粒子画像流速測定法(PIV)を用いた 住宅の自然換気・通風に関する研究

新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻 社会基盤・建築学コース(建築系)

小林海斗

赤林伸一教授

指導教員

近年、自然エネルギーの積極的活用が求められる中、我 が国で夏季における温熱環境改善手法の一つとして行わ れてきた通風が改めて注目を集めている。

適切な換気・通風計画を行う上で、通風時の室内外気流 性状を正確に把握することは極めて重要である。





複雑な流体現象を解析する有力な手法の1つとして、粒 子画像流速測定法(PIV:Particle Image Velocimetry)^{注1)} が挙げられる。

注1) 本研究におけるPIV測定には直接相互相関法を用いる。

本研究では、最初に大型境界層風洞内^{注2)}において、一般 に通風を得る事が困難と考えられる、同一壁面上に2つ の開口を持つ2棟の単純住宅モデルを対象としてPIV測定 を行う。

注2) 新潟工科大学所有の風洞。





又、2棟間を通過する気流を効率的に室内へ誘引するための風力換気促進装置(ガイドベーン)を各開口部に設置した場合についても同様にPIV測定を行い、隣接する2棟の住宅における室内外気流性状の特性を明らかとする。





平成27年度修士論文発表

2016/2/9

次に、気流制御が可能な人工気候室^{注3)}において、サーマ ルマネキン(人体と同様に発熱する人体模型)を設置し通 風時のPIV測定を行う。

注3) 東京工芸大学所有の人工気候室。

人工気候室の温度及び風速を変化させて人体周囲の通風時の気流分布に関するPIV測定を行い、熱上昇流を考慮した人体周辺気流の特性を明らかにする。



これらのPIV測定を行うことで、通風時における室内外気 流性状の特性を把握するとともに、通風により室内へ流 入した気流が人体周囲の流れ場へどのように作用するか を把握することを目的とする。



2 棟の単純住宅モデルを対象とした 室内外気流性状のPIV測定(測定①)

2.1 実験対象建物の概要

実験対象は同一壁面上に40mm×40mmの2開口を設けた、 一辺が300mmの単純住宅モデル2棟とする。

モデルは厚さ3mmの透明なアクリル板で作成されている。





表1 測定①における実験条件

	実験	ガイドベーン	レの取付位置	ガイドベーン	隣棟間隔
	case	風上側開口部	風下側開口部	のサイズ[mm]	[mm]
00001	1-1	Ámr. I.	ám. I		100
Caser	1-2	無し	無し	-	200
	2-1	· 風上側		40	100
0	2-2		国下侧	40	200
69962	2-3		風下頂	20	100
	2-4				200
case3	3-1		風上側	40	100
	3-2				200
	3-3	風「側		20	100
	3-4				200

2棟の単純住宅モデルの開口を設けた壁面を正対させ、風向に対して並列に設置し、ガイドベーンの有無及び取付位置の計3パターンの開口条件で実験を行う。





(a) case1-1(d) case1-1の配置図1 測定①における実験対象モデルの概要



	実験	ガイドベーンの取付位置		ガイドベーンの	隣棟間隔
	case	風上側開口部	風下側開口部	サイズ[mm]	[mm]
02001	1-1	4777-1	ÁTT. I	40	100
00301	1-2	兼し	兼し	40	200
	2-1	- 風上側 風下側 40 20	風下側	40	100
00002	2-2				200
Gasez	2-3			20	100
	2-4		ΖΟ	200	
case3	3-1	同工個	風上側	10	100
	3-2			40	200
	3–3	風下咽		20	100
	3–4				200

表1 測定①における実験条件





2016/2/9

表1 測定①における実験条件

	実験	ガイドベーンの取付位置		ガイドベーンの	隣棟間隔
	case	風上側開口部	風下側開口部	サイズ[mm]	[mm]
case1	1-1	毎 日		40	100
	1-2			10	200
case2	2-1	風上側	風下側	40	100
	2-2				200
	2-3			20	100
	2-4				200
	3-1		風上側	10	100
case3	3-2			40	200
	3–3	風「則		20	100
	3-4	-		20	200





