

特集

カーボンニュートラル実現に向けた 建築設備の役割について

視察メンバー

団	長	村上 公哉	(一般社団法人 建築設備総合協会 会長, 芝浦工業大学 建築学部 建築学科 教授)
コーディネーター		湯澤 秀樹	(一般社団法人 建築設備総合協会 副会長, 株式会社 日建設計総合研究所 取締役副所長)
副 団	長	佐藤 大輔	(一般社団法人 建築設備総合協会 理事, 東京電力エナジーパートナー株式会社 法人営業部 都市ソリューション担当部長)
		佐藤 英樹	(2024年度 一般社団法人 建築設備総合協会 副会長, 前 東京ガスエネルギーソリューションズ株式会社, 都市エネルギー営業本部 開発営業部長 (現 株式会社 キャプティソリューションズ常務執行役員))
団	員	内山 裕二	(株式会社 梓設計 取締役常務執行役員)
		榎本 拓幸	(日建設計コンストラクション・マネジメント株式会社 執行役員)
		大山 龍一	(千代田エクスワンエンジニアリング株式会社, ライフサイエンスプロジェクト本部 設備電気ユニット)
		沖元 菜穂	(シュナイダーエレクトリック株式会社 セキユアパワー事業部 ソリューション営業本部)
		金山 雄一	(ヤンマーエネルギーシステム株式会社 東京支社 空調システム営業部 首都圏グループ 課長)
		北見 聡宏	(須賀工業株式会社 業務本部 設計・エンジニアリング統括部 課長)
		權藤 素之	(新菱冷熱工業株式会社 東北支社 業務推進部 設計積算課 課長)
		澤村 晃司	(株式会社 森村設計 環境部 主幹)
		塩出 和人	(株式会社 松田平田設計 執行役員 (環境管掌) 総合設計室 副室長)
		田嶋 圭一	(株式会社 日建設計 エンジニアリング部門 設備設計グループ アソシエイト)
		田中 宏治	(株式会社 竹中工務店 設計本部 エンジニアリングフェロー)
		谷口 力也	(株式会社 日本設計 第1環境・設備設計群第1グループ 主管)
		玉田 義幸	(ダイダグ株式会社 イノベーション本部 技術研究所 応用技術課 課長)
		友田 衛	(高砂熱学工業株式会社 東京本店 設計部カーボンニュートラル推進課 担当課長)
		中村 光良	(株式会社 三菱地所設計 機械設備設計部 ユニットリーダー)
		西塚 健二	(株式会社 トーエネック 東京本部 内線部 工事第四グループ 工事長)
		日野 敬一	(裕幸計装株式会社 理事 営業統括部 統括部長)
		松尾 伸二	(株式会社 オーテック 取締役 環境システム事業部長)
		山川 智	(東海大学 建築都市学部建築学科 教授)
		吉田 秀二	(ワゴジャパン株式会社 CSO 営業執行役員)
		吉田 典彦	(大成建設株式会社 クリーンエネルギー・環境事業推進本部 ZEB・スマートコミュニティ部 ZEB 推進室 室長)
事	務	局 金子 輝	(一般社団法人 建築設備総合協会 事務局長)
協	力	大橋 聖賢	(日新航空サービス株式会社 営業本部 営業部 リーダー)
		福田はるか	(日新航空サービス株式会社 営業本部 営業)

欧州視察 「カーボンニュートラル 実現に向けた建築設備 の役割」 の報告にあたって

村上 公哉
(一社) 建築設備総合協会 会長
芝浦工業大学 教授

昨年 2024 年 10 月、当協会は 5 年ぶりに海外視察を実施しました。視察団は総勢 28 名（添乗員 2 名含む）であり、北欧のコペンハーゲン、マルメ、英国のロンドン、独国のフランクフルトなどを訪問しました。視察のテーマは「カーボンニュートラル実現に向けた建築設備の役割」であり、欧州諸国の先進事例からカーボンニュートラル実現に向けた建築設備の役割について有用な知見を得るとともに、その土地の文化を肌で感じて経験を共有することなどを目指しました。そして視察を通じて、カーボンニュートラルの実現は世界共通課題であり、建築物の環境配慮化、再生可能エネルギー利用、資源循環、DX 技術を活用したマネジメントなどの技術の重要性とそれらの主役が建築設備であることを再認識できました。さらに、個人的には三つの観点から勉強になりました。

一つ目は、スウェーデンのマルメ市内のウエスタンハーバー（Western harbor）地区とアウグステンボーリ（Augustenborg）地区、デンマークの首都コペンハーゲン内のノルトハウン（Nordhavn）

地区などの視察です。ウエスタンハーバー地区は大手造船所跡地、ノルトハウン地区は港湾地区における再開エリアであり、多くの環境配慮建築や集合住宅が建設されています。私はサステナブルをコンセプトとした街づくりが土地の付加価値を創生、向上させるとともに、住民のエコライフへの意識や行動を醸成している点などに注目しました。

二つ目は、ロンドンの Smart Building Show への参加、Sidara グループの地域本部ビル 150 Holborn の視察、ドイツのミンデン市の WAGO グループのグローバル本社ビルの視察です。スマートビルと称して先進的なテクノロジーとセンサーのネットワークによりインテリジェントなビル管理インフラを構築しています。私は居住者個々がスマートな仕事をするためのスマートビルであり、人を中心としたウェルビーイングなワークプレイスを創造することがスマートビルの本質であると感じました。

三つ目は、デンマークの State of Green の視察です。世界的なグリーン社会への取り組みの先駆者であるデンマークの政府機関、企業、学術機関などの最新動向に関する広報機関であるとともに、海外のプレイヤーをそれらに繋ぐワンストップショップ機関です。私は 3 回目の訪問でしたが、発信される情報が常に進展しておりエネルギーや低炭素のみならず水や資源利用まで幅が広がるとともに、サステナブル社会への取り組みを国の経済成長に上手に結び付ける政策のあり方や情報発信力に感心させられました。

コロナ禍が落ち着き、世界における人の動きが盛んになって来ています。そして、海外を訪れることはさまざまな見聞を広げる貴重な機会となりますが、視察に参加できる協会関係者は限られます。そのため、本欧州視察報告書が多くの方の協会関係者の皆様のお役に立つことを願いますとともに、最後に今回の視察の成功は丁寧な事前調査準備や視察先との大変な調整にご尽力頂いた関係者の皆様のお陰であり厚く御礼申し上げます。

カーボンニュートラル 実現に向けた 建築設備の役割について

視察概要

湯澤 秀樹

(株)日建設計総合研究所

1. 視察目的

近年、地球温暖化の進行に伴い、世界各地で異常気象や自然災害が頻発しており、その深刻さは年々増している。こうした状況の中、気候変動への対応は国際社会が直面する喫緊の課題であり、持続可能な社会の構築に向けた取り組みは急務となっている。とくに都市部では、建築物がエネルギー消費の大半を占めており、建築分野におけるカーボンニュートラルの推進は、温室効果ガス排出削減の観点からもきわめて重要である。

建築設備は、建物内のエネルギー供給・制御を担うだけでなく、居住者の快適性や利便性を支える基盤として機能している。空調、照明、給排水、エネルギーマネジメントなどの設備は、生活の質を左右する要素であり、環境性能と生活の豊かさを両立するための鍵を握っている。このような背景のもと、建築設備にかかわるわれわれの果たすべき役割はますます大きくなっており、社会的責任も高まっている。そこで今回、欧州の環境先進国を対象に建築設備の果たすべき役割について多角的に検討することを目的とした視察を実施した。

スウェーデン・マルメでは、カーボンニュートラルな住環境で暮らす住民から直接話を伺い、持続可能なライフスタイルの実態と、それを支える設備のあり方を体感した。デンマークでは、政府の環境政策の説明を受けるとともに、港湾施設の再利用やエネルギーの循環利用を図るスマートシティの視察から徒歩圏で生活が完結する都市設計とそれを支える建築設備の工夫を確認した。英国では、欧州のスマートビル技術に関する展示会で最新の設備技術やエネルギーマネジメントの動向を把握し、既存建物の改築において廃棄物のリサイクル率97%以上を達成したスマートビルの視察から資源循環型社会に向けた設備設計の先進事例を学んだ。また、ドイツでは、環境建築の先進事例を視察し、建築設備が環境負荷低減と知的生産性向上の両立に貢献する可能性を再認識した。これらの知見は、今後の国内プロジェクトの建築設備の設計・運用に活かせるものと考えられる。

2. 視察行程

2024年10月5日から14日までの10日間にわたり、スウェーデン・マルメ、デンマーク・コペンハーゲン、イギリス・ロンドン、ドイツ・フランクフルトおよびミンデンの5都市を巡る視察を実施した（行程の詳細は表－1参照）。

今回の視察では、企業や政府の施策に関するヒアリング、環境建築・スマートビルディングの先進事例の視察、展示会での技術調査に加え、各都市の文化に触れることで地域の特色を肌で感じ取ることを重視した企画とした。また、事前には国内で勉強会および懇親会を開催し、視察先への理解を深めるとともに、参加メンバー間の交流を促進する機会を設けた。出国直前には一部の視察先の変更という不測の事態が生じたが、参加者全員の高いチームワークにより柔軟に対応し、結果として新鮮な視点で視察を成功裏に終えることができた。視察団の情報共有にはSlackを活用し、3グループ体制で点呼を繰り返す運用の実践、加えて、日新航空サービス社の大橋氏、福田氏の適切なサポートにより、大きなトラブルもなく、行方不明者を出すことなく全員が無事に帰国することができた。

表－1 視察行程

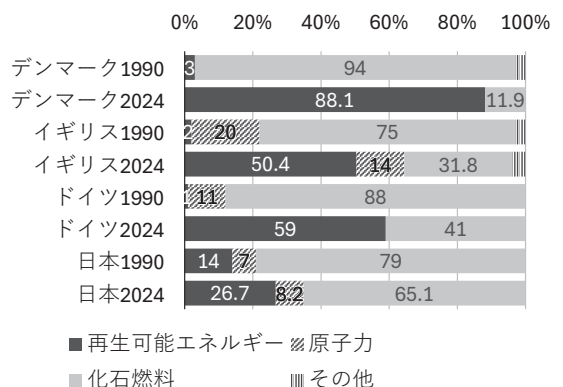
月日	都市	視察先
10/5	日本	出国
10/6	マルメ	アウグステンボーリ ウェスタンハーバー
10/7	コペンハーゲン	State of Green Nordhavn Energy Machine
10/8	ロンドン	ロンドン市内視察
10/9	ロンドン	Smart Building Show 150 Holborn
10/10	ロンドン	大英博物館
10/11	ミンデン	WAGO 本社
10/12	フランクフルト	フランクフルト市内視察
10/13	フランクフルト	出国
10/14	日本	帰国

3. 視察対象国のエネルギー政策

視察対象国であるデンマーク、イギリス、ドイツと日本の電源構成比率について、京都議定書・第一約束期間の基準年である1990年と2024年と比較を行った結果を図－1に示す。1990年時点ではいずれの国も化石燃料の使用割合が75%を超えていた。しかし、2024年には日本を除く3カ国で化石燃料比率が50%を下回り、脱炭素化の進展が顕著である。とくにデンマークでは再生可能エネルギーが約9割を占め、欧州の先進性を示している。イギリス、ドイツも再生可能エネルギーの割合が50%以上増加しており、エネルギー転換が着実に進んでいることがわかる。一方、原子力発電に対する各国の方針は大きく異なる。デンマークは当初から原子力発電所を設置しておらず、ドイツは2023年4月15日に原子力発電所を全廃した。これに対し、イギリスは原子力をゼロカーボン電源の柱と位置付け、維持・拡大を図る方針である。図－1において原子力の割合が低下しているのは、再生可能エネルギーの急増による相対的な結果である。

3-1 デンマークのエネルギー政策

デンマークは、2045年までにカーボンニュートラルを達成することを国家目標として掲げており、2023年時点で1990年比38%のCO₂排出削減を実現している。再生可能エネルギーの導入を積極的に進めており、2024年の電源に占める割合は88.1%に達した。その内訳は、風力57.9%、



図－1 各国の電源種別割合の推移

バイオエネルギー 18.8%，太陽光 11.3%であり、風力発電が圧倒的な比率を占めている。さらに、2012年12月には「Power-to-X 戦略」を発表し、風力発電による水素製造を開始。製造された水素は国内外に供給され、再生可能エネルギーの有効利用に寄与している。なお、今回の視察では水素製造プラントや水素発電所の訪問を計画していたが、ウクライナ情勢に伴うセキュリティ上の理由から断念せざるを得なかったことは残念である。

熱供給の面では、国全体の熱需要の約50%が地域熱供給システムによって賄われている。とくにコペンハーゲンでは、地域熱供給システムの約25%にコージェネレーションシステムが導入されている点の特徴である。この背景には、1970年代の石油ショックを契機に1979年に制定された熱供給法があり、以来、国と自治体による熱インフラ整備が進められてきた。各自治体は、「地域熱供給・ガス・個別暖房」を区域ごとにゾーン分けし、熱供給区域に指定された建物には最大8年以内の接続義務が課される場合がある。また、熱供給事業者には住民本位かつ効率重視の運営が求められ、信頼性と事業継続性が高い水準で維持されていることもデンマークのエネルギー政策の強みと言える。

3-2 イギリスのエネルギー政策

イギリスは、2050年ネットゼロを法制化し、2035年までに電力部門をほぼゼロカーボン化することを中間目標としている。その柱の一つが再生可能エネルギー拡大である。2024年の電源構成に占める再生可能エネルギーの割合は50.4%で、その内訳は風力29.2%、バイオエネルギー11.9%、太陽光4.8%、水力1.5%と風力発電が大きな割合を占めている。政府は2030年までに風力発電容量を50GWに拡大することを目標としている。加えて、原子力発電を「安定供給の柱」と位置づけ、2035年までに原子力容量を最大24GWに増強する計画を進めている。一方、化石燃料は段階的に廃止する方針で、石炭火力は2024年に全廃済みである。天然ガスは移行期のバックアップ電源として残しつつ、CCUC（炭素

回収・貯留）の義務化を進めている。さらに、水素については2030年までに最大10GWの低炭素水素を生産する計画を掲げており、再生可能エネルギーと水素技術を組み合わせた脱炭素化の加速が期待されている。

3-3 ドイツのエネルギー政策

ドイツは、脱炭素化・再生可能エネルギー拡大・エネルギー安全保障を軸にエネルギー政策を推進している。2045年までにカーボンニュートラルを実現することを国家目標とし、2030年までに温室効果ガスを1990年比で65%削減することを中間目標として掲げている。2024年の電源構成に占める再生可能エネルギーの割合は59%で、その内訳は風力31.5%、太陽光13.8%、バイオマス8.7%、水力4.7%、その他再エネとなっており、風力と太陽が主力である。再エネ導入に関しては、再生可能エネルギー法（EEG）に基づき、固定価格買取制度から市場連動型へ移行し、競争力を高めている。化石燃料については、石炭火力は段階的に廃止を行い、2030年までに全廃する計画である。天然ガスは移行時のバックアップ電源として残すが、将来的には水素対応型に転換する計画としている。また、水素については「国家水素戦略」の下、2030年までに10GWの電解槽を導入し、水素を産業・輸送・発電の脱炭素化に活用する予定である。

4. 視察対象国の建築分野における政策

欧州では、EUの建物性能指令（EPBD：Energy Performance of Buildings Directive）に基づき、加盟国は以下の事項を義務付けられている。

- ① EPC（Energy Performance Certificate）制度の導入
- ② 新築・改修時のエネルギー性能基準
- ③ 公共建築のエネルギー性能表示

EPCとは、建物のエネルギー性能を評価し、効率をランク（通常A～G）で示す証明書である。建物の売買や賃貸時に提示が義務付けられており、エネルギー消費量やCO₂排出量の目安を示している。なお、イギリスはEUを離脱したが、

EPC 制度は継続している。なお、EPBD は最低基準を示すもので、各国に制度設計の自由度を認めているため、要求水準やランク表示、技術要件に関して独自基準を定めている。表-2 に EPC 制度の比較結果を示す。

4-1 デンマークにおける建築分野の政策

デンマークは、2020 年に改定した気候法により、2030 年までに温室効果ガス排出量を 70% 削減、2045 年および 2050 年に排出ゼロを達成することを法制化した。さらに、5 年ごとの目標見直しと気候行動計画の策定を義務化し、建築分野においても新築・既存建物への厳格な CO₂ 制限と品質基準を設定している。既存建物では、住宅改修時に少なくとも EPC ラベルを 1 段階引き上げることを義務化し、新築建物では、2025 年 7 月から CO₂ 排出量の上限値を 7.1kgeq/m²/年に設定。2027 年から 2029 年にかけて段階的に基準を強化する予定である。また、IT 先進国ならではの取り組みとして、全 EPC 情報を国家データベースに集約し、公的な性能追跡が可能な体制を構築している。

一方、LCA（ライフサイクルアセスメント）規制の強化も進められている。これは、デンマーク建築研究所が 2020 年に建材・解体・維持を含むライフサイクルの実績値を約 60 棟程度から収集し、リファレンスとなるデータを整理・公表した「Klimapåvirkning レポート」を契機に、2021 年に国会で合意され、2023 年 1 月からすべての新築建築物に LCA 提出を義務化する制度が導入された。

さらに、2030 年までに石油・ガスボイラーを全面撤廃するための段階的支援策を進めるとともに、ヒートポンプや太陽光発電設備の導入に対する補助金や税制優遇を実施。「Green Investment Fund」「EIFO」などの官民一体の投資基盤を整備し、政策支援策と市場インセンティブを組み合わせた施策を展開している。

