

大阪大学 箕面キャンパス外国学研究講義棟の環境配慮への取り組み

Environmental Initiatives of Osaka University Minoh Campus Research and Education Hub

株式会社 日建設計
NIKKEN SEKKEI LTD
井上 大嗣
Daishi Inoue

キーワード：LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)、
ZEB(Zero Energy Building)、ソファ染み出し空調(Sofa Emanating Air conditioning)、
スイッチレス環境制御システム(Switchless Environmental Control system)、
置換換気(Displacement Ventilation)

1. 計画の背景

旧箕面キャンパスは、2007年の旧大阪外大・阪大統合時に、1年生約600人が全学共通教育のために豊中キャンパスへ移動して講義を受ける必要があり、立地・交通の不便さもあって福利厚生や課外活動サービスが低下していた。さらに、建物の利用効率も低下し、建物やキャンパスの維持管理コストの問題が顕在化していた。これらの課題を解決するため、複数あった建物の機能を1箇所に集中化し、敷地や床面積を大幅に圧縮削減することで維持管理コストやエネルギー使用量の削減を目指して新キャンパスを建設することとなった。

新キャンパスは、北大阪急行線延伸により、新しく誕生する新駅を含む船場東エリアに位置する。豊中、吹田、中之島キャンパスをT字に結ぶ結節点となり、有機的なキャンパス間連携の拠点として、また同時期に、公共施設（箕面市図書館、生涯学習センター、市民文化ホール）とともに一体となった開発により、新しいまちの中核施設となることが期待されている。(写真1.1.)

本計画は、大阪大学90周年、大阪外国語大学100周年に合わせ、2021年の4月から供用開始できるよう、2016年の設計プロポーザルでスタートした。2017年2月～2018年10月末(24か月)の設計期間と2018年12月～2020年11月末(24か月)の工事期間を経て、新キャンパスが完成した。供用開始後は、学内サステナブルデザイン専門家によるエネルギーマネジメントと本キャンパスを利用した実証実験など産学連携して知的生産性や快適性等の研究が実施されている。(図1.1.)

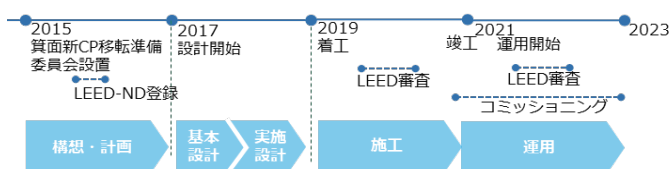


図 1.1 スケジュール

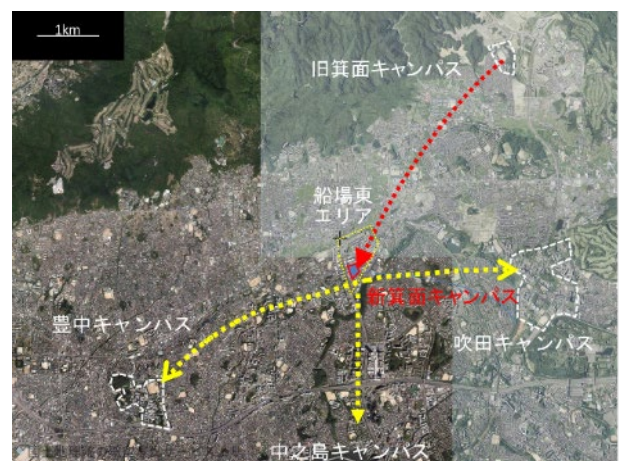


写真 1.1. キャンパス配置図

2. 建築計画概要

本計画は大阪大学 90 周年、大阪外国語大学 100 周年の記念事業となる、大阪大学箕面キャンパス（旧大阪外国語大学）の移転プロジェクトである。

サステナブルとグローバル化に最大限配慮したキャンパスとして建物単体で LEED-NC の Gold 認証を、キャンパス全体として LEED-ND の Gold 認証を取得した。LEED-ND の大学キャンパスとしての取得は国内初であり、BELS 認証としても国立大学初の ZEB Oriented を取得した。

＜建築コンセプト＞

- ・ 大学＋箕面市＋民間が共同で進めるサステナブルなまちづくり。
- ・ 「境界」を消し街に開くキャンパス。大阪大学のモットーである「地域に生き世界に伸びる」の実践を目指す。
- ・ 「リビングラボラトリ」の理念のもと、企業との共同研究フィールドをつくる（快適な教育空間整備を目指した実証実験等）。



写真 2.1. 建物外観

建築主	： 国立大学法人 大阪大学
所在地	： 大阪府箕面市船場東 3 丁目
設計者	： (株)日建設計
用途	： 学校（大学）
敷地面積	： 5,999.97 m ²
建築面積	： 4,338.62 m ²
延べ面積	： 24,896.54 m ²
構造	： 鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造
階数	： 地上 10 階
施工	： 建築 清水建設(株) 空調・衛生 三建設備工業(株) 電気 四電工(株)

