放射状壁面噴流を用いた準置換換気方式空調に関する研究
（その 4）実験室実験による大型発熱体を有する室内の温度測定
A Study on Semi-Displacement Ventilation using Radial Wall Jet
(Part 4) Tempertature Measurement of a Room with Large Heating Element

正会員　○小林　知広　（大阪市立大学）　　正会員　　梅宮　典子　（大阪市立大学）
正会員　　岸本　孝志　（きんでん）

Tomohiro KOBAYASHI*[1]　Noriko UMEMIYA*[1]　Takashi KISHIMOTO*[2]

*[1] Osaka City University　*[2] Kinden Corporation

The Impinging Jet Ventilation (IJV) System is an air-conditioning method to form thermal stratification within a room as well as Displacement Ventilation (DV) system. The strength of the IJV system seems that it is less likely to generate horizontal temperature distribution even when large heat load exists in the room because of higher momentum than DV system. In addition, IJV system seems to allow occupied zone to be more mixed condition if compared with DV system of which temperature gradient could be too large. Since detailed indoor environment by IJV is still not sufficiently clarified, this paper aims to investigate the characteristics of temperature distribution by means of laboratory experiment for a room with large heat load.

1. はじめに

置換換気方式（DV 方式）は高い換気効率に加えて室内の居住域を効率的に空調できる利点があるが、室下部を過剰に冷却する可能性もあり、快適性の観点から注意が必要と考えられる。一方、DV 方式と同様に室内で上下温度分布を形成する方式として、床面付近の高さに設置したダクトから鉛直下向きに給気する方式[1,2] (Impinging Jet Ventilation 方式、以降 IJV 方式) が提案されている。IJV 方式は冬期の暖房にも適用できる可能性を有することも利点の一つと考えられる。DV 方式に関してはこれまでに豊富な研究事例[3] が見られるが、IJV 方式についての知見は少なく、DV 方式と IJV 方式の室内熱環境の違いは十分に解明されていない。

本研究では IJV 方式の基礎的な温度分布や気流分布性状を明らかにすることを目的としている。既報[4] では均等な熱負荷配置条件での実験室実験により IJV 方式の温度分布性状を明らかにし、DV 方式との差異を示した。本報では強い熱上昇流が存在する大型発熱体を有する室で両方式の差異を評価することを主目的として、実験室において実施した吹出口周辺の PIV 測定及び室内の温度分布測定の結果について報告する。なお、本報は既報[5] に加筆し、再構成を行ったものである。

2. 実験室実験

2.1. 実験及び実験室概要

実験は 2013 年 9 月 9 日～ 10 月 18 日に行った。**図 1** に示す実験室において照明は消灯の状態で、半円筒形の IJV 吹出口（**図 2**）または DV 吹出口を設置して空調を行い、室全体の温度分布及び吹出口近傍の風速分布を測定した。**図 3** の室温測定点における黒プロットでは鉛直方向に 250 mm ごとに 12 点測定し、白プロットでは 500 mm ごとに 6 点の温度の測定を行った。

2.2. PIV 測定実験の概要

吹出し気流の定性的な性状を把握するため、ディフューザー周辺の風速を PIV により測定した。光源にはダブルパルス Nd:YAG レーザー (Litron Luser、DPIV-L50) を用い、ディフュザー中央の鉛直断面を投影し、側部に設置した高速カメラ (LAVISION 社、ImagerProX2M) により撮影した。撮影は 10Hz で 10 秒間行い、1 回の撮影で 1,000 μs の間隔で 2 枚の画像を撮影し、1 回の測定で 100 組 200 枚の画像を撮影した。画像処理には Davis 8.0 (LaVision) を使用し、カメラと