加えて、コペンハーゲンでは「CPH 2025 Climate Plan」に基づき、都市全体での炭素排出量削減を推進しており、建築物のエネルギー性能向上と再生

可能エネルギーの活用を組み合わせ、持続可能な都市環境の構築を目指している。

4-2 イギリスにおける建築分野の政策

イギリスは 2021 年に制定し、2023 年に改定した「Heat and Building Strategy」に基づき、住宅・商業・公共建築物の脱炭素化を推進し、2050 年ネットゼロ達成へのロードマップを策定している。その中核となるのが、「Future Homes & Buildings Standards」であり、新築や用途変更を行う建物に対して、断熱・気密性強化・低炭素暖房設備への切り替え、換気・過熱対策の実施を義務化するなど、エネルギー効率化と低炭素化をパッケージ化した建築基準を導入している。EPC 制度についての基準強化が進められており、商業賃貸の最小ランクを 2023 年から E ランク以上、2030 年から C ランク以上に引き上げる予定である。ただし、現行の「EPC ランク（A~G）はエネルギー消費量の実績値と乖離しやすく、「実態を反映していない」との批判が多いため、2026 年までに制度の再構築が計画されている。

さらに LCA とサーキュラーエコノミーに関する規制強化も進んでいる。ロンドンでは 2021 年から大規模再開発を行う場合には Circular Economy Statement（解体前・後の資源量を含む報告書）とホールライフカーボン評価の提出を義務化。今回視察した「150 Holborn」では、解体前に資材量を把握し、改築時に約 9 割以上をリサイクルしているとの報告があった。国レベルでは、2025 年 4 月に「UK Net Zero Carbon Buildings Standard」を公開し、ライフサイクル排出量（upfront+全期間）に基づく Net Zero 達成の技術基準を定義した。これにより、建築分野における脱炭素化と資源循環社会の実現に向けた取り組みが加速している。

4-3 ドイツにおける建築分野の政策

ドイツでは 2024 年改正建築物エネルギー法を軸に、新築・既存建物の脱炭素化を制度・支援・計画の三位一体で推進している。新開発エリアでは、暖房設備における再生可能エネルギー利用率 65% 以上を義務化した。さらに、自治体は 2028 年までに地域熱供給計画を策定し、2029 年以降は再エネ

表－2 EPC制度の比較

項目	デンマーク	イギリス	ドイツ
制度名称	Energy Label	EPC	Energieausweis
義務範囲	売買・賃貸時、新築・改修時に必須	同左	同左
表示形式	A～Gの7ランク+推奨改善策	同左	A+～Hの9ランク
更新頻度	10年（または改修時）	10年（または改修時）、一部の公共建築は3年	10年（または改修時）
発行者	Energy Consultant	Accredited Energy Assessor	Energieberater
資格要件	専門研修・登録制	講習+試験+実地研修	学位+定期更新講習（2年ごと）

暖房義務が段階拡大する予定である。これに対応する支援策として、費用の最大70%を補助する制度が整備されている。新築住宅の一次エネルギー消費目安は45-60kWh/m²年に設定し、エネルギー証明書の提出を義務化している。またEPBD改定への完全整合を図り、ライフサイクルCO₂規制の導入や、トリプルガラス義務化に近い高断熱要件が実質的に設定されている。さらに、街区単位でのエネルギー設計「Quartiersansatz」が導入され、地域全体での効率的なエネルギー管理と住民参加型の改修が推進されている。一方、サーキュラーエコノミーを資源効率化の柱として位置づけ、2020年改正の「Kreislaufwirtschaftsgesetz（循環経済法）」に基づき、廃棄物削減や再資源化の義務化を推進している。2023年に国家循環型経済戦略を策定し、建材利用・廃棄物における一次原料削減や製品パスポート（デジタル素材情報開示）を制度化した。建設現場では、ベルリンのCRCLRハウスなど、50%超に再利用材を用いた設計事例が活発化している。さらに、EUのタクソノミー（持続可能性分類制度）とCPR（建設製品規則）の改定により、建材や建築部材に関する環境性能や再利用可能性などの情報を記録・開示する「マテリアルパスポート（資材情報のデジタル化）」の導入が進んでいる。

5. 視察先概要

ここでは視察策の概要をご紹介します。

5-1 アウグステンボーリ（マルメ）

1998年にエコシティ化が開始された再生地区で、住民主体の設計のもと、グリーンルーフ、水辺インフラ、オープンストーム水系で洪水対策と環境美化を実現している。2016年竣工のグリーンハウスを視察し、さまざまな工夫のもとに持続可能なライフスタイルを楽しんでいることを住民の方々から直接説明いただく貴重な体験をした。

5-2 ウェスタンハーバー（マルメ）

かつての造船跡地を21世紀初頭にエキスポ用モデル地区として開発したエリア。地熱ヒートポンプ+風力・太陽エネルギーで電力・暖房を自給し、廃棄物分別・グリーンインフラ・水循環が整備された世界初のカーボンニュートラル住宅地の暖かい日差しの中でウォーキングを楽しんだ。

5-3 State of Green（コペンハーゲン）

環境・エネルギー・水・都市・サーキュラーエコノミーなどに強みをもつ600以上の政府・企業・研究機関をつなぐ官民パートナーシップ型非営利プラットフォームをデンマーク大使館からご紹介いただいた。デンマークの脱炭素に向けた政策動向に関するわかりやすい説明を受けた。

5-4 Nordhavn（コペンハーゲン）

旧港湾地区を再開発した持続可能な都市モデルで、再生可能エネルギー、スマート交通、緑地整備を組み合わせ、CO₂排出ゼロを目指す複合都市として注目されている。住宅・商業・公共施設が統合され、歩行者・自転車優先の設計が特徴で、80代のガイドの男性が雨に打たれながら熱心に

ご説明いただいたことが印象に残っている。

5-5 Energy Machines 社 (コペンハーゲン)

2010年創業のクリーンテック企業で、地中熱ヒートポンプ・熱回収・PVT太陽光・垂直風力等を統合した「ビル自家発電・蓄電・再利用システム」を提供し、ビルのCO₂排出削減と運用コスト低減を推進している。地域熱供給ネットワークが整備されているデンマークにおいて、同社のサービスを展開する工夫について話を伺った。

5-6 Smart Building Show (ロンドン)

商業施設・オフィスを対象に、ITインフラ、BEMS、プロップテックなどの最新技術・ソリューションを展示・講演する欧州唯一の専門イベント。KNX協会のご協力を得て、主要メーカーの展示内容の説明とセミナーの聴講を通して、欧州のスマートビル関連技術の最新情報を入手した。

5-7 150 Holborn (ロンドン)

グローバル建築・サステナビリティコンサルティング会社 Sidara が設計した約1,700m²のオフィス・商業施設で、「スマート×サステナブルヘッドクォーター」として2023年に竣工した。都心で太陽光発電、ブルールーフ雨水貯留、グレイウォーター活用を取り入れたネットカーボンポジティブ建築で複数の環境認証を取得している。技術導入を行った Schneider Electric 社から IoT センサーによる空調・照明最適化、施設管理プラットフォームなどのスマート技術と ABW が導入されたオフィス空間に関する説明を受けた。

5-8 WAGO 本社 (ミンデン)

視察に参加した WAGO 社の御好意でミンデン本社に2016年竣工したコミュニケーションセンターを視察させていただいた。水熱源ヒートポンプ・地中熱・LED・スマート空調制御でエネルギー効率を追求し、レストランでは地域食材・生分解カップを採用し廃棄物管理や再生可能エネルギー活用を含むサステナブル設計が特徴で、とくに自動太陽追尾型の外部ルーバーにより、人工照明を使わずに会議を開催したことが印象的である。

6. カーボンニュートラル実現に向けた建築設備の役割

視察対象国のエネルギー政策と建築分野の取り組みを俯瞰すると、共通する基本方針はエネルギー需要側の規制強化による消費量低減と、エネルギー供給側における再生可能エネルギー比率の拡大である。この考え方はわが国と同様だが、欧州では規制の厳格さ、金融面を含めた支援体制の充実、再生可能エネルギー構成における風力発電の比率の高さが際立っている。また、カーボンニュートラル推進において建築分野の脱炭素化が重要課題である点は共通認識と言える。建築に目を向けると、建物のエネルギー消費はすべて建築設備を通じて行われているため、建築設備の果たす役割はきわめて大きいと考える。設備設計に携わるエンジニアは、環境工学的視点から環境負荷を低減する建築デザインへの助言を行うべきと考える。また、自然採光や自然換気などのパッシブデザインに加え、高効率なエネルギー消費を実現するアクティブデザインを導入し、これらの工夫が実際の運用時に確実に機能するようサポートすることが求められる。今回視察した150 Holbornの吹き抜けや外装デザイン・空間構成、WAGO本社コミュニケーションセンターの外部ルーバーは、その模範的事例と言える。

加えて、今後の建築設備には二つの新たな機能が求められている。第一は、建物利用者の行動変容を誘発する機能である。150 Holbornのスイッチ類はデザイン性に優れ、利用者に「使ってみたい」「気持ちいい」「さらに良くしたい」などのポジティブな感情を喚起し、自然とカーボンニュートラルに向けた行動につなげている。第二は、高度な連携を生む機能である。WAGO本社のコミュニケーションセンターでは、外ルーバーという建築要素と太陽追尾、照明制御と連携させることで昼間でも照明を点灯せずに執務作業を可能としている。同様に、人流と空調制御、人の感性と空調制御を組み合わせることで、快適性を確保しながら脱炭素化を実現することが可能と考える。つまり、都市、建築物における計画、構造、設備、機

器、材料、施工、管理などを有機的に統合し、総合的な発展を図ることがカーボンニュートラル社会の実現に寄与するものと考え、これは本協会の理念とも符合するものである。

7. おわりに

今回の視察は、世界共通の課題であるカーボンニュートラル社会の実現に向け、先行する欧州の政策、建築・建築設備、まちづくりを、その土地の文化を肌で感じながら理解することを目的とした。欧州では、明確な目標設定と段階的な規制強化に加え、建築主への助成やエンジニアの育成を並行して進めることで、着実に目標達成を図っている。行政による制度設計、カーボンニュートラルを事業機会と捉え積極的に展開する企業、そしてその暮らしを楽しむ住民の姿に触れ、大きな学びを得ることができた。快適性や知的生産性の向上と脱炭素化の両立において、建築設備の果たす

役割は今後ますます重要になると強く認識した視察であった。

視察先の選定にあたっては、デンマーク大使館、KNX協会、シュナイダーエレクトリック社、WAGO社の多大なご協力をいただいた。とくに、KNX協会にはロンドンでの視察におけるアテンド、シュナイダーエレクトリック社の沖本氏およびWAGO社の吉田氏には視察の段取りや通訳対応をご支援いただき、視察の成功に大きく寄与いただいた。また、視察先では、State of GreenのGry Klitmose Holm氏より、NordhavnやEnergy Machines社の紹介に加え、デンマークの政策について丁寧な解説をいただいた。そのほか、今回の視察にご協力いただいた皆さまに、視察団を代表して心より感謝申し上げます。また、視察団にご参加いただいた皆さまとは、今後も情報交換を通じて知見を深め合い、親密な関係を継続していただけることを心より願っている。

特集

カーボンニュートラル 実現に向けた 建築設備の役割について

アウグステンボーリ地区 GREEN HOUSE MALMÖ (スウェーデンマルメ市)

田中 宏治
(株)竹中工務店
塩出 和人
(株)松田平田設計
中村 光良
(株)三菱地所設計

1. はじめに

マルメ市はスウェーデン南部に位置する環境先進都市であり、持続可能な地域・都市開発を積極的に推進している。今回は、環境に配慮した都市再生プロジェクトとして国際的に注目されている「エコシティ・アウグステンボーリ」の一環であるアウグステンボーリ地区のグリーンハウスを訪問した。現地では、マルメ市から委託を受けた「GREEN BLUE GUIDE (マルメ市の環境先進地区や施設を案内)のツアーガイド」の案内により、同地区の歴史的背景から地域再生のプロセス、グリーンハウスで実施された環境配慮計画やさまざまな技術・取り組みに関する詳しい説明を受けた(写真-1)。また実際に居住されている住民の方から住戸内を案内いただき、竣工から約8年経過した現在の運用状況や居住体験について直接お話を伺うことができた。

本報告では、脱炭素・資源循環・生物多様性に加え、作物の栽培を通じて人と人がつながり、健康で快適かつ豊かな暮らしを実現するライフスタイルの提案をテーマとした、環境共生集合住宅「グリーンハウス」について紹介する。

2. マルメ市について

マルメ市は、17世紀にデンマークからスウェーデンの支配下に入り、現在ではストックホルム、イエーテボリに次ぐ第三の都市である。造船業や自動車産業などの工業が盛んである一方、マルメ



写真-1 ツアーガイドによる説明

大学、市立劇場を擁し、教育や文化にも力を入れている。面積は約 157km² で山手線内側の約三倍に相当する。人口は約 35 万人で、その約半数が 35 歳以下という若い人口構成が特徴である。地理的にはデンマークのコペンハーゲンとエーレスンド橋および海底トンネルを含む鉄道「オーレン・リンク」で結ばれており、両都市は経済的にも一体化が進んでいる。

3. エコシティ アウグステンボーリ地区

3-1 治水問題を解決しエコシティへ

アウグステンボーリ地区は、第二次世界大戦後の 1948 年から 1952 年にかけて、工場労働者の居住地を確保するために開発された。この地域は砂地や湿地が多い平坦な地形のため、豪雨時には地下室の浸水などの洪水被害が頻発していた。2001 年からは洪水対策が本格化し、公共下水道は雨水と下水の合流式から分流式へと改修された。さらに、雨水が増水した際にはそれを地表面であふれさせ、くぼ地（通常時は緑地として利用）に導く「オープンウォーターシステム」へと転換した。その結果、2014 年にマルメ市が豪雨による大規模な洪水に見舞われた際にも同地区は被害を受けることなく、対策の有効性が実証された。

3-2 緑化の推進とグリーンハウスの建設

治水対策と並行して、1988 年には建築物の緑

化に関する法整備が進められた。これにより、土地の自然植生をできるだけ保持するため、建物の高層化が推進されるとともに、屋上や敷地内の積極的な緑化が進められた。とくに屋上緑化は「レインスケープ（雨水流出抑制景観施設）」として治水機能を強化し、また、地域の生物多様性の向上にも貢献している。さらに、マルメ市と公営住宅会社 MKB は連携し、アウグステンボーリ地区の中心的な施設として、持続可能なライフスタイルを促進するインテリジェント機能を備えたパッシブ集合住宅「グリーンハウス」を建設した。

4. 環境共生集合住宅 グリーンハウス

4-1 計画概要

グリーンハウスは、公営住宅供給を担う MKB 社が手がける先導的プロジェクトである。持続可能な都市生活の実現に向けて、廃棄物処理室の運用やカーシェアリングなど、数多くの実験的な取り組みが導入されている（図-1）。これらはすべて、ほかの住宅供給プロジェクトへの水平展開を視野に入れた試験的導入であり、成功した施策は順次展開されていく予定である。本プロジェクトの最大のコンセプトは「コミュニティの形成と促進」である。その実現に向けて、屋上や住戸テラスには菜園が設置され、居住者が作物を栽培できる環境が整えられている。入居には園芸への関



図-1 グリーンハウス採用技術

表-1 建物概要

用途	賃貸住宅 56 戸, 幼稚園, シアター, 学生アパート
階数	14 階
竣工	2016 年
設計	Jaenecke Arkitekter AB (マルメブ市設計事務所)
環境認証	Miljöbyggnad guld ゴールド認証 (スウェーデン・グリーンビルディング協会)
	パッシブハウス FEBY (スウェーデン・エネルギー効率ビルディング・フォーラム)

心が求められ、賃貸契約に加えて栽培契約を結ぶ必要がある。こうした取り組みで住民同士の交流が自然に生まれ、地域コミュニティの活性化が図られている。その他、建物概要を表-1に示す。

4-2 住戸計画

図-2に示すように、グリーンハウスの基準階は1フロアにつき3住戸で構成されており、各住戸は1LDKタイプで面積は約70~80m²である。住戸の開口部は緑色で示されており、北側の開口は最小限に抑えられ、その他の面には大きな窓やバルコニーを設けることで、自然採光を最大限に取り入れる設計となっている。本計画の最大の特徴は、各住戸に設けられた約22m²の大型バルコニーである。このバルコニーには栽培用の大型ボックスと散水装置が設けられており、ジャガイモのような根菜類の栽培も可能である。さらに、バル

コニーはガラスで囲まれた温室タイプと外部に開放されたタイプの2種類があり、異なる温度帯を作り出すことで、多様な植物の育成を可能としている(写真-2, 3)。バルコニーへの動線は共用部から一直線に確保されており、その途中には栽培作業を行える専用スペースも設けられている。これにより、住民は日常的に園芸活動を楽しみながら、自然とのふれあいを深めることができる。

温熱環境面では高断熱化が徹底されており、建物はパッシブハウス認定を取得している。冷房設備は設けられておらず、冬季には窓廻りに設置されたパネルヒーターで暖房を行う。温水と給湯は地域暖房システムから供給されており、環境負荷の低減に配慮された設計となっている。

4-3 共同栽培

各住戸に設けられた栽培バルコニーに加え、建物の低層部屋上には居住者が共同で利用できる栽培エリアが設けられている(写真-4)。このエリアにはドーム型の温室も併設されており、季節や天候に左右されず多様な植物の育成が可能である。さらに、最上階の14階には冬季に弱った植物の保管・回復させるための温室が設置されている。この温室は、眺望を楽しめる談話室としても機能しており、居住者同士の交流を促進するコミュニティスペースとして活用されている。都市生活の中で自然とふれあいながら、住民同士がつ

