

精密模型を用いた室内気流測定 - 居住域に発熱体を設置した場合の検討

正会員 ○大川 泉*¹ 同 伊藤一秀*²
同 加藤信介*³ 同 村上周三*⁴

精密模型 Laser Doppler Velocimetry Purging Flow Rate

1. 序 本報を含む一連の研究は室内局所領域の濃度分布形成の構造を評価することを目的とする^{文 1,2,3}。本報は数値解析の検証用データとなり、更に実験的 PFR 解析の基礎となる精密な室内気流実験について、浮力流が生じる場合の気流性状に関し報告する。

2. 実験概要 2-1. 模型概要 模型は一般的居室をモデル化したもので 1500(x) × 300(y) × 1000mm(z)。高さ 200mm のスリット型吹出・吸込口を持つ。詳細は既報^{文 3}参照。2-2. 風速測定 2次元 LDV(Laser Doppler Velocimetry)を用いて平均風速・各種乱流統計量を測定^{注 1}。2-3. 測定ケース(図 1) 吹出風速 2m/s において、居住域(室内模型の下半分の領域を想定)中心位置に 100°C で発熱する発熱体(250(X) × 300(Y) × 250mm(Z))を設置し^{注 2}、吹出・吸込口位置を変化させて 3 ケース(case17~19)設定。発熱体を発熱させない等温ケースの測定も行う(case17'~19')^{注 3}。2-4. 実験条件 等温ケース(case17'~19')は吹出空気温度、模型内壁面温度を 25°C 一定に制御。非等温ケース(case17~19)は発熱体表面温度を 100°C、吹出空気・その他壁面を 25°C 一定に制御。等温ケースの場合、吹出空気温度、模型内表面温度のばらつきは最大でも 1°C 以内、非等温ケースの場合、吹出空気温度、模型内表面温度のばらつきは最大でも 1°C 以内であったが、発熱体表面温度は最大で 2.8°C のばらつきが生じた^{注 4}。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、壁面温度調整用のブラインの往路・復路の温度差、及び発熱体に投入された電圧・電流より模型内に投入された熱量を算出し、両者のバランスをチェックしたところ、全てのケースで 10% 以内の誤差であった^{注 5}。図 1 中に各ケースの吹出噴流のアルキメデス数^{注 6}、図 2(1)中に各壁面及び発熱体の対流熱伝達率(α_c , kcal/h·°C·m²)の概算値を示す^{注 7}。

3. 実験結果・考察 3-1. 流れの 2次元性の検討 図は割愛。吹出口に近い天井付近で吹出噴流がやや凸型になる風速分布を示したが、ばらつきは±10%以内におさまり、ほぼ 2次元性的である。その他の領域ではほぼ完全な 2次元風速分布が得られた。3-2. 室中央断面風速分布(図 2) 模型内を全て等温とした case17'では右回りの大きな循環が観察され、更に循環流が発熱体(発熱無し)に衝突して生ずる上昇流により発熱体上部で左回りに循環する箇所が見られる。発熱体を 100°C に加熱した case17 では、吹出口から吸込口に至る流れの性状は case17'と同様であるが、発熱体左側の領域では、case17'と逆向きの左向きの循環が見られる。これは発熱体からの浮力の影響と考えられる。図 4-1~3 に各ケース(発熱の有無の両者)における X=750mm、及び Z=500mm ライン(図 2 中点線)の平均風速分布を示す。天井面に沿って吹出口を設置した case17, 17'及び、case18, 18'の各々において発熱体上部で風速 W 成分に相違が見られ、特に吹出側壁面付近で発熱の有無により風向が逆転する領域が観察される。この傾向は case17, 18 の両者で同様であり、発熱体左側の領域において、発熱体から生じた熱上昇流が、相対的に室内を壁面に沿って循環する移流より強いことを示す。床面に沿って吹出口を設

