

脱炭素を目指したイノベーション施設の計画と検証

(第12報) 5C ビジュアライザーの開発

竹内 壱 成 (新菱冷熱工業)
五十嵐 瞳 (新菱冷熱工業)
平須賀 信 洋 (三菱地所設計)

坂本 裕 (新菱冷熱工業)
富樫 英 介 (工学院大学)

はじめに

本プロジェクトの働き方のコンセプトとして掲げた「ABW+e」とは、執務エリア内に環境グラデーションを形成し、多種多様な環境から働く場所を能動的に選択することで執務者の知的生産性を高めることを目指したものである。

温度や照度等の環境因子とタスク処理能力の関係性に着目した研究はこれまで盛んに行われており、集中力を発揮しやすい温熱環境条件やコミュニケーションを促進させやすい光環境等が複数報告されている。そのため、執務者自身が豊富な環境から業務内容に応じた好適環境を選択可能であれば、執務者の知的生産性の向上が見込める。また、一般的な ABW では個人ブース、共同スペース、あるいは屋外等の有形的な特徴を持つため、執務場所としての選択が比較的容易だが、“+e”である環境因子の多くは“目に見えない”ため、執務スペースの中から執務内容に応じた好適環境を視覚的に選択・抽出することは困難である。

そこで、目的に応じた好適環境を相対的に評価・可視化し「ABW+e」の働き方を促進する“5C ビジュアライザー”を開発した。

5C ビジュアライザーとは温度・湿度等単一物理量をコンター表示するだけでなく、Comfort (快適)、Concentration (集中)、Communication (交流)、Creation (創造)、の4つの生産活動と、Clean (清浄)に対する好適環境を総合評価し、環境の優劣を相対的にビジュアル化し、リアルタイムに各自の PC や執務空間のモニター等に開示させるシステムである。

1. システム概要

1.1 ハードウェア構成要素

- 無線式多機能センサー
温度、湿度、照度、CO₂、気圧、UV インデックス、

TVOC、PM2.5 の各環境因子を計測可能であり、取得したデータを無線通信する機能を持つ。このセンサーを2階と3階のワークプレイス内に約80個分散設置し、計測値を取得している。

- 赤外線アレイセンサー

表面温度の差異から人を検知することができる。ワークプレイスを約90エリアに分割し、各エリアの在席人数を取得する。

- 5C 値計算用 PC

社内ネットワーク経由で上記センサー群の計測値を集積し、各種演算をした上で、コンター図を作図する。

1.2 空間環境評価システム

図-1 に評価システムの概要図を示す。5C の評価値の計算には、汎用表計算ソフト Excel を活用している。Excel でプログラム化することで、今後のチューンアップや計算引数の変更が容易である。

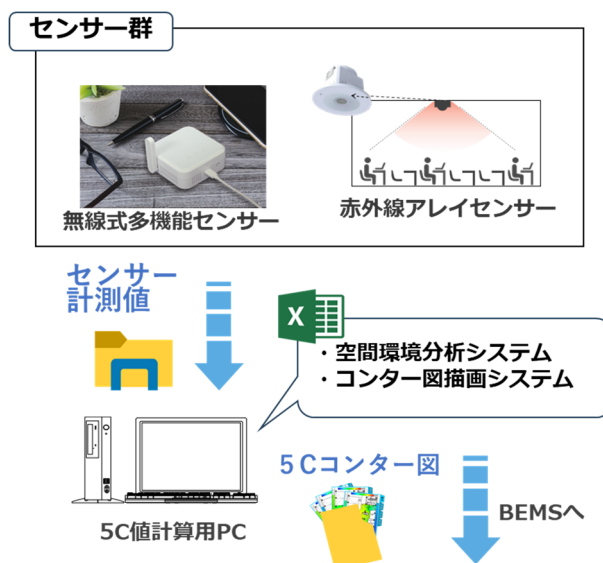


図-1 5C ビジュアライザーの概要図

人密度が高いエリアは、交流目的には適しているが集中力を高めるには不向きが予想される等、5C 値それぞれに対して環境因子の好適と影響度合いが異なる。このように最適値からの乖離度と影響度に応じた重み係数等の 5C 計算引数を設定し 5C それぞれの評価値を算出する。