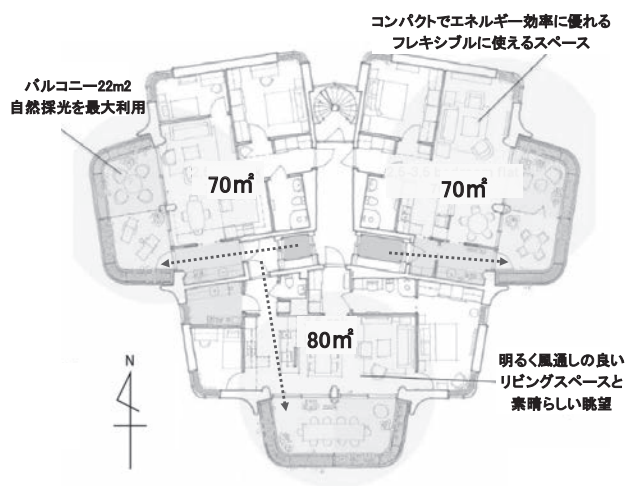


図-2 基準階 住戸平面図



写真-2 ガラスで閉じた温室バルコニー



写真-3 外部に開放されたバルコニー



写真-4 低層屋上 共同栽培エリア

ながる場を提供するこの空間は、グリーンハウスの理念を象徴する存在ともいえる。

4-4 スマートインテリジェント機能

グリーンハウスの各住戸には、玄関脇に「ホーム／アウェイボタン」と呼ばれる大きなスイッチが設置されている（写真-5）。このボタンを押すと住戸内の電源コンセントと換気設備の制御が可能となり、外出時には冷蔵庫を除くすべての電



写真-5 ホーム／アウェイボタン

源を一括でオフにすることができる。これはホテルの省エネルギーシステムに類似した仕組みであり、待機電力を含むコンセント負荷の削減に寄与している。また、各住戸にはタブレット端末が備えられており、電気・給湯・廃棄物の消費量をリアルタイムで確認することができる。住民は自ら目標値を設定し、ほかの住戸の平均値と比較することで、環境負荷への意識を高めることができる。こうした取り組みは、住民に行動変容を促すとともに、持続可能な暮らしへの参加意識を育むものとする。なお、現地調査時点ではシステムに不具合が生じており、実物の画面表示などの確認はできなかったが、今後の復旧と運用を期待する。

4-5 ごみ分別のインテリジェント化

グリーンハウスでは、ごみの分別収集においても多くの工夫が施されている。ごみステーションには重い扉や鍵管理はなく、居住者は自身のルームキーで自動シャッターを操作できる仕組みとなっており、利便性とセキュリティの両立が図られている（写真-6）。ごみの分別は市のルールに則っており、段ボール、プラスチック、新聞、金属、ガラス（透明・有色）、生ごみなどに細かく分類されており、無分別ごみの投入口もある。生ごみは菜園で堆肥化されるのではなく、市の施設でバイオガス化されている。特筆すべきは、無分別ごみの重量をルームキーと連携して自動計量できるスマート機能で、これにより各住戸の分別意識が高まり、環境負荷低減に貢献している。導入当初は住戸間で競う動きも見られたが、継続は難しく、現在は前月との比



写真-6 ごみステーション

較などを通じて、個々の住民がモチベーションの維持・向上させる形で活用されている。また、ごみステーションの配置にも工夫があり、自転車置き場の主要動線上かつランドリールームから視認可能な位置に設けることで、防犯性を高めるとともに、ルール違反の抑制にも役立っている。

各住戸では、写真-7に示すリサイクルバッグを活用して分別を行う。このバッグはキッチンのシンク下に収納でき、分別したごみをそのままごみステーションに持ち運び、捨てた後は折りたたんで自分のバッグに入れて外出することも可能である。MKBのモットーである「Easy to right(良いことを簡単に)」を体現する仕組みが、日常の中で自然と環境配慮を促す設計となっている。

4-6 共同ランドリールーム

スウェーデンでは、洗濯機を各住戸に設置するケースと共同ランドリールームを採用するケースがある。本建物では住民同士のコミュニケーション促進を目的として、洗濯機5台を備えた共同ランドリールームを設けている(写真-8)。ランドリールームの配置は、建物内の主要な動線から視認性の高い位置に計画されており、偶発的な出会いの機会を生み出す空間としても機能している。こうした設計は、日常の中で自然な交流を促すことを意図している。機能面でも工夫が凝らされており、洗濯機は24時間いつでも自由に予約できるシステムを採用。環境に優しい洗剤の使用が推奨されているほか、乾燥機には排熱回収システムが導入されており、エネルギー効率の向上と



写真-7 リサイクルバッグ



写真-8 ランドリールーム

環境負荷の低減が図られている。

4-7 自転車に対する充実したファシリティ

スウェーデンでは、自転車が生活の一部として定着しており、駐車場以上に駐輪場のファシリティが充実している。駐輪場を地下に配置しながらも、入口には緩やかなスロープを設けることで利用者の負担を軽減、扉はルームキーのセキュリティタグに連動して自動開閉する仕組みとなっており、安全性と利便性が両立されている。駐輪スペースは利用頻度に応じて色分けされており、頻繁に使用する自転車が出し入れしやすいように配置されている点も特徴である。これにより、日常的なストレスを軽減し、快適な自転車利用を支援している。また、スウェーデンの街中でよく見か



写真-9 レンタルカーゴバイク

けるカーゴバイクのレンタルも可能で、大きな荷物の運搬にも対応している(写真-9)。さらに、自転車修理室が設けられており、工具の貸し出しはもちろん、QRコードを読み取ることで修理方法の動画も閲覧できるなど、初心者でも安心してメンテナンスが行える環境が整っている。

4-8 コミュニティを活性化する自治活動

グリーンハウスでは、居住者が主体的にコミュニティに関わる仕組みが整えられている。居住者は、社交イベントの企画やワーキンググループの活動、共用エリアの管理など、さまざまなグループに参加する機会があり、隣人と趣味や関心を共有しながら、豊かな暮らしを築いている。こうした自治は、単なる住まいを超えて、人と人のつながりを育む場として機能している。また、建物内には不要となった物品を住民同士でリユースできるコーナーも設けられており、資源の有効活用とともに、コミュニティの深化を促す仕掛けとなっている(写真-10)。

5. おわりに

現在、グリーンハウスには14ヶ国から集まった多国籍の住民が暮らしており、国際色豊かなコミュニティが形成されている。竣工当初はFacebookを活用した情報共有や交流が盛んに行われ、良好なコミュニケーションが築かれていた。しかし、時間の経過とともにライフイベントによる退去や新たな入居者の流入があり、住民構成は変化している。こうした状況の中で、コミュニティの再構築が求められる時期に差し掛かっているとの声も聴かれた。

脱炭素・資源循環・生物多様性の実現に加え、



写真-10 住民間の不用品リユース



写真-11 グリーンハウスをバックに集合写真

健康で快適、そして豊かに暮らせるライフスタイルの追求を目指すGREEN HOUSE MALMÖ。この理念を継続的に実現していくためには、住民による自治活動が今後も有効に機能し、変化するコミュニティを柔軟に支える仕組みとして育むことを期待したいと思う。

[参考文献]

- 1) MKBs Greenhouse Augustenborg
<https://www.youtube.com/watch?v=CWeMmjRCdA8>

特集

カーボンニュートラル 実現に向けた 建築設備の役割について

State of Green デンマークにおける持続 可能な国家実現に向けた 官民連携の取り組み

榎本 拓幸

日建設計コンストラクション・マネジメント(株)

内山 裕二

(株)梓設計

日野 敬一

裕幸計装(株)

1. はじめに

State of Green は、2008年に設立された官民共同の非営利団体であり、デンマーク皇太子の後援のもと、デンマーク政府、デンマーク産業連盟、デンマークエネルギー協会、デンマーク農業食糧理事会によって構成されている。

同団体は、低炭素で資源効率の高い持続可能社会への世界規模の移行を推進することを目的としており、600を超えるデンマークの企業、政府機関、学術機関、専門家、研究者の窓口として機能している。

State of Green は、デンマークにおけるグリーンエネルギーやグリーンビルディングに関する情報発信、コミュニケーション、ブランディングを担う中心的な機関であり、国内外の関係者に対してデンマークの主要な取り組みを紹介している。

本稿では、2024年10月7日に行われたState of Greenの事務局・オフィス・ショールームであるHouse of Greenの視察について報告する(写真-1)。視察では、施設職員であるGry Klitrose Holm氏による「デンマークの建築・都市のグリーン移行(Green Transition)」に関するプレゼンテーションが行われ、デンマークが目指す持続可能な都市づくりの理念と実践について具体的な事例を交えて紹介された。

2. デンマークの持続可能な取り組み背景

デンマークが世界を代表するサステナブル国家としての地位を築いた背景には、短期的な施策だけではなく、長期にわたる持続可能な取り組みの



写真-1 House of Green 入居ビル外観¹⁾

歴史がある（図－1）。

デンマークが持続可能な国家の方針に舵をきったのは、1970年代のオイルショックが背景にある。当時のデンマークは電力の99%を海外からの石油に依存しており、日本と同様に深刻な影響を受けた。この経験を契機に、1980年代からは発電方法の多様化や節電の推進が始まり、1990年代には北海での石油・ガス採掘を開始し、これにより、電力の自給自足を達成した。

また、1985年までは原子力発電の研究が進められていたが、1986年のチェルノブイリ原発事故を受けて国民の間で脱原発の機運が高まり、風力発電などの再生可能エネルギーへの転換が進んだ。国としてもこの動きを支援し、風力発電関連の補助金制度が整備され、1991年には世界初の洋上風力発電所の建設を実現している。

さらに、2010年以降は各種の環境施策を環境法として制度化し、2050年までのカーボンニュートラル達成に向けた目標を明確に掲げ、国全体で持続可能な取り組みにコミットしている。

このように、デンマークはオイルショックから約50年をかけて、持続可能な社会の構築に取り組んできた。日本においても、短期的な成果にとらわれず、長期的な視野に立った政策と社会的合意形成が、真のサステナビリティ実現に向けて不可欠であるといえる。

3. GHG削減と経済成長の両立

デンマークの国土は世界の主要な国々に比べて小さく、温室効果ガス（GHG）の排出量は世界全体の排出用のうち約0.1%に過ぎない。しかし、世界でGHG排出量が一国で2%以上を排出している国はわずか6カ国であり、デンマークのような小規模な国々を合計すれば、約36%のGHG削減が可能であるとされている。つまり、規模の小さな国々の取り組みが、地球規模の気候変動対策において重要な役割を果たすものと考えられる。

デンマークでは、2030年までに1990年比で70%のGHG削減を目標として掲げ、さらに2050年にはネットゼロ達成を目指している。加えて、政府はこの目標の前倒し達成を目指し、2045年のネットゼロ実現に向けた取り組みを進めている。

2024年時点では、すでにGHG排出量を約45%削減（1990年比）しており、これに加えて約40%の節水、約15%の電力消費削減も達成している。

注目すべきは、これらの環境対策を進めながらも、GDPが約76%増加している点である。これは、「国を豊かにするために、自然や環境を犠牲にする必要は無い」という事実を、デンマークが実践していることを意味している。デンマークの取り組みは、環境と経済の両立が可能であることを示す好例であり、他国にとっても持続可能な未来への道筋を示す重要なモデルとなっている（図－2）。



図－1 デンマークにおける取り組み背景

4. デンマークのエネルギーミックス

2023年のデータによると、火力発電は依然として一定の割合を占めているものの、全体の約44%は再生可能エネルギーによる発電に移行している。

再生可能エネルギーの内訳としては、風力発電：24%、バイオマス発電：54%、バイオガス発電：11%、太陽光発電：5%、地熱・ヒートポンプ：6%となっている。これらの発電方法はすべてが完全に持続可能であるとは言い切れないが、認証済のバイオマス燃料の利用や、原生林や食用作物を燃料源にしないといった配慮がなされており、持続可能性の向上に向けた取り組みが進められている（図-3）。

とくに、風力発電と太陽光発電については、2010年以降急速に普及し、現在では総電力消費量の約62%を占めるまでに成長している（図-4）。この成長ペースを維持できれば、2030年に

掲げられている温室効果ガス排出量70%削減という目標の達成も現実的に見える。しかしながら、これまでの施策は比較的着手しやすい分野から勧められてきた傾向があるため、今後の削減施策はより高い技術的・経済的ハードルが予想される。したがって、持続可能なエネルギーミックスへの移行は、引き続き戦略的かつ段階的な対応が求められる。

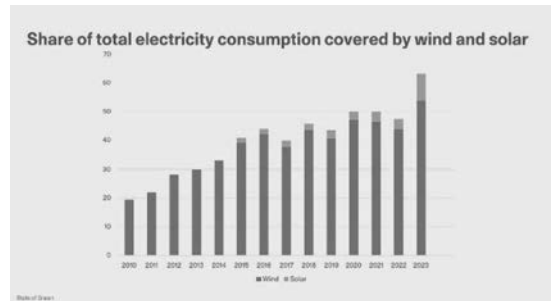


図-4 風力／太陽光で賄われる総電力消費量の割合

We have increased GDP by 76%

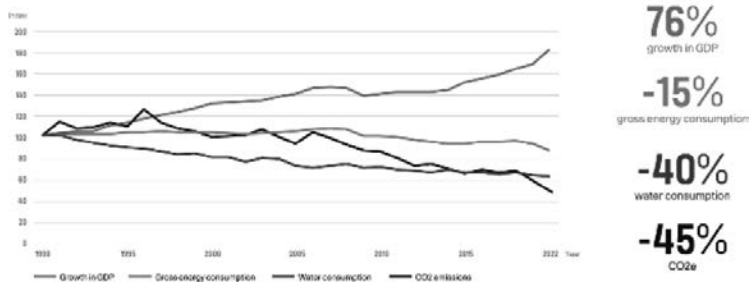


図-2 1990年から2024年までの各項目推移

Denmark's energy mix 2023

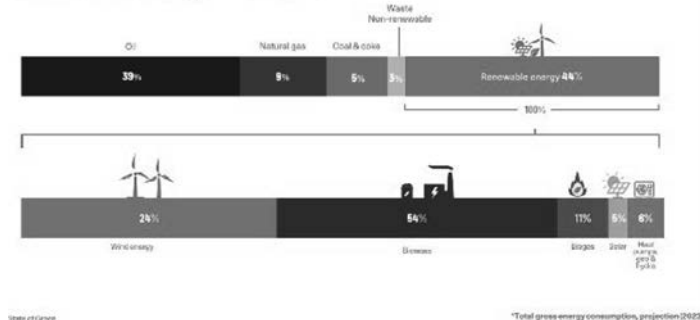


図-3 2023年のエネルギーミックス

5. 持続可能な社会変革への政治的合意

デンマークでは、持続可能な社会への移行に対して、政府と国民の双方が深くコミット（合意）しており、政治的な体制が変化したとしても、その方針が大きく揺らぐことはないと考えられている。これは、米国など一部の国々と比較しても、持続可能性に対する国家的合意が強固であることを示している。

政府は経済政策と同様に、持続可能な国家政策にも積極的に取り組んでおり、洋上風力発電に対する大規模な補助金から、ビル単体のエネルギー効率を高める BEMS（ビルエネルギーマネジメントシステム）導入支援まで、幅広い分野に対して支援を展開している。

また、急速に進む社会変革の中で、「Just transition（公正な移行）」の理念に基づいた施策も数多くみられる。例えば、再生可能エネルギーの普及に伴う石油産業の縮小に対応し、石油産業の労働者に対するリスキリング（再教育）支援や、サステナブル分野への転職支援など、「だれ一人取り残さない」社会の実現に向けた取り組みが進められている。

こうした政策の実現には、公共と民間の強いパートナーシップが不可欠であり、その橋渡し役として「State of Green」が重要な役割を果たしている。政府、企業、研究機関、市民社会が連携しながら、持続可能な未来に向けた道筋を着実に築いている点は、他国にとっても参考となるモデルケースだと考える。

6. 気候法および二酸化炭素に関する税制

2019年、デンマークでは新たに「気候法」が制定され、これまで以上の官民連携による具体的な施策の早期実現が求められるようになった。この法律には、前述の「2030年までにGHG排出量を70%削減する」という目標も盛り込まれており、政府はその達成に向けて14の業界団体とのパートナーシップを構築し、官民が一体となって気候法に基づく取り組みを推進している（図-5）。

この官民連携では、GHG削減という環境目標に加え、各業界の持続可能なビジネス成長も視野に入れた施策が検討されており、「官民連携の気候変動対策の新たなモデル」として、具体的な検討フローが策定された（図-6）。これまでに400件を超える官民連携施策の提案を実施されており、制度設計と実行力の両面で高い成果を上げている。

さらに、デンマークでは二酸化炭素排出に対する「炭素税」が導入されており、すでに交通・産業分野において運用が開始されている。2030年までには農業分野にも適用範囲が拡大される予定であり、今後は建築や都市開発分野への導入も検討が進められていくと見られている。

とくに建築分野では、建設・運用・解体といったライフサイクル全体で発生する二酸化炭素（ホールライフカーボン：WLC）に対する評価と上限規制の導入が進められており、これはデンマークのみならず欧州各国でも共通の動きとなっている。炭素税の範囲拡大に先行して、こうした評価制度の普及が加速することが予想される。



図-5 14の気候パートナーシップ業界

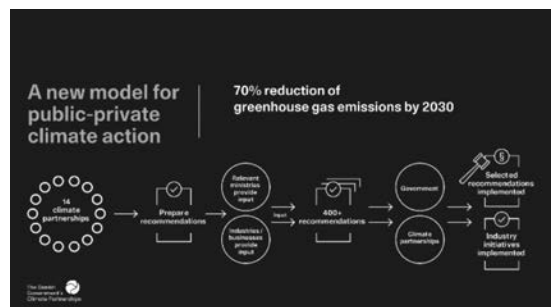


図-6 気候変動対策の新たなモデルフロー

7. State of Green のナレッジ／ソリューション

State of Green は、前述の官民団体間のコミュニケーション促進やブランディング構築をミッションとして掲げている。さらに、以下の10の専門分野においてナレッジとソリューションを提供し、持続可能な社会の実現に向けた官民の取り組みを支援している（図-7）。

【ソリューション提供可能な10の専門分野】

- ・再生可能エネルギー（Renewable energy）
- ・グリーン移行の促進要因（Green transition enablers）
- ・水資源（Water）
- ・産業（Industry）
- ・エネルギーの分配と統合（Energy distribution and integration）
- ・建物と建設（Buildings and construction）
- ・都市（Cities）
- ・エネルギー効率（Energy efficiency）
- ・輸送（Transport）
- ・農業と食糧システム（Agriculture and food systems）

「都市（Cities）」において、デンマークは先進的な成果を上げている。首都コペンハーゲンでは、先行的な取り組み都市として1990年比で74%のCO₂排出削減を達成しており（2022時点）、持続可能な都市モデルとして国際的にも注目されている。

