

脱炭素を目指したイノベーション施設の計画と検証

(第 11 報) CFD 連携 PMV 制御の冬期運転検証

柳 澤 淳 (新菱冷熱工業)
尾 形 甫 (新菱冷熱工業)

坂 本 裕 (新菱冷熱工業)
五十嵐 瞳 (新菱冷熱工業)

はじめに

本施設の2F執務室に導入したCFD連携PMV制御は、将来の熱負荷予測に基づいたCFD解析を行い、PMV値を常に一定値に維持する制御である。

本報では、当システムを冬期に運用した際の温熱環境と制御動作を分析した結果について報告する。

1. 空調システムの概要

1.1 空調方式

当該空調システムを導入した空間を図-1に示す。この空間は約500m²のワークスペースであり、床吹出空調を行う7エリア、天井放射空調を行う6エリアに大別される。制気口や放射パネルなどの配置図を図-2に示す。床吹出空調エリアは床吹器具から空調された空気が給気され、放射空調エリアでは天井面に水式放射パネルをほぼ全面に敷設し、一部のダミーパネルから外気を処理した空気を給気することで、換気と湿度の維持をしている。両エリアともペリメータ部には、床置アクティブチルドビームが設置されている。

1.2 導入技術の概要

本システムの制御フローを図-3に示す。天気予報から日射量や外気温の予測値を取得し、熱負荷予測を行い、さらに中央監視に蓄積されるセンサー情報(室温、人感センサーなど)・空調運用情報・電力使用量も併せ、以下の手順でCFD解析を行い、最適な空調環境に制御する。なお、CFDの計算負荷の低減のために、壁・窓・天井・床などの表面温度を専用の熱負荷予測プログラムにより求め、CFD解析の境界条件としている。

- 1) インターネット経由で1時間後の外気温度、日射量などの天気予報値を取得する。
- 2) 熱負荷予測プログラムにより表面温度を予測する。
- 3) 熱負荷予測・中央監視の情報に基づいたCFD解析により温度・放射温度・風速を予測する。

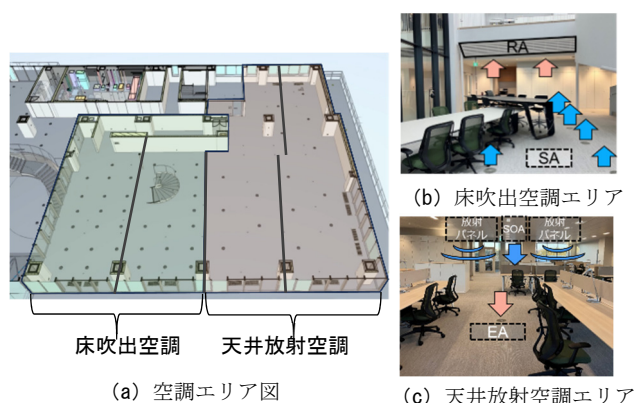


図-1 対象となる空調制御を導入する空間

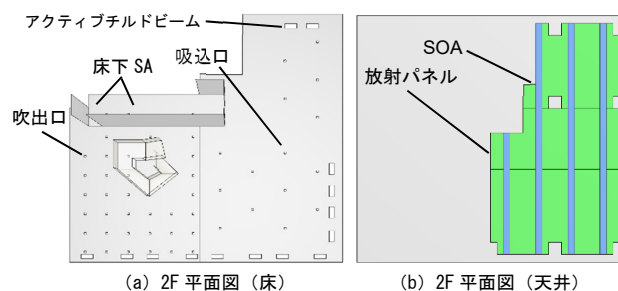


図-2 制気口・放射パネルなどの配置図

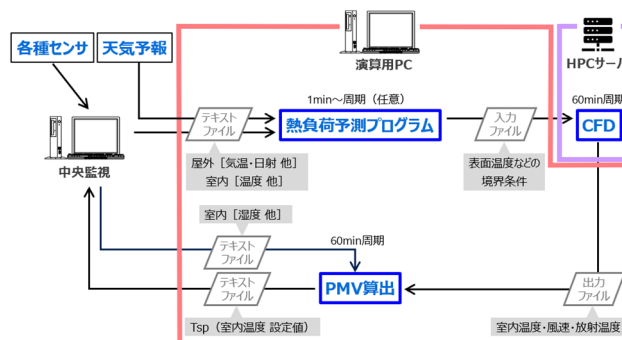


図-3 CFD連携PMV制御のフロー

- 4) センサー値と CFD の予想値から 1 時間後の PMV 値を演算する。なお、代謝量は通年 1.0 とし、着衣量は季節間の変化を考慮し、0.6~0.9 の範囲で可変させている。
- 5) PMV 値が最適値になるように、空調の設定温度を可変する。

