

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6)  
精密模型を用いた室内気流測定 — 居住域に温度差がある場合の検討

正会員 ○伊藤一秀<sup>1</sup> 正会員 加藤信介<sup>2</sup>  
同 小林 光<sup>3</sup> 同 鈴木信夫<sup>4</sup>  
同 村上周三<sup>5</sup>

### 1. 序

前報では、二次元室内気流モデルで居住域に障害物 (Partition)がある場合の気流測定結果を報告した。本報では壁面加熱により、室内に温度差を生じさせた場合の気流性状、及び室内の温度分布性状の測定結果を報告する。本報では特に室内流れ場が冷房時居住域に直接吹出気流が供給される Displacement Ventilation 型となるよう吹出・吸込口を設定した場合において浮力が流れ場に及ぼす影響に関して検討を加える。

### 2. 実験概要

(1)実験目的 本報では前報<sup>1,2)</sup>で検討した等温条件下で測定を行ったケースでの流れ場に関し、壁面加熱することにより生じる浮力効果について検討する。(2)測定システム 模型概要及び風速測定に関しては前報と同様。平均温度の測定にはT型熱電対を用いる。空間分布は、上下方向に31個の熱電対を設置した温度測定用プローブを制作し、このプローブをX方向にトランス装置で移動させることにより測定する。(3)測定ケース (図2) 吹出口対向壁面及び吹出口側壁面の2壁面を45°Cに加熱し、吹出・吸込口位置を変化させて3ケース設定する (CASE8~CASE10)。吹出温度、天井面及び床面は15°Cに制御する。また室内下部居住域に吹出口を設ける Displacement Ventilation 型の換気システムに関して浮力の影響を検討するため、等温ケース (CASE4)、及び吹出口対向壁のみを45°Cに加熱したケース (CASE11)を設定する。なおCASE8はCASE10と室中央水平面 (Z=500mm)のライン、図中点線)で線対称となるよう吹出・吸込口を設けている。このためCASE8はCASE10と同じ吹出・吸込口位置で浮力が逆向きに働く、即ち温度差が逆符号となった場合に相当する。天地を逆転させたCASE8を以下CASE8'として引用する<sup>注1)</sup>。等温ケースは吹出・吸込を含む全ての壁面を25°C一定に制御する。また結果の比較のため、等温CASE1, CASE3の風速測定結果及びブロック間流量図を掲載する (既報<sup>3)</sup>参照)。(4)実験条件 吹出風速は全てのケースにおいて3m/sに制御する。壁面温度は図1及び図2に示すようにアルミ製通水パネルに、温度制御されたブラインを供給することにより制御する。ブラインは高温側(45°C)2系統、低温側(15°C)2系統の計4系統で供給する。吹出空気及び模型内表面を約15°C及び45°Cに制御したが、吹出空気温度、表面温度測定結果のばらつきは各制御温度に対し最大でも1°C以内であった。また吹出・吸込空気の温度差より空気に伝達された熱量を求め、壁面温度制御用のブラインの往路・復路の温度差より模型内に投入した熱量を求めて両者

