

机上にヒーターを設置した熱気流システムの 換気効果に関する解析検討

CFD Study on the Ventilation Effect of the Heated Air Flow System Installed on the Desk

R&D センター	酒井 英二 EIZI SAKAI
R&D センター	小島 千里 CHISATO KOJIMA
設備部	紺野 康彦 YASUHIKO KONNO
設備設計部	菺田 裕士 HIROSHI KOMODA
カーボンニュートラル推進部	池原 基博 MOTOHIRO IKEHARA

新型コロナウイルス感染症対策として、咳やくしゃみなどの飛沫防止効果を目的にパーティション (PT) の机上設置が広く行われてきた。しかし、PT の設置は室内換気に悪影響を与えると考えられる。そこで、室内換気への悪影響を改善することを目的に、熱気流システムを開発した。熱気流システムは、机上部にヒーターを設置し、熱気流による上昇気流の誘引効果によって、室内換気の向上を図ったものである。本報では、開発した熱気流システムによる換気効果を、気流解析を用いて確認した。その結果、机上で汚染質を発生させた場合、PT 単独では室内濃度と机上濃度の両方が高くなるが、ヒーターを設置することでどちらの濃度も低くなり、換気効率が向上することが分かった。

キーワード：新型コロナウイルス、換気効率、ヒーター、パーティション

The partitions (PT) are normally used to prevent the droplet transmission of COVID-19 indoors. However, these PT are considered to have a negative impact on indoor ventilation. To mitigate this issue, the heated air flow system has been developed using line heaters to induce an upward air flow. This system is designed to improve indoor ventilation by means of a heater installed on the desk and the effect of the heated air flow inducing an upward airflow. In this paper, the ventilation efficiency of the developed heated air flow system was confirmed using Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis. As a result, when contaminants were generated on a desktop, both the indoor concentration and the desk concentration increased with PT alone, but it was found that when heaters installed both concentrations were decreased and improved ventilation efficiency.

Key Words: COVID-19, Ventilation efficiency, Heater, Partition

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症対策のひとつとして、人の会話や咳やくしゃみなどの飛沫防止効果を目的にパーティション (以下、パーティションまたは PT) の机上設置が広く行われてきた。しかし、パーティションの設置は室内換気に悪影響を与えると考えられる。

今回開発した熱気流システムは、パーティションの抱える問題解決を目指して開発してきたものである。本報では、気流解析 (以下、CFD) による熱気流システムの換気効果に関して報告する。

2. 熱気流システムの仕組み

熱気流システムは、従来のパーティションの設置位置にヒーター (以下、ヒーターまたは H) などの発熱体を設置し、その近傍の空気を加熱することにより生じる上昇気流を利用して汚染質の排出を促進する仕組みである。

熱気流システムには、ヒーターをパーティションの下端に設置する方式とパーティションを設置せずにヒーターのみを机上に設置する方式がある。写真-1 は、アクリル製のパーティションの下端両側に保護管に入れたヒーターを設置した試作品である。

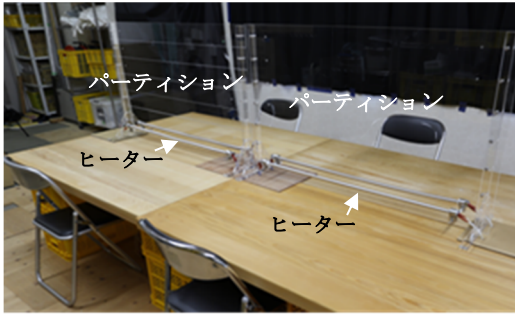


写真-1 ヒーターを設置したパーティション

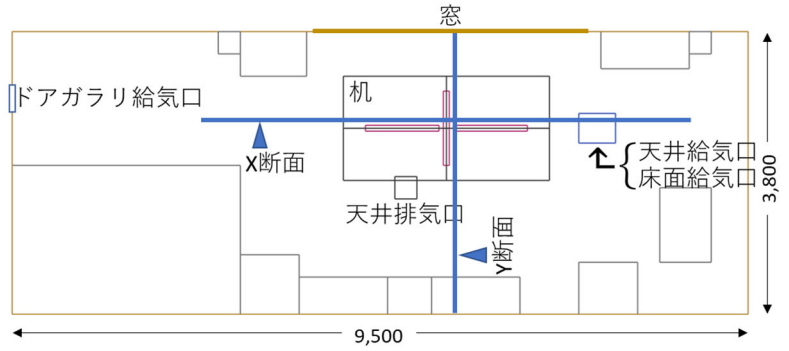
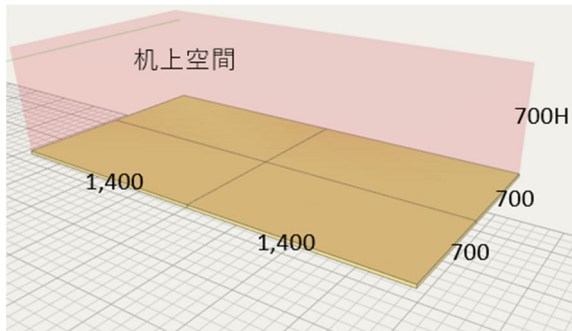
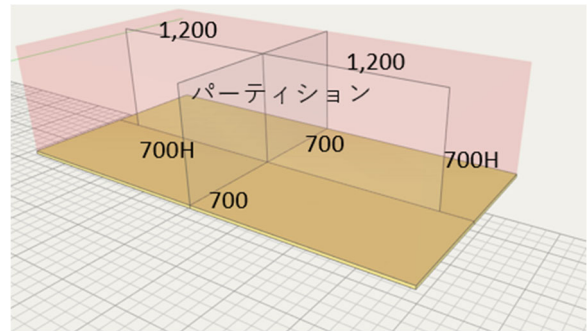


