

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

単純住宅モデルにおける風速変動を考慮した
自然換気・通風性能評価

指導教員 安達 郁弥
赤林 伸一 教授

研究目的

既往の研究^{文1)}ではLES (Large Eddy Simulation) を用いて、十分な通風が期待できない、同一壁面に2つの開口を有する単純住宅モデルを対象として開口部に風力換気促進装置(ガイドベーン:GV)を設置した場合の解析を行い、実現象に近い非定常時の風速変動を考慮した通風性状及び換気量の比較、検討を行っている。

文1) 赤林・坂口ら 「LESによる住宅の通風性状に関する研究(その4,5)」 日本建築学会学術講演梗概集、2015年

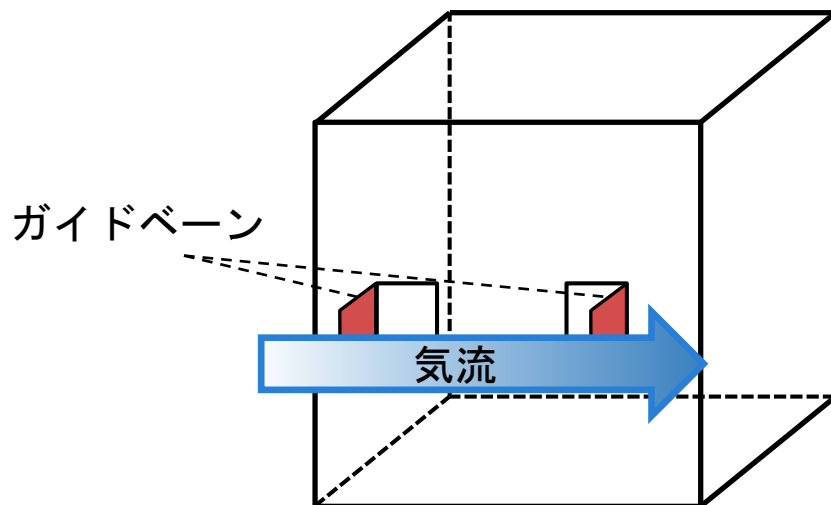


図 風力換気促進装置(ガイドベーン:GV)の概要

研究目的

既往の研究^{文1)}ではLES (Large Eddy Simulation) を用いて、十分な通風が期待できない、同一壁面に2つの開口を有する単純住宅モデルを対象として開口部に風力換気促進装置(ガイドベーン:GV)を設置した場合の解析を行い、実現象に近い非定常時の風速変動を考慮した通風性状及び換気量の比較、検討を行っている。

文1) 赤林・坂口ら 「LESによる住宅の通風性状に関する研究(その4,5)」日本建築学会学術講演梗概集、2015年

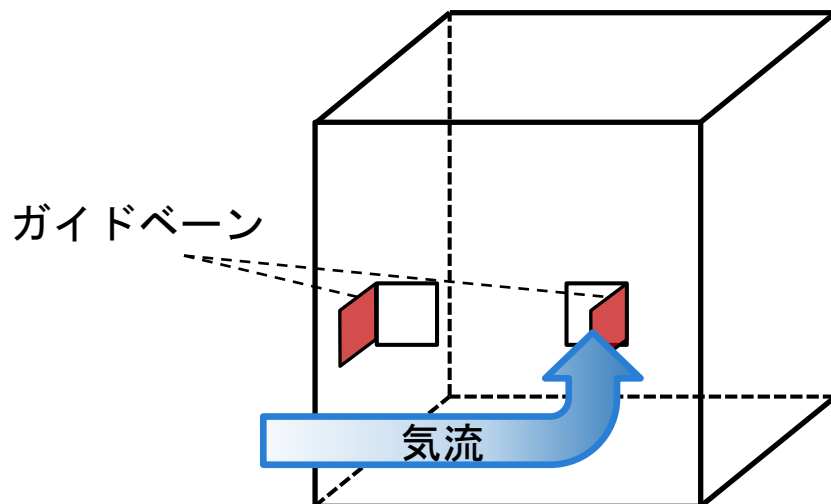
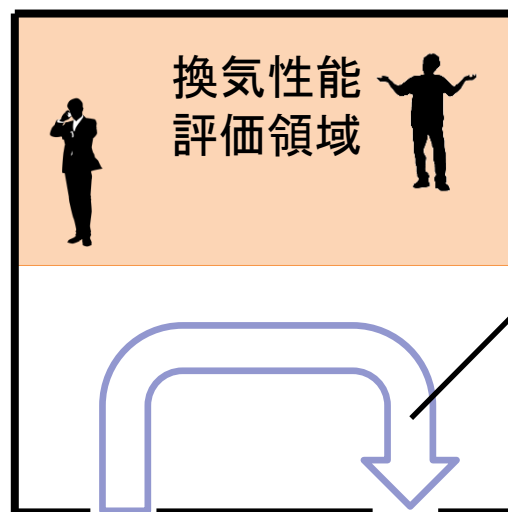


図 風力換気促進装置(ガイドベーン:GV)の概要

研究目的

流入・流出開口の相対的な位置によっては、流入した新鮮外気が**ショートサーキット**を形成し、室内居住域に十分到達せず流出する可能性がある。そのため開口部における流入出量だけではなく、開口部から流入した新鮮外気の中で、室内の換気に実質的に寄与する風量を把握することで、自然換気・通風性能評価を行う必要がある。



ショートサーキット

: 新鮮外気が居住域に十分到達せず流出してしまう

図 ショートサーキットの概要

研究目的

流入・流出開口の相対的な位置によっては、流入した新鮮外気がショートサーキットを形成し、室内居住域に十分到達せず流出する可能性がある。そのため開口部における流入出量だけでなく、開口部から流入した新鮮外気の中で、室内の

本研究では、既往のLES解析結果を対象に流入気流の居住空間への到達率を用いた**自然換気・通風性能評価手法**を適用することで、GVの効果及び建物が2棟ある場合の隣棟間隔が通風性能へ与える影響を定量的に評価することを目的とする。



図 ショートサーキットの概要

研究概要

解析対象は、一辺300[mm]の立方体の単純住宅モデルとする。

風向に対して平行な1つの壁面に一辺40[mm]の正方形の開口を2箇所設ける。

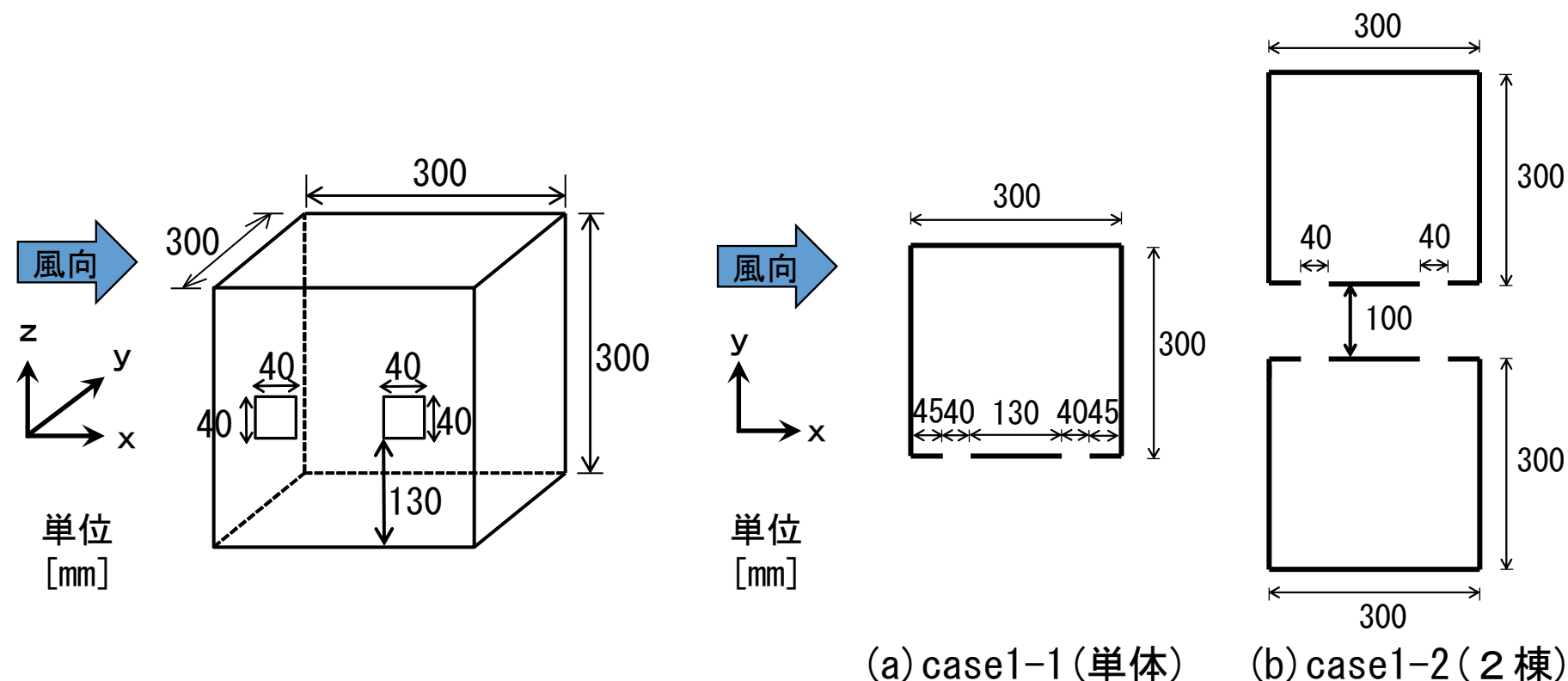


図 解析対象モデル

(a) case1-1 (単体) (b) case1-2 (2 棟)

図 1 解析対象モデルの概要

解析case

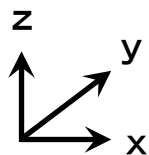
表 1 解析case

解析case		単純住宅モデル	配置条件	隣棟間隔 [mm]	GV設置位置	
					風上側開口	風下側開口
case1	1-1	A棟	単体	-	なし	
	1-2		2 棟	100		
	1-3			200		
case2	2-1	B棟	単体	-	風上側	風下側
	2-2		2 棟	100		
	2-3			200		
case3	3-1	C棟	単体	-	風下側	風上側
	3-2		2 棟	100		
	3-3			200		

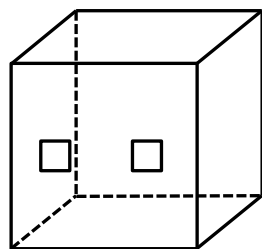
解析case

表 1 解析case

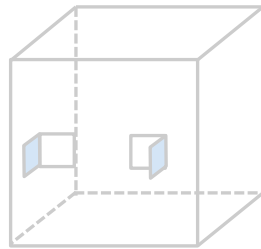
解析case		単純住宅モデル	配置条件	隣棟間隔 [mm]	GV設置位置	
					風上側開口	風下側開口
case1	1-1	A棟	単体	-	なし	
	1-2		2 棟	100		
	1-3			200		
case2	2-1	B棟	単体	-	風上側	風下側
	2-2		2 棟	100		
	2-3			200		
case3	3-1	C棟	単体	-	風下側	風上側
	3-2		2 棟	100		
	3-3			200		



