

エネルギー自立型サステナブル研究施設

ー 執務エリアへの置換空調導入検証と暖房対策 ー※

木村健太郎・相澤直樹・平原美博
羽鳥大輔^{*1}・武藤友香^{*1}・田辺新一^{*2}

Energy Self-Sufficient and Sustainable Innovation Center

Performance Evaluation and Heating Measures for Displacement Ventilation Systems for Office Use

Kentaro Kimura・Naoki Aizawa・Yoshihiro Hirahara
Daisuke Hatori^{*1}・Yuka Mutoh^{*1}・Shin-ichi Tanabe^{*2}

執務エリアの空調方式には、アネモやノズルなど空気攪拌により室温の均一化を図る混合空調が一般的である。本施設のオフィス棟¹⁾は、自然採光取入れのため室中央部に吹抜けを有しながら自然換気を積極的に利用するために間仕切りが少ない構造となっており、大空間に適した消費エネルギーの少ない空調方式の採用が求められた。既報²⁾ではCFD解析を実施し、天井の高い大空間でも居住域だけを効率良く冷房でき、高温給気や大温度差給気により熱源動力や搬送動力の低減が可能な置換空調を導入した。置換空調は、発熱体の熱上昇流を乱さないように室下部から低速で給気し、室上部から排気することで室内に温度成層が形成され、居住域を適温かつ清浄な環境に保つことができるシステムである。冷房負荷の大きい大空間の工場や倉庫などと親和性が高く、空気の密度差により給気が搬送されるため、混合空調のように室内にダクトを張り巡らすことは不要となり、吹抜けのある大空間には適した空調方式である。一方、置換空調用吹出し口を用いて温風を供給する場合、浮力により給気が上昇するため効率的な暖房を行う事が課題となっており、執務室エリアへの採用実績が少ない理由の一つとなっている。本報では、運用2年目に入った本施設において、感染症拡大防止対策として建築物衛生法に基づく必要換気量を確保しながらも、省エネルギー運転に配慮した置換空調エリアの冷暖実測結果を示す。また、暖房時に露見した空調立ち上がり時間の長さや足元の温度低下による快適性低下に対し、環境改善や排温水の有効利用を目的とした対策を実施しその効果を示す。

1. 設備概要と測定概要

1.1 オフィス棟1階設備概要

写真1に各室使用状況と置換空調用吹出し口を示す。オフィス棟1階は、エントランスホール、カフェ、会議室等、外来者が利用可能な空間となっており、地下水とバイオマスCHPの排温水を熱源とするデシカント外調機で調湿された外気は、旋回流誘引型の壁吹出し口や床吹出し口、エントランスホールの階段側面に設けた吹出し口の計3種類の置換空調用吹出し口から給気を行い、吹抜け上部の2階天井(1FL+8m)より還気することで置換空調を行っている。

※本論文は、2021年度空気調和・衛生工学会大会講演論文³⁾を加筆修正したものである。

*1 株式会社三菱地所設計 *2 早稲田大学

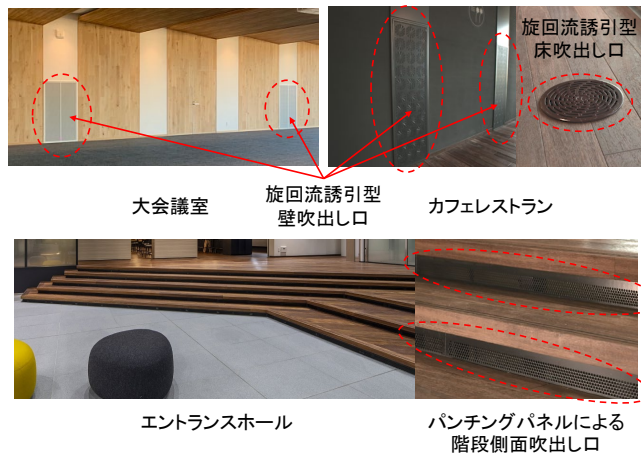


写真1 各室使用状況と置換空調用吹出し口

1.2 実測概要

図1に器具配置と実測概要を示す。垂直温度測定は、吹抜け中央部に熱電対を高さ1mピッチで設置し1分間隔でデータロガーに保存した。平面温度測定は、赤外線による表面温度とセンサ周囲温度を測定するサーモパイル（視野角22度）を採用し、天井面に1.8mピッチで設置し1分間隔でサーバに保存した。