5C 値の相対的なコンター図をエリアごとに作図する。このコンター図は、センサー間の値を補間するだけでなくセンサー群の外側まで補間計算でき、ワークスペース全域に亘ってシームレスにビジュアル化できる。

これらコンター図は、図-2 のようにプルダウンで環境因子と 5C 値をコンター表示し、各自の PC から WEB 経由で閲覧できる。また、ワークスペース中央に設置した大画面モニターに常時表示させることでディスカッション場所選択や始業時の場所選択に活用できる。

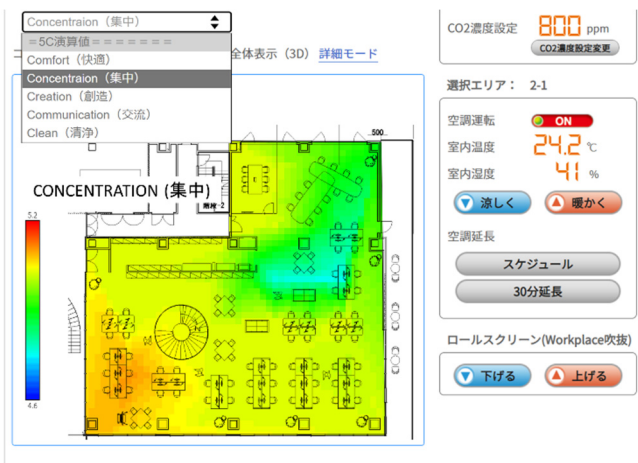


図-2 BEMS 画面

1.3 5C 値算出方法

たとえば、集中力を高める空気環境条件や交流を高める条件を一様に評価するには、定性値と定量値との相関関係を求める事が必要で、これまで多くの研究がなされ発表されている。

そこで、5C ビジュアライザーの計算引数は執務者アンケートによる再構築や生体指標計測による客観評価を前提として、従来の研究報告を参考に空間環境分析システムに落とし込んだ値を採用した。環境因子と 5C 値の関係性に言及した報告は建築分野だけでなく組織心理学や芸術分野にも存在する。これら国内外約 80 の文献を参考に、多角的な視点から計算引数のプロトタイプ値を決定した。

また、赤外線アレイセンサーの時系列データを比較することでエリアごとの在席人数の増減を検出し、5C 値へ反映させることで、より動的な計算モデルを実現した。

以下に計算ロジックの概要を示す。

・ Concentration (集中)

比較的単純なタスクと室内環境の関連性に着目した研究報告等を参考にした。室内温度と知的生産性の関係に注目した実験報告¹⁾や、外気導入量と作業効率の関係に注目した実験報告²⁾から、やや低い温度で CO₂ 濃度が低く、周囲の人密度が低い等。

・ Comfort (快適)

空気調和・衛生工学便覧第 14 版で示されている温暖環境快適域に加えて、低い PM_{2.5} 値や作業適正值よりやや低い照度等。

・ Communication (交流)

人員間の距離とコミュニケーションの活発性に関する報告や明るい環境でのコミュニケーション活性化³⁾、暖かい環境でのコミュニケーション増加等。

・ Creation (創造)

より複雑で創造的な課題に対する好適環境の研究報告を参考にデザイン的な創造性と明環境の関係⁴⁾や自然環境での創造性向上に関する文献⁵⁾、温暖環境での複雑なタスク処理能力が向上する報告等。

・ Clean (清浄)

