

トヨタ紡織グローバル本社の環境設備計画

Environmental Facilities Plan of Toyota Boshoku Global Mainstay Hub

株式会社竹中工務店

Takenaka, CO.

石橋良太郎

Ryotaro ISHIBASHI

キーワード：サステナビリティ (Sustainability)、省エネルギー (Energy Saving)、ウェルネス (Wellness)、パッシブ建築 (Passive Architecture)、室温変動制御 (Fluctuation Room Temperature Control)、実運用検証 (Actual Operation Verification)

はじめに

トヨタ紡織グローバル本社は豊田佐吉が創業し、グローバル企業として自動車内装品を主力とするメーカーの本社屋である。本プロジェクトでは、トヨタ紡織の創業100周年を機に愛知県の刈谷工場内にグローバル本社(図1)、警備棟、歴史未来館、立体駐車場を建設し、周辺のランドスケープを一体的に整備した。

グローバル企業にふさわしい新本社の建設、街に開いて人を呼び込む外構再編、省エネ・ウェルネスに配慮した社員の生き生きとしたワークスペース構築、スマートエネルギーマネジメントとCO₂排出抑制を行うことで、成長戦略を図りつつ、カーボンニュートラル化を実現している。

本施設では、「サステナビリティに配慮した省エネ・ウェルネスオフィス」を目指し(図2)、①自然との共生を実現するサステナブルデザイン、②働き方に配慮した省エネルギー・ウェルネス制御の開発、③スマートエネルギーマネジメントとCO₂排出抑制に取り組んだ(図3)。以下に概要を報告する。



トヨタ紡織グローバル本社

建築主	トヨタ紡織 株式会社	構造	付加制振構造
設計者	株式会社 竹中工務店	階数	7階
施工者	株式会社 竹中工務店	建築面積	3,528㎡
所在地	愛知県刈谷市豊田町1丁目1番地	延床面積	13,119㎡
建物用途	事務所	竣工年月	2020年5月

図1 建物概要



図2 サステナビリティに配慮した省エネ・ウェルネスオフィス



図3 環境コンセプト図

1. 自然との共生を実現するサステナブルデザイン

1.1 街に開き、人を招き入れる自然再興「刈谷の杜」

創業の地である計画地は、生産拠点として工場が建ち並び、物流動線や駐車場といった「車やモノ」を中心とし、セキュリティと安全性によって「街に閉じた場」となっていた。そこで、工場群の中央であるグローバル本社の前面に地域のランドマークとなっていた豊かな既存樹木を保存しながら「刈谷の杜（もり）」を自然再興し、敷地境界からセキュリティラインを後退させて街に開くことで閉鎖的な工場のイメージを「人」を中心とする「街に開いた場」とした（図4）。

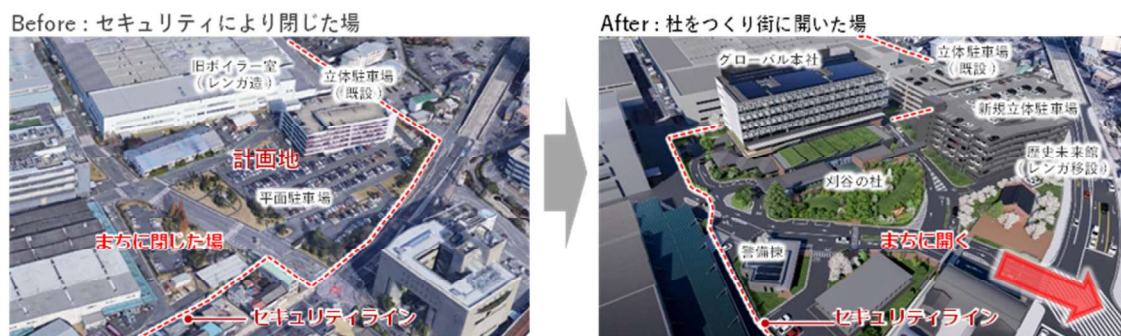


図4 街に対しての敷地計画

トヨタ紡織は世界中で森づくり活動を進めており、2050年に132万本植樹を目標として、各地域で植樹活動を推進している(2022年には累計65万本植樹を達成)。グローバル本社における「杜」は世界中で森づくり活動を進める社員を結びつける象徴となっている。本計画における外構緑化面積は計8,185㎡、屋上緑化面積は576㎡(2F:472㎡,最上階中庭:104㎡)あり、外構緑化指数は52.2%,建物緑化指数は16.2%と高い緑化比率となっている。