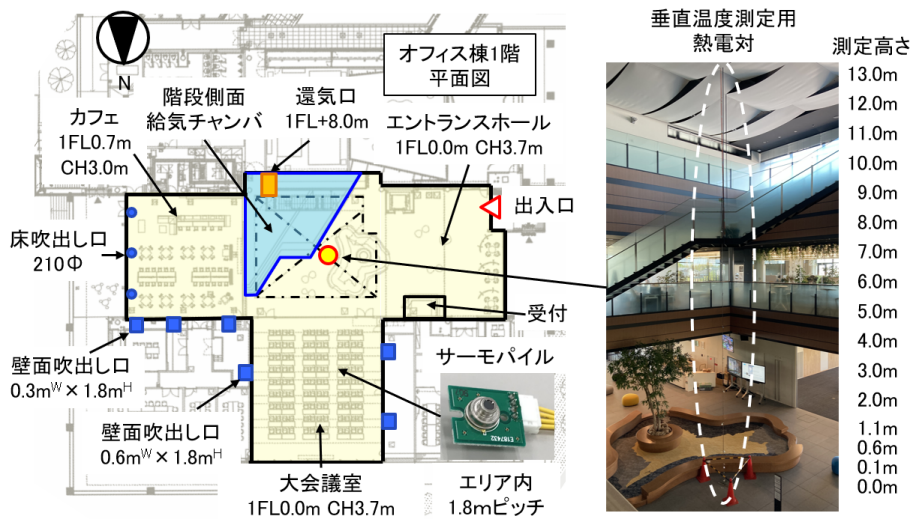


図1 器具配置と実測概要

1. 実測結果

2.1 夏期冷房運転

図2に夏期代表日（2021年8月4日(木)）のオフィス棟吹抜け部の垂直温度分布を時刻ごとに比較して示す。外気温度は、本施設最寄りの気象庁観測データ（つくば市館野）を示す。放射の影響で床表面は居住域より1℃程度高く、室上部ほど高温となる置換空調特有の温度勾配を形成している。また外調機の起動と地下水を通水開始した7時より室内温度が徐々に低下し、就業開始の9時以降は居住域を含めた時刻変動が少なく、快適な居住環境が維持できている。

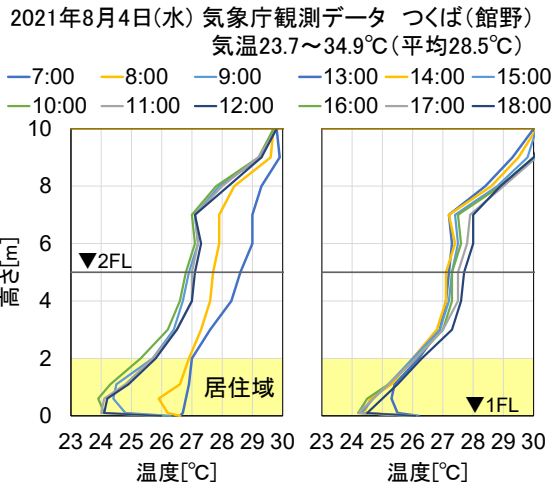


図2 夏期代表日(8/4) 時刻別垂直温度分布

図3に同日12時のオフィス棟1階床表面と天井高さの平面温度分布を比較して示す。当日は最高気温が34.9℃と猛暑日並みであり、各室の給気風量はともに定格風量(カフェ 2,900 m³/h、エントランスホール 3,000 m³/h、大会議室 5,000 m³/h)の半分以下、給気温度は設計値の19℃より高い21.4℃の条件下ではあったが、居住域温度は天井付近温度より1~2℃低く、概ね設計室温の26℃以下となった。カフェの外壁近傍や給茶機等の機器周囲に温度上昇は見られるが、テーブルやパーテーションなど什器が密に配置されていてもインテリア部では給気が密度差により部屋の隅々まで行き届き、いずれの室でも温度ばらつきは4℃以下と少ない結果が得られた。