さらに、デンマーク国内の98市町村のうち、



図-7 10分野におけるナレッジ／ソリューション

96の自治体がパリ協定に基づくアクションプランを策定・提示しており、地方自治体レベルでも高い意識と実行力が発揮されている。これは国家全体としての持続可能性の強いコミットメントを示すものである（図-8）。

「建物と建設（Buildings and construction）」分野では、2020年にデンマーク政府が「1961年比で1m²の当たりのエネルギー消費量を95%削減する」という目標を掲げ、建築物の省エネルギー性能向上に向けた取り組みが進められてきた（図-9）。この目標は、新築・既存建物の双方に対する技術確認や設計基準の見直しを促進するものであり、建築分野における脱炭素化の重要な指針となっている。

さらに政府は2045年を目標年とした新たな施策として「2020年比で36%/m²のエネルギー消費削減」を掲げており、平均的な熱需要や床暖房面積に基づいた数値目標を設定することで、より厳格なエネルギー消費削減の推進を目指している（図-10）。

デンマークの建築物の約半数は戸建て住宅で構成されており、住宅分野への施策はとくに重要視されている（図-11）。政府からは戸建て住宅に関する指標が発表されているものの、現時点では強制力のある規制には至っていない。



図-8 コペンハーゲンのCO₂排出量削減実績(2022)

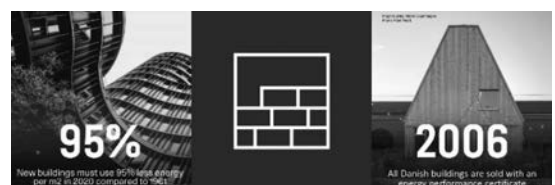


図-9 デンマークの建築の省エネルギー目標

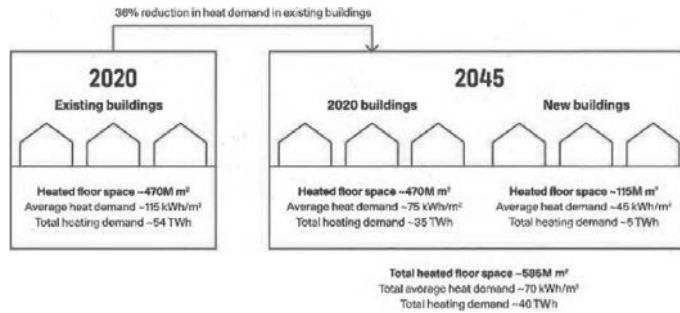


図-10 2020年から2045年目標の移行概要

The Danish building stock



図-11 デンマークの建築ストック比率

しかし、戸建て住宅に対する取り組み意欲は高く、新築・中古住宅に対してはエネルギーパフォーマンスに関する認証制度（EPD/PCR 含む）が導入されている。この認証制度により、一般家庭でも認証済みの建築についてはエネルギー性能などの情報を WEB 上で確認できるシステムが整備されており、透明性と市民参加を促進している。また、住宅の改修やリノベーションに関するエネルギー効率向上のノウハウなどもオンラインで公開されており、エンドユーザーへの補助金支援に加え、施工会社や建築コンサルタント向けの教育活動も活発的に行われている。

さらに、エネルギーパフォーマンス認証に関しては、デンマーク・エネルギー庁が必要な計算を実施し、建物売買時に申告する制度が存在する（義務化はされていない）。この計算費用は不動産会社が負担し、売買価格に含めて仲介される仕組みとなっており、民間市場における持続可能性の評価と普及を後押ししている。

8. まとめ

デンマークにおける脱炭素への取り組みは、国民ともに世界的に先行しており、法整備に対する理解も含めて国民の環境意識は非常に高い水準にある。Gry Klitrose Holm 氏によれば、これは、伝統的に根付いた環境意識に加え、政府と企業との有機的な連携により、環境対応とビジネスの両立が可能であるという思想が広く共有されていることが大きな要因であるという。

一方で、農業や産業などの分野に対する直接的な課税施策には、現実的な反対意見も少なくない。これに対し、デンマーク政府は炭素税によって得た財源を農業の発展に還元し、整備の行き届かない農地を国が買い上げて森林化するなど、「だれも置き去りにしない」方針の下で、環境と社会の両立を図る施策を同時に進めている。

このように柔軟かつ包摂的な政策設計は、脱炭素化を単なる環境対策にとどめず、社会全体の持続可能な発展へとつなげる重要な要素となっている。日本においても長期的な視野に立った目標設定と、官民連携による環境と経済の両立を図る取り組みが、今後の脱炭素社会の実現に向けて不可欠であると考えられる。

【参考文献】

- 1) State of Green ホームページ
<https://stateofgreen.com/>
<https://stateofgreen.com/en/about/about-state-of-green/>

カーボンニュートラル
実現に向けた
建築設備の役割について

Nordhavn
コペンハーゲン港湾地区に
おける人間中心のスマート
シティ

田嶋 圭一
(株)日建設計

金山 雄一
ヤンマーエネルギーシステム(株)

大山 龍一
千代田エクスワンエンジニアリング(株)

1. はじめに

本稿では、SDGs（持続可能な開発目標）の先進的な取り組みが展開されているモデル地区、デンマーク・コペンハーゲンのNordhavn（ノーハウン）に視察し、現地でのフィールドワークを通して得た知見や示唆について報告する。

2. 開発経緯および開発目標

Nordhavn（写真－1）は、コペンハーゲン北東部に位置する大規模な再開発地区である。かつて港湾工業エリアとして栄えたこの地域は、過疎化の進行を契機に、2005年からスマートシティの実験的モデル地区として再開発が始まった。当初は、建築都市コンテストにより選定された少数の建築事務所によってプロジェクトがスタートしたが、現在では200人以上の関係者が参画する大規模な取り組みへと発展している。地区全体の面積は約300haに及び、以下の6つの主要テーマに基づいて都市整備が進められている（図－1）。

①島と運河

イタリアのヴェネツィアをイメージした水の都市

②5分間都市（5-minute city）

徒歩や自転車で回れるコンパクトシティ

③アイデンティティと歴史

港湾地区の歴史や特徴を考慮した開発

④ブルー&グリーンシティ

居住者が水や自然と触れ合える都市

⑤CO₂にフレンドリーな都市



写真－1 Nordhavn 全景



図ー1 Nordhavn における6つの開発目標¹⁾

再生可能エネルギー、地域冷暖房、廃棄物再利用などの省エネ施策の導入

⑥インテリジェント・グリッド

マス目単位の街区設計による柔軟性のある都市

3. 5-minute city

Nordhavn は「5-minute city (5分間都市)」の原則に基づいた都市開発が進められている。このコンセプトは、居住者が日常生活に必要な施設やサービス（オフィス、ショップ、文化施設、教育施設、公共交通機関等）に徒歩または自転車で5分以内にアクセスできることを目指している。

コペンハーゲン市は、持続可能な交通政策の一環として、自転車や公共交通機関の利用を推奨しており、Nordhavn においても自転車、バス、メトロなど多様な交通手段が選択可能である。街区は、公共交通機関へのアクセスが徒歩または自転車で5分以内となるよう設計され、自動車よりも徒歩や自転車による移動が効率的である。さらに、歩行者専用道路や自転車専用レーン（写真ー2）の整備で、安全かつ快適な移動環境が確保されている。

また、職住近接の実現に向けて、住宅、商業、業務、公共施設などの建物要素がバランスよく配置されており、社会的にも持続可能性の高い都市構造が形成されている。居住施設の構成も特徴的で、分譲住宅、賃貸住宅、公共住宅がそれぞれ1/3ずつ提供され、所得やライフスタイルの異なる



写真ー2 メトロ駅・自転車専用レーン

る住民が共存できる多様性に富んだコミュニティが形成されている。コペンハーゲン市のセクション責任者クラウス・ビレホイ氏は、「持続可能な都市を作るための課題は、生命を創造することではなく、良い生活を創造することだ。」と語り、都市開発に人間中心の視点が強く意識されている。

4. 地区内の建物事例

本項では、Nordhavn 地区の開発コンセプトに沿って建設された建物事例について紹介する。

1) The Silo

元々穀物貯蔵用として使用されていた17階建てのサイロは、現在では約40戸からなる高層住宅へリノベーションされている（写真ー3）。最上階には、コペンハーゲンを一望できる展望台と



写真ー3 The Silo 改修前

レストランが併設されており、地域のランドマークとしても機能している。

外観は、さまざまな角度をもつガリバリウム鋼板で覆われ、力強く現代的な印象を与える一方で、内部の既存コンクリート構造は可能な限り保存されている。穀物の貯蔵・処理に必要な多様な機能を備えていたサイロは、複雑で多様な空間構成を有しており、その特性を活かして、フラットフロア型やメゾネット型など、個性豊かな住戸が設計されている点も特徴的である。

2) The tower of Portlands

1979年にセメント貯蔵用として建設された産業用サイロは、現在ではオフィスビルへと改装され、Nordhavnにおける産業遺産の再生事例のひとつである（写真-4）。高さ50mを超えるこの建物は、地区内で最も美しい建築物のひとつで、都市景観においても象徴的な存在である。改修にあたっては、旧サイロ部分を階段やエレベーターなどのコア機能に活用し、その外周部に7階のオフィスフロアを新設するという設計が採用された。これにより、既存構造を活かしながら現代的な機能性を備えた空間が創出されている。さらに、本建物は環境性能認証評価においてBREEAM認証を取得しており、持続可能な建築としての評価も高い。

3) The International School

海岸沿いに建つコペンハーゲン・インターナショナルスクールは、建物全体のファサードに約12,000枚の太陽光パネルを設置しており、太陽光発電システムとしてはデンマーク国内で最大級を誇る（写真-5）。年間発電量は200MWh以上と推定されており、建物のエネルギー自給に大きく貢献している。この太陽光発電システムは、環境保全への取り組みとしてだけでなく、教育面にも活用されている点が特徴的である。学校のカリキュラムには再生可能エネルギーや環境問題に関する内容が組み込まれており、持続可能性に対する理解を深めるエコ教育にも展開されている。

4) Parkinghouse Luders

Nordhavnでは、居住者、とくに子どもの増加

に伴い、かつて駐車場として利用されていたスペースが住宅や公園として再整備されている。自動車の短時間停車であっても路面駐車を避け、専用駐車場を利用するルールが定められ、それに対応する形で自走式の立体駐車場が新たに建設されている。その代表例がParkinghouse Ludersである（写真-6）。この施設は、従来の「駐車場＝車のための空間」という概念を再定義し、遊び場と融合したハイブリッドな構造をもつ。階段で



写真-4 The tower of Portlands (左)
写真-5 The International School (右)



写真-6 Parkinghouse Luders
(上：外観，下：屋上部)

屋上まで上がると、ブランコ、ジャングルジム、トランポリンなどのアスレチックが設置されており、居住者の憩いの場としても機能している。さらに、建物のファサードには壁面緑化が施されており、駐車場内部の無機質な印象を和らげるとともに、周辺環境との調和を図った景観形成がなされている。

5) Sandkaj Harbour Bath

Nordhavn では、港湾機能を一部残しつつ、市民が自由に水遊びや水泳を楽しめる水路が新たに整備されている。中でも公的な水泳ゾーンである Sandkaj Harbour Bath (写真-7) では、水泳エリアに隣接してサウナ施設が併設されており、季節を問わず多くの市民に利用されている。夏季には日光浴や水泳、冬季にはサウナと冷水浴が楽しめるなど、年中多様なアクティビティが可能な都市空間として親しまれており、都市と自然が調和したライフスタイルの象徴的な場となっている。

5. スマートシティ“Nordhavn”

Nordhavn では、最適化されたエネルギーシステムや再生可能エネルギー技術を積極的に導入し、環境的に持続可能な都市の実現を目指している。エネルギー効率の高い設計や地域冷暖房システムの活用など、都市全体での省エネ施策が展開されている点が特徴的である。また、Nordhavn は、デンマークで初めて DGNB (ドイツの建築・都市計画に関する環境性能評価システム) において最高ランクであるプラチナ認証を取得した都市としても知られており、国際的にも高い評価を受

けている。

1) 地域冷暖房システム

デンマーク国内では、地域冷暖房による熱利用が主流となっており、Nordhavn においても同様のシステムが導入されている。主な熱源には、廃棄物処理場からの排熱や再生可能エネルギーが活用されており、環境負荷の低減が図られている。さらに、持続可能なエネルギーソリューションの実現に向けて、新たな要素技術や運用方法の実証プロジェクトも展開されており、都市全体を実験的なフィールドとして活用している点が特徴的である。近年の地球温暖化の影響により、北欧地域でも冷熱需要が高まっているが、Nordhavn では年間を通じて低温である海水や地下水を利用して生成し、都市内で循環させるシステムが構築されている。また、一部の冷房排熱はヒートポンプによって回収され、住宅の暖房用などに再利用されるなど、エネルギーの効率的な活用が図られている。

2) スマートグリッド

地区全体にスマートグリッド技術が導入されており、エネルギーの需給状況をリアルタイムで管理することが可能である。各システムにはセンサーやデジタルメーターが設置され、住民自らエネルギー消費をモニタリングすることができる。この仕組みにより、地域内のエネルギー相互利用が進められ、ピーク時の需要の平準化や、全体としてのエネルギー供給の安定化が図られている。また、風力発電や太陽光発電など、再生可能エネルギー由来の電力を活用した巡回バスも市内を運行しており、交通分野でも環境配慮が進められている。

3) 廃棄物管理システム

廃棄物の分別とリサイクルが重視され、スマート廃棄物管理システムが導入されている。住民は、廃棄物の種類に応じて分別しやすく設計されたゴミ箱を利用し、リサイクル可能な資材やコンポスト化が推奨されている。さらに、センサーが埋め込まれた廃棄物コンテナは、満杯になると自動的に通知を送信する仕組みとなっており、これにより、廃棄物収集の効率が向上し、無駄なコストを



写真-7 Sandkaj Harbour Bath

削減している。地域レベルでの廃棄物管理の強化により、廃棄物の再利用率は約70%に達している。

6. 今後の展望（まとめ）

Nordhavnの都市開発は現在も進行中であり、最終的な完成は2060年頃と見込まれる。今後も住宅や商業施設の建設が継続される予定で、最終的には約40,000人の居住環境と同規模の雇用創出が計画されている。また、新たなメトロ駅の整備も進められており、コペンハーゲン市中心部へのアクセス性はさらに向上する見込みである。これにより、自動車利用率の低下が期待され、都市

全体の環境負荷低減にも寄与すると予想される。このように、Nordhavnは環境・経済・社会の各側面において持続可能かつスマートな都市を目指しており、すでに国際的なモデルケースとして国内外から注目を集めている。今後も継続的に展開される持続可能な取り組みに期待している。

[参考文献]

- 1) Nordhavnen Urban Strategy
https://dh1hpfqcgj2w7.cloudfront.net/media/documents/Nordhavnen_Strategy_2710091.pdf

特集

カーボンニュートラル 実現に向けた 建築設備の役割について

製品およびソリューション ビジネスについて

Energy machines 社 (コペンハーゲン)



佐藤 英樹

前 東京ガスエネルギーソリューションズ(株)

現 (株)キャプティソリューションズ

佐藤 大輔

東京電力エナジーパートナー(株)

1. はじめに

本稿では、デンマーク・コペンハーゲンで企業訪問を行った「Energy machines 社」について、同社の概要および製品・ソリューションビジネスに関する報告を行う。

当日のスケジュールは以下の通りである。

まず、Energy machines 社から、会社の概要および展開中のソリューションについて説明を受け、その後、参加者との意見交換が行われた。

<スケジュール>

- (1) Energy machines 社の会社概要、ビジネスについて
- (2) Energy machines 社のソリューション事例紹介
- (3) 質疑応答、意見交換

2. Energy machines 社の会社概要について

Energy machines 社は、北欧（デンマーク、スウェーデン）を中心に、建築物のエネルギー設備に対し、大幅な CO₂ 削減とコスト削減を実現する設計・施工・運用を統合したエネルギーソリューションを展開する企業である。

本社はデンマーク・コペンハーゲンに所在し、スウェーデンのストックホルム、マルメ、イエーテボリ、また米国ニューヨークにも拠点を構えている。機器製造も手がけており、地中熱や大気熱を活用可能な電気式ヒートポンプや風力発電設備など、再生可能エネルギー関連製品の販売も行っている。

同社のミッションは、「すべての建物を高性能 Energy machine に変えること」、そして、ビジョンは、「建物が持続可能なエネルギーへの移行を加速すること」であり、環境負荷の低減とエネルギー効率向上を両立させる革新的な取り組みを推進している。

3. Energy machines 社の代表的なエネルギーソリューション

Energy machines 社の代表的なエネルギーソ

リユースは、最先端の省CO₂技術を組み合わせた統合型システムに特徴がある。同社のアプローチは、以下の5つのキーワードに集約されており、それぞれが持続可能な建築設備の実現に向けた重要な要素となっている（図-1）。