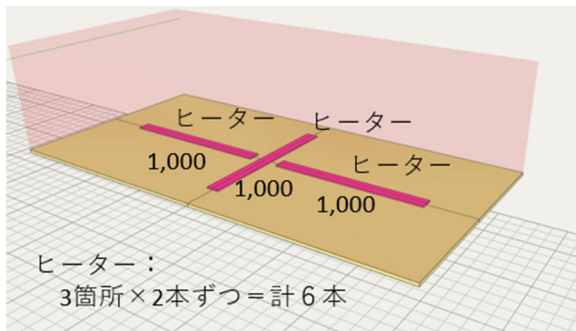
図-1 CFD解析モデルの平面図 (単位: mm)



(1) PT 無 H 無

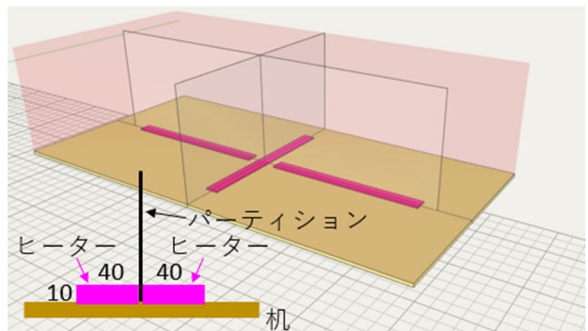


(2) PT 有 H 無



ヒーター：
3箇所×2本ずつ=計6本

(3) PT 無 H 有

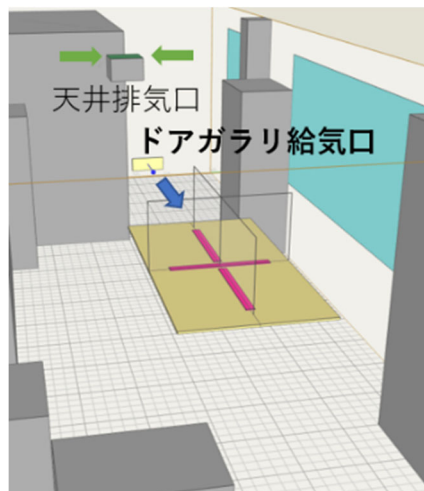


(4) PT 有 H 有

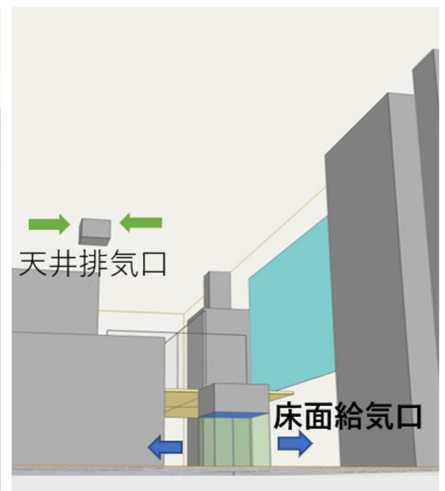
図-2 机上のパーティションおよびヒーターの設定 (単位: mm)



(1) 天井給気



(2) ドアガラリ給気



(3) 床面給気

図-3 給気口および排気口の位置 (給気: 青矢印, 排気: 緑矢印)

3. CFDによる解析モデル

気流解析はFlowDesigner2022で行った。
 図-1にCFD解析モデルの平面図を示す。
 CFD解析モデルは、今後、気流可視化実験
 を予定している実際の部屋をモデル化し
 た。以後、モデル化した空間を室内空間と
 呼ぶ。

机上のパーティションおよびヒーターの
 設定は、図-2(1)～(4)に示すように
 「PT無H無」を基本として、「PT有H無」
 と「PT無H有」、「PT有H有」の4パター
 ンである。なお、ヒーターは、図-2(4)
 の図中左下に示すように机面に設置したモ
 デルとし、パーティションを挟むように長さ
 1mの物を2本ずつ、3箇所、計6本配置
 した。

