

## LES (Large-Eddy Simulation) による住宅の通風性状に関する研究

## - 隣接する 2 棟の住宅を対象とした自然換気・通風性能評価 -

坂口 真悟

指導教員 赤林 伸一 教授

## 1 研究目的

近年、増加傾向にある住宅やオフィスビル等の民生部門の冷房用エネルギー消費を削減する手法として自然通風が注目されている。自然エネルギーを用いた居住環境調整手法の一つである通風は、換気による室温低下効果や在室者への可感気流による体感温度の低下効果をもたらし、中間期や夏季の夜間等での積極的な利用が期待される。

建物の自然換気・通風性能の評価に関する数値解析では、建物の室内外の気流性状を把握するため主に Reynolds Averaged Navier-stokes Simulation (RANS) を使用した時間平均的な解析が行われ、定常状態の流体现象の再現が多数行われている。しかし、実際の自然環境下では外部風が絶えず変動し、それに応じて室内通風性状も変化するため、定常解析による自然換気・通風性能評価では必ずしも実現象を評価できていない。建物の自然換気・通風性能の評価において、接近流の変動を考慮した実現象により近い現象を再現することは極めて重要と考えられる。

近年、Personal Computer の高性能化に伴って流体现象の時間的変化を得ることが可能な非定常の解析手法が実用化されており、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) を用いた研究が行われ始めている。

本研究では LES 解析を用いて、通風が期待できないと考えられる、風向に対して平行な 1 つの壁面上に 2 つの開口を有する単純住宅モデルを対象として、住宅

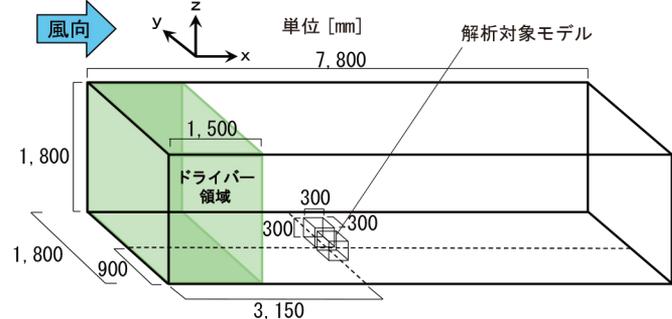


図 1 解析領域

モデルを単体で配置した場合と市街地を想定して住宅モデルを 2 棟隣接させて配置した場合を対象に LES 解析を行い、単純住宅モデルの室内外気流性状の把握及び開口部における換気量の算出を行う。

更に、流入した新鮮外気がショートサーキットを形成し、十分に室内居住域に到達せずに流出する可能性を考慮し、開口部を通過する換気量のうち室内全体の換気に実質的に寄与する割合を把握する。LES 解析により得られた住宅モデルの換気量に換気の寄与率を適用することで、非定常気流場における単純住宅モデルの自然換気・通風性能を定量的に評価することを目的とする。

## 2 LES 解析概要

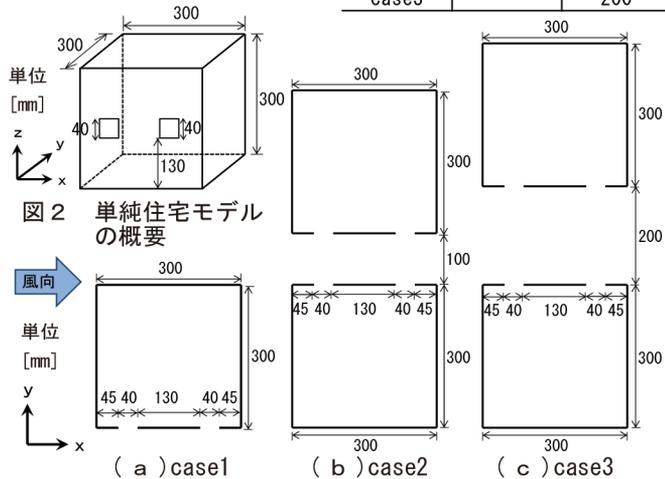
## 2.1 解析対象

表 1 に解析 case を、図 1 に解析領域を、図 2 に単純住宅モデルの概要を、図 3 に解析 case の平面図を示す。解析対象は一辺 300 [mm] の立方体の単純住宅モデルとし、風向に対して平行な壁面に一辺 40 [mm] の正方形の開口を 2 箇所設ける。開口の中心は地表面から高さ 150 [mm] の位置とし、開口の間隔は 130 [mm] とする。

case1 では単純住宅モデルを 1 棟配置し、case2 及び case3 では、2 棟の単純住宅モデルの開口を

表 1 解析 case

解析 case	配置条件	隣棟間隔 [mm]
case1	単体	-
case2	2 棟	100
case3		200



(a) case1

(b) case2

(c) case3

図 3 解析 case の平面図

有する壁面を正対させて配置し、解析対象モデルの隣棟間隔をそれぞれ 100[mm] と 200[mm] に設定する。解析領域は風洞を模擬し、7,800[mm] (長さ) × 1,800[mm] (高さ) × 1,800[mm] (幅) とする。