① STORE（蓄える）

地球そのものを効率的な蓄熱槽と捉え、地中ボーリング、帯水層、基礎杭などを介して、地中熱を活用する。

② MOVE（移す）

電気式ヒートポンプを用いて、蓄えた地中熱を建物に移動させる。

③ REUSE（再利用する）

空調機に搭載された熱交換器により、排熱を再利用し、エネルギー効率を高める。

④ POWER（供給する）

太陽光発電や風力発電など、再生可能エネルギーによる電力供給を行う。

⑤ OPTIMIZE（最適化する）

エネルギー使用状況に応じて、無駄のない柔軟に制御を行い、システム全体の効率を最大化する。

THIS IS AN ENERGY MACHINE

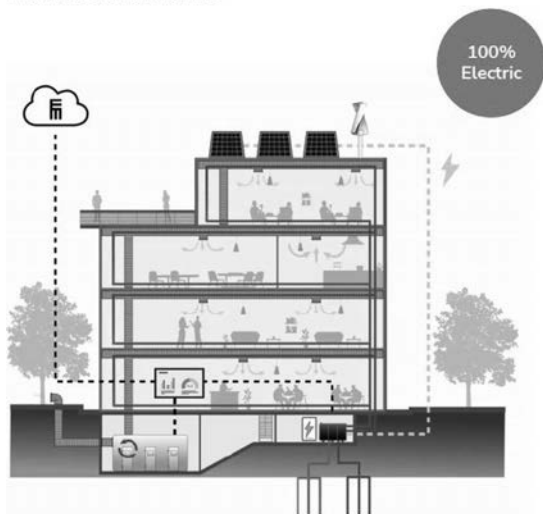


図-1 Energy machines社のエネルギーシステムのイメージ

4. Energy machines社のヒートポンプCOP

Energy machines社が提供するヒートポンプ

（写真-1）を活用したエネルギーシステムは、従来の空調システムと比較して、4~10倍のエネルギー効率向上を実現している。また、エネルギー消費量においても70~90%の削減が可能とされており、環境負荷の低減と運用コストの抑制の両面で高い効果を発揮している（表-1）。このような高性能システムは、同社が掲げる「すべての建物を高性能なEnergy machineに替える」というミッションのもと、持続可能な都市づくりに貢献する重要な技術基盤となっている。



写真-1 Energy machines社のヒートポンプ

表-1 ヒートポンプCOPの比較

	従来の空調方式	典型的なHP方式	Energy machines
COP (暖房)	0.93 (ガスボイラー)	4-5 (冷房専用)	4-6
COP (冷房)	2.5-6.1 (チラー)	4-5 (暖房専用)	20-50
COP (複合)	-	-	6-14

5. Energy machines社の事例紹介

Energy machines社が展開するエネルギーソリューションの代表的な事例を4件紹介する。

1) 商業施設での事例 (IKEA)

<施設概要>

名称：イケア（写真-2）

所在地：kallered, スウェーデン

用途：商業施設

建設年：2022年

延床面積：42,000m²



写真-2 イケア店舗外観



写真-3 地中熱利用ヒートポンプ

<システム概要>

Energy machines 社によるイケアでの初のプロジェクトでは、持続可能なエネルギー活用を実現するために革新的なシステムが導入された。

空調熱源には、地中熱ヒートポンプを活用した蓄熱・放熱システムが採用されており、夏季に蓄えた熱を冬季に使うため、夏から冬まで地下にエネルギーを貯蔵するシステム導入した(写真-3)。また、高効率空調機や太陽光発電も導入している。

これらの最適制御により、18%の余剰電力量の発生が可能となっている。

2) 医療施設での事例 (Norrlands University Hospital)

<施設概要>

名称：ノールランド大学病院
 所在地：ウメオ, スウェーデン
 用途：病院

建設年：1907-1957年

延床面積：345,000m²

<システム概要>

ノールランド大学病院は、複数の建物で構成される「ノールランド (スウェーデン北部)」最大の病院である。

従来は地域冷暖房から、冷水、温水の供給を100%受けていたが、世界最大級の地中熱 (209本×200mのボアホール) 利用の電気式ヒートポンプを導入した。また各建物間は、熱配管でグリッドを構成しており、熱融通を実施している (図-2)。

これにより、95%の冷熱を地中熱利用ヒートポンプで賄っており、年間運用コスト 950,000€ (約1.5億円) の削減を実現した。

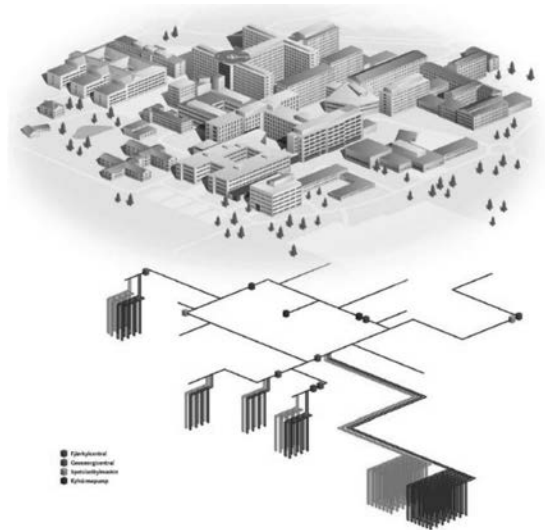


図-2 ノールランド大学病院の熱供給イメージ

3) 複合施設での事例 (Grundtvigs Hus)

<施設概要>

名称：グルントヴィークスハウス
 所在地：コペンハーゲン, デンマーク
 用途：複合用途
 建設年：1908年
 延床面積：10,000m²

<システム概要>

グルントヴィークスハウスは、デンマーク初のコンクリート造の歴史的建物である（写真－4）。

36本×240mのボアホールを掘削した地中熱利用ヒートポンプ、高効率空調機、太陽光発電設備と最適な制御システムの導入により、エネルギー消費量を84%削減、年間運用コストを97%削減する（写真－5）。2025年にDGNBのプラチナ認証を取得予定である。



写真－4 グルントヴィークスハウス



写真－5 ボアホール掘削の工事風景

4) 事務所での事例（BIG-Bjarke Ingels Group HQ）

<施設概要>

名称：BIG（Bjarke Ingels Group）本社

所在地：コペンハーゲン、デンマーク

用途：事務所

建設年：2023年

延床面積：4,700m²

<システム概要>

コペンハーゲンのノルトハウエンに2023年竣工したBjarke Ingels Groupの本社ビルである（写真－6）。

深さ14mの222本の基礎杭から地中熱を採取し、電気式ヒートポンプで活用している。このヒートポンプで暖房は100%、冷房は84%を賄っている。

このシステムは、外からも見えるように設置されている（写真－7）。DGNBのGOLDも取得している。



写真－6 BIG 本社の外観



写真－7 外から見えるヒートポンプ

6. 風力発電設備の紹介

Energy machines社は、直接発電機を駆動するダイレクトドライブ方式の革新的な垂直軸型風力タービン発電機を設計・製造している。

1) Drag Turbines (100W)

ドラッグタービンは、高さを必要とせず、屋根などの風の乱れがある場所に設置することができる(写真-8)。このタービンは、風の強い場所にある商業施設や住宅、オフグリッドのキャビン、野外施設において、信頼性のある電力供給を提供する。

2) Lift Turbines (25kW)

リフトタービンは、広大な野原や私有の海岸沿いなど風の流れが安定している開放的な環境に適している(写真-9)。住宅、コミュニティ、温室、農場、生産施設における電力供給や補完的な電力源として利用することができる。



写真-8 Drag Turbines



写真-9 Lift Turbines

7. デンマークの地域暖房システム

デンマークでは1979年に制定された熱供給法により、自治体が熱供給計画を策定し、社会経済的に最も合理的な方法として選択された場合は接続が義務化されるため、普及率が非常に高く、コペンハーゲンでは98%の建物が接続している(図-3)。

地域暖房の方式をみると、熱電供給(CHP)が60%以上を占め、エネルギー源は再生可能エネルギーが約60%と大きな割合を占めている(図-4, 5)。このため、同社が個別にヒートポンプを導入することがかなり苦勞されたとの話を伺った。

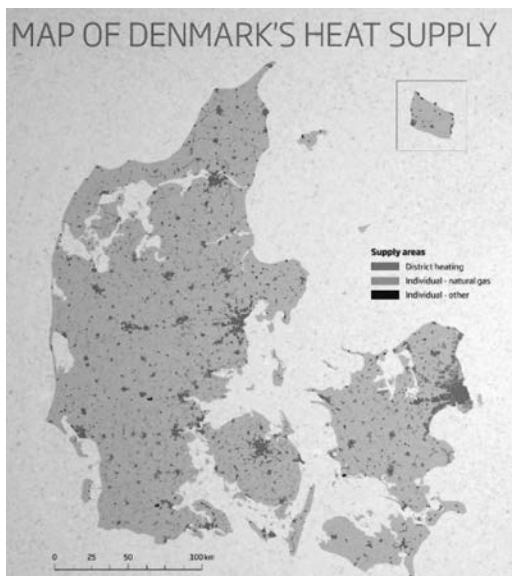


図-3 デンマークの熱供給地図

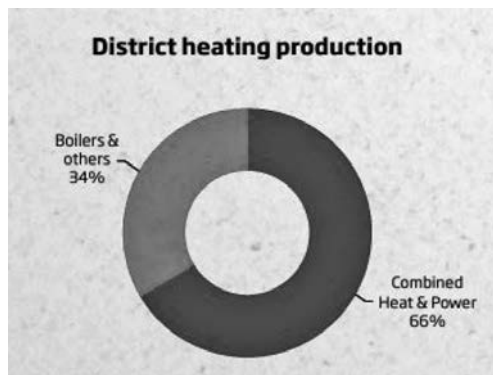


図-4 地域暖房のシステム

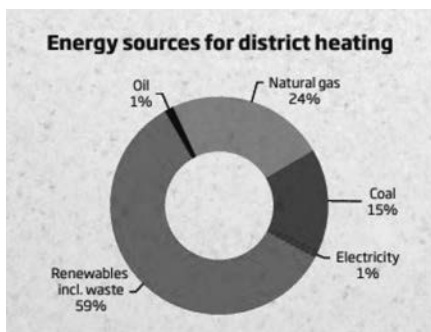


図-5 地域暖房エネルギー源

8. 建物のエネルギー消費量について

図-6にデンマークの建物の平均一次エネルギー消費量の平均値および今後の建物の目標値を示す。

昨今は断熱性の向上と最新の暖房システム（地熱）の採用から平均値が下がっている。

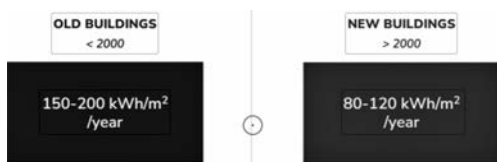


図-6 建物の平均一次エネルギー消費量

さらにデンマークは2020年までに温室効果ガス排出量を40%削減し、2050年までにカーボンニュートラルを達成するために、図-7の目標値としている。

具体的には新しい建物は、30kWh/m²/year以下、既存建物の改修は目標値を40kWh/m²/year以下としている。



図-7 今後の一次エネルギー消費量

この目標値は日本と比較して非常に低い値となるが、冷房需要が少なく暖房需要が主であることや地域暖房システムが国全体に波及していることが寄与していると考えられる。



写真-10 意見交換会



写真-11 集合写真

9. まとめ

地域暖房システムが主流であるデンマークにおいて、Energy machines社は最新のヒートポンプ技術を活用し、カーボンニュートラル社会の実現を牽引している。同社は、再生可能エネルギーの活用と高効率な熱供給の両立を目指し、革新的なエネルギーソリューションを展開している。

会議内の質疑応答では、「地域暖房エリアに局所的にヒートポンプを導入すると地域暖房の効率が下がるのでは？」という問いが投げかけられた。これに対し、同社は「地域暖房とは競合するのではなく、協業する関係にある」と明言。最近では、地中熱ヒートポンプの特性と地域冷暖房を組み合わせたハイブリッド型のエネルギーソリューションが実現しているとのことであった。具体的には、ヒートポンプの冷房利用の余剰排熱を、地域冷暖房の熱配管へ供給している事例も紹介された。

単一建物内で冷房と暖房・給湯の熱回収を同時に行うのは、需要のタイミングが一致しにくいと効率性とは言えない。しかし、異なる用途の建物間で熱を融通しあうことで、地域全体としての熱製造効率の向上につながる可能性はあると感じた。

【出典】

本稿の写真、図関連は、Energy machines社よりご提供頂いた資料とホームページより抜粋

特集

カーボンニュートラル 実現に向けた 建築設備の役割について

ロンドンにおける Smart Building Show 展示会視察報告

塩出 和人
（株）松田平田設計
中村 光良
（株）三菱地所設計
友田 衛
高砂熱学工業（株）

1. はじめに

スマートビル分野における欧州最大級の展示会の一つである Smart Building Show は、スマート技術などに関する最新のソリューションが集結する国際的なイベントである（写真-1）。先進的な技術動向を直接体験できる場として世界中の専門家や関係者から注目を集めている。

今回の視察は、スマートビルに関する欧州の最新情報を取得することを目的として実施された。視察団は、より多くの展示を効率的に視察できるよう三つのグループに分かれて会場を回った。システム、デバイス、ユーザーインターフェイスなどに関する説明を直接受けながら、実際の製品やソリューションに触れることで理解を深め、日本国内での今後のスマートビル計画に役立てることを目的とした。

2. 展示会概要

本展示会は、ロンドンウォーターフロント再開発地区ロイヤル・ドッグスの中心に位置する ExCel London で開催された。2024 年の開催ではスマートビル関連企業 90 社以上が約 100 ブース出展、来場者は 2,000 人を超える規模となった。

展示内容は、各社の新製品、テクノロジー、ソリューションなど多岐にわたり、スマートビル関連の最新の動向を網羅していた。また、会期中にスマートビル関連 計 68 の講演が開催された。

次頁以降に展示会で説明を受けた企業の概要と主な製品・サービスを紹介する。



写真-1 展示会会場入口

2-1 Legrand

1) 企業概要

Legrand社は1904年にフランス・リモージュで創業した企業で、配線器具や配電製品を中心に、180カ国以上で事業を展開している。

2) 製品・サービス

人々が生活し、働き、集う空間をより快適で効率的なものへと変革することを目指し、機械的・電気電子的・デジタル的なソリューションを提供しており、以下の製品などが紹介された。

・Wattstopper® Digital Lighting Management (DLM) システム

照明制御とエネルギー効率化を実現するモジュール式制御システムで、主に商業施設に導入。

・Bticino Classe 300EOS with Netatmo

スマートインターホンシステムで Amazon Alexa と連携、スマートフォンから遠隔操作・応答可能

・Legrand Ekinex® Building Automation Solutions

KNX プロトコルに基づき、空調、照明、ブラインド、エネルギー管理を統合制御し、スマートビルの快適性と効率性を向上

・スマートビル向けセンサー類

高精度な人感センサー (PIR)、中小規模ビル向けの「インテリジェントビルディングマネージャー」と連携可能な LoRaWAN 対応ワイヤレスセンサー、照度・温湿度・CO₂濃度などの複数の環境パラメータを同時に測定可能なマルチセンサー統合型デバイスなどが展示 (写真-2)。



写真-2 センサー類

2-2 Distech Controls

1) 企業概要

Distech Controls社は1995年にカナダ・ケベック州プロサールで創業した企業で、ビルディングオートメーションとエネルギー管理の分野に特化し、80カ国で事業展開している。

2) 製品・サービス

同社の代表的な製品群である「Eclipseシリーズ」の制御コントローラやクラウドベースのアプリケーション「Atrius」、さらにデザイン性に優れた手元コントローラ (図-1) が紹介された。

注目すべきは、エネルギーデータの収集・分析・報告を可能とする「Atrius Energy」(図-2) とCO₂排出量の集計やESG報告に対応する「Atrius Sustainability」である。これらのクラウドアプリケーションは、機能性とユーザーインターフェ



図-1 ECYSPE Connected Thermostat



図-2 Atrius Energy
(出典: Distech Controls WEB サイト)

イスのデザイン性に優れており、操作性と視認性の両面で高い評価を得ている。

2-3 ABB

1) 企業概要

ABB社は1988年にスウェーデンのアセア社とスイスのブラウン・ボベリ社の合併により誕生した、スイス・チューリッヒに本社を置く多国籍エンジニアリング企業で、電力機器、産業用ロボット、オートメーションなどを手がけ、世界100カ国以上で事業を展開している。

2) 製品・サービス

ビルオートメーションの国際標準規格に準拠した「ABB i-bus® KNX」(写真-3)、高度な制御機能を備えた「ABB Cylon®」(写真-4)、HVAC(空調)制御システム、そしてエネルギーマネジメントシステムなどが展示され、各製品の機能や導入事例について説明を受けた。これらの技術は、



写真-3 ABB i-bus® KNX



写真-4 ABB Cylon®

エネルギー効率向上、快適性確保、環境負荷低減を同時に実現するものであり、スマートビルの設計・運用において重要な役割を果たすと考える。

2-4 Arwin Technology Limited

1) 企業概要

Arwin Technology Limitedは、2015年に設立された香港・沙田に本社を置く企業で、屋内空気質(IAQ)、水漏れ、温度、電力計測、ドライコンタクトなどに対応した、NB-IoTやLoRa, BLE, Wi-Fiなど多様な無線通信技術を活用したセンサソリューションを提供している。

2) 製品・サービス

・ nano S (写真-5)

超小型・低消費電力設計のスマートセンサーシリーズで、NB-IoT, LoRaWAN, BLEなど複数の通信方式に対応している。温度、湿度、ドア開閉、水漏れ、振動などの環境パラメータを高精度で検知し、スマートビルやスマートシティのインフラ監視に活用される。設置が容易で、電池駆動による長期間の運用が可能。クラウド連携により、リアルタイムでのデータ収集・分析ができ、中小規模施設や既存建物への導入に適する。

・ SENSO 8

最大8種類のセンサー入力に対応する多機能IoTセンサプラットフォームで、空気質、温度、湿度、CO₂濃度、水漏れ、電力消費などの環境データを一括で収集・監視できる。NB-IoTやLoRaWANによる安定した通信を備え、クラウドベースの管理システムと連携することで、リアルタイムのデータ可視化と分析が可能で、商業施設やオフィスビル、教育機関などへの導入に適す



写真-5 nano S

る。また、API連携により、既存のビル管理システムやエネルギー管理プラットフォームとの統合もスムーズにできる特徴を有する。

2-5 CHRONOS TECHNOLOGY

1) 企業概要

Chronos Technology社は、イギリス・グロスターシャー州ライドブルックで1986年に創業した、精密時刻同期・ネットワーク監視・GNSS（全地球航法衛星システム）ソリューションの専門企業で、通信、エネルギー、防衛、放送、金融などの分野に向けて、高精度な時刻同期技術とセキュアなネットワークインフラを提供し、世界20カ国以上で事業を展開している。

2) 製品・サービス

スマート技術として、既存のデータを活用して建物の運用効率を向上させる「Dashboard of Dashboards」を提供している。このシステムは、環境条件や電力使用量などのデータを統合し、運用コストの削減や持続可能性の向上を図る。

