

床吹出方式によるタスク & アンビエント空調

タスク用床吹出口の気流性状と温度分布測定および温熱気流解析による予測

TASK & AMBIENT AIR CONDITIONING WITH FLOOR BLOWING SYSTEM

Airflow properties of task floor vents, temperature distribution measurements, and predictions based on thermal airflow analysis

伊藤 優^{*1}, 村江 行忠^{*2}, 竹中 優揮^{*3}, 浅野 涼太^{*1}
Yu ITO, Yuktada MURAE, Yuki TAKENAKA and Ryota ASANO

One of the energy saving methods in the office environment is the task & ambient system. The environment is controlled by separating the task area and the ambient area. For many years, there have been efforts in the field of lighting, and in recent years, there has been increasing attention to the field of air conditioning as well. In addition, the floor air system has a shorter air conditioning distance than the ceiling air system, allowing for more efficient air conditioning. Since air can flow in one direction from the floor to the ceiling, it also has the advantage of improving air quality. In the TODA BUILDING, a task & ambient air conditioning system using a floor blowing system is planned for some floors. The authors developed a floor vent for task air conditioning, measured the thermal environment during task & ambient air conditioning in a laboratory, and made predictions of the thermal environment based on temperature airflow analysis for one floor of the TODA BUILDING. These results are reported in this paper.

1. Regarding the airflow properties of task floor vents, a flow with a strong rotation is more effective for draft reduction, and it is effective from the viewpoint of energy saving by generating a rotational flow only by the face.
2. By using a low-temperature flow vent, a better thermal environment than a conventional vent can be formed without a drop in temperature near the feet at the time of low temperature blowout.
3. The CFD simulation for one floor of the TODA BUILDING has confirmed that the task area can be air-conditioned efficiently, depending on the setting air volume and temperature.

Keywords : Task and ambient air conditioning, Floor mounted air diffuser, Swirl flow, Low temperature air supply, CFD simulation

タスク & アンビエント空調, 床吹出口, 旋回流, 低温送風, CFD 解析

1. はじめに

オフィス環境における省エネルギー手法の一つに、タスク & アンビエントシステムがある。タスク域とアンビエント域を分けて環境を制御するもので、照明分野においては古くから取り組みがなされてきており、空調分野においても近年注目されている。また、床吹出方式は天井吹出方式に比べて空調距離が短いことから、効率の良い空調ができる。また、床から天井へ方向の空気の流れが出来るので、空気質向上のメリットもある。

TODA BUILDING ビルにおいては、TODA フロアの11階と12階に床吹出方式によるタスク & アンビエント空調

システムが採用される。本計画にあたって、床吹出空調を行った場合に吹出口からの気流性状を把握し、室内温熱環境および執務者の体感を事前に把握する必要がある。

夏期冷房時には空調の冷風が人に当たれば体感温度を下げられるが、寒くて不快と感じる人もいる。よって、タスク空調においては旋回流によりドラフト感を軽減させる吹出の開発が重要と考えられた。アンビエント域においても、近年は低温送風のニーズがあり TODA BUILDING にも低温送風仕様のアンビエント吹出口が導入されるが、足元の冷気だまりが懸念されることから、室内温熱環境の把握を目的に実験室実験を行った。最後に、TODA BUILDING の一フロア全体でタスク & アンビエント空調を行う際に、設計風量に対して適正な環境が形成できるかの確認のために、温熱気流解析による予測を行った。

本報は、既報にて示した、筆者らがこれまで実施したタスク空調用床吹出口の開発^{1),2)}および実験室におけるタスク & アンビエント空調時の温熱環境に関する測定³⁾について再構成し、TODA BUILDING の一フロアを対象とした温度気流解析による温熱環境予測の内容について加

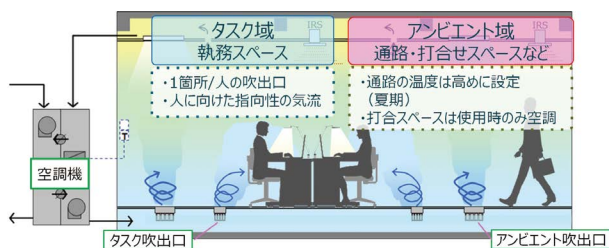


図1 床吹出方式タスク & アンビエント空調概要

* 1 戸田建設(株)技術研究所 修士(工学)

* 2 戸田建設(株)技術研究所 工学修士

* 3 戸田建設(株)技術研究所

Technology Research Institute,TODA CORPORATION, M.Eng.

Technology Research Institute,TODA CORPORATION, M.Eng.

