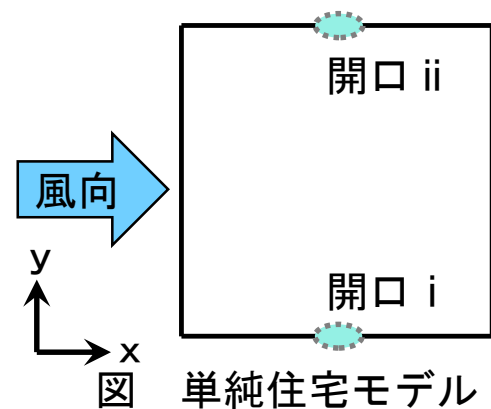
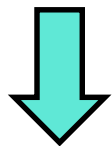


数値解析を用いた風速変動を考慮した 戸建住宅の通風性状に関する研究

研究目的

通風現象には、**定常的には通風が得られない**にもかかわらず、**非定常的には通風が得られる開口条件**が存在する。

例えば、風向に対し対称な位置に開口を2箇所設けた場合等である。



平均的には開口部が存在する位置において圧力分布は同等となり、開口部から気流は流入せず、通風は得られないとされる。しかし、実際には、外壁面の圧力分布は非定常的な接近流の風向・風速の変動により時々刻々と変化する為、**両開口部の圧力分布には非定常的に正負が現れ、室内に気流が流入出す様子**が観察されている。

実現象は時々刻々と変化し、定常状態を保ち続けることは無い。



定常的な解析による自然換気・通風性能評価だけでは非定常状態の実現象を評価するのには不十分であり、非定常かつ変動気流を考慮した解析手法による自然換気・通風性能評価が必要である。

既往の非定常流に関する研究^{文1～3)}では建物や街区周辺の非定常流体现象の予測技術として Large-Eddy Simulation(以下LES)を用いた乱流場の可視化・解析手法に関する検討が行われている。

RANS (Raynolds Avaraged Navier-Stokes Simulation)
定常気流解析であり、時間平均的な流れ場のみ再現可能

LES (Large-Eddy Simulation)
非定常気流解析であり、変動気流を考慮し、かつ時々刻々とした気流の変化を再現可能

本研究ではLES (Large-Eddy Simulation: Dynamic型 Smagorinskyモデル) により通風時の様々な開口条件における単純住宅モデルを対象とした解析を行い、建物周辺と建物内部の非定常流体現象を再現することで、単純住宅モデルの開口部付近における気流性状及び室内気流性状の検討を行う。

非定常状態における自然換気・通風性能を評価する手法を新たに開発し、単純住宅モデルにおける自然換気・通風性能を評価することを目的とする。

LES解析概要

解析対象

表 解析case

	case1	case2	case3	case4	case5
単純住宅モデル	モデルA	モデルB	モデルC	モデルD	モデルE
開口位置	風上側と風下側壁面中央部	風向に対し平行な両方の壁面中央部	風上側壁面に対称に2箇所	風下側壁面に対称に2箇所	風向に対し平行な1つの壁面に2箇所

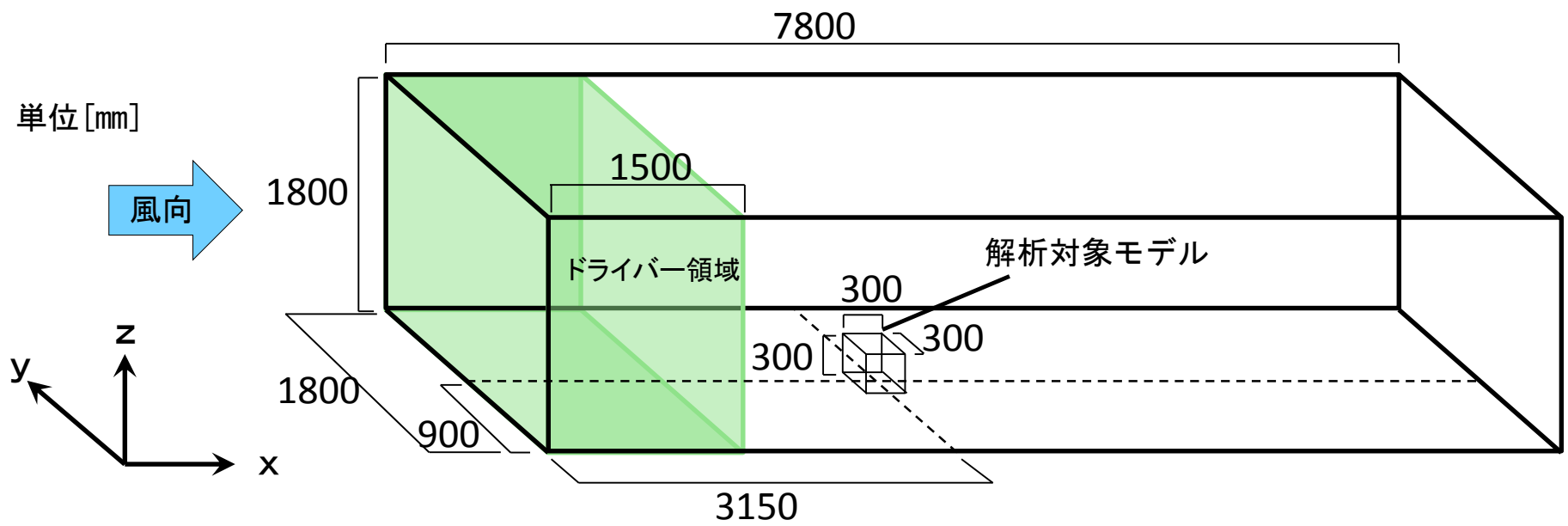


図 解析領域

解析対象

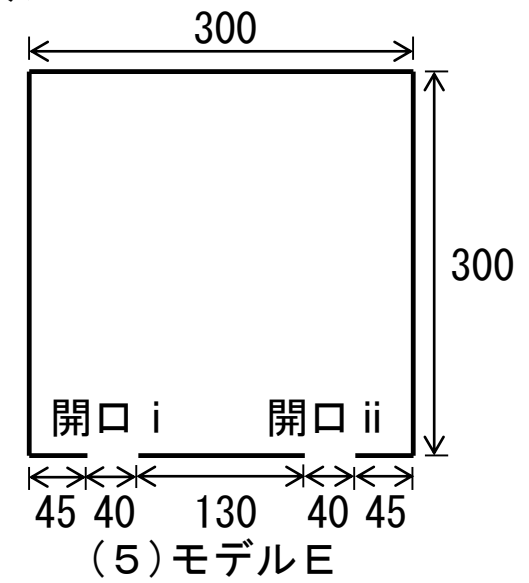
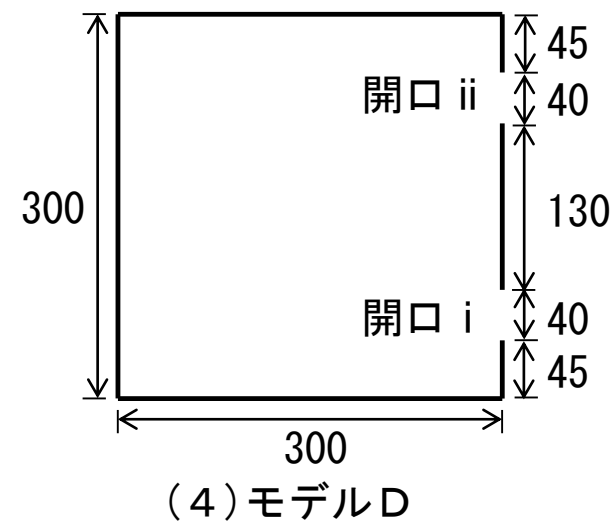
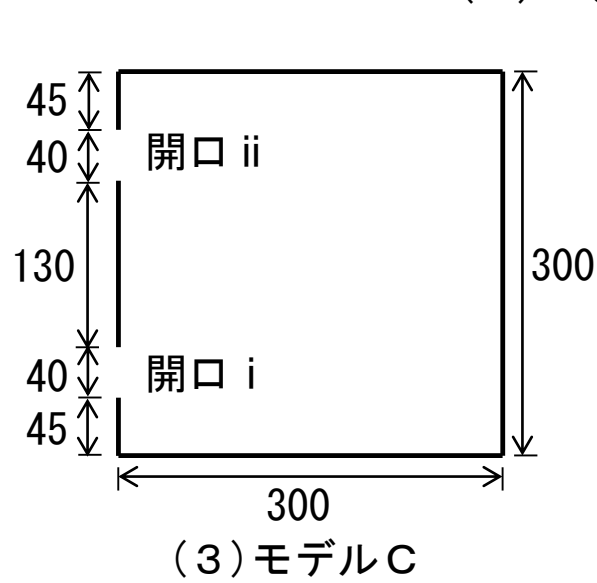
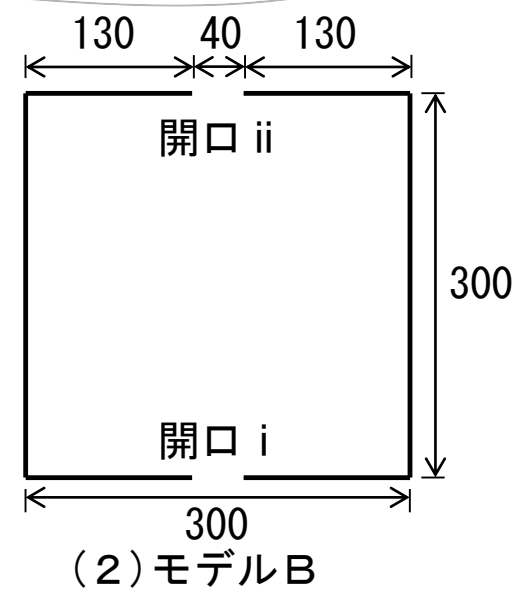
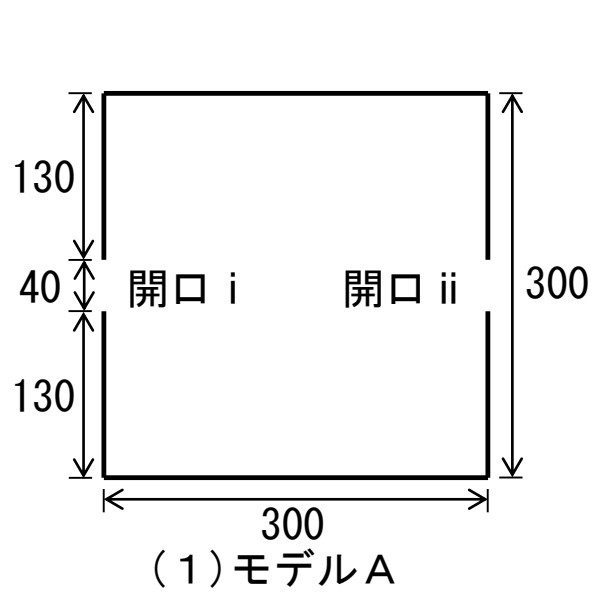
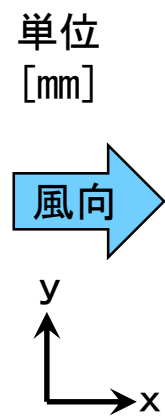
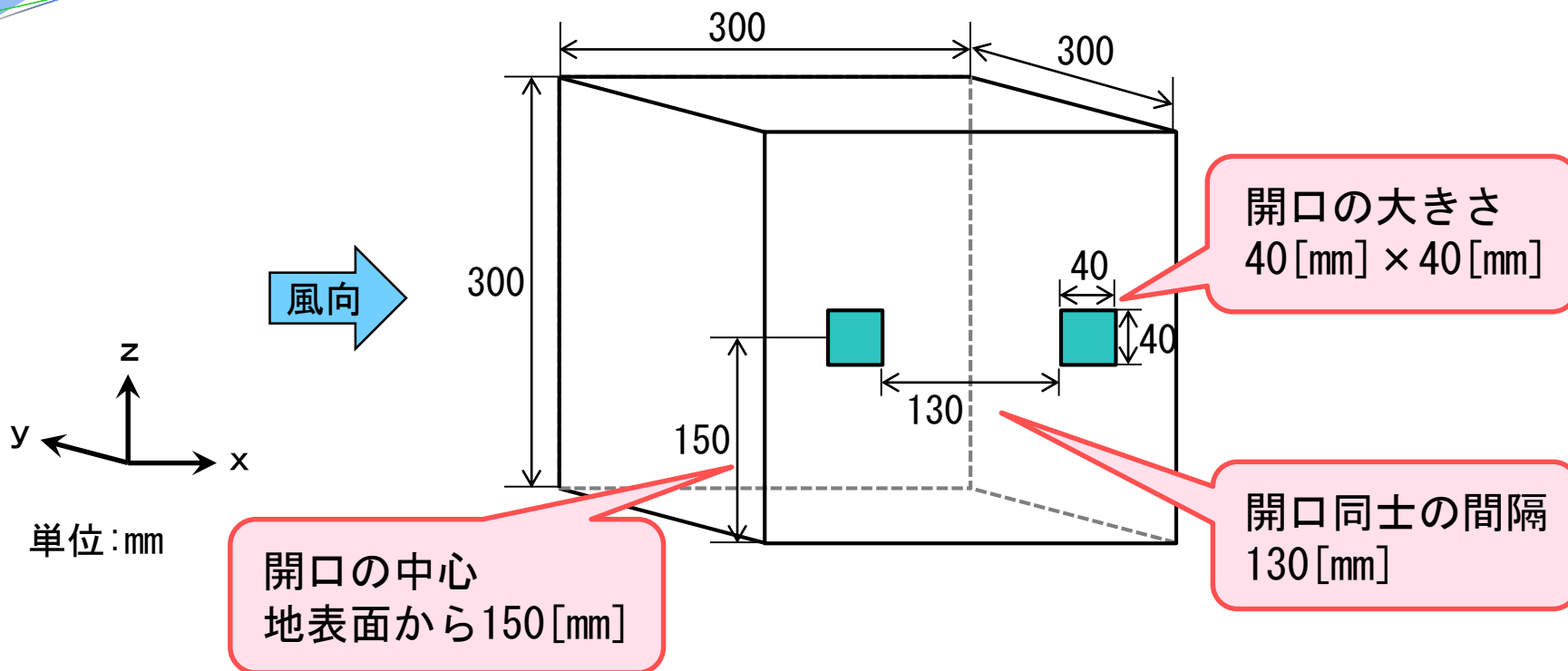