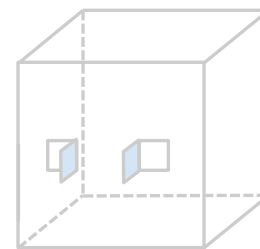
単位
[mm]



case1-1



case2-1



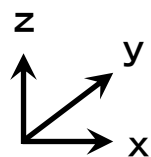
case3-1

図 解析対象モデル

解析case

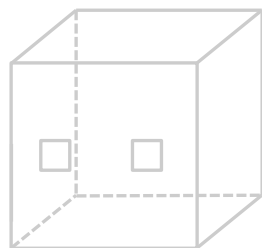
表 1 解析case

解析case		単純住宅モデル	配置条件	隣棟間隔 [mm]	GV設置位置	
					風上側開口	風下側開口
case1	1-1	A棟	単体	-	なし	
	1-2		2 棟	100		
	1-3			200		
case2	2-1	B棟	単体	-	風上側	風下側
	2-2		2 棟	100		
	2-3			200		
case3	3-1	C棟	単体	-	風下側	風上側
	3-2		2 棟	100		
	3-3			200		

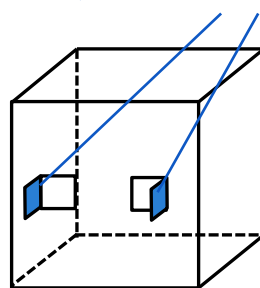


単位
[mm]

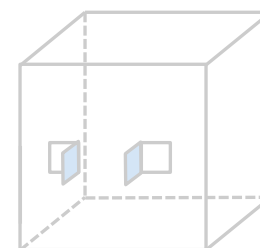
風力換気促進装置
(GV: ガイドベーン)



case1-1



case2-1



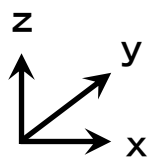
case3-1

図 解析対象モデル

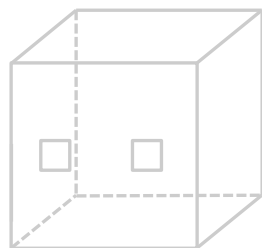
解析case

表 1 解析case

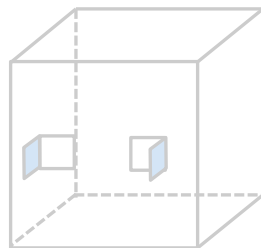
解析case		単純住宅モデル	配置条件	隣棟間隔 [mm]	GV設置位置	
					風上側開口	風下側開口
case1	1-1	A棟	単体	-	なし	
	1-2		2 棟	100		
	1-3			200		
case2	2-1	B棟	単体	-	風上側	風下側
	2-2		2 棟	100		
	2-3			200		
case3	3-1	C棟	単体	-		
	3-2		2 棟	100	風下側	風上側
	3-3			200		



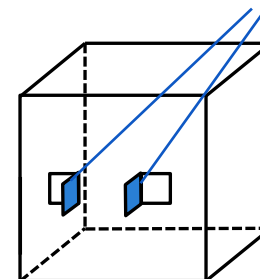
単位
[mm]



case1-1



case2-1



case3-1

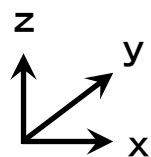
風力換気促進装置
(GV: ガイドベーン)

図 解析対象モデル

解析case

表 1 解析case

解析case		単純住宅モデル	配置条件	隣棟間隔 [mm]	GV設置位置	
					風上側開口	風下側開口
case1	1-1	A棟	単体	-	なし	
	1-2		2 棟	100		
	1-3			200		
case2	2-1	B棟	単体	-	風上側	風下側
	2-2		2 棟	100		
	2-3			200		
case3	3-1	C棟	単体	-	風下側	風上側
	3-2		2 棟	100		
	3-3			200		



単位
[mm]

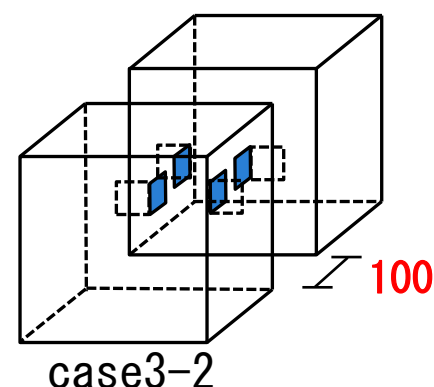
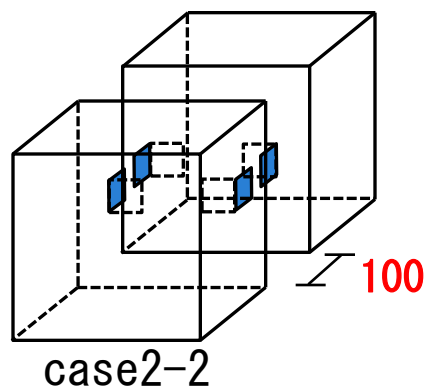
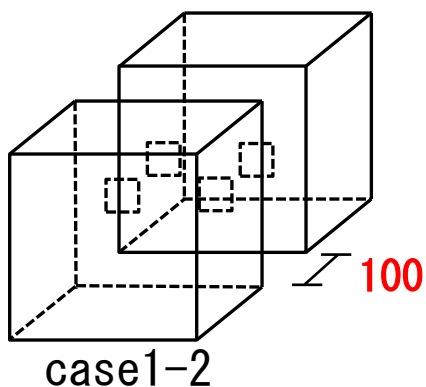
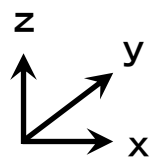


図 解析対象モデル

解析case

表 1 解析case

解析case		単純住宅モデル	配置条件	隣棟間隔 [mm]	GV設置位置	
					風上側開口	風下側開口
case1	1-1	A棟	単体	-	なし	
	1-2		2棟	100		
	1-3			200		
case2	2-1	B棟	単体	-	風上側	風下側
	2-2		2棟	100		
	2-3			200		
case3	3-1	C棟	単体	-	風下側	風上側
	3-2		2棟	100		
	3-3			200		



単位
[mm]

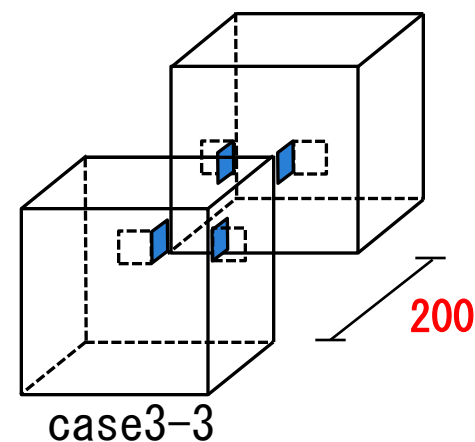
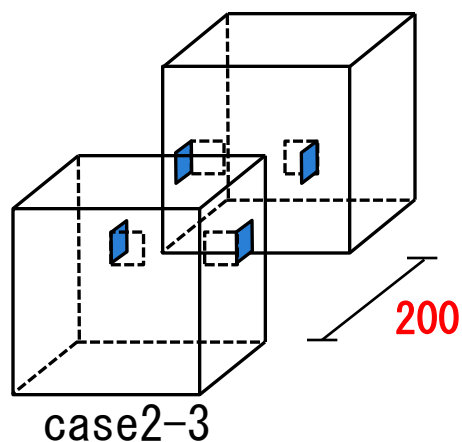
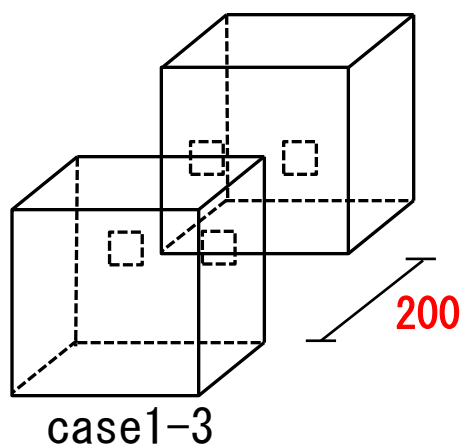


図 解析対象モデル

評価手法の概要

質量・大きさのない粒子を室内へ気流が流入出する開口部から放出し、気流に追従させる解析を行う。流入粒子が居住域に十分に到達せずにショートサーキットする場合を想定し、**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を換気性能評価領域と設定する。**