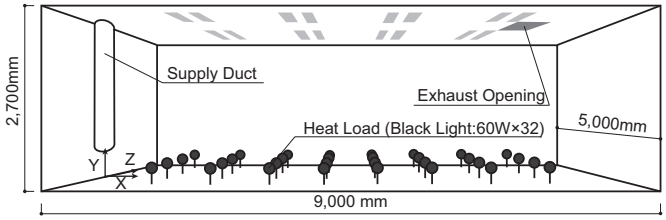


図 1　実験室概要

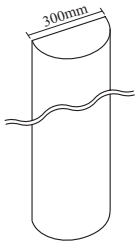


図 2　IJV 吹出口

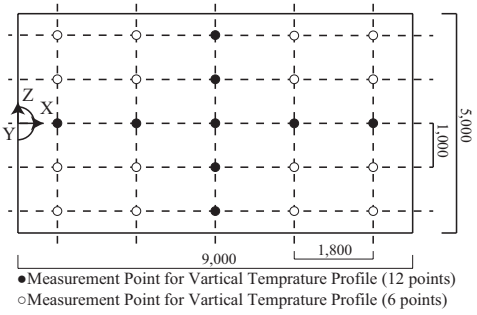


図 3　実験室内の温度測定点

レーザーの制御もこれによった。また、風速算定にはGPUを使用した直接相互相関法を用い、再帰的相関法[6]により計算を行った。**表1**にPIV測定の概要をまとめて示す。実験条件は熱負荷条件としてブラックランプ60W×32個、給気量を400 CMH、給気温度を17 ℃とし、吹出口を交換することでDVとIJVの2条件測定した。

2.3. ブラックランプを用いた実験の概要

既報[4]では均等な熱負荷でIJV方式、DV方式における温度分布の基礎性状を把握することを目的としてブラックランプを配置して実験を行った。この際、壁面に断熱材シートを貼付けたものの、冬期に冷房実験を実施したため結果の信頼性に課題が残っていた。本報では同様の実験を夏期から中間期にかけて実施し、信頼性の確認を行う。実験条件としては、**表2**に示すよう吹出温度と風量を変化させた。ここでは60Wのブラックランプを32個配置し(**図1**)、定常状態となった後に室温を測定した。ブラックランプはプルームの広がりが人体に見立てたシリンダーの上部と同じ広がりになることを意図して床上高さ500 mmの位置に設置した[7]。また、吹出口を交換してDV方式においても**表2**に示す4条件で温度測定を行った。

2.4. 大型発熱体を用いた実験の概要

上下温度分布を形成する空調方式は高熱工場などの大空間においても有効と考えられる。そこで大型発熱体を設置した実験を行った。冷房負荷を想定したアルミ製の発熱体（1辺800 mmの立方体)を実験室内に設置し（**図4**)、空調開始後に室温が定常状態となったところで室温を測定した。発熱体は室中央に設置し、発熱量1 kw、2 kw、3 kwの3条件に関して、**表2**の吹出条件(case 1 ～ case 4)で測定を行った。また、大型発熱体の位置を変化させた状態でも測定を行い、発熱量を2 kw、吹出条件をcase 3と固定して、発熱体の設置位置をディフューザーに近づけた条件(Near)と遠ざけた条件(Far)（**図4**）で室温測定を行った。これらの測定はIJV、DV方式のそれぞれについて行った。さらに、発熱体を中央配置とし、DV方式ではcase 5、IJV方式ではcase 6の吹出条件でも室温測定を行った（**表3**)。

表1　PIV測定の概要

Camera	Imager Pro X2M
Laser	Nd:YAG Laser : DPIV-L50
Number of captured flames	100 pairs (10 Hz)
Time Interval of Double Pulse	1,000 μs
Camera Flame Size	1,500 pixel × 1,200pixel
Analysis Program	Davis8.0
Algorithm	Direct Cross-correlation Method
Interrogation Window Size	First Pass : 64 × 64
	Iterating Pass : 16 × 16
Overlapping	0%

表2　実験条件
（ブラックランプ・大型発熱体の条件）

	300CMH	400CMH	600CMH	900CMH
14deg.C	case1			
17deg.C		case2		
20deg.C			case3	
22deg.C				case4