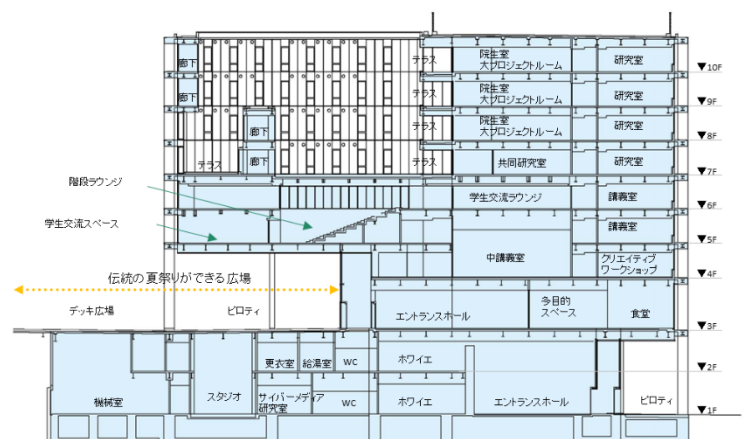


図 2.1. 断面図

3. 環境配慮計画コンセプト

新キャンパスにおける環境配慮への取り組みとして「サステナブル」「スマート」「グローバル」の3つのキーワードを掲げ、以下に示す具体的なアクションを実行している。

①サステナブル

確実性のある省エネ、快適な学習環境

立地的な自然環境特性を生かした**ローコスト**でありながら**確実性のある省エネ・省資源手法**を優先して採用した。外装では、特徴的な構造フレームを利用した光と熱の最適コントロールを行い（図 3.1）、建物内では、センサによる照明・空調制御や高効率設備機器、雨水利用、自然換気窓などにより省エネ・省資源を目指すとともに、ソファ吹き出しや置換空調を採用するなど快適な学習環境を作る工夫を行っている。

②スマート

革新的・実験的な知を育む空間づくり

3・4階には本キャンパスの目玉である市民との交流の場として期待される食堂や、グループワークやディベートなど新しい学習方法を実践するアクティブラーニング教室などが入る。ここでは、大阪大学の研究者と世界でも最大規模の空調機メーカーであるダイキン工業の研究者が共同で、**実際の教育施設を利用して実証実験**を行っている。（写真 3.1）

③グローバル

世界基準の環境づくり

新キャンパスは、サステナブルとグローバル化に最大限配慮したキャンパスとして、**LEED ゴールドの認証取得**を行った。目に見えない環境配慮の取り組みを、LEED という世界基準の物差しを使って「見える化」することにより、**サステナブルな取り組みをグローバルにアピール**することができる。（写真 3.2）

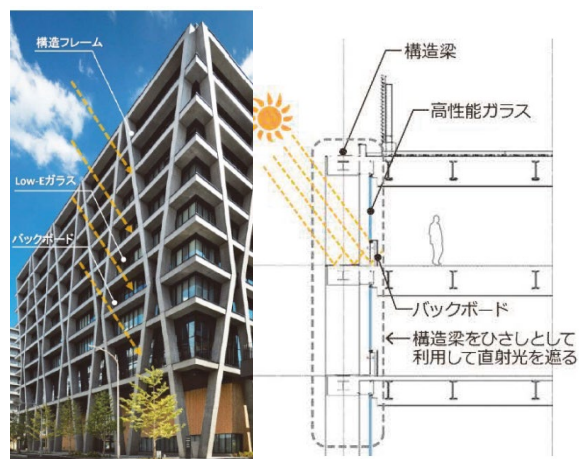
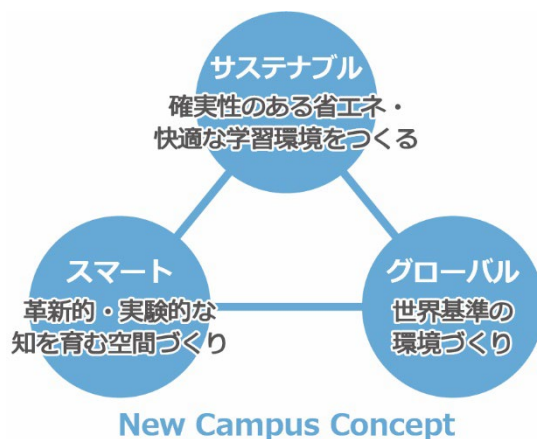


図 3.1 構造フレームを利用した環境ファサード



写真 3.1. ダイキン新規開発空調機



写真 3.2. LEED 認証

4. 設備省エネ手法

建設予算が民間の同規模の建物に比べて潤沢ではない条件の中で、ローコストでありながら確実性のある省エネ・省資源手法を積極的に採用している。採用した手法を図 4.1 に示す。設備機器は全て高効率機器を採用するとともに、使用する教室のみ運用可能な様に細かな設備ゾーニングで計画している。先生や生徒が自らの意思で省エネ行動を促すエリアと、センサにより自動で省エネするエリアを使い分けている。

実証実験フロアである 3、4 階においては、ダイキン工業の出資のもと、**革新的・実験的な省エネ・快適性向上につながる手法**を採用し、効果を検証している。



図 4.1. 環境断面

5. ZEB 検証とエネルギー分析：BEI 0.58、国立大学初の ZEB Oriented 取得

本外国学研究講義棟は汎用技術を用いた省エネ建物として高効率な空調機や、室内機のファン動力の小さい空調の活用、さらに、LED 照明と照明制御の導入により大幅なコストをかけずに省エネを実現している。WEBPRO による設計 ZEB 評価を実施した結果、全体の **BEI = 0.58**(図 5.1)となり**国立大学の大規模新築建築物(10,000m2 超)で初となる ZEB Oriented**を達成した。

