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 1）ブース形状と給気量が温度・人体発生汚染質分布に及ぼす影響

Booth Type Displacement Ventilation for Prevention from Infectious Diseases in Office
(Part1) Influence of Booth Shape and Supply Airflow Rate on Temperature and Human-originated Contaminants Distributions

○鹿野　奈々　（大阪大学）
崔　　ナレ　（大阪大学）
田邊　陽一　（大和ハウス工業（株））
廣畑　友隆　（大和ハウス工業（株））
山中　俊夫　（大阪大学）
小林　知広　（大阪大学）
広沢　建二　（大和ハウス工業（株））

Nana SHIKANO[*1] Toshio YAMANAKA[*1] Narae CHOI[*1] Tomohiro KOBAYASHI[*1]
Yoichi TANABE[*2] Kenji HIROSAWA[*2] Tomotaka HIROHATA[*2]
[*1]Osaka University [*2]Daiwa House Industry Co., Ltd.

As the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic continues spreading around the world, people are focusing on how society can coexist with the virus. In offices, various methods are being tried, such as installing partitions and wearing masks full-time. However, these methods may disturb supplying fresh air to the occupants, so we need a new way to supply fresh air individually. In this research, we propose the booth-type displacement ventilation system and examine its performance. This paper presents the experimental results, which investigated influence of booth shape and supply airflow rate on temperature and contaminants concentration distribution.

はじめに

新型コロナウイルスの流行の長期化から昨今では感染症対策として、感染症の収束だけでなく、感染症との共存が目指されている。特に長時間を執務空間内で過ごすことが想定される執務者については、マスクやパーティションを利用することで感染症との共存を目指した対策が講じられていることが多いと思われる。しかしこの方法では新鮮空気が執務者に供給されにくく、執務者の健康や快適性、知的生産性などへの悪影響が考えられる。そこで本研究ではブースごとに新鮮空気を供給する、ブース型置換換気を用いたパーソナル空調を提案し、その性能の把握を目的として実大実験および数値流体力学 (Computional Fluid Dynamics) を用いた解析を行う。本報では、給気量やブース形状をパラメータとして実大実験を行い、温度・汚染物濃度分布を比較した結果について報告する。なお、本実験では体臭や呼吸による飛沫核を汚染物の対象とする。

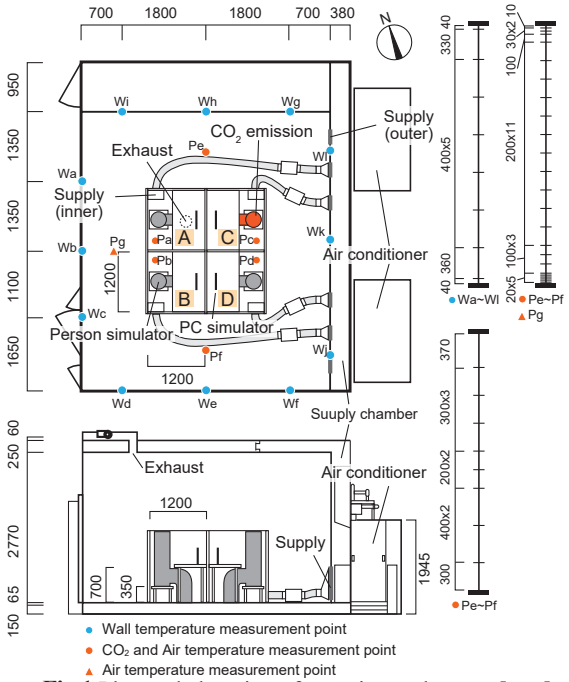

Fig.1 Plan and elevation of experimental set-up [mm]

1. 実験概要

1.1 実験方法

実験室の構成を **Fig. 1** に示す。本実験ではブースを設置したオフィスの一部を再現しており、ブース A ～ D には発熱源として模擬人体[1)] と模擬 PC を設置している。発熱量は模擬人体 1 体あたり 75 W、模擬 PC 1 台あたり 50 W[2)] である。また、ブース内にはスチレンフォームによって作成した机と椅子も設置した。給気は各ブース 1 か所ずつとブース外 2 か所の計 6 か所から行った。