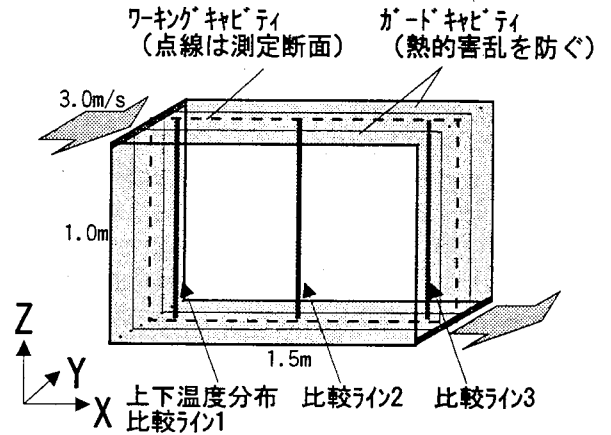


図1 二次元居室模型

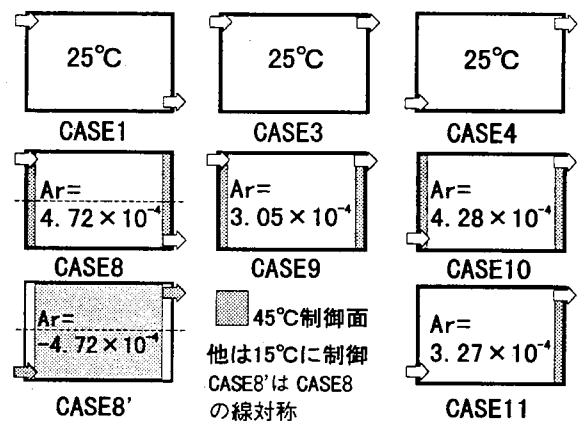


図2 測定ケース

のバランスをチェックしたところ、全てのケースにおいて5%以内の誤差であった。(吹出口及び吸込口の気流温度で測定した室内投入熱量は一壁面加熱の場合88.8W、二壁面加熱の場合121.2Wである<sup>注2)</sup>。)図2中に各ケースの吹出噴流のアルキメデス数 ( $Ar = g\beta\Delta\theta L_0 / U_0^2$ )を示す。但し、 $\Delta\theta$ は吹出・吸込口気流温度差、 $L_0$ 吹出口高さ、 $U_0$ は吹出風速である<sup>注3)</sup>。

### 3. 実験結果

(1)室内中央断面風速分布 (図3, 4) 等温で Displacement Ventilation 型のケース (CASE4)、及び壁面を加熱したケース (CASE8~11)のワーキングキャビティ中央断面における風速測定結果を示す。Displacement Ventilation 型のケース (CASE4, 10, 11)では床面に沿った水平吹出であり、吹出気流に誘引された左回りの大きな循環が観察される。キャビティ隅角部には室内の大きな循環とは逆向きの二次渦が観察される (図

3(1), (4), (5))。左上隅角部では、CASE4, CASE11 ではほぼ同等の大きさの二次渦が観察されるが、CASE10 では二次渦の大きさがやや大きくなっている。また天井面に沿った水平吹出のケース(CASE8, 9)では、右回りの大きな循環が観察され、キャビティ隅各部で同様の二次渦が観察される(図3(2), (3))。等温で同様の吹出・吸込口位置のケースと比較すると全体的流れ場の傾向は一致する。

(1-1) CASE4, 10, 11 の比較(図4(1), (2)) CASE4, 10, 11 では吹出気流のAr数が比較的小さいこともあり、等温・非等温の違いで風速分布に大きな差は生じていない。しかし天井面付近( $Z=1000\text{mm}$ )では、片面加熱のCASE11が等温のCASE4より風速が小さくなり、両面加熱のCASE10がCASE4より風速が大きくなっている。またCASE4とCASE11は吹出口対向壁( $X=1500\text{mm}$ )近傍では壁面上昇流の風速勾配が大きくなっているのに対し、CASE10では緩やかになっている。

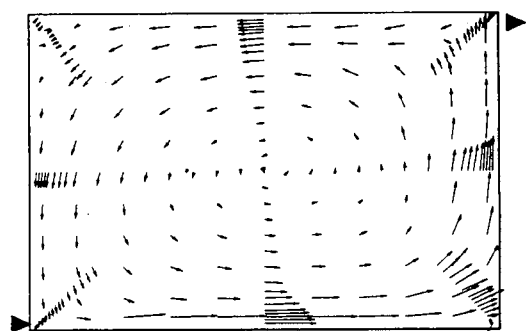
(1-2) CASE1, 8 の比較(図4(3), (4)) 天井面に沿って吹出し、床面位置から排気するCASE1(等温)とCASE8(非等温)では室中央部での風速分布は同じであるが、床面付近( $Z=0\text{mm}$ )での違いが大きく、CASE1に比べ、非等温のCASE8の風速がかなり小さくなっており、風速分布も乱れている。また、吹出口対向壁( $X=1500\text{mm}$ )付近でもCASE1に比べCASE8の風速が小さくなっている。吹出口対向壁の天井面位置から排気するCASE3とCASE9も同様の傾向を示している<sup>(\*)</sup>がCASE1, 8ほどの差は生じない。

(1-3) CASE8', 10 の比較(図3(4), (6)) CASE8を室中央水平ライン( $Z=500\text{mm}$ )で線対称としたCASE8'とCASE10を比較する。CASE8'は吹出温度を $45^\circ\text{C}$ 、左右両壁面を $15^\circ\text{C}$ に制御した場合のCASE10と同等である(CASE10と比較し、温度差( $45-15=30^\circ\text{C}$ )は等しく浮力の効果のみ逆向きに働くため)。