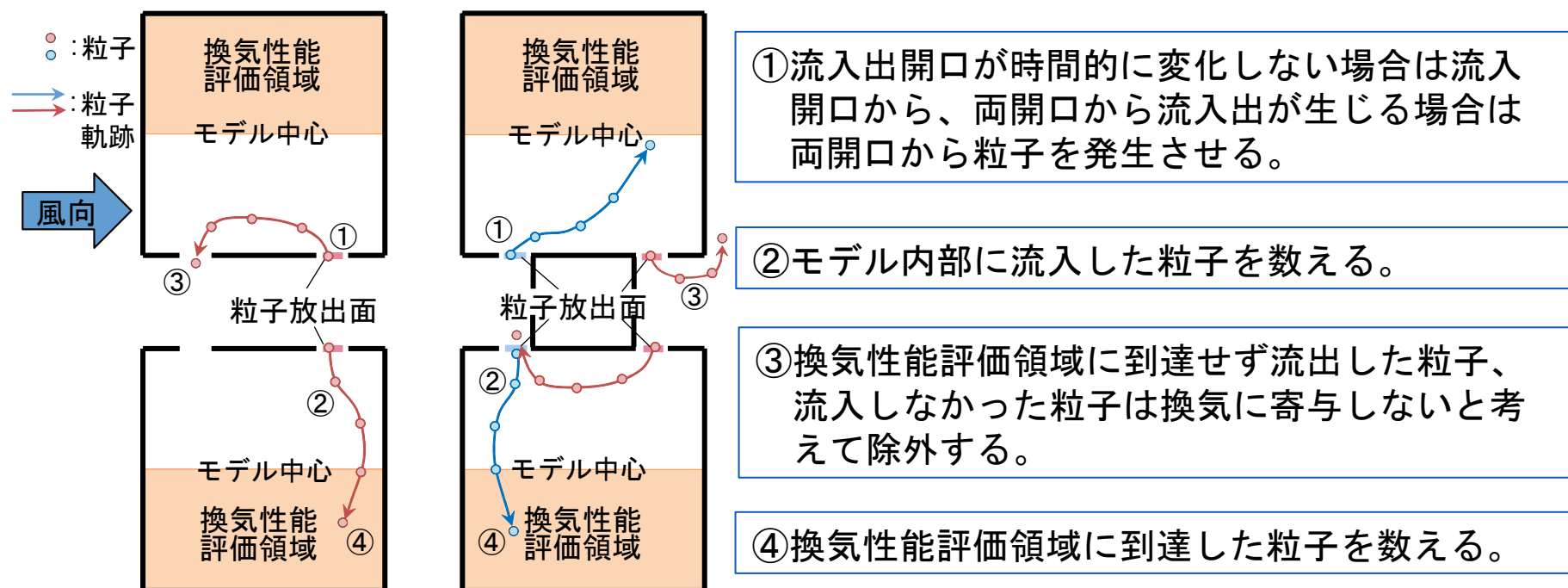


図2 風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法の概要

評価手法の概要

1つの開口部から、0.5[s]毎※²に100個ずつ、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。

※2 粒子散布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する。

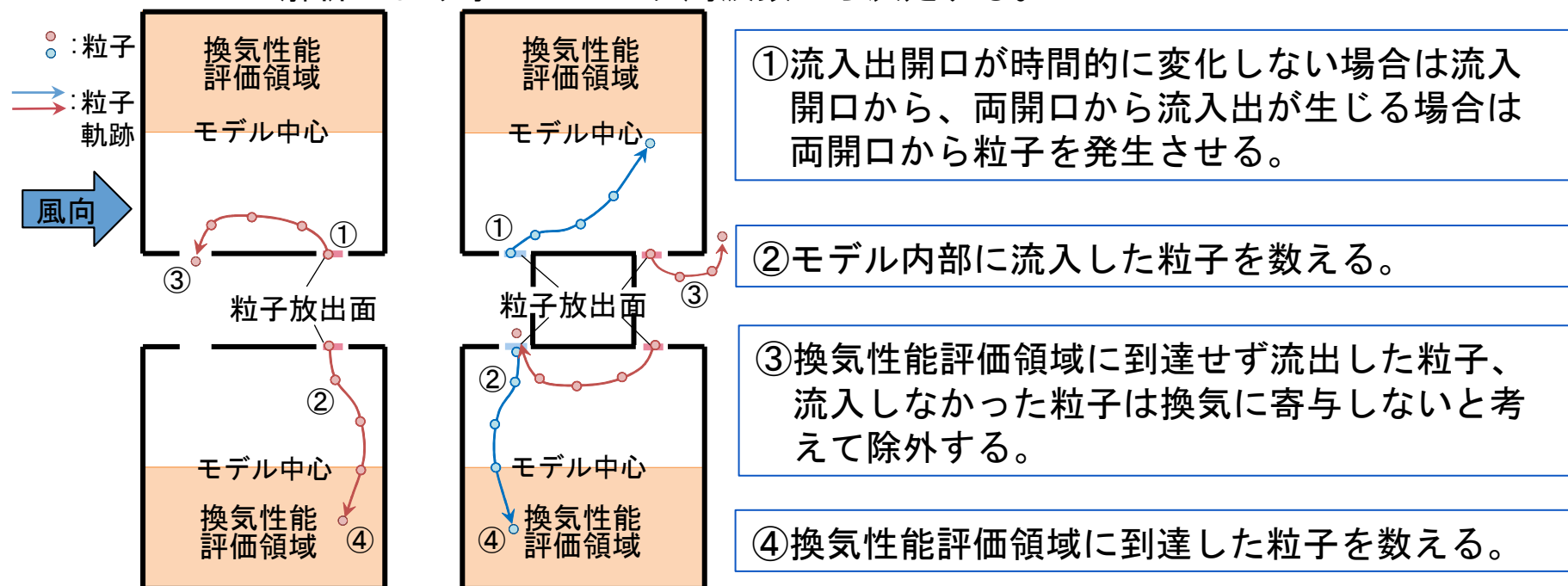
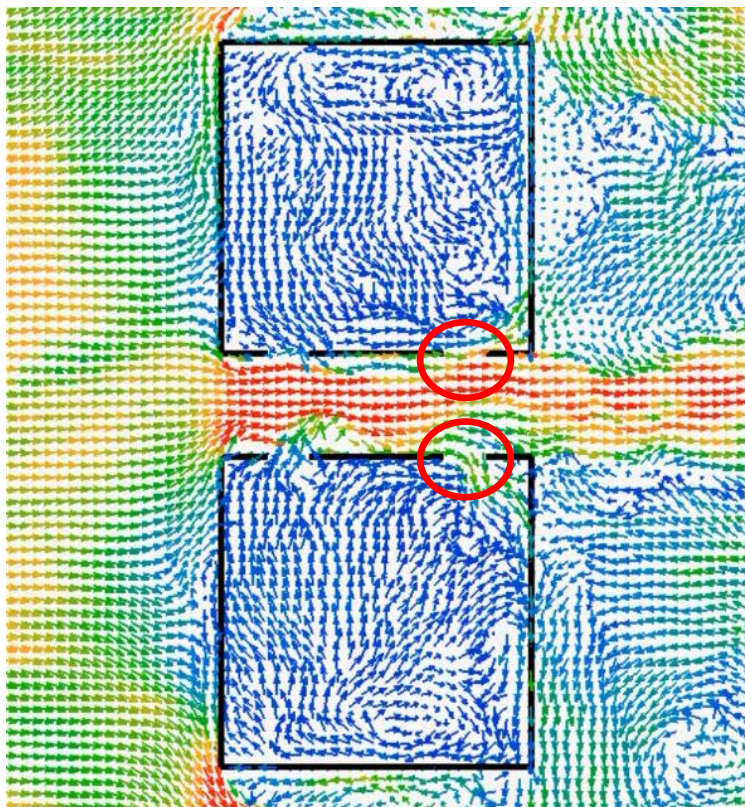
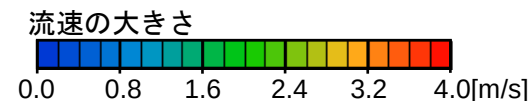


図2 風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法の概要

各解析caseの粒子放出方法

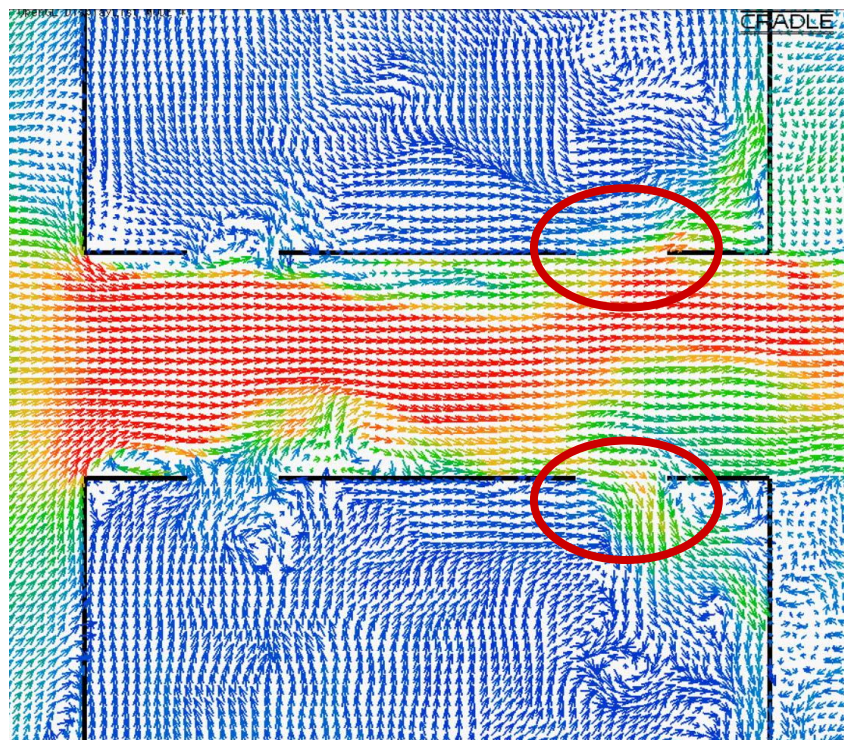


case1-2、1-3、2-2、2-3では
各住宅モデルの風下側開口部
からのみ室内に気流が流入す
るため、**風下側開口部からのみ**
粒子を0.5[s]毎に100個ずつ、
各棟に10[s]間で**計2000個**ずつ
放出する。

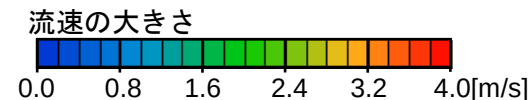


動画 LES解析によるcase1-2の流速
ベクトル分布

各解析caseの粒子放出方法

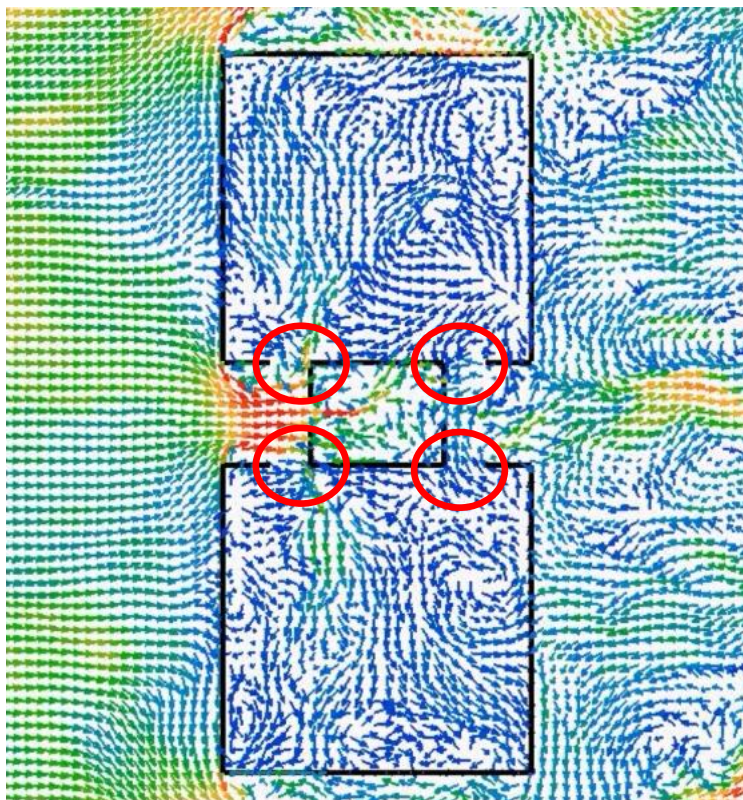


case1-2、1-3、2-2、2-3では
各住宅モデルの風下側開口部
からのみ室内に気流が流入す
るため、**風下側開口部からのみ**
粒子を0.5[s]毎に100個ずつ、
各棟に10[s]間で**計2000個**ずつ
放出する。