表3　実験条件
（大型発熱体の条件のみ）

	600CMH	
	DV	IJV
18deg.C	case5	
20deg.C	case3	case3
22deg.C		case6

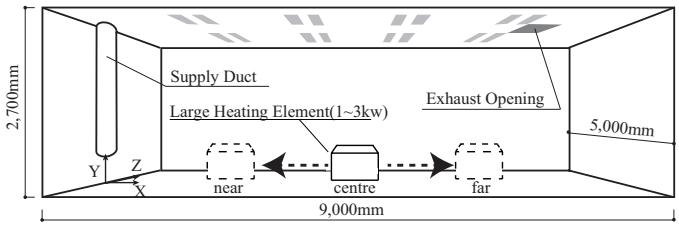


図4　大型発熱体の設置位置

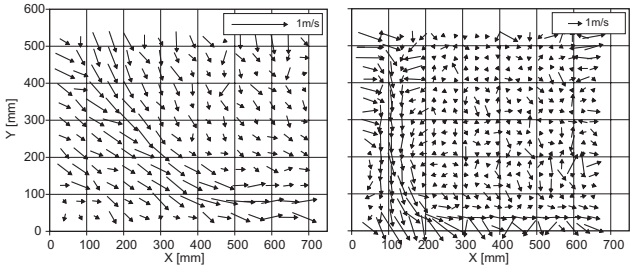
3. 結果と考察

3.1. PIV測定の結果

図5にIJV、DV方式におけるPIV測定により得られた平均風速ベクトルを示す。400 CMHの場合、床面近傍の風速分布はDV方式では概ね0.3 m/s程度であるのに対して、IJV方式では1.5 m/s程度となっていることが確認できた。本報では次章以降で主に温度分布のみを評価するが、この結果からIJV方式では足下付近の気流感の検討が重要と考えられ、引き続き実験もしくは解析による評価が必要と言える。

3.2. ブラックランプを用いた実験の結果

図6にIJV、DV方式における水平面平均温度の鉛直分布を示す。また、**図7**に中心断面における室内温度分布を示す。吹出風量の小さいcase1、2では両方式で大きな差異は見られず、どちらも室内で明確な温度成層が形成されていることが確認できた。case3、4では給気量が大きいためどちらの吹出方式においても温度成層が弱くなっているが、IJV方式はDV方式と比較して給気量が大きい条件で温度成層がより形成され難い。この傾向は冬期に冷房実験を実施した既報[4]の結果と一致しており、実験の再現性と信頼性が改めて確認されたと言える。



