

精密模型を用いた室内気流の測定と可視化 — 居住域に障害物がある場合の検討

正会員 ○大川 泉 (静岡ガス(株))
 正会員 村上周三 (東京大学生産技術研究所)
 正会員 加藤信介 (東京大学生産技術研究所)
 学生会員 伊藤一秀 (東京大学 大学院)

1. 序 前報^{1,2)}までに、新たな換気効率指標として Visitation Frequency 及び Purging Flow Rate (以降 PFR³⁾) の概念を導入し、その有用性を検討してきた。これら換気効率指標を詳細に解析するためのシミュレーションの精度を検証するための模型実験を行う。この実験はまた、単独でこれら換気効率指標の性状を解析することも目的とする。本報では特に居住域に障害物 (Partition) がある場合の気流測定及び可視化を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験概要

(1) 模型概要 (図1 参照) 模型は居室をモデル化したもので 1.5m(X) × 0.3m(Y) × 1.0m(Z)。模型空間の下部半分 (Z < 0.5m) を居住域と想定する。詳細は既報^{2,3)} 参照。

(2) 風速測定 本研究では 2次元の LDV (Laser Doppler Velocimetry、図1 参照) システムを用いて風速を測定し、平均流のみならず乱流統計量も計測する^{注1)}。

(3) 測定ケース 室内に気流障害物の無い 2 ケースに加え、居住域に 2ヶ所障害物を設置し、吹出・吸込口位置を変えることにより 3 ケース設定した (障害物は X=0.45m, 1.05m の位置に設置。高さは Z=0.5m、図2)。居住域の障害物に囲まれた空間は左より {居住域①、居住域②、居住域③} と定義する (図6 参照)。天井面に沿って設置した吹出口に対し、CASE5 は吹出口直下に吸込口を設置したケース、CASE6 は吹出口対向壁の天井面に沿って吸込口を設置したケース、CASE7 は居住域①~③の各々に吸込口を設置したケースである。測定位置は何れもキャビティ中央断面 (図1 中波線) である。また、気流分布の Y 方向の 2次元性に関しては既報³⁾ を参照。なお障害物の無い CASE2,3 に関しては既報³⁾ で報告している。

(4) 実験条件 吹出風速は 3m/s とし、模型内は等温に制御する。吹出空気温度、表面温度測定結果のばらつきは最大でも 1℃程度であった。

3. 実験結果、考察 LDV を用い、平均風速及び各種乱流統計量を詳細に測定した。本報では平均風速、風速変動成分及び Reynolds Stress^{注2)} の測定結果を示す。

3-1. 平均風速 (図3)