1.2 屋上緑化併用ハイサイドライトと水盤の雨水利用

1950年頃の刈谷工場はノコギリ屋根の工場が建ち並んでいた。この工場のノコギリ屋根の記憶を引き継ぐ形状として、屋上緑化併用ハイサイドライトを計画した。ハイサイドライトからの自然採光をファブリックスクリーンにより効果的に拡散利用するとともに、屋上緑化へ散水する雨水利用システムと合わせて、建物周辺の環境改善(外気高温化の抑制、屋根面反射による光害抑制、緑化景観確保など)に寄与する自然利用ハイブリッド技術としている(図5)。



図5 屋上緑化併用ハイサイドライト・水盤の雨水利用

1.3 紡ぎ織るスクリーンによる日射・採光コントロールと眺望確保

繊維製品を製造する企業のアイデンティティをファサード面に示しつつ、眺望を確保しながら日射・採光をコントロールする先進的技術として、「紡ぎ織るスクリーン」を開発した。スクリーンは縦の鋼材と横の湾曲した鋼材が、縦と横の糸を紡ぎ合わせるように編み合わさり、これに疎密をつくることで構成されている(図 6(a))。

紡ぎ織るスクリーンにより、夏・春・秋の日射は遮蔽され、室内側には間接光とスクリーンからの反射光が木漏れ日のように気持ちよく入り込む。太陽高度が低くなる冬の日射は室内に取り込み、この際はスクリーンを考慮したブラインドの自動制御でブラインドを下部まで下ろし、ブラインドの羽根角度制御を行うことで直達光を遮蔽している。また、目線部分はスクリーンが開いており、前面に広がる「刈谷の柱」の眺望が十分に得られる計画としている(図 6(b))。

コンピューショナルデザインソフト(Rhinoceros,Grasshopper,LadyBug,Honeybee)を組合せて形状検討を行い、日射負荷シミュレーションを行った結果、日射ピーク負荷を約 67%削減できる(9月のピーク日射量 $787\text{W}/\text{m}^2$ を $263\text{W}/\text{m}^2$ まで削減)、高い日射遮蔽性能を有することを確認した(図 6(c))。



図 6 紡ぎ織るスクリーン

1.4 東西ルーバーとエアコン室外機散水による高効率化

東西の外壁面にはルーバー(開口率 70%程度)を設置し、エアコン室外機の置場を設けた(図 7)。室外機をルーバー内部の窪んだ空間に配置することで、夏期は直射日光を避け、冬期は外風を防ぎ、エアコン室外機の性能を高く維持する計画とした。

夏期に室外機置場の外気温が一定温度以上(30°C 以上)となった場合には、室外機へ散水を行い、エアコンの消費電力を削減することを狙いとした。加えて、散水による気化冷却により、周囲温度を下げる効果も狙っている。

実測結果では、夏期の散水活用によりエアコンの消費電力を 15%削減できていた。また、室外機置場は外気温に対し、夏期 $-1\sim-2.5^{\circ}\text{C}$ 、冬期 $+0.5\sim+2^{\circ}\text{C}$ の好環境となっており、エアコンを高効率運転できていた。

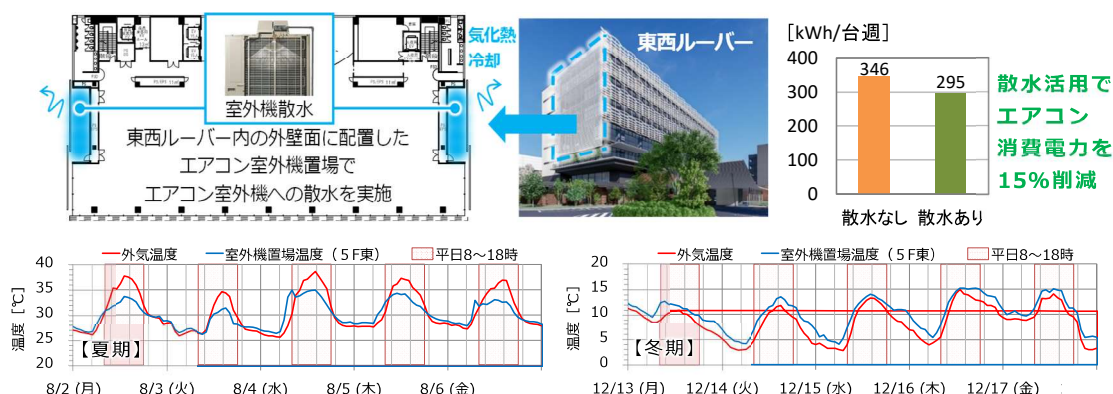


図 7 東西ルーバーとエアコン室外機散水

2. 働き方に配慮した省エネルギー・ウェルネス制御の開発

2.1 照明・空調・換気の省エネルギー・ウェルネス制御

執務室には生体リズムに合わせて照明を調光・調色制御するウェルネス照明制御を採用した。始業時は色温度 5000K(昼白色)・500~750lx として覚醒による業務の効率化を図り、終業時からは色温度 3000K(電球色)・300~500lx として照明電力を削減するとともに、残業抑制・ライフスタイルの改善を狙った(図 8(a))。