（1）DV方式　　（2）IJV方式

図5　PIV測定の結果

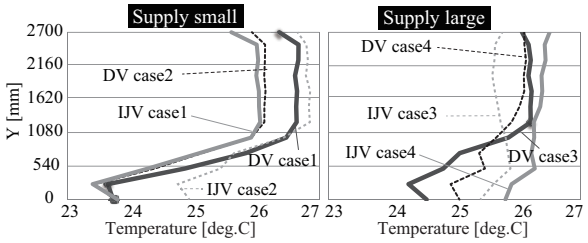


図6　水平面平均温度の鉛直分布（ブラックランプ条件）

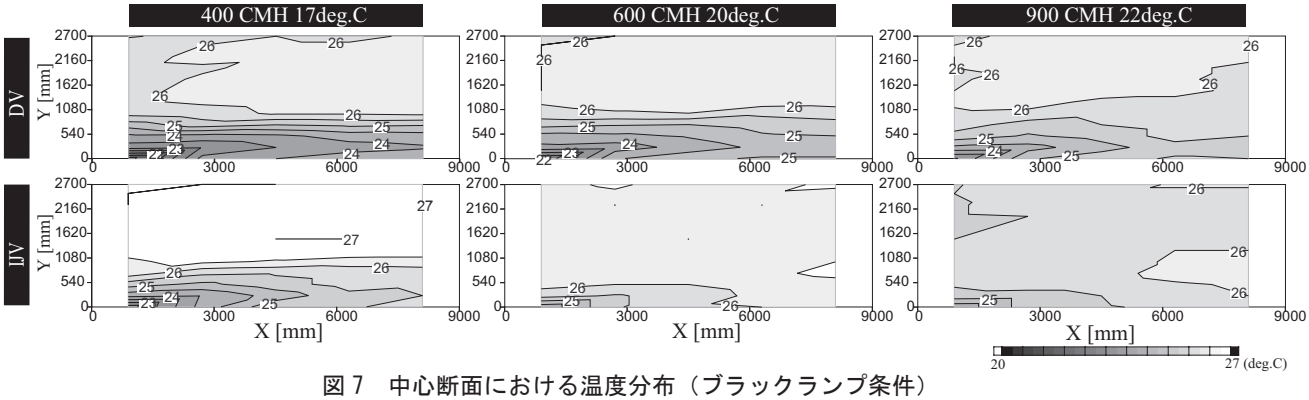


図 7　中心断面における温度分布（ブラックランプ条件）

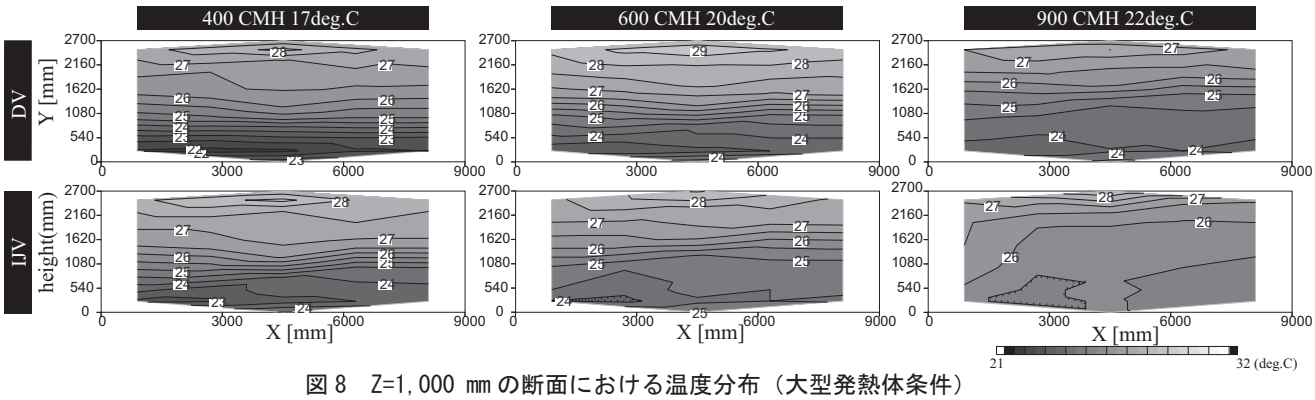


図 8　Z=1,000 mm の断面における温度分布（大型発熱体条件）

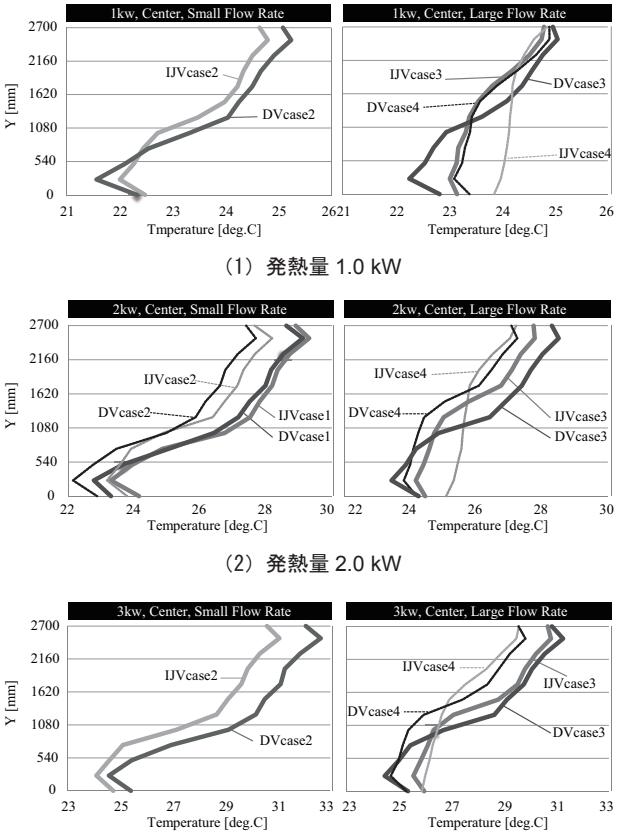
3.3 大型発熱体を用いた実験の結果

(1) 大型発熱体を中央に設置した条件

図 8 に発熱体を中央に設置し、発熱量を 2 kw とした場合の Z=1,000 mm における温度分布 (case2 ～ 4) を示す。また、**図 9** に両方式における水平面平均温度の鉛直分布（発熱量 1 kw ～ 3 kw、case 1 ～ 4）を示す。給気量が小さい条件では両方式において大きな差異は見られず､居住域内でも温度成層が形成されている。一方、給気量の大きい条件では DV 方式は低風量条件と同様に居住域内で温度成層を形成し易いが、IJV 方式では居住域内で温度勾配が小さい傾向となった。このため給気量が比較的大きい条件においては IJV 方式は DV 方式と比較して室下部で混合し易く、居住域内での上下温度差が発生し難い方式と言える。また、発熱量の大きさ別に鉛直温度分布（**図 9**）(case1 ～ 4) を比較すると、発熱量の大きさにより温度の絶対値に差はあるが概ね全ての条件において、給気量が小さい場合では両方式で大きな差異は見られず、どちらにおいても明瞭な温度成層を確認することができる。

(2) 発熱体設置位置を変更した条件

図 10 に発熱体の設置位置を変更した条件での室内温度分布を示すが、DV 方式と IJV 方式で発熱体位置による大きな差異は見られなかった。実験計画時には IJV 方式では給気時の運動量が大きいため吹出口近傍に強い熱上昇流が存在しても気流がより遠くまで分配され、水平方向の温度分布が生じ難くなるという傾向を予測して条件設定を行ったが、ここではその効果はあまり期待することができないという結果が得られた。