図 単純住宅モデルの平面図

解析対象



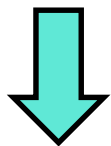
モデルE
図 単純住宅モデル

開口部の大きさは40 [mm] (高さ) × 40 [mm] (幅) とし、地表面から高さ150 [mm] の位置を開口の中心とする。モデルC ~ モデルE の開口同士の間隔は130 [mm] とする。

表 2 解析条件

SGSモデル	Dynamic型 Smagorinskyモデル		
解析領域	7.8(x) × 1.8(y) × 1.8(z)[m]		
単純住宅モデル	0.3(x) × 0.3(y) × 0.3(z)[m]		
開口面積	0.04 × 0.04 = 0.0016[m ²]		
境界条件	流入	ドライバー領域により作成	
	流出	自然流出	
	壁境界	Ymin,Ymax,Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	拡張型ノースリップ ^{文 5)}
		部品面	拡張型ノースリップ ^{文 5)}
流体と接する全ての面		拡張型ノースリップ ^{文 5)}	
解析時間	プレ解析	2.6[s]	
	本解析	10.0[s]	
時間刻みΔ t	1.0 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
初期乱流場	流入	1/4乗則(基準高さ1.0[m]、流速5.0[m/s])	
	変動成分	流速成分uの振幅1.0[m/s]	
		流速成分vの振幅3.0[m/s]	
		流速成分wの振幅3.0[m/s]	
最小メッシュ幅	0.005[m]		
解析領域メッシュ数	210(x) × 148(y) × 117(z)=3,636,360		

本研究におけるLES解析は、先ず、開口部が無い単純住宅モデルでドライバー領域※を作成し、流入変動気流を作成する為の解析（プレ解析）を行う。



開口を有する単純住宅モデルに対して流入させて解析（本解析）を行い、室内気流分布及び開口部付近における気流性状の検討を行う。

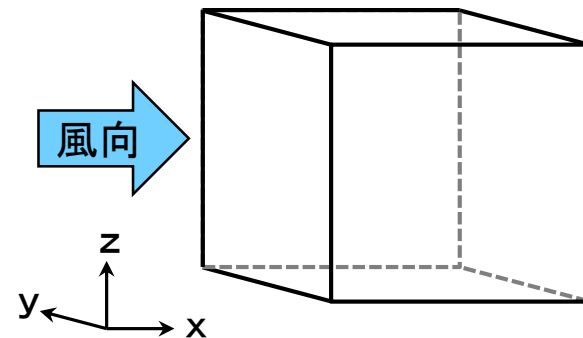


図 単純住宅モデル
(開口無し)

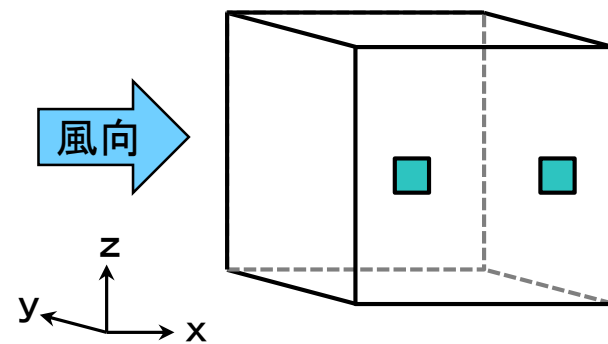


図 単純住宅モデル
(開口有り)

※ ドライバー領域は、周期境界条件で変動気流流入境界条件を計算するために建物風上側に設けた領域である。

LES解析における初期乱流場は変動成分として各流速成分の振幅を $u=1.0$ [m/s]、 $v=3.0$ [m/s]、 $w=3.0$ [m/s] として与え、計算開始後2.6[s]までをプレ解析とする。

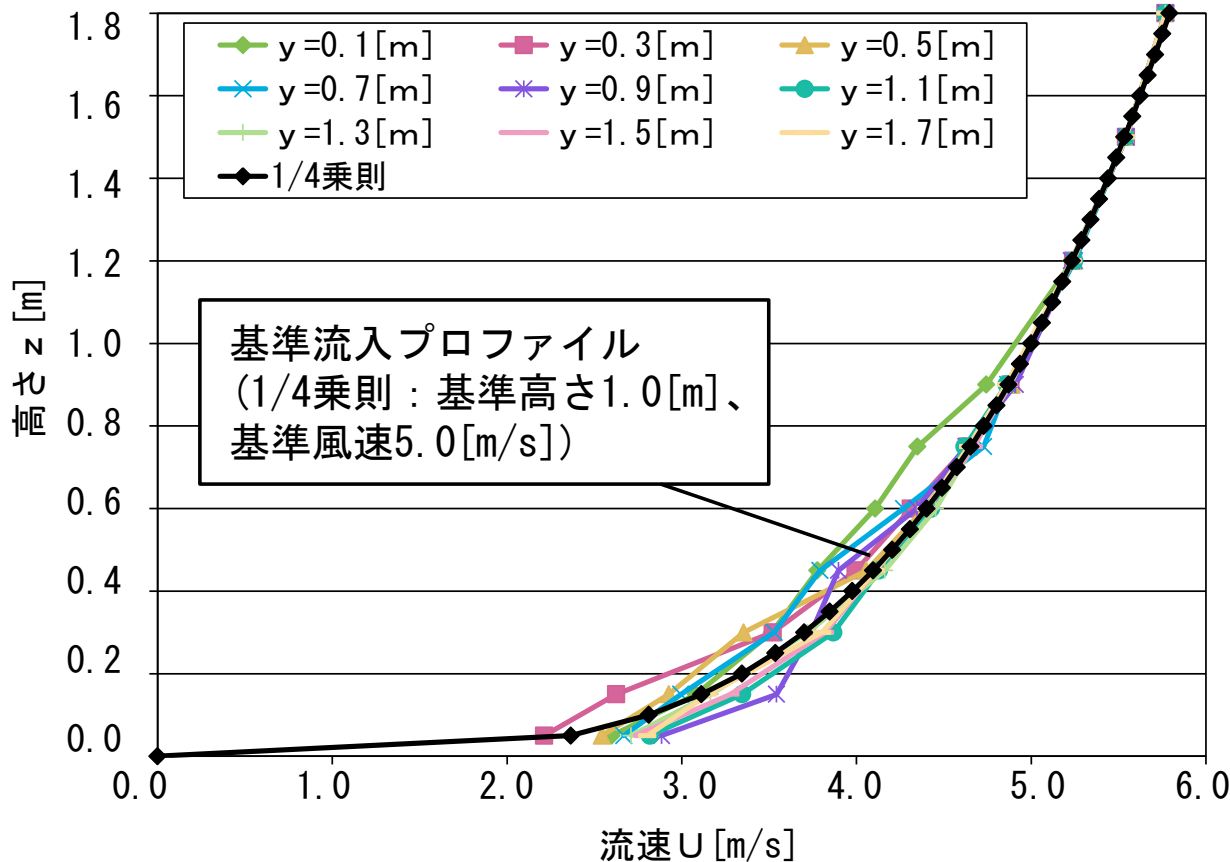
本解析開始後2.0[s]間は開口を開けてからモデル内部に気流場が形成される移行期間として破棄し、4.6[s]～14.6[s]までの計10.0[s]間を本解析の結果として用いる。