また、人感・照度センサ制御を全面的に実施した。センサ区分を 71 エリアに分類し、人感センサによる不在を一定時間感知したエリアは照度を 10%に絞る運転を行い、室内状況に合わせて効果的な省エネ運転を行っている。さらに、窓際には明るさセンサを設置し、窓際器具の出力調整を行っている(図 8(b))。

天井面には空気式放射パネルを設置し、天井内の隠蔽型エアコンにより放射パネルから微風速で室内に吹出し、室負荷を処理する。屋上にはヒートポンプ式排熱回収型デシカント外調機を設置し、調湿・調湿した新鮮外気を床面のファン付床吹出口から供給する。デシカント外調機と高顕熱型エアコンを用いた潜顕分離空調により、省エネ運転を行い、放射空調を用いたドラフト感のない空間を形成している(図 8(c))。

人の在・不在をセンサで検知し、空調・換気と連動したエリア制御を計画した。人感センサによる空調・換気制御エリアを 16 エリア/フロアに分割し、各エリアの在・不在、勤務時間内・外に合わせて、エアコン設定が通常・2℃シフト・送風モードのいずれかになるように設定可能とした。これにより、内部負荷に追従した効果的な省エネ運転を実現した。また、デシカント外調機の吹出は各階 2 系統の VAV(西・東)で CO₂ センサによる風量制御を行っている。吹出口は人感センサと連動し、ファン付床吹出口を在室検知エリアに対して、自動運転(風量 3 段階と停止)させ、在室エリアに優先的に新鮮外気を供給し、知的生産性の向上につなげる計画とした(図 8(d))。