また、本報では、室内の給排気による気
 流の影響を強く受けると考え^{1),2)}、天井か
 らの給気(以下、天井給気)とドアガラリ
 からの給気(以下、ドアガラリ給気)と置
 換換気の効果期待した床面からの給気
 (以下、床面給気)の3箇所の給気位置を
 設定し、それぞれの給気位置について検討
 を行った。ただし、排気位置は室内中央の
 天井面1箇所とした。図-3(1)～(3)に
 室内空間に設置したそれぞれの給気口と排
 気口の位置を示す。なお、室内は、エ
 アコン運転なし、窓面を30℃、給気温
 度を28℃とした。そのため、室温より
 やや低い温度での給気となり、床面給
 気時の置換換気効果が期待できる。

汚染質の設定は、ウイルスの空中浮遊を
 前提として、重力沈降なしの粒子とした。
 汚染質の発生方法によって、検討結果
 への影響が考えられるが、本報では、
 机上の高さ700mmの空間(以下、机上
 空間)全体から初期風速なしで定常的に
 発生させた。これは、咳やくしゃみなど
 の高速で断続的に場が乱れる状況以外
 の呼気による汚染質が、机上空間に滞
 留している状況を想定している。一般
 的な換気効率、室内で均等に汚染質が
 発生した状況を想定しているが、本報
 では発生箇所を限定して検討を行った。
 表-1にCFDの計算条件を示す。

4. 評価方法

定常計算において、外部からの汚染質
 の流入が無い状態で、汚染質の発生量
 をM、給気量をQとする場合、

表-1 CFD計算条件

計算領域	9.5m(x)×3.8m(y)×2.7m(z)
メッシュ数	206(x)×80(y)×54(z)=889,920
乱流モデル	高レイノルズ数型 RNG k-ε モデル
定常判定	汚染質流入量差/汚染質流出量 <0.003 流入発生熱量差/流出熱量 <0.0025
評価方法	室内空間(空気のみ)机上空間(汚染物質発生と同領域)で平均値を算出
机・PT・ヒーター	
机	1.4m(x)×0.7m(y)×0.63m(z)×4台=3.92㎡
PT	1.2m(x)×0.7m(y)×4枚=3.36㎡
ヒーター	1.0m(x)×0.04m(y)×0.01m(z)×6本
1本当たりの発熱量(W/本)	可変: 0.5, 1, 2.5, 5, 15
発熱量(W)	可変: 3, 6, 15, 30, 90
机上面積当たりの 発熱量(W/㎡)	可変: 0.77, 1.53, 3.82, 7.65, 22.96
床面積当たりの 発熱量(W/㎡)	可変: 0.08, 0.17, 0.42, 0.83, 2.49
給排気口高さ・給排気口面積	
ドアガラリ給気口	0.15m(z), 0.10m ²
天井給気口	2.70m(z), 0.20m ²
床面給気口	0.20m(z), 0.72m ²
天井排気口	2.6m(z), 0.09m ³ 天井下にチャンバーを設置し上側吸込み給気量と排気量は同量
給排気量・給気温度	
給気量(m ³ /h)	可変: 120, 210, 300, 420
換気回数(回/h)	可変: 1.64, 2.88, 4.11, 5.75
給気温度(℃)	28
室内発熱	
窓	表面温度固定: 6m ² , 30℃
汚染質	
空気と同密度、机上空間(机上高さ0.7m)で定常発生	
拡散係数(m ² /s)	0.0001
密度(kg/m ³)	1.18386
発生量(g/m ³ h)	1
総発生量(g/h)	2.744

排気濃度はM/Qとなるが、室内が完全混合状態であれば、室内の平均濃度もM/Qになる。M/Qは室平均汚染質濃度³⁾と呼ばれ、この濃度と室内空間の平均濃度(以下、室内濃度)および机上空間の平均濃度(以下、机上濃度)を比較検討することで、室内空間および机上空間の換気効率の変化を確認した。また、室平均汚染質濃度を基に求めた室内空間の濃度比(以下、室内濃度比)および机上空間の濃度比(以下、机上濃度比)を用いて検討を加えた。以下に濃度比の求め方を示す。

$$\text{室内濃度比} = \text{室内濃度} / \text{室平均汚染質濃度 (M/Q)}$$

$$\text{机上濃度比} = \text{机上濃度} / \text{室平均汚染質濃度 (M/Q)}$$

5. 検討結果

(1) 濃度・温度分布と速度状況

図-4(1)～(4)にオフィスの給排気として一般的な天井給気の(1)「PT無H無」、(2)「PT有H無」、(3)「PT無H有」および(4)「PT有H有」の濃度・温度分布および速度ベクトルを示す。ヒーターを設置しない(1)「PT無H無」と(2)「PT有H無」では、机上に