(1) 吹出噴流・流れの 2次元性 吹出噴流、及びキャビティ

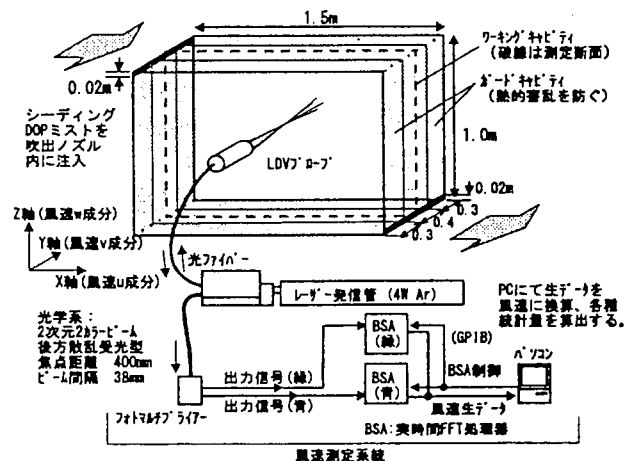


図1 居室模型の構成と LDV システム

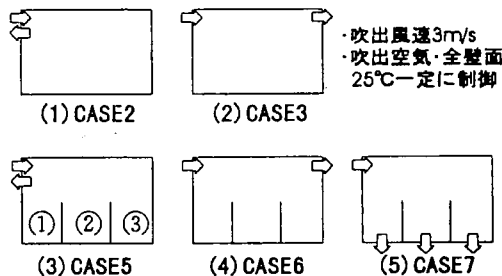


図2 測定ケース

内の流れは高い 2次元性を示した。詳細は既報²⁾ 参照。

(2) 室内中央断面風速分布 (図3,4) 障害物の無いケース (CASE2,3)、及び居住域に障害物があるケース (CASE5~7) のキャビティ中央断面 (X=750, Z=500mm ライン) における平均風速測定結果を示す。室内に障害物が無いケース (CASE2,3) では、各ケースとも右回りの大きな循環が観察され、キャビティ隅角部では大きな循環とは逆向きの二次渦が観察される (図3(1),(2))。また、居住域に障害物があるケース (CASE5~7) では、どのケースにおいても天井に付着し循環してきた気流が、吹出口対向壁に沿って {居住域③} に流入するため、{居住域③} では右回りの循環流が生じている。{居住域①、②} では、それとは逆の左回りの循環流が生じている。また、キャビティ隅角部、及び障害物の入り隅部では二次渦も観察される。CASE5 と CASE6 を比較すると、全

Study on Evaluation of Ventilation Effectiveness of Occupied Space in Room (Part10)

Precise Model Experiment of Airflow in Room - The Case of setting Partitions in Occupied Space

IZUMI OKAWA et al.

体の流れ場に大きな相違点は見られないが、吸込口に居住域①～③の各々に設けた CASE7 では、障害物で囲まれた居住域内で CASE5、CASE6 に比べ強い循環流が生じている。また、室上部での風速も大きくなっている。図 4(1)に U 成分の Z 方向分布を示す。CASE5 と CASE6 は同様の風速分布を示しているが、CASE7 は天井面、及び床面付近での風速が他に比べ大きくなっており、強い循環流が生じていることが観察される。W 成分の X 方向分布(図 4(2))に関してはどのケースも同じ様な風速分布を示しているが、最も吹出気流が届きにくいと思われる吹出側壁面(X=0mm)付近において CASE7 の風速が最も大きくなっている。

(3)考察 CASE2,3 の平均風速分布は室全体で同様の傾向を示し、吸込口位置の変更が平均風速分布に与える影響は小さい。しかし居住域に障害物を設置すると平均風速分布は大きく変化する。

(4)乱れの分布性状 図 5 に各種乱流統計量(風速変動の r.m.s. $\sqrt{u_i^2}$ 、Reynolds Stress $\overline{u_i u_j}$)の分布を示す。風速変動成分(図 5(1)～(4))に着目すると、各ケースとも、 $\sqrt{u^2}$ 、 $\sqrt{w^2}$ の値はほぼ同様で、分布性状も同様の傾向を示す。また、天井付近(Z=1000mm)で値が大きくなっており、特に居住域に障害物があるケース(CASE5, 6, 7)の値が大きく、吹出風速で無次元化した乱れの強さは 2%程度である。Reynolds Stress(図 5(5)～(6))に着目すると、風速変動成分と同様に、吹出噴流域である天井付近で値が大きくなっている。渦動粘性係数 ν_t は風速勾配が明確な領域で見積もりが可能である ($\nu_t = -\overline{uw} / (\partial \bar{u} / \partial z)$)。例えば CASE2 では天井付近で ν_t の最大値が約 $400 \text{ cm}^2/\text{s}$ で、動粘性係数 ν の 1000 倍のオーダーである(ν は 25°C で約 $0.16 \text{ cm}^2/\text{s}$)。

(5)考察 障害物の無い CASE2,3 で、室内の平均風速分布はほぼ同様の傾向を示すが、乱れの分布性状はそれぞれのケースで大きく異なり、CASE3 は CASE2 に比べ乱れが大きくなりその空間変化も大きくなる。また、障害物を設置すると、乱れは更に大きくなり吸込口を 3カ所に設けた CASE7 では室内の乱れが大きくなる。

3-2. 気流可視化^{注3)} (図 6) ここでは CASE6 を Laser Light Sheet により可視化した結果を、(1)吹出噴流、(2)吸込口近傍、(3)吹出口側壁面下部、(4)室内障害物隅角部、(5)障害物上部、の 5 点を中心に示す。