## 2.2 解析条件

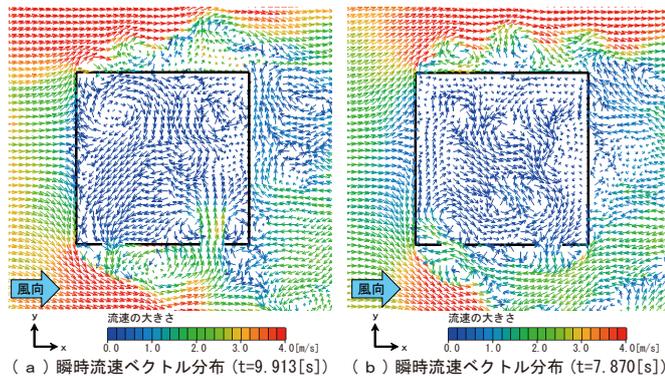
表 2 に LES 解析条件を示す。本研究における LES 解析には汎用数値流体解析ソフト STREAM ver.10 を使用する。subgrid scale モデル (SGS モデル) は Dynamic 型 Smagorinsky モデルを使用し、等温で解析する。壁面境界条件には Werner-Wengle 型の境界条件を三層モデルに拡張した条件式<sup>3)</sup>を用いる。

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] (x 成分)、 $v = 3.0$  [m/s] (y 成分)、 $w = 3.0$  [m/s] (z 成分) として与える。解析メッシュ数は、単純住宅モデルが単体の case1 では  $221(x) \times 156(y) \times 107(z) = 3,688,932$ 、隣棟間隔が 100[mm] の case2 では  $211(x) \times 208(y) \times 97(z) = 4,257,136$ 、隣棟間隔が 200[mm] の case3 では  $211(x) \times 209(y) \times 97(z) = 4,277,603$  とする。

LES 解析ではまず、解析領域の上流部分にドライバー領域<sup>\*1</sup>を設け、開口がない単純住宅モデルで流入変動気流を作成する為のプレ解析を行う。プレ解析は計算開始後  $t = 0 \sim 2.6$  [s] までとする。ドライバー領域による

表 2 LES 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 <sup>2</sup> ]		
境界条件	流入	1/4乗則(基準高さ1.0[m]で風速5.0[m/s])	
	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 Werner-Wengle
流体と接する全ての面			
部品面			
解析時間t	プレ解析 : t=0~2.6[s]、移行期間 : 2.6~4.6[s] 本解析 : t=4.6~14.6[s]		
時間刻みΔt	6.5 × 10 <sup>-5</sup> [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005[m]		
解析領域メッシュ数	case1	210(x) × 148(y) × 117(z) = 3,636,360	
	case2	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	case3	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	



流入変動気流の作成には、片岡ら<sup>4)</sup>の方法を用い、基準とする流入プロファイルは市街地を想定して  $U \propto Z^{1/4}$  ( $U$ : 流速、 $Z$ : 高さ) とする。次に、プレ解析に続き、開口を有する単純住宅モデルに対して作成した変動気流を流入させて本解析を行い、室内気流分布及び開口付近における気流性状の検討を行う。  $t = 2.6 \sim 4.6$  [s] までの 2.0[s] 間は、モデル開口部を開放してから室内気流分布が形成されるまでの移行期間としてデータを破棄する。  $t = 4.6 \sim 14.6$  [s] までの計 10[s] 間を本解析の結果とし、通風性状及び通風量の評価対象として用いる。

## 3 数値流体解析結果

### 3.1 流入変動気流の平均流速分布

図 4 に流入変動気流の平均流速分布を示す。平均流速は、1/4乗則を基準とする流入プロファイルと同様である。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]) における基準流速は 5.0 [m/s]、モデル軒高 ( $z = 300$  [mm]) における平均流速は 3.57 [m/s] である。

### 3.2 case1 (単純住宅モデル：単体)

図 5 に case1 の室内外気流性状<sup>\*2</sup>を示す。住宅モデルを単体で配置した場合、住宅モデルの角で剥離により渦が生じ、発達しながら外壁面に沿って流れる。また、後流域は複雑な気流性状となる。瞬時流速ベクトル分布では、主に風下側開口から様々な角度で気流が流入するが、住宅モデル後流からの逆流の影響により、

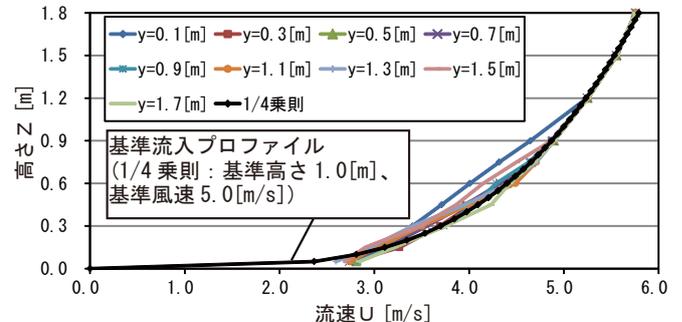


図 4 流入変動気流の y 方向の平均流速分布 (ドライバー領域下流端部 :  $x = 1,500$  [mm])