ドライバー領域下流端部 ($x=1,500$ [mm]) での基準高さ ($z=1,000$ [mm]) における平均流速は5.0 [m/s]、モデル軒高 (地表面から高さ300 [mm]) における平均流速は3.74 [m/s] である。

解析結果

プレ解析の結果

プレ解析の結果



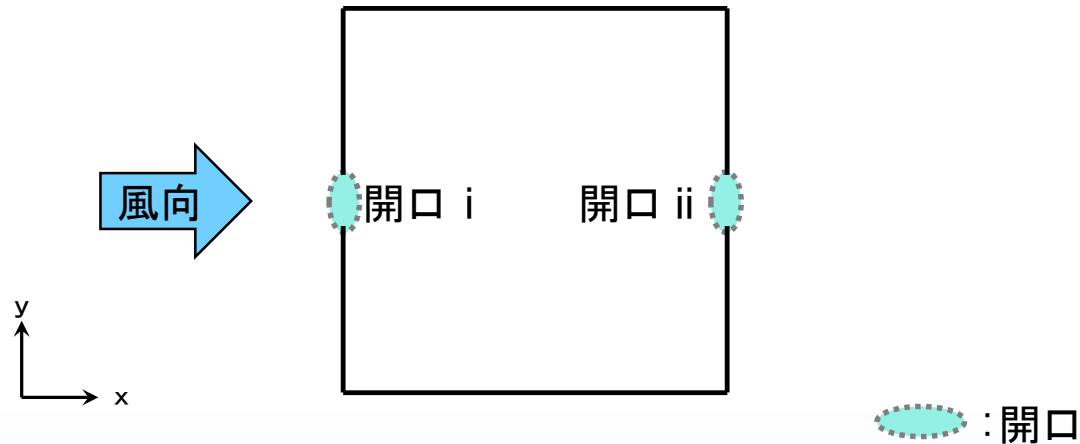
平均流速は基準とした $U \propto Z^{1/4}$ (U : 流速、 Z : 高さ) の流入プロファイルとほぼ同様である。

図 流入変動気流の y 方向の平均流速分布
(ドライバー領域下流端部: $x=1,500$ [mm])

解析結果

風上側と風下側に開口を有する場合 (case1)

解析動画のURL http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/dougainfo/journal/les2014_1/case1.html

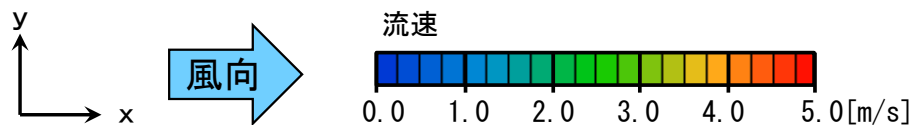
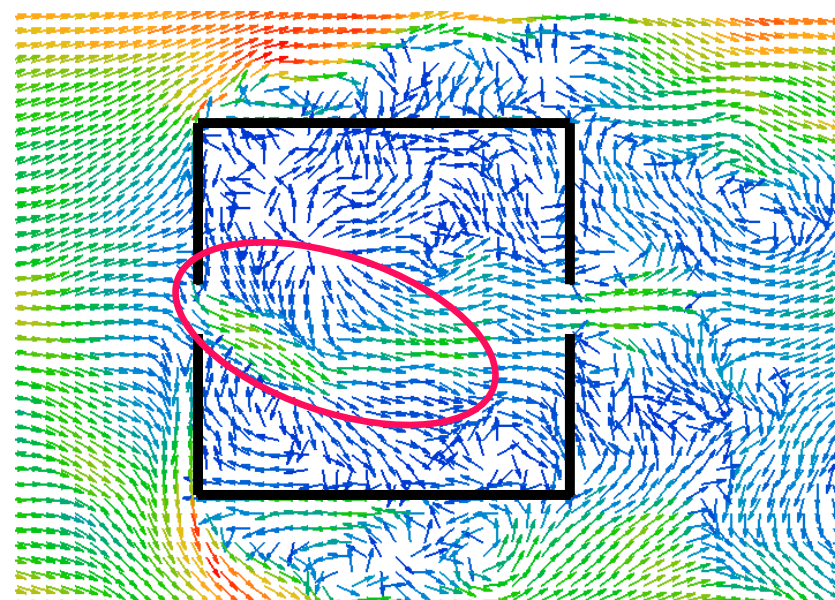
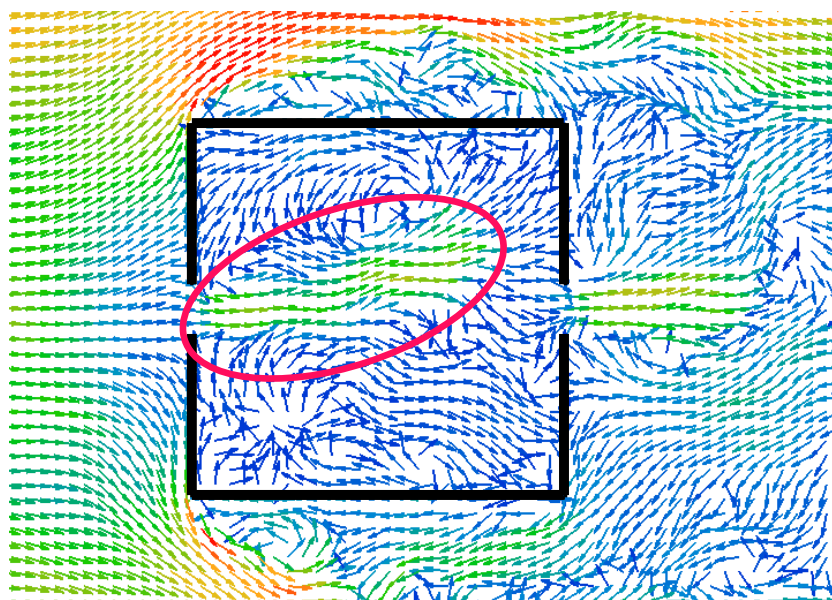


モデル A

図 単純住宅モデルの平面図

風上側と風下側に開口を有する場合(case1)

瞬時室内外流速分布は、(a)では開口 i から流速 $3.0[\text{m/s}]$ 程度で y 正方向へ流入しているが、(b)では開口 i から流速 $3.0[\text{m/s}]$ 程度で y 負方向へ流入している。



瞬時室内外流速分布
($z=150[\text{mm}]$ 断面、 $6.5492[\text{s}]$)

瞬時室内外流速分布
($z=150[\text{mm}]$ 断面、 $7.3195[\text{s}]$)

図 case1の室内外流速分布

風上側と風下側に開口を有する場合 (case1)

(c) の平均室内外流速分布では、風上側の開口 i から風下側の開口 ii まで直線的な流れ場が生じる。

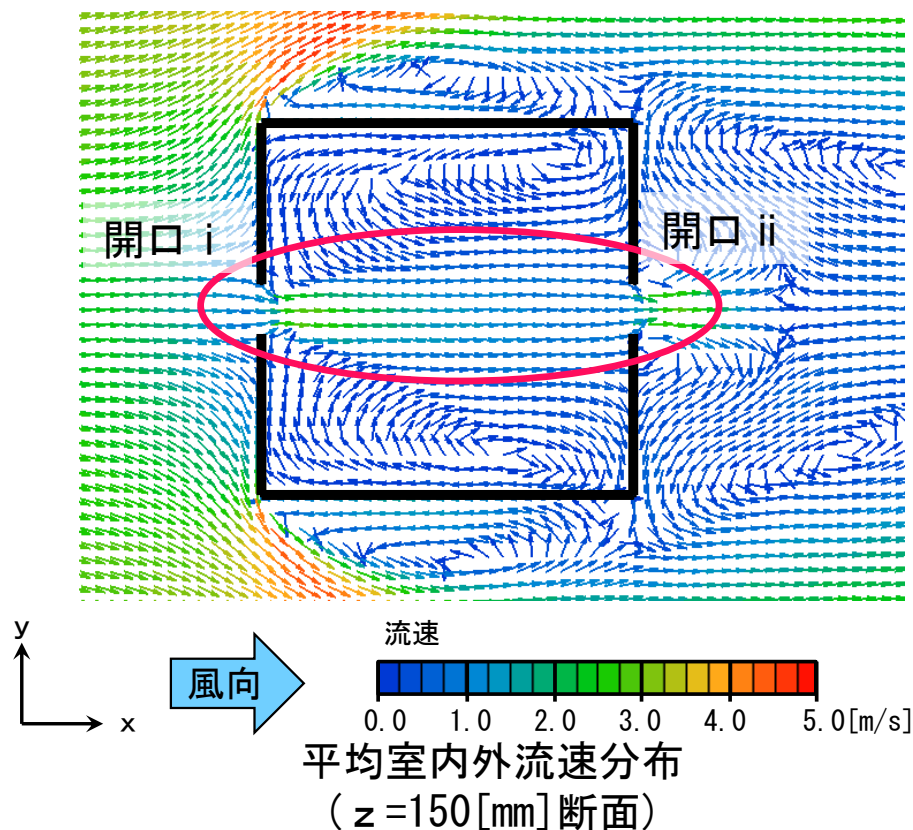
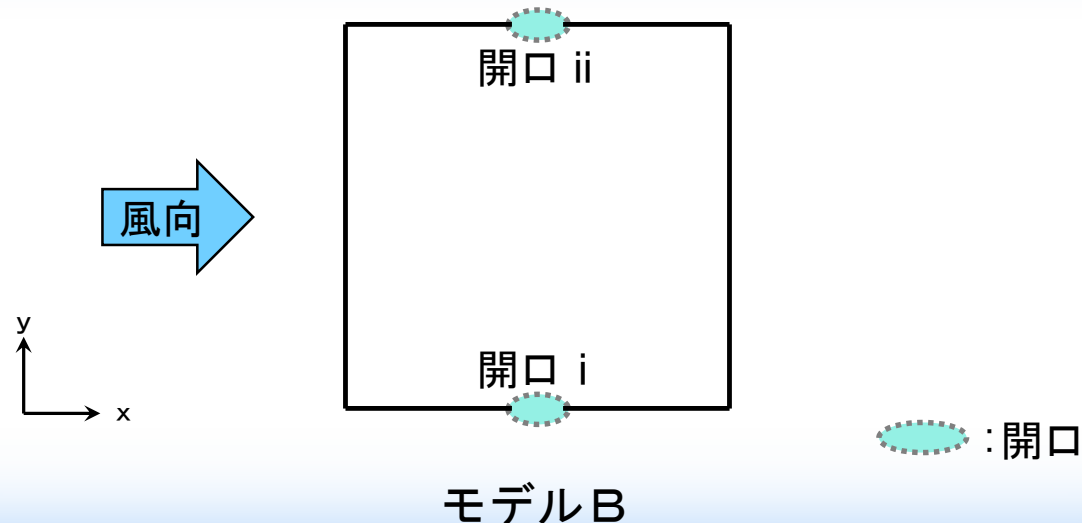