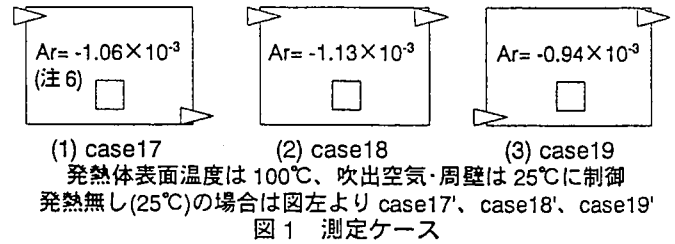


図 1 測定ケース

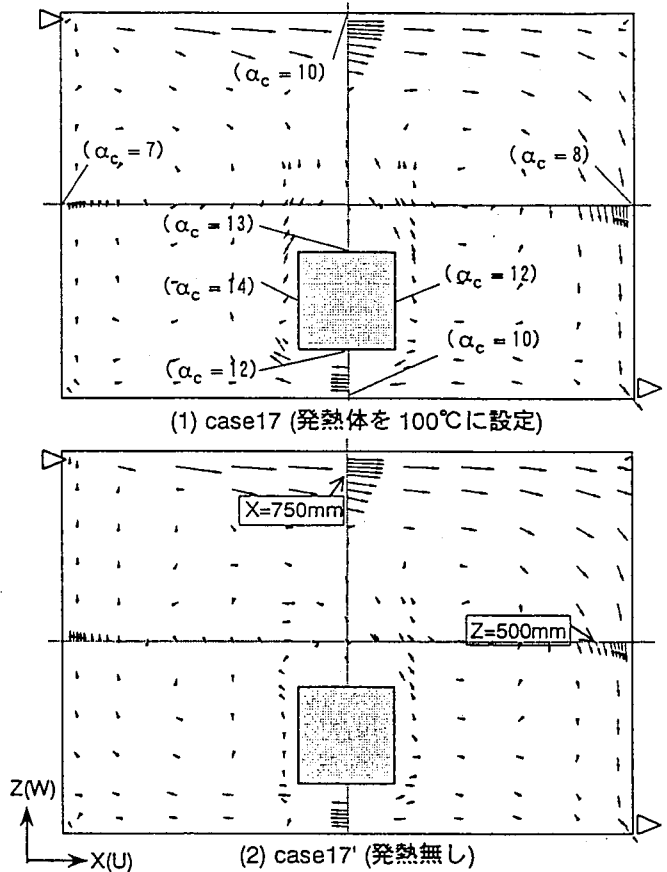


図 2 室中央断面平均風速分布

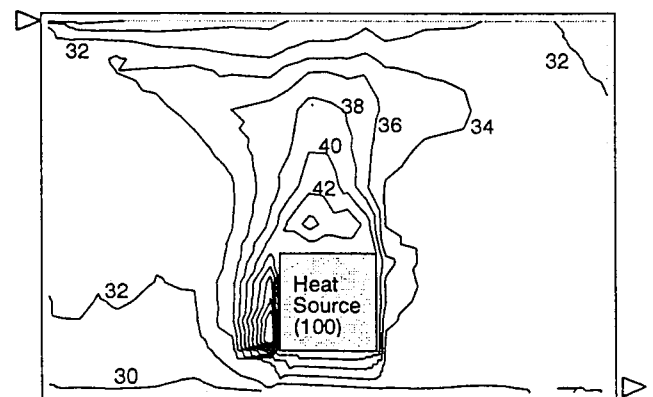


図 3 室中央断面平均温度分布 (case17)

置した case19, 19' では、発熱体上部から天井に至る領域で風速 U 成分に相違が見られ、特に天井付近で発熱の有無により風向が逆転する領域が観察される。3-3 考察 天井面沿いの吹出噴流により室内に形成される循環流は極めて強力であり、居住域中央(滞留域)に設置した発熱体による浮力流はその性状を大幅に変化させるには至らない。3-4 室中央断面温度分布(図 3, 5) 各ケースとも Ar 数は 10^{-3} のオーダーであり、 25°C の吹出噴流は急速に室内空気と混合し、噴流部の低温域は顕著でない。 25°C の壁面・床及び天井面は室温に対し 7°C 以上低温であるが、その影響は薄い境界層内に留まっており、同じく室内にこれらの影響による大きな低温域は観察されない。しかし天井面に沿って吹出口を設置した case17, 18 において発熱体上部で温度が高くなっており、サーマルブリュームが生じていることが観察される。case19 では吹出噴流が直接発熱体に衝突し、更に発熱体上部で左向きの循環流が生じているため、発熱体上部よりやや左側の領域で高温域が観察される。図 2(1)中に case17 の各壁面における対流熱伝達率(α_c , $\text{kcal}/\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2$)の概算値を示す。吹出噴流の到達域である天井面において $\alpha_c=10$ と大きい値となる。また発熱体周辺は不安定流れ場であるため対流熱伝達率は 13 前後と周壁と比べやや大きい値を示す。これらの結果は概ね既往の結果に対応している^{3,4)}。3-5 乱れの分布性状(図 6) 本測定では各種乱流統計量(風速変動の r.m.s. $\sqrt{u_i'^2}$ Reynolds Stress $u_i'u_j'$)を詳細に測定しているが、紙面の都合で case17 及び case17' の Reynolds stress($u'w'$)のみ示す。乱れの強さ($\sqrt{u'^2}/U_{in}$)は最大で 0.14 程度である。また $\sqrt{u'w'}/U_{in}$ は最大で 0.085 程度である。これは浮力流の有無で値があまり変わらない。 $u'w'$ 成分のZ方向分布を見ると、case17, 17'の両者において吹出噴流の到達域で値が大きく最大で 0.0075 程度である。また発熱体上部で case17 の値が若干大きくなっている。その他はほぼ0である。