Technology Research Institute,TODA CORPORATION

筆したものである。

2. タスク空調用床吹出口の開発

2.1 吹出口の特徴

試作段階で検討を行った吹出口の概要を表1に示す。この段階においては3種類の検討を行った。吹出口1は、旋回流を作り出す金属製の旋回羽根と、流れに方向性を与える傾斜フェースを組み合わせたものである。しかしながら、金属板の打ち抜きによる旋回羽根の羽根面積が小さく、旋回羽根ののちに通過する傾斜フェースにより旋回が弱くなっていることが考えられた。そこで旋回羽根を樹脂成型として羽根面積を大きくすると共に、フェース自体も旋回に沿った傾斜とする改良を行ったものが吹出口2である。さらに、吹出口2では圧力損失が大きいことから、旋回羽根を用いずに傾斜旋回流を発生させることを目的に開口面積を大きくするよう改良を加えたフェースを用いて低圧損型としたのが吹出口3である。

2.2 吹出口の気流特性に関する実験

(1) 実験概要

表2に実験条件を、表3に実験ケースを、図2に測定状況を示す。条件ごとに可視化により吹出軸を目視で求めて水系にてマーキング（写真1）し、その吹出軸上の距離360, 720, 1080mmとそれぞれの左右200mmの9点を測定点とした。風速センサーについては水平方向の他に、上記の吹出軸に並行する方向にも設置し、2台同時に1秒間隔で60秒間測定した。

なお、吹出温度差はドラフトへのリスクを考慮し、最

表1 吹出口の概要

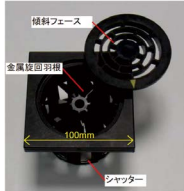
吹出口1（初期型）	吹出口2（強旋回型）	吹出口3（低圧損型）
		
開口面積：0.0025 m ²	開口面積：0.0025 m ²	開口面積：0.0033 m ²
圧力損失：29 Pa (40 CMH) (フェースのみ：26 Pa)	圧力損失：62 Pa (40 CMH) (フェースのみ：46 Pa)	圧力損失：26 Pa (40 CMH)

表2 実験条件

項目	条件等
実験室	設定温度：28℃（暖房）
吹出気流	吹出温度：18℃（冷房）、吹出風量：40m ³ /h
風速測定	無指向性熱線式風速計×2 (KANOMAX 6541-01)
風量測定	風量測定器（コーナー札幌）

表3 実験ケース

ケース	吹出口	フェース	旋回羽根
CASE-1	吹出口1	傾斜フェース	金属
CASE-2	吹出口2	傾斜旋回フェース1	樹脂
CASE-3	吹出口3	傾斜旋回フェース2	なし

大温度差を想定した10℃とした。

実験ケースとしては、表3に示す通り、吹出口1、吹出口2については、それぞれのフェースだけの条件を加えた5ケースについて比較した。

(2) 実験結果

図3に半澤らによるドラフトに対する予測不快者率^{4), 注1)}および気流可視化状況を示す。本報では示していないが、温度分布は各ケースで大きな差がないことから予測不快者率は風速が支配的となる。最も旋回が強いと思われるCASE-2では距離に関わらず20%以下と低い不快者率であった。旋回流がドラフトの軽減に有効であることが示唆された。

気流可視化状況より、初期型（CASE-1、吹出口1）

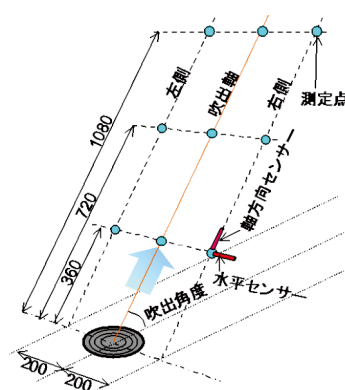


図2 測定状況

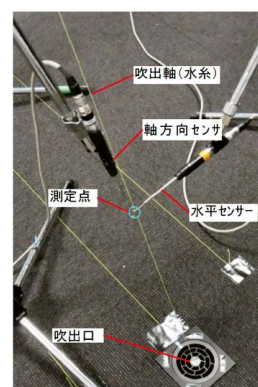
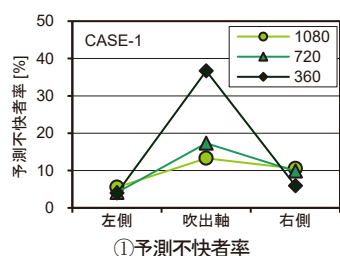