図 case1の室内外流速分布

解析結果

風向に対し平行な両壁面に開口を有する場合 (case2)

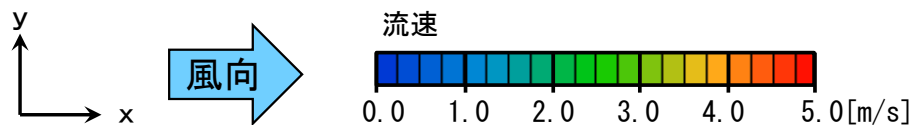
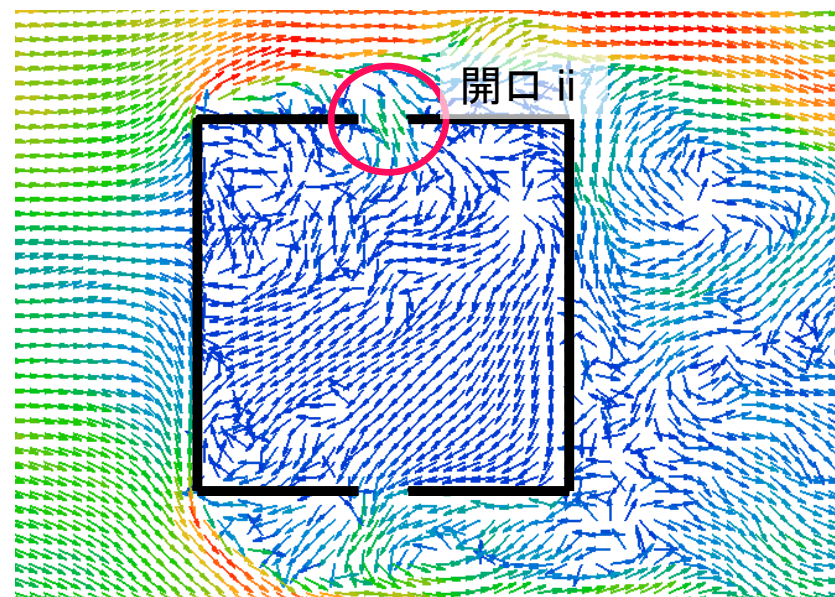
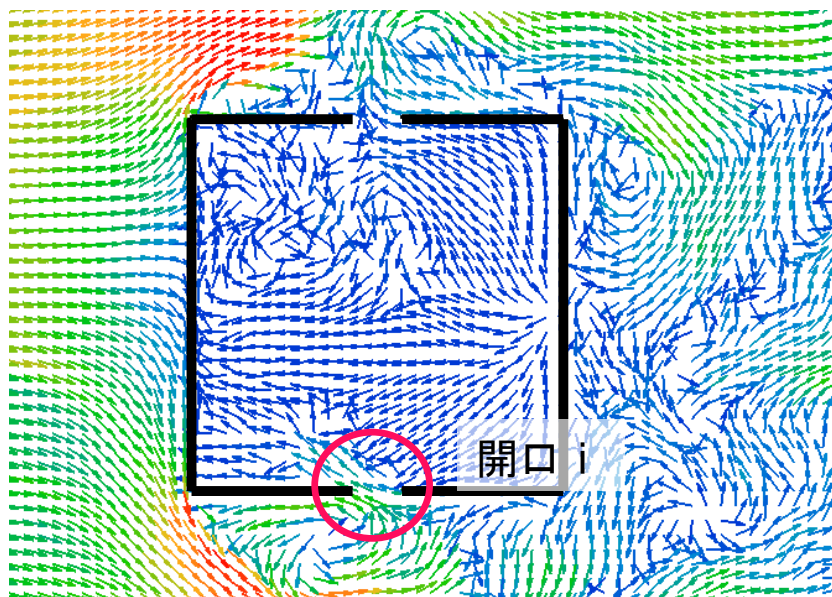
解析動画のURL http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/dougainfo/journal/les2014_1/case2.html



モデルB
図 単純住宅モデルの平面図

風向に対し平行な両壁面に開口を有する場合 (case2)

瞬時室内外流速分布は、(a)では図下部に位置する開口 i から2.0[m/s]程度で気流が流入している。それに対し、(b)では図上部に位置する開口 ii から流速2.0[m/s]程度で流入している。



瞬時室内外流速分布
($z=150$ [mm] 断面、7.6810 [s])

瞬時室内外流速分布
($z=150$ [mm] 断面、7.8225 [s])

図 case2の室内外流速分布

風向に対し平行な両壁面に開口を有する場合 (case2)

(c) の平均室内外流速分布では、モデル室内に気流が流入する様子が殆ど見られない。

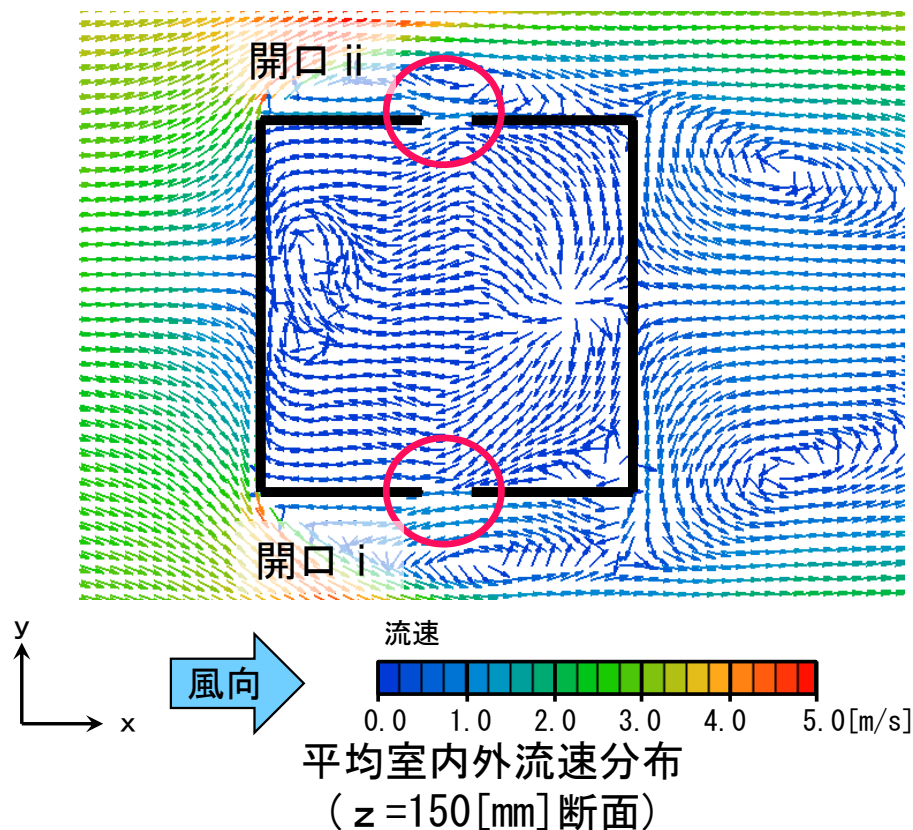
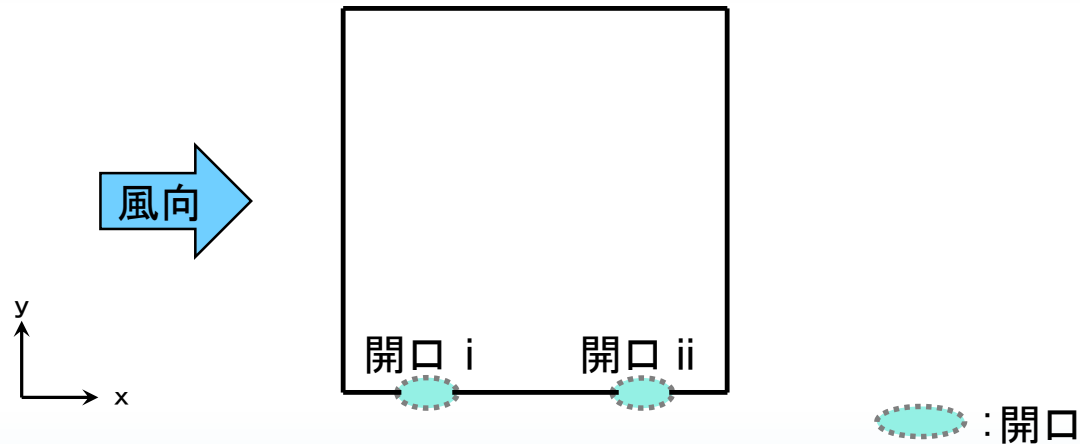


図 case2の室内外流速分布

解析結果

風向に対し平行な1壁面に開口を2箇所所有する場合(case5)

解析動画のURL http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/dougainfo/journal/les2014_1/case5.html