2. 冬期環境測定結果

2.1 測定概要

図-4 に対象執務室に配置した測定機器の位置を示す。PMV を算出するために 9 箇所に各測定機器（熱電対、グローブ球、風速計、おんどとり）を設置した。温度については 20 箇所に熱電対を設置した。温度測定では上下温度分布を測定するため各箇所 で 8 点ずつ測定を行った。

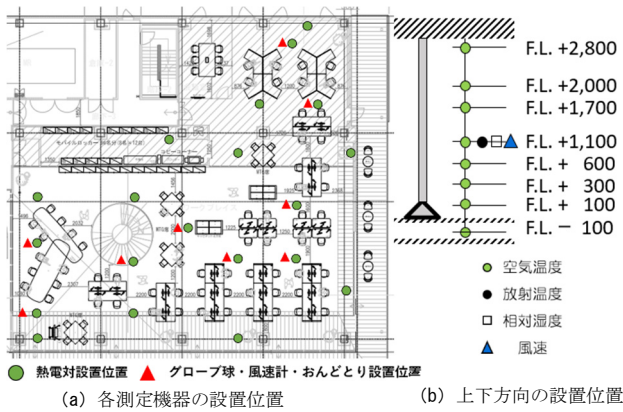


図-4 各測定機器の配置図

2.2 測定結果

(1) 冬期期間中の PMV の時刻推移

2024 年 2 月 28 日~3 月 8 日の 10 日間について F.L. +1,100 mm の高さの PMV の推移を図-5 に示す。なお、土曜日・日曜日の空調は停止している。

就業時間 (8:30~17:30) 中の PMV は、概ね快適域である ± 0.5 の範囲内で制御されている。

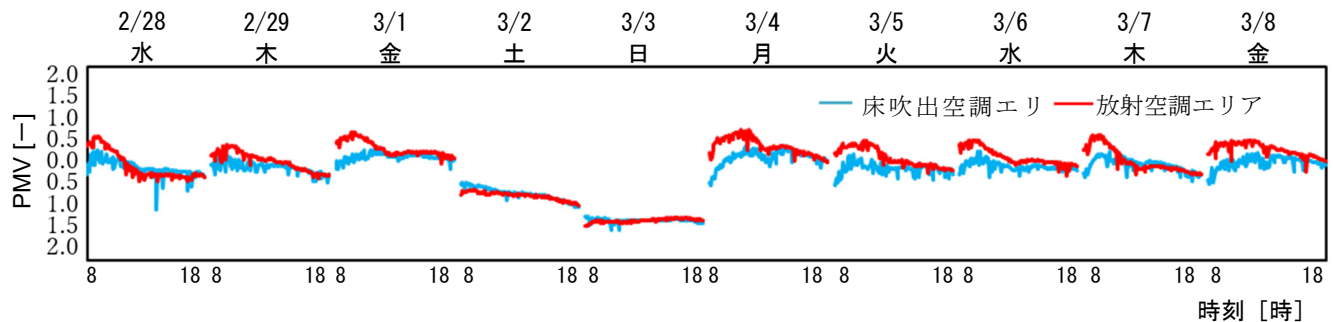


図-5 2024 年 2 月 28 日~3 月 8 日の PMV の推移

(2) 代表日の PMV の時刻推移

外気温が比較的良かった 3 月 5 日を冬季代表日として検証した。図-6 に PMV の推移を示す。両エリアともに快適域の ± 0.5 の範囲以内に制御している一方で、放射空調エリアにおいては、PMV の快適範囲に収まってはいないものの、午前中の PMV 値が高くなる傾向が見られた。

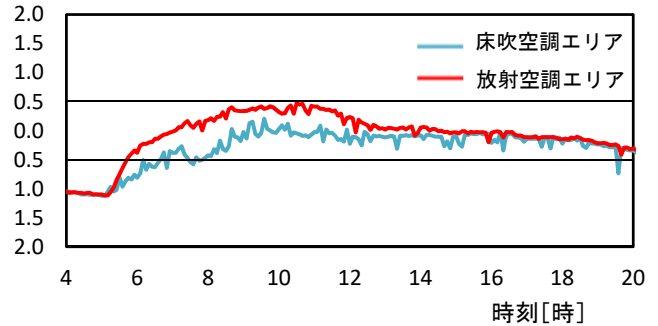


図-6 3 月 5 日の PMV の推移

(3) 代表日の温熱要素の分布 (F.L.+1,100mm)

a 温度分布

8 時、14 時の温度の分布を図-7 に示す。8 時は放射空調エリアが約 24 °C、床吹出空調エリアが約 23 °C であり、14 時は両エリアの温度差はほとんどみられなかった。