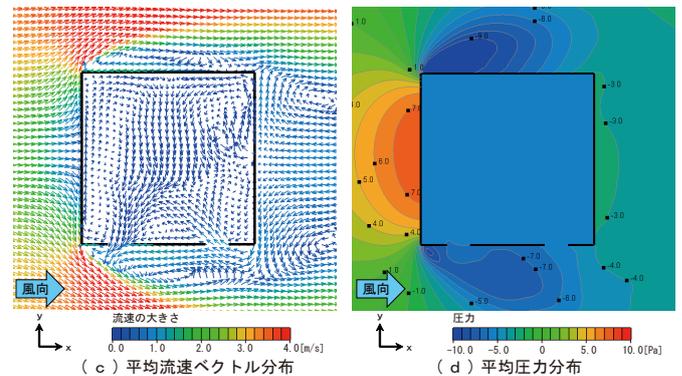


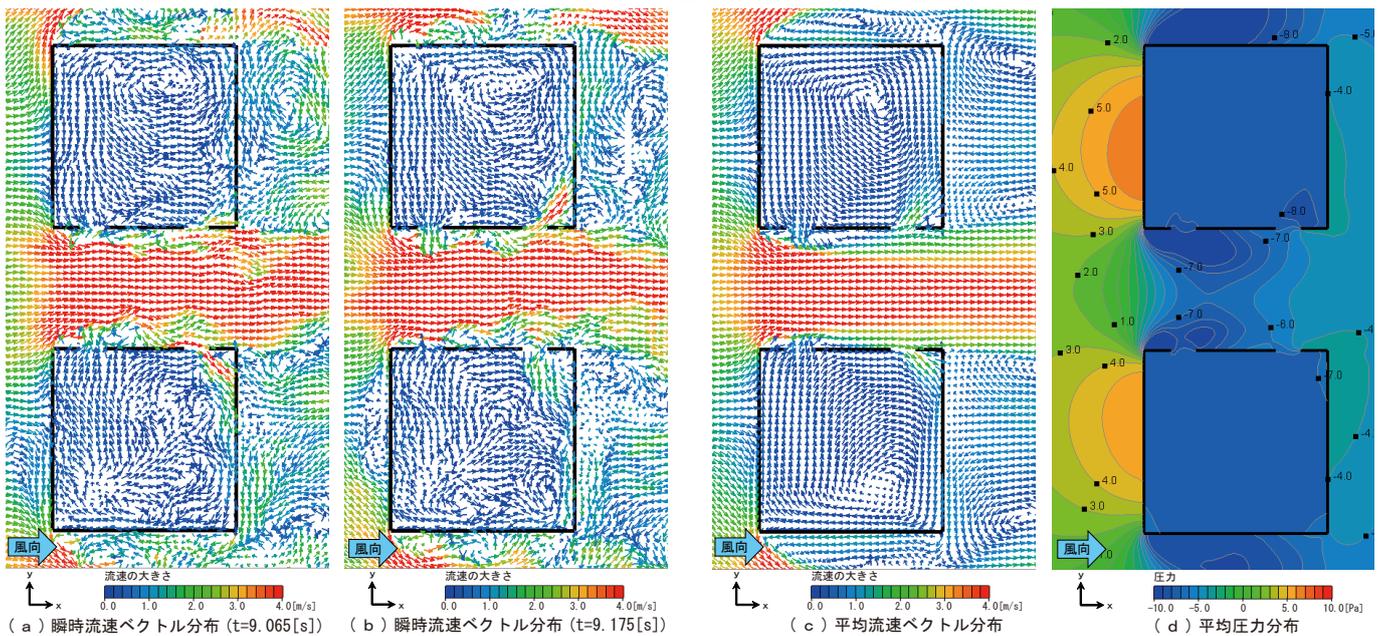
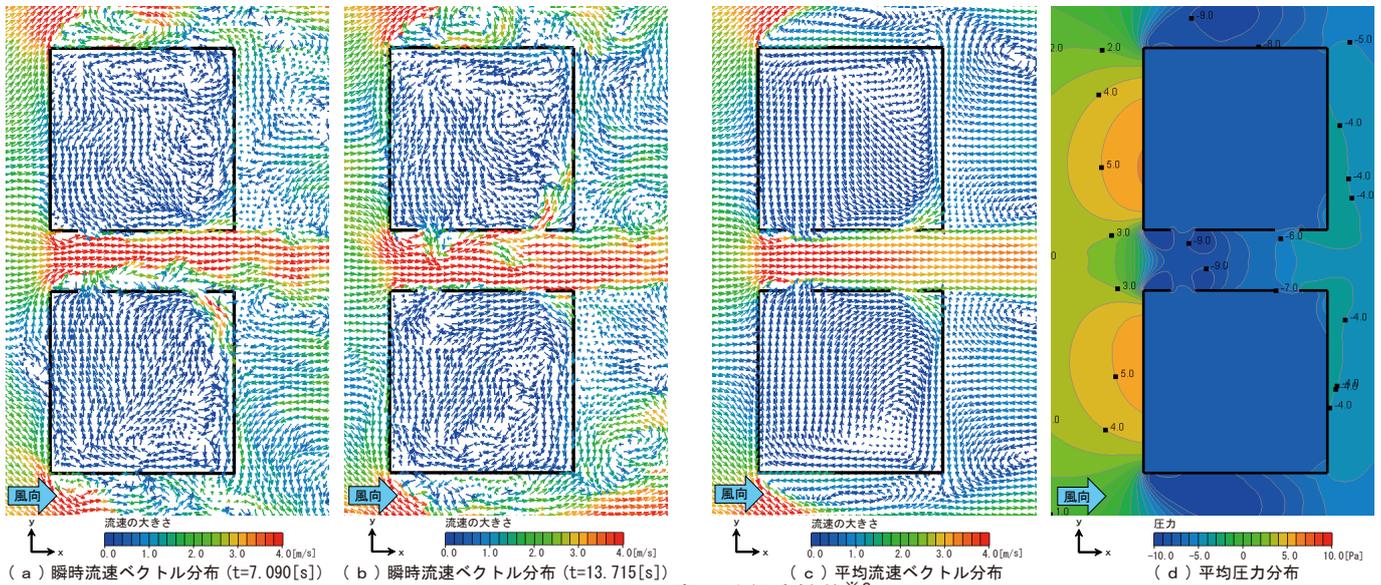
図 5 case1 の室内外気流性状<sup>\*2</sup>

風上側開口から流入して風下側開口から流出するタイミングも見られる。流入風速の最大値は2.5[m/s]程度である(図5(a),(b))。平均流速ベクトル分布では、風下側開口から1.2[m/s]程度で気流が流入し、開口を有する壁面に沿って流れ、風上側開口から流出する流れ場を形成する(図5(c))。風上側開口と風下側開口の平均圧力差は約0.48[Pa]である(図5(d))。平均換気量は3.17[m<sup>3</sup>/h]である。