環境モニタリングの分野では、スマートセンサー（写真-6）とリモコンをプログラミングすることにより、さまざまな環境条件の監視やエネルギー使用量の管理を行い、快適性と省エネ性を両立した効率的な施設運用を実現することが可能。

これらのソリューションは、企業における運用効率の向上やコスト削減を支援するとともに、環境負荷低減にも貢献している。



写真-6 CHRONOS TECHNOLOGY
スマートセンサ・リモコン

2-6 Beckhoff Automation Ltd

1) 企業概要

Beckhoff Automation社は、ドイツ・ノルトライン＝ヴェストファーレン州フェアルで1980年に創業された産業用オートメーション企業で、PCベースの制御技術やオープンな自動化ソリューションを提供し、現在、世界75カ国以上に代理店ネットワークを展開し、41の海外現地法人と23のドイツ国内拠点を通じてグローバルに事業を展開している。

2) 製品・サービス

展示会では、同社のテクノロジーを採用するプロバイダーパートナー各社（Vanity社、Eco Driver Solute社、IA connects Technology社）が出展していた。各社は、同社のスケーラブルなソリューションを活用して、ハードウェア・ネットワーク・クラウドプラットフォームをシームレスに統合し、多様な用途の施設において最先端の制御技術を導入していることを紹介していた（写真-7、図-3）。



写真-7 Beckhoff社ブース

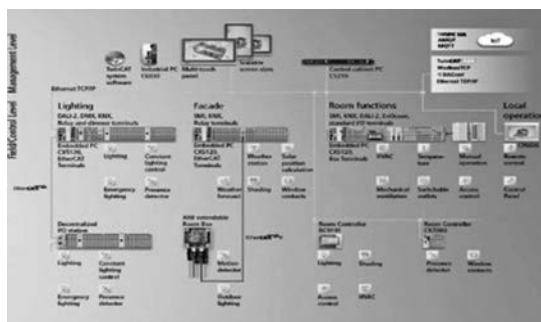


図-3 Beckhoff社のローカル構成例

2-7 Clockwork Analytics

1) 企業概要

Clockwork Analytics社は、アメリカ・カリフォルニア州レッドウッドシティに本社を置く、ビルディングアナリティクスとエネルギー最適化に特化して2010年に創業した企業で、商業施設や大学、医療機関などに向けて、クラウドベースの分析プラットフォームを提供している。現在、北米を中心に事業展開している（写真-8）。

2) 製品・サービス

同社が提供する分析プラットフォームは、建物に導入された空調機器などの設備情報とダンパー位置・センサー配置・風量・吹出温度などの設備ポイントを事前に設定することで、設備ごとの特性に応じた閾値をビッグデータ解析により自動推定する。これにより、閾値からの逸脱を検知した際には、機器故障や劣化の予兆や運用改善の必要性を即座にアウトプットし、保全計画を含む対応策をリアルタイムで文書化することが可能となっている。単なる異常検出にとどまらず、根本原因の特定と具体的な推奨アクションの提示までを一貫して行える点が、他社システムに対する大きな優位点である。これにより、エネルギー運用の最適化、設備の予防保全、メンテナンスコストの削減等に貢献している。同社の分析データは世界30か国・3,000棟以上の建物で活用されており、これまでに4万件を超えるタスクを完了し、エネルギー費:4,400万ドル（66億円）およびCO₂:27万トン削減している。



写真-8 Clockworks社ブース

2-8 Trend Control Systems Ltd

1) 企業概要

Trend Control Systems社は、1980年に設立されたイギリスの企業で、建物のエネルギー管理システム（BEMS）を専門としている。本社はイングランド・ウェストサセックス州ホーシャムに所在。現在はHoneywellグループの一員。世界50か国以上で事業を展開している（写真-9）。

2) 製品・サービス

同社が得意とするBEMSを始め、以下のサービスや製品が紹介されていた（図-4）。

・データ分析・レポートソフトウェア

建物の運用データを収集・分析し、エネルギー使用状況や設備のパフォーマンスを可視化するソフトウェアを展示。

・IQ5コントローラ

最新の「IQ5」は、建物のエネルギー管理を高度に制御するためのインテリジェントコントローラ。IoT対応で、複数の建物システムを統合し、リアルタイムでの監視・制御を可能にする。柔軟な設定と高い互換性を備え、スマートビルの中核を担う製品として紹介された。



写真-9 TREND社ブース



図-4 TREND社の製品

2-9 Airzone

1) 企業概要

Airzone社は1997年にスペイン・マラガで創業したHVAC制御ソリューションの開発・製造企業(写真-10)。本社はアンダルシア州マラガにあり、住宅・商業施設向けにゾーン制御やスマート統合を可能にする製品を提供している。現在、世界30か国以上で事業を展開している(図-5)。

2) 製品・サービス

・Flexa 4.0 HVAC 管理システム

建物内の空調をゾーンごとに制御できる高性能HVAC管理システム。ダクト式空調、床暖房・冷房、ラジエーター暖房などを統合し、各空間の特性に応じた快適な温度管理を実現。

・Aidoo IoT 統合デバイス

IoT機器とHVAC機器をつなぐブリッジとして機能するデバイス。BACnet, Modbus, KNX, Z-Wave, Zigbeeなどの主要プロトコルに対応。

・Airzone Cloud アプリ

Flexa 4.0やAidooと連携し、スマートフォン



写真-10 Airzone社ブース



図-5 制御インターフェイスの一例

やタブレットからHVACシステムを遠隔操作できるクラウドベースのアプリ。

2-10 Coster Group

1) 企業概要

Coster Groupは、1967年にイタリアで設立され、暖房システムのコントローラからビル管理システムまでの開発・製造を行うメーカーであり、イタリアを中心に英国などへ製品およびサービスを提供している(写真-11)。

2) 製品・サービス

・WebGarage プラットフォーム

2 InnovationsのFIN Frameworkをベースにした次世代の建物監視・制御プラットフォーム。VPN不要で遠隔監視が可能で、HVAC、照明、警報などのシステムを統合管理できる。柔軟性とセキュリティに優れ、直感的なUIで操作性も高いのが特徴。

・エッジコントローラー

WebGarageと連携する新型エッジコントローラーは、IoTデバイスとの統合を前提に設計されており、リアルタイム監視や高度な分析機能を備える。分散型制御を可能にし、複数施設の一括管理にも対応可能である(写真-12)。



写真-11 Coster Groupブース



写真-12 Wi-Fi接続可能なインターフェイス

2-11 Schneider Electric

1) 企業概要

Schneider Electric 社は1836年にフランスで創業した、エネルギーマネジメントと産業オートメーションの分野で世界をリードする多国籍企業(写真-13)。本社はパリ近郊のリユエイユ=マルメゾンにあり、現在は100か国以上で事業展開している。

2) 製品・サービス

・ PLANON

設備、スペース、資産、保守業務などを一元管理し、運用効率と持続可能性を向上させるクラウドベースのプラットフォーム(写真-14)。

・ Power Monitoring Expert

電力品質とエネルギー効率を可視化・分析するための監視ソフトウェア(写真-15)。



写真-13 Schneider Electric 社ブース

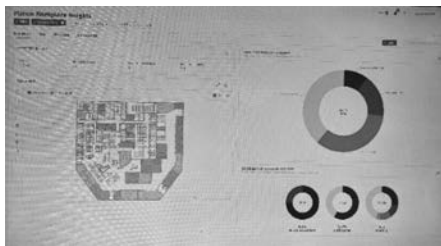


写真-14 PLANON の画面例



写真-15 Power Monitoring Expert の画面例

2-12 Siemens Building Products

1) 企業概要

Siemens Building Products は、1998年に設立され、スイス・ツークに本社を置く Siemens AG の事業部門(写真-16)。約28,000人の従業員を擁し、建物の自動化、HVAC、セキュリティ分野などでグローバルに多数の拠点を有している。

2) 製品・サービス

・ ConnectBox

中小規模向けのIoT型ビル管理ソリューション。プラグ&プレイで簡単に設置でき、既存のBEMSやクラウドと連携可能。11種の通信プロトコルに対応し、LoRaなどの無線通信もサポート。500以上の機器に接続でき、空気質やエネルギー使用量などのデータを収集・可視化することが可能である(写真-17, 18)。



写真-16 SIEMENS 社ブース



写真-17 ConnectBox 画面例

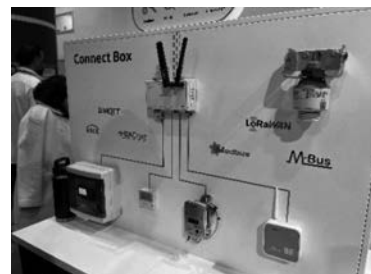


写真-18 ConnectBox ローカル構成例

2-13 Twinview

1) 企業概要

Twinview 社は 2019 年にイギリス・ロンドンで創業した、クラウドベースのデジタルツインプラットフォームを提供する企業（写真-19）。建物の 3D モデルとリアルタイムデータを統合し、施設管理や環境モニタリングを支援。本社はロンドンの Greville Street にあり、拠点はロンドンとニューカッスルの 2 か所である。

2) 製品・サービス

・ Smart Buildings Toolkit

IoT センサーや BMS（ビル管理システム）と連携し、建物のリアルタイム性能を可視化するデジタルツインプラットフォーム。インタラクティブなダッシュボードやヒートマップを通じて、エネルギー効率や運用状況を分析・最適化できる。

・ ライフサイクルデジタルツイン

建物の全ライフサイクルにわたるデータを蓄積・分析する機能を提供。従来の BMS では不可能だった長期的な性能トラッキングが可能となり、保守計画やエネルギー予測の精度向上に貢献する（写真-20）。



写真-19 Twinview 社ブース



写真-20 データ相関図・3D モデル画面例

2-14 J2 Innovations

1) 企業概要

J2 Innovations 社は 2009 年に米国カリフォルニア州チノで創業、スマートビルおよび IoT 向けソフトウェア開発企業（写真-21）。主力製品「FIN Framework」は、建物の監視・制御・分析を統合するオープンプラットフォームとして、OEM やシステムインテグレーターに広く採用されている。2018 年に Siemens 社に買収された。

2) 製品・サービス

・ FIN STACK

同社が開発した「FIN Framework」に基づく統合型ビル管理ソフトウェア（写真-22, 23）。BACnet, Modbus, KNX など複数の通信プロトコルに対応し、監視・制御・分析・可視化を一つのプラットフォームで実現。システムインテグレーター向けに設計されており、柔軟なカスタマ



写真-21 J2 Innovation 社ブース



写真-22 FIN STACK の相関図



写真-23 FIN STACK 本体

イズとエッジ対応が可能。

2-15 WAGO

1) 企業概要

WAGO社は1951年にドイツ・ミンデンで創業された、産業用接続技術とオートメーション分野のグローバル企業(写真-24)。本社はミンデンにあり、現在では世界80か国以上に拠点を展開している。

2) 製品・サービス

・WAGO Lighting Management

DALI照明制御を中心としたパッケージ型ソリューション。事前定義されたハードウェアとソフトウェアにより、プログラム不要で照明制御が可能。人感・照度センサーによる自動調光を始めとする多様な照明制御とエネルギー消費量の可視化を実現し、スマート照明管理を支援する(写真-25, 26)。



写真-24 WAGO 社ブース



写真-25 Lighting Management System



写真-26 Building Cloud Service

2-16 EnOcean Alliance

1) 企業概要

EnOcean Alliance社は、2008年に設立された建築およびIT業界の主要企業による国際的な協会で、メンテナンスフリーの国際標準規格(ISO/IEC 14543-3-10/11)に準拠したバッテリーレスで動作するセンサー技術を提供している(写真-27)。

2) 製品・サービス

照度、温湿度、大気圧、電流、CO₂計測用センサーが、太陽光/圧電素子/自己給電型などによりバッテリーレス化を実現している。

本センサーにより省配線化/後付け可能/多種センサーの組み合わせによる高度な空調や照明制御の実現など期待できる(写真-28, 29)。

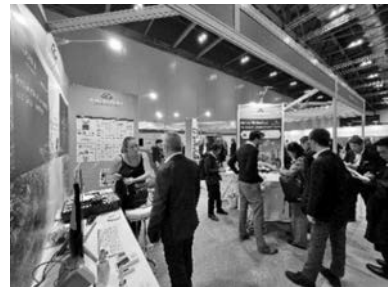


写真-27 EnOcean Alliance ブース



写真-28 エネルギー/稼働率/環境センサー



写真－ 29 自己給電型センサー

3. おわりに

スマートビルディングショーでは、3チームに分かれて、全16社へのヒヤリングと3件の講演を聴講した。今回の視察を通じて、欧州のビルディングオートメーションは、KNXをはじめとする国際標準プロトコルの相互接続性を最大限に活用し、高品質なセンサーやコントローラを自由に組み合わせた柔軟なシステム構築が可能であることを確認した。

建築設備全体を一元管理による統合監視システムの導入により、建物管理者、従業員、オーナーがそれぞれの立場で継続的に建物と関わり、長期的に建物の成長を目指す姿勢が醸成されている。これは、建物で働く人々全体が、建物資産価値の向上に貢献するという、欧州ならではの成熟した建物運用のありかたを示している。

とくに注目されたのは、EnOcean 無線通信技術を用いた電池不要・無給電型センサーの普及である。環境負荷低減と設置の柔軟性を両立するこ

の技術は、今後のスマートビルディングの標準となる可能性を秘めている。

一方で、日本に欧州型統合監視システムを導入するには、設備全体を統括するSI（システムインテグレータ）の役割が重要となる。SIには、企画・設計・施工・運用までを理解し、建物を熟知した担当者として継続的なフォローを行うスキルが求められるが、その人財や企業の選定は容易でない。

今後、日本での導入を検討する際には、早期段階からオーナー・設計者・設備技術者・建物管理者が連携し、協働体制を築くことが成功の鍵となるだろう。

[参考文献]

- 1) State of Green ホームページ
<https://stateofgreen.com/>
<https://stateofgreen.com/en/about/about-state-of-green/>
- 2) Schneider Electric ビルディングマネジメント製品ページ
<https://www.se.com/jp/ja/work/products/building-management/>
- 3) WAGO Japan ビルディングソリューションページ
<https://www.wago.co.jp/solution/building-solution/>

カーボンニュートラル
実現に向けた
建築設備の役割について

150Holborn
カーボンニュートラルに
向けたスマートビルディング
の事例

玉田 義幸
ダイダグン(株)
澤村 晃司
(株)森村設計
権藤 素之
新菱冷熱工業(株)
友田 衛
高砂熱学工業(株)

1. はじめに

ロンドンに新たに誕生したスマートビルディングの代表例である「150holborn」を視察し、現地にてプレゼンテーションを受ける機会を得た。

「150holborn」は、アラブ首長国連邦に本社を置く国際コンサルティング企業 Sidara 社の主要拠点の一つである。Sidara 社は 1956 年に設立され、エンジニアリング、建築、都市計画、環境コンサルティング、プロジェクトおよび建設管理、施設管理、経済分析など、幅広い分野でグローバルに事業を展開している。現在、世界 60カ国に 308 のオフィスを構え、約 20,000 人の従業員を擁する。年間売上は 28 億ドルに達し、国際的な影響力をもつ企業である。

「150holborn」は、コンセプトデザインの段階から Schneider Electric 社との提携のもとで計画され、スマートビルディングとしての機能性と持続可能性を高い次元で融合させている。エネルギー効率、デジタルインフラ、運用管理の最適化など、最新技術が随所に導入されており、ロンドンにおけるスマートビルの新たなベンチマークとなっている。

本稿では、本建物に導入された最新技術や運用体制などについて、視察を通じて得られた知見を報告する。

2. 建物概要

表-1 に建物概要、図-1 に建物外観を示す。

3. コンセプト

本建物では、「Reduce」、「Utilize」、「Space」、「Optimize」、「Increase」の 5 つのコンセプトを

表-1 建物概要

用途	複合施設（オフィス、住宅、ほか）
面積	約 18,500m ²
住所	150 Holborn, London EC1N 2NS イギリス
監視点数	60,000 点以上
計器類	650 以上
環境認証	LEED Platinum BREEAM Outstanding



図－1 150holborn 外観¹⁾

掲げ、スマートビルディング化を推進している。これらの取り組みは、環境負荷の低減と居住者の快適性向上を両立させることを目的としている。

1) Reduce：エネルギー消費と炭素排出量の削減
 建物の自動化技術を活用し、エネルギー消費と炭素排出を削減するとともに、居住者の福祉向上を目指す。

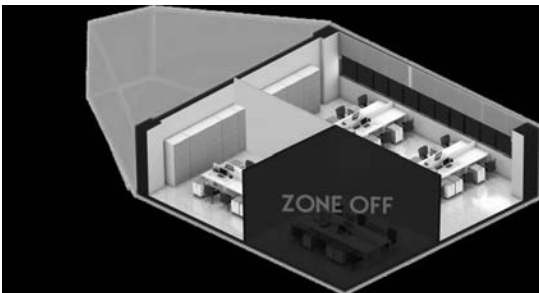
2) Utilize：最新の管理システムの活用

電力システムの監視およびエネルギー計測システムを導入することで、リアルタイムでのエネルギー使用状況の把握と効率的な運用を実現する。

3) Space：スペース利用の最適化

ビルオートメーションシステムにより、以下のような空間の効率的な活用を行う。

- ①部屋の稼働率に応じた照明・ブラインド制御(図－2)
- ②空調制御
- ③温度、湿度、CO₂、騒音、光、VOC(揮発性有機化合物)などの環境要素の継続的なモニタリ



図－2 稼働率に基づく照明ブラインド制御

ング

4) Optimize：運用コストとCO₂排出量の最適化
 クラウドベースの分析プラットフォームおよびサードパーティ API を活用し、建物全体のデータを収集・監視することで、運用効率の向上と環境負荷の低減を図る。