(1)吹出噴流(写真省略) 吹出噴流は天井面に付着して直接、対向壁隅角部まで到達する。吹出噴流直下には微少な渦が流れに沿って生成するせん断混合層が観察される。この渦は発達した後、吹出口から約 50cm の位置までで消滅する。

(2)吸込口近傍(写真省略) 吸込口近傍では、吹出口から直接吸込口に到達する気流と模型下部領域に向かう

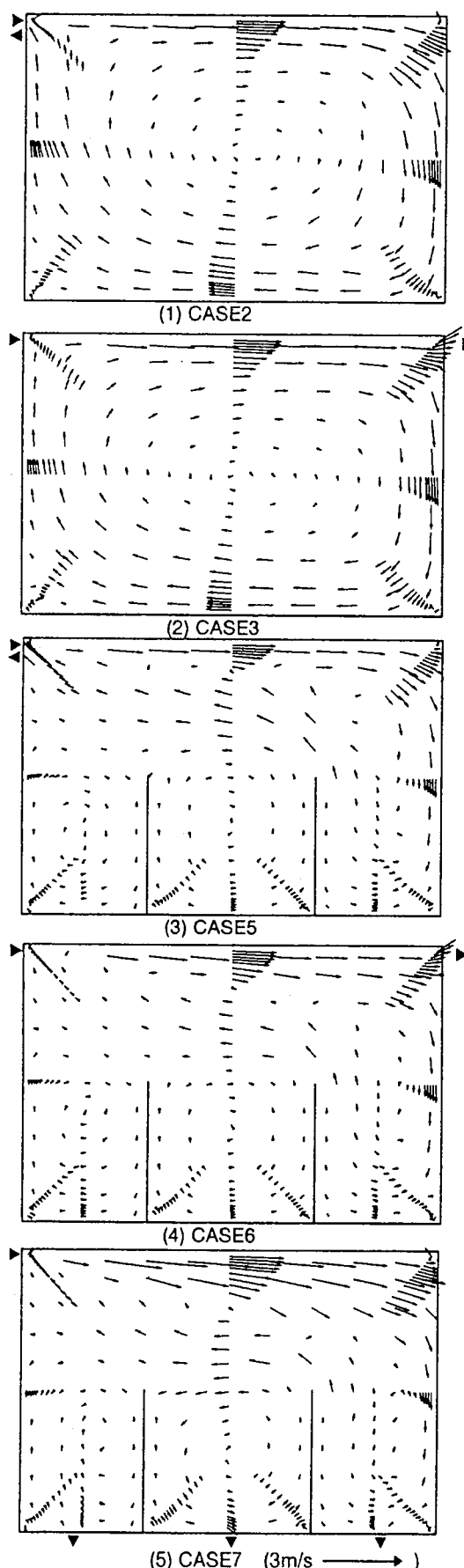


図 3 室中央断面風速分布

循環流の2つに分れる。吸込口直下はこの排出流と循環流に挟まれ渦の生成・消滅が繰り返す複雑な様相を示す。

(3)吹出口側壁面下部(写真省略) 入り隅部に最大直径6cm程度の2次渦が観察される。渦は定常的には存在せず、生成・消滅を繰り返す。

(4)室内障害物入り隅部(図6(1)) 吹出口からの循環流が障害物に衝突し、複雑な流れ場となっている。{居住域②}及び{居住域③}の入り隅部では直径3cm程度の2次渦が観察されるが、定常的には存在せず、生成・消滅を繰り返す。

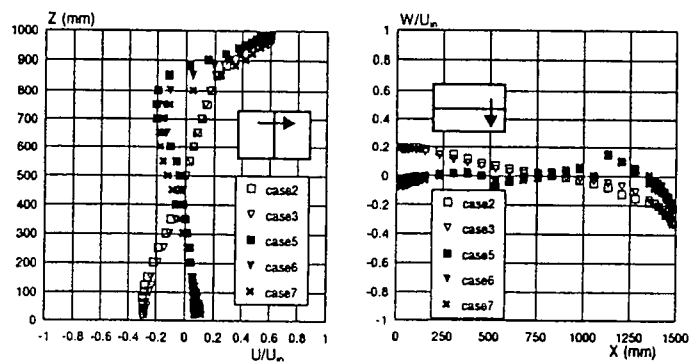
(5)障害物上部(図6(2)) 吹出口からの循環流は{居住域③}を右回りに循環した後、障害物のエッジより左斜め上方に向かって流出する。エッジ部分で剥離した気流の直下に微少な渦が流れに沿って発達するせん断混合層が観察される。