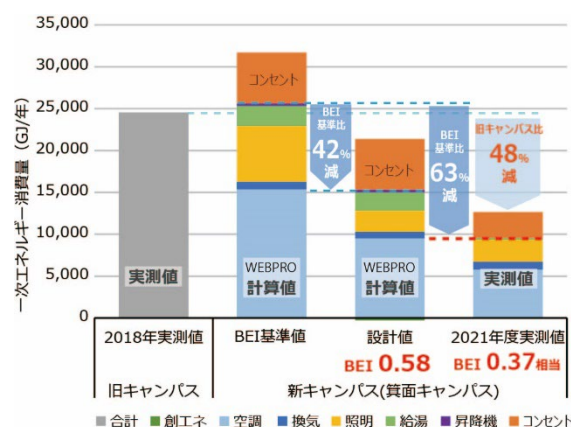


図 5.1 建物全体のエネルギー性能(計算値・実測値)

5-1 ビル用マルチ空調機の分析によりエリア毎での運転効率のバラつきを確認

ビル用マルチ 100 系統について室外機ごとの冷房 COP、消費電力、冷房負荷率を分析した。冷房 COP の高い系統は、サーバー室、学生交流スペース、自習室、エントランスといった共用空間が中心であることが確認できた。これらの系統は、負荷率が高くかつ室内機の同時使用率も高い系統であった。一方、下位の系統は全て研究室系統であった。暖房運転時においても同様の傾向が確認できた。(図 5.2)

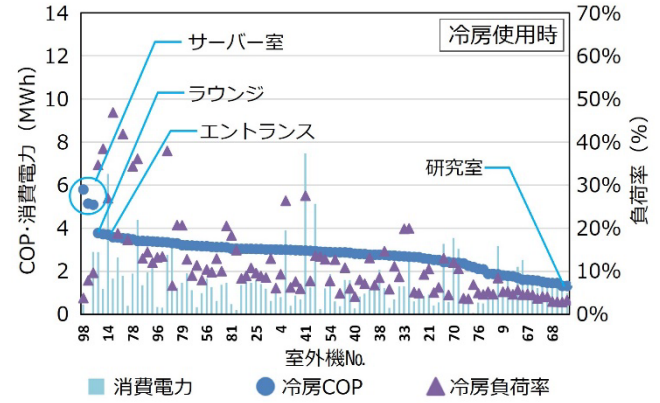


図 5.2 ビル用マルチ系統(100 系統)の運転分析

5-2 設定温度上下限設定で 3.6%省エネ

650 台の室内機のすべての設定温度を確認した結果、頻繁に設定温度が変更されている室内機があることが判明した(図 5.3)。冷房時は 23℃以下、暖房時は 27℃以上の設定にならないように制限した場合サーモ ON 時間が低減することにより、**省エネ効果は 12,850kWh (空調機消費電力のうち 3.6%分) 削減**となる。

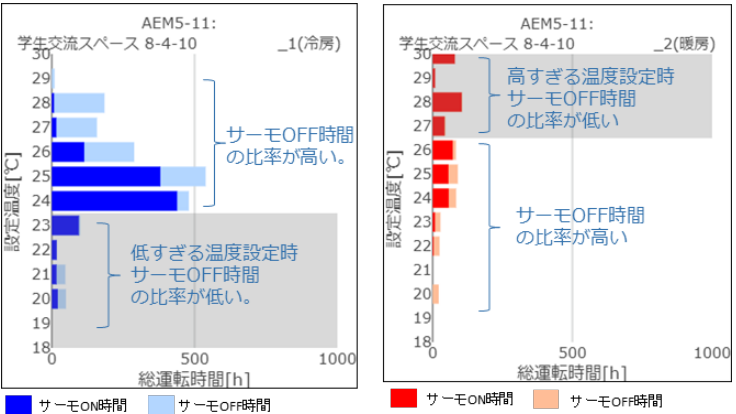


図 5.3. 設定温度頻度グラフ (交流スペース)

5-3 消し忘れ防止設定で 3.2%省エネ

すべての室内機の時刻別の合計運転時間を調査した。その結果、消し忘れ時間と想定される 22 時から朝の 6 時までににおいて運転されている室内機が確認できた(図 5.4)。消し忘れが解消された場合の**省エネ効果は合計で 10,789kWh (空調機消費電力のうち 3.2%)**と試算できた。22 時～朝 6 時までの期間を強制空調停止とするスケジュール設定を実施する。

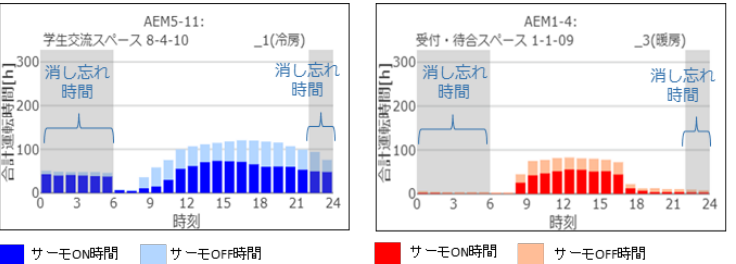


図 5.4. 冷房時刻別運転時間 (交流スペース)