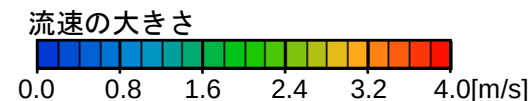


動画 LES解析によるcase1-2の流速
ベクトル分布

各解析caseの粒子放出方法

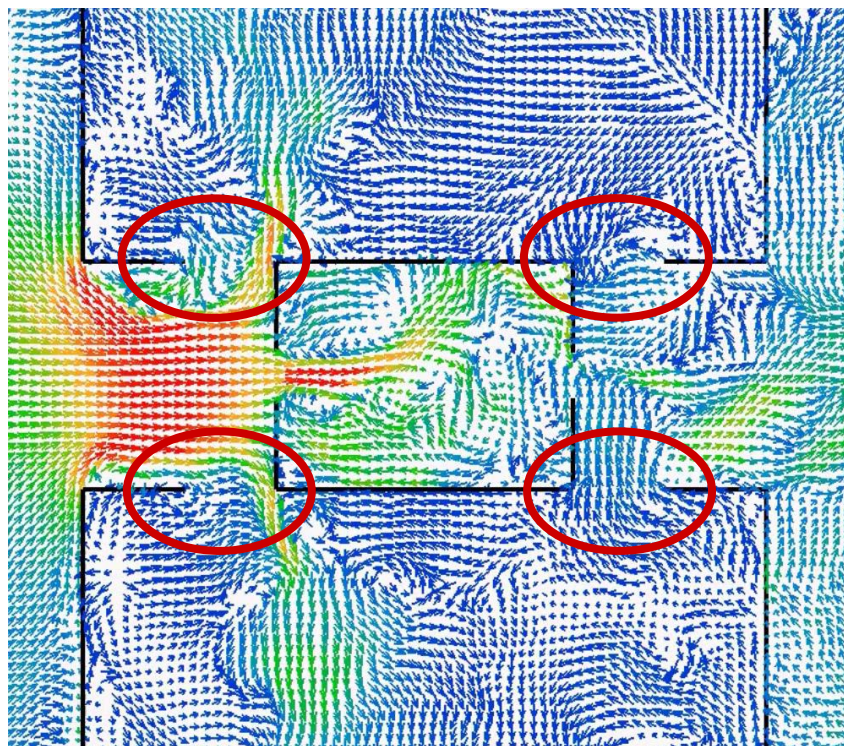


case1-1、2-1、3-1、3-2、3-3
では各住宅モデルの風上、風
下側の両開口部から交互に気
流が流入出するため**両開口部**
から粒子を0.5[s]毎に100個ず
つ、各棟に10[s]間で**計4000個**
ずつ放出する。

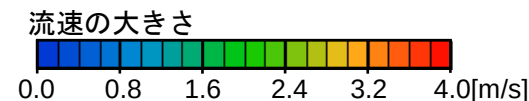


動画 LES解析によるcase3-2の流速
ベクトル分布

各解析caseの粒子放出方法



case1-1、2-1、3-1、3-2、3-3
では各住宅モデルの風上、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、各棟に10[s]間で**計4000個**
ずつ放出する。



動画 LES解析によるcase3-2の流速
ベクトル分布

有効換気量の算出方法

室内に流入した粒子の内、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(到達粒子)と考え、式(1)より到達率(i)を算出し、開口面の平均換気量(Q)と到達率(i)から式(2)より有効換気量(Q_e)を算出する。

表2 有効換気量比の算出方法

$$i = (n_r/n_{in}) \times 100[\%] \quad \cdots (1)$$

$$Q_e = Q \times i \times 1/100[m^3/h] \quad \cdots (2)$$

$$r = Q/Q_0[-] \quad \cdots (3)$$

$$r_e = Q_e/Q_{e0}[-] \quad \cdots (4)$$

i : 到達率[%]

n_r : 到達粒子数[個]

n_{in} : 流入粒子数[個]

r : 換気量比[-]

r_e : 有効換気量比[-]

Q : 平均換気量[m³/h]

Q_0 : case1-1の換気量[m³/h]

Q_e : 有効換気量[m³/h]

Q_{e0} : case1-1の有効換気量[m³/h]

有効換気量の算出方法

また、case1-1の有効換気量を Q_{e0} として、式(4)より各caseの換気量を基準化し、**有効換気量比(r_e)**を算出する。
有効換気量比が高いほど換気性能が良い。

表2 有効換気量比の算出方法

$$i = (n_r/n_{in}) \times 100[\%] \quad \cdots (1)$$

i : 到達率[%]

n_r : 到達粒子数[個]

n_{in} : 流入粒子数[個]

$$Q_e = Q \times i \times 1/100[m^3/h] \quad \cdots (2)$$

r : 換気量比[-]

r_e : 有効換気量比[-]

$$r = Q/Q_0[-] \quad \cdots (3)$$

Q : 平均換気量[m³/h]

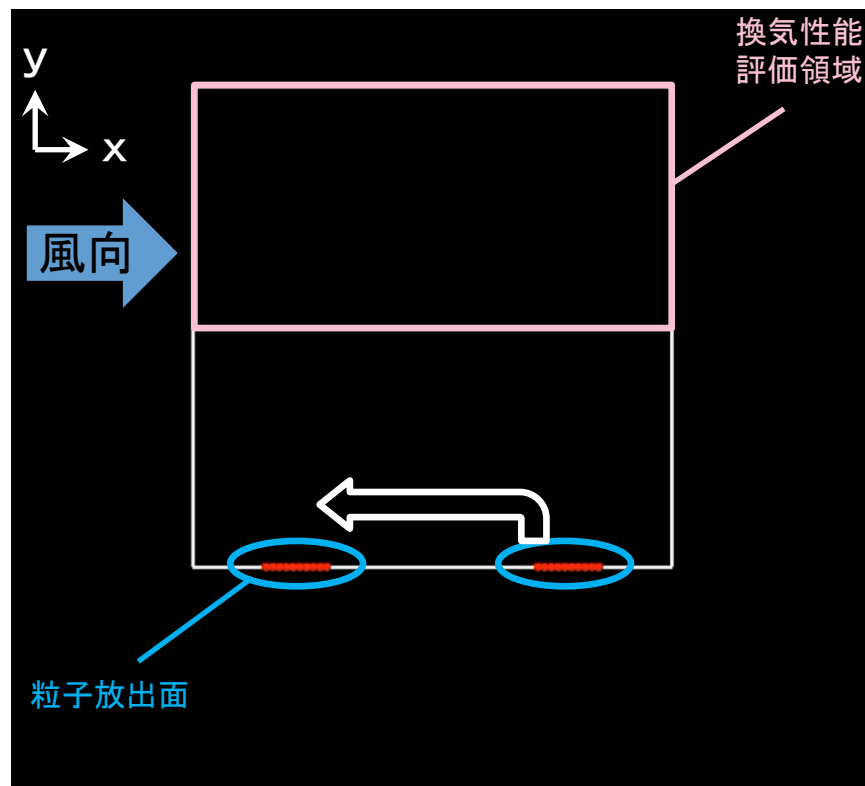
Q_0 : case1-1の換気量[m³/h]

Q_e : 有効換気量[m³/h]

$$\mathbf{r_e = Q_e/Q_{e0}[-]} \quad \cdots (4)$$

Q_{e0} : case1-1の有効換気量[m³/h]

粒子解析結果：モデルA棟、単体(case1-1)



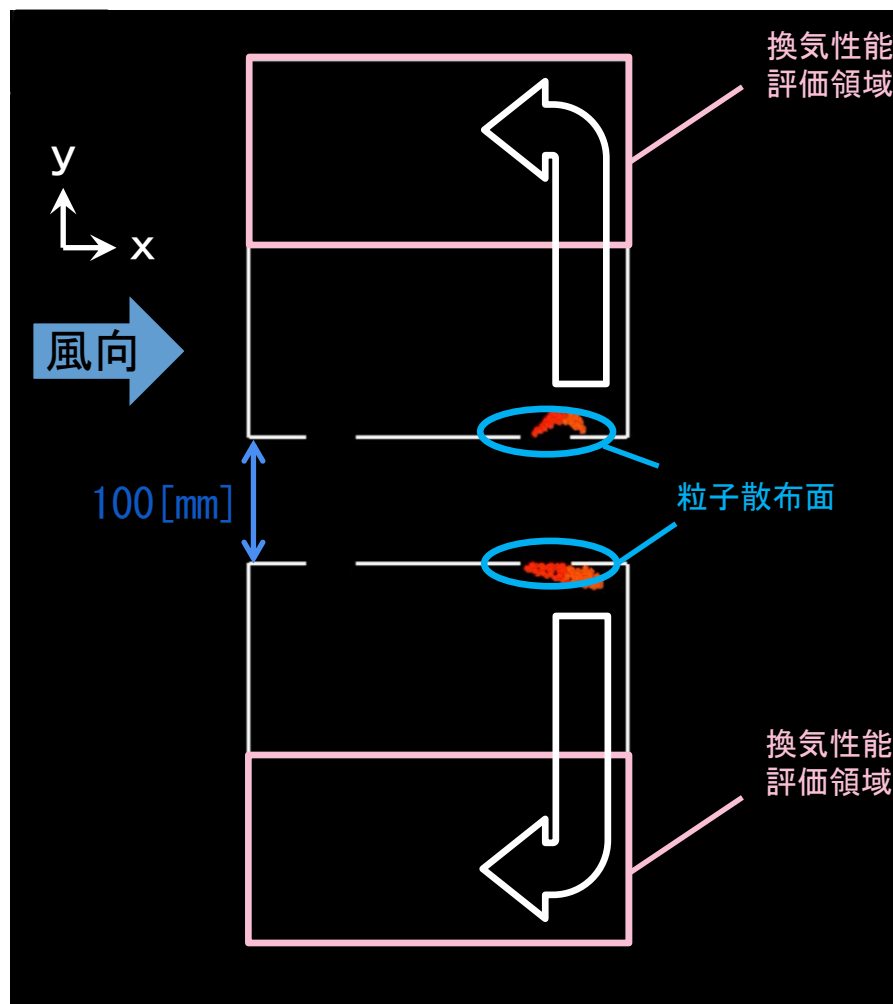
動画 case1-1粒子放出結果

開口に対して様々な角度で粒子が室内に流入し、十分に拡散せずに**ショートサーキット**を形成することがある。

放出粒子数：4000個
流入粒子数：2328個
到達粒子数：1233個
到達率 : 53.0[%]

平均換気量：3.17[m³/h]
有効換気量：1.68[m³/h]
換気量比：1[-] (基準値)
有効換気量比：1[-] (基準値)

粒子解析結果：モデルA棟、2棟100mm (case1-2)



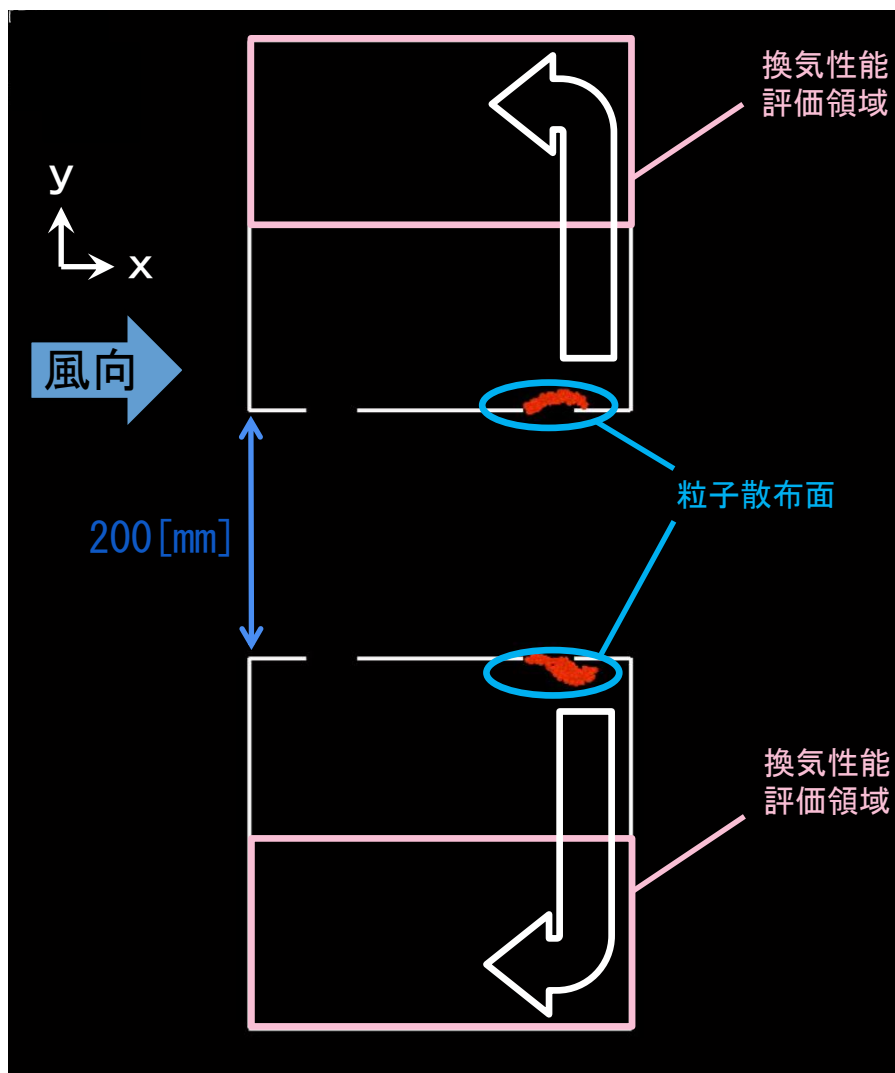
2 棟間では縮流が生じ、風下側開口からは内壁面に沿うように粒子が室内に流入する。