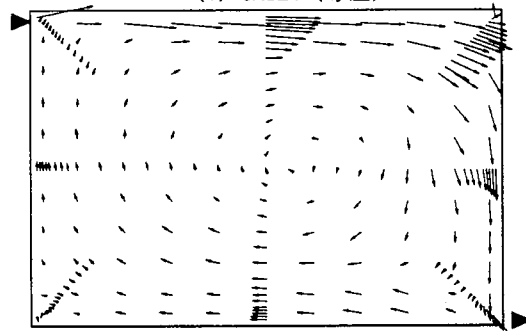
CASE8', 10ではAr数が逆符号でその絶対値ほぼ等しいが、流れ場の全体的性状はよく対応している。CASE8'は吹出口対向壁近傍では壁面上昇流の風速勾配が大きくなるのに対しCASE10は緩やかである。また天井付近でCASE8'の風速が小さくなっている。

(2) 室内中央断面温度分布(図5, 6) CASE8からCASE11の室中央断面温度分布を図5, 6に示す。各ケースとも風速分布には大きな差はみられなかったが温度分布図にはかなりの差が生じる。

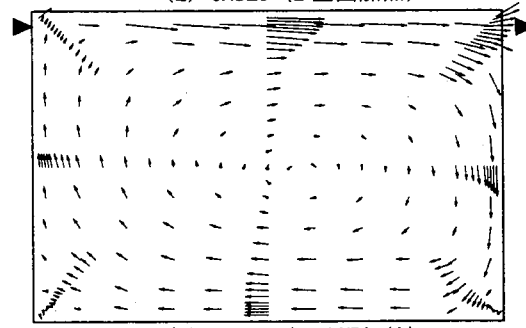
(2-1) CASE10, 11 の比較 片面加熱のCASE11では空間全体にわたり $17^\circ\text{C}$ 前後でほぼ一樣な分布となったのに比べ、両面加熱のCASE10では、循環流量が小さくなる吹



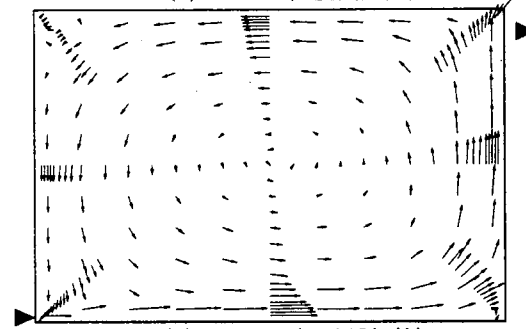
(1) CASE4 (等温)



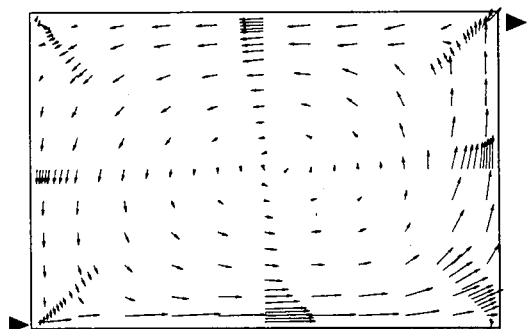
(2) CASE8 (2 壁面加熱)



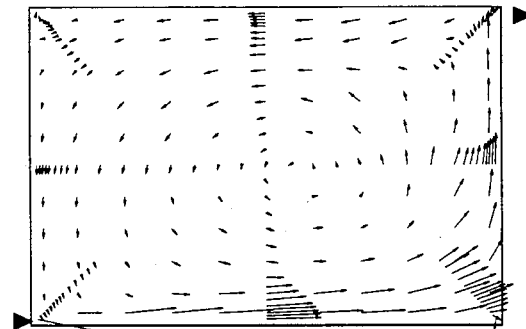
(3) CASE9 (2 壁面加熱)



(4) CASE10 (2 壁面加熱)