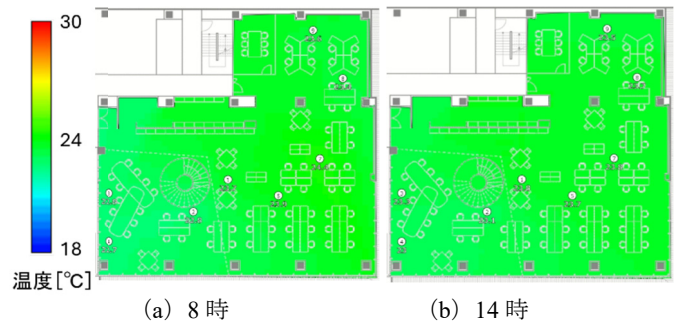


図-7 温度分布

b 風速分布

8時、14時の風速の分布を図-8に示す。風速がやや早い結果(0.3 m/s程度)については、執務者の通行など非定常の要因が考えられる。

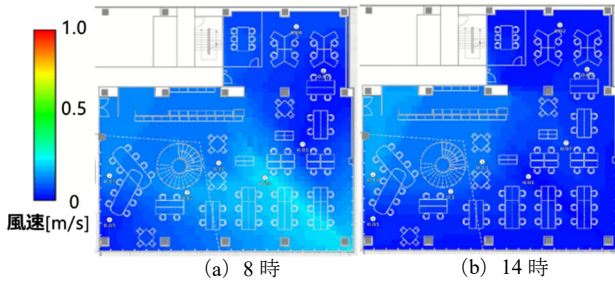


図-8 風速分布

c 放射温度分布

8時、14時の放射温度の分布を図-9に示す。8時の放射温度について、放射空調エリアの方が床吹空調エリアよりも高く、温度と同様の傾向を示した。

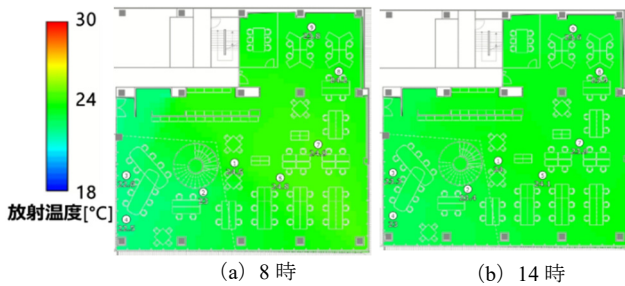


図-9 放射温度分布

d 湿度分布

8時、14時の湿度の分布を図-10に示す。湿度は約30%~40%程度であり、やや乾燥した環境であった。

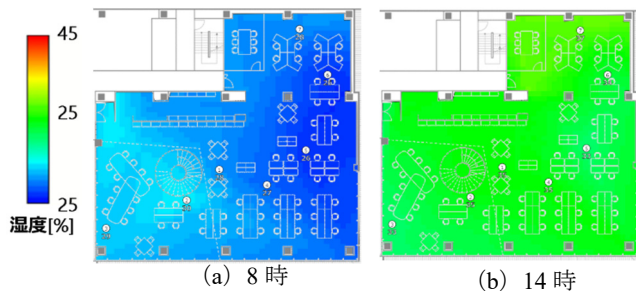


図-10 湿度分布

e PMV 分布

8時、14時のPMV分布を図-11に示す。対象執務室内のどのエリアにおいてもPMVは快適域であった。

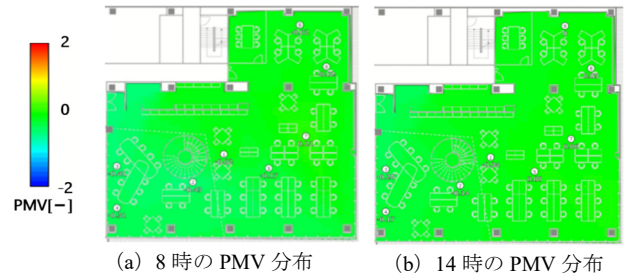


図-11 PMVの分布図

(4) 空調立ち上げ時の評価

a 時刻・各高さにおける温度分布

空調立ち上げ直後である5時5分、8時、14時の温度分布を図に示す。床吹空調エリアについて、5時2分の空調の立ち上げ開始から8時の間は床下のSAから制気口にかけて温度の分布がある。これは躯体の蓄熱が影響していると推測される。しかし、8時以降における各F.L.-100mm、F.L.+1,100mmの温度分布は概ね22℃以上であること、各空調エリア上下温度分布が3度未満であることから、対象空間全域で快適な温熱環境を形成している。