### 3.3 case2(単純住宅モデル：2棟[隣棟間隔100mm])

図6にcase2の室内外気流性状<sup>※2</sup>を示す。隣棟間隔を100[mm]として住宅モデルを2棟隣接配置した場合、隣棟間に縮流が生じて隣棟間の流速が速くなり、剥離による後流域からの逆流が隣棟間の気流に押し出される。

瞬時流速ベクトル分布では、常に風下側開口から流入して風上側開口から流出する気流性状となる。隣棟間を流れる気流は2棟の住宅モデルが相互に影響し合いy方向に振動しながら流れるため、気流の流入出の強弱が各モデルで交互に生じる。流入風速の最大値は3.5[m/s]程度である(図6(a),(b))。平均流速ベクトル分布では、隣棟間の気流の流速が最大で4.59[m/s]となり、開口に対して45度の角度で気流が流速2.6[m/s]程度で室内へ流入し、内壁面に沿うように流れ、室内全体に大きな循環気流を形成する(図6(c))。風上側開口と風下側開口の平均圧力差は2棟を平均して約1.73[Pa]である(図6(d))。平均換気量は5.04[m<sup>3</sup>/h]であり、case1の単体の場合と比較して約1.59倍となる。



### 3.4 case3(単純住宅モデル：2棟 [隣棟間隔 200mm])

図7にcase3の室内外気流性状<sup>\*2</sup>を示す。case2では隣棟間の気流全体が住宅モデルの角での剥離や開口部からの気流の流入出により複雑な気流場となっていたのに対し、隣棟間隔を200[mm]として住宅モデルを2棟隣接配置した場合には、隣棟間中央の気流の変動は比較的少なく、開口部付近のみで気流が乱れている。そのため、住宅モデルの相互の影響はcase2と比較して少ないと考えられる。瞬時流速ベクトル分布では、case2と同様に常に風下側開口から流入して風上側開口から流出する気流性状となる。流入風速の最大値は4.0[m/s]程度である(図7(a),(b))。平均流速ベクトル分布では、隣棟間の流速が最大部分で4.64[m/s]となり、開口に対して約60°の角度で気流が流速2.5[m/s]程度で流入し、室内全体に大きな循環気流を形成する(図7(c))。風上側開口と風下側開口の平均圧力差は2棟を平均して約2.21[Pa]である(図7(d))。平均換気量は6.14[m<sup>3</sup>/h]であり、case1の単体の場合と比較して約1.94倍となる。

## 4 自然換気・通風性能評価手法の概要

### 4.1 換気性能評価領域の概要

図8に風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法を示す。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解析で得られた解析結果を用いて、質量・大きさの無い粒子を開口部から放出し、気流に追従させる解析を行う。開口部から住宅モデル内に流入した粒子が十分に居住域に到達せずショートサーキット<sup>文5)</sup>する場合を考慮し、換気性能評価領域を住宅モデル中心軸から開口がある壁面と対向する壁面までと定義する。

### 4.2 各解析 case の粒子放出方法

粒子放出間隔は予備解析として実施した開口面の流入方向の流速成分のスペクトル解析により求めたピーク周波数から決定し、粒子を1つの開口部から0.5[s]毎に100個ずつ等間隔で計10[s]間放出する。粒子放出後は放出した粒子の換気性能評価領域への到達数が

表3 有効換気量比の算出方法

$i = (n_r/n_{in}) \times 100$ [%]	..... (1)	$Q$ : 平均換気量 [m <sup>3</sup> /h]
$Q_c = Q \times i \times 1/100$ [m <sup>3</sup> /h]	..... (2)	$Q_0$ : case1の平均換気量 [m <sup>3</sup> /h]
$r = Q/Q_0$ [-]	..... (3)	$Q_e$ : 有効換気量 [m <sup>3</sup> /h]
$r_e = Q_c/Q_{e0}$ [-]	..... (4)	$Q_{e0}$ : case1の有効換気量 [m <sup>3</sup> /h]
$Q_s = Q/(v \times A)$ [-]	..... (5)	$Q_s$ : 基準化換気量 [-]
$Q_{cs} = Q_s \times r$ [-]	..... (6)	$Q_{es}$ : 基準化有効換気量 [-]
$i$ : 到達率 [%]		
$n_r$ : 到達数 [個]		
$n_{in}$ : 流入数 [個]		
$r$ : 換気量比 [-]		
$r_e$ : 有効換気量比 [-]		
$v$ : 基準風速 (5.0) [m/s]		
$A$ : 開口面積 (0.0016) [m <sup>2</sup> ]		

一定となり、定常状態に達するまで本解析の10[s]間の結果を周期的に使用する。また、粒子放出を行う開口面はLES解析結果の気流性状により判断する。case1では、風上・風下側の両開口部から交互に気流が流入出するため、両開口部から粒子を0.5[s]毎に100個ずつ、10[s]間で計4000個放出する(図8(a))。case2, case3では、風下側開口部からのみ室内に気流が流入するため、各棟の風下開口部からのみ粒子を0.5[s]毎に100個ずつ、10[s]間で各棟に計2000個ずつ放出する(図8(b))。