Table 1 Experimental condition

Cases	Booth partition height H_B [mm]	Supply airflow rate in each booth Q_{SA}-*in* [m³/h]	Supply airflow rate in each outer Q_{SA}-*out* [m³/h]	PC
Case 1	1200	80	60	○
Case 1-NoPC				–
Case 2	1500	50	120	○
Case 3		80	60	○
Case 4		110	0	○
Case 5	1800	80	60	○

排気は天井面 1 か所から行った。また、ブース C 内の模擬人体の呼吸高さから汚染物として CO_2 をスポンジにより染み出すように発生させた。CO_2 の発生量は 2 L/min[3] である。

1. 2　実験条件

実験条件を **Table 1** に示す。実験はブース高さ H_B を 1200, 1500, 1800 mm、ブース一か所あたりの給気量 $Q_{SA\text{-}in}$（以降ブース内給気量とする）を 50, 80, 110 m^3/h とした計 5 条件について行った。給気量については室内の総給気量を 440 m^3/h に固定した上でブース内給気量を変更した。よってブース内給気量が 110 m^3/h の場合はブース外給気量は存在しない。また、本実験は冬期に実施したことから壁面付近の熱損失と下降気流の発生を防ぐために給気温度を 10 ℃とした。

1. 3　測定方法

実験では温度と CO_2 濃度を測定した。測定点を **Fig. 1** に示す。温度測定は壁面温度を Wa ～ Wl、空気温度を Pa ～ Pg について鉛直方向に測定した。CO_2 濃度は Pa ～ Pf について鉛直方向に測定した。温度・CO_2 濃度は実験中常に 1 分おきに測定を行っていた。温度測定には T 型熱電対を用い、CO_2 濃度測定には CO_2 おんどとり（T&D）を用いた。温度・汚染物濃度が定常になったのち、30 分間の値を平均し実験結果とする。また、給排気口における温度と CO_2 濃度についても測定を行った。温度測定には測定点と同様に熱電対を用い、CO_2 濃度測定には CO_2 濃度測定計 (GM70PUMP、ヴァイサラ株式会社) を用いた。

2.　実験結果

2. 1　温度の結果

Fig. 2 に Case 1 ～ Case 5 における鉛直温度分布の結果を示す。各グラフはブース内測定点 Pa ～ Pd (Inner)、ブース外測定点 Pe ～ Pg (Outer)、壁面測定点 Wa ～ Wl (Wall) についてそれぞれ平均したものを比較している。

Fig. 2 より 5 条件とも温度成層が形成されており、置換換気が可能な状態であるといえる。

Case 2, 3, 4 を比較すると、ブース高さが高いほどブース内部の温度が特にブース高さ付近で高くなっており、ブース内部と外部の温度差も大きくなっている。このことから、ブース高さが高いほどブース外空気による温度低下が少なくなったと考えられる。

Case 1, 3, 5 を比較すると、ブース内給気量が大きいほど Outer と Wall の温度が高く、ブース内とブース外の温度差が小さくなっていた。これは総給気量が等しいことから、ブース内給気量が大きいほどブース外給気量が小さくなったことが原因と考えられる。また、給気温度が等しいことから、床面付近の測定場所による温度差はほとんど見られなかったが、Case 5 ではブース外給気がなかったため、ブース外の床面付近温度差が高くなっている。

2. 2　ブース高さによる比較

ブース高さによる比較を行うために **Fig. 3** に Case 2 ～ Case 4 を比較した結果を示す。**Fig. 3 (a)** に温度分布の比較、**(b)** に測定点ごとの CO_2 濃度分布の比較を示す。**(a)** は **Fig. 2** で用いた平均値によってブース内、ブース外ごとに条件間の比較を行っている。

Fig. 3 (a) よりブース高さによる温度分布の大きな違いは見られなかった。これは Case 2 ～ 4 において、置換換気に影響を与える発熱条件と給気条件が等しかったためである。