(1) 発熱量 1.0 kW

(2) 発熱量 2.0 kW

(3) 発熱量 3.0 kW

図 9　水平面平均温度の鉛直分布（大型発熱体中央配置）

(3) 風量を固定して給気温度を変更した条件

図 11 に風量を 600 CMH に固定して給気温度を変化させた際の鉛直温度分布を示す。**図 11**（1）の 20 ℃吹出の条件（Case 3）においては、DV 方式では頭部高さと足下高さの温度差が 3～4℃程度見られるのに対して、IJV 方式では居住域内で若干混合しやすい傾向が見られた。**図 11**（2）は DV 方式でのみ給気温度を 18 °C に下げて（Case 5）比較しているが、頭部高さ付近の温度は下がらず足下付近の温度のみが一層低下している。このため、DV で給気温度を下げた場合には居住域内の温度成層が強くなると言え、快適性の観点からは DV 方式は適切とは言い難い。一方、**図 11**（3）に示すように DV 方式の 20℃吹出と IJV 方式の 22℃吹出（Case 6）を比較すると、IJV の 22℃吹出では足下付近の過剰冷却が見られず，居住域内における鉛直方向の温度勾配が小さくなっている。このため、IJV 方式は DV 方式と同様に温度成層を形成するが、室下部の居住域内はより混合する傾向を示すと言え、今回検討を行った条件においては、IJV 方式では DV 方式よりも高温の吹出条件で冷房を行うことができ、温度分布も良好になったと言える。以上の結果から、IJV 方式は省エネかつ快適性の高い方式となる可能性が示された。

5．まとめ

本報では主に大型発熱体を有する室を対象とし、IJV 方式と DV 方式で室内温度分布を比較した。その結果、IJV 方式は省エネルギー性と快適性の両立する空調方式になり得る可能性を示した。今後は IJV 方式の暖房への適用可能性の検討や足下のドラフト感の評価等を行う必要があると考える。

【謝辞】
本研究を遂行するにあたり、冨田篤氏（研究当時 大阪市立大学卒論生、現 高松建設（株））、水野慶蔵氏（きんでん（株））に多大なるご協力をいただきました。記してここに謝意を示します。また、実験器具をお貸し頂いた大阪大学建築環境・設備 Gr に深謝申し上げます。なお、本研究の一部は科学研究補助金 (若手研究 B、課題番号 24760476 (研究代表：小林知広)) の助成を受けた。