### 4.3 風速変動を考慮した有効換気量の算出方法

表3に有効換気量比の算出方法を示す。まず、放出した粒子のうち室内に流入した粒子数をカウントし、流入粒子数( $n_{in}$ )とする。流入した粒子のうち換気性能評価領域まで到達した粒子のみが換気に寄与する粒子と考え、到達粒子数( $n_r$ )とする。次に、流入粒子数( $n_{in}$ )と到達粒子数( $n_r$ )から式(1)より到達率( $i$ )を算出し、LES解析結果で算出した各caseの平均換気量( $Q$ )<sup>\*3</sup>と到達率( $i$ )から式(2)より有効換気量( $Q_c$ )を算出する。また、case1の平均換気量を $Q_0$ 、有効換気量を $Q_{e0}$ として、式(4)よりcase1と各caseの有効換気量を比較するため有効換気量比( $r_e$ )<sup>\*4</sup>を算出する。

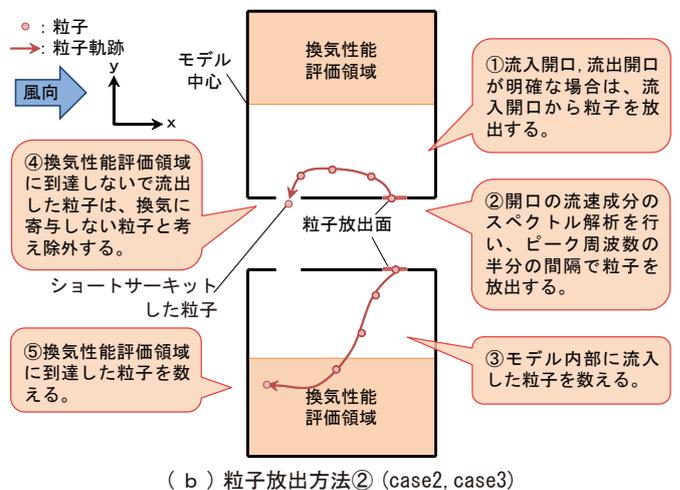
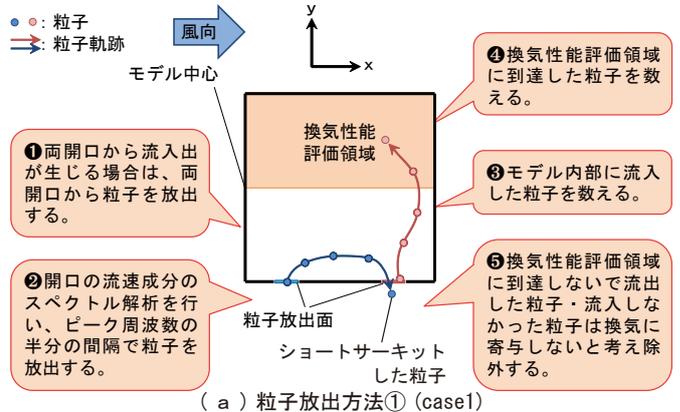


図8 風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法

## 5 自然換気・通風性能評価結果

図9～11に各caseにおける各粒子数の推移を、表4～6に各caseの粒子放出結果を、図12に各caseの自然換気・通風性能評価結果を、図13に各放出タイミングにおける有効換気量比の推移を示す。case2, case3の解析結果は2棟の住宅モデルに放出された粒子数の合計値を示す。尚、本報のLES解析における平均換気量は、基準風速:5.0[m/s]、開口面積:各0.0016[m<sup>2</sup>]の単純住宅モデルの換気量で算出している。

### 5.1 case1 (単純住宅モデル: 単体)

放出した粒子の約58[%]がモデル内に流入し、そのうち換気性能評価領域への到達率は52.7[%]となり、約半分がショートサーキットする。積算粒子到達数は22.6[s]以降増加していないため、定常に達したと見なすことができる。周辺気流の影響を受け、開口に対しての流入角が様々となるため、粒子放出タイミングによって到達率の変域が19～98[%]と広い。有効換気量は1.67[m<sup>3</sup>/h]となり、この値により各caseの有効換気量を基準化することで有効換気量比を算出する。