5) Increase：居住者のウェルビーイング向上

入居者向けアプリや訪問者管理システムを導入することで、利便性と安全性を高め、居住者のウェルビーイングを支援する。

4. システム構成

本建物では、KNX や BACnet などの国際標準オープンプロトコルに基づいた、最先端のビルオートメーションシステムが導入されている。これにより、建物全体の効率的な管理と居住者の快適性・安全性の向上が実現される。

図－3 にシステムの概要を示す。構成は大きく分けて、クラウド側とオンプレミス側(施設内ハードウェア)の2層で構成されている。

■クラウド側：多様なユーザー向け管理機能

クラウド側には、建物管理者、従業員、オーナー企業である Sidara 社向けのシステムがそれぞれ導入されている。主な機能としては、以下が挙げられる。

- ・エネルギーダッシュボード
- ・会議室・食事などの予約管理システム
- ・エレベータの運行管理

一部の機能は、従業員の端末からもアクセス可能となっており、利便性が高められている。



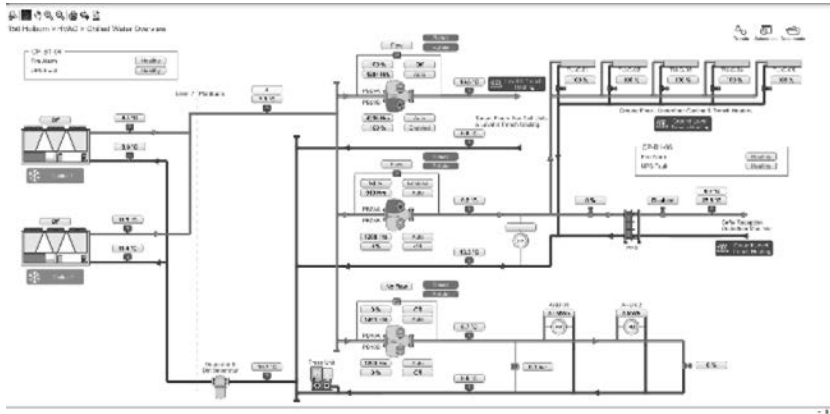


図-6 冷水システムフロー図

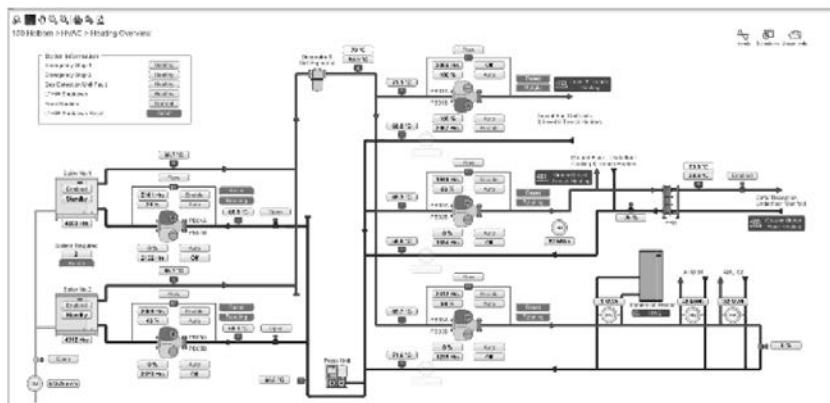


図-7 温水システムフロー図

たとのことだった。これは、設計時に設定される余裕率によって機器容量が過大になる傾向がある中で、非常に高い精度での負荷予測が行われていたものとする。とくに注目すべきは、VAV（可変風量）システムやCO₂センサーの導入を前提とした負荷シミュレーションが計画段階に行われていた点である。これにより、実際の運用においても設計値との乖離が少なく、設備の過不足なく最適な容量設定がなされたことに感心させられた。

6-2 空調システム

図-8に空調機システムフロー図を示す。空調機+VAVユニットによる変風量制御を採用し、室内環境の快適性とエネルギー効率の両立を図っている。温度制御に加えて、除湿再熱および加湿による湿度制御も行われており、年間を通じて安

定した室内環境が維持されている。

室内に供給される外気は、各外気処理機に搭載された回転式全熱交換器によって熱交換が行われ、外気負荷の低減が図られている。全熱交換器の導入にあたっては、外気温度条件やCO₂濃度に基づく外気導入量の制御により、導入効果が限定的となるケースも考えられるが、本建物では省エネルギー対策として積極的に採用されている。

設定値は、温度、湿度、風量（最小風量、最大風量）、スタンバイ時（未使用時）の温度などが含まれており、使用状況に応じた柔軟な制御が可能である。さらに、日本では一般的なビルではあまり見られないVOCの測定も行っており、室内環境空気質の向上に対する意識の高さが窺える。

会議室系統では、CO₂センサーによる外気導入制御を行っており、CO₂濃度が設定値を超えると

ファンのインバータ（INV）周波数を上げることで外気の供給量を増加させる仕組みとなっている。このような制御技術の導入は、スマートビルディングとしての環境性能と居住者の健康・快適性を両立させる重要な要素である。

7. 照明システム

図-9に照明システムのサマリ画面を示す。

照明システムは、空調と同じ監視画面から各室の点灯状態、出力（%表示）が確認できる。

照明制御には、在室検知センサーや明るさセンサーが活用されており、照明出力やルーバーの角度を自動的に制御している。さらに、使用者の好みに応じて、照明の設定値を4段階で調整できる機能も備えられており、個別の快適性に配慮されている。

とくに、会議室では、空調と照明が会議室予約

システムと連動しており、以下のようなスマートな運用が実現している。

- ・空調は、会議開始の15分前に自動的に起動
- ・照明は、会議開始の15分前または開始時に在室検知センサーが人を検知した時点で点灯
- ・在室者数が15分以上ゼロの場合には、空調と照明を同時に停止

8. BEMS

図-10にエネルギーモニタ画面、図-11に空気室モニタ画面を示す。本建物では、建物のエネルギー使用状況や空気質をリアルタイムで監視できる統合モニタリングシステムが導入されている。これにより、運用状況の可視化と省エネルギーの最適化が可能となっている。

エネルギーモニタ画面では以下の項目がリアルタイムで確認できる。

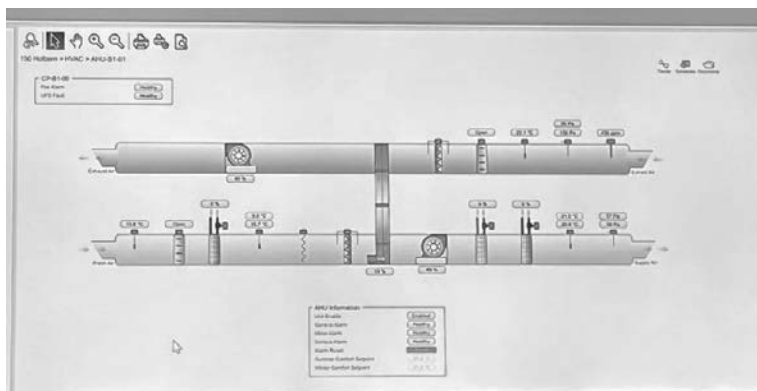


図-8 空調機システムフロー図

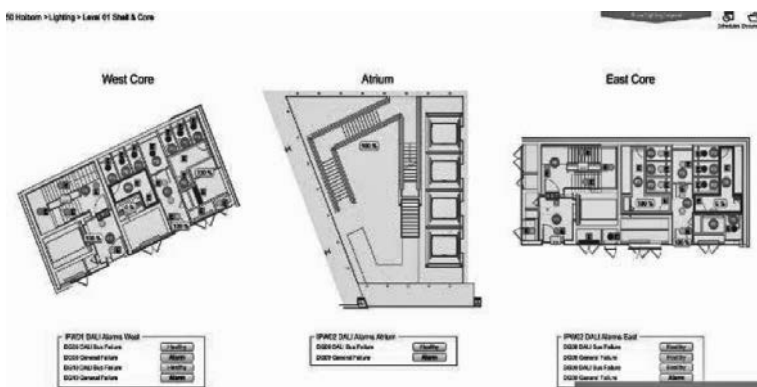


図-9 照明システム

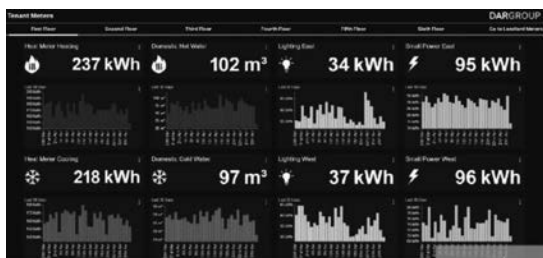


図-10 エネルギーモニタ

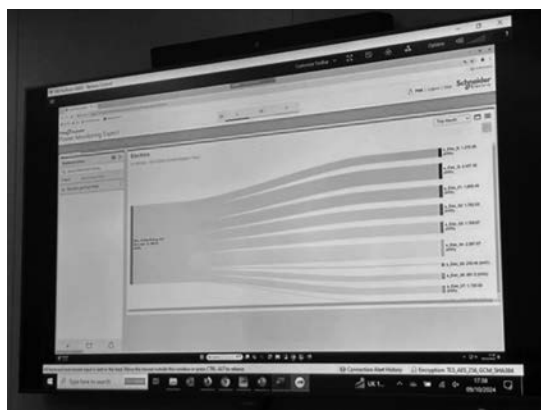


写真-1 エネルギー収支モニタ

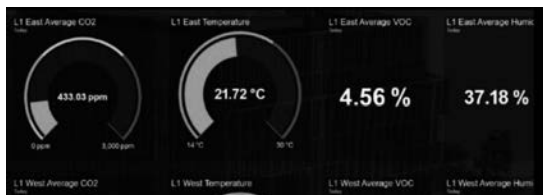


図-11 空気質モニタ

- ・空調用エネルギー消費量
- ・照明用エネルギー消費量
- ・太陽光発電などによる発電量

空気室モニタ画面では、温度、湿度、CO₂濃度に加え、VOCなどの空気質指標もリアルタイムで表示され、室内環境の健全性を常時監視している。

写真-1にエネルギー収支モニタを示す。ここでは、建物の供給される入力エネルギーの利用先（空調、照明、その他設備）と、発電などによる出力エネルギーのバランスが視覚的に表示され、建物全体のエネルギーフローを把握ができる。



写真-2 会議室 室外側インターフェイス

9. ローカルインターフェイス

写真-2、写真-3に本建物の会議室の制御インターフェイスを示す。これらのインターフェイスは、室外・室内の両側から会議室の利用状況や監視制御を直感的に操作できるように設計されている。

■ 室外インターフェイス

室外側では、会議室の予約状況や室内環境（温度、空気質など）を確認することができ、利用者は事前に快適性を把握した上で入室できる。

■ 室内インターフェイス

室内側では、以下の設備の状態確認および操作が可能である。

- ・温度設定の調整



写真-3 会議室 室内側インターフェイス

- ・音響設備の操作（マイク・スピーカー等）
- ・照明設備の調光・点灯制御

これらのインターフェイスは、ユーザーの利便性を高めるだけでなく、エネルギー効率の向上に

も寄与している。スマートビルディングとしての150Holborn の設計思想がこうした細部にも反映されている。

10. エネルギー性能評価

図-12 に本建物の竣工時のエネルギー性能評価 (EPC) を示す。評価値は $66\text{kWh}/\text{m}^2$ ($=237.6\text{MJ}/\text{m}^2$) であり、これは日本の事務用途の一次エネルギー消費量実績値 ($1,400\sim 1,600\text{MJ}/\text{m}^2$) と比較して、非常に低い水準となっている。

この優れた数値の背景には、以下の要因が考えられる。

- ・ ロンドンの気候特性により、空調負荷の主体が暖房であり、冷房に比べてエネルギー消費が少ない。
- ・ 太陽光発電設備の導入による創エネルギー効果
- ・ 膨大な監視点数に基づく精緻な空調・照明制御

11. まとめ

Sidara 社は、建物の状態をデジタル化により一元管理・見える化することで、オーナー、従業員、建物管理者など、さまざまな立場の人々がそれぞれの役割で最大限の価値を発揮できる環境を創出することを目指している。その理念を体現した建物が、まさに 150holborn である。従来の建物では、個々の機器単体での省エネルギー化が主な取り組みであった。しかし、150holborn では、

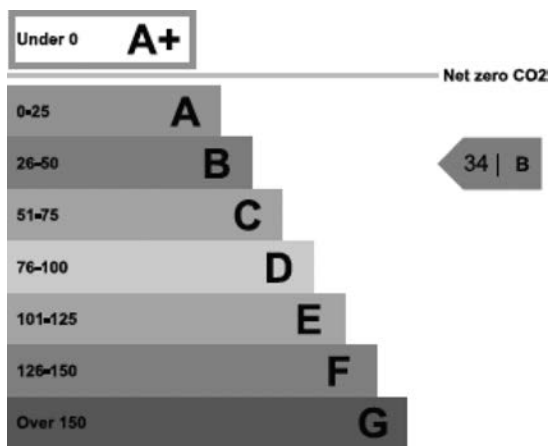


図-12 エネルギー性能評価

エネルギー効率評価 : 34 | B
 年間 CO_2 排出量 : $7.93\text{kgCO}_2/\text{m}^2$
 年間一次エネルギー消費量 : $66\text{kWh}/\text{m}^2$

各機器の制御・監視を統合することで、単なる省エネルギー制御にとどまらず、建物にいる人々が自律的かつ積極的に省エネルギー活動に参加できるような仕組み作りがされている。このようなシステムと仕組み作りが安価に普及することができれば、社会全体がカーボンニュートラルの実現に向けて一歩ずつ前進していくと考える。

[参考文献]

- 1) Sidara 社 ホームページ・カタログ
<https://sidaracollaborative.com/projects/150-holborn>

特集

カーボンニュートラル 実現に向けた 建築設備の役割について

WAGO Group ミンデン本社

吉田 典彦
大成建設(株)
北見 聡宏
須賀工業(株)
松尾 伸二
(株)オーテック
吉田 秀二
ワゴジャパン(株)

1. はじめに

ドイツ・ミンデン市に本社を構える WAGO Group を訪問した。今回の訪問では、同社の概要、スマートビルに対応した製品、本社ビルの Community Center の概要と脱炭素の取り組み、さらには企業全体としてのカーボンニュートラル戦略について、詳細な説明を受けたので、以下に報告する。

ミンデンは、ミッテルラント運河とヴェーザー川とが交差する水運路ジャンクション（写真-1）のある街としても知られており、WAGO はこの地域を代表するグローバル企業の一つである。

2. WAGO Group の概要

WAGO Group は、端子台・コネクタ、オートメーション機器、電子インターフェイス製品およびソリューションを提供する国際的な企業であり、スプリング式接続技術のマーケットリーダーである。

同社の製品とソリューションは、製造業、鉄道、船舶・オフショア産業、エネルギー関連分野、さらにはビルディングオートメーションや照明制御など、幅広い分野で活用されており、高い安全性と効率性を実現している。1951年の創業以来、WAGO は着実に成長を遂げており、現在では世界中で約9,000人の従業員を擁している。その多くが、ドイツ・ノルトライン＝ヴェストファーレン州ミンデンにある本社および、テューリンゲン



写真-1 ミッテルラント運河とヴェーザー川

州ゾンドラスハウゼンに位置する中央倉庫・製造拠点で働いている。2023年には、売上高13億7,000万ユーロを達成し、堅調な業績を維持している。

WAGO GROUPは、ドイツ国外にもスイス・ポーランド・フランス・アメリカ・中国・インド・日本に生産拠点を展開しており、31の販売拠点と80カ国以上の代理店ネットワークを通じてグローバルに製品を供給している。さらに、グループ企業として以下のような専門会社を擁し、製品・サービスの多様化と高度化を図っている。

- ・WAGO Electronics（電源設計製造）
- ・M&M Software（ソフトウェアソリューション）
- ・Bisontec（自動組立ライン）
- ・Bauer Systeme（制御盤製造支援システム）

2-1 沿革

WAGO Groupの歴史は、1951年にドイツ・ミンデンで始まった。特殊な接続技術に着目した二人の兄弟が、その特許権を取得し、スプリング式接続技術に特化した企業として創業したのがその始まりである。この技術は、従来のねじ止め方式に代わる革新的な接続方法として注目を集め、WAGOはその分野におけるマーケットリーダーの地位を確立した。本社の設立を皮切りに、積極的にグローバル展開を進めていく。1971年フランス・ロワシー、1977年スイス・ドムディディエール、1979年アメリカ・ミルウォーキーに拠点を設立。さらに、1990年ドイツ・チューリング州・ゾンドラスハウゼンと日本・兵庫にも進出し、製造・販売体制を強化した。その後も拠点の拡充は続き、1995年インド・デリー、1997年中国・天津、ポーランド・ヴロツワフに新たな製造拠点を設立。現在では、世界各地に広がる生産・販売ネットワークを通じて、グローバルに事業を展開している(図-1)。このようにWAGO Groupは、創業以来一貫して革新を追求し、世界中の産業界に高品質な接続・オートメーションソリューションを提供し続けている。

2-2 ビジネスユニット

1) BU インターコネクション

WAGOは、ジャンクションボックスやプリン



図-1 WAGOの製造拠点

ト基板、制御盤など多様な電気設備に対応するスプリング接続技術を提供している。工具不要で簡単に接続でき、振動や温度変化にも強く、シンプル・安全・メンテナンスフリーな特長をもつ。

2) BU インターフェイス

現場と制御レベルをつなぐインターフェイスには、高効率で使いやすく統合されたアプリケーションが求められる。WAGOは、リレー、電力計測、信号変換器に加え、通信機能付きパワーサプライや電子式サーキットプロテクタなど、先進技術を提供している。

3) BU オートメーション

WAGOのオープンオートメーションプラットフォームは、カスタマイズ性に優れた柔軟なシステムを提供している。センサーからクラウドまでのシームレスな通信、高い設計自由度、過酷な環境下でも高い信頼性を発揮する点が特徴である。

4) BU ソリューション

WAGOのソリューションビジネスは、顧客の個別の要求に焦点を当て、コンサルティングから導入後の運用支援まで一貫して提供している。ハードウェア、ソフトウェア、そしてサービスを統合したアプリケーションソリューションを、ワンストップで提供することで、効率のかつ柔軟な対応を可能としている。イノベーションと持続可能性は、WAGOの取り組みの根幹を成しており、さまざまな産業分野で資源・時間・コストの最適化を実現する鍵となっている。