Fig. 3 (b) よりブース高さが高いほど汚染源以外のブース内測定点 Pa, Pb, Pd において汚染物濃度が低かった。よってブースが高いほど、汚染源からの汚染物の拡散が抑制され、より効率的に汚染物が排出されたと考えられる。さらに、Case 2 において Pa, Pb, Pd の結果を比較すると Pb, Pd に比べ Pa の濃度が低くなっている。これは汚染源と Pa の間に模擬 PC が設置されていたことから、PC 発熱による上昇気流が汚染物の拡散を防いだと考えられる。また、排気口が Pa の上部付近に設置されていたことも一因と考えられる。しかし、この傾向は Case 3, 4 では見られなかった。これはブースが高くなるとブースの影響が高まる代わりに、PC 発熱による影響が弱まる事が考えられる。また、Case 3, 4 の結果は類似しており、ブース高さがある程度高くなると、汚染物の拡散を抑制する効果の差は小さくなると考えられる。

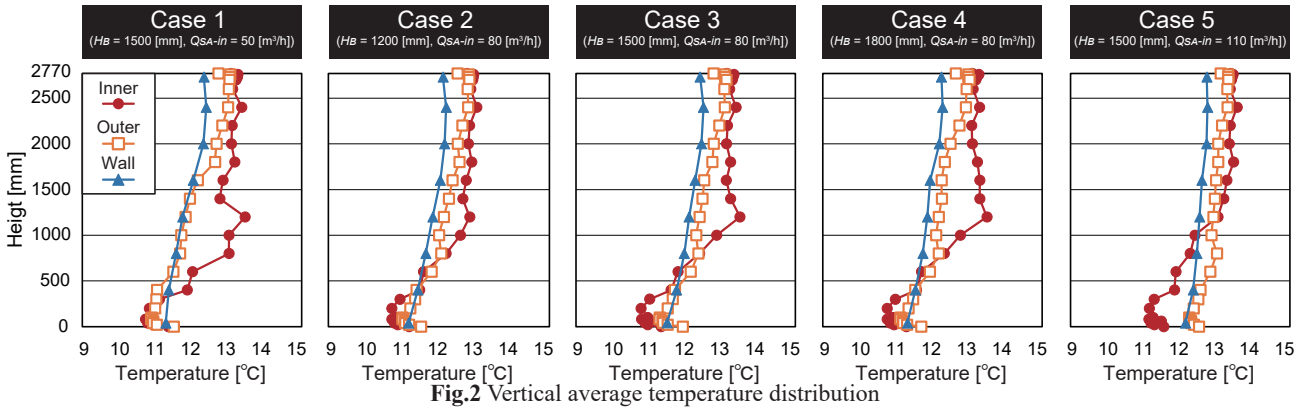

Fig.2 Vertical average temperature distribution

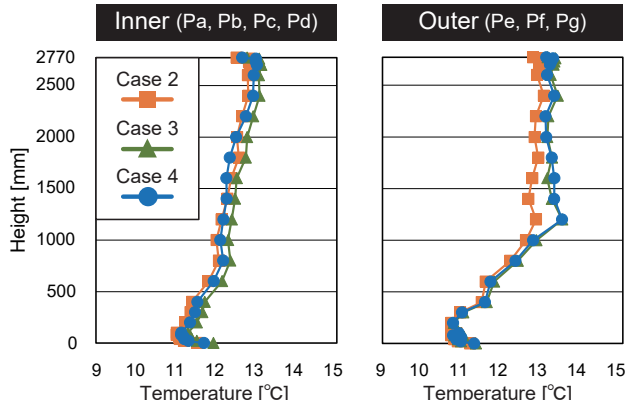

Fig. 3 (a) Vertical temperature distribution (H_B = 1200, 1500, 1800 [mm])

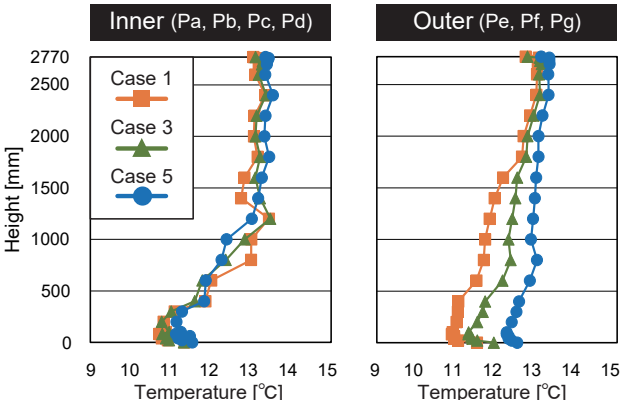

Fig. 4 (a) Vertical temperature distribution ($Q_{SA\text{-}in}$ = 50, 80, 110 [m^3/h])