4. 結論 (1) 精密模型内の居住域に発熱体を設置した場合の平均風速分布及び乱流統計量を詳細に測定した。これは LES 等による室内気流シミュレーションの精度検証の基礎となるものである。(2) 天井に沿って吹出口を設置したケースで発熱体を 100°C で発熱させた場合、 $Z=500\text{mm}$ ラインにおいて、発熱体上部で鉛直方向風速 W 成分の値が大きくなっており、発熱体上部に浮力の効果で流れが上昇するサーマルブリュームが観察された。

[記号] U_i : 平均風速, U_{in} : 吹出風速, u_i' : 風速変動成分, $u_i'u_j'$: Reynolds stress [注] [1] Seeding 粒子には DOP(ジブチルセバチン酸メチル)ミストを使用。データ数は 15000 個以上を確保。[2] 発熱体表面は7mm厚面、内表面に7mm径の穴を密に這わせ一様温度となるようにした。ガラス板を結めることで発熱体内部での温度成層を防止。[3] 本実験は模型縮尺を 1/3、風速縮尺を 1/1、温度差縮尺を 2/1 と想定した場合、発熱縮尺は 2/9。実験での発熱体発熱量は約 200W であり、実物では約 900W の発熱量に対応。模型換気回数 96 回/h は実物では 32 回/h に相当。[4] 発熱体表面温度は Cr-Ar 型熱電対により測定。最も移流の強い発熱体下部において、温度のばらつきが大きくなった。[5] 投入熱量及び熱量バランスのチェックには次の数値を使用。空気密度 $1.205\text{kg}/\text{m}^3$ 、空気比熱 $0.24\text{kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$, working cavity 体積 0.45m^3 , 換気量 $0.012\text{m}^3/\text{s}$, 吹出・吸込空気温度差 6.5°C (吹出 25.0°C , 吸込 31.5°C), $1\text{kcal}/\text{h}=1.16\text{W}$ 、 1Hz あたり 1 本当たり 57.0Ω (1 発熱体当たり 4 本使用)、電圧 58V 。[6] 7mm径の穴 ($Ar = g\beta\Delta L_0/U_{in}$) の算出には次の数値を使用。 $\Delta\theta$: 吹出・吸込口温度差, L_0 : 吹出高さ, U_{in} : 吹出風速, g : 重力加速度 $9.8\text{m}/\text{s}^2$, β : 温度膨張率 $1/300$ 。[7] 対流熱伝達率の算出には以下の数値を使用。 T_w : 図中指示点における各壁面より 20mm 位置(第一測定点)の空気温度 $^{\circ}\text{C}$, T_{wall} : 壁面温度 $^{\circ}\text{C}$, q_{wall} : 各壁面、床面、天井面においてブライの往路復路の温度差より算出した面平均対流熱伝達率 $\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2$, 放射は無視(壁面は7mm厚面) [参考文献] [1] 伊藤, 村上, 加藤: 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 11): 日本建築学会関東支部, 1998 [2] 伊藤, 村上, 加藤: 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 12): 関東支部, 1998 [3] 大川, 村上, 加藤, 伊藤: 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 13): 関東支部, 1998 [4] 羽生, 村上, 加藤, 横井: 実大居室における暖房時の各面の対流熱伝達率の測定: 建築大会 1994

*1 静岡ガス(株) *2 東大大学院
*3 東大生研 助教授 工博 *4 東大生研 教授 工博