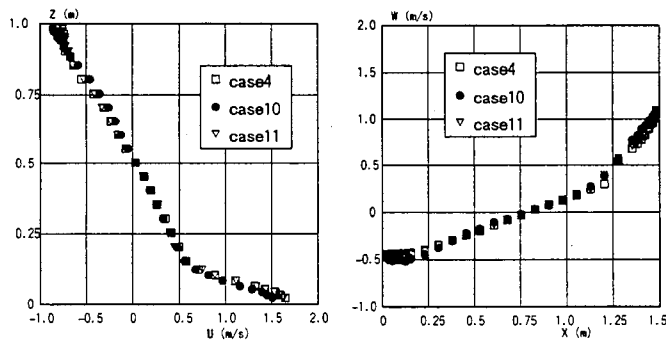


(5) CASE11 (1 壁面加熱)



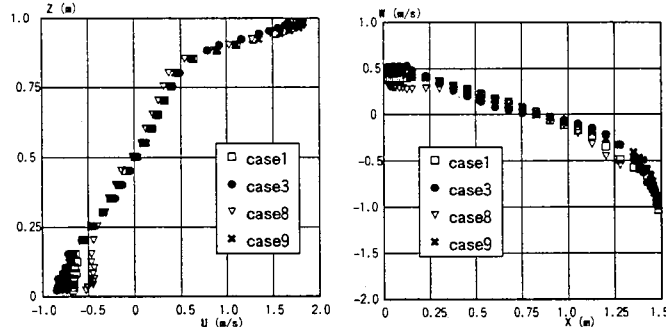
(6) CASE8' (CASE8 の線対称)

図3 室中央断面風速分布



(1) u成分のZ方向分布  
(X=750, Z=0~1000mm)

(2) W成分のX方向分布  
(Z=500, X=0~1500mm)



(3) u成分のZ方向分布  
(X=750, Z=0~1000mm)

(4) W成分のX方向分布  
(Z=500, X=0~1500mm)

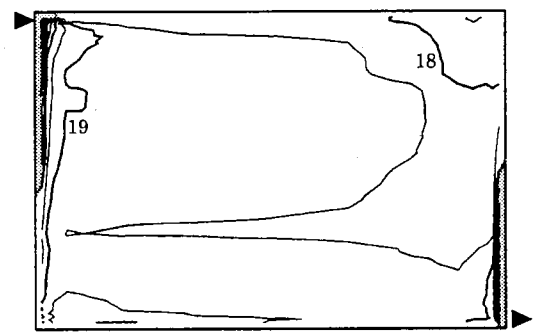
図4 室中央断面風速分布

出口側壁付近(X=0mm)で高温域が生じている。また室内の中心部も18.5℃前後とCASE8に比べ1.5℃以上温度が上昇している。測定ライン1(図1、図6(1))に着目すると、床面でCASE11に比べCASE10の温度が上昇している。これは吹出口側壁からの対流熱伝達された熱が循環流により床面まで直接輸送されたためと考えられる。測定ライン2(図1、図6(2))では、床面に近づくにつれCASE10の温度勾配が大きくなっている。これは大きな床面吸熱があることを示す。測定ライン3(図1、図6(3))では、温度の絶対値に差はあるが分布の傾向は同様である。

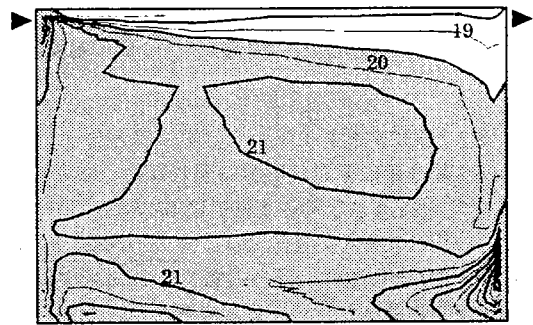
(2-2)CASE8,9の比較 測定ライン1(図1、図6(1))では温度の絶対値に差はあるものの分布の性状は同様である。測定ライン2(図1、図6(2))では天井付近でCASE9の温度勾配が大きくなっている。測定ライン3(図1、図6(3))ではCASE8に比べCASE9が床面(Z=0mm)での温度が高くなっている。これはCASE8では循環流により加熱壁上部から輸送された熱量の多くが吸込口から排出されるのに対し、CASE9ではその熱量が排出されず、室内に滞留するためである。

(2-3)CASE8,10の比較 CASE8は流れが比較的安定となるため、上下方向温度は比較的一様の分布であり、流れ場全体がよく攪拌されている。CASE10は床面付近での温度勾配が大きく、安定層流的な様相を示す。