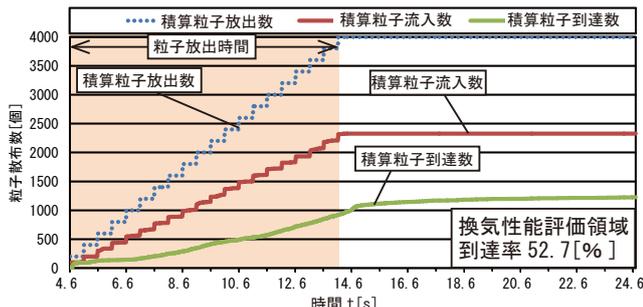


図9 case1の各粒子数推移

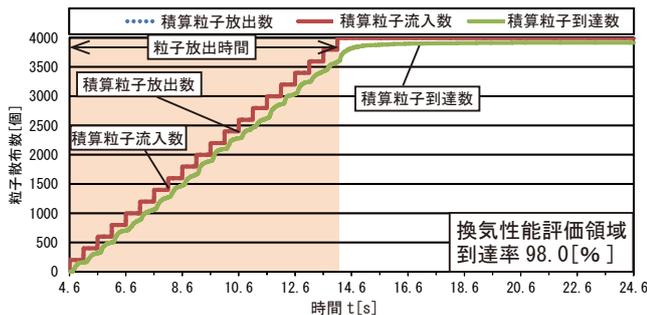


図10 case2の各粒子数推移

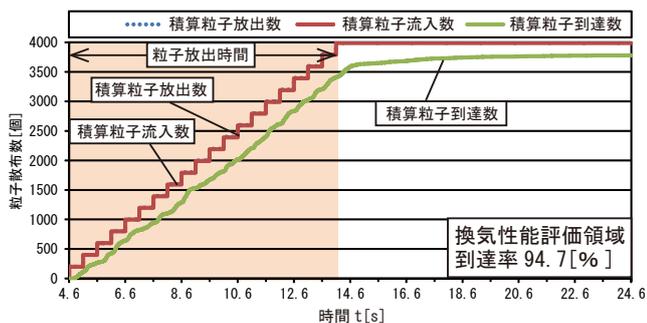


図11 case3の各粒子数推移

### 5.2 case2 (単純住宅モデル: 2棟 [隣棟間隔100mm])

ほとんど全ての粒子がモデル内に流入し、到達率は98.0[%]となる。積算粒子到達数は20.6[s]以降増加していないため、定常に達したと見なせる。粒子到達率は全ての散布タイミングにおいて95[%]を超え、開口からの流入気流が室内の換気に効率良く寄与している。有効換気量は4.94[m<sup>3</sup>/h]、有効換気量比は2.95となる。

表4 case1の粒子放出結果

粒子放出タイミング[s]	放出粒子数 n[個]	流入粒子数 n <sub>i</sub> [個]	到達粒子数 n <sub>r</sub> [個]	粒子到達率 r[%]	平均換気量 Q[m <sup>3</sup> /h]	有効換気量 Q <sub>e</sub> [m <sup>3</sup> /h]	平均換気量比 r <sub>e</sub> [-]	有効換気量比 r <sub>e</sub> [-]	有効換気回数 [回/h]	基準化換気量 Q <sub>e</sub> [-]	基準化有効換気量 Q <sub>e</sub> [-]
4.6	200	101	99	98.0%	4.35	4.27	1.37	2.55	158.0	544.0	533.2
5.1	200	100	78	78.0%	3.48	2.71	1.10	1.62	100.4	434.5	338.9
5.6	200	137	26	19.0%	3.18	0.60	1.00	0.36	22.4	397.9	75.5
6.1	200	109	79	72.5%	3.83	2.78	1.21	1.66	102.9	479.2	347.3
6.6	200	123	85	69.1%	3.24	2.24	1.02	1.34	82.9	404.9	279.8
7.1	200	106	60	56.6%	2.49	1.41	0.79	0.84	52.2	311.4	176.3
7.6	200	108	76	70.4%	3.42	2.41	1.08	1.44	89.1	427.5	300.9
8.1	200	115	82	71.3%	2.44	1.74	0.77	1.04	64.5	305.3	217.7
8.6	200	121	46	38.0%	2.66	1.01	0.84	0.61	37.5	333.1	126.6
9.1	200	133	38	28.6%	2.24	0.64	0.70	0.38	23.7	279.6	79.9
9.6	200	116	26	22.4%	2.97	0.67	0.94	0.40	24.7	371.6	83.3
10.1	200	120	34	28.3%	3.01	0.85	0.95	0.51	31.6	376.5	106.7
10.6	200	115	75	65.2%	3.58	2.34	1.13	1.40	86.6	447.9	292.1
11.1	200	113	94	83.2%	3.08	2.56	0.97	1.53	94.8	384.8	320.1
11.6	200	110	70	63.6%	2.98	1.90	0.94	1.13	70.3	373.1	237.4
12.1	200	108	81	75.0%	2.25	1.69	0.71	1.01	62.5	281.5	211.1
12.6	200	101	68	67.3%	3.10	2.09	0.98	1.25	77.3	387.5	260.9
13.1	200	139	33	23.7%	4.00	0.95	1.26	0.57	35.2	500.1	118.7
13.6	200	131	27	20.6%	3.50	0.72	1.10	0.43	26.7	437.2	90.1
14.1	200	122	51	41.8%	3.65	1.53	1.15	0.91	56.5	456.5	190.8
合計	4000	2328	1228	52.7%	-	-	-	-	-	-	-
平均	200	116	61	52.7%	3.17	1.67	1.00	1.00	62.0	396.7	219.4

表5 case2の粒子放出結果

粒子放出タイミング[s]	放出粒子数 n[個]	流入粒子数 n <sub>i</sub> [個]	到達粒子数 n <sub>r</sub> [個]	粒子到達率 r[%]	平均換気量 Q[m <sup>3</sup> /h]	有効換気量 Q <sub>e</sub> [m <sup>3</sup> /h]	平均換気量比 r <sub>e</sub> [-]	有効換気量比 r <sub>e</sub> [-]	有効換気回数 [回/h]	基準化換気量 Q <sub>e</sub> [-]	基準化有効換気量 Q <sub>e</sub> [-]
4.6	200	200	197	98.5%	5.15	5.08	1.62	3.03	188.1	644.4	634.7
5.1	200	200	194	97.0%	4.87	4.72	1.53	2.82	174.8	608.3	590.0
5.6	200	200	200	100%	4.12	4.12	1.30	2.46	152.4	514.4	514.4
6.1	200	200	192	96.0%	4.88	4.68	1.54	2.80	173.4	609.6	585.2
6.6	200	200	199	99.5%	4.57	4.55	1.44	2.72	168.4	571.1	568.3
7.1	200	200	194	97.0%	4.93	4.79	1.55	2.86	177.3	616.7	598.2
7.6	200	200	197	98.5%	5.36	5.28	1.69	3.15	195.6	670.2	660.2
8.1	200	198	198	100%	5.03	5.03	1.59	3.01	186.4	629.1	629.1
8.6	200	200	194	97.0%	5.21	5.06	1.64	3.02	187.2	651.4	631.9
9.1	200	200	196	98.0%	5.41	5.30	1.70	3.16	196.2	675.7	662.2
9.6	200	200	195	97.5%	5.46	5.32	1.72	3.18	197.1	682.4	665.3
10.1	200	200	198	99.0%	4.99	4.94	1.57	2.95	182.8	623.2	617.0
10.6	200	200	194	97.0%	4.92	4.78	1.55	2.85	176.9	615.6	597.1
11.1	200	200	196	98.0%	4.93	4.83	1.55	2.89	179.0	616.4	604.1
11.6	200	200	197	98.5%	5.18	5.10	1.63	3.05	188.9	647.1	637.4
12.1	200	200	192	96.0%	5.15	4.95	1.62	2.96	183.3	644.3	618.5
12.6	200	200	198	99.0%	5.27	5.22	1.66	3.12	193.4	659.2	652.6
13.1	200	196	190	96.9%	5.18	5.02	1.63	3.00	185.8	646.9	627.1
13.6	200	200	196	98.0%	5.14	5.04	1.62	3.01	186.7	643.0	630.1
14.1	200	200	196	98.0%	5.06	4.96	1.59	2.96	183.6	632.2	619.5
合計	4000	3994	3913	98.0%	-	-	-	-	-	-	-
平均	200	200	196	98.0%	5.04	4.94	1.59	2.95	182.9	630.1	617.2