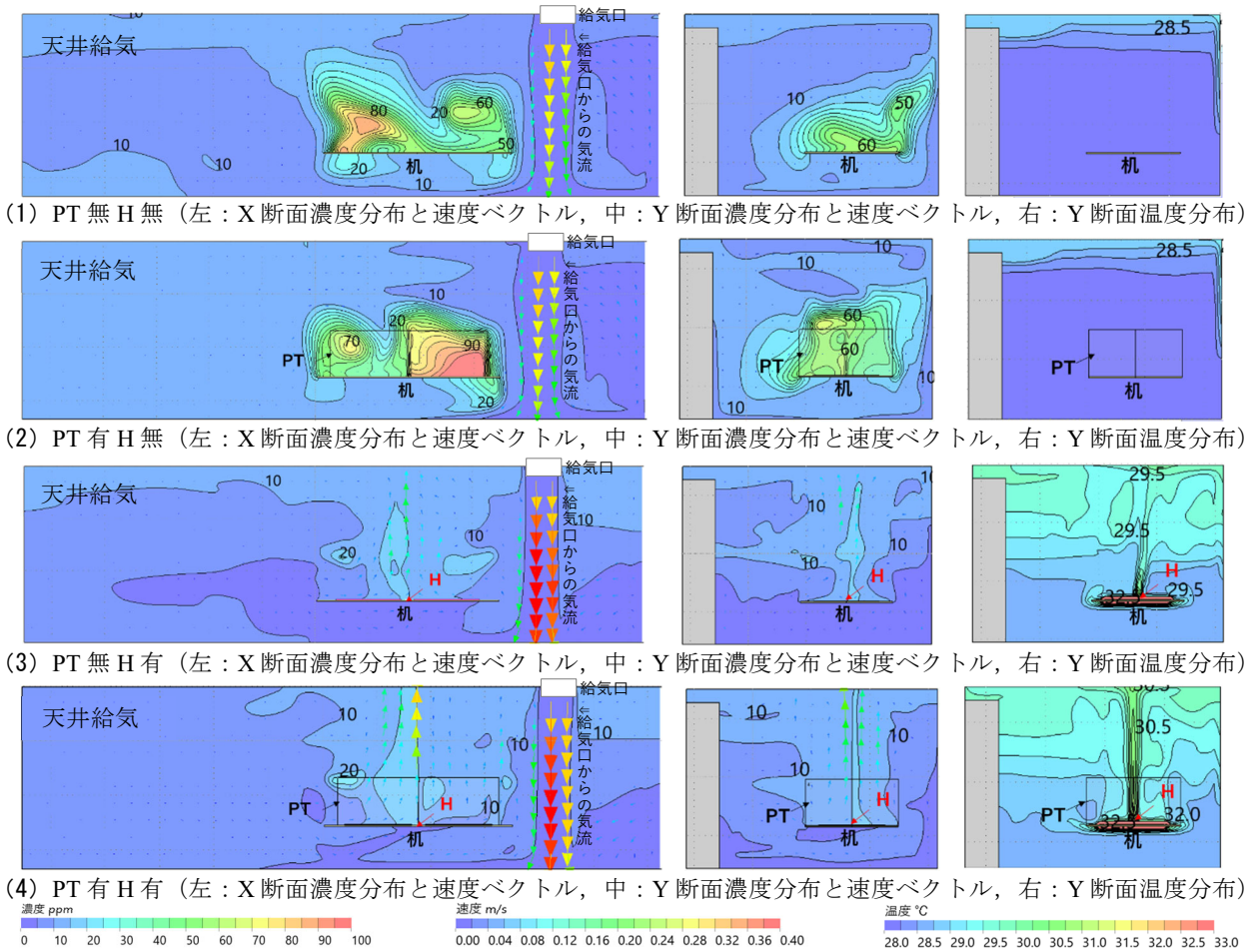


図-4 天井給気時の濃度・温度分布および速度ベクトル (断面位置は図-1 参照)

汚染質濃度の高い部分が残る。ヒーターを設置した (3) 「PT 無 H 有」と (4) 「PT 有 H 有」では、ヒーター上に上昇気流が発生し汚染質の排出が速やかに行われていることが分かる。