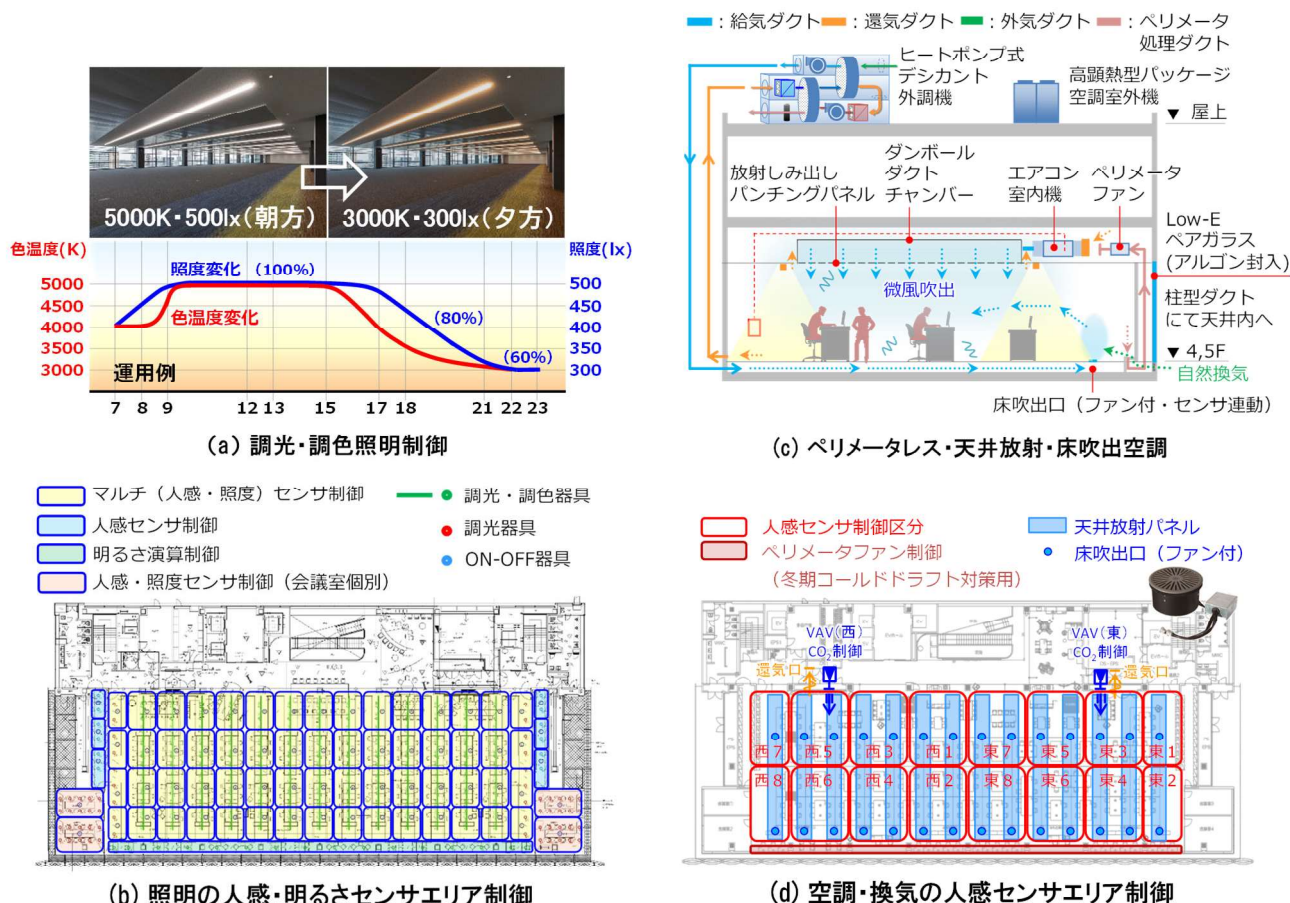


図 8 照明・空調・換気の省エネルギー・ウェルネス制御

照明人感センサ制御の運転状況を図 9(a)に示す。各エリアで常時は 8～9 割程度の稼働率であるが、12 時の昼休憩時は稼働率が 20%程度となり、照明・空調・換気と連動した省エネ運転が実施されていた。また、20 時以降も稼働率が徐々に低くなり、省エネ運転が実施できていた。人感センサの平均稼働率は約 67%となり、約 1/3 の稼働時間で不在によるエネルギー削減が行えていた。

ファン付床吹出口の運転状況を図 9(b)に示す。稼働率は人感センサと同様の傾向となるが、10 時頃から CO₂ 濃度が高くなったため、ファンが弱から中運転に移行し、新鮮外気供給量を高めている。また、19 時以降は人員が減り、CO₂ 濃度が低くなったため、再び弱運転に移行している。このようにファン付床吹出口の人感・エリア制御が有効に働いたことを確認した。

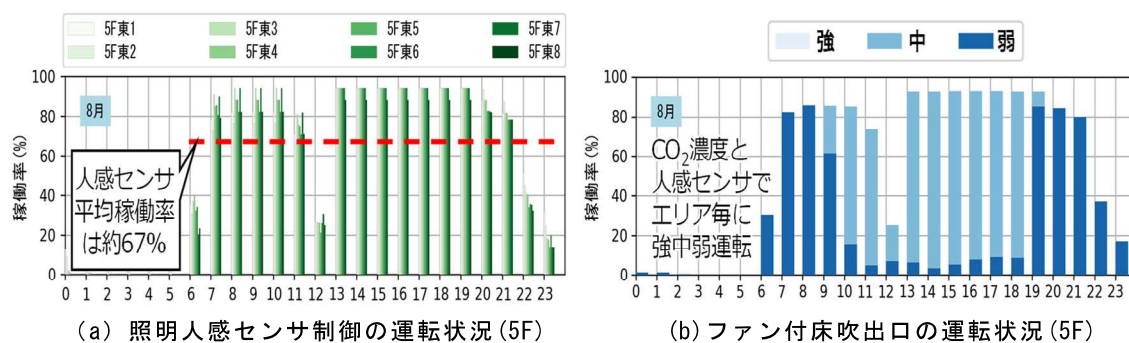


図 9 センサによる運転状況 (8 月抜粋)

2.2 リタンエア・ヒートポンプ式デシカント外調機

リタンエア・ヒートポンプ式デシカント外調機の冷房時・暖房時運転状態 (計画値) を図 10 に示す。ヒートポンプ式のため、冷房時と暖房時で蒸発器と凝縮器の機能が入れ替わり、中間期などは全熱交換器による熱回収換気モードが行われる。デシカント外調機の年間を通じての運転モードを図 11 に示す。年間を通じて冷房・暖房・熱回収換気運転を使い分け (冷房: 38%, 暖房: 25%, 熱回収運転: 37%)、効率的な運転が行えていた。