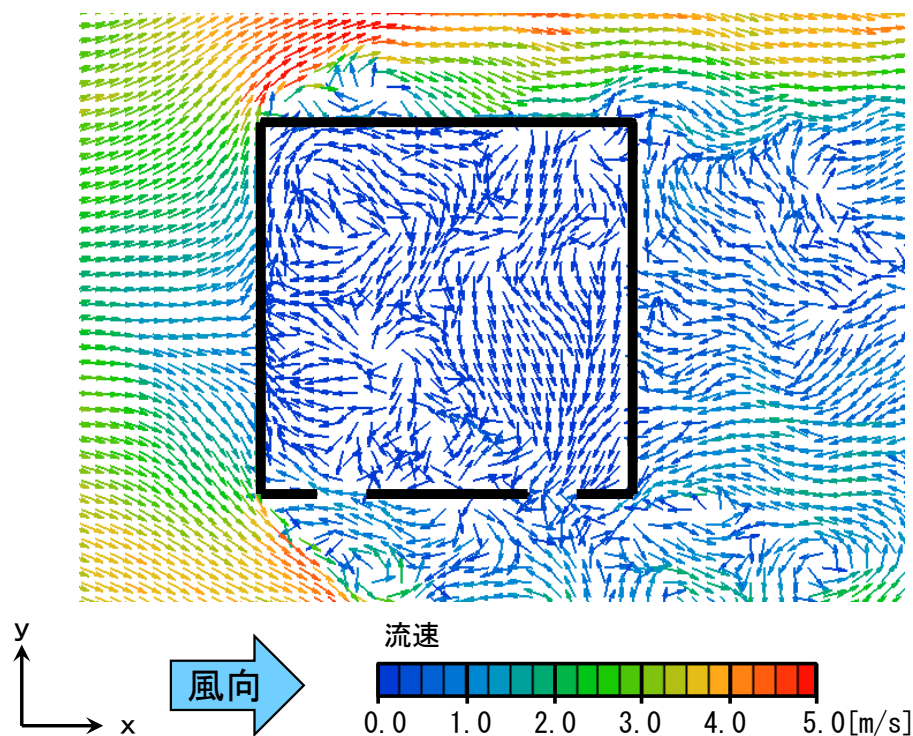


モデルE

図 単純住宅モデルの平面図

風向に対し平行な1壁面に開口を2箇所所有する場合 (case5)

瞬時流入風速は 2.5 [m/s] 程度であり、気流は開口部が存在する内壁面に沿って流入する。モデル内部では室内全体で複雑な気流場を形成する。



瞬時室内外流速分布

($z = 150\text{ [mm]}$ 断面、 7.2880 [s])

図 case5の室内外流速分布

風向に対し平行な1壁面に開口を2箇所所有する場合 (case5)

(b)の平均室内外流速分布では、風向に対し平行な1壁面の風上、風下に設けた2箇所の開口の内、**風下側の開口 ii から流速1.3[m/s]程度で気流が流入し、モデル内部を循環する流れ場を形成する。**

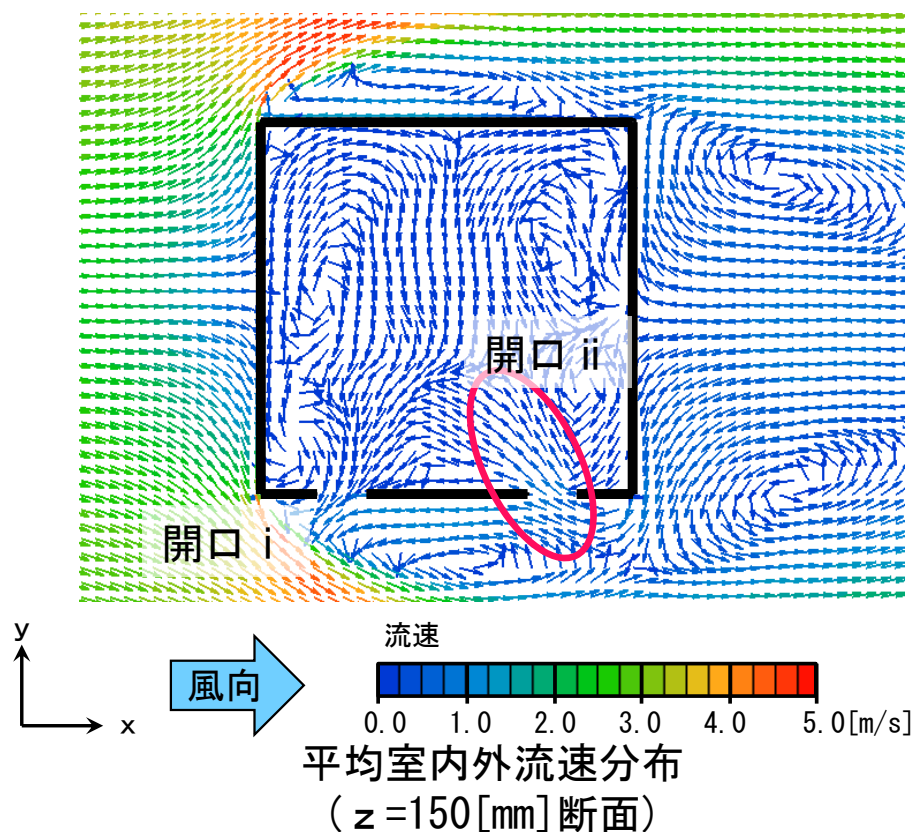


図 case5の室内外流速分布

風速変動を考慮した 自然換気・通風性能評価手法の概要

風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法の概要

本研究では非定常状態における自然換気・通風性能を評価する手法として、LES解析で得られた非定常変動気流解析結果を用い、**開口部から気流に追従する重量・大きさのない粒子を散布し、粒子が十分に換気性能評価領域まで達する到達率を用いる。**

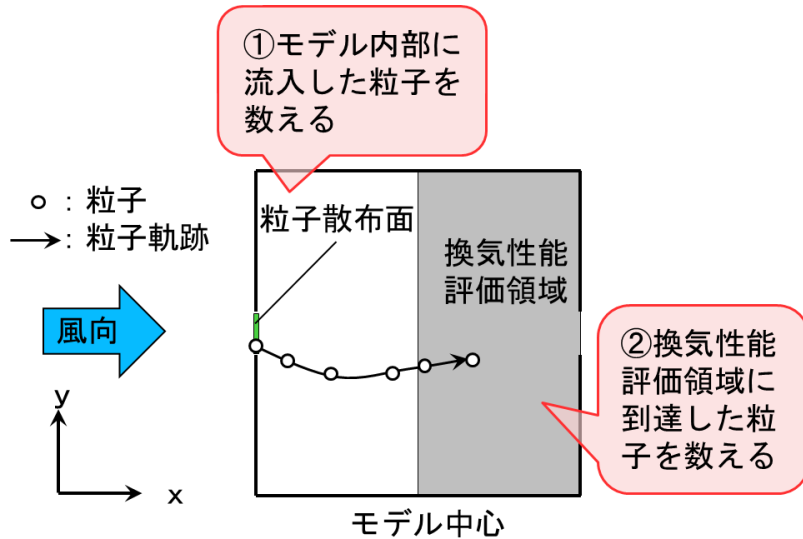
換気性能評価領域は開口から流入した気流が居住域に到達せずにショートサーキット^{文6)}を形成する場合を考慮し、**モデル中心線から粒子散布面と対向する壁面までを領域とする。**

粒子は、1つの開口部から1.0[s]毎に100個ずつ散布を行う。散布した粒子の到達数が一定となり、定常状態に達するまでの10[s]間の解析結果を周期的に使用する。

文6) 太田・近藤 「CFD解析による換気・空調気流のショートサーキット率の算定」
空気調和・衛生工学会論文集、2009年

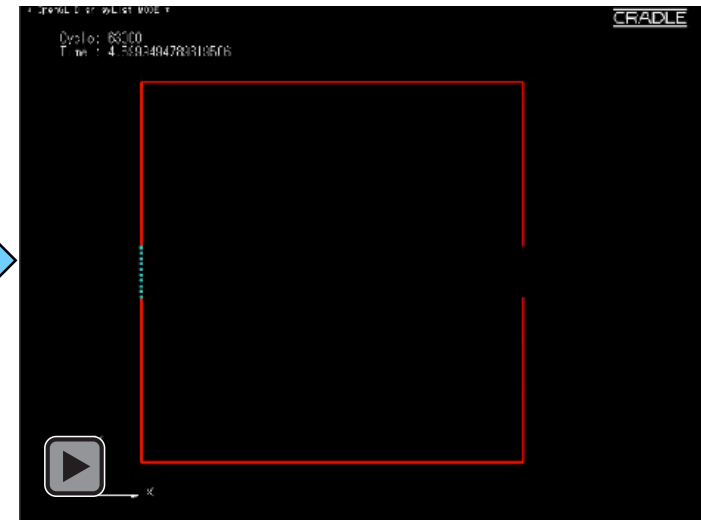
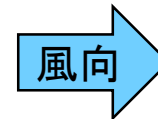
風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法の概要

case1では数値流体解析の結果より、風上側の開口部からのみ室内に流入する様子が観察された為、**風上側開口部からのみ粒子を散布する。**



(1) case1

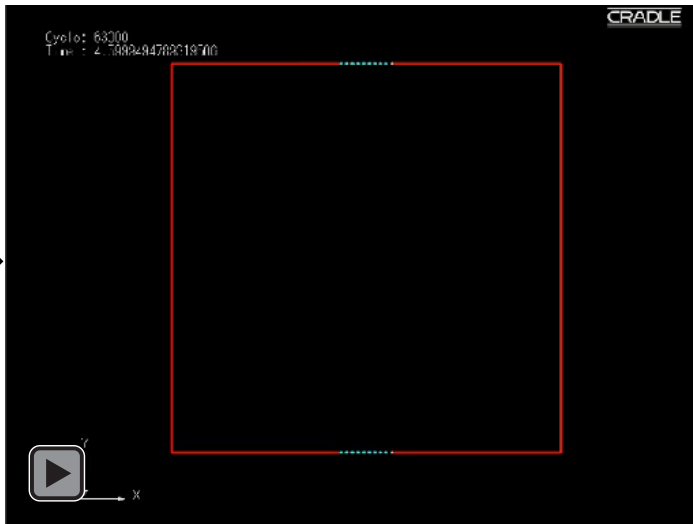
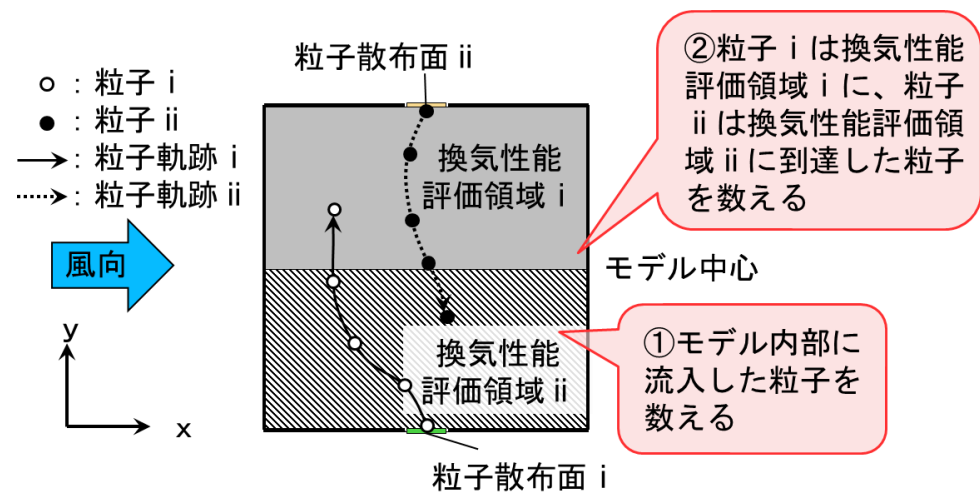
図 各caseにおける風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法