CO₂ 濃度と人密度を主として算出される感染確率指標⁶⁾や PM_{2.5} 基準値等。

これらの報告や環境因子を軸にして初期の算出式モデルを設定した。

2. 小型 PMV 計を用いた Comfort 値の評価

2.1 小型 PMV 計の 精度確認

2.1.1 実験概要

採用した小型 PMV 計⁷⁾は空気温度、相対湿度、放射温度、気流速度の計測が可能で、40 mm×60 mm×100 mm と非常にコンパクトであることに加え、取得データの無線通信も可能である。これらが執務環境下で PMV 値を多点分散同時計測することで、執務者の快適性を最小エリア単位で常時把握でき、執務者の環境満足度向上や生産性向上に繋がる。本実験では計測用ポールに設置した個別計測演算値と小型 PMV 計の算出値を比較し、小型 PMV 計の精度を確認する。

従来の据置型の PMV 計測用ポールと小型 PMV 計を併設させたセンサー群を 9 点、無線式多機能センサーと小型 PMV 計のセンサー群を 5 点設置し、それぞれの PMV を比較する。図-3 にセンサー群の設置位置図を示す。図-4 にセンサー群の設置写真を示す。

本実験は 2024 年 4 月 15 日～26 日の 8:00～18:00 に行い、床面から 1,100 mm の高さで計測した。

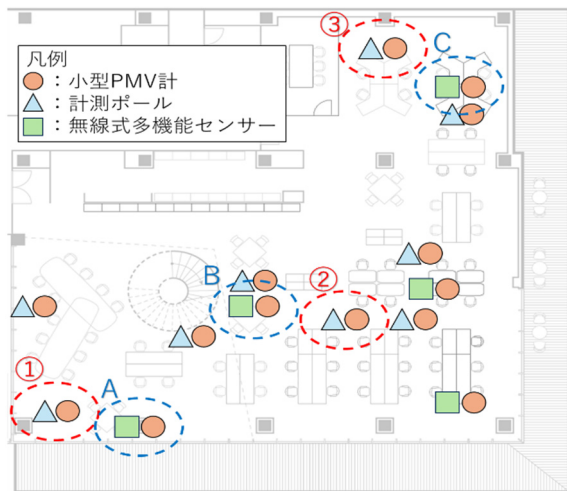


図-3 センサー群の設置位置図



図-4 ①点の計測用ポールと小型PMV計 (左)
A点無線式多機能センサーと小型PMV計 (右)

2.1.2 実験結果

図-5に縦軸を計測用ポールでのPMV値、横軸を小型PMV計の計測値とした地点①～③のPMV散布図を示す。計測用ポールが真値だとしたときの小型PMV計の誤差偏差は0.028と算出された。これはPMVの快適域である-0.5から0.5の範囲の2.8%となり、小型PMV計は高い精度でPMVを計測可能である。平面的な分布を示したコンター図(図-6)からも、全体の傾向を精度よくとらえている事が分かる。そのため本施設内の執務環境でのPMV計測に活用しても問題が無いことを確認した。