表 5.1. 空調省エネ効果試算

5-4 空調省エネ 16.9%を目指して改善

設定温度の上下限設定、消し忘れ設定の他に、冷媒温度制御と全熱交換器の CO2 制御+夜間間欠運転を実施した結果の試算結果を表 5.1 に示す。①～④の対応により空調分の**電力使用量のうち 16.9%の削減可能性**があることがわかった。2023 年度からはこれらの運用改善による省エネを進めている。

	空調想定削減率	想定削減電力量 kWh	制御内容
①設定温度の上下限設定	6.9%	23,648	25℃以上に制限
②消し忘れ設定			22時～6時停止
③冷媒温度制御	5.0%	17,102	省エネ優先
④全熱交換器の運用変更	5.0%	17,102	CO2制御+夜間間欠
合計	16.9%	57,852	
削減金額(12円/kWh)		¥694,225	
デマンドによる削減額 (1130円/kW)	63kW 計	¥854,280 ¥1,548,505	

6. ソファ染み出し空調

5階と6階をつなぐ階段ラウンジでは、ソファ廻りを局所的に空調可能なソファ染み出し空調を行っている。(図 6.1)

ソファには通気性の高い 3 次元構造ポリエステルクッション材(図 6.2)を採用し、ソファの座面・背面のクッション部に空調空気を供給するダクトを接続し、**座面背面から均等に空調空気が染み出す**ように計画した。吹出空気は、パッケージ空調機のみでは給気温度が低くなりすぎるため、給気温度調整ファンにて室内空気を混合することで、**給気温度を 22～24℃程度に一定に保つ**(図 6.4)ように配慮した。

図 6.5 に示す様に、階段ラウンジが直接つながる廊下部分が非空調で 28℃程度の環境でも、ソファ染み出し空調を行うことで**ソファ周囲の高さ 1.0m までの範囲を局所的に空調し、26℃程度の快適な環境**となっていることが確認できた。

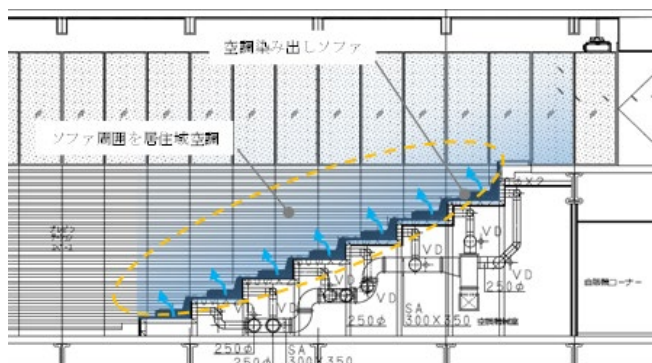


図 6.1. ソファ染み出し空調イメージ

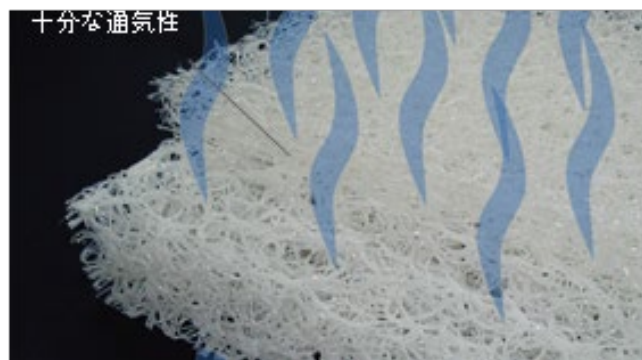


図 6.2. クッション材(3次元構造ポリエステル)