写真1 実験状況

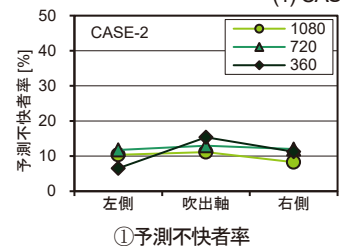


①予測不快者率

(1) CASE-1



②気流可視化状況

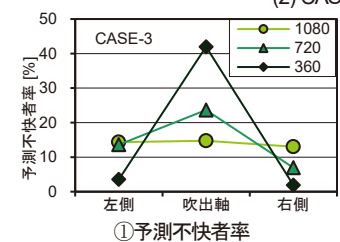


①予測不快者率

(2) CASE-2



②気流可視化状況



①予測不快者率

(3) CASE-3



②気流可視化状況

図3 予測不快者率および気流可視化状況

では旋回が弱く、強制旋回型の旋回羽根がついた吹出口 2 (CASE-2) では、旋回効果によって周辺の気流を誘引しながら吹き出している様子が見られた。フェースのみの吹出口 3 (CASE-3) についても、旋回流を発生させて吹き出している。ドラフト感の軽減という観点では強旋回流型の吹出口 2 には劣っているが、圧力損失が小さいことは、搬送動力の低減につながり、省エネルギーの観点から非常に有効である。また、アンビエント空調を一般的な床吹出口で行う場合には、それらとのバランスを考えると親和性が高いものと考えられた。

以上より、タスク用床吹出口の気流特性について、旋回が強い流れの方がドラフト軽減に有効であり、またフェースのみで旋回流を発生させることで省エネルギーの観点から有効であることとの知見を得た。

3. 低温送風仕様アンビエント吹出口に関する温熱環境検証

3.1 低温送風仕様アンビエント吹出口

冷房時における床吹出空調は、天井吹出に比べて一般に吹出温度を高めを設定することが推奨されているが⁵⁾、搬送動力の削減や潜熱負荷処理の効率化のため、低温送風対応のニーズもある。ここでは、アンビエント空調用吹出口の低温送風仕様と従来仕様の温熱環境の比較実験について示す。

表 4 に実験に使用した吹出口を示す。タスク用については、前章の実験結果を踏まえ、フェースのみで旋回流を発生させる仕様にて製品化されたものである。アンビエント空調用の低温送風仕様の吹出口は、少量でも吹出空気の高さ方向の到達距離を維持する形状であり、床面付近の冷気だまりを解消するものである。

表 4 吹出口

種類	タスク	アンビエント 低温送風型	アンビエント 従来型
品名	SKF-130 (空研工業 (株))	SKF-220LTD (空研工業 (株))	SKF-220SL (空研工業 (株))
写真			

3.2 実験概要

図 4 に実験概要図を示す。実験は戸田建設(株)筑波技術研究所内の、オフィスを想定した室内環境比較実験室において実施した¹⁾。床面積は57.3m²で 8 人の執務者がいる状況を想定し、座席を設置した。

OA フロアは高さ200mm で、パネルは大きさ500mm×500mm のスチール製で、床仕上げはタイルカーペットである。コンセントなどの取出口に部分にタスク用吹出口を設置した。

実験室は中央の間仕切り壁で 2 つに分けられ、2 室にそれぞれの空調機械室を有する。空調機械室から所定の吹出風量・給気温度の空気を床下チャンバーに送り込み、吹出口を介して室内へ吹出す。吸込口は天井面の照明器具のスリットである。

各座席後方 (t1～t8) に前述のタスク用吹出口を、4 か所 (a1～a4) にアンビエント用吹出口を配置した。吹出風量については、アンビエント吹出風量の条件を合わせるため、アンビエント吹出口 1 か所あたり 100m³/h に調整した。

表 5 に測定項目を示す。アンビエント域 A1・A2・A3・A4・A7 とタスク域 T2・T3 において高さ方向 6 点 (FL+100mm, 600mm, 1,100mm, 1,700mm, 2,200mm, 2,700mm) の温度を測定した。ただし、アンビエント A4 は梁下にあるため FL+2,700mm の測定点は省略した。また、室内の A1・A4・A5・A6・A7・T1・T2・T3・T4 の高さ FL+1,100mm およびアンビエント吹出口 a1・a3