平成27年度修士論文発表

2016/2/9

	実験	ガイドベーンの取付位置		ガイドベーンの	隣棟間隔
	case	風上側開口部	風下側開口部	サイズ[mm]	[mm]
casel	1-1	年 日	ÁTT. 1	10	100
00001	1-2	兼し	新 し	40	200
	2-1	風上側	風下側	40	100
00000	2-2				200
Casez	2-3			20	100
	2-4				200
case3	3-1	同十四	風上側	40	100
	3–2			40	200
	3–3	風下側		00	100
	3–4			20	200

表1 測定①における実験条件





6/2/9

表1 測定①における実験条件

	実験	ガイドベーンの取付位置		ガイドベーンの	隣棟間隔
	case	風上側開口部	風下側開口部	サイズ[mm]	[mm]
00001	1-1	無し	無し	-	100
Caser	1-2	無し	無し	_	200
	2-1	風上側	風下側	40	100
	2-2	風上側	風下側	40	200
Gasez	2-3	風上側	風下側	20	100
	2-4	風上側	風下側	20	200
case3	3-1	風下側	風上側	40	100
	3-2	風下側	風上側	40	200
	3–3	風下側	風上側	20	100
	3-4	風下側	風上側	20	200





平成27年度修士論文発表

2016/2/9

表1 測定①における実験条件



Akabayashi Ababa.

平成27年度修士論文発表

2016/2/9

ガイドベーンの取付位置 実験 ガイドベーンの 隣棟間隔 サイズ[mm] [mm] 風上側開口部 風下側開口部 case 無し 無し 100 case1 -2 無 無 200 2 - 140 100 風上側 風下側 2-2 40 風上側 風下側 200 case2 2 - 3上側 風下側 20 100 2 - 4**上** 個 風下個 20 200 3 - 1風上側 40 100 風下側 3-2 風上側 40 200 風下側 case3 3-3 下側 上側 20 100 風 3-1 20 200 風下個 風 上個







ガイドベーンの取付位置 実験 ガイドベーンの 隣棟間隔 サイズ[mm] [mm] case 風上側開口部 風下側開口部 無し 無し 100 case1 -2 無し 無 200 2-風下側 40 100 ト伯 2 - 240 200 下側 case2 2-3 20 風上側 風下側 100 2 - 4風下側 20 200 風上側 3-下側 風上側 40 100 凮 3-上個 40 200 下伯 case3 3-3 20 風下側 風上側 100 3-4 20 風下側 風上側 200

測定①における実験条件 表 1





case3-3



測定①における実験対象モデルの概要 図 1



2.3 実験機器の概要

可視化には出力1W、2W、3Wのシート状レーザ3台を同時に 使用し、レーザ3台の照射断面を一致させ、3Wのレーザに 対向する位置に1Wと2Wのレーザを設置することで実験対象 領域全体をほぼ均一な輝度分布にして実験を行う。

カメラはハイスピードカメラPhotron FASTCAM SA3を、得られた可視化画像のPIV解析にはFlow-Expert ver.1.2.10を使用する。

表2 実験機器の詳細

Comorro	ハイスピードカ	メラ Photron FASTCAM SA3
Gamera	最大解像度:102	4pixel×1024pixel,最大解像度時撮影速度:2000fps
	DPGL-3W	LD励起Nd∶YAG/YVO₄レーザ
		波長532nm,出力3W
Laser		O~30kHzで変調可能な連続光
	DPGL-2W	DPGL-3Wと同様(但し、出力2W)
_	G1000	DPGL-3Wと同様(但し、出力1W)
SoftWare	カメラ制御	Photron FASTCAM Viewer ver. 3. 3. 8
	PIV解析	Flow-Expert ver.1.2.10



2.4 実験及び解析条件の詳細

実験は幅1.8m×高さ1.8m×長さ16mの大型境界層風洞内で行う。

ハイスピードカメラのフレームレートは500fpsに設定し、1回の実験の撮影時間は11秒である。



表3	測定①における
PIV解	祥析のパラメータ

測定対象領域	800mm × 800mm
画像サイズ	1024pixel×1024pixel
キャリブレーション値	0.9414mm/pixel
測定時間	11sec
測定間隔	2ms(500fps)
検査領域	15pixel×15pixel
探査範囲	± 9 pixel× ± 9 pixel