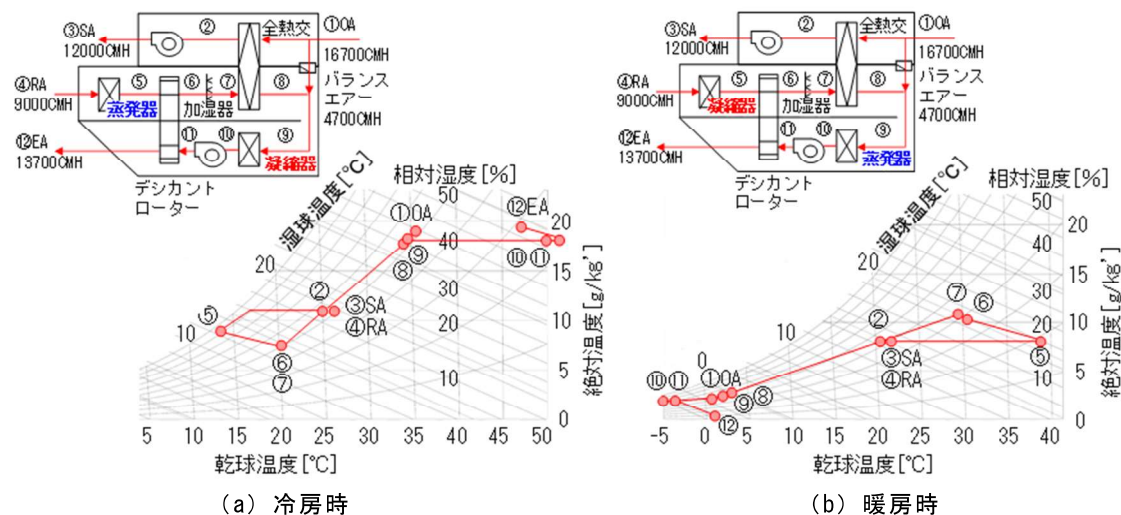


図 9 リタンエア・ヒートポンプ式デシカント外調機の運転状態

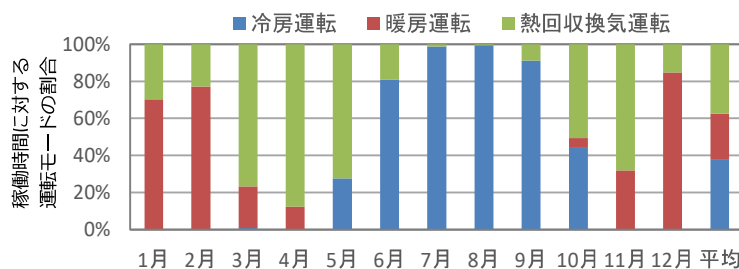


図 10 デシカント外調機の月別運転モード (西系統)

2.3 ウェルネス室温変動制御の開発と実運用検証

オフィス執務者の1日の生活リズムに欠かせない朝の出勤、昼食、夕方以降の残業・終業という観点から、朝・昼・夕方の室温を変化させる「ウェルネス室温変動制御」を開発した(図11,図12)。この採用に際して被験者実験をもとに、生理・心理・作業効率への影響を事前に検証した後(図13)、本オフィスにて実運用検証を行った。実証では、ウェルネス室温変動制御を実施する週と実施しない週を設定し、アンケート調査とともに運用状況を確認した。

「仕事を効率的に行える温熱環境だったか」についての回答結果(冷房期)より、室温変動の有無によりt検定で有意差が生じた。思う側の回答が「室温変動なし」では36%であったのに対し「室温変動あり」では50%となり、評価は大きく向上した(図14)。これより、室温変動を行った温熱環境が、主観評価で仕事の効率化につながる執務環境を提供できていることを確認した。



図11 執務者の1日の生活リズムを考慮した室温制御

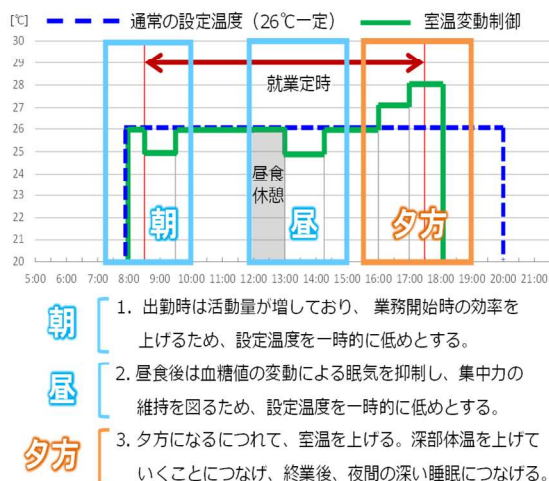


図12 ウェルネス室温変動制御



被験者：健康な男女(18-25歳)

