングすることにより、ワークプレイスがコンパクトになり、部門内、部門間のコミュニケーションが向上し、知的生産性が向上する。また、自席廻りの書類をファイリングエリアに集約することで、ワークプレイスをコンパクトにし、照明・空調エリアがダウンサイジング化され、エネルギー削減にもつながると考えた(図10)。

環境設備計画においては、ワークエリア毎に環境設定することでワークモードが変わり、新たな発想の創出と知的生産性向上に寄与する。また、部門毎のOA機器を集約設置することでコンセント負荷が削減される。OA機器集約にあたっては、デスクトップパソコン→ノートパソコンや大型モニターの設置などペーパーレス化するための環境整備も同時に実施している。このようなオフィスに変革することで、歩行運動も増加し、健康増進につながると考えた。

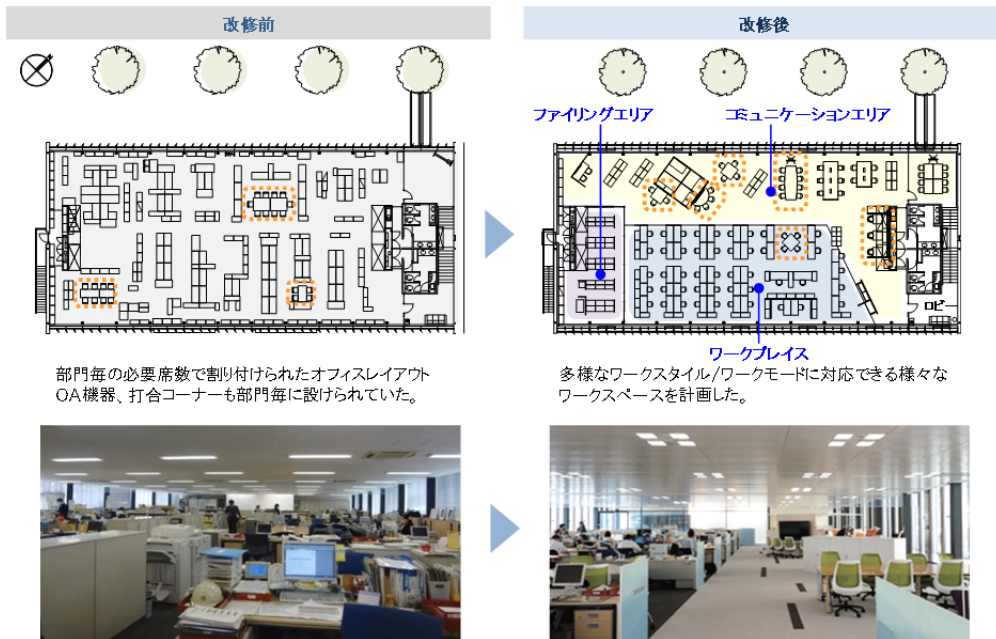


図 10 改修前後のオフィスレイアウト

4. 2 活動量と健康、知的生産性の向上

今回の改修ではオフィスレイアウトを大きく変革し、ワークプレイスからコミュニケーションエリアを頻繁に移動し、歩行（運動）を促進させることで交感神経を活性化させ、知的生産性の向上や健康増進をもたらす空間・環境づくりを目指した（図 11）。実際の執務者とは別に外部の被験者の協力を得て、「歩くオフィス」の知的生産性評価と健康増進へ寄与する可能性について実験を行った。

休憩時間中に積極的に歩行する行動を「休憩行動」、自席を中心とした活動を「自席休憩」と呼び、CASE 別に実験を行った。

図 12 に休憩後の作業（執務）における交感神経の活性度 LF/HF についての実験・分析結果を示す。「自席休憩」に比べて、「休憩行動」は休憩後の作業中において交感神経活性度が高くなっていることが確認された。活動強度の高い休憩をしたことにより、自律神経が刺激され、交感神経が活性化された結果、作業中に覚醒状態がもたらされている可能性が示された。