動画 case1粒子散布結果

風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法の概要

case2では両開口部から交互に気流が流入している為、**其々の開口部から100個ずつ散布する。**
粒子散布面 i から散布した粒子は換気性能評価領域 i を、粒子散布面 ii から散布した粒子は換気性能評価領域 ii を評価領域とする。

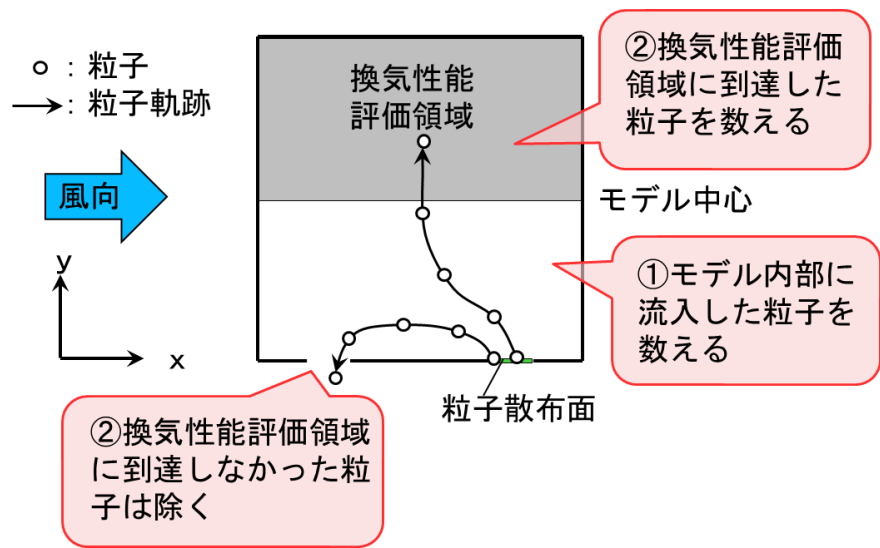


(2) case2

図 各caseにおける風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法

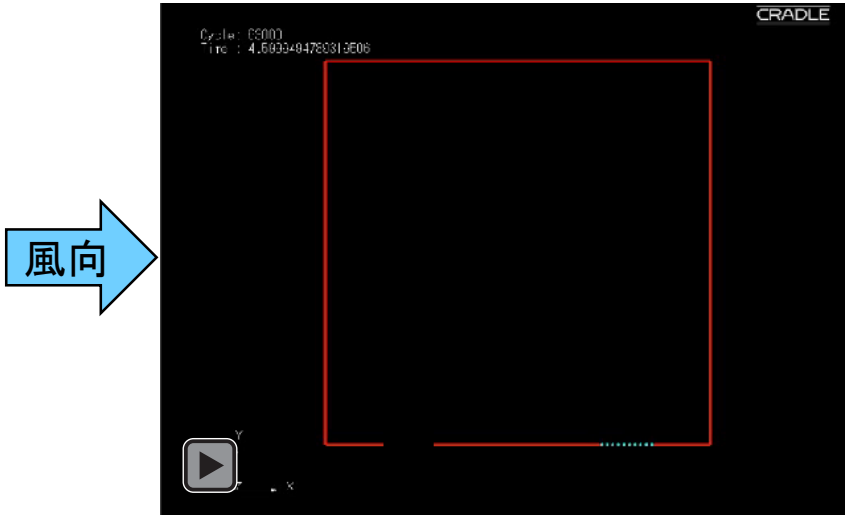
動画 case2粒子散布結果

case5では風下側の開口部からの流入が殆どである為、**風下側の開口部からのみ粒子を散布する。**



(5) case5

図 各caseにおける風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法



動画 case5粒子散布結果

(1)式により、モデル内部に流入した粒子の流入数と換気性能評価領域に到達した粒子の数から到達率を算出し、開口部の流入流量と到達率から、(2)式を用い、有効換気量を求める。

case1の結果と他caseの結果から、(5)式より有効換気量比を求める。

$$r = n_r / n_{in} [\%] \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$Q_e = Q * r [m^3/h] \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$Q_s = Q / (v * A) [-] \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

$$Q_{se} = Q_s * r [-] \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

$$r_e = Q_e / Q_{e1} [-] \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

r : 到達率 [%]、 n_r : 到達数 [個]、 n_{in} : 流入数 [個]、 Q_e : 有効換気量 [m^3/h]、 Q : 開口流入量 [m^3/h]、 Q_s : 基準化流入量 [-]、 v : 基準風速 (5.0) [m/s]、 A : 開口面積 (0.0016) [m^2]、 Q_{se} : 基準化有効流量 [-]、 r_e : 有効換気量比 [-]、 Q_{e1} : case1の有効換気量 [m^3/h]