エントランスの床下ピットは地下水の貯留槽となっており、貯水槽エリアと還水槽エリアの床表面温度と各槽内温度には相関が見られ、ともに室内の冷却に寄与していることを確認した。

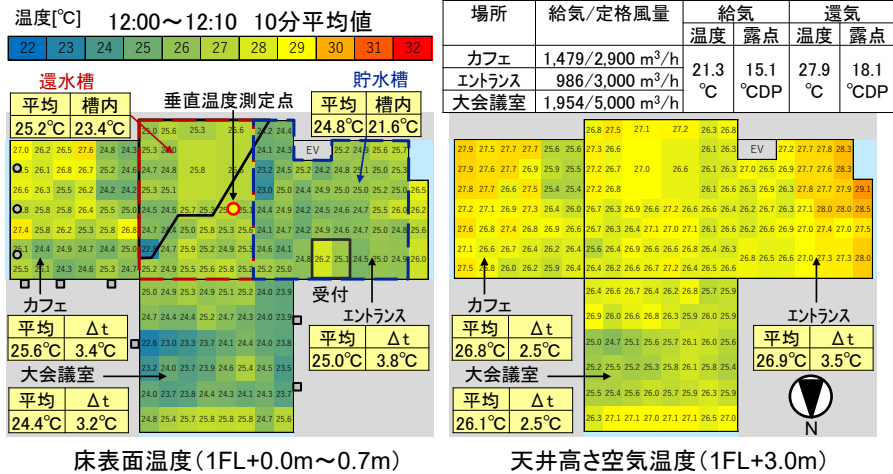


図3 夏期代表日(8/4 12:00) 平面温度分布

2.2 冬期暖房運転

図4に冬期代表日(2022年2月14日(月))のオフィス棟吹抜け部の垂直温度分布を時刻ごとに比較して示す。休日明けの居住域温度は、外調機の起動と排温水を通水開始した7時より徐々に上昇して13時頃に定常状態に至る。地下水貯留槽は貯水槽と還水槽いずれも19℃程度で推移しており、室内の極端な底冷えを軽減させている。居住域の下部は18℃程度に留まり、室上部より2~3℃低い温度で推移した。

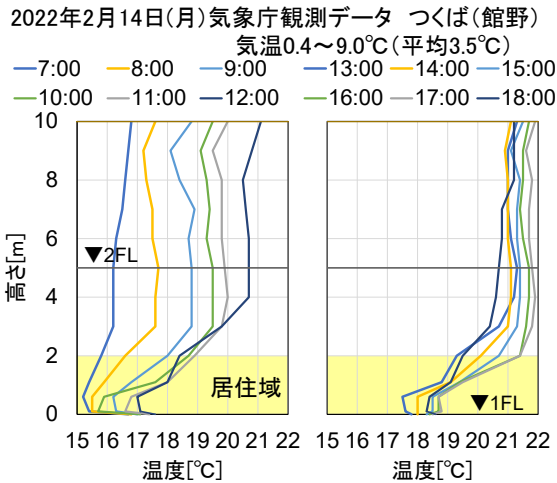


図4 冬期代表日(2/14)時刻別垂直温度分布

図5に同日9時のオフィス棟1階床表面と天井高さの平面温度分布を比較して示す。床吹出し口のあるカフェを除き、外壁ガラス近傍から室中央付近にかけて床表面温度の低下が見られる。これは、外壁に近いほど低温となっている平面温度分布から外気の影響でガラスやサッシ温度が低下し、室内へ冷気が流入するコールドドラフトの影響と想定された。