図2 風洞内における実験装置の概要

2016/2/9

2.4 実験及び解析条件の詳細

本実験ではトレーサに難燃性のスモークを使用し、風上側の可 能な限り気流場に影響の生じない位置にダクト付スモークジェ ネレータを設置し、シーディングを行う。

基準風速は基準高さ1.0mで5.0m/s(U_z∝Z^{1/4})とする。



表 3	測定①におけ	ナる
PIV解	≩析のパラメー	-タ

測定対象領域	800mm × 800mm
画像サイズ	1024pixel×1024pixel
キャリブレーション値	0.9414mm/pixel
測定時間	11sec
測定間隔	2ms(500fps)
検査領域	15pixel×15pixel
探査範囲	± 9 pixel× ± 9 pixel

図2 風洞内における実験装置の概要





図 実験caseの概要 表1 測定①における実験条件

	実験	ガイドベーン	レの取付位置	ガイドベーン	隣棟間隔
	case	風上側開口部	風下側開口部	のサイズ[mm]	[mm]
00001	1-1	無し	無し	1	100
Caser	1-2	無し	無し	-	200
	2-1	風上側	風下側	40	100
0	2-2	風上側	風下側	40	200
Casez	2-3	風上側	風下側	20	100
	2-4	風上側	風下側	20	200
case3	3-1	風下側	風上側	40	100
	3-2	風下側	風上側	40	200
	3-3	風下側	風上側	20	100
	3-4	風下側	風上側	20	200







図 実験caseの概要 表1 測定①における実験条件

	実験	ガイドベーン	レの取付位置	ガイドベーン	隣棟間隔
	case	風上側開口部	風下側開口部	のサイズ[mm]	[mm]
00001	1-1	無し	無し	-	100
caser	1-2	無し	無し	-	200
	2-1	風上側	風下側	40	100
00000	2-2	風上側	風下側	40	200
Casez	2-3	風上側	風下側	20	100
	2-4	風上側	風下側	20	200
	3-1	風下側	風上側	40	100
case3	3-2	風下側	風上側	40	200
	3–3	風下側	風上側	20	100
	3-4	風下側	風上側	20	200













図3 case1におけるPIV解析結果















平成27年度修士論文発表

Alabayashi







図 case2におけるPIV解析結果

※室内のベクトル長さは室外の2倍に表示されている。













図 実験caseの概要 表1 測定①における実験条件

	実験	ガイドベーンの取付位置		ガイドベーン	隣棟間隔
	case	風上側開口部	風下側開口部	のサイズ[mm]	[mm]
case1	1-1	無し	無し	-	100
	1-2	無し	無し	-	200
case2	2-1	風上側	風下側	40	100
	2-2	風上側	風下側	40	200
	2-3	風上側	風下側	20	100
	2-4	風上側	風下側	20	200
case3	3-1	風下側	風上側	40	100
	3-2	風下側	風上側	40	200
	3-3	風下側	風上側	20	100
	3-4	風下側	風上側	20	200





図 5 case3におけるPIV解析結果





Akabayashi



case3-2における可視化動画





動画









Akabayashi



Akabayashi Akabayashi



図5 case3におけるPIV解析結果







3 サーマルマネキンを対象とした 人体周りの気流性状のPIV測定(測定2)

3.1 実験対象の概要

実験は幅約5.0m×長さ約11m×高さ約3.0mの人工気候室内で行う。









実験対象は身長170cmの人体 を模擬したサーマルマネキン とし、表面温度を30℃に設定 し、椅子に腰掛けさせた状態 で実験を行う。







気流の可視化実験時の人工気候室の室内空気温度は以下の3条件とする。

- ・人体模型表面温度より低い20℃(温度差-10℃)
- ・人体模型表面温度と等温の30℃(温度差±0℃)
- ・人体模型表面温度より高い35℃(温度差+5℃)

表4 測定②における実験caseの詳細

実験case		室内温度[℃]	模型表面温度[℃]	風速[m/s]
	4–1	20		
case4	4–2	30		1.0
	4–3	35	20	
	5–1	20	30	
case5	5-2	30		0.0
	5–3	35		



また、それぞれの室内温度設定条件において周囲風速を1.0m/sに設定した場合と、気流発生装置を停止させ周囲風速を0m/sに設定した場合の2つのcaseについて、計6caseの実験を行う。

表4 測定②における実験caseの詳細

実験case		室内温度[℃]	模型表面温度[℃]	風速[m/s]
	4–1	20		
case4	4–2	30		1.0
	4–3	35	20	
	5–1	20	30	
case5	5-2	30		0.0
	5–3	35		