(6)考察 これら流れの非定常な性状はLESシミュレーションにて再現可能と思われ、シミュレーション精度を定性的に検討するのに有効なデータとなる。

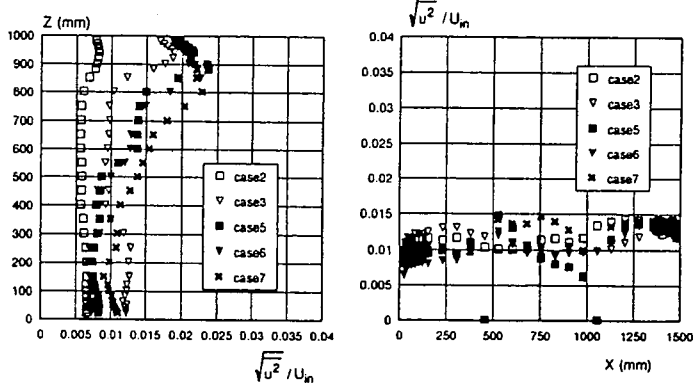
3-3. ブロック間の流量(図7) 吹出口から流入する換気流量に対して、模型内でどの程度の循環流量が生じているか、特に模型空間の下部居住域に流入する流量を解析する。

(1)障害物の有無による比較(図7(1)~(4)) 障害物の無いCASE2では換気流量1.00に対し室上部に4.7の循環流量が生じているのにも関わらず、障害物のあるCASE5では室上部の循環流量が1.51となり、CASE2と比較し約1/3の流量となっている。居住域に流入する流量に着目すると、CASE2では4.0程度の循環流量があるが、CASE5では最も循環流量の大きい{居住域③}で1.00程度であり、CASE2に比べ1/4の循環流量となっている。居住域に流入する流量は吹出口側壁に近づくほど小さくなり、{居住域①}では約0.15と換気流量の1/10になっている。CASE3とCASE6の関係も同様である。

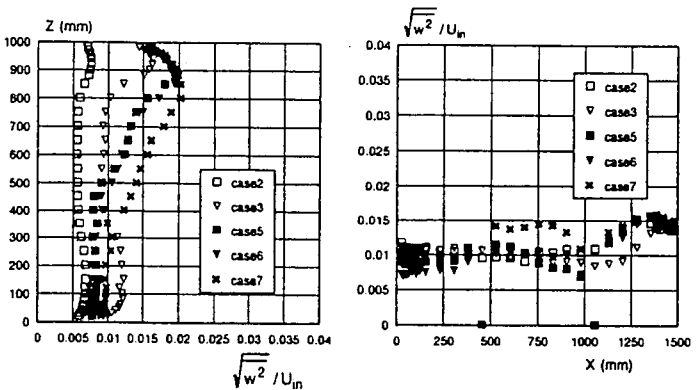
(2)吹出・吸込口位置変化による比較(図7(3)~(5)) CASE6では室上部を循環する流量が2.44とCASE5の1.5倍以上となっている。これはCASE6の場合、吸込口が吹出対向壁上部にあるため、吹出噴流を効果的に誘引しているためと考えられる。居住域に出入りする流量もほぼ同様の傾向を示し、{居住域③}では1.00程度と換気流量と同等の値を示すが、吹出口側壁に近づくにつれ流量が減少し、{居住域①}では換気流量の1/10程度となる。また、{居住域①}~{居住域③}の各々に吸込口を設置したCASE7では、室上部での循環流量が4.06と格段に大きくなり、