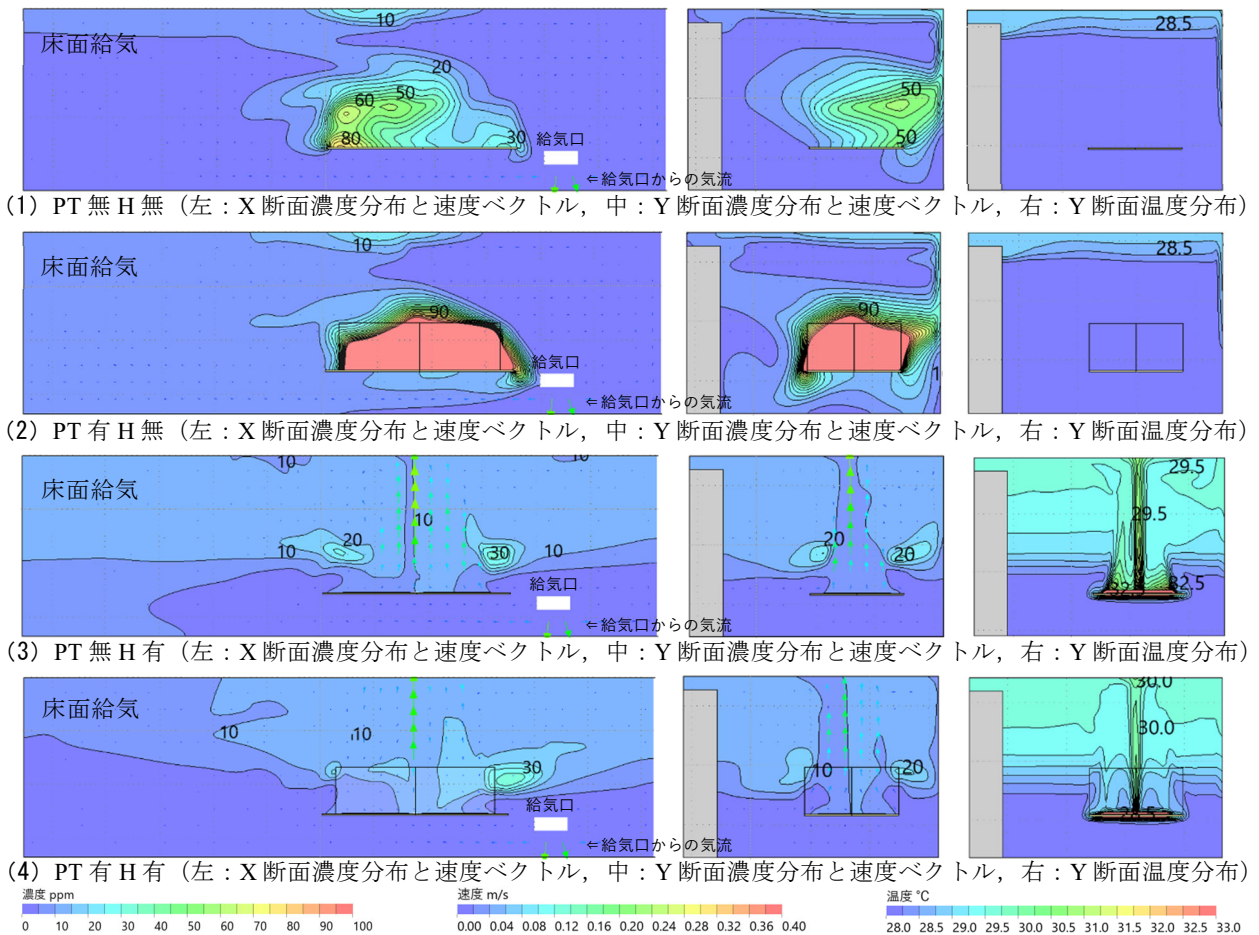
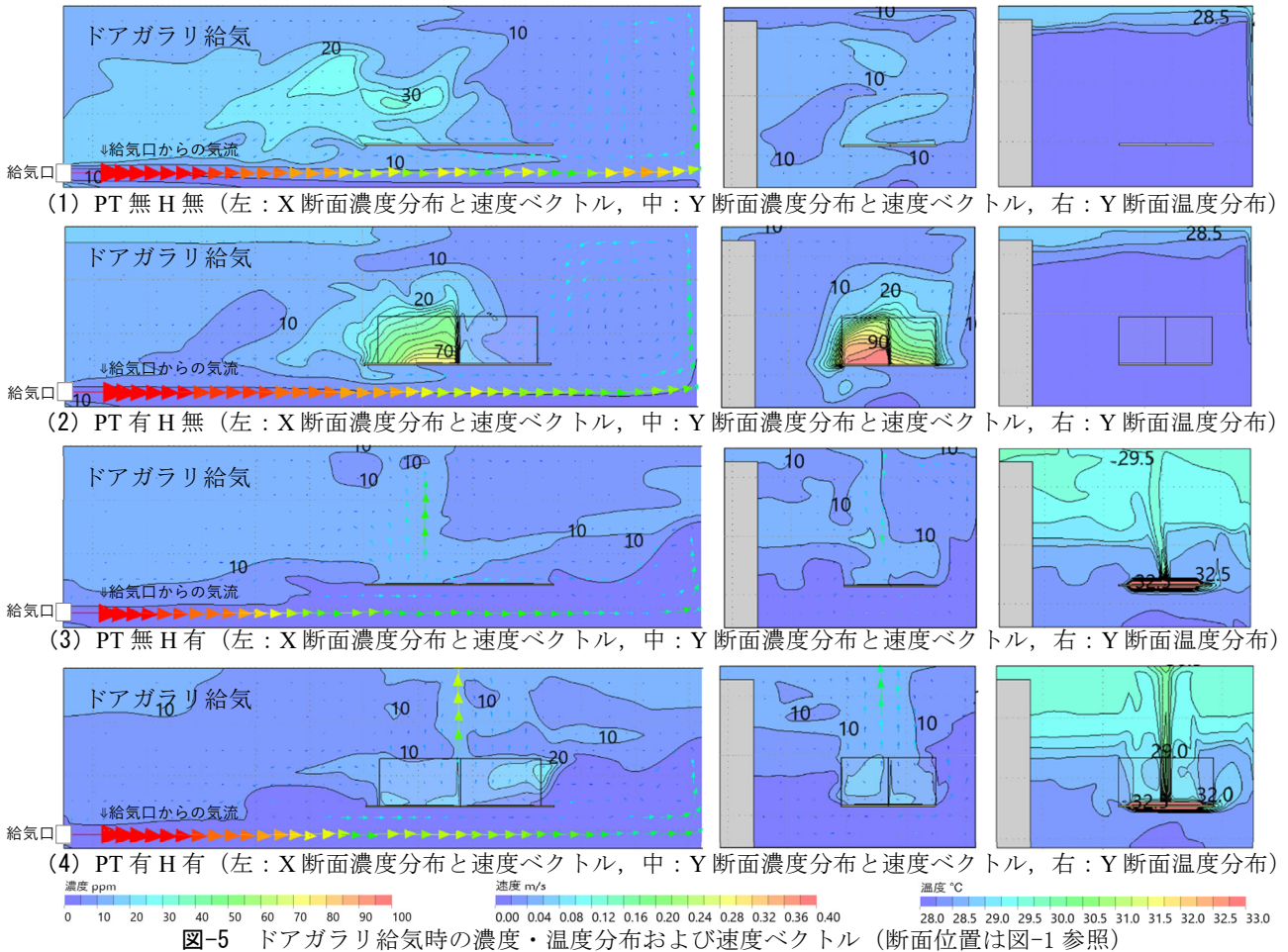
図-5 (1) ~ (4) にドアガラー給気の濃度・温度分布および速度ベクトルを示す。ヒーターを設置しない (2) 「PT 有 H 無」では、天井給気と同様机上に汚染質濃度の高い部分が残るが、同様にヒーターを設置しない (1) 「PT 無 H 無」では、汚染質濃度の高い部分が見当たらない。これは、(1) 「PT 無 H 無」の左図の X 断面の速度ベクトルから、左端のドアガラー給気口からの気流が右端の壁で反転し、机上の汚染質を排除したためと考えられ、室内の給排気位置に起因するものと考えられる。ヒーターを設置した (3) 「PT 無 H 有」と (4) 「PT 有 H 有」では、天井給気と同様ヒーター上に上昇気流が発生し汚染質の排出が速やかに行われていることが分かる。