3.3 実験機器の概要

使用する実験機器は測定①と同様である。レーザは出力1W、2W、3Wの3台を同時に使用し、シート状レーザ3台の照射断面を一致させ、3Wのレーザをサーマルマネキン正面に設置し、後方に1Wと2Wのレーザを設置することで実験対象領域全体をほぼ均一な輝度分布にして実験を行う。





3.4 実験及び解析条件の詳細

ハイスピードカメラのフレームレートはcase4では250fps、 case5では60fpsに設定する。

なお、人体周囲の風速を0m/sとしたcase2ではトレーサが可視化 測定領域に達することなくスモーク吐出部周辺に滞留するため、 実験開始以前に風速0.15m/sの気流を発生させ、トレーサを実験 対象近傍までシーディングした後、気流発生装置を停止させて から撮影を行う。

表 5	測定(2)(こおけ	る実験・	解析パラ	メータ
	$\cdots \rightarrow \cdots \rightarrow$				

実験case	case4	case5	
実験風速	1.Om/s	Om/s	
測定対象領域	1700mm × 1700mm		
画像サイズ	1024pixel×1024pixel		
キャリブレーション値	1.6935mm/pixel		
測定時間	22sec	45sec	
測定間隔	4ms(250fps)	17ms(60fps)	
検査領域	15pixel×15pixel	13pixel×13pixel	
探査範囲	± 5 pixel $\times \pm 5$ pixel ± 5 pixel $\times \pm 5$ pix		





動画 case5-1(室温20℃)における可視化動画





動画 case5-1(室温20℃)におけるPIV解析結果









a.6.



動画 case5-3(室温35℃)における可視化動画





動画 case5-3(室温35℃)におけるPIV解析結果





図7 測定②におけるPIV解析結果



測定①では全ての実験caseにおいて、case2-2の流入風速が最も大きい。

4.1.1 case1

①case1では、どの実験条件でも風下側開口部から気流が流入し、風上側開口から気流が流出する。 ②case1-1では、流入気流の平均風速は0.5m/s程度である。 ③case1-2では、流入気流の平均風速は0.6m/s程度である。

4.1.2 case2

①case2では、どの実験条件でも風下側開口部から気流が流入し、風上側開口部から気流が流出する。 ②case2における流入気流の平均風速は0.6~0.8m/s程度であり、どの条件でも殆ど変わらない。

4.1.3 case3

①case3-1では、風上側開口部から気流が振動しながら室内に流入し、風下側開口部から気流が流出 する。

②case3-2,3,4では、風上側開口部と風下側開口部の両方の開口部から気流が交互に流入出する。 ③case3における流入気流の平均風速は0.3~0.5m/s程度であり、どの条件でも殆ど変わらない。



4.2.1 case4(周囲風速1.0m/s)

①case4では、室内温度を20℃、30℃、35℃に設定したどのcaseにおいても、気流は測定対象領域内 で緩やかに上昇する様子が観察され、各caseの体表面温度と空気温度の差の違いによる差異は殆ど 見られない。

4.2.2 case5(周囲風速0m/s)

4.2.2.1 case5-1(室内温度20°C)

①測定対象領域全体で気流が緩やかに上昇していることが観察される。

②人体模型正面において、体表面によって暖められたことによる熱上昇が発生し、気流が風速0.08~ 0.15m/s程度で胸部に沿って上昇する。

4.2.2.2 case5-2(室内温度30°C)

①X=600~800mm、Z=600~1100mmの人体模型正面において、気流が風速0.01~0.03m/s程度でわずかに 胸部に沿って上昇する。

②X=O~1700mm、Z=1400~1700mmにおいて、気流がほぼ水平に生じている。

4.2.2.3 case5-3(室内温度35°C)

①X=O~800mm、Z=O~1700mmの人体模型近傍では、体表面で空気温度が低下し、風速0.01~0.08m/s 程度で気流が下降する。

②X=700~900mm、Z=700~1000mmの人体模型正面において、風速0.01~0.04m/s程度の渦が形成される。







室内へ流入する気流の性状はガイドベーンの有無や取付位置に 大きく影響を受ける。また室内に流入した気流は速度を落とし ながら人体周辺へ接近し、人体表面との温度差により上昇気流 又は下降気流を形成する。