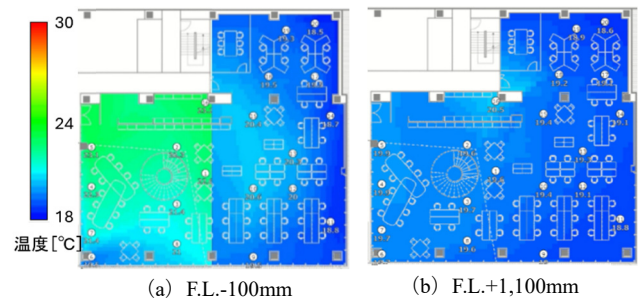


図-12 3月5日5時の温度分布

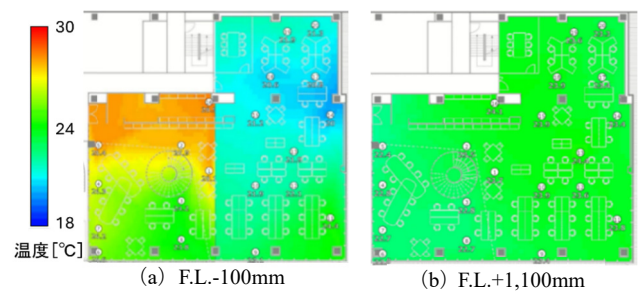


図-13 3月5日8時の温度分布

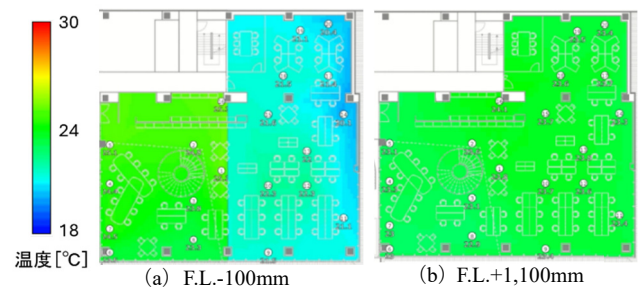


図-14 3月5日14時の温度分布

b 各時刻における上下温度分布

上下温度分布について図-15に示す。放射空調エリアでは午前中の天井付近の温度が高く、午後にかけて上下温度差が少ない温度分布になっている。これは、午前中は暖房負荷処理のために天井放射パネルの表面温度が高い状態だが、午後にかけて暖房負荷の減少に伴い天井放射パネルの表面温度を室温に近づける制御が働いているためである。

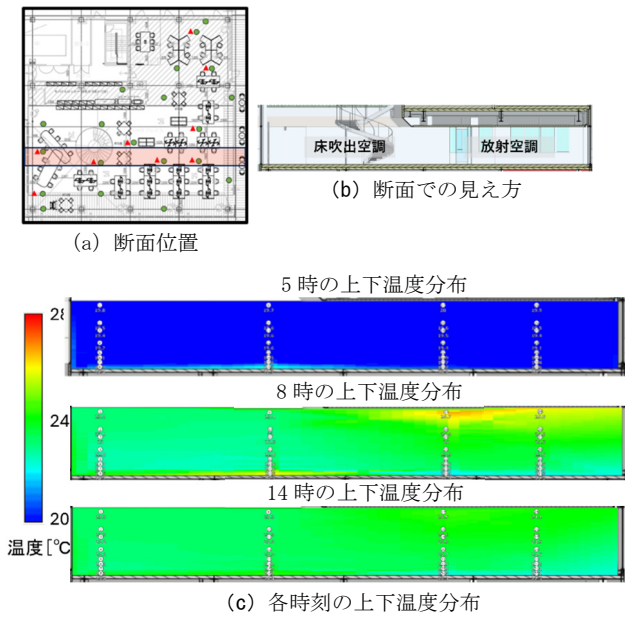


図-15 3月5日上下温度分布

3. 制御動作の状況

3.1 CFD 解析予測

CFD 解析予測の代表例として、3月5日13時に1時間後の14時の温熱環境を予測した際の温度・放射温度・風速・PMVを図-16に示す。温度分析結果から、特に放射空調エリアの外壁付近の温度が高くなることが予想されている。また、放射温度も放射空調エリアの外界の境界部で高い値となっている。外壁と窓の部分についてそれぞれ異なる放射温度の分布が生じている。これは天気予報や各熱負荷、部材の熱伝達率などの条件を加味した上で熱負荷予測プログラム及びCFDでの放射解析が適切に行われたためである。