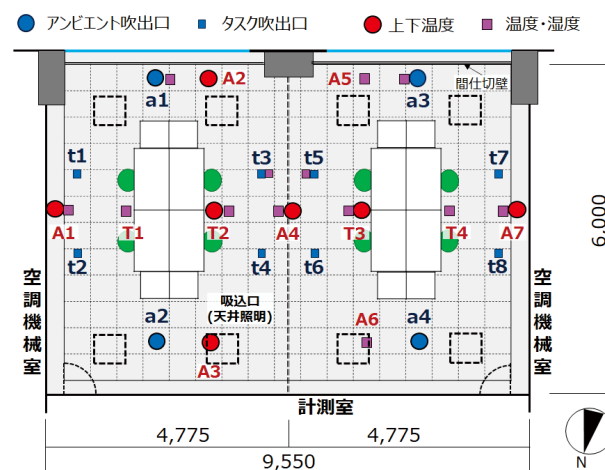


図 4 測定概要図

表 5 測定項目

測定項目	測定箇所数	測定器・センサー
上下温度	上下方向 6 点 (FL+100, 600, 1100, 1700, 2200, 2700mm) × 7 箇所 (A1, A2, A3, A4, A7, T2, T3)	T 型熱電対
温度	室内 FL+1,100mm × 9 (A1, A4, A5, A6, A7, T1, T2, T3, T4), 吹出口 × 4 (a1, a3, t3, t5)	小型温湿度記録計 (T&D TR-72Ui, TR-74Ui)
吹出風量	吹出口 × 12 (a1～a4, t1～t8)	風量計 (SFW-125, コーナー札幌)
吹出風速	上下方向 × 15 (FL+100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1500, 1700, 2200mm)	風速計無指向性プローブ (6543-01, カノマックス)
吹出温度		T 型熱電対

とタスク吹出口 t3・t5において、温度を測定した。測定開始後の温度が定常状態のときには、吹出口直上の上下方向15点において、温度と風速を測定した。

実験ケースは吹出温度設定が13℃、15℃、18℃の3ケースとしそれぞれアンビエント空調用吹出口を低温送風仕様と従来仕様の2種類を比較した。

本実験は冬期から春期にかけて実施したため、実験開始前に電気ヒーターで加熱して夏期の熱負荷を模擬した。さらに人体分(60W/人×8人=480W(電気毛布使用))の内部発熱を加え、室内を28℃に達してから床吹出空調による冷房を開始した。

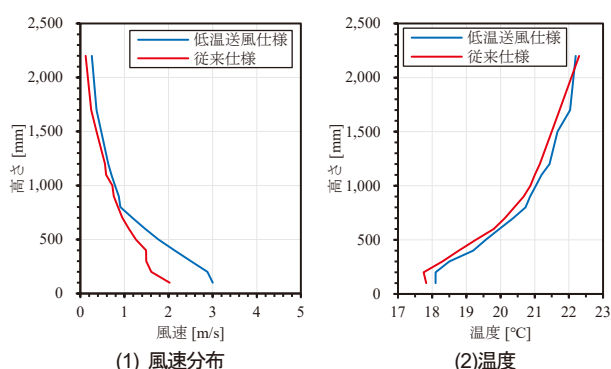


図5 吹出口直上平均鉛直分布 (15℃吹出設定)

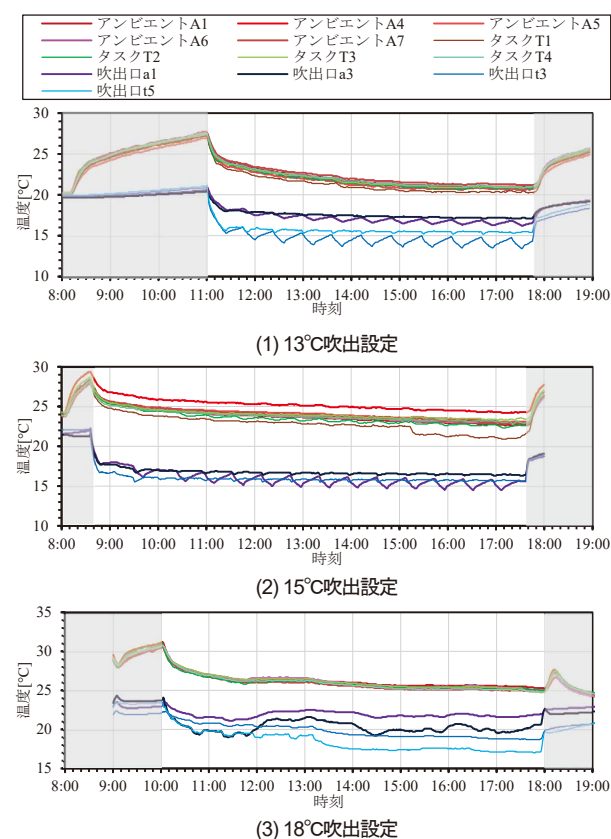


図6 温度時間変化

3.3 実験結果

(1) 吹出口直上の温度分布

図5に吹出口直上の風速と温度の平均の鉛直分布を示す。アンビエント吹出口4か所(a1～a4)における測定値を高さごとに平均したものである。風速分布は、低い位置で低温送風仕様が従来仕様より大きく、低温空気を高い位置まで送る特徴を確認できた。