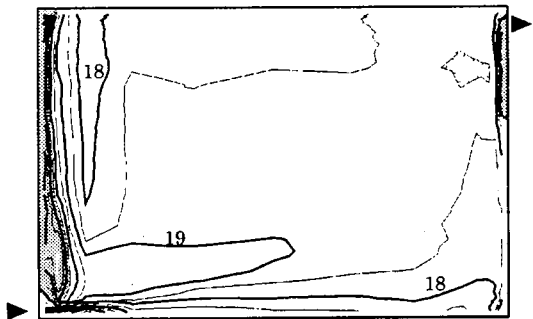
(3)ブロック間の流量(図7) 吹出口から流入する換気流量に対して、模型内での程度の循環流量が生じているか、特に模型空間の下部居住域に流出入する流量を解析する。このため、模型のZ=0~500mmの領域(対象空間



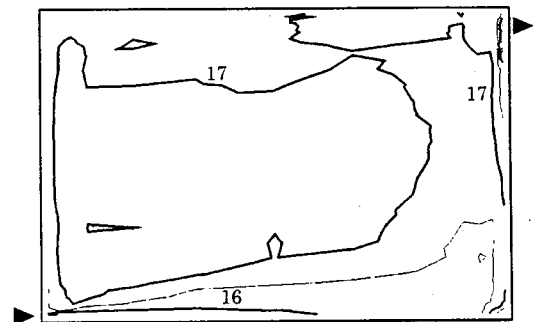
(1) CASE8



(2) CASE9



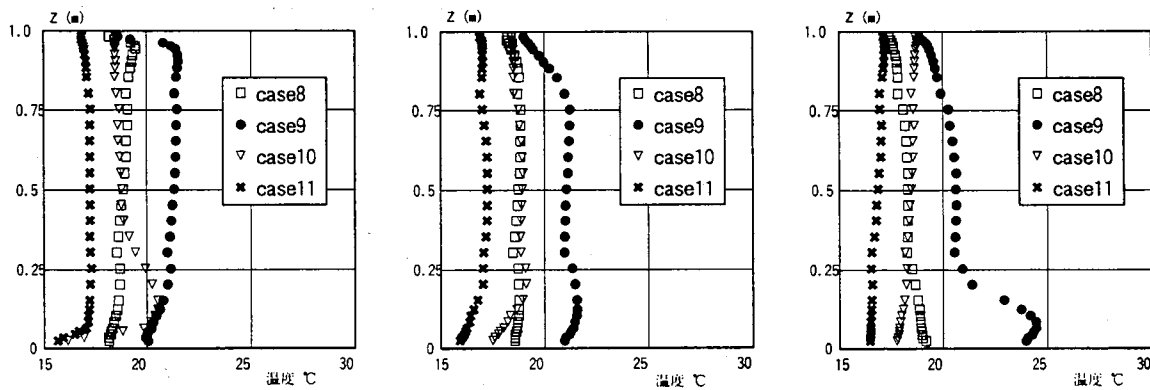
(3) CASE10



(4) CASE11

図5 室中央断面温度分布  
(20℃以上をグレーで着色)

を領域①~④の4つの領域に分割し、領域③+領域④を居住域と設定、図7)を居住域と想定し、居住域と室上部空間の境界面における流出入量を算出し、図7に示す。流量算出方法等は前報参照。(3-1)CASE4,10,11,8'の比較 室内下部居住域に吹出口を設ける Displacement Ventilation 型のケース(図7(3),(6)~(8)、CASE4,10,11,8')を比較する。領域④→③→②を通過する平均流量はCASE4では4.2、CASE10では4.2、CASE11



(1) 温度のZ方向分布(X=100) (2) 温度のZ方向分布(X=750) (3) 温度のZ方向分布(X=1400)

図6 室中央断面温度分布

では4.2、CASE8'では4.3とほぼ同じ値となり、明確にブロック間流量に浮力の影響は現れない。また領域②→①→④)を通過する平均流量ではCASE8'が3.1と他のケースに比べ若干小さくなる。(3-2) CASE3,9の比較CASE3,9では全体的に、浮力の働くCASE9がCASE3に比べ上向きの流量が大きくなる傾向があるようである。CASE1、CASE8は大きな変化はない。