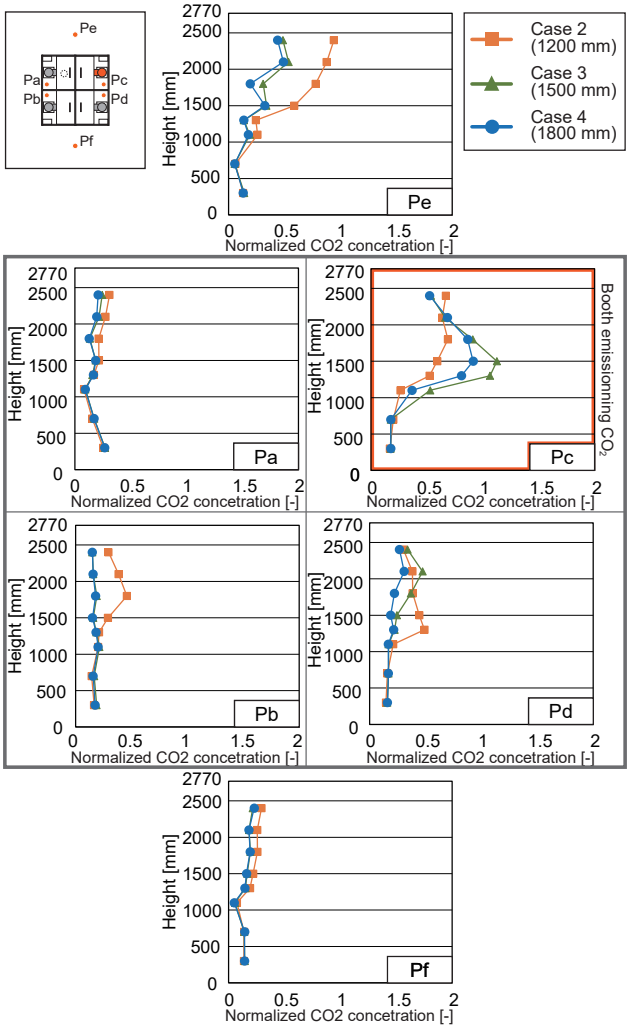

Fig. 3 (b) Vertical CO_2 concentration distribution at each measurement point (H_B = 1200, 1500, 1800 [mm])