(2) 室温変化状況

図6に、室内FL+1,100mmおよび吹出口における温度の時間変化を示す。設定吹出温度ごとに低温送風仕様と従来型の室温は同等であり、定常状態における設定吹出温度13℃・15℃・18℃に対し、それぞれ21℃・23℃・25℃程度であった。一部の測定点で誤差や吹出温度の変動があるものの、低温送風仕様と従来仕様では室温分布の大きな差がなかった。

低温で吹き出して長時間経過すると、全体的に室温が下がりすぎるが、実際の運用時には、吹出温度や風量の制御で対応可能な範囲である。

(3) 上下温度分布

図7に、アンビエント域A2, A4, タスク域T3における基準化上下温度分布を示す^{注2), 注3)}。

吹出13℃設定の場合、いずれの測定点・吹出口の仕様でもFL+100mmではISO推奨値を下回った。しかし、

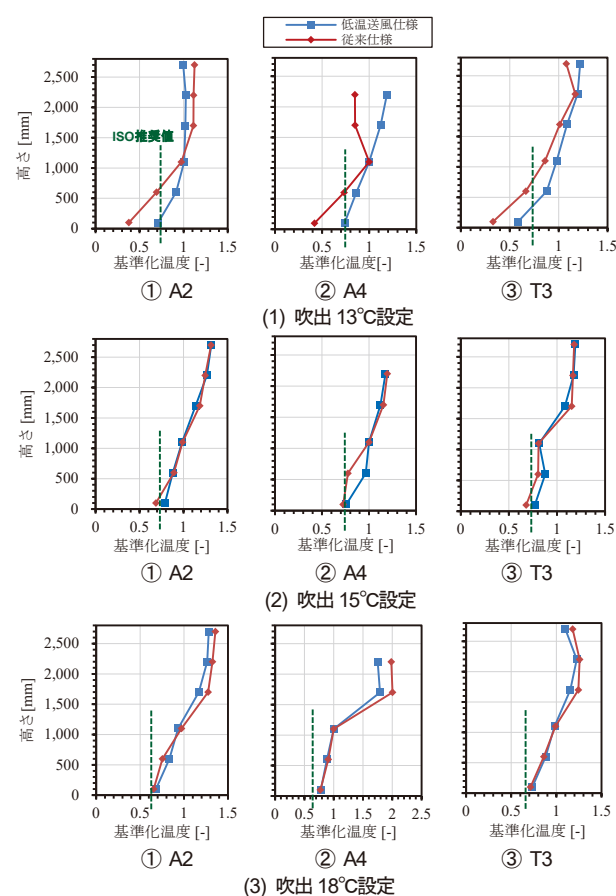


図7 基準化上下温度分布

床から FL+1,100mm までの高さでは低温送風仕様の温度勾配が小さい。従来仕様は旋回性が強く吹出空気を拡散させ、低温送風仕様は旋回を弱くすることで到達高さを確保して上下温度差の解消を図っており、その傾向が見られた。

吹出15℃設定の場合では、低温送風仕様では FL+100mm で ISO 推奨値を上回った。また、A2, A3, T3では、足元 FL+100mm もしくは腰の高さ FL+600mm において、低温送風仕様の温度が高く、温熱環境的な優位性が示された。A1はアンビエント吹出の影響が小さい範囲であるため、低温送風仕様と従来仕様の温度勾配は変わらず、温度の大小関係は他の測定点と逆転した。

一方、吹出18℃設定の場合は、いずれの測定点でもほぼ同等の基準化温度鉛直分布であった。低温送風仕様吹出口の効果があるのは18℃より低温度吹き出した場合と考えられる。

以上より、低温送風仕様の吹出口を用いることで、低温吹出時に従来仕様の吹出口に比べて足元付近の温度が低くならず良好な温熱環境を形成できることが示唆された。

4. TODA BUILDING の一フロアを対象とした温熱環境予測

4.1 解析概要

(1) 計画概要

TODA BUILDING においては11階および12階に床吹出方式によるタスク & アンビエント空調が採用される。ここでは、11階を対象に、夏期冷房時を対象に、設計風量に対するタスク & アンビエント空調を実施した場合の室内温熱環境を予測するため3次元温熱気流解析を行った。