冷房期：31名、暖房期：29名

図13 被験者実験の様子

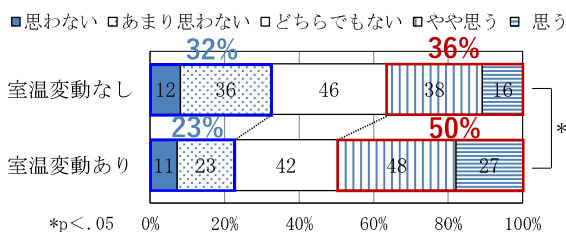


図14 仕事を効率的に行える温熱環境 調査結果

2.4 屋外利用促進・空気質の見える化システム

オフィスの屋内外に多様なワークスペース・リフレッシュスペースを設け、執務者の選択の幅を広げることは、知的生産性の向上につながるといわれている。そこで、本オフィスでは、屋上緑化と「刈谷の杜」が見える2Fバルコニーに屋外テラスを設け、屋外利用の促進を図った(図15)。屋外利用を促進するため、各種センサ計測により屋内外の温熱環境と空気質をサイネージ表示している。これにより打合せやアイディア出し、気分転換などに積極的に屋外スペースを利用する新しいワークスタイルを目指した。



図15 屋外利用促進・空気質の見える化システム

3. スマートエネルギーマネジメントによる低デマンド化・CO₂ 排出抑制への取り組み

3.1 太陽光パネル・蓄電池の負荷予測・デマンド抑制

エネルギーマネジメントシステム I.SEM[®]でグローバル本社および警備棟の電力負荷を気象データを元に予測し、ピーク時のデマンドカットに使用可能なよう太陽光・蓄電池の運転制御を行っている(図 16)。運転制御の見える化画面では電力・太陽光発電量・空調負荷の予測値と実績値の表示、それらを比較した際の省エネ目標値などの表示を行い、省エネルギー化を推進している。また、太陽光パネルはグローバル本社以外の工場屋根部にも設置しており、これらの発電量もグローバル本社で見える化モニターによる表示を行い、従業員と情報共有を行っている。

デマンド制御の概要を図 17 に示す。デマンド抑制では 2 段階の目標電力(デマンド①,デマンド②)を月別に設定し、グローバル本社全体の消費電力が目標電力以下となるよう 4 F, 5 F の照明・エアコンの節電化が自動で行われる。加えて、デマンド制御に入る優先順位をエリア毎に設定可能とし、極力、業務への影響が生じないよう配慮した。結果、月別デマンドの平均値は 24W/m²と極めて低い値となった。



図 16 太陽光・蓄電池スマートエネルギーマネジメント

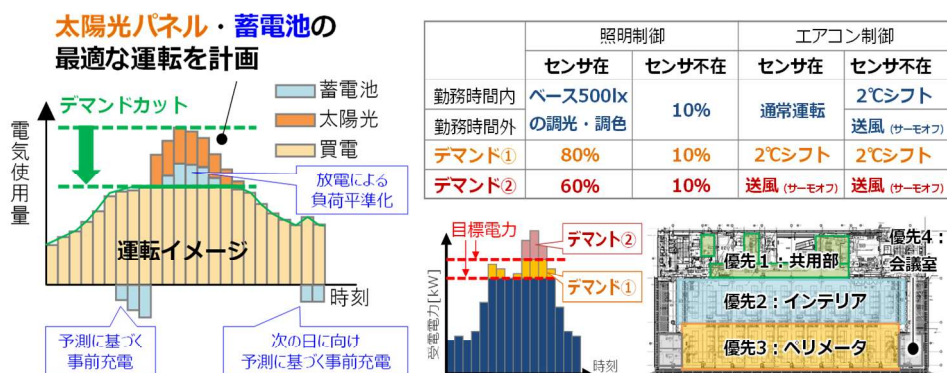


図 17 デマンド制御の概要

3.2 レンガ壁の移設・復元によるエンボディッドカーボン抑制

敷地内に現存していたレンガ造りのボイラー棟は大正時代に建てられ、創業当時の面影を残す唯一の建物であった。この約 100 年前のレンガ壁を移設、歴史未来館の外壁として復元し、企業の歴史を後世に伝承するとともに、エンボディッドカーボン(建設・解体時に排出される CO₂)を抑制する取り組みとした(図 18)。完成後、歴史未来館は刈谷市・企業の歴史・想いを学べる教育の場として地域に広く開放し、サステナビリティを次世代に伝える活動の一環としている。加えて、各所でエコマーク素材を積極的に採用した。