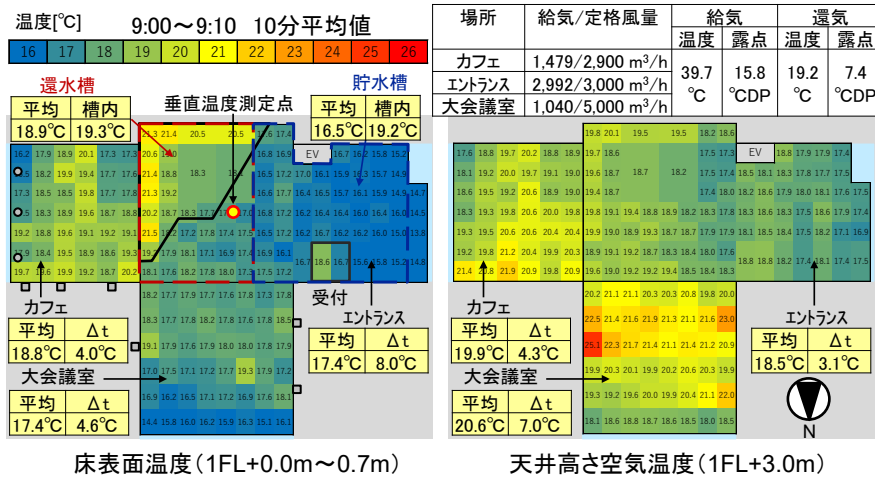


図5 冬期代表日(2/14 9:00)平面温度分布

以上より、本施設はZEBを達成するために高い外皮性能を有し、カフェに設置した床吹出し口により一定の冷気遮蔽効果は見られたが、インテリアゾーンに設置した置換空調の単独システムだけでは、給気条件を高く設定してもペリメータを含む室全域を快適温度に維持することは困難と想定された。特に厳寒期の休日明けは、空調の立ち上がり時間の長さや足元の温度低下による不快感の課題が顕在化し、置換空調による暖房時の改善が求められた。

2. 階段側面給気チャンバによる床暖房

3.1 対策概要

本建物は、常時200kWほどのバイオマスCHPからの排温水(60~80°C、110L/min程度)があり、冬期の日中は暖房や給湯、夜間はバイオマスCHPの燃料となる木質チップの乾燥に利用している⁴⁾。空調停止

となる休日には排温水の余剰分を木質チップのプレ乾燥に利用しているが、過乾燥によるチップ劣化をさせないためにも、排温水の有効利用が求められていた。そこで、2章で露見した休日明けの立ち上がり時間の短縮と排温水の有効活用を目指し、休日に排温水の一部をオフィス棟へ供給する対策を行った。図6に排温水の供給先としたエントランスホール内の階段側面給気チャンバを示す。排温水で温められた空気は、階段側面の吹出し口から給気することで約70m³の給気チャンバ内に約40℃の暖気が満たされ、床板が温められることで床暖房効果が得られることを狙った。

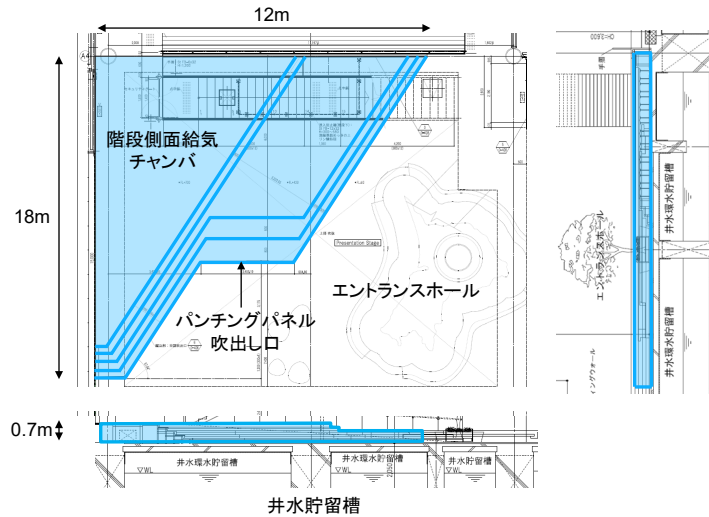


図6 オフィス棟1階階段側面給気チャンバ

3.2 実測結果

図7に休日より階段側面からの暖房給気を行った2022年2月21日(月)のオフィス棟吹抜け部の垂直温度分布、図8に同日9時のオフィス棟1階床表面と天井高さの平面温度分布を比較して示す。階段側面給気を行わなかった前週月曜日と比較し、外気温度が低く、給気風量も少ない条件下であったが、追加のエネルギーを消費することなく朝方の底冷えを改善できている。また、日中の居住域の温度上昇幅は少なく、空調立ち上がり時間の削減に寄与することを確認した。上記対策に伴うエネルギー消費は、木質チップのプレ乾燥に用いる動力と同程度(1.7kW)であり、暖房立ち上がり時間の短縮や電力デマンドを抑える効果が期待できるため、排温水のある場合には有効な方法と考えられる。