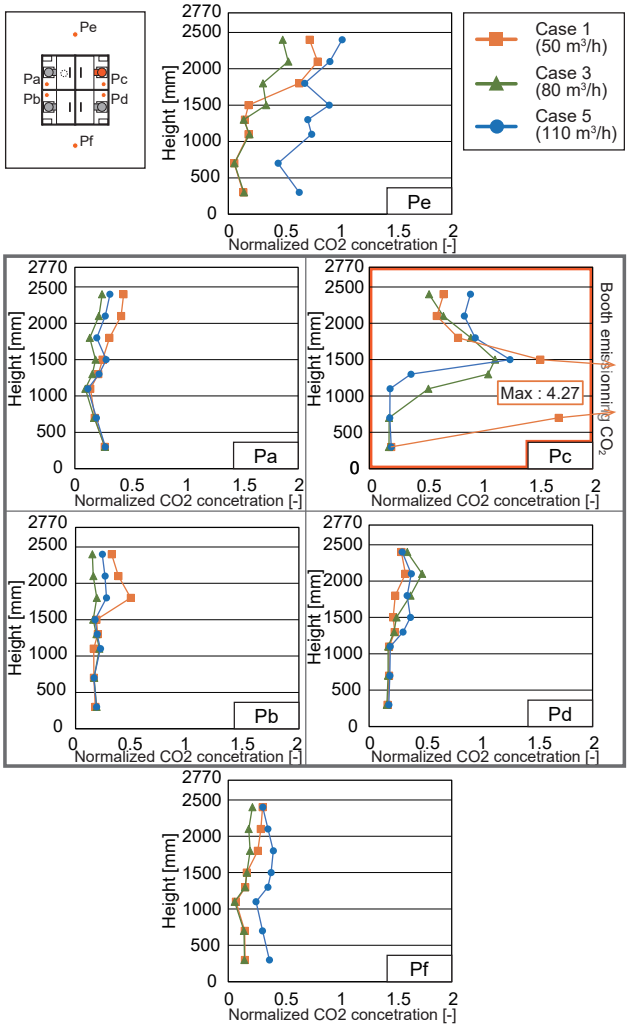

Fig. 4 (b) Vertical CO_2 concentration distribution at each measurement point ($Q_{SA\text{-}in}$ = 50, 80, 110 [m^3/h])

また、ブース全体の濃度分布を比較すると、Pe, Pc において濃度境界面が形成されているが、他の測定点では室下部から上部にかけて一様に濃度が低く濃度境界面が形成されていない。これは一般的な置換換気と異なり、ブース型置換換気では室上部の汚染領域が平面的には偏ることが考えられる。これには PC 発熱や、ブースの効果が理由としてあげられるが、今回汚染源ブースから排気口が近かったために汚染物がより効率的に排気されやすかったことも考えられる。

2. 3　給気量による比較

ブース内給気量による比較を行うために **Fig. 4** に Case 1, 3, 5 を比較した結果を示す。

Fig. 4 (a) より、Outer については室下部においてブース内給気量が大きいほどブース外給気量は小さく、温度が高くなっている。一方、Inner においては高さ 500 ～ 1200 mm においてブース内給気量が大きいほどわずか

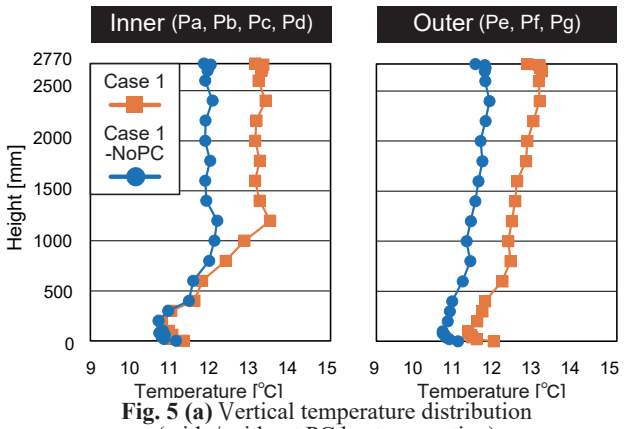

Fig. 5 (a) Vertical temperature distribution (with / without PC heat generation)