2-3 インダストリーセクター

1) 鉄道

WAGOは1977年より鉄道輸送分野において、電気接続技術、インターフェイスモジュール、オートメーションソリューションに至るまで、幅広い製品と技術を通じて鉄道業界の信頼できるパートナーとしての地位を確立してきた。WAGOのソリューションは、鉄道車両をはじめ、鉄道インフラ、駅、信号ボックス、電子信号システムなど多岐にわたる用途で採用されており、世界中で入手可能である。

2) 電力

発電から配電、さらには蓄電に至るまでWAGOは電気、ガス、水道、地域暖房、スマートグリッドといったエネルギー関連分野の企業ニーズに応える、電気接続技術、監視・制御システム、オートメーションソリューションを提供している。これらのソリューションは、インフラの信頼性向上と効率的なエネルギー管理を実現し、持続可能な社会の構築に貢献している。

3) 製造業

WAGOは制御盤における電気機器の信頼できるパートナーとして、機械およびシステム設計者の課題解決に貢献している。電気接続技術からクラウド通信に至るまで、幅広い製品ラインナップを展開しており、制御盤内で使用される端子台、電源ユニット、PLC、タッチパネルなど多彩な製品を取り揃えている。これらの製品は、電気設備や自動化機械に広く活用されており、生産システムのデジタル化と効率化を力強く支援している。

4) ビルディングオートメーションとビル内配線

WAGOは、コネクタや端子台による配線作業の効率化を実現する製品に加え、ビルディングオートメーション向けコントローラや関連サービスを提供する。WAGOのシステムはオープンアーキテクチャを採用しており、DALIによる照明制御をはじめ、BACnet、KNX、EnOceanなどの主要な通信プロトコルに対応し、さまざまな設備との柔軟な接続が可能である。電力データの管理やHVAC（空調・換気・暖房）に関するソリューションも展開しており、スマートビルの構築とエ

ネルギー効率の向上に貢献している。

5) 照明接続

WAGOは、LEDモジュールおよびドライブ向けに、SMDモジュール、プリント基板用端子台、WINSTAプラグイン接続システムなどの接続技術を提供しており、これらは世界中の照明器具に広く採用されている。また、DALIマスタコントローラを中心とした照明制御ソリューションもパッケージ化して提供しており、スマートで効率的な照明システムの構築を支援している。

6) 船舶およびオフショア

WAGOのソリューションは、優れた汎用性と高い信頼性を兼ね備えており、エンジン制御から客室制御に至るまで、あらゆる種類の船舶および関連アプリケーションに幅広く採用されている。さらに、船舶システムに求められる製品ポートフォリオは、すべての主要な船級認証を取得しており、国際的な海事基準にも対応している。

7) プロセス産業

WAGO製品は、プロセス産業における最も厳しい生産設備の要件を確実に満たすよう設計されており、防爆対応機器からモジュラー型オートメーションシステムに至るまで、幅広いラインナップを展開している。これにより、過酷な環境下でも高い安全性と柔軟性を兼ね備えた制御・監視ソリューションを提供し、安定した運用を支えている。

8) サステナビリティへの取り組み

WAGOは、「持続可能なビジネスこそが長期的な成功の礎であり、企業責任に不可欠な要素である」と確信している。家族経営からグローバル企業へと成長を遂げた同社は、何十年にもわたりこの信念を貫き、持続可能性を軸に事業活動を展開してきた。こうした姿勢をより明確に示すため、企業ビジョンも「持続可能でスマートな社会のバックボーンを目指す」へと刷新した。その取り組みの一環として、2022年には原材料の一部にリサイクルプラスチックおよびバイオマスプラスチックを採用したワンタッチコネクタ「221グリーンレンジ」を発売。化石資源の使用量とCO₂

排出量の削減に貢献している。さらに2024年には、一部製品のカーボンフットプリントを公開し、環境負荷の可視化と透明性の向上を図っている。

3. WAGOのスマートビルディング対応製品

WAGO Groupは、革新的なソリューションと製品を通じて、持続可能なスマート社会のインフラを支える企業として取り組みを続けている。同社は、汎用品として25,000点以上のカタログ製品を取り扱っており、カスタム製品を含めるとその数は倍近くに達する。提供する製品と技術は、以下の4つの主要分野に大別される。

- ・Electrical Interconnection（電気接続技術）
- ・Electronic Interface（電子インターフェイス）
- ・Automation Technology（オートメーション技術）
- ・Solution（ソリューション）

3-1 Electrical Interconnection

WAGOは、あらゆる電気設備に対応する独自のスプリング接続技術を有しており、接続装置、接続箱、プリント基板用端子、制御キャビネットなどの製品を製造・販売している。これらの製品は、「簡単」「安全」「メンテナンスフリー」という3つの特徴を備えており、設計者や施工者にとって高い作業効率と信頼性をもたらす。

3-2 Electrical Interface

WAGOは、現場と制御システムをつなぐインターフェイスとして、高効率で使いやすく、統合性に優れた製品群を提供している。具体的には、電力の供給・確保・計量・分配をはじめ、信号やデータの測定、変換、伝送、さらにはデバイスとコントローラユニット間の通信まで、幅広い機能をカバーしている。

3-3 オートメーション技術

WAGOは、オープンオートメーションプラットフォームを通じて、個々のニーズや特性に応じたカスタマイズが可能な高適応性ソリューションを提供している。このプラットフォームは、「設計の自由度の高さ」「センサーからクラウドへのシームレスな通信」「厳しい条件下でも高い信頼

性」「直感的な操作性」そして「統合された製品構成」といった特徴を備えており、多様な産業分野におけるスマートオートメーションの実現を力強く支援する。

3-4 ソリューション

WAGOは、顧客の要件や用途に応じてカスタマイズされたソリューションを提供し、効率性と持続可能性を両立させることで、リソース・時間・コストの最適化を実現している。特に注力している市場分野は、スマートエネルギー、スマートビルディング、スマートファクトリーの3領域であり、これらの分野において革新的な技術と高い信頼性を備えた製品・サービスを展開している。

3-5 建築物における技術①

WAGOは、建築分野において、オフィスビル、工場、倉庫、リテール施設、公共インフラなどを対象に、電気接続技術およびビルディングオートメーション向けの認定製品・サービスを提供している。主な対応領域には、ビルおよびプロパティマネジメント、HVAC（空調）オートメーション、ルームオートメーション、照明制御、エネルギーマネジメント、そしてWINSTA[®]によるプラグイン式コネクタ配線による電気設備・制御盤構築などが含まれる。

顧客のニーズに応じて柔軟に拡張可能なスケラブルなシステムとして、WAGO Building Ecosystemは、ユーザーとオペレータ双方にとって複雑さを軽減し、本質的に重要な業務に集中できる合理的かつ快適なエクスペリエンスを提供している（図-2,3）。

3-6 建築物における技術②

WAGO Building Ecosystemの中核を担うコンポーネントとして、WAGO Building Cloud Servicesは、ビルおよび分散物件の効率的かつ安定した運用を支える管理機能とレポート機能を統合している（図-4）。本サービスは、エネルギー管理やESG報告に関する法的要件への対応を包括的にサポートし、企業のサステナビリティ推進を支援する。複数拠点のデータもクラウド上で一元管理され、メータ値の手動入力もモバイル端末からでも可能。さらに、CSVファイルやAPIを介したデータインポー

トにも対応しており、柔軟かつ拡張性の高い運用環境を実現している。

さらに、ビルマネジメント、監視、エネルギーマネジメントに関する設計支援機能を備えており、ISO 50001に準拠したエネルギーマネジメントの実施が可能である。

「WAGO ビルディング環境レポート」は、EUのCSRD（企業の持続可能性指令）に準拠し、多くの企業に求められるESGレポートの作成を支援する。4ステップでポートフォリオレポートを作成・報告できる仕組みを備えており、EUの

CSRDに準拠したESG報告の基礎構築を可能にする。たとえば、サンキーダイアグラム（図-5）は、エネルギーの流れを視覚的に表示する手法であり、供給元から消費先までのエネルギーの流れを線の太さで示すことで、エネルギー使用の全体像を直感的に把握することができる。

4. コミュニケーションセンターの紹介

設立当初、WAGO Group 本社は1棟のオフィスビルからスタートしたが、拡張を重ねた現在では、20を超えるセクションから構成される広大な敷地へと発展している。その中核施設の一つである「コミュニケーションセンター」（写真-2）にて、今回、ドイツにおけるカーボンニュートラ

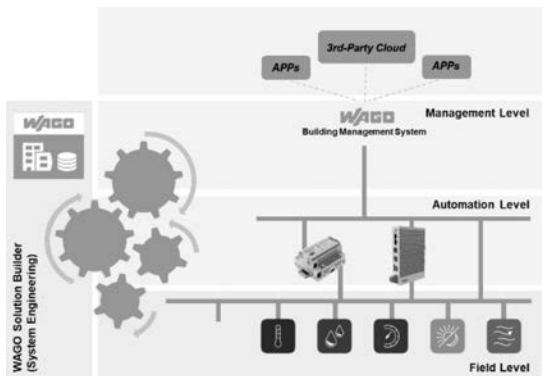


図-2 WAGO Building Ecosystem



図-3 WAGO Building Ecosystem

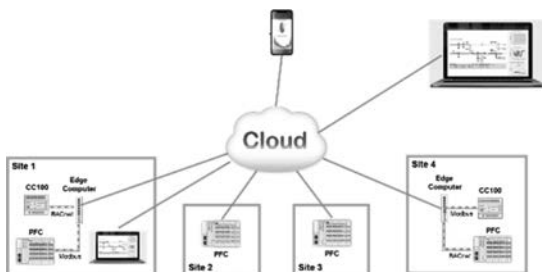


図-4 WAGO Building Cloud Services

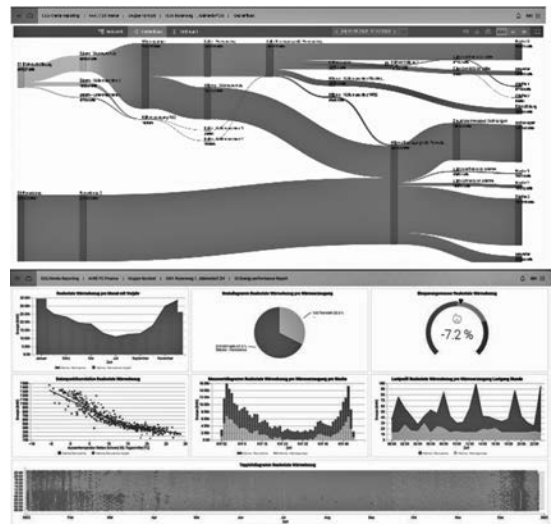


図-5 エネルギーフロー可視化の事例



写真-2 コミュニケーションセンター

ルの最新トレンド、スマートビルディングに関連するワゴの製品・サービス、そして本社ビルにおけるカーボンニュートラルへの取り組みについて紹介を受け、施設見学を行った。

コミュニケーションセンターは、国際的な顧客や研修センターとして機能を持ち、毎月数百人の訪問者を迎える施設である。館内には最新のWAGO技術が導入されており、インテリジェントな空調、照明、冷却システムによって、快適かつ効率的な環境が実現されている。

4-1 コミュニケーションセンターの概要

建物概要

竣工：2016年6月

建物面積：約3,500m²

延床面積：約13,200m²

階数：地上5階および地下

用途：受付、会議、研修、ミーティング、食堂、オフィス

4-2 エネルギー源

コミュニティセンターでは、複数のエネルギー源を活用した持続可能なエネルギー運用が実現されている。主な供給源は、グリッドからの電力供給に加え、地中熱を利用したヒートポンプ、そして暖房ピーク時に活用される地域暖房ネットワークである。さらには敷地内に太陽光発電設備と熱電併給(CHP)発電所が設置されており、WAGOが目指すカーボンニュートラルな運用の実現に向けた重要な要素となっている。

4-3 ビルディングオートメーション

コミュニティセンターでは、DALIシステムによって制御された照明器具が2,000台以上、DALIラインは45本以上に及び、広範囲にわたる照明制御が実現している。センサー類としては、人感センサー、室内制御ユニット、そしてEnOceanスイッチ(写真-3)が設置されており、照明のオン/オフ、調光、ブラインド制御が行われている。これらの制御に加え、会議室予約システム(写真-4)と連携することで、使用されていない部屋のエネルギー消費を抑制し、自動サンシェード(写真-5)によって日射を調整し、空

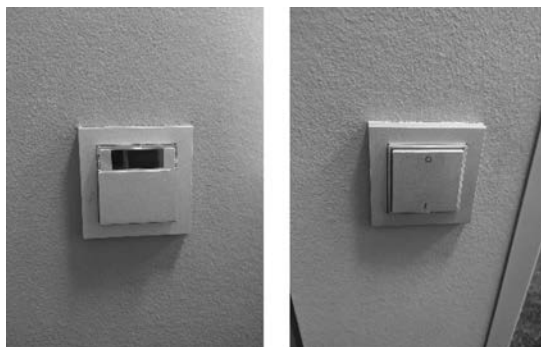


写真-3 EnOcean スイッチ



写真-4 会議室予約システム (入口右)



写真-5 自動サンシェード

調の電力消費を削減する工夫も施されている。実際に案内された会議室では、照明が一つも点灯していないにもかかわらず、十分な自然光による明るさが確保されており、人工照明を使わずに会議を行うことができた。太陽光を最大限取り入れるためにガラス面積は大きく設計されているが、3

重ガラスを採用することで高い断熱性能を維持している。

4-4 HVAC

コミュニティセンターでは、暖房および冷房用ヒートポンプが導入されており、暖房出力300kW、冷房出力350kWの能力を有している。地中熱を活用するために設置された地熱プローブは、最大深さ140m、総延長は7km以上に及び、自然エネルギーの有効活用を実現している。空調は7台の空調ユニットによって構成され、各部屋やエリアごとに個別の温度設定が可能で、在室時には±3℃の範囲で快適な環境を調整することができる。これにより、エネルギー効率向上と資源の節約が図られている。

機械室にはWAGOの自社製品を活用した制御盤が設置されており、見学者向けに盤内の構造が見えるよう工夫されている(写真-6, 7)。これにより技術の透明性と教育価値が高められている。

4-5 その他

コミュニティセンターは、気象情報を活用した高度な制御システムとしてWAGOのウエザーステーションシステム(図-6)が採用されている。気象センサーとGPSがビル制御用コントローラに接続されており、太陽の正確な位置を算出することで、日除けの位置を周期的に自動調整している。このウエザーステーションシステムは、外部のサービスプロバイダから提供される建物および周辺環境の3Dモデルと気象予測データを活用した「デジタルツイン」による天候保護機能も備えている。これにより、風や着氷による外部ブラインドの損傷を防止したり、雨による警報信号によって布製ブラインドや日よけを湿気から保護するなど、建物の保全と快適性を両立している。さらに、コミュニケーションセンターにはEV充電設備、屋上緑化、30台以上のエネルギーメーター、17台以上のビルディングオートメーションキャビネットが設置されており、WAGOが企業価値として掲げる「サステナビリティ」の実践が随所に見られた。



写真-6 制御盤内



写真-7 制御盤内

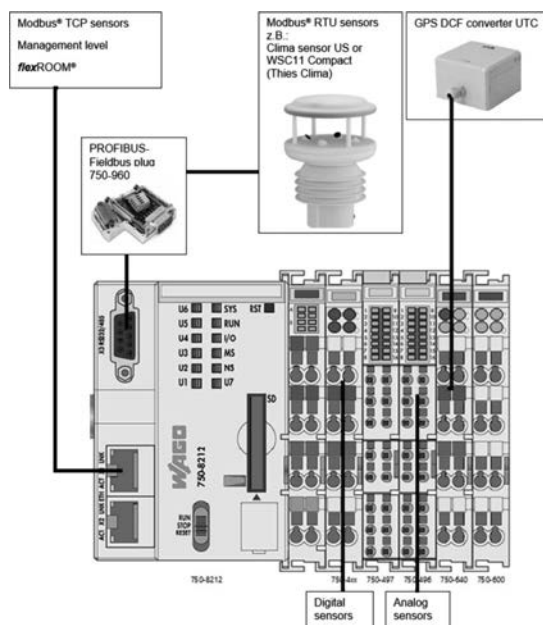


図-6 ウエザーステーションシステム



写真－8 ランチの説明 (Wehmeier Daniel 氏)

5. まとめ

WAGOでは、製品の製造過程から、製品を活用した脱炭素ソリューションの提供まで、一貫した脱炭素の取り組みを行っている。日本のZEBの定義にもあるように、「室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現する」ことは、脱炭素社会を目指す上で技術者に求められる重要な視点と考える。WAGOの製品や技術を知り、実際にコミュニケーションセンターを訪れることで、エネルギーの削減と快適性の両立が丁寧に配慮されていることを実感した。

午前のプレゼンテーションの後、昼食はWAGO社のご厚意により、コミュニケーションセンター内の食堂で提供いただいた。ドイツでは暖かい食事をとるのは昼のみとすることが一般的でランチが重要とのことであった(写真－8)。

食堂内では、軽食スペースに限られた照明器具しか設置されていないにもかかわらず、ガラス面からの自然光、廊下や吹抜けなどの共用部からの光、そして天窓からの採光を巧みに活用することで、十分な明るさと空間の広がり確保されている(写真－9, 10)。

ランチはアラカルト方式で、パスタ、スープ、肉料理などを自由に選ぶことができ、写真は2人前の様子(写真－11)である。彩り豊かでボリュームもあり、見た目にも満足感のある食事だった。



写真－9 軽食の提供スペース



写真－10 自然光を取り入れる仕組み



写真－11 昼食の盛付け例

快適な環境を享受しながらカーボンニュートラルを目指すことは、決して容易な道ではない。しかし、WAGO本社ビルで過ごした時間は、その理想を現実のものとして体現しており、同社のカーボンニュートラルへの強い意志と、技術の進化を感じることができた。