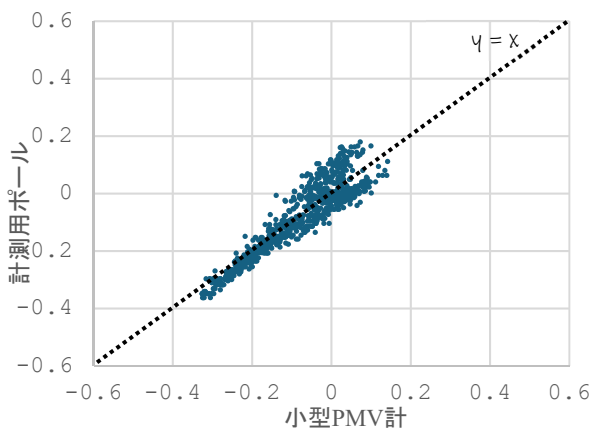


図-5 計測ポールと小型PMV計の計測値

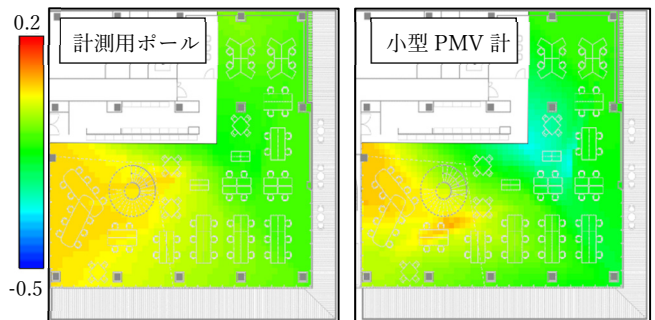


図-6 執務空間のPMVコンター図

2.2 PMVとComfort値の相関性

小型PMV計⁸⁾によるPMV値と空間環境分析システムで算出されるComfort値を比較し、Comfort値と熱的快適性の関係性を評価する。図-3のA～C点で計測した執務時間中のPMVの絶対値を縦軸、同時刻のComfort値を横軸とした散布図を図-7に示す。

空間の快適性が高いほど大きい値を示すComfort値と温熱快適性が高いほど絶対値が小さくなるPMVに負の相関関係が見られ、その相関係数は-0.68であった。

これより空間環境評価システムで算出したComfort値は熱的快適性の一般的な指標であるPMVの傾向も加味した評価値といえる。

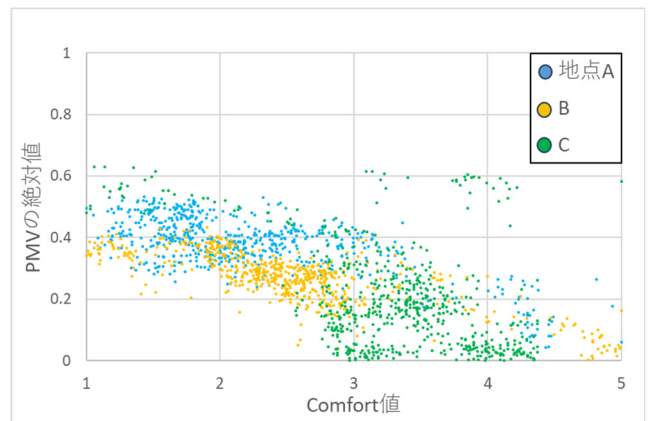


図-7 Comfort値とPMVの散布図

3. 執務者アンケートによる5C算出式の改良検討

日本サステイナブル建築協会が提供しているSAPアンケートを基に執務者54人に対して、どのような環境要因を重視して執務空間を選択するかを問うWebアンケートを行った。このアンケートでは「重要でない」を1点とし、「非常に重要である」の5点までの5段階評価とした。全回答者の各重要度評価点を平均した結果を図-8に示す。回答期間は2024年2月26日～3月8日とした。

前提として執務者は無線式多機能センサーでは計測が難しいIT環境や空間環境を重要視している傾向がある

が、センサーが計測可能な環境要因の中では重要度が高い順に温熱環境（温度と相対湿度）、光環境（照度と UV インデックス）、空気質環境（CO₂ と PM2.5）である事が分かった。執務者全体のアンケートの獲得点数の比率から、環境要因ごとの重要度比率は温熱環境 0.4、光環境 0.3、空気質環境 0.3 と算出される。重要度比率は各環境要因の重要度を温熱環境、光環境、空気質環境の合計値で割り、小数点 2 位で四捨五入したものである。このアンケートは執務者の主観での包括的な重要度であるため、5C それぞれに対する差異から算出式の改良を行う。