図 18 レンガ壁を移設・復元した歴史未来館、エコマーク素材

4. 省エネルギー性・ウェルネス評価

4.1 省エネルギー評価

一次エネルギー消費量の計画値は基準建物の $1,221\text{MJ}/\text{m}^2\text{年}$ (省エネ法プログラムによる計算値) に対して $429\text{MJ}/\text{m}^2\text{年}$ ($\text{BEI}=0.36$, $\text{BPI}=0.63$) となり、BELS 認証にて最高ランクの☆☆☆☆、ZEB Ready を取得した。さらにエネルギー消費量の実績値は $305\text{MJ}/\text{m}^2\text{年}$ となり、実績値として Nearly ZEB : 75%削減を達成した (図 19)。1 万 m^2 超えのオフィスビルにおいて、Nearly ZEB の達成は難しく、国内トップクラスの環境性能を有しているといえる。

一次エネルギー消費量の内訳(試算結果含む)を示す。基準建物に対して、サステナブルデザイン・設備計画で約 14%削減, 省エネ・ウェルネス制御で約 27%削減, 太陽光パネル制御他で約 10%削減, その他技術 (LED 化や全熱交換器など) で約 24%の削減となり、計 75%の削減を実現した。

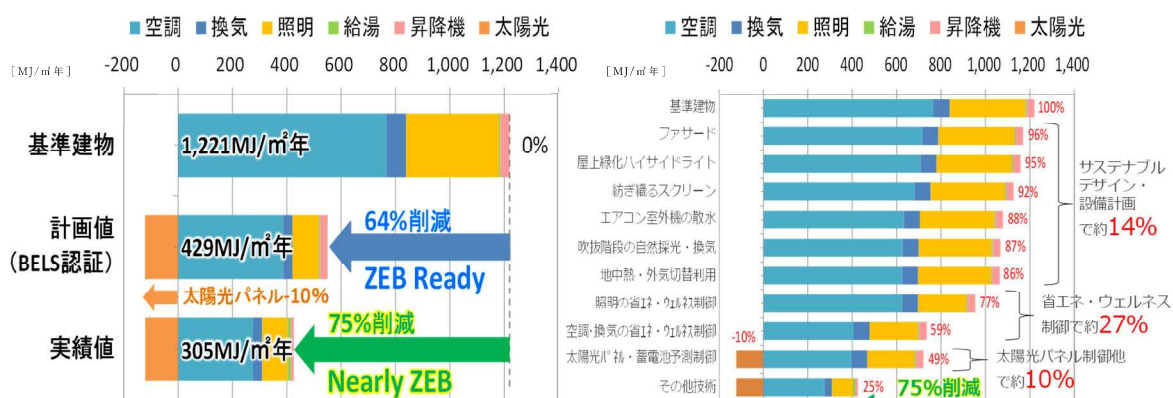


図 19 一次エネルギー消費量の実績・内訳

4.2 CO₂ 排出量の実績と展望

温室効果ガスの主要な構成要素である CO₂ を減らすには、排出量の削減と併せて、樹木による吸収・固定も重要である。樹木には、CO₂ を蓄えて大気中に排出しない「炭素を固定」する性質があり、樹木が増えていくと CO₂ 固定量が増え、地球温暖化の防止に貢献できる。

本計画で植栽された中高木は合計 247 本であり、現在の CO₂ 固定量は合計 8.7t と推定された。また、年月が経つにつれて新規植栽が育つことで、CO₂ 固定量が増加し、30 年後には CO₂ 固定量は合計 496t まで飛躍的に増加する結果となった (図 20)。

年間 CO₂ 排出量を図 21 に示す。グローバル本社・工場全体ともに水力発電由来の CO₂ フリー電力を全面的に採用しており、化石燃料を一切使用しない 100%カーボンニュートラルを達成している。さらに、算出した樹木の年間 CO₂ 固定量を組み入れると、樹木の生長とともに CO₂ 固定量が増加し、CO₂ 削減をさらに促進していく展望となる。