#### 4. 結論

- (1) 吹出風速を3m/sとした場合の等温・非等温ケースで風速分布を測定した結果、室中央ではほとんど差は無いが、加熱壁面近傍において明確な差が現れた。
- (2) 吹出・吸込口位置が同じ場合、壁面を加熱すると居住域を循環する流量は若干小さくなった。
- (3) 温度分布を測定した結果、上下分布はほぼ均一であるが、模型隅各部の二次渦が生じている箇所では熱溜まりが観測された。

[注] 注1:紙面の都合で割愛するが等温CASE1をZ=500mmのラインで線対称とした場合、CASE4とかなり良い精度で一致した。注2:投入熱量及び熱量バランスのチェックには次の数値を用いた。空気密度 1.2kgf/m<sup>3</sup>、空気比熱 0.24kcal/kgf°C、7-キグキヒ<sup>\*</sup>ティ体積 0.45m<sup>3</sup>、換気量 0.018m<sup>3</sup>/s、一面加熱の場合の温度差 4.1°C(吹出 15.1°C、吸込 19.2°C)、二面加熱の場合の温度差 5.6°C(吹出 14.9°C、吸込 20.5°C)、1kcal/h=1.16W 注3:重力加速度 g=9.8m/s<sup>2</sup>、温度膨張率 β=1/300、吸込口温度はスリット高さ方向に2mm間隔で10点測定し、その平均値を用いた。また一般的居室を対象としたスロット吹出(吹出風速5m/s、スロット幅0.02m)で、吹出温度差が10°Cの場合、Ar=2.61×10<sup>-4</sup>となり実験ケースとほぼ対応する。注4:等温ケースから非等温ケースにした場合、模型Y方向の風速分布の2次元性が若干(5%程度)悪くなった。【参考文献】(1)小林光、村上周三、加藤信介、伊藤一秀: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1) Purging Flow Rate 検討用精密室内気流模型実験、建築学会年次大会、1996.9 (2)伊藤一秀、村上周三、加藤信介、小林光: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2) 流れ場・濃度場の予備CFD解析と居住域PFRの検討、建築学会年次大会、1996.9 (3)鈴木信夫、伊藤一秀、加藤信介、村上周三、小林光、林立也: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) Purging Flow Rate 検討用精密模型を用いた室内気流測定、空気調和衛生工学会講演論文集、1996.9 (4)伊藤一秀、村上周三、加藤信介、小林光: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) CFD解析による居住域平均濃度・PFRの検討、空気調和衛生工学会講演論文集、1996.9

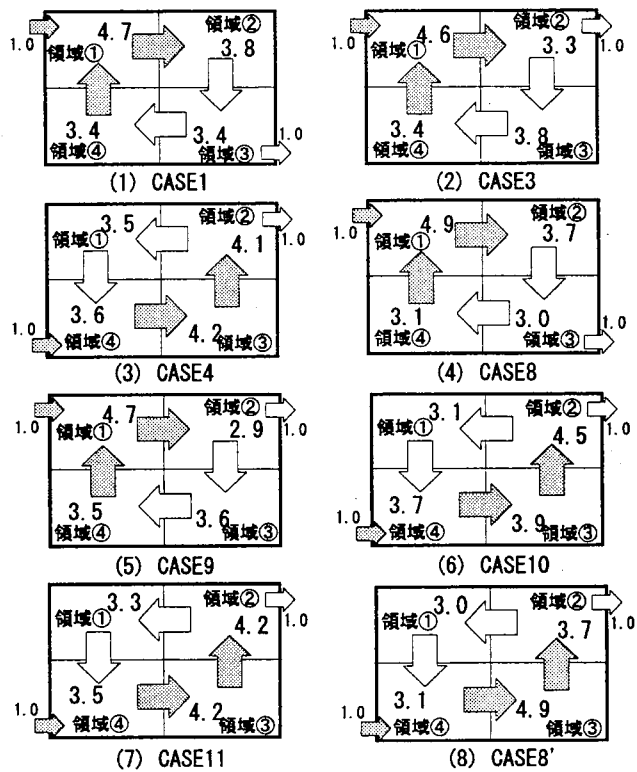


図7 ブロック間流量

\*1 東京大学 大学院

\*2 東京大学生産技術研究所 助教授

\*3 大成建設(株)

\*4 東京大学生産技術研究所 受託研究員(静岡ガス(株))

\*5 東京大学生産技術研究所 教授