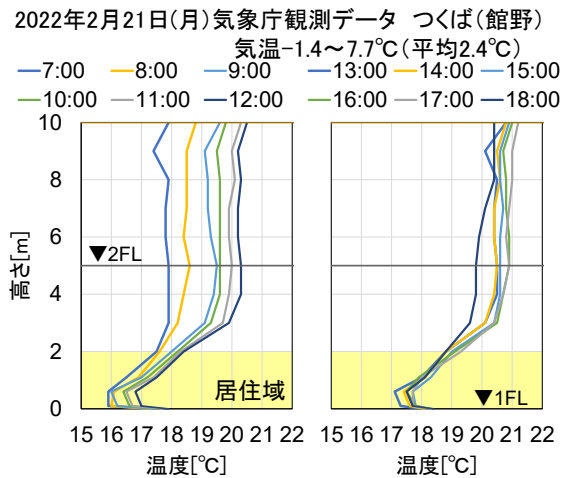


図7 階段暖房時(2/21)時刻別垂直温度分布

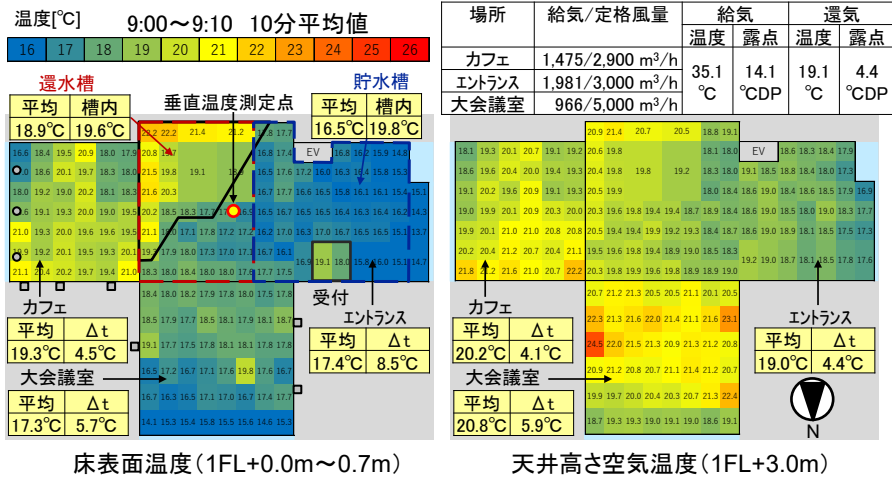


図8 階段暖房時 (2/21 9:00) 平面温度分布

3. ペリメータ部床暖房パネル

4.1 対策概要

足元のドラフト不快感の改善には外壁からの冷気防止が必要となる。そこで、本施設のオフィス棟2階執務室へ導入し、既報⁵⁾で暖房効果を確認したOAフロア用床暖房パネルを利用者の滞在時間の長い大会議室のペリメータ部へ導入した。

4.2 CFD検証

図9に大会議室を解析領域としたCFD解析モデルを示す。窓面は10°C固定、その他壁面は断熱条件とし、40°Cに固定した床暖房パネルの有無を定常解析で比較した。図10に暖房稼働有無、及び床暖房パネル稼働有無による床上0.1m平面温度の解析結果を比較して示す。床暖房により窓面からの冷気入が抑えられ、夜間を想定した非空調時に室温が約1.5°C上昇する結果となった。