図 11 身体活動の促進による知的生産性向上²⁾

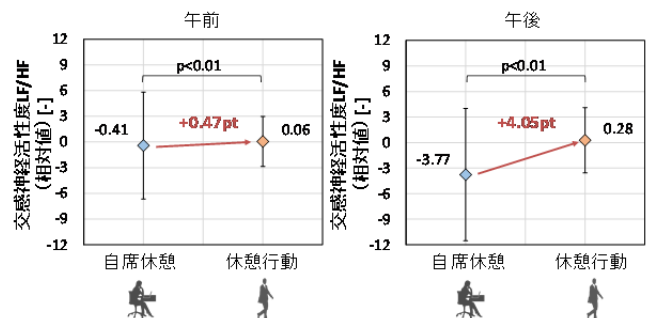


図 12 休憩後の作業中の交感神経活性度 LF/HF について分析²⁾

4. 3 放射と調湿によるアンビエント空調

空調エネルギーの最小化を図るため、室内温度に近い中温の地中熱や、太陽熱の利用拡大が可能な潜熱・顕熱分離空調方式を採用した。概念図を図 13 に示す。外気処理と室内の潜熱処理には、天井内に設置可能な新開発の小型デシカント外調機（調湿外気処理ユニット）を開発・採用し、容量・台数は人員による必要外気量により、2 階オフィスで 500CMH のデシカント外調機 2 台を設置する計画とした。還気湿度を設定値に保つことができる給気量を維持しながら、還気 CO2 濃度による風量制御で外気処理エネルギーの削減を図っている。太陽集熱で得られた温水を夏期除湿時の再生熱源、冬期

加湿時の暖房熱源として利用している。

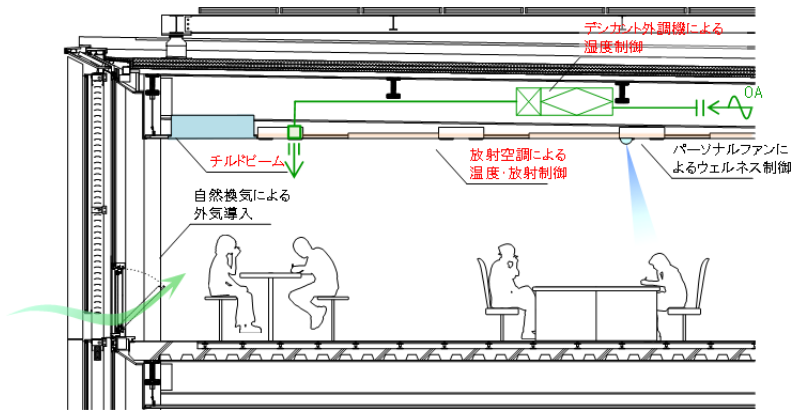


図 13 潜熱・顕熱分離空調システム概念図

4. 4 パーソナル気流によるタスク制御

天井面に 1 台/人のパーソナル気流ユニットを設置し、個別に気流感を与え、自席周りの温熱環境を好みに応じて選択・調整ができる計画とした。パーソナル気流ユニットの可視化写真を写真 2 に、オフィス内設置状況を写真 3 に示す。パーソナル気流ユニットは室内空気を吸込み、等温で吹き出す仕様であり、ノズルの向きにより気流方向を手動で自由に変わることができる。



写真 2
パーソナル気流ユニット

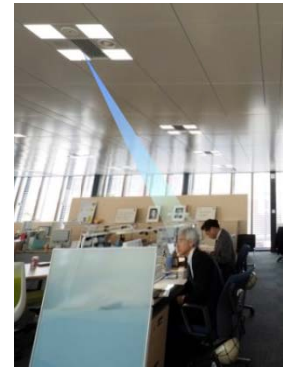


写真 3
オフィス内設置状況

4. 5 ウェルネス制御による快適性の向上

オフィスにおける温熱満足度の向上は、知的生産性へ与える影響が大きいですが、温熱満足度には個人差があり、同じ温熱環境を提供するだけでは執務者の温熱満足度向上には限界がある。本建物では、個人差のある快適性に対応するため、各センサーから得られる執務者の位置情報や温熱環境および執務者の体感申告から個人ごとに快適指標を修正・学習して、パーソナル気流ユニットや室内温度の設定値を制御する空調システムを構築した（図 14）。

