

住宅の自然換気・通風に関する研究

間仕切り壁を考慮した単純住宅モデルの通風気流の可視化・PIV 解析

伊藤 瑞己 指導教員 有波 裕貴 助教

1 研究目的

近年、家庭部門におけるエネルギー消費量は、室内の快適性の追求や新たな家電製品の普及により、増加傾向にある。住宅においては、再生可能エネルギーを有効に利用することで室内快適性等を向上させる室内環境調整手法の開発が望まれており、日本では中間期および夏季の室内環境調整手法として自然通風が利用されている。自然通風は室内気流速度の上昇と排熱効果をもたらし、体感温度を低下させるため、冷房使用頻度の低下及び冷房用エネルギーの削減が見込まれる。

住宅の気流性状を分析するためには、住宅周辺で生じる外部風の変動、住宅の間取りや開口条件などを、総合的に考慮する必要がある。本研究では、間仕切り壁を設置した単純住宅モデルを対象に室内気流の可視化・解析を行うことで、通風時における室内の気流性状を把握することを目的とする。

2 研究概要

2.1 実験概要：気流性状の分析には、流れの可視化及び時系列的に連続な速度情報を非接触で取得可能な粒子画像流速測定法^{文1)}（以下 PIV^{※1)}を用いる。図1に PIV 測定

の概要、図2に模型の概要を示す。実験は4,000[mm]（幅）×1,000[mm]（高さ）×1,000[mm]（奥行き）の可視化用風洞^{※2)}で行い、PIV 測定対象は模型の中心高さ（z=100[mm]）の水平断面とする。模型は、200[mm]（幅）×200[mm]（高さ）×200[mm]（奥行き）の立方体で、厚さ3[mm]の透明なアクリル板で作製されている。側面には50[mm]（幅）×50[mm]（高さ）の開口部を設けている。模型は、対面に開口部を設けたモデル A、隣り合う面に開口部を設けたモデル B の2種類とし、開口部のある壁面同士を接続することで間仕切り壁を模擬する。

2.2 実験 case の設定条件：表1に実験 case、図3に開口条件、図4に実験時の風向を示す。開口条件は2種類のモデルを組み合わせた4パターンとする。風向は短辺に垂直な向き（風向①）と、長辺に垂直な向き（風向②）の2条件を設定し、計8 case の実験を行う。実験時の上空風速は基準高さ700[mm]で1.85[m/s]（Re=約5,000[-]）とする。

2.3 PIV 測定の概要：表2に測定機器の仕様、表3に PIV 測定パラメータを示す。レーザは3台設置し、それぞれの照射断面を一致させる。シーディングにはスモーク

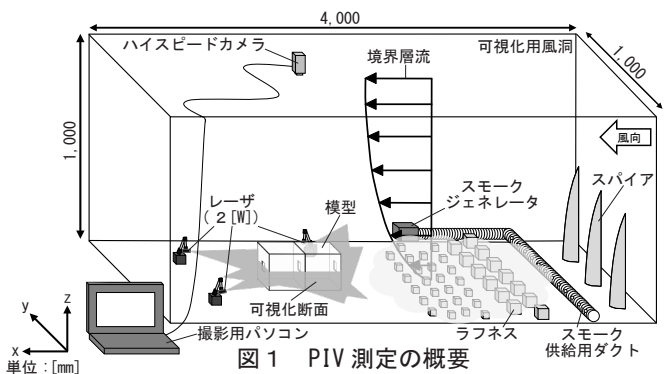


図1 PIV 測定の概要

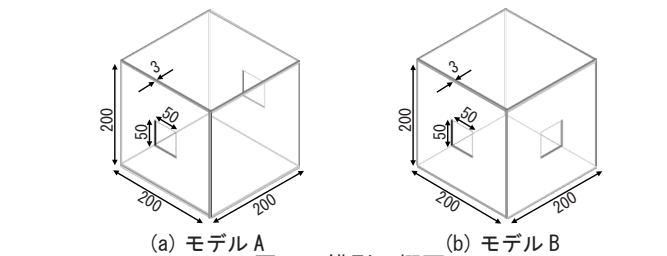


図2 模型の概要

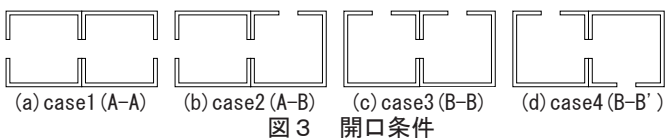


図3 開口条件

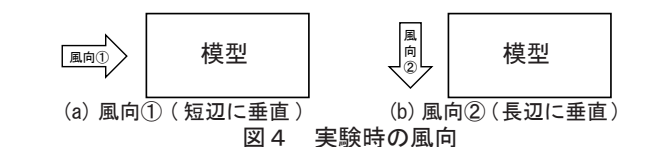


図4 実験時の風向

表1 実験 case

case	開口条件	風向
case1	case1-1	①
	case1-2	②
case2	case2-1	①
	case2-2	②
case3	case3-1	①
	case3-2	②
case4	case4-1	①
	case4-2	②