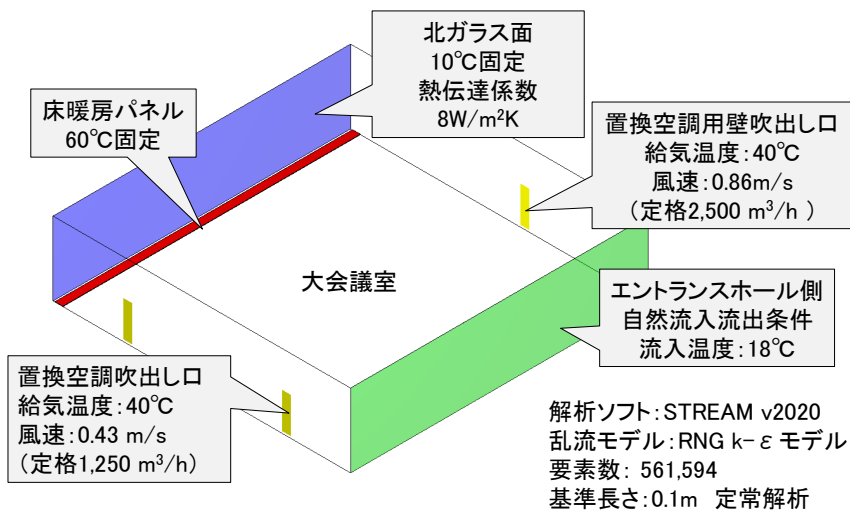


図9 CFD解析モデル

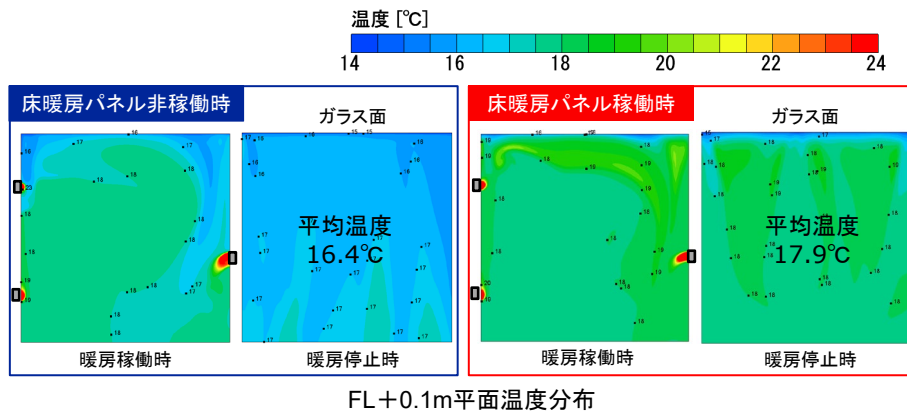


図 10 CFD 結果 (FL+0.1m 平面温度分布)

4.3 実測結果

大会議室の床暖房に加え、エントランス内受付の快適性を向上させるため、当施設の空調配管に採用したアルミ三層管を受付デスク下部に敷設し、排温水を通水することで放射による局所暖房を目指した。(写真2)