風速については床吹出空調エリアの風速が大きく、放射空調の方が小さいという空調方式の特徴を再現している。

本システムでは、これらのCFD解析結果を次の制御フローであるPMV計算に使用する。図-17に示す位置でCFD解析結果の温度、放射温度、風速をそれぞれ取得する。取得する値は1つの制御エリアに対し4点であり、これを平均化し、PMV計算することによって設定温度を算出している。設定温度の算出結果を図-18に示す。こ

の計算では各エリアのPMV値が0になるように個別に設定温度を算出している。

3.1 設定温度と測定値

図-18中の★の位置を代表として、温度設定値と制御用センサーで測定している室温を図-19、20に示す。CFD連携PMV制御によって最適設定温度に随時可変されている。床吹出空調エリアが安定するのが9時頃であるのに対し、放射空調エリアの温度が安定するのは11時頃であり、空調システムの違いによる室温応答性の差異が生じている。特に天井放射空調エリアは室温設定値と測定値の偏差が大きい時間帯がみられるため、今後は制御遅応性を加味した設定温度の可変方法を検討する

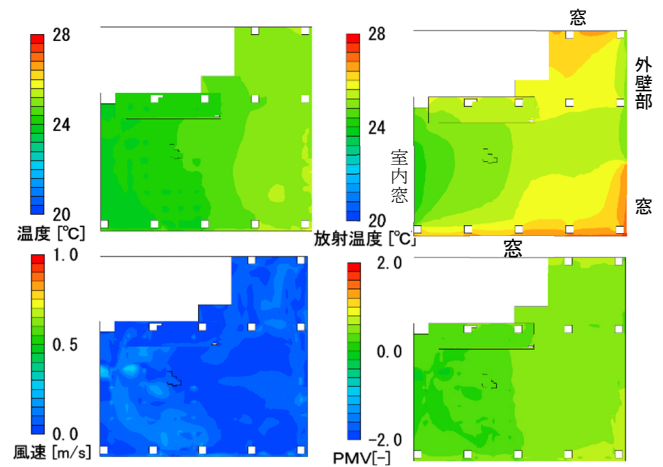


図-16 3月5日14時のCFD解析予測結果

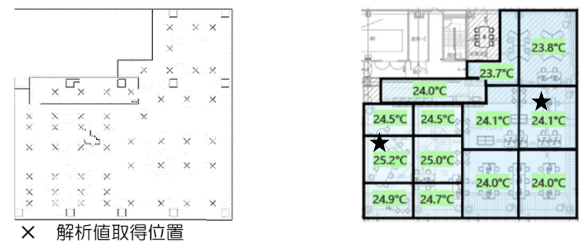


図-17 CFD解析値の取得位置 図-18 設定温度の算出結果

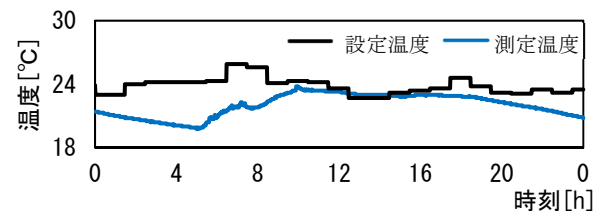


図-19 3月5日の床吹出空調エリアの制御状況

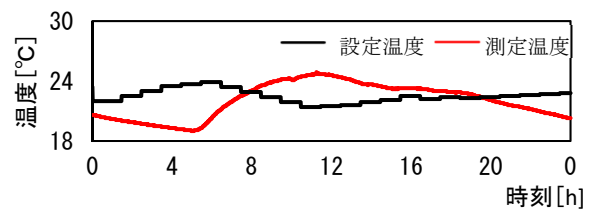


図-20 3月5日の放射空調エリアの制御状況

おわりに

CFD 連携 PMV 制御について、快適な PMV となるように制御されていることを確認した。さらに本システムの完成度を高めるため、温度設定の変化量を調整し、温度設定値と測定温度との乖離を抑制するなど制御精度を高めていく予定である。

参考文献

- 1) 五十嵐 他. (2023). 脱炭素を目指したインノベーション施設の計画と検証 (第 4 報) ワークプレイス空調システムの概要. 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集.