換気評価結果

換気評価結果

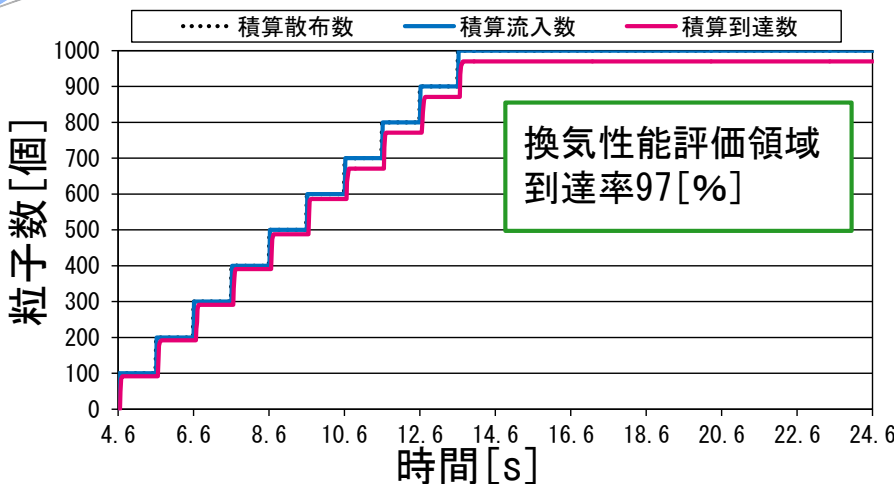


図 case1の各粒子数推移

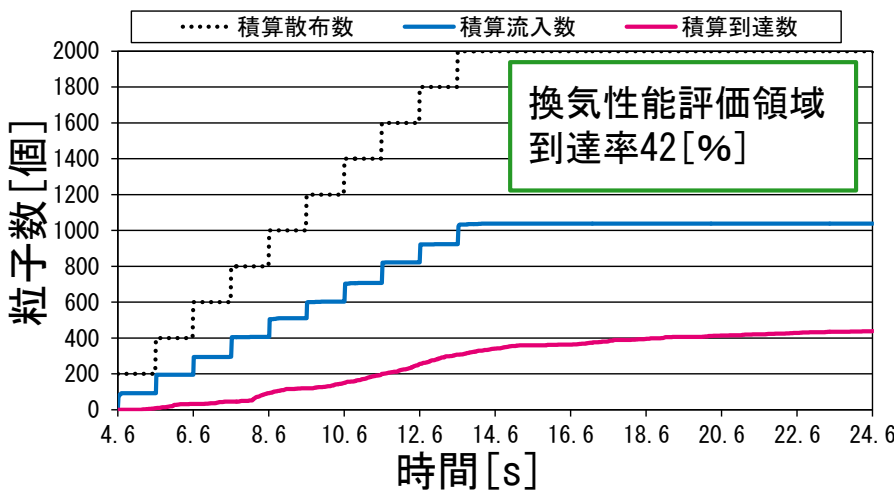


図 case2の各粒子数推移

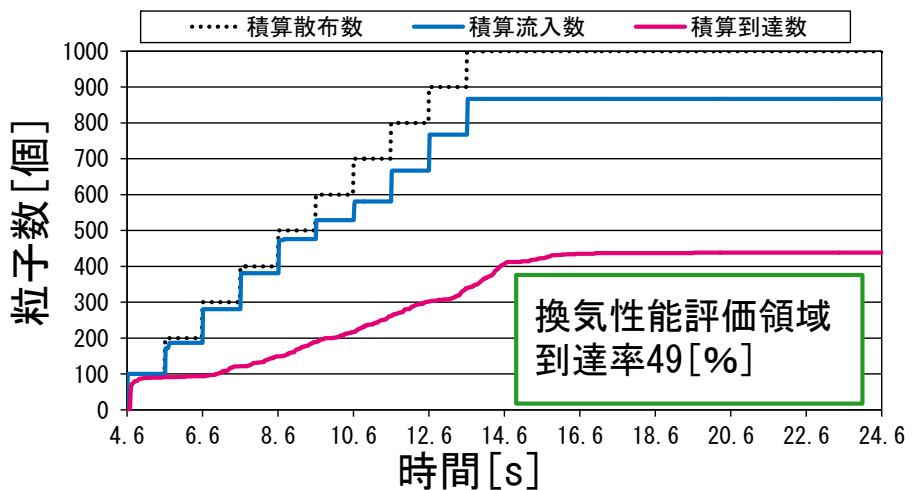


図 case5の各粒子数推移

換気評価結果

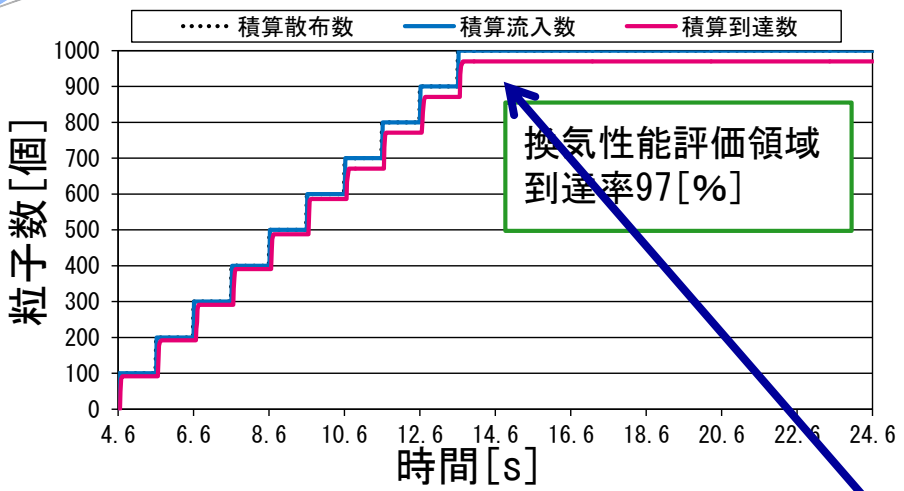


図 case1の各粒子数推移

case1の到達率はどのタイミングでも85～100[%]となり、平均では97[%]である。

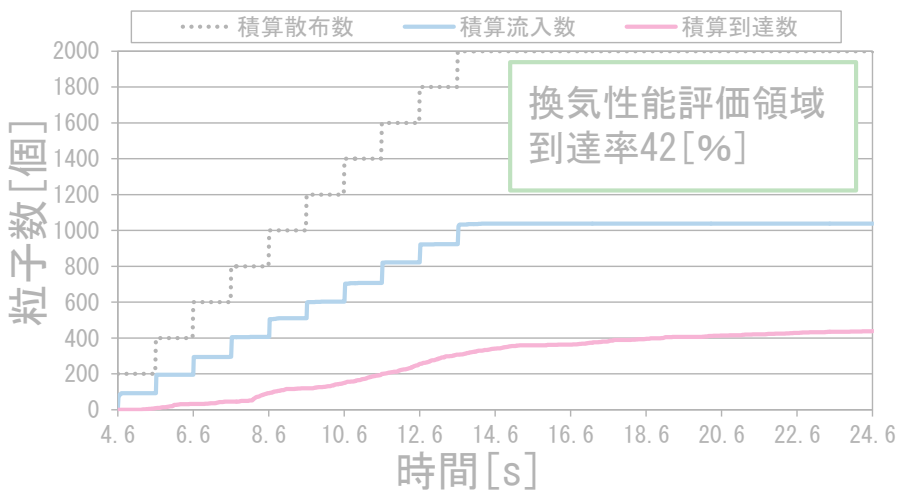


図 case2の各粒子数推移

積算到達数は14.6[s]以降増加していないので、定常に達したとみなせる。

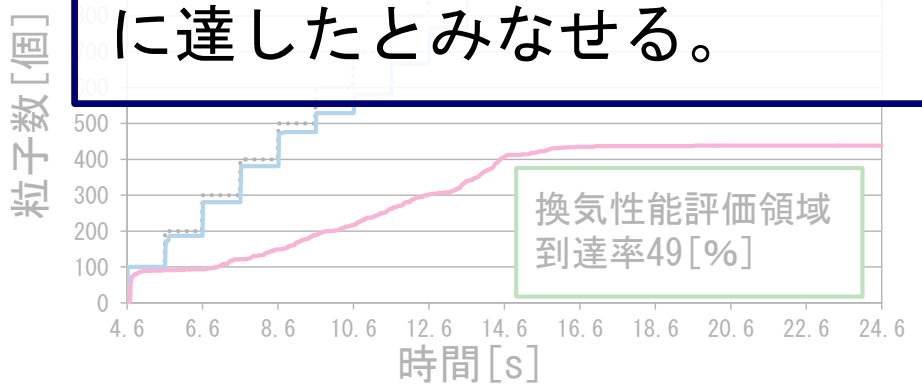


図 case5の各粒子数推移

換気評価結果

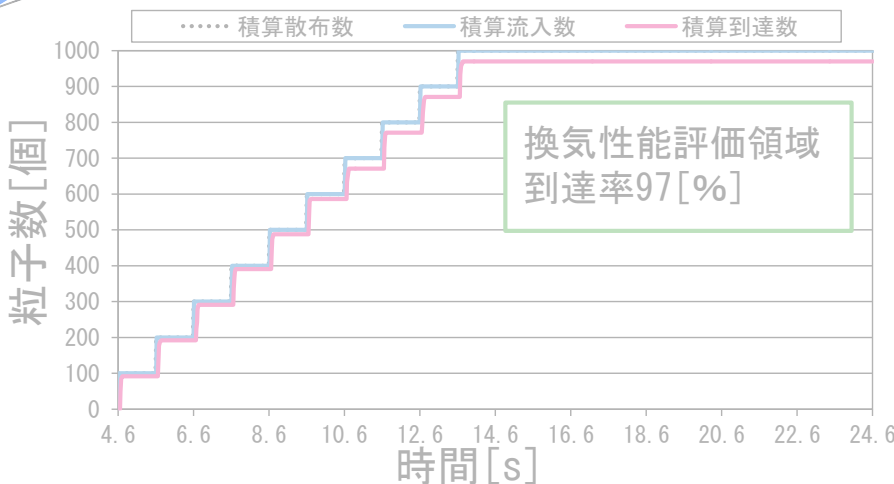


図 case1の各粒子数推移

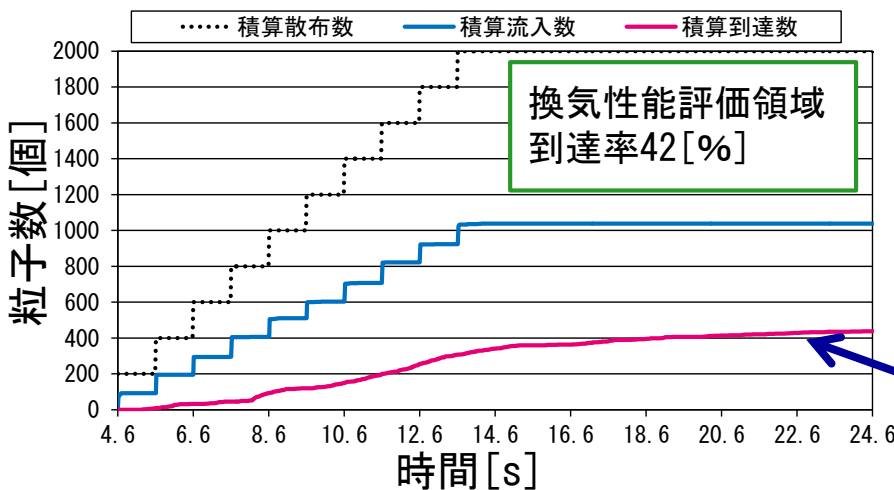


図 case2の各粒子数推移

case2では、散布した粒子の約半数がモデル室内に流入している。到達率は25～53[%]となり、平均では42[%]である。

積算到達数は22.6[s]以降増加していないので、定常に達したとみなせる。

図 case5の各粒子数推移

換気評価結果



図 case2の各粒子数推移

case5では、散布した粒子の約9割がモデル室内に流入している。
到達率は6~93[%]となりばらつきが見られる。平均では49[%]である。

積算到達数は16.6[s]以降増加していないので、定常に達したとみなせる。

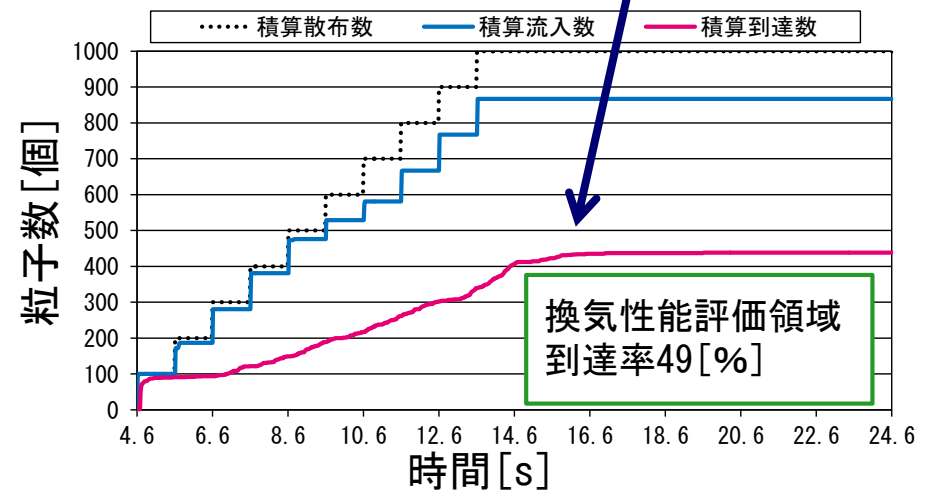


図 case5の各粒子数推移

風上側と風下側に開口を有する場合 (case1)

基準流速5.0[m/s]、開口面積0.0016[m²]の時の平均有効換気量は10.43[m³/h]となる。case1で得られた平均有効換気量10.43[m³/h]を基準として(5)式の有効換気量比を求める。

表 case1の粒子散布結果

粒子散布 タイミング[s]	粒子散布数 [個]	流入数[個]	到達数[個]	到達率[%]	開口流入量 [m ³ /h]	有効換気量 [m ³ /h]	換気回数 [回/h]	基準化流入量	基準化有効 換気量	有効換気量 比
4.6	100	100	92	92%	11.48	10.56	391.13	1434.86	1320.07	1.0129
5.6	100	100	100	100%	11.00	11.00	407.36	1374.82	1374.82	1.0549
6.6	100	100	99	99%	10.14	10.04	371.81	1267.55	1254.87	0.9629
7.6	100	100	100	100%	10.05	10.05	372.28	1256.45	1256.45	0.9641
8.6	100	100	97	97%	10.76	10.44	386.49	1344.76	1304.42	1.0009
9.6	100	100	98	98%	10.74	10.52	389.67	1341.96	1315.12	1.0091
10.6	100	100	85	85%	10.10	8.59	317.98	1262.58	1073.19	0.8235
11.6	100	100	100	100%	10.81	10.81	400.22	1350.75	1350.75	1.0365
12.6	100	100	100	100%	11.12	11.12	412.04	1390.62	1390.62	1.0670
13.6	100	100	99	99%	11.25	11.14	412.46	1406.12	1392.06	1.0682
合計	1000	1000	970	97%	107.44	104.26	3861.45	13430.48	13032.39	-
平均	100	100	97	97%	10.74	10.43	386.14	1343.05	1303.24	1.0000

風向に対し平行な両壁面に開口を有する場合 (case2)