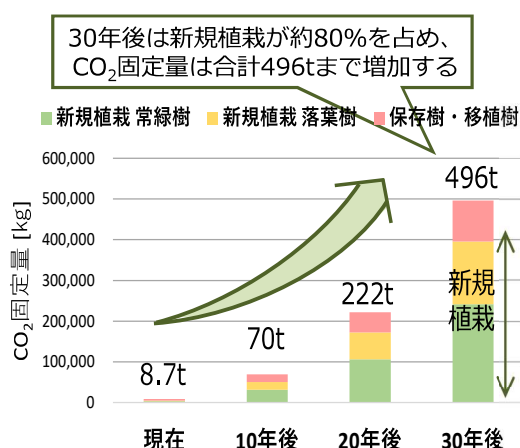


図 20 樹木の CO₂ 固定量の推定

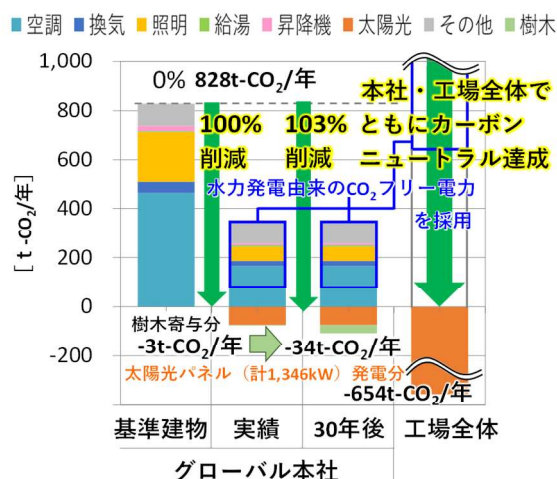


図 21 CO₂ 排出量の実績と展望

4.3 ウェルネス評価

CASBEE-ウェルネスオフィスにて最高級の S ランクを達成、CASBEE オフィス健康チェックリストの合計スコアは移転前はスコア平均をやや下回ったが、移転後は上位 15%以内に含まれるハイスコアとなった。また、環境満足度・知的生産性評価も移転後に大きく向上した(図 22)。

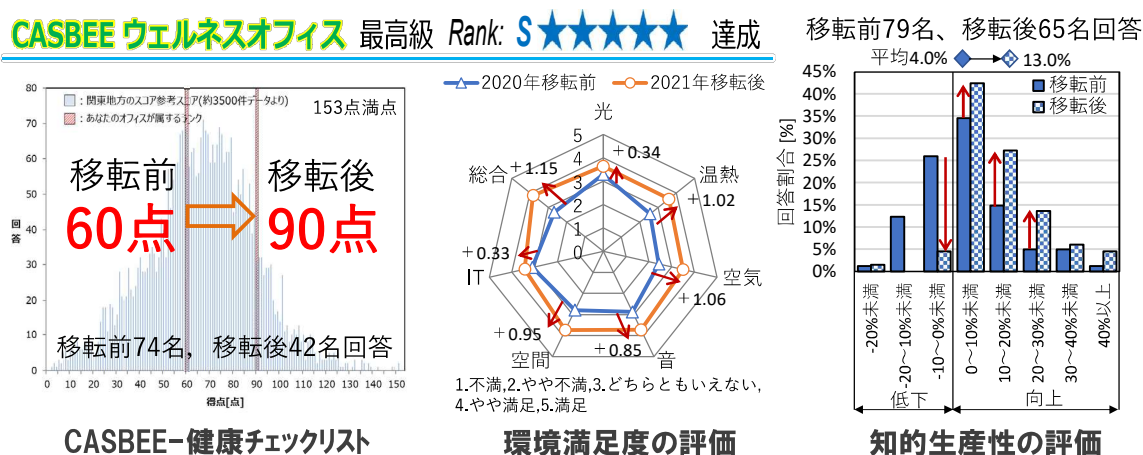


図 22 ウェルネス評価

まとめ

トヨタ紡織グローバル本社は、サステナビリティに配慮しつつ、省エネルギーとウェルネスの向上をともに実現するオフィスを目指して計画した。自然との共生を実現するサステナブルデザイン、働き方に合わせた環境制御やスマートエネルギーマネジメントを行い、Nearly ZEB（実績値）を実現、各種ウェルネス評価においても高い評価が得られた。

<参考文献>

- 1) 石橋,他: 省エネルギーとウェルネスの向上を図るオフィスの計画と評価 (第1報~第3報) 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.217-228, 2021.9
- 2) 石橋,他: ウェルネスオフィスへの移転に伴う環境満足度向上に影響を与えた温熱環境要因の分析, 日本建築学会技術報告集, 第28巻, 第70号, pp.1278-1283, 2022.10
- 3) 石橋,他: 生活リズムを考慮したオフィスの室温変化が執務者の生理・心理・作業効率に与える影響 (その1): 冷房期の被験者実験結果, 日本建築学会環境系論文集, 第88巻, 第805号, pp.162-173, 2023.3
- 4) 石橋,他: 生活リズムを考慮したオフィスの室温変化が執務者の生理・心理・作業効率に与える影響 (その2): 暖房期の被験者実験結果, 日本建築学会環境系論文集, 第88巻, 第811号, pp.698-707, 2023.9