表6 case3の粒子放出結果

粒子放出タイミング[s]	放出粒子数 n[個]	流入粒子数 n <sub>i</sub> [個]	到達粒子数 n <sub>r</sub> [個]	粒子到達率 r[%]	平均換気量 Q[m <sup>3</sup> /h]	有効換気量 Q <sub>e</sub> [m <sup>3</sup> /h]	平均換気量比 r <sub>e</sub> [-]	有効換気量比 r <sub>e</sub> [-]	有効換気回数 [回/h]	基準化換気量 Q <sub>e</sub> [-]	基準化有効換気量 Q <sub>e</sub> [-]
4.6	200	200	196	98.0%	6.42	6.29	2.02	3.76	233.1	802.9	786.8
5.1	200	200	180	90.0%	5.84	5.26	1.84	3.14	194.8	730.4	657.4
5.6	200	200	199	99.5%	6.42	6.39	2.02	3.82	236.7	802.7	798.7
6.1	200	198	192	97.0%	6.16	5.97	1.94	3.57	221.2	769.9	746.6
6.6	200	200	188	94.0%	5.67	5.33	1.79	3.18	197.3	708.3	665.8
7.1	200	200	189	94.5%	6.10	5.77	1.92	3.45	213.6	763.0	721.0
7.6	200	193	191	99.0%	6.07	6.01	1.91	3.59	222.5	758.7	750.9
8.1	200	200	190	95.0%	6.33	6.01	1.99	3.59	222.7	791.0	751.5
8.6	200	200	199	99.5%	6.37	6.33	2.01	3.78	234.6	795.7	791.8
9.1	200	200	178	89.0%	6.78	6.04	2.14	3.61	223.6	847.8	754.5
9.6	200	200	166	83.0%	6.09	5.05	1.92	3.02	187.2	761.0	631.7
10.1	200	200	192	96.0%	6.27	6.02	1.98	3.60	223.1	784.3	752.9
10.6	200	200	185	92.5%	6.06	5.60	1.91	3.35	207.5	757.0	700.2
11.1	200	200	197	98.5%	5.77	5.68	1.82	3.39	210.5	721.1	710.3
11.6	200	200	188	94.0%	5.97	5.61	1.88	3.35	207.8	746.1	701.3
12.1	200	200	196	98.0%	5.88	5.76	1.85	3.44	213.3	734.4	719.7
12.6	200	200	178	89.0%	6.34	5.64	2.00	3.37	209.0	792.7	705.5
13.1	200	200	190	95.0%	6.33	6.01	1.99	3.59	222.8	791.4	751.8
13.6	200	200	189	94.5%	6.17	5.83	1.94	3.48	216.0	771.3	728.9
14.1	200	200	196	98.0%	5.80	5.68	1.83	3.39	210.4	724.5	710.0
合計	4000	3991	3779	94.7%	-	-	-	-	-	-	-
平均	200	200	189	94.7%	6.14	5.81	1.94	3.47	215.4	767.7	726.9

### 5.3 case3 (単純住宅モデル：2棟 [隣棟間隔 200mm])

隣棟間隔を200[mm]とした場合もcase2と同様にほとんどの粒子がモデル内に流入する。到達率は各散布タイミングで83.0～99.5[%]、合計で94.7[%]となり、case2と比較して隣棟間隔を広げたことで到達率は3[%]程度減少する。積算粒子到達数は22.6[s]以降増加していないため、定常に達したと見なせる。有効換気量は5.81[m<sup>3</sup>/h]、有効換気量比は3.47となる。

#### 6 各 case 解析結果の比較

case1の単体の場合、流入出開口が定まらず風上側と風下側の両開口から気流の流入出が起きる。剥離流によりモデル後流域からの逆流が生じることで、風下側開口から開口に対してほぼ平行に気流が流入し、室内に十分に拡散せずに流出するため、ショートサーキットを形成する。隣接して2棟配置する場合は、隣棟間に外部風の縮流が起き流速が速くなり、開口部付近の風向が安定するため各放出タイミングにおける有効換気量がcase1と比較して向上する(図13)。また、流入出開口が明確であり、室内に大きな循環気流を定常的に形成するため、粒子の到達率がcase2では98[%]、case3では95[%]に上昇する。case2はcase1の2.95倍、case3はcase1の3.47倍の有効換気量を得られる。また、case3はcase2の1.18倍の有効換気量を得られ、隣棟間隔を広げることで換気性能が向上する。