基準流速5.0[m/s]、開口面積0.0016[m²]の時の平均有効換気量は0.98[m³/h]となる。有効換気量比は0.0937である。

表 case2の粒子散布結果

粒子散布 タイミング[s]	粒子散布数 [個]	流入数[個]	到達数[個]	到達率[%]	開口流入量 [m ³ /h]	有効換気量 [m ³ /h]	換気回数 [回/h]	基準化流入量	基準化有効 換気量	有効換気量 比
4.6	200	93	43	46%	3.00	1.39	51.34	374.72	173.26	0.1329
5.6	200	102	37	36%	2.33	0.85	31.33	291.46	105.73	0.0811
6.6	200	102	48	47%	3.51	1.65	61.18	438.76	206.48	0.1584
7.6	200	109	54	50%	0.70	0.35	12.93	88.05	43.62	0.0335
8.6	200	104	39	38%	0.75	0.28	10.35	93.16	34.94	0.0268
9.6	200	93	44	47%	1.69	0.80	29.54	210.73	99.70	0.0765
10.6	200	104	48	46%	4.59	2.12	78.48	573.90	264.88	0.2032
11.6	200	115	61	53%	1.03	0.55	20.26	128.91	68.38	0.0525
12.6	200	102	36	35%	3.71	1.31	48.52	463.95	163.75	0.1256
13.6	200	114	29	25%	1.89	0.48	17.83	236.60	60.19	0.0462
合計	2000	1038	439	42%	23.20	9.77	361.75	2900.26	1220.91	-
平均	200	103.8	43.9	42%	2.32	0.98	36.18	290.03	122.09	0.0937

風向に対し平行な1壁面に開口を2箇所有する場合 (case5)

基準流速5.0[m/s]、開口面積0.0016[m²]の時の平均有効換気量は1.70[m³/h]となる。有効換気量比は0.1626である。

表 case5の粒子散布結果

粒子散布 タイミング[s]	粒子散布数 [個]	流入数[個]	到達数[個]	到達率[%]	開口流入量 [m ³ /h]	有効換気量 [m ³ /h]	換気回数 [回/h]	基準化流入量	基準化有効 換気量	有効換気量 比
4.6	100	100	93	93%	8.45	7.86	290.99	1056.01	982.09	0.7536
5.6	100	87	26	30%	0.98	0.29	10.84	122.40	36.58	0.0281
6.6	100	94	52	55%	4.08	2.26	83.53	509.63	281.92	0.2163
7.6	100	100	63	63%	3.29	2.07	76.65	410.65	258.71	0.1985
8.6	100	95	34	36%	3.30	1.18	43.68	411.89	147.41	0.1131
9.6	100	53	3	6%	1.45	0.08	3.03	180.89	10.24	0.0079
10.6	100	52	38	73%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
11.6	100	86	45	52%	0.35	0.18	6.85	44.19	23.12	0.0177
12.6	100	100	56	56%	2.79	1.56	57.92	349.09	195.49	0.1500
13.6	100	100	28	28%	5.25	1.47	54.44	656.14	183.72	0.1410
合計	1000	867	438	51%	29.93	16.95	627.94	3740.88	2119.28	-
平均	100	86.7	43.8	49%	2.99	1.70	62.79	374.09	211.93	0.1626

各caseの比較

case2では平均で0.0937、case3では平均で0.1685、case4では平均で0.1154、case5では平均で0.1626である。

定常的には通風を得られないとされるcase2～case4についても非定常気流による換気量が得られる。

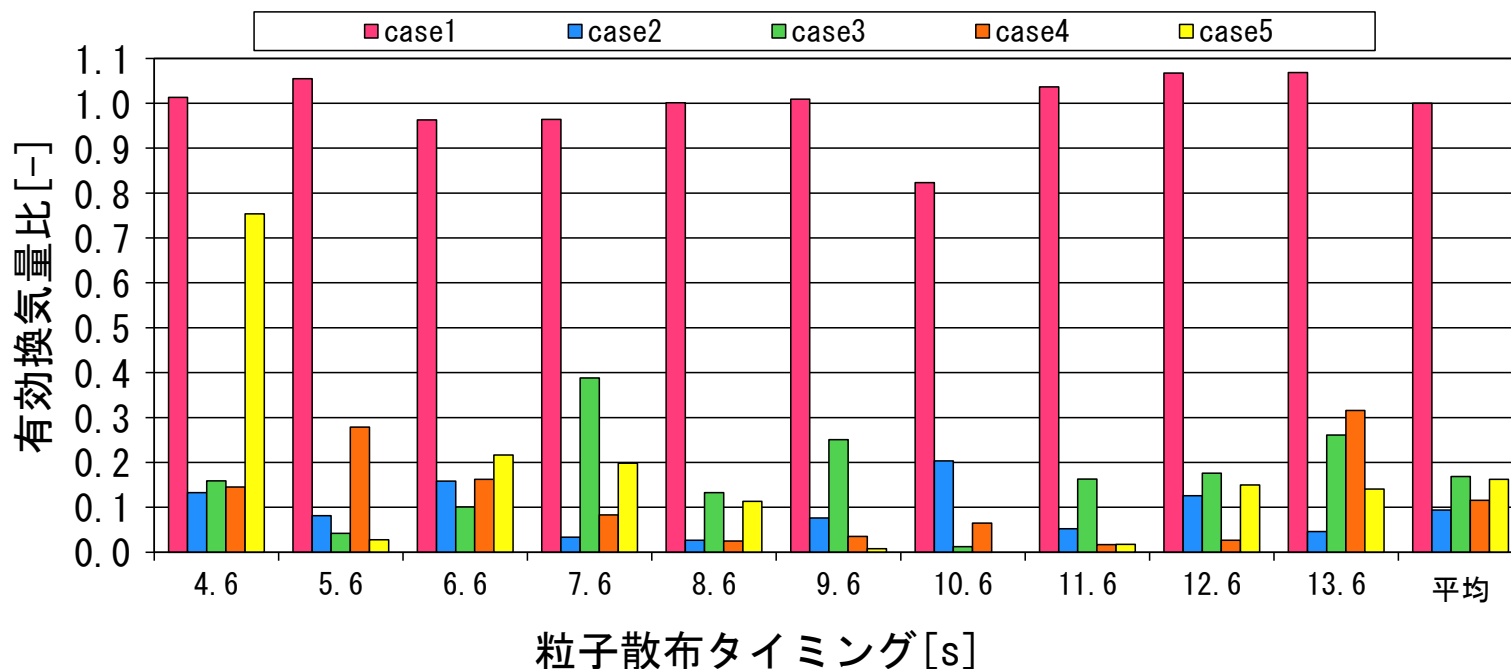


図 各caseの有効換気量比

各caseの比較

case2では平均で0.0937、case3では平均で0.1685、case4では平均で0.1154、case5では平均で0.1626である。

定常的には通風を得られないとされるcase2～case4についても非定常気流による換気量が得られる。

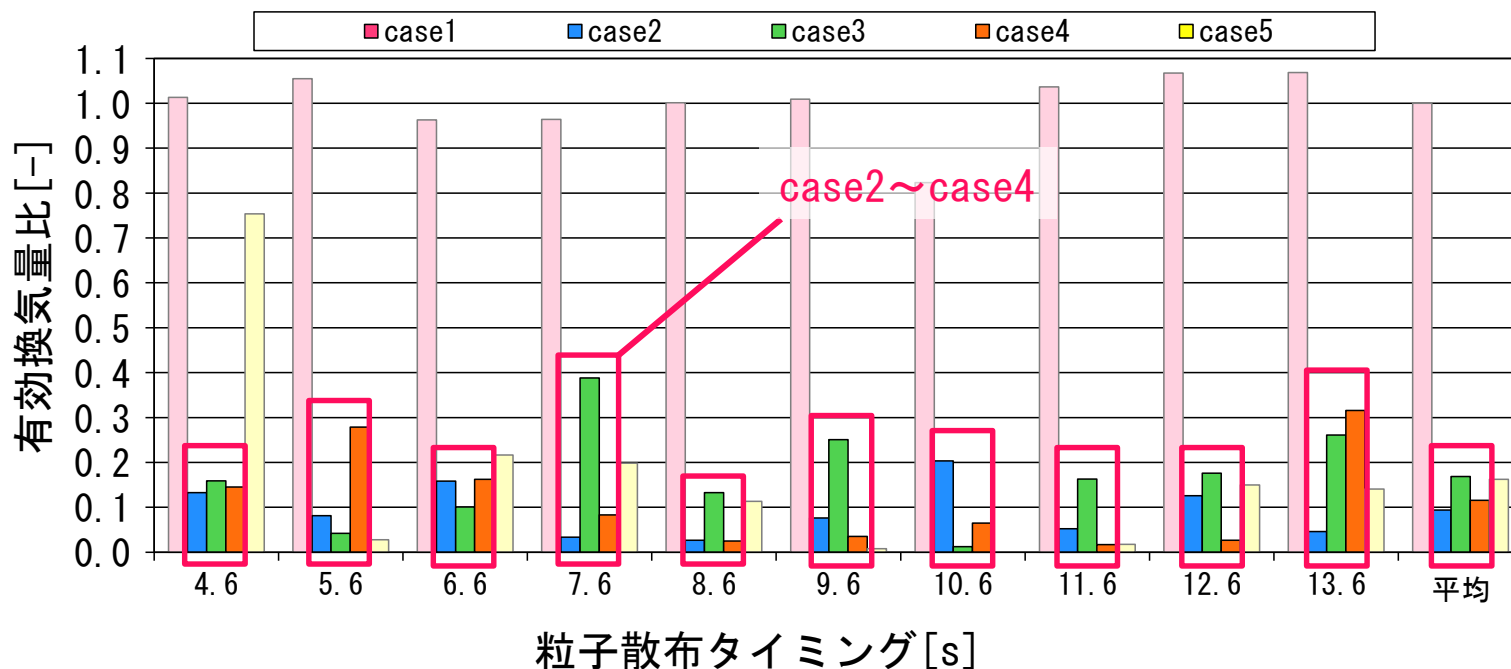


図 各caseの有効換気量比

- ①風速の変動を考慮した自然換気・通風性能を評価する手法として、LES解析で得られた解析結果を用いて開口部から粒子を散布し、粒子が十分に換気性能評価領域まで達する到達率を用いる手法を提案した。
- ②平均有効換気量比はcase2では0.0937、case3では0.1685、case4では0.1154であり、時間平均的には通風を得られないとされるcase2～case4についても風速の変動により、case1の約1割程度の換気量を得ることが出来る。