放出粒子数：4000個
流入粒子数：3994個
到達粒子数：3913個
到達率：98.0[%]

平均換気量：5.04[m³/h]
有効換気量：4.94[m³/h]
換気量比：1.59[-]
有効換気量比：2.95[-]

動画 case1-2粒子散布結果

粒子解析結果：モデルA棟、2棟200mm (case1-3)



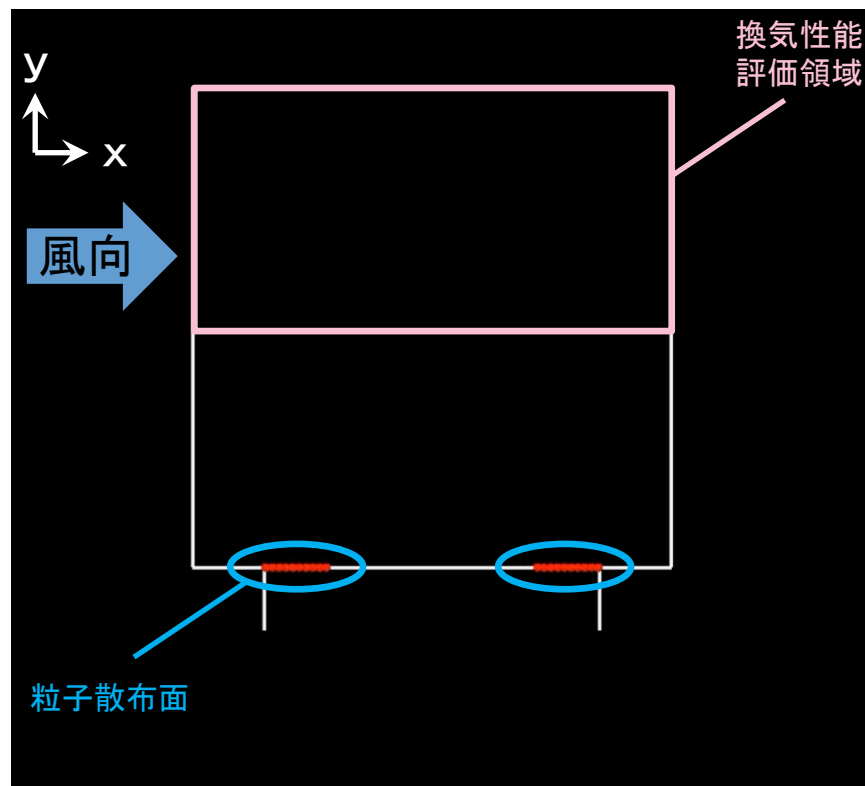
case1-2と同様に、風下側開口部から内壁面を沿うように流入するが、到達率はcase1-2と比べて低下している。

放出粒子数：4000個
流入粒子数：3991個
到達粒子数：3779個
到達率：94.7[%]

平均換気量：6.14[m³/h]
有効換気量：5.81[m³/h]
換気量比：1.94[-]
有効換気量比：3.47[-]

動画 case1-3粒子散布結果

粒子解析結果：モデルB棟、単体（case2-1）



動画 case2-1粒子散布結果

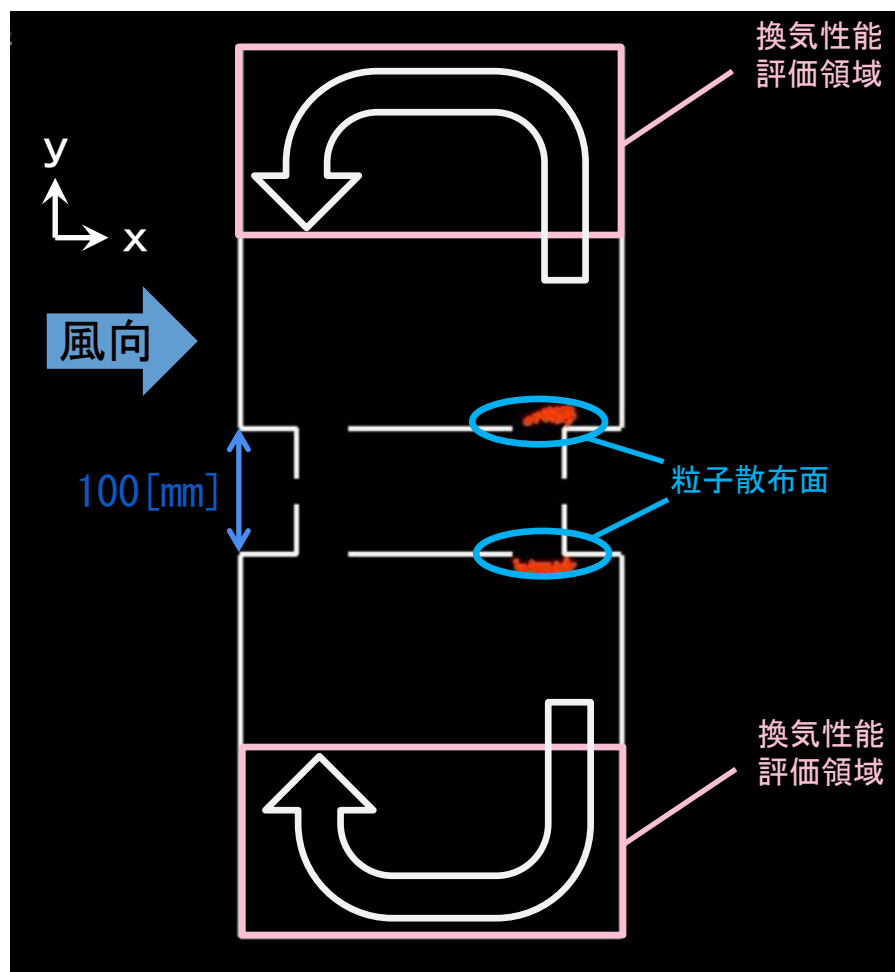
開口に対して比較的垂直に粒子が室内に流入する。

風上、風下側の両開口から粒子が流入する。

放出粒子数：4000個
流入粒子数：2479個
到達粒子数：1610個
到達率：64.9[%]

平均換気量：3.29[m³/h]
有効換気量：2.14[m³/h]
換気量比：1.04[-]
有効換気量比：1.27[-]

粒子解析結果：モデルB棟、2棟100mm (case2-2)

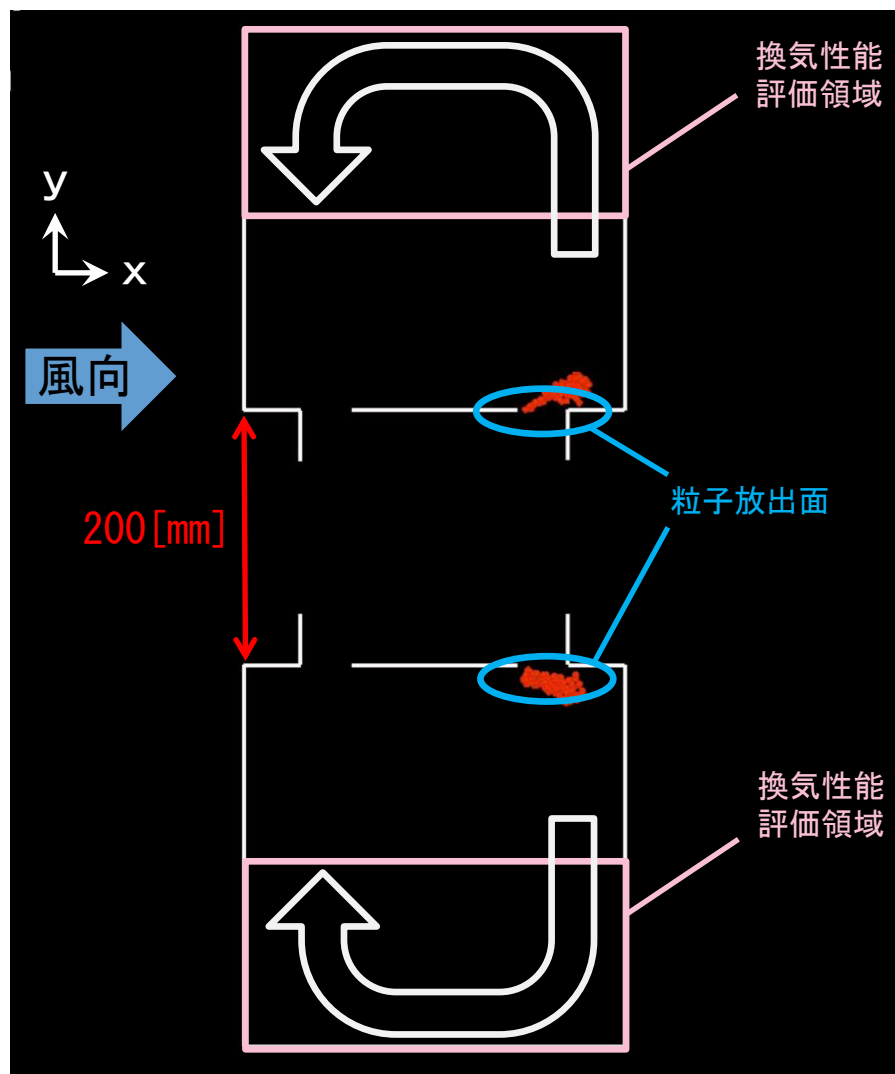


室内に大きな循環流を定常的に形成し、風上側開口から粒子が流出する。

放出粒子数：4000個
流入粒子数：3998個
到達粒子数：3612個
到達率：90.3[%]

平均換気量：5.51 [m^3/h]
有効換気量：4.98 [m^3/h]
換気量比：1.74 [-]
有効換気量比：2.96 [-]

粒子解析結果：モデルB棟、2棟200mm (case2-3)