対象としたレイアウトは2023年3月9日時点のものである。空調については、コア部に配置された機械室から天井を介して執務エリア通ったダクトが OA 床下空間までたち下がり、そこで床下チャンバーへ吹出すものである。6つのゾーンごとに床下には仕切りがあり、また、床下空間における流れの均一化を図るため、ガイドベーンが設置されている。

(2) 解析条件

図8に解析モデルを、表6に解析条件を示す。解析対象範囲は、一つの空間としてつながっている執務エリア、エレベーターホールおよび廊下とし、床面の吹出口を介した OA 床下空間も含めた55.4m (x) × 59.8m (y) × 4.7m (z) とした。また、執務エリアエコボイドや会議室は解析対象外とした。

解析格子数が約3,900万となる計算負荷の高いものとなることから、解析は高速計算プラットフォーム「AXXEL-L by XTREME-D」を使用し、8並列にて実施した。

外気温度は34.8℃を想定し、室内温度を26℃、空調吹出温度を18℃と設定した。各エリアの風量を表6中に記載の数値を与えた。本検討ではタスクおよびアンビエントの吹出口は単純開口とし、吹出口ごとに想定風量（タ

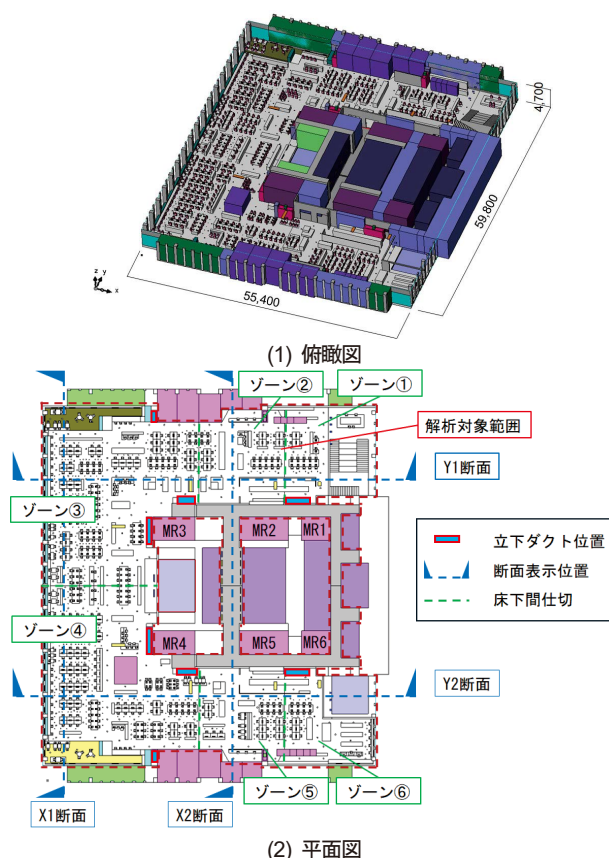


図8 解析モデル

表6 解析条件

項目	条件
解析プログラム	CradleCFD STREAM V2022 (MSC ソフトウェア)
解析プラットフォーム	高速計算プラットフォームサービス AXXEL-L (XTREME-D)
並列数	8 並列
解析範囲	55.4m (x) × 59.8m (y) × 4.7m (z)
解析格子数	750 (x) × 886 (y) × 59 (z) = 39,205,500
温度条件	外気温度: 34.8℃, 室内温度: 26℃, 吹出温度: 18℃, 上階: 20℃ (上階の床下空調空気), 下階: 28℃
風量条件	立下げダクト
	ゾーン①: 2,350m³/h
	ゾーン②⑤: 4,880m³/h
	ゾーン③: 3,870m³/h, 4,600m³/h, 8,000m³/h
	ゾーン④: 3,400m³/h, 4,570m³/h, 8,000m³/h
	ゾーン⑥: 4,905m³/h
	EV ホール BL
	127.5m³/h × 8
	エコボイド BL
	260m³/h × 2
	階段吹出ノズル
MR 換気 ※差分は廊下・WC へ排気	270m³/h × 1, 520m³/h × 4, 1,080m³/h × 4
	ゾーン①: 4,740m³/h
	ゾーン②⑤: 4,880m³/h
	ゾーン③: 15,080m³/h
	ゾーン④: 14,580m³/h
	ゾーン⑥: 7,025m³/h
内部負荷	人体発熱
	60W/人 (在室者数459人想定)
	機器発熱
	40W/m²
	照明発熱
	10W/m²