図-6 (1) ~ (4) に床面給気の濃度・温度分布および速度ベクトルを示す。ヒーターを設置しない (1) 「PT 無 H 無」と (2) 「PT 有 H 無」では、天井給気およびドアガラー給気の (2) 「PT 有 H 無」と同様机上に汚染質濃度の高い部分が残る。ヒーターを設置した (3)

「PT 無 H 有」と (4) 「PT 有 H 有」では、他の給気位置と同様ヒーター上に上昇気流が発生し汚染質の排出が速やかに行われていることが分かる。さらに、(4) 「PT 有 H 有」の右図の Y 断面温度分布を見ると、他の給気位置では見られなかった、パーティション高さ付近まで温度成層が形成されているのが分かり、Y 断面濃度分布と速度ベクトルの図も併せて確認すると置換換気による効率的な汚染質除去が行われていると考えられる。

(2) 給気位置と室内換気量の影響

図-7 (1) ~ (4) に、(1) 「PT 無 H 無」、(2) 「PT 有 H 無」、(3) 「PT 無 H 有」および (4) 「PT 有 H 有」の換気回数と濃度の関係を示す。なお、横軸は対数軸とし、室内濃度は実線、机上濃度は破線で示す。黄線は M/Q である。計算条件の組合せを表-2 に示す。(1) 「PT 無 H 無」では、床面給気の室内濃度は、換気回数が少ない場合には M/Q より大幅に低くなるが、その他の給気方式では M/Q と大差はない。机上濃度は、ドアガラー給気で低くなるが、その他の給気方式では高くなる。一方、(2) 「PT 有 H 無」では、室内濃度は「PT 無 H 無」よりも高くなり、机上濃度も大幅に高くなる。(3) 「PT 無 H