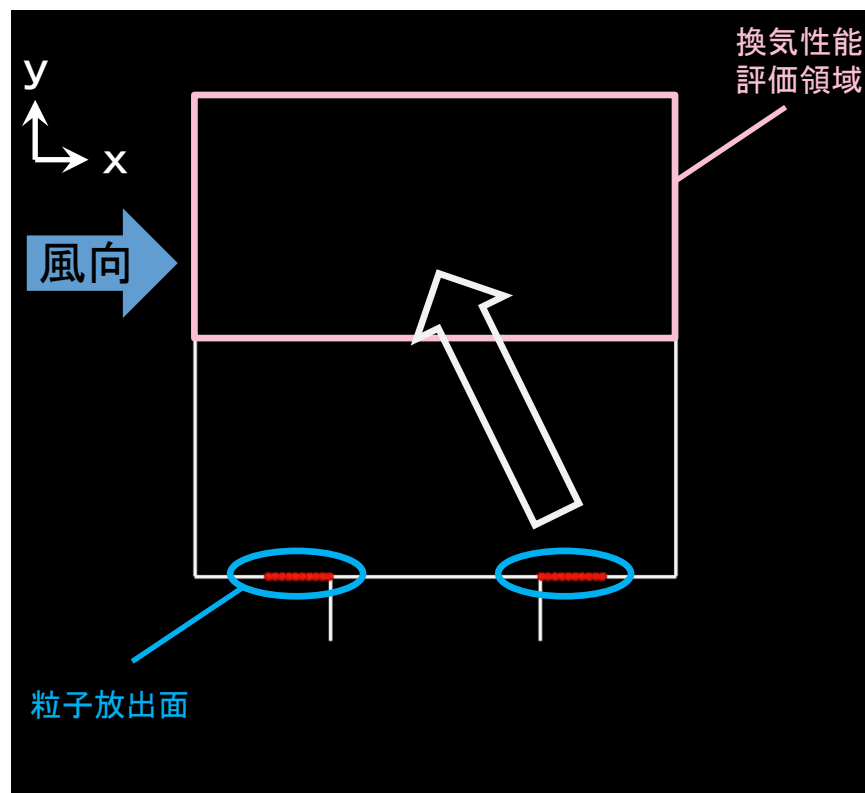
放出された粒子は内壁面を沿うように流入し、室内に**大きな循環気流**を形成する。

放出粒子数：4000個
流入粒子数：4000個
到達粒子数：3896個
到達率 : 97.4 [%]

平均換気量：7.87 [m^3/h]
有効換気量：7.67 [m^3/h]
換気量比：2.49 [-]
有効換気量比：4.56 [-]

動画 case2-3粒子放出結果

粒子解析結果：モデルC棟、単体（case3-1）



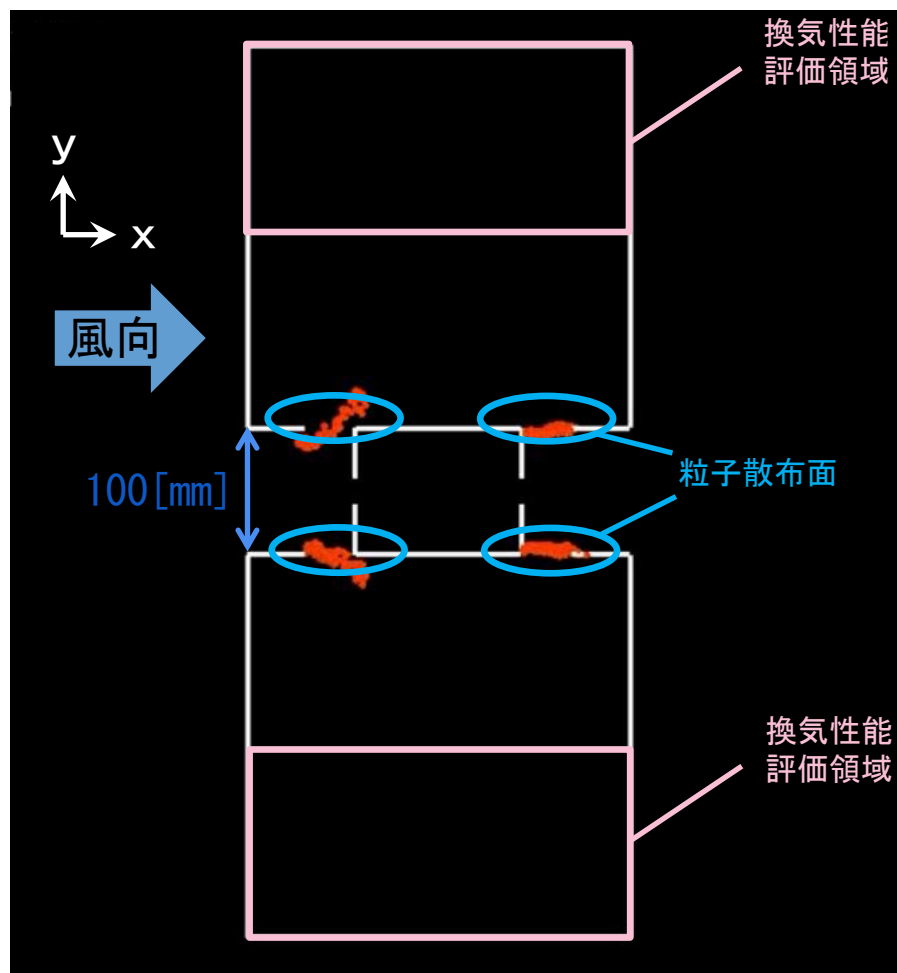
動画 case3-1粒子放出結果

風下側開口から風上側に斜めに
粒子が室内に流入する。

放出粒子数：4000個
流入粒子数：2257個
到達粒子数：1643個
到達率：72.8[%]

平均換気量：4.21[m³/h]
有効換気量：3.06[m³/h]
換気量比：1.33[-]
有効換気量比：1.82[-]

粒子解析結果：モデルC棟、2棟100mm (case3-2)



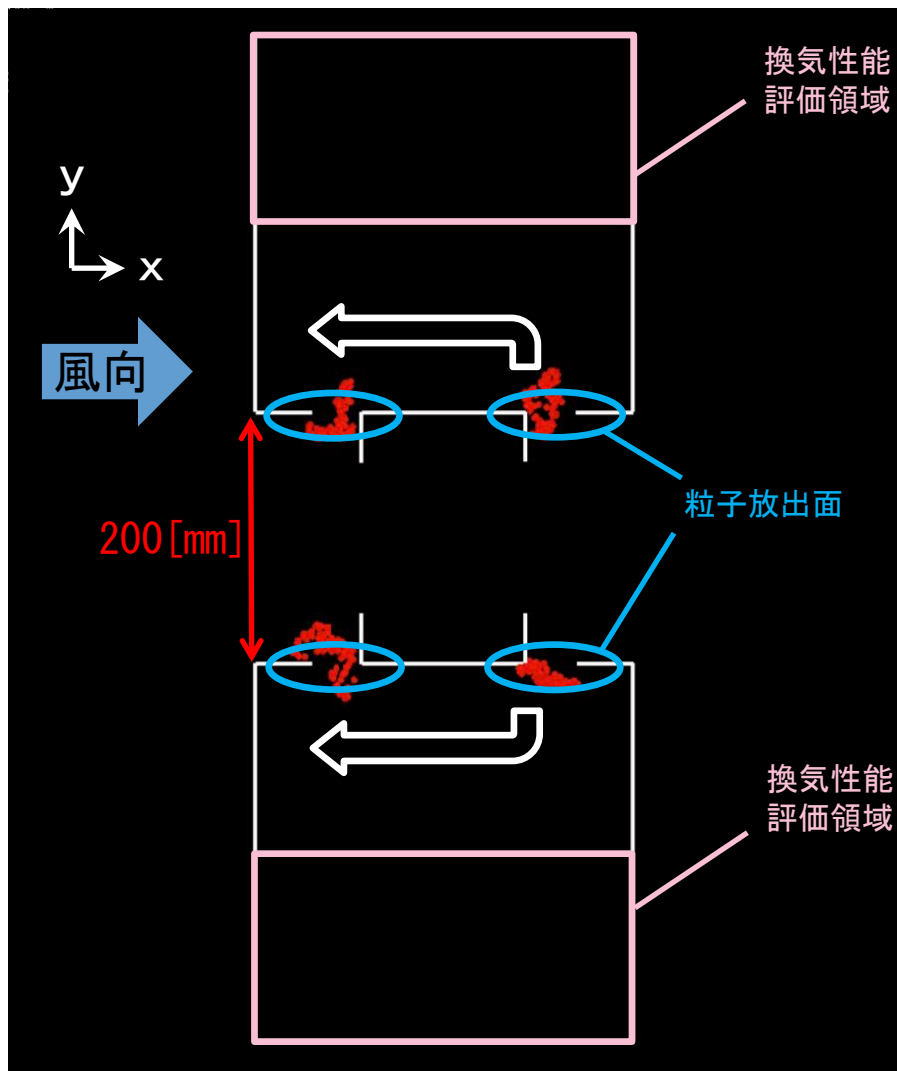
風上側, 風下側の両開口から室内に流入するため、粒子の動きが複雑である。

放出粒子数: 8000個
流入粒子数: 4050個
到達粒子数: 3176個
到達率 : 78.4[%]

平均換気量: 5.05 [m^3/h]
有効換気量: 3.96 [m^3/h]
換気量比: 1.60 [-]
有効換気量比: 2.37 [-]

動画 case3-2粒子散布結果

粒子解析結果：モデルC棟、2棟200mm (case3-3)



室内の気流性状が複雑になり、
ショートサーキットを形成することがある。

放出粒子数：8000個
流入粒子数：5096個
到達粒子数：3173個
到達率 : 62.3[%]

平均換気量：4.89[m³/h]
有効換気量：3.08[m³/h]
換気量比：1.55[-]
有効換気量比：1.83[-]

動画 case3-3粒子放出結果

各caseの比較: case1

case1-1では到達率が53[%]となり、約半分がショートサーキットするが、2棟の場合では到達率がcase1-2で98[%]、case1-3で95[%]と向上する。