スク40m³/h, アンビエント100m³/h 程度) が通過するよう開口面積を調整した。なお、すべての吹出口が開いている状況を想定した。

熱負荷条件については、外皮負荷は窓ガラス、外壁を通過する熱量から表面温度を算出して与えた。内部負荷は人体・機器・照明について室空間全体に与えた。その他、床スラブと OA フロアについては材質の厚さ、熱伝導率、比熱といった熱物性値を与え、上下階および床上・床下間の熱伝導を考慮した。

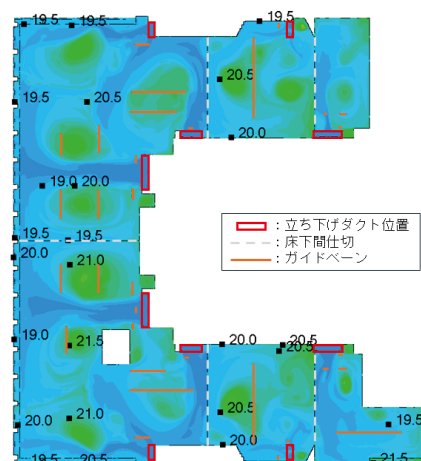
4.2 解析結果

(1) 平面温度分布

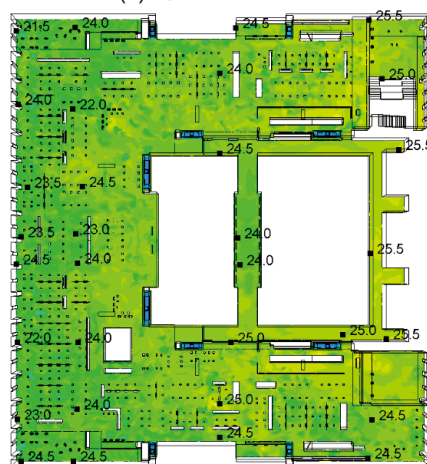
図9に OA 床下 FL-150mm および室内 FL+1,100mm における温度平面温度分布を示す。吹出温度18℃に対して、FL-150mm の空気温度はどのゾーンも19.5～21.5℃であった。ガイドベーンにより吹出空気が滞留した箇所には、下階と OA パネルを伝熱して温度が上昇した。室内 FL+1,100mm の空気温度は22～25℃であり設定温度の26℃よりも低めになっていたが、床下の温度が高いスパンの中央部では室内温度も高めになった。温度分布は低めの温度であるが、オフィスフロアを対象とした設定風量に対して、設定温度以下に空調可能であることを確認できた。

(2) 断面分布

図10に X 方向 Y 方向の断面温度分布を示す（表示位置は図8(2)中に示す）。床下空間が前項の通り19.5～21.5℃であったのに対して、タスク域高さ FL+0～1,500mm 範囲では23～25℃に分布していた。室温としては平均的に26℃程度にはなるが、明確な上下温度差がついた。タスク域の温度については運用時の制御で対応可能である。



(1) 床下 FL-150 mm



(2) 室内 FL+1,100 mm

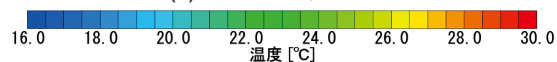
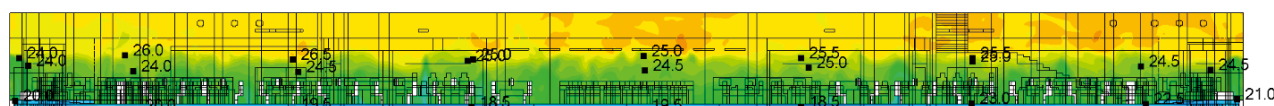
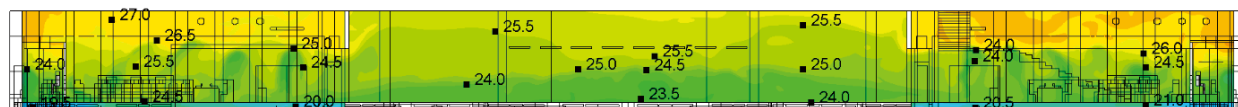