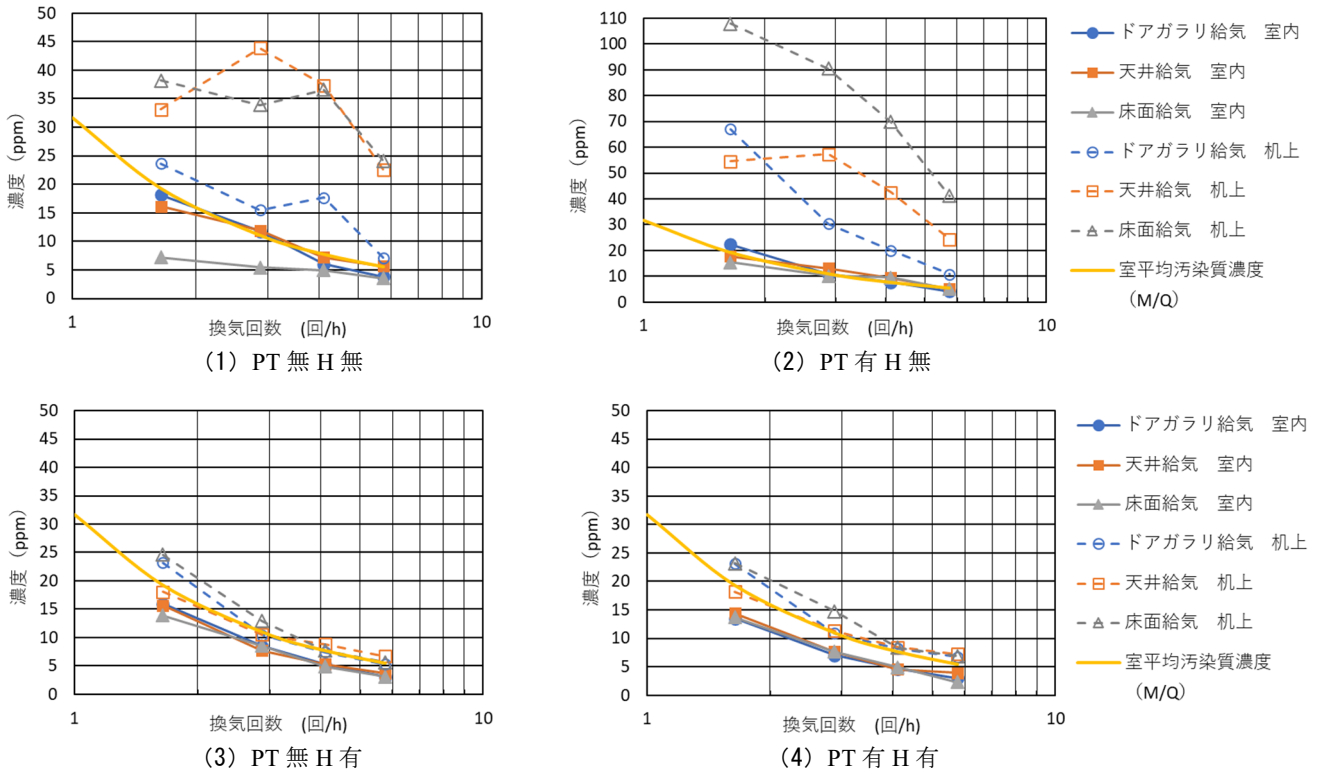


図-7 換気回数と室内および机上濃度

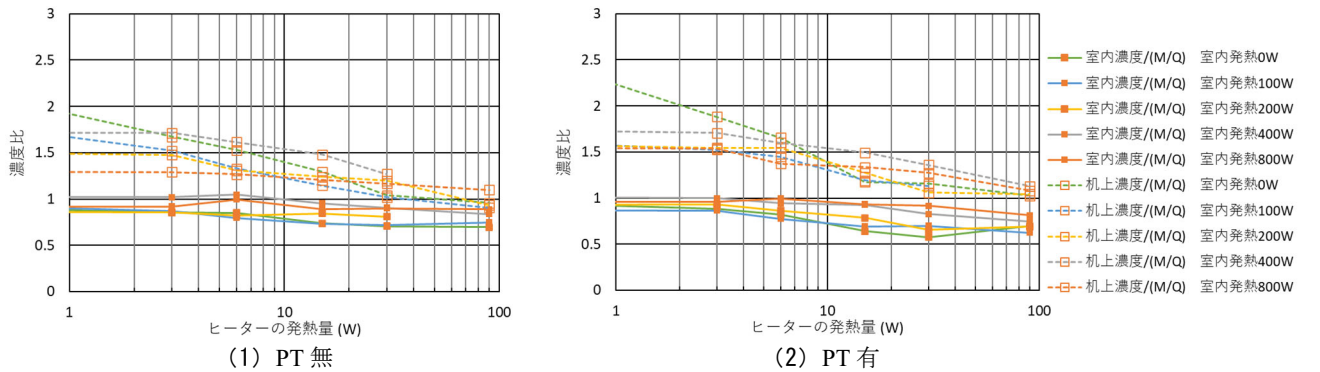


図-8 ヒーターの発熱量と室内および机上濃度比

有」では、室内濃度は M/Q を下回り、机上濃度も大幅に低下し M/Q 並みになる。(4)「PT 有 H 有」では、室内濃度は (3)「PT 無 H 有」より若干低下し、机上濃度は給気方式による違いがみられるが、(3)「PT 無 H 有」の場合とほぼ同様になる。以上より、ヒーターを設置することで、室内および机上の濃度低減、あるいは同等の濃度であれば室内換気回数の低減が図れるという結果が得られた。