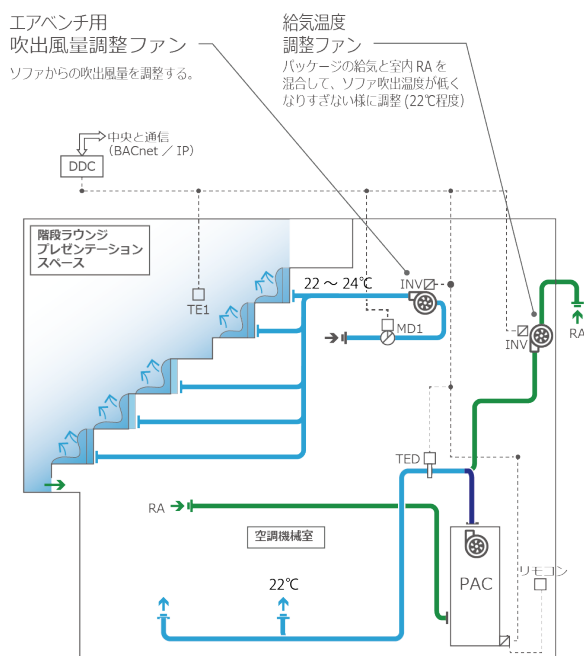


図 6.4. ソファ染み出し空調フロー

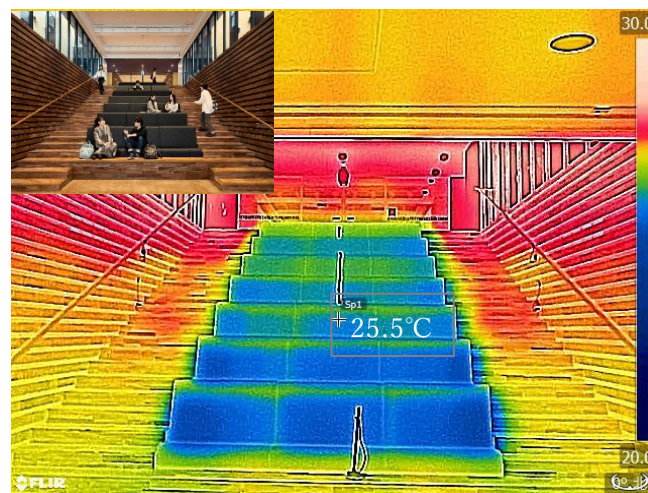


図 6.3. ソファ吹出空調熱画像

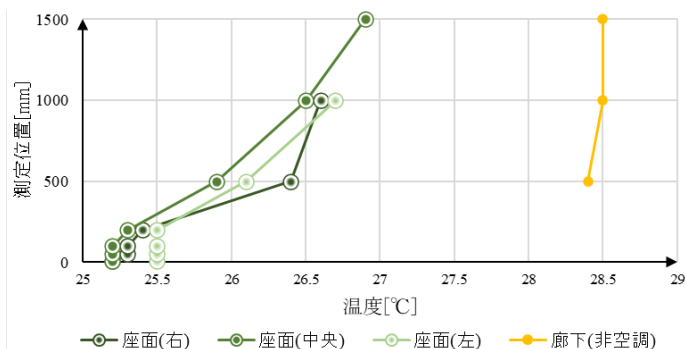


図 6.5. ソファ周囲鉛直温度分布

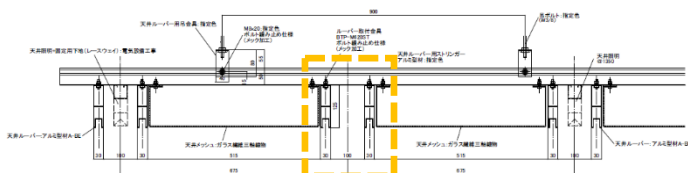
7. 実証実験が可能な建築的工夫

3・4F は大学と企業が共同で快適な教育空間づくりを目指した研究・検証を行う**実証実験フロア**である(図 7.1)。最先端の ICT 活用による実証実験が現在も進行中である。

実証実験においては、各種センサやカメラ等多くの機器の取り付けが必要となる。4F にはグループワークやディベートなど新しい学習方法を実践するアクティブラーニング教室や外国語学習を支援する SALC(Self-Access Learning Center)自習室(写真 7.1)がある。これらの教室は図 7.2 に示す通り、**竣工後にセンサや各種設備機器が追加で設置可能な天井ルーバー**を設けている。図 7.3 に示すように授業シーンや自習シーンに合わせて**スイッチレスで自動で環境制御**を行うことを目指しており、スイッチレス空調からシステム化を実装して実測・検証を進めている。