表2 測定機器の仕様

カメラ	Photron FASTCAM SA3 × 1台 (1,024[pixel] × 1,024[pixel]、250[fps])		
レーザ	LD励起： YAG/YVO ₄ レーザ 波長：532[mm]	出力：2[W]	DPGL-2W × 3台
スモークジェネレータ	DAINICHI：PORTA SMOKE PS-2005 × 1台		
撮影ツール	Photron FASTCAM Viewer ver4.0.2		
解析ツール	FlowExpert ver1.2.13		

表3 PIV 測定パラメータ

PIV解析手法	直接相互相関法	
対象断面	水平断面 (z=100[mm])	
カメラ1台の画像サイズ[pixel]	1,024 × 1,024	
キャリブレーション値 ^{※3)} [mm/pixel]	0.77	
対象領域[mm]	788 × 788	
撮影時のフレーム間隔[fps]([msec])	250(4)	
シャッタースピード[sec]	1/250	
解析対象	室外	室内
解析時のフレーム間隔[msec]	4	8
検査領域 ^{※4)} [pixel]	20 × 20	
探査領域 ^{※5)} [pixel]	±16	
解析可能風速 ^{※6)} [m/s]	最小風速	0.193
	最大風速	3.080
		0.096
		1.540

ジェネレータを使用する。スモークの供給は、風上側の可能な限り気流場に影響が生じない位置に、左右対称となるよう設置したダクトから行う。流れの中にスモークを混入させ、シート状レーザで可視化し、風洞外側上部に設置したハイスピードカメラ (Photron FASTCAM SA3) で撮影することで、可視化画像を取得する。得られた可視化画像の PIV 解析には FlowExpert ver.1.2.13 を用いる。

3 実験結果

図5に代表的な case における平均風速ベクトル分布を実験時の上空風速 1.85[m/s] に対する風速比で示す。また、室内の風速ベクトルの長さは室外の2倍で表す。

(a) case1-1 (開口条件 A-A、風向①、図5(a)) : 風上側開口部から風速比 0.16 ~ 0.32[-] の気流が流入する。間仕切り壁周辺では、風上側の室から風下側の室へ風速比 0.16 ~ 0.32[-] の気流が流入し、風下側開口部から流出する。風下側開口部のある壁面に遮られた気流は、壁面に沿って室内を循環する。

(b) case1-2 (開口条件 A-A、風向②、図5(b)) : 左右の開口部から、風速比 0.16 ~ 0.27[-] の気流が流入と流出を交互に繰り返す。左側開口部から気流が流入する場合、左室の風下側壁面に沿って右室へ流れ、それと同時に右室では、間仕切り壁から右側開口部に向かう風速比 0.11 ~ 0.16[-] の直線的な気流が発生する。

(c) case3-1 (開口条件 B-B、風向①、図5(c)) : 風下側開口部から風速比 0.16 ~ 0.32[-] の気流が流入し、風下側壁面に沿って室内を循環する。間仕切り壁周辺では、風下側の室から風上側の室へ気流が流入し、風上

側の室では間仕切り壁から風上側開口部に向かう風速比 0.16 ~ 0.27[-] の直線的な気流が発生する。

(d) case3-2 (開口条件 B-B、風向②、図5(d)) : 左右の開口部から、風速比 0.11 ~ 0.22[-] の気流が流入と流出を交互に繰り返す。左側開口部から気流が流入する場合、流入した気流は間仕切り壁に向かい、それと同時に右室では、間仕切り壁から右側開口部に向かう風速比 0.11 ~ 0.22[-] の気流が発生する。

(e) case4-1 (開口条件 B-B'、風向①、図5(e)) : 風下側開口部から風速比 0.16 ~ 0.32[-] の気流が流入し、風下側壁面に沿って室内を循環する。間仕切り壁周辺では、風下側の室から風上側の室へ気流が流入し、風上側の室では風上側壁面に向かう風速比 0.16 ~ 0.22[-] の直線的な気流が発生する。

(f) case4-2 (開口条件 B-B'、風向②、図5(f)) : 風上側開口部から風速比 0.16 ~ 0.32[-] の気流が流入し、右側壁面に沿って室内を循環する。間仕切り壁周辺では右室から左室へ気流が発生し、左室では間仕切り壁の開口部から放射状に風下側壁面の開口部、左側壁面、風上側壁面へと向かう気流が見られる。

4 まとめ

- ① case1-1、case4-2 では、風上側開口部から気流が流入し間仕切り壁を通過後、風下側開口部から室外へ流出した。
- ② case1-2、case3-2 では、左右の開口部から交互に気流が流入出した。間仕切り壁周辺では流入と同時に流入気流と同方向の気流が発生した。
- ③ case3-1、case4-1 では、風下側開口部から気流が流入し、間仕切り壁を通過後、風上側の室で直線的な気流分布を形成する。