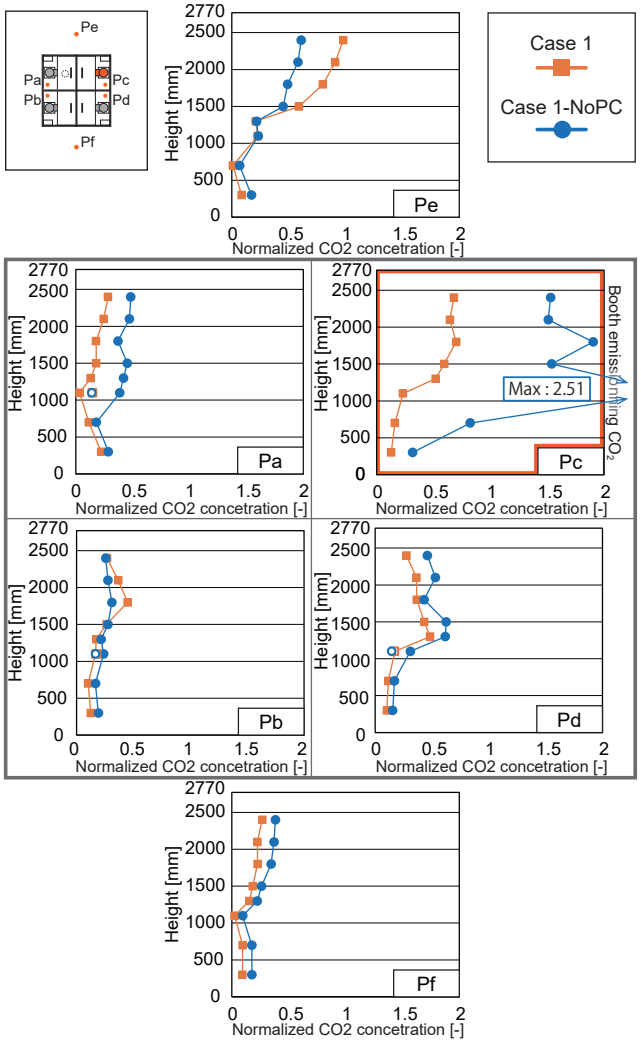

Fig. 5 (b) Vertical CO_2 concentration distribution at each measurement point (with / without PC heat generation)

に温度が低くなっていることがわかる。

Fig. 4 (b) より、汚染源以外のブース内測定点 Pa, Pb, Pd での汚染物濃度に、条件間の大きな違いはなく、測定点によってブース内給気量と汚染物濃度の大小関係も一定でない。ただ、これらの測定点における汚染物濃度は全体的に低くなっている。これは給気量による影響より、ブースが汚染物を抑制する効果の方が強く、汚染物の拡散が一様に抑制されたためと思われる。

また、ブース全体の濃度分布を比較すると **Fig. 3 (b)** と同様に Pe, Pc において濃度境界面が形成されているが、他の測定点では室下部から上部にかけて一様に濃度が低く濃度境界面が形成されていない。これも同様にブース型置換換気では PC 発熱やブース、排気口位置の影響により汚染物が拡散せず、効率的に排出されたことが考えられる。

2. 4　PC 発熱の有無による比較

前述の結果から、特に Case 1 においてオフィスにおけるブース型置換換気では PC からの発熱が汚染物の拡散を抑制する可能性が確認されたため、ここで PC 発熱の有無による結果を比較する。Case 1 において模擬 PC の発熱量を 0 とした条件を Case 1-NoPC とする (**Table 1**)。**Fig. 5** の **(a)** に Case 1 と Case 1-NoPC のブース外、ブース内の平均温度分布を比較したものを、**(b)** に測定点ごとの CO_2 濃度分布を比較したものを示す。

Fig. 5 (a) より PC 発熱がない場合の温度は発熱がある場合より、床面付近を除いて全体として約 1 ℃低くなっていた。Case 1-NoPC は Case 1 より総発熱量が 200 W 小さいことから、温度差 1 ℃は妥当であるといえる。

Fig. 5 (b) より Pa において PC 発熱がない Case 1-NoPC では Case 1 より濃度が高くなっており、Case 1 において PC 発熱よる上昇気流が汚染物の拡散を抑制していたことが考えられる。また、Case 1-NoPC において Pb の濃度が最も低くなっていたことから PC 発熱がない場合でも模擬人体発熱による上昇気流やブースが汚染物の拡散を抑制したと考えられる。さらに Pc において濃度が大きく異なることから、PC 発熱による上昇気流が汚染物を効率的に室上部に運んだことが考えられる。

まとめ

本報では実大実験によりブース高さと給気量がブース型置換換気に及ぼす影響について検討した。汚染物は体臭や呼吸による飛沫核を対象とした。実験ではブースと発熱源による上昇気流が汚染物の拡散を抑制したことが確認された。今後は汚染源の位置を変更した場合や咳飛沫核の分布について検討を行う所存である。

ー参考文献ー

1) M. Matttsson: On the efficiency of displacement ventialtion, with particular reference to the influence of human physical activity, doctoral dissetation of University of Gavle, 1999, pp.117-120

2) 黄 孝根、吉富透悟、加藤信介：機器単体からの対流・放射放熱に関するシミュレーション解析、生産研究、66 巻 (2014)1 号、pp.47-51

3) 伊濱大晟：置換換気を導入した 4 病床室内の温度・汚染物濃度分布に関する研究（第 8 報）間仕切りカーテンが汚染物濃度分布に及ぼす影響、空衛近畿大会 2020.2