図 7.1. 実証実験フロア

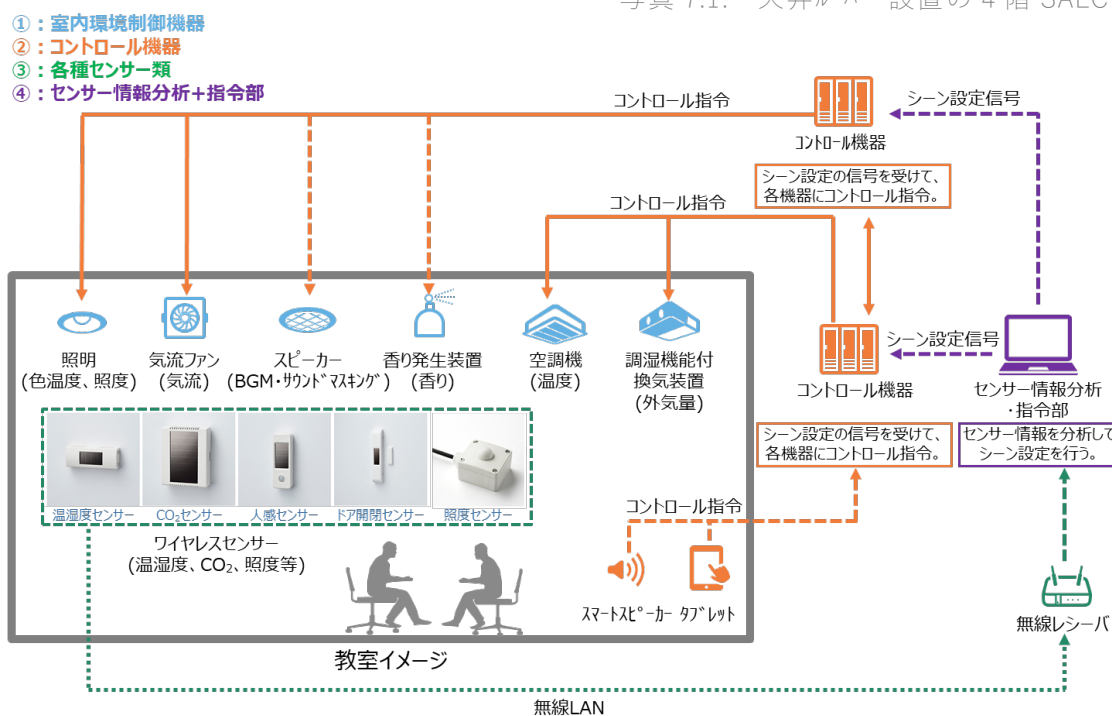


センサ・カメラ設置スペース

図 7.2. センサ・設備機器設置が容易な天井ルーバー



写真 7.1. 天井ルーバー設置の4階SALC室



8. センシングデータを活用した環境コントロール スイッチレス空調システムの開発

本研究棟では、中小ビル向けのスマート化の空調システムとして”スイッチレス VRF システム”の研究を実施している。スイッチレス VRF システムでは、**快適、省エネの向上だけではなく、普及可能なコストでシステムを実現**できることも大きな特徴である。ここでは、3つの機能に関する実証実験の結果について考察して、スイッチレス VRF システムの有効性を検証した。

■ システム概要

スイッチレス空調システムは、センサデータの収集部、演算部、エアコンコントローラへの HTTP 通信による信号送信部で構成される。センサには、EnOcean 仕様の環境センサを使用することでワイヤレスセンサネットワーク環境を構築できる。センサデータ収集部は EnOcean 受信機とエッジサーバで構築される。エッジサーバは IoT ゲートウェイとしての機能を持つものになり、本研究では LinuxOS のボックス型 PC を使用した(図 8.1)

スイッチレス空調の機能と検証結果

スイッチレス空調システムを実現するために次の3つの機能について検証結果を示す。

冬期暖房時の制御なし、CO2 センサ制御、人感センサ制御による測定結果を図 8.2 に示す。これらを直線近似曲線で補完すると、外気温 2.5℃の場合、画像型人検知センサによる人数検知で換気量制御を行うことで、**制御なしの場合より 38%程度、CO2 センサによる換気量制御より 9%程度消費電力量が低減**することが確認できた。

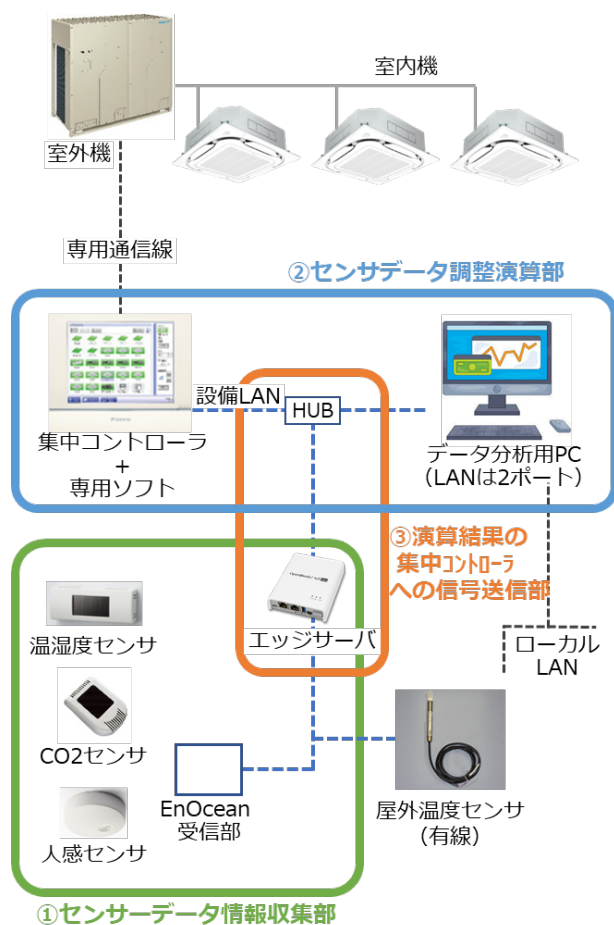


図 8.1. スイッチレス空調制御システム図

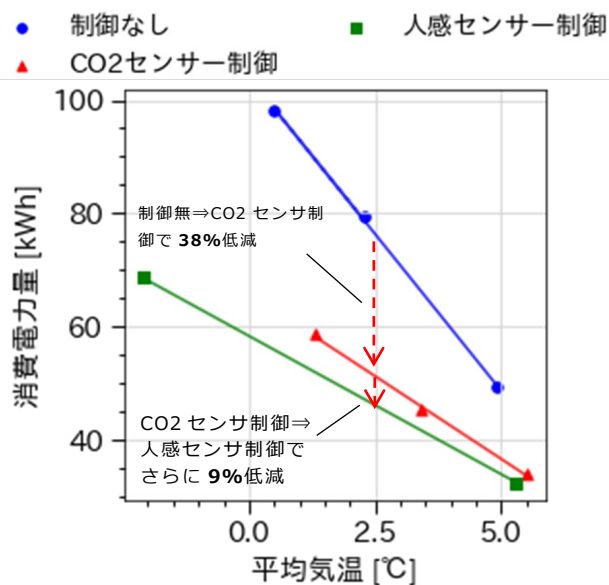


図 8.2 換気制御機能の検証結果

9. 高い換気効率と外気量 UP モードが選択可能な置換換気空調システム

4F の中講義室では、壁下面のパンチングメタル部分から低風速で空調空気を供給し、天井面で吸い込む置換空調換気システムを導入している。床面から天井面へ1方向の気流を形成し**換気効率の高い置換換気**を可能としている。運転モードとして、省エネ運転モードと外気量 UP モードの2つのモードを選択可能で、外気量 UP モード時は一般的な教室の2～3倍以上である **70m³/(h・人)** (換気回数約 12 回相当) の外気供給が可能であり、感染予防対策や学習効率への向上も期待できる。(図 9.1) 感染対策にも効果的を發揮している。