■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

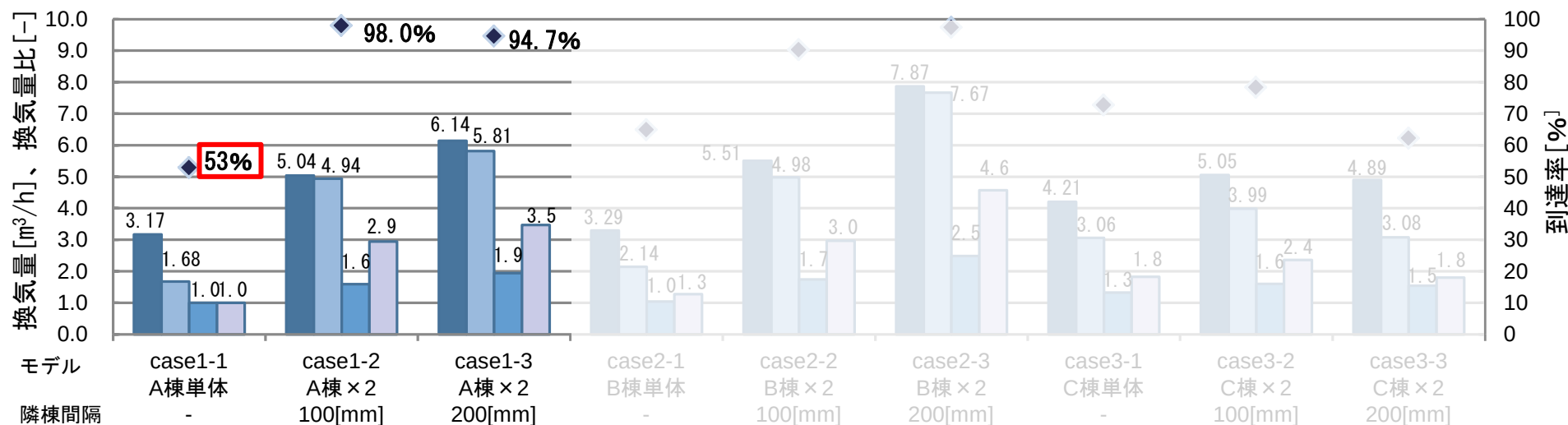


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case1

case1-1では到達率が53[%]となり、約半分がショートサーキットするが、2棟の場合では到達率がcase1-2で98[%]、case1-3で95[%]と向上する。



■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

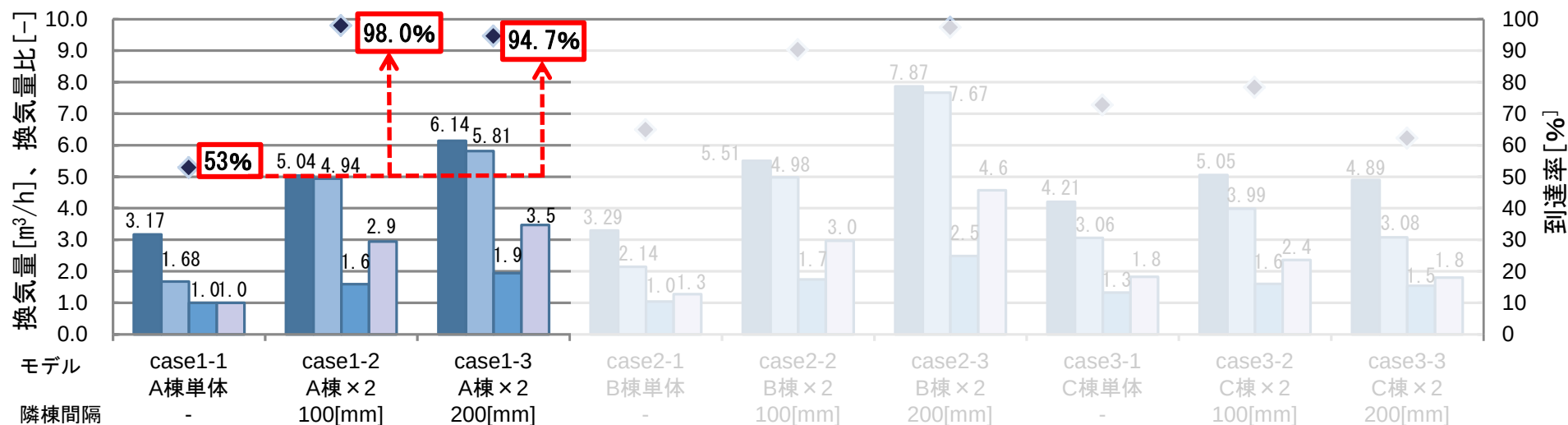
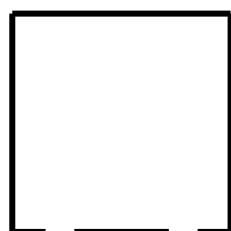


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case1

有効換気量比はcase1-2が2.9、case1-3が3.5となり、2棟を隣接して配置した場合、単体と比較して換気性能が良い。



モデルA棟



モデルB棟



モデルC棟

■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

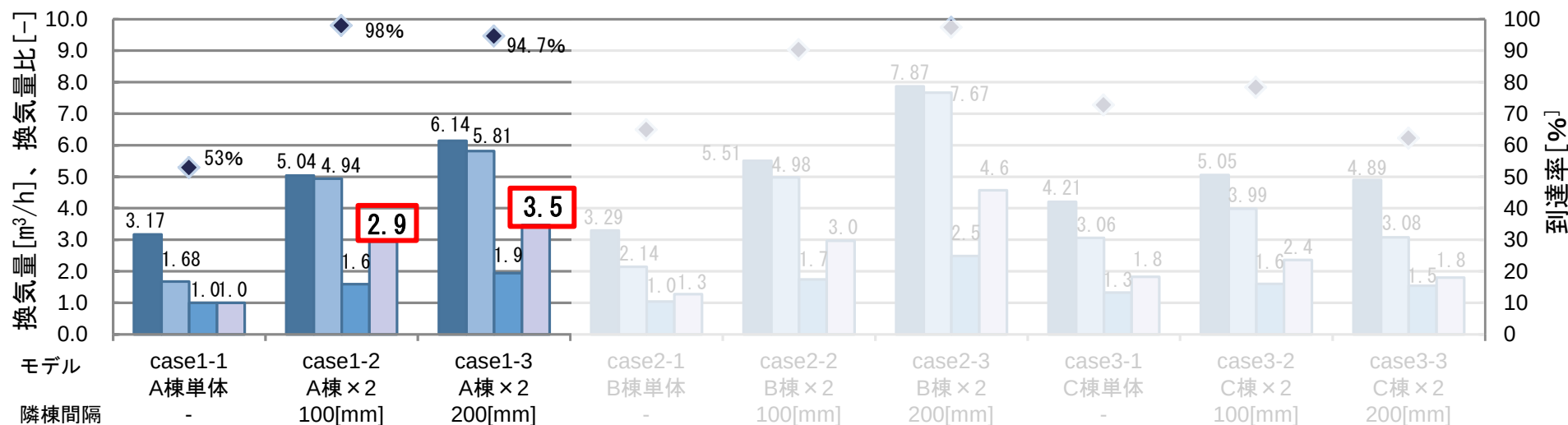


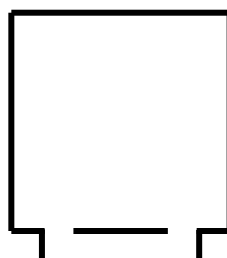
図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case2

case2-1 (単体) の到達率が65[%]に対し、2 棟のcaseはどちらも90[%]を超える。



モデルA棟



モデルB棟



モデルC棟

■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

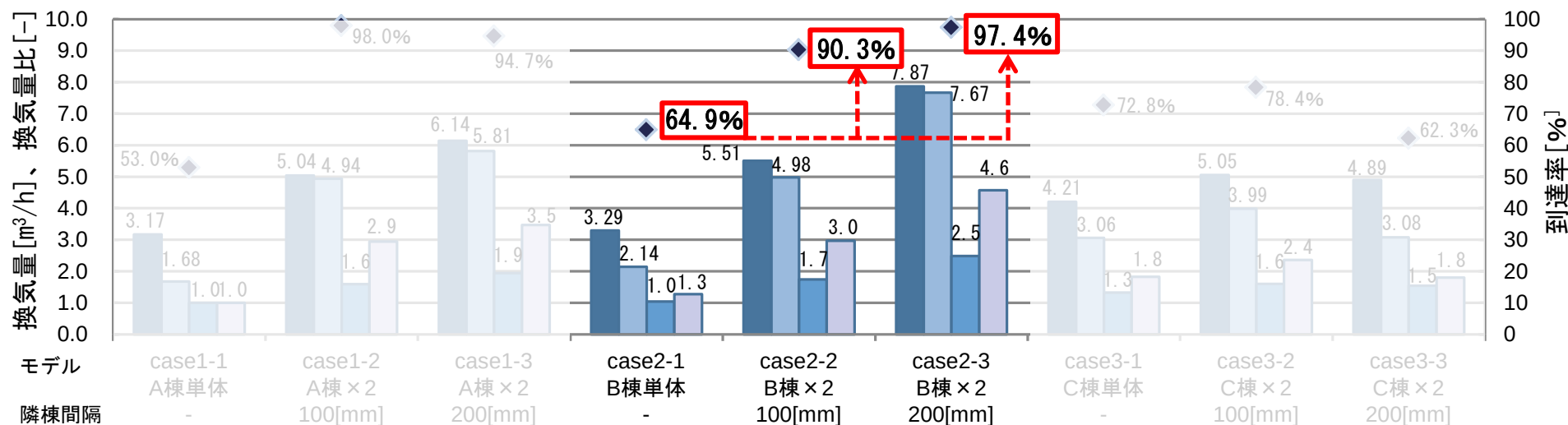


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case2

有効換気量比はcase2-1では1.3に対し、case2-2で3.0、case2-3で4.6となり、2棟を隣接して配置した場合、単体と比較して換気性能が向上する。