(3) ヒーターの発熱量の影響

ヒーターの発熱量が室内および机上濃度に与える影響を検討するため、ヒーターの発熱量を変化させた。また、ヒーター以外の発熱の影響を、室内空間全体に発熱を与えることで検討した。表-2 に計算条件の組合せを

表-2 計算条件組合せ一覧

図-7~8の計算条件	パーティション	ヒーター 1本当たりの 発熱量 (W/本)	室内空間の 発熱量 (W)	給気位置	換気回数 (回/h)	組合せ数
図-7	有/無	0.0/15.0	-	ドアガラリ/天井/床面	1.64/2.88/ 4.11/5.75	48
図-8	有/無	0.0/0.5/1.0/ 2.5/5.0/15.0	0/100/200 /400/800	天井	2.88	60

表-3 ヒーターの発熱量と室内および机上濃度比の平均値

		ヒーターの発熱量 (W)					
		0	3	6	15	30	90
PT無	平均室内濃度比	1.01	0.90	0.90	0.83	0.81	0.78
	平均机上濃度比	2.30	1.54	1.41	1.29	1.14	1.00
PT有	平均室内濃度比	1.00	0.93	0.88	0.80	0.74	0.71
	平均机上濃度比	2.46	1.64	1.52	1.29	1.20	1.04

示す。

表-3 にヒーターの発熱量毎に室内および机上濃度比の平均値（以下、平均室内濃度比、平均机上濃度比）を示す。ヒーターの発熱量が 0W（ヒーターを設置しない）では、平均室内濃度比が 1.01 または 1.00、平均机上濃度比が 2.30 または 2.46 であり、室内濃度は室平均汚染質濃度と同等、机上濃度は室平均汚染質濃度より 2 倍以上高いことが分かる。また、ヒーターを発熱させると、発熱量増加に伴い平均濃度比は低下することが分かる。

図-8 に、パーティションの有無別にヒーターの発熱量と室内および机上濃度比の関係を示す。なお、横軸は対数軸とした。図よりヒーターの発熱量の対数と室内および机上の濃度比は反比例の関係にあることが分かり、発熱量の増加に対して、濃度の減少幅は急激に小さくなる。そのため、仮に 90W よりヒーターの発熱量を大きくしても濃度比の減少は小さいと考えられる。これはパーティションの有無、室内および机上の違いに関わらず、同様の傾向である。また、ヒーターの発熱量が小さい場合において、パーティションの有無に関わらず、机上濃度比は室内濃度比と比較して濃度比が大きい、机上濃度比の方が室内濃度比よりもヒーターの発熱量による低減効果が大きく、ヒーターの発熱量を大きくすると、机上と室内の濃度比の差は小さくなる。パーティションの有無でみると、(2)「PT 有」がヒーターの発熱量に対する机上濃度比の変化が大きく、PT を設置した場合のヒーター設置の有効性を示す結果となった。また、室内空間の発熱量が大きくなるとヒーターの発熱量の影響が小さくなる傾向がみられることから、最適なヒーターの発熱量の検討には室内の発熱源を考慮する必要がある。

6. まとめ

CFD による検討で、机上にパーティションを設置し

た場合や室内の給排気位置による気流の影響によっては、室内と机上の汚染質濃度の上昇が見られ換気効率の低下を招く場合がある結果が得られた。一方、ヒーターを机上に設置することにより、机上に上昇気流が発生し、パーティションの有無に関わらず、室内と机上の換気効率が大幅に向上する結果が得られた。また、最適なヒーターの発熱量設計に寄与するヒーターの発熱量と汚染質濃度の関係も得られた。

感染症対策としては、机上にパーティションを設置することで飛沫防止効果を直接的に求める場合と、そうではない場合のそれぞれにおいて、ユーザーが選択できることが望ましい。本技術すなわち換気効率を向上させる机上へのヒーター設置は、パーティション有無のどちらにおいても感染防止に貢献すると考えられる。本熱気流システムは、これらの要請に応える可能性を持っている。

今後、実験の結果等を報告する予定である。

参考文献

- 1) 鹿野奈々, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 田邊陽一: 置換換気原理に基づく感染症対策ブース型パーソナル空調に関する研究, 日本建築学会大会学術講演集, 環境工学 I, pp.1255-1258, 2021 年 9 月
- 2) 鹿野奈々, 山中俊夫, 崔ナレ, 小林知広, 田邊陽一: オフィスにおけるブース型置換換気を用いた感染症対策パーソナル空調に関する研究 (その 2) ブース形状と給気量が温度・CO₂ 濃度・咳飛沫核分布に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会大会学術講演集, 3 巻 C-18, pp.73-76, 2021 年
- 3) 空気調和・衛生工学会: 換気効率ハンドブックー理論と応用ー, pp.23-30, 2009 年 11 月