写真 2 大会議室の床暖房パネル設置状況と受付局所暖房

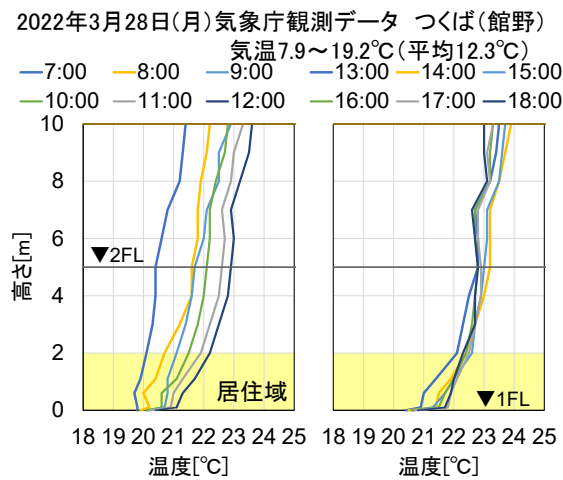


図 11 大会議室床暖房時 (3/28) 時刻別垂直温度分布

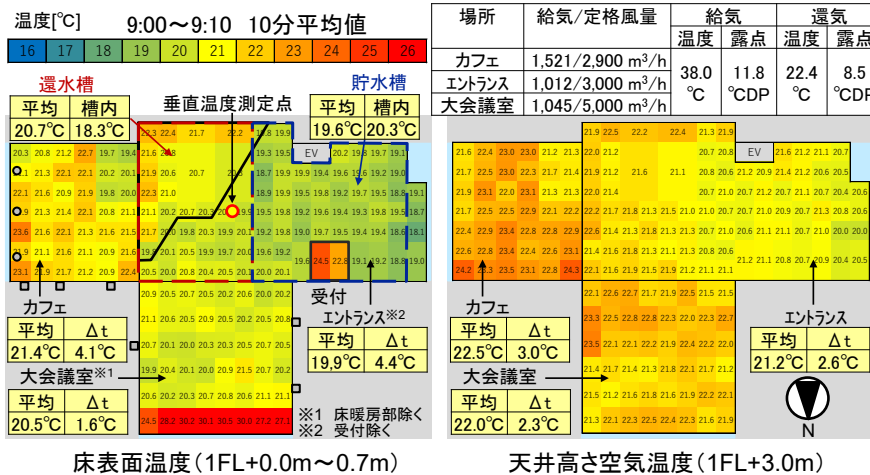


図 12 大会議室床暖房時 (3/28 9:00) 平面温度分布

大会議室のペリメータ床暖房を稼働した 2022 年 3 月 28 日(月)のオフィス棟吹抜け部の垂直温度分布を 図 11 に、同日 9 時のオフィス棟 1 階床表面と天井高さの平面温度分布を図 12 に示す。なお、休日の階段側面給気は停止している。気温の高い条件下ではあるが、排温水の通水量は室全体で 3.3 L/min と少水量ながら、大会議室側壁面からの冷気流入が抑えられていることを確認した。また、受付内は約 24°C となり、局所暖房による快適性向上と同時に、電気ヒータによる補助暖房利用も抑制することができ、消費エネルギーの削減にも貢献した。

4. おわりに

本報では、吹抜けのある執務エリアへ置換空調を導入し、必要換気量を確保しながらも省エネルギー運転を行った時の温熱環境、並びに暖房時に露見した課題と対策を実行し、その改善効果を示した。昨今、室内負荷が減少する傾向の中、オフィスでは暖房の重要性が高まっており、今回実施した対策や改善効果を元に、冷気流入しているエントランス壁面への床暖房設置や冷暖でそれぞれ有効な吹出し方法に変えるなど、更なる環境改善に取り組んでいきたい。

文 献

- 1) 武藤友香, 羽鳥大輔, 高西茂彰, 平原美博, 清水昭浩, 木村健太郎, 牧野内絵里, 粕谷文, エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第 1 報)全体計画及びコンセプト, 2019 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(札幌), B-24, pp.185~188, (2019).
- 2) 清水昭浩, 平原美博, 木村健太郎, 柴田克彦, 羽鳥大輔, 武藤友香, エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第 4 報)二次側空調システム及びセンシングシステムの概要, 2020 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(オンライン), J-33, pp.157~160, (2020).
- 3) 木村健太郎, 平原美博, 相澤直樹, 羽鳥大輔, 武藤友香, 田辺新一, エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第 22 報)執務エリアへの置換空調導入検証と暖房対策, 2022 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(神戸), C-50, pp.201~204, (2022).
- 4) 元田治, 平原美博, 清水昭浩, 木村健太郎, 羽鳥大輔, 武藤友香, エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価(第 3 報)木質バイオマスガス化 CHP を利用したエネルギー自立型自家消費システム, 2020 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(オンライン), J-32, pp.153~156, (2020).
- 5) 木村健太郎, 平原美博, 相澤直樹, 羽鳥大輔, 武藤友香, 渡邊円, エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実

証評価(第11報)置換空調とパーソナル空調機の性能評価, 2021年度空調和・衛生工学会大会学術講演論文集(福島), J-50, pp.201~204, (2021).

ABSTRACT

This report shows the indoor thermal environment during cooling and heating by displacement ventilation systems that are operated with energy saving while ensuring the required ventilation volume as a measure to prevent the spread of infectious diseases in the office area with a stairwell. In addition, because the comfort of heating by displacement ventilation systems decreased owing to the cold draft, we will introduce measures to effectively use waste heat.