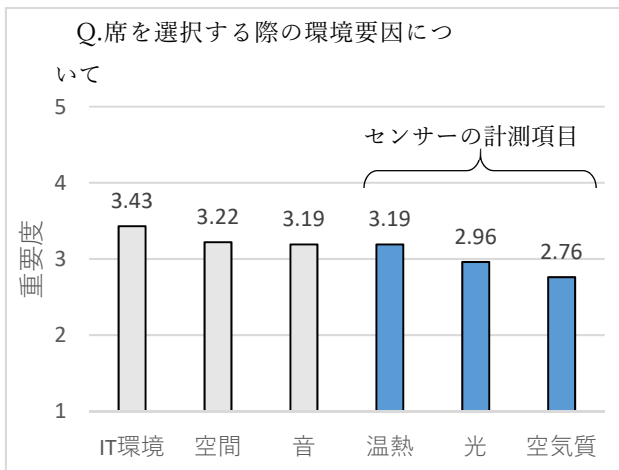


図-8 環境重要度のアンケート結果

4. 将来展望

現状の環境ごとの好適値や重み係数は既往研究の結果を分析したプロトタイプ版としてシステム化した。前報の通り対流空調と放射空調を組み合わせる環境グラデーションを形成しているため、放射温度等も 5C に影響を及ぼす因子のひとつと想定される。今後は、CFD で演算した放射温度や気流速度を抽出し、5C 値算出に活用する予定である。

更に小型 PMV 計の計測値と CFD 解析結果の PMV との比較による室内環境予測精度の向上への活用を予定している。

ABW 自体の活用を促進するためにも今回の重要度アンケートで上位となった IT 環境や空間環境の評価にも注目する必要がある。音環境については人密度の変化率で騒々しさを考慮することや密集度でブリーフィングの予測をすることで 5C 値の算出方式に組み込み。

主観評価の執務者アンケートや客観評価のバイタル指標等によって 5C 算出式のさらなる改良を進める。個人々

の評価値を取得し、蓄積しながら機械学習させることで、執務者個人々人の特性に対応したシステムを確立する。

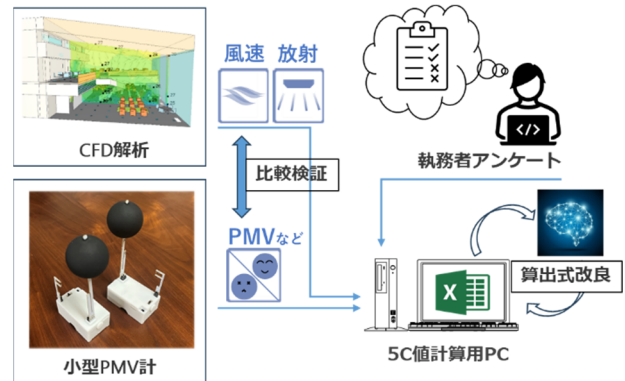


図-9 将来展望図

おわりに

ABW+e のさらなる促進を目指して、空間環境分析システムを活用した、5C ビジュアライザーを開発した。

加えて Comfort 値と PMV を比較評価することで、無線多機能センサーでの温熱環境評価に一定の有効性がある事を確認した。

参考文献

- 小林 他. (2005). コールセンターの室内環境が知的生産性に与える影響. 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集.
- Pawel Wargocki, et al. (2000). Pollution source control and ventilation improve health, comfort and productivity. Cold Climate HVAC 2000.
- Chen Bo-Zhong et al. (2010). Good lamps are the best police: darkness increases dishonesty and self-interested behavior. Cornell university ILR school.
- 由田 他. (2022). デザインの創造性向上にむけた完成要求の獲得方法. 日本創造学会論文誌 第 25 巻 pp131-152.
- Cary Cooper et al. (2015) The global impact of biophilic design in the workplace.
- 倉淵 新型コロナ対策として換気量はどうやって決めるべきか? (2021). 空気調和・衛生工学会学会誌. 第 95 巻 第 6 号 pp3-9
- 富樫 (2022). 室内温熱環境の廉価な無線計測記録装置の開発. 日本建築学会技術報告集 第 28 巻 第 68 号 pp267-272.
- M-Logger システム解説書 2024 年 1 月 18 日版 <https://www.mlogger.jp/document.pdf> 閲覧日:2024 年 4 月 1 日