ウェルネス空調を行った場合、ユーザーが任意に操作する場合と比較して、温熱満足度は 50% 程度向上し、生産性は 25% 程度向上するアンケート結果が得られた。温熱満足度が向上した人ほど、生産性も向上する傾向が得られた。

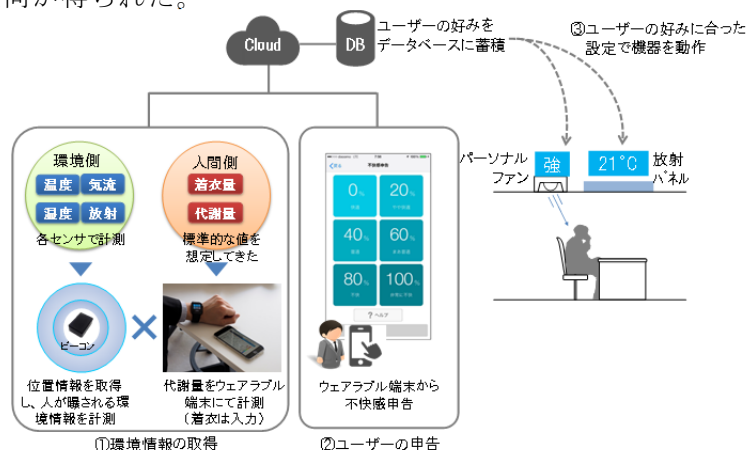


図 14 ウェルネス制御の概念図

4. 6 外装改修による改修前後の放射エクセルギーの比較

外装改修による改修前後の放射エクセルギーについて実測データを用いた評価を行った（図 15）。改修前の夏期においては内ブラインドから温放射エクセルギーが放出されていたが、改修後は冷放射エクセルギーの放出に変わり、大きく改善されている。冬期については外装の断熱性能が向上したことにより、室内側へ放出される温放射エクセルギーが約 6 倍に上昇している。

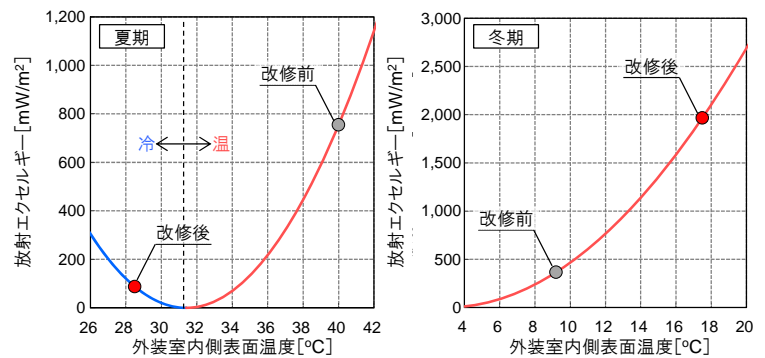


図 15 外装室内側表面温度と放射エクセルギーの関係³⁾

5. エネルギーマネジメントと ZEB 実証

5. 1 創エネ&バッテリーマネジメントシステム

本計画では、蓄電池の活用により系統電源との売電/買電を低減し、生成した再生可能エネルギーを最大限自家消費するシステムを構築した。また、蓄電池はピークカットやデマンドレスポンス、災害時の電力供給など様々な用途に活用できる。

蓄電池制御システムの概要を図 16 に示す。太陽光発電 (PV) で発電した電力を交流に変換せずに直流のまま効率良く蓄電池に蓄電する。蓄電池の充放電については、①太陽光 (PV) 単独モード、②ピークカットモード、③自家消費最大化モード、④ピーク