#### 7 まとめ

- ①住宅モデルの角では剥離による渦が生じ、発達しながら側壁を流れる。また、後流域は複雑な気流性状となり、主風向とは逆に流れる気流場を形成する。
- ②case1では、瞬時では風上側開口と風上側開口の両開口から交互に気流が流入する。平均的には風下側開口から風上側開口に向かって気流が流入し、換気性能評価領域に十分に到達せずに風上側から流出する。到達率は52.7[%]となり、流入した気流の約半分がショートサーキットを形成する。平均換気量は3.17[m<sup>3</sup>/h]、有効換気量は1.67[m<sup>3</sup>/h]となる。

③住宅モデルを2棟隣接配置した場合は、隣棟間に縮流が生じて隣棟間の流速が速くなり、押し出されるように流れる。隣棟間を流れる気流は2棟の住宅モデルが相互に影響し合い、y方向に振動しながら流れるため、流入出の強弱が各モデルで交互に生じる。

④case2では各モデルで室内に大きな循環気流を定常的に形成する為、到達率は98.0[%]となり、2棟にすることで換気性能が向上する。平均換気量は5.04[m<sup>3</sup>/h]、有効換気量は4.94[m<sup>3</sup>/h]となり、case1の2.95倍の有効換気量を得られる。

⑤case3では各モデルで室内に大きな循環気流を定常的に形成し、到達率は94.7[%]となる。2棟の住宅モデルの相互の影響はcase2と比較して小さい。平均換気量は6.14[m<sup>3</sup>/h]、有効換気量は5.81[m<sup>3</sup>/h]となり、隣棟間隔を広げることで換気性能が向上する。case1の3.47倍、case2の1.18倍の有効換気量を得られる。

#### 注釈

- ※1 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、解析領域上流部に設けた領域である。
- ※2 開口の中心(z=150[mm])の水平断面における流速分布である。瞬時流速分布におけるものは、解析開始後の経過時間を示す。
- ※3 平均換気量は、各モデルの開口面における瞬時流入量の積算値を、サイクル数で除する事により平均化し算出する。
- ※4 平均換気量比、有効換気量比は、各 case の平均通風量及び有効換気量を case1 の平均換気量及び有効換気量で除した値である。

#### 参考文献

- 文1) 赤林・坂口・富永・有波・本田「LESによる住宅の通風性状に関する研究 その1 標準k-εモデルとLESによる住宅の気流性状の比較」日本建築学会学術講演梗概集、2013年
- 文2) 赤林・坂口・富永・有波・本田「LESによる住宅の通風性状に関する研究 その2 同一壁面に複数の開口部を有する単純住宅モデルの気流性状に関する研究」日本建築学会学術講演梗概集、2013年
- 文3) 株式会社ソフトウェアクレイドル「STREAM ver.10 ユーザーズガイド 基礎編」2011年7月 pp2-45
- 文4) 片岡、水野「流入変動風を用いた三次元角柱周りの気流解析」日本建築学会計画系論文集、1999年
- 文5) 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」空調調和・衛生工学論文集、2009年
- 文6) Marcel Lesieur・Olivier Metais・Pierre Comte 柳瀬・百武・河原・渡辺訳「乱流のシミュレーション LESによる数値計算と可視化」森北出版、2010年
- 文7) 日本建築学会「市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック-ガイドラインと検証用データベース-

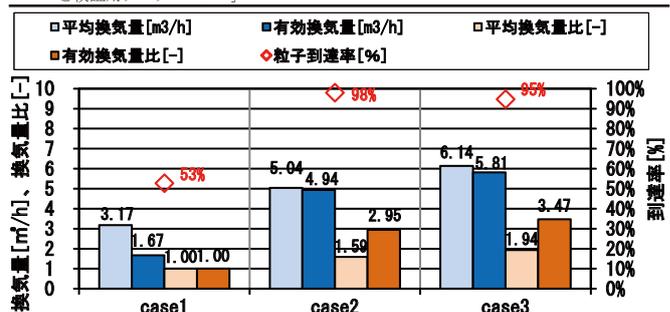


図12 各 case の自然換気・通風性能評価結果

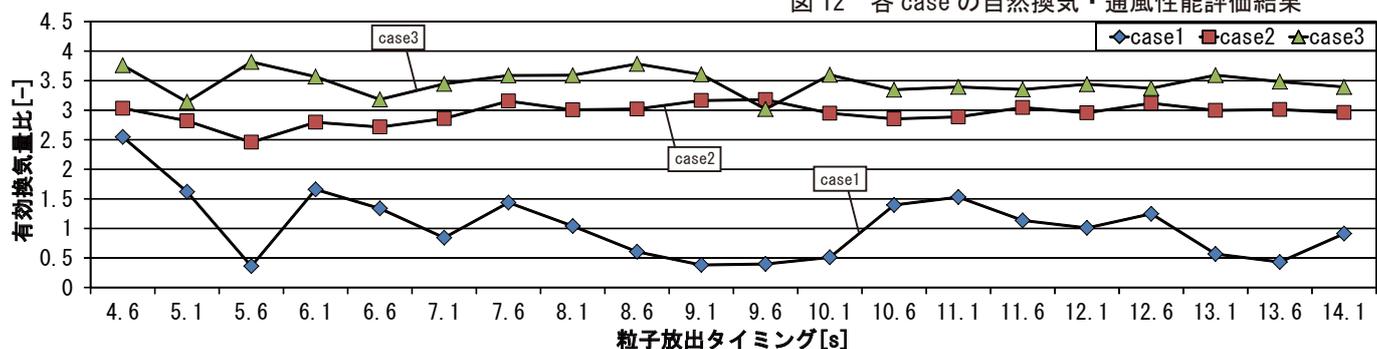


図13 各放出タイミングにおける有効換気量比の推移