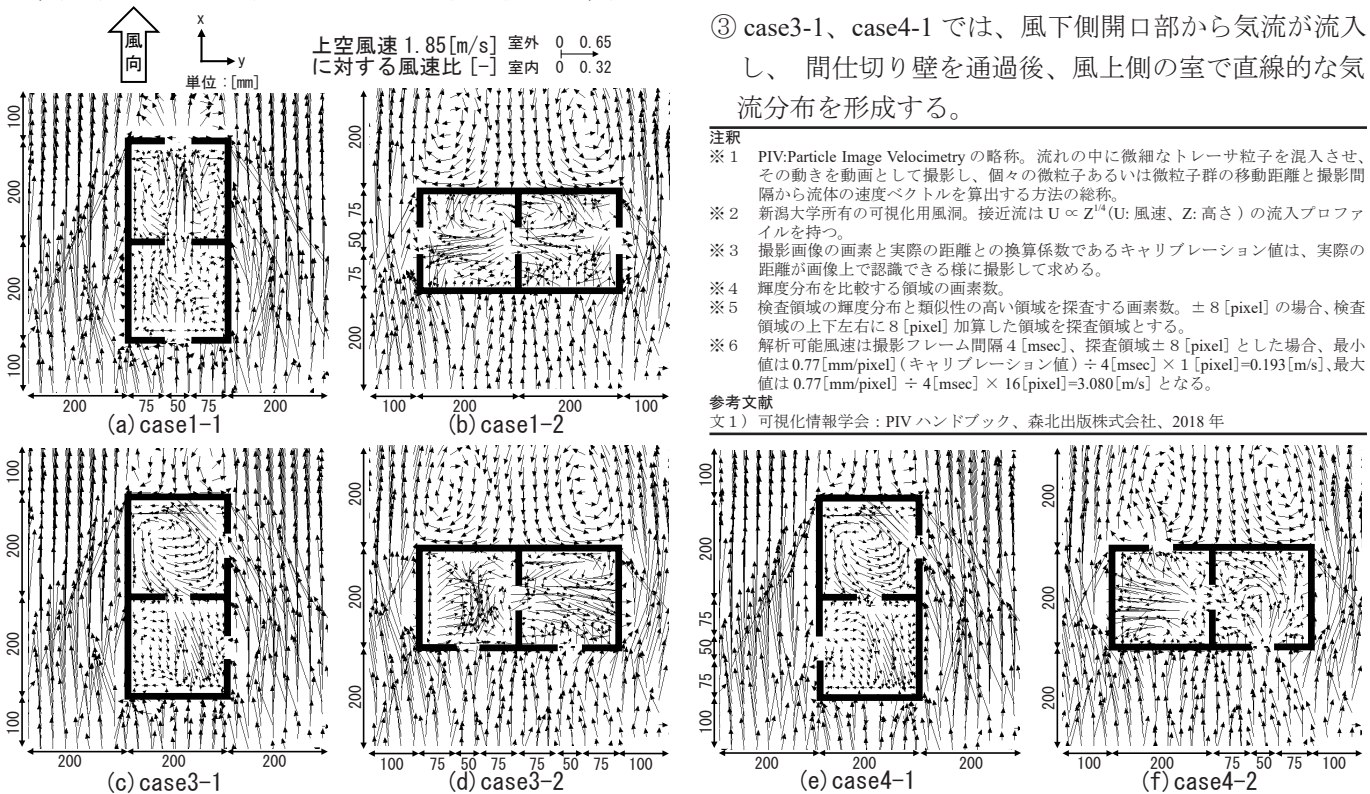


図5 代表的な case における平均風速ベクトル分布 (模型の中心高さ (z=100[mm]) の水平断面)

注釈

- ※1 PIV: Particle Image Velocimetry の略称。流れの中に微細なトレーサ粒子を混入させ、その動きを動画として撮影し、個々の微粒子あるいは微粒子群の移動距離と撮影間隔から流体の速度ベクトルを算出する方法の総称。
- ※2 新潟大学所有の可視化用風洞。接近流は $U \propto Z^{\frac{1}{4}}$ (U: 風速、Z: 高さ) の流入プロファイルを持つ。
- ※3 撮影画像の画素と実際の距離との換算係数であるキャリブレーション値は、実際の距離が画像上で認識できる様に撮影して求める。
- ※4 輝度分布を比較する領域の画素数。
- ※5 検査領域の輝度分布と類似性の高い領域を探索する画素数。±8 [pixel] の場合、検査領域の上下左右に8 [pixel] 加算した領域を探索領域とする。
- ※6 解析可能風速は撮影フレーム間隔4 [msec]、探索領域±8 [pixel] とした場合、最小値は $0.77[\text{mm}/\text{pixel}] (\text{キャリブレーション値}) \div 4[\text{msec}] \times 1[\text{pixel}] = 0.193[\text{m}/\text{s}]$ 、最大値は $0.77[\text{mm}/\text{pixel}] \div 4[\text{msec}] \times 16[\text{pixel}] = 3.080[\text{m}/\text{s}]$ となる。

参考文献

文1) 可視化情報学会: PIVハンドブック、森北出版株式会社、2018年