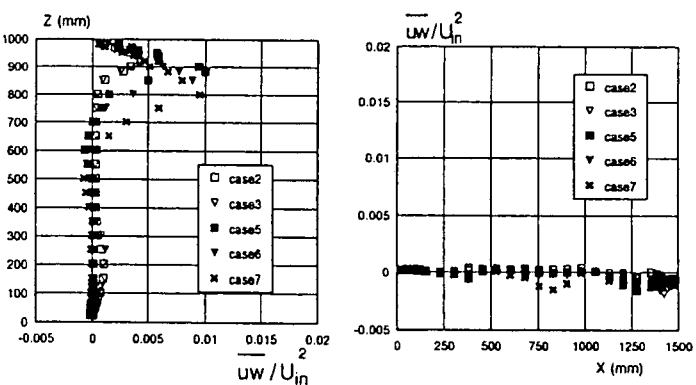
(1)U成分のZ方向分布 (2)W成分のX方向分布
図4 室中央断面風速分布(吹出風速 U_{in} で基準化)



(1) $\sqrt{u^2}$ のZ方向分布 (2) $\sqrt{u^2}$ のX方向分布



(3) $\sqrt{w^2}$ のZ方向分布 (4) $\sqrt{w^2}$ のX方向分布



(5) \overline{uw} のZ方向分布 (X=750, Z=0~1000mm)
(6) \overline{uw} のX方向分布 (Z=500, X=0~1500mm)

図5 室中央断面各種乱流統計量の分布

居住域に流出入する流量は、{居住域③}では 1.00 前後と余り変化しないが、{居住域①}では 0.50 程度になり、CASE5,6 に比べ 5 倍近くになっている。

(3) 考察 居住域部が障害物で区切られた場合、室上部及び居住域の循環流量が著しく低下するが、各区画された領域に吸込口を設けることにより、居住域のみならず室上部の循環流量も回復する。

6. 結論

(1) LDV により平均風速・各種乱流統計量を測定した。室内平均風速分布は吸込口位置の変化にほとんど影響を受けないのに対し、障害物の有無で大きく変化した。また乱れに関し $\sqrt{u_i^2}$ 、 $\overline{u_i u_j}$ 共に吹出噴流域である天井付近で値が大きく、その他は吹出風速の 1% 程度か、それ以下であった。また、障害物を設置したケースは障害物無しに比べ、 $\sqrt{u_i^2}$ 、 $\overline{u_i u_j}$ の値は空間全体で大きくなる。

(2) 可視化により吹出口直下・障害物エッジ部のせん断混合層の様子、及び入り隅部での渦の大きさ・生成・消滅の様子を詳細に観察した。

(3) 障害物の無いケースでは居住域に出入りする流量は 4.0 程度生じていたが、居住域に障害物を設置すると、室上部での循環流が 1/2 程度に減少し、更に居住域に出入りする流量は大きいところで換気流量と同量の 1.00 程度で、少ないところでは換気流量の 1/10 にまで減少する。

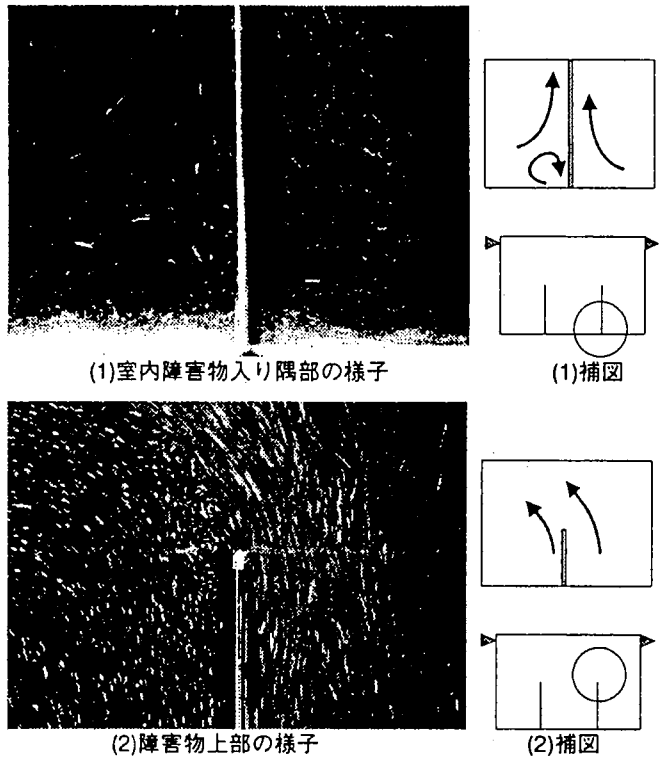
(4) 居住域に障害物がある場合、障害物に区画された空間のそれぞれに吸込口を設置する(CASE7)と、居住域に出入りする循環流量が格段に大きくなり、吸込口を設けない場合に比べ 5 倍近くなる。