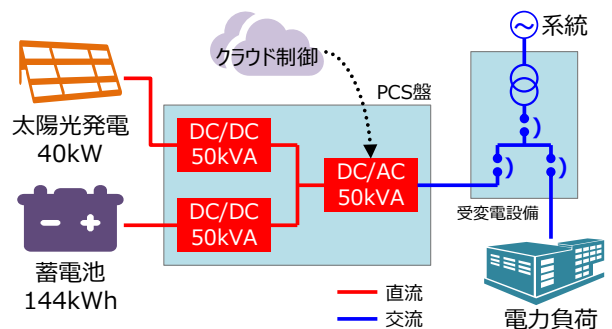


図 16 創エネマネジメントシステム

カット&自家消費モードの 4 つのモードがある。また、災害による停電時には、蓄電池に残った電力に加え、PV 発電を蓄電池に貯めて使うことも可能である。エネルギーが最小化されたこともあり、建物の機能を維持する稼働時間が長くなり、BCP 機能を大きく向上させることができた。

5. 2 ネット ZEB の達成

実際に使用しているオフィスで、執務を続けながら改修工事を行い、1 年間運用した結果、図 17 に示すように年間エネルギー消費量は空調、照明、その他に加えてコンセントを含めた建物全体で 403MJ/m²・年、生成は太陽光発電によって 417MJ/m²・年となり、ZEB 化を達成した。直近の 1 年間については、消費が 384MJ/m²・年、生成が 409 MJ/m²・年の実績となっている。

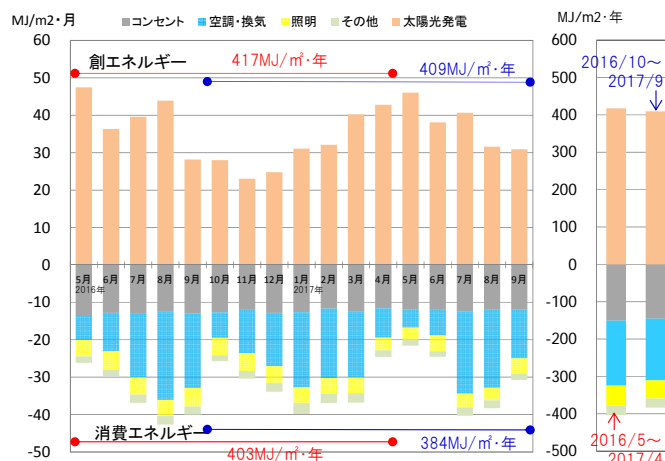


図 17 改修後 1 年間の月別一次エネルギー収支実績

6. おわりに

4 つのテーマを軸に環境・設備計画と実績について、その概要を述べた。本建物は「実用ビルのネット ZEB 化改修と快適性・知的生産性の両立」の実現に向けて企画・実施されたもので、本格的な外装の高断熱化・自然エネルギーを最大限活用したパッシブ化・きめ細かな環境制御技術とワークスタイルの変革などを実施し、実測・評価を行った。

また、運用段階においては継続的な運用改善を実施し、大幅な省エネルギーを図ることで ZEB 化を達成できたものと考えている。

<注>

- 1) 東海大学 岩田研究室と共同研究
- 2) 慶應義塾大学 伊香賀研究室と共同研究
- 3) 東京都市大学 宿谷研究室と共同研究

<参考文献>

「空気調和・衛生工学会大会論文集」

- (1) 高井、田中(宏)、平野、川上他：
既存オフィスの ZEB 化に関する研究(2017 年 9 月発表) 第 1 報 ～ 第 6 報
- (2) 和田、田中、平野他：
オーガナイズドセッション
竹中工務店における先進的取り組み -東関東支店 ZEB 化改修の計画と運用実績-
(2017 年 9 月発表)

「日本建築学会大会学術講演梗概集」

- (1) 高井、石黒、田中(宏)、平野、川上他：
既存中小オフィスの ZEB 化改修に関する研究(2016 年 8 月発表) 第 1 報 ～ 第 2 報
- (2) 高井、田中(宏)、平野、川上、和田、他：
既存中小オフィスの ZEB 化改修に関する研究(2017 年 8 月発表) 第 3 報 ～ 第 12 報