【参考文献】

1) T. Karimipanah, H. B. Awbi : Theoretical and experimental investigation of impinging jet ventilation and comparison with wall displacement ven-tilation, *Building and Environment*, Vol.37, Issue 12, pp.1329-1342, 2002
2) H. Chen and B. Moshfegh : Comparing k-ε Models on Predictions of an Impinging Jet for Ventilation of an Office Room, *Proceedings of Roomvent 2011*, In Digital Media, 2011.6.
3) 例えば、P. V. Nielsen : DISPLACEMENT VENTILATION –theory and design, Aalborg University, 1993
4) 小林知広，近本智行：放射状壁面噴流を用いた準置換換気方式空調に関する研究（その 2）実験室実験による吹出気流分布と室内温度分布の基礎的性状，平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，第 3 巻，pp. 437−440，2013. 9
5) 冨田篤，小林知広，梅宮典子，岸本孝志：放射状壁面噴流を用いた準置換換気方式空調に関する研究（その 3）実験室実験による大型発熱体を有する室内の温度分布性状，平成 25 年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，pp. 413−416，2014. 3
6) D.P. Hart : Super-Resolution PIV by Recursive Local-Correlation, *Journal of Visualization,* Volume 3, Number 2, pp.187-194, 2000.
7) H. Skistad : Displacement ventilation, Research Studies Press Ltd, 1994.

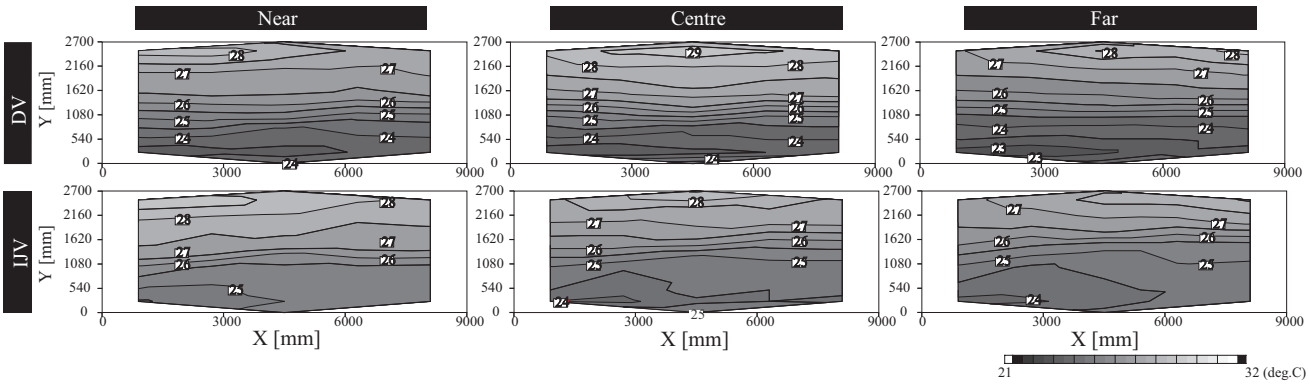
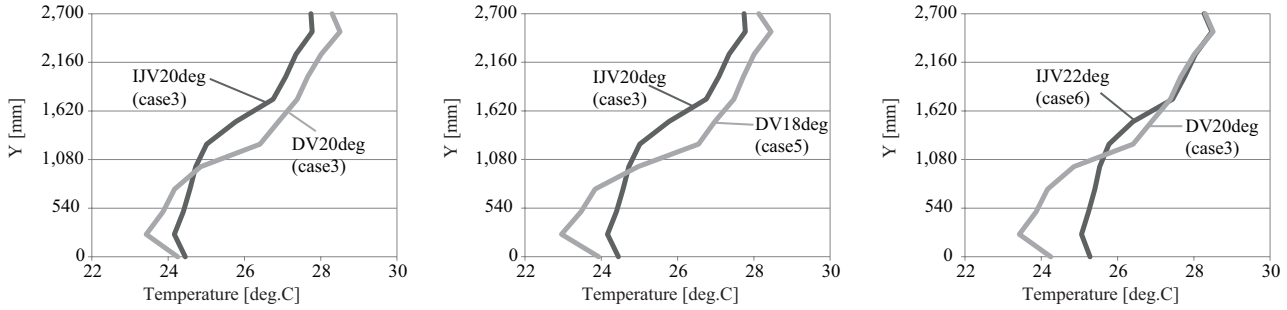


図 10　Z=1,000 ㎜の断面における温度分布（大型発熱体の設置位置変更時）



（1）DV 20 [deg.C] 、IJV 20 [deg.C]　（2）DV 18 [deg.C]、IJV 20 [deg.C]　（3）DV 20 [deg.C]、IJV 22 [deg.C]

図 11　水平面平均温度の鉛直分布（大型発熱体中央配置条件、給気量 600CMH 固定での吹出温度変化）