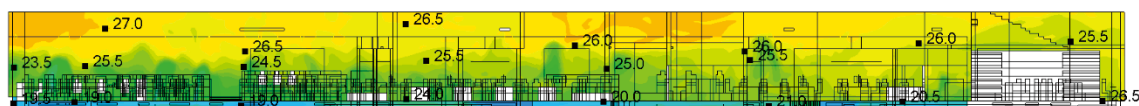
図9 温度平面分布



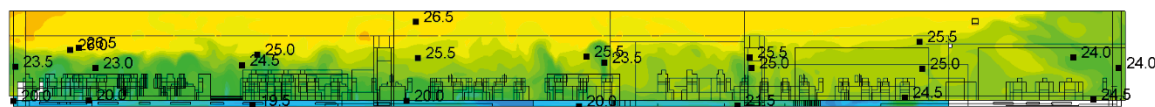
(1) X1 断面



(2) X2 断面



(3) Y1 断面



(4) Y2 断面

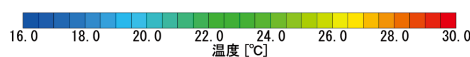


図10 温度断面分布

TODA BUILDING を対象とした温熱気流解析については、今後は現状のレイアウトに合わせ、冬季暖房立上り時の温度変化の非定常解析、床吹出方式と天井吹出方式の温熱環境比較、5層にわたるエコボイドの熱移動、自然換気時の温度分布、埃の飛散など様々な現象の予測を行い、室内環境に関する課題抽出を行う予定である。

5. おわりに

TODA BUILDING に採用される床吹出方式によるタスク & アンビエント空調について、タスク空調用吹出口の開発、低温送風仕様アンビエント空調用吹出口を用いた床吹出空調時の温熱環境測定、TODA BUILDING の一フロアを対象とした冷房時温熱環境予測についてまとめた。

- 1) タスク用床吹出口の気流特性について、旋回が強い流れの方がドラフト軽減に有効であり、またフェースのみで旋回流を発生させることで省エネルギーの観点から有効である。
- 2) 低温送風仕様の吹出口を用いることで、低温吹出時に従来仕様の吹出口に比べて足元付近の温度が低くならず良好な温熱環境を形成できる。
- 3) TODA BUILDING の一フロアを対象とした温熱気流解析から、風量や温度設定によるが、タスク域が効率よく空調できる様子を確認できた。

TODA BUILDING での運用時においては、執務者の好みに応じた風量を各自のスマートフォンにて調整できる計画である。操作による執務者の温熱環境の満足度を含めた、空調時における室内環境検証を実施する予定である。

謝辞

タスク用床吹出口の開発にあたっては、吹出口試作や基本特性測定などにおいて、空調技研工業(株)中島氏、空研工業(株)大成氏(当時)、宮崎氏にご助言、ご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

注釈

注1) 予測不快者率 PD [%]

$$PD = 3.143 \cdot (34 - T_a) \cdot (V - 0.05)^{0.6223} + 0.3696 \cdot V \cdot Tu \cdot (V - 0.05)^{0.6223}$$

T_a : 空気温度 [°C] (適用範囲 $20 \leq T_a \leq 26$)

V : 平均風速 [m/s] (適用範囲 $0.05 \leq V \leq 0.40$)

Tu : 乱流強度 [%] (適用範囲 $0 \leq Tu \leq 70$)

注2) 基準化温度 T' [°C]

$$T' = (T - T_0) / (T_{ref} - T_0)$$

T_0 : 吹出温度 [°C], T_{ref} : 参照点(室中央(A4) FL+1,100mm)の温度 [°C]

図7に示す値は、定常状態の10分平均である。

注3) 温熱的快適性において ISO-7730⁶⁾では頭部と足元の温度差は3°C以下を推奨している。頭部の高さ FL+1,100mm の温度を26°Cとした場合、足元の高さ FL+100mm の基準温度推奨値は、吹出13°Cに対して0.769、吹出15°Cに対し

て0.727、吹出18°Cに対して0.625以上であれば良い。図7中には破線でこれらの値を示す。

参考文献

- 1) 伊藤他：タスク域空調を目的とした床吹出口の開発と気流性状の測定(その2) 旋回強度と圧力損失に着目した改良、戸田建設技術研究報告、第39号、pp.3-1_3-7, 2013
- 2) 村江他：タスク域空調を目的とした床吹出口の開発と気流性状の測定 旋回流型床吹出口の概要およびPIVを用いた可視化による旋回流効果測定、戸田建設技術研究報告、第40号、pp.1-1_1-5, 2014
- 3) 伊藤他：低温送風による床吹出口空調に関する研究(その1) 低温送風型と従来型の吹出口の室内温熱環境の比較検証、戸田建設技術研究報告、第46号、2020
- 4) 半澤：室内気流の乱流強度とドラフト、空気調和・衛生工学会学術論文集、pp.529-532, 1987
- 5) (社) 建築設備総合協会編、平山：床吹出し空調 Q&A 104の質問、理工図書、2006.12
- 6) ISO-7730, 1994.12