[謝辞] 本研究にあたり鈴木信夫氏(静岡ガス株)のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

[記号] U_i : 平均風速成分、 u_i : 風速変動成分、 U_m : 吹出風速、 $\sqrt{u_i^2}$: 風速変動の r.m.s.、 $\overline{u_i u_j}$: Reynolds Stress

[注] 注 1: 測定はトランス装置により LDV770-F を位置決め精度 0.1mm で移動。データ数は 15000 個以上を確保したが、サンプリング間隔は不等間隔。シテイング粒子には7外酸ジカド(DOP)ミスト使用。注 2: Reynolds Stress の測定では、BSA をシンクロバスで接続し u, w の同時性を確保。注 3: 可視化の撮影条件は、Laser 出力 6W、レーザー-MgCO₂、フィルム ASA1600、シャッタースピード 1/8~1/30sec、絞り 2、被写体からの距離 1m

[参考文献] (1) 鈴木、伊藤、加藤、村上、小林、林: 不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究(その 3) 空気調和衛生工学会講演論文集、1996.9 (2) 伊藤、村上、加藤、小林: 不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究(その 4) 空気調和衛生工学会講演論文集、1996.9 (3) 鈴木、伊藤、加藤、村上、小林: 不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究(その 5) 建築学会関東支部研究報告集 1997.3



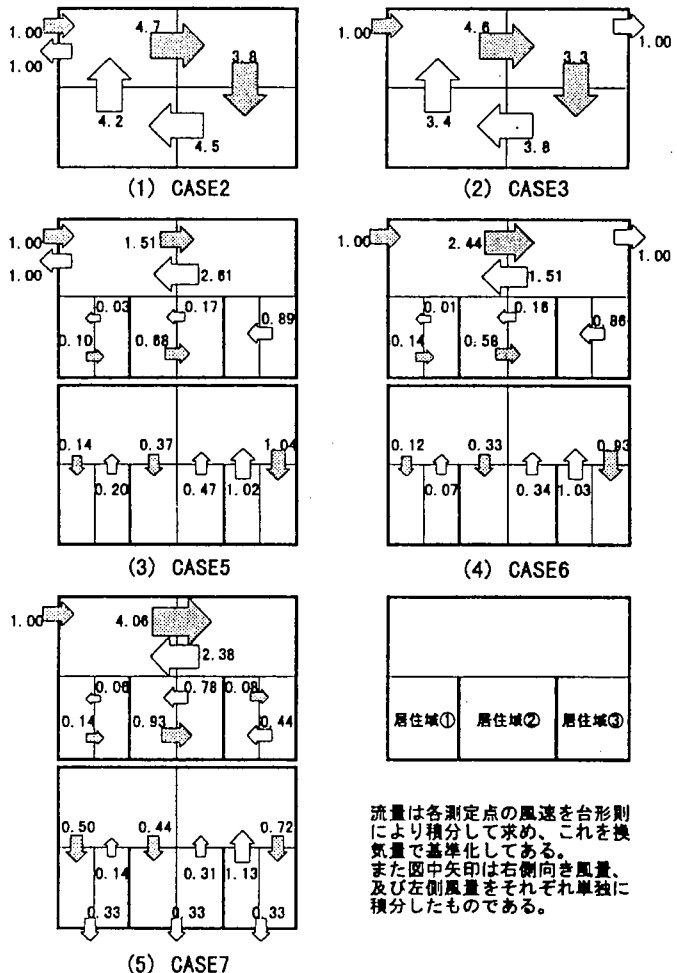
(1) 室内障害物入り隅部の様子

(1) 補図

(2) 障害物上部の様子

(2) 補図

図 6 気流の可視化



(5) CASE7

図 7 ブロック間流量

流量は各測定点の風速を台形則により積分して求め、これを換気量で基準化してある。また図中矢印は右側向き流量、及び左側流量をそれぞれ単独に積分したものである。