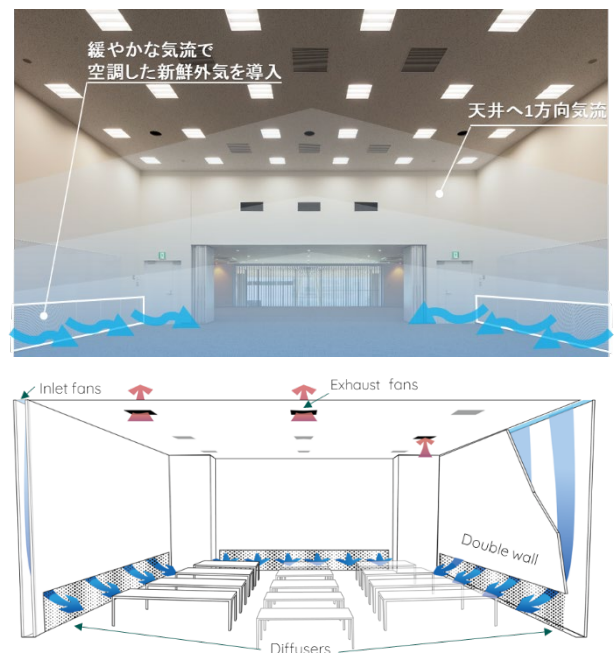


図 9.1. 置換空調換気システムイメージ

新型コロナウイルスの感染防止対策としての置換換気空調の有効性について検証を行った。図 9.2 に CFD 解析による汚染物質濃度分布を示す。2 箇所で人体の頭部前面から汚染物質を発生させ、どのように拡散するのかを検証している。解析結果より、**呼気に含まれる汚染物質が居住域に拡散することなく、発生源上部に上昇し、天井面で吸い込まれている**ことが確認できる。

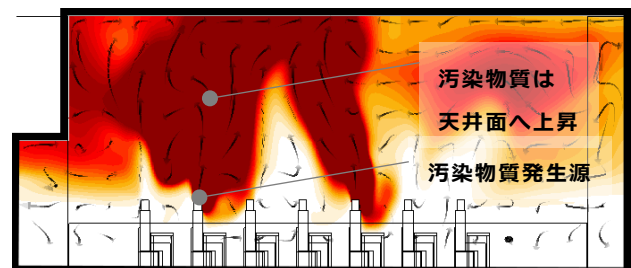
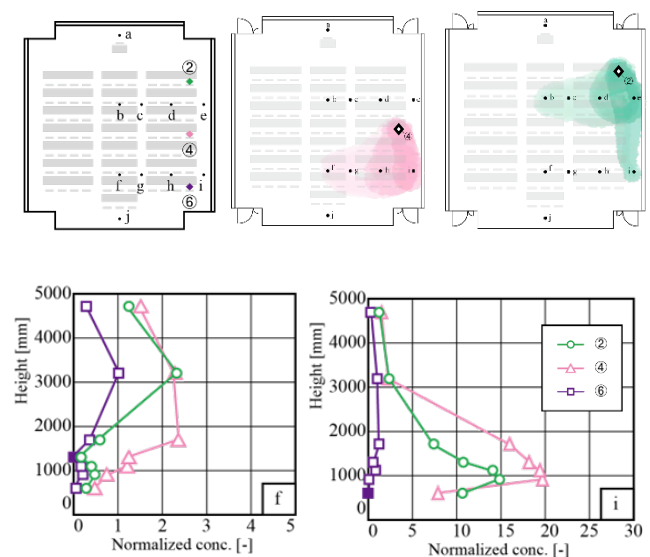


図 9.2 汚染物質濃度分布(CFD 解析)

図 9.3 は中講義室内の各ポイントで測定した汚染物質の鉛直濃度分布の実測結果を示す。②④⑥の各ポイントで汚染物質を発生させた際の a～j 地点での鉛直濃度分布を測定したが、個々では④で汚染物質を発生させた際の f 地点、i 地点での測定結果を示す。汚染物質発生源に近い i 地点では居住域の濃度が高いが、**発生源から離れた f 地点では濃度が低く、汚染物質が拡散せずに天井上部に上昇した**と考えられ、感染対策においても置換換気空調の汚染物の非拡散性において、優位性が確認できた。



発生源から離れた f 地点

発生源に近い i 地点

図 9.3 汚染物質鉛直濃度分布(実測)

10. ドラフトレスな室内環境をつくる膜天井空調

天井カセット型室内機（以下；天カセ）からの不快なドラフトを低減し、均一な温度分布を確保することを旨として、幕天井を天カセ下部に張る幕天井空調の開発を行った。

膜天井空調の導入にあたって、各種膜材料の実大実験による膜通気特性の検証を行った。レースカーテン、パンチングメタル、ガラス繊維（3 軸繊維）の 3 種類を対象とし、レーザーによる簡易可視化実験を行った。レースカーテン、ガラス繊維の気流可視化画像を図 10.2 に示す。気流の拡散性、透過性においてレースカーテンが良い結果となった。

膜材のたわみによる透過性・拡散性の検証

各種膜材料に対して、膜を水平設置した場合とたわみを付けて設置した場合の透過性・拡散性の検証を行った。図 10.3 に示す様に固い膜材の場合には気流透過率が膜設置たわみ量に左右され、水平設置は「低透過&広分散」、たわみ設置は「高透過&少分散」の傾向となることが確認できた。

4F コンピューター自習室で、レースカーテンを用いた膜天井空調を導入した。図 10.4 に示す様に吹出口・吸込口でショートサーキットが発生しないように天カセ吸込部は膜天井を設置しないレイアウトとした。図 10.4 に現地測定結果（鉛直風速、鉛直温度）を示す。膜天井を設置しない場合は FL+1.2m で 0.7m/s 程度のドラフト発生しているのに対して、膜天井では風速が 0.1m/s でドラフトが低減しているのが分かる。鉛直温度においても膜天井では鉛直温度分布が均一となっていることが確認でき、膜天井空調の快適性が実証された。

11. おわりに

大阪大学箕面キャンパス外国学研究講義棟は「サステナブル」「スマート」「グローバル」の 3 つのコンセプトを掲げ設計者・施工者・建築主・研究者が一体となって取り組み、計画・検証を行った。実エネルギーベースで ZEB-Ready を達成し、各種環境センサを利用した設備制御の研究、LEED-ND および LEED-NC のゴールド認証を実現することができた。

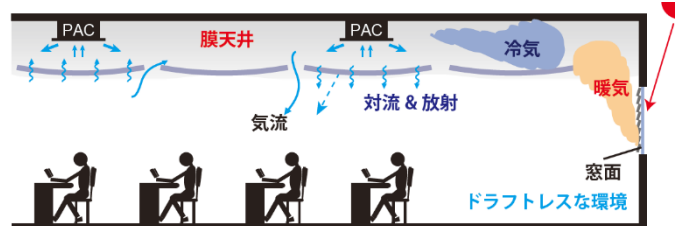
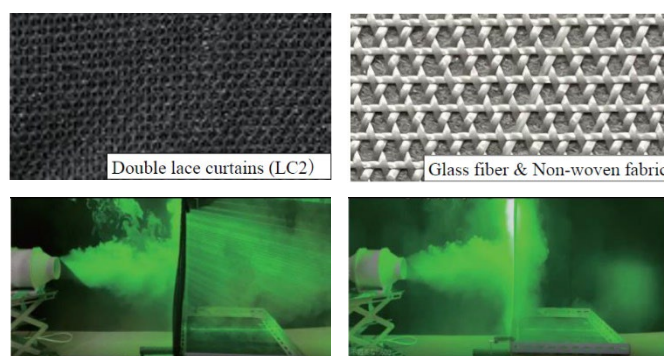


図 10.1. 膜天井空調イメージ図



レースカーテン

ガラス繊維

図 10.2. 膜材料透過・拡散性試験

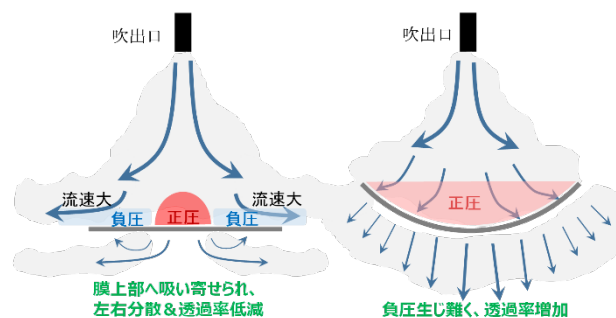


図 10.3. たわみによる透過率・拡散性の検証

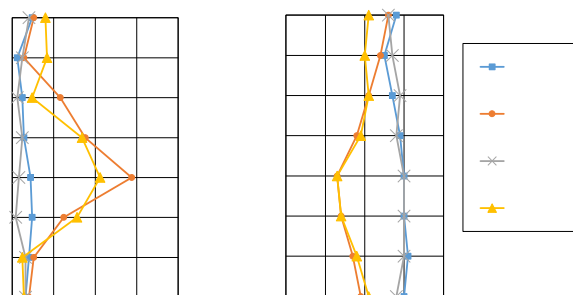
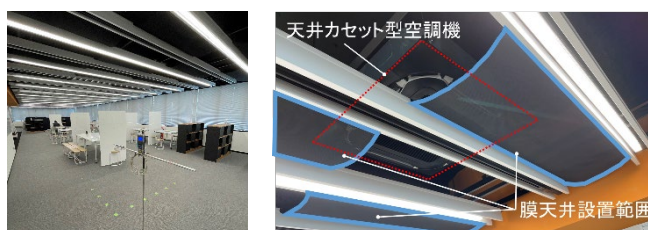


図 10.4. 現地設置写真、測定結果