■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

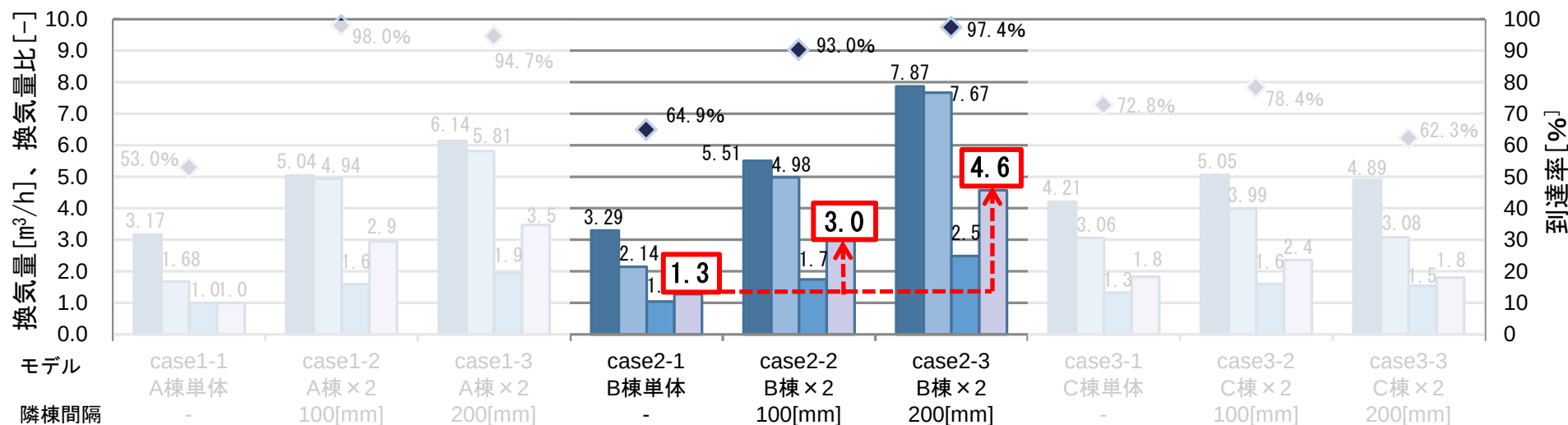


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case3

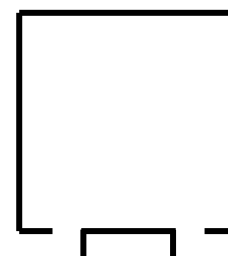
case3では到達率は60~80[%]程度となる。



モデルA棟



モデルB棟



モデルC棟

■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

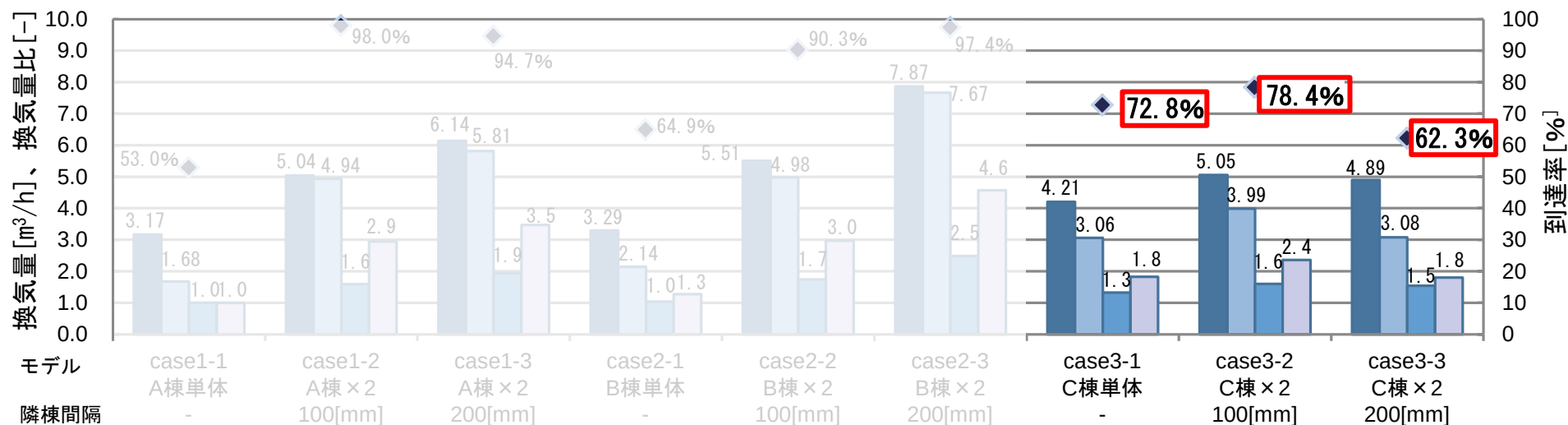


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case3

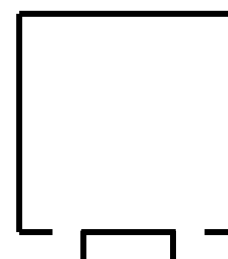
有効換気量比はcase3-1(単体)が1.8となり、2棟の場合と比較するとcase3-2が2.4で1.3倍になるのに対し、case3-3は1.8とほぼ同様となる。



モデルA棟



モデルB棟



モデルC棟

■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

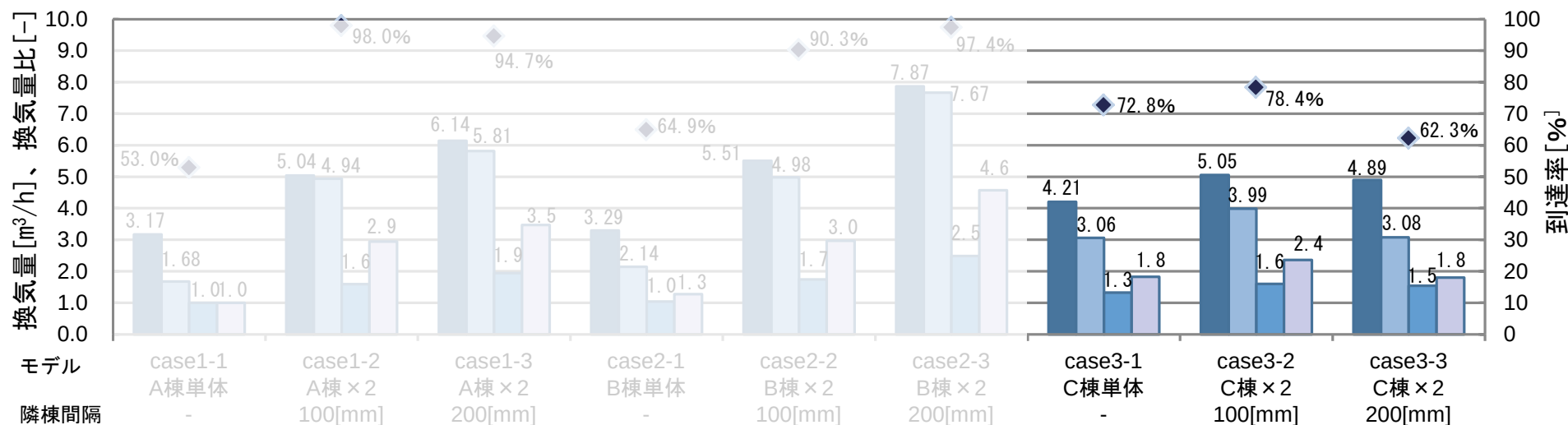


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case3

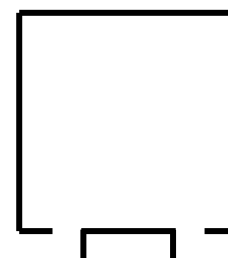
有効換気量比はcase3-1(単体)が1.8となり、2棟の場合と比較するとcase3-2が2.4で1.3倍になるのに対し、case3-3は1.8とほぼ同様となる。



モデルA棟



モデルB棟



モデルC棟

■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

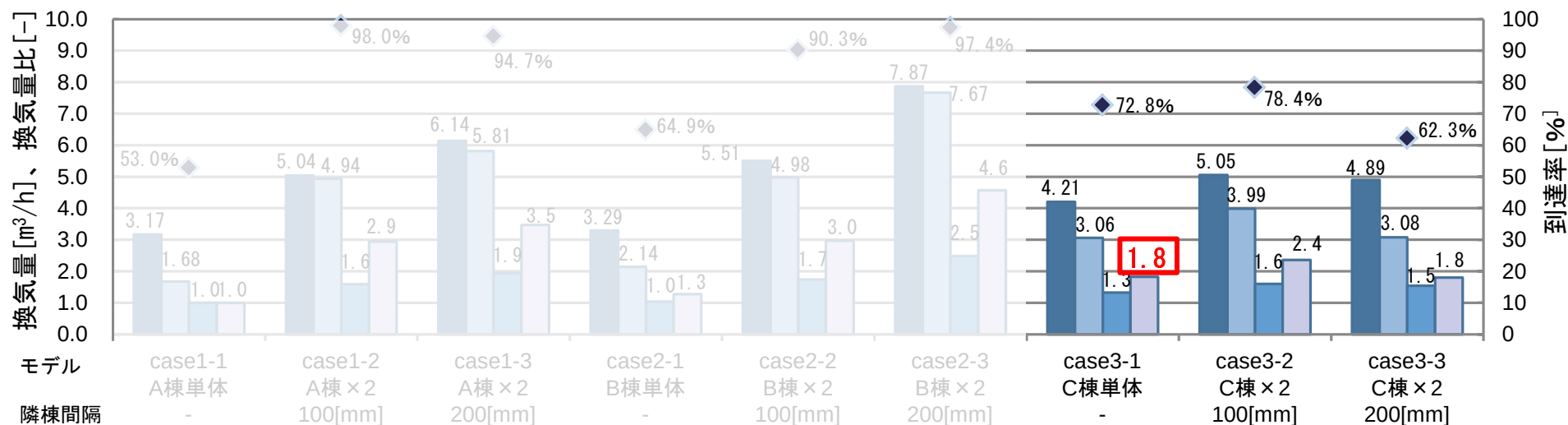


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case3

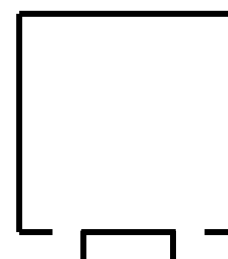
有効換気量比はcase3-1(単体)が1.8となり、2棟の場合と比較するとcase3-2が2.4で1.3倍になるのに対し、case3-3は1.8とほぼ同様となる。



モデルA棟



モデルB棟



モデルC棟

■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

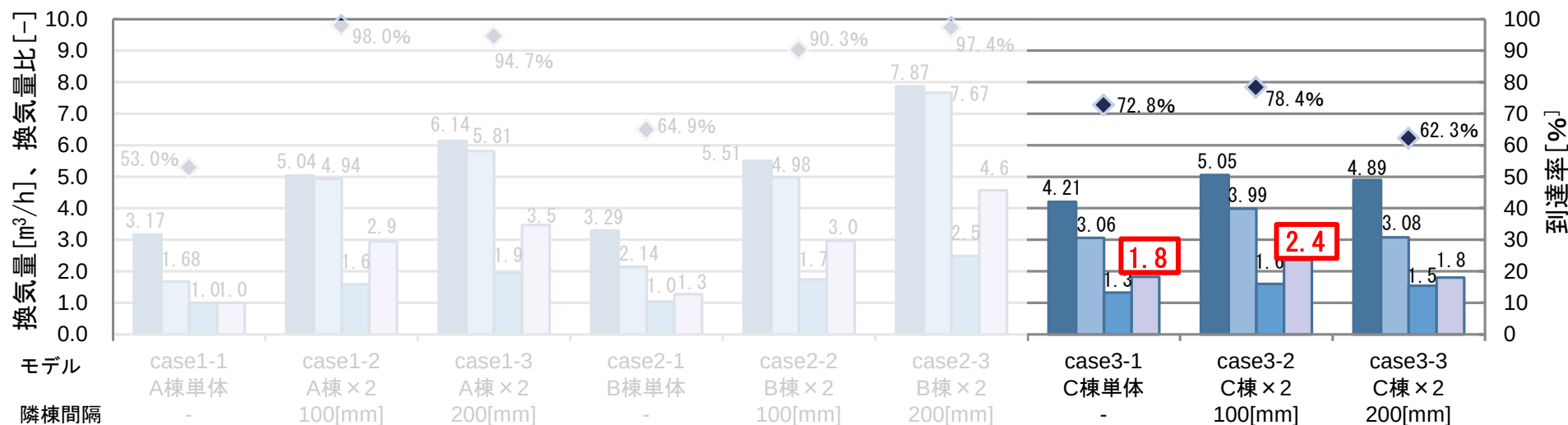


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較: case3

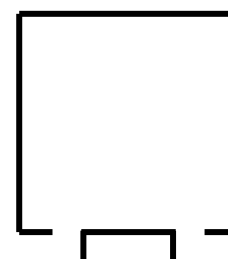
有効換気量比はcase3-1(単体)が1.8となり、2棟の場合と比較するとcase3-2が2.4で1.3倍になるのに対し、case3-3は1.8とほぼ同様となる。



モデルA棟



モデルB棟



モデルC棟

■ 平均換気量 [m^3/h] ■ 基準化換気量 [m^3/h] ■ 平均換気量比 [-] ■ 有効換気量比 [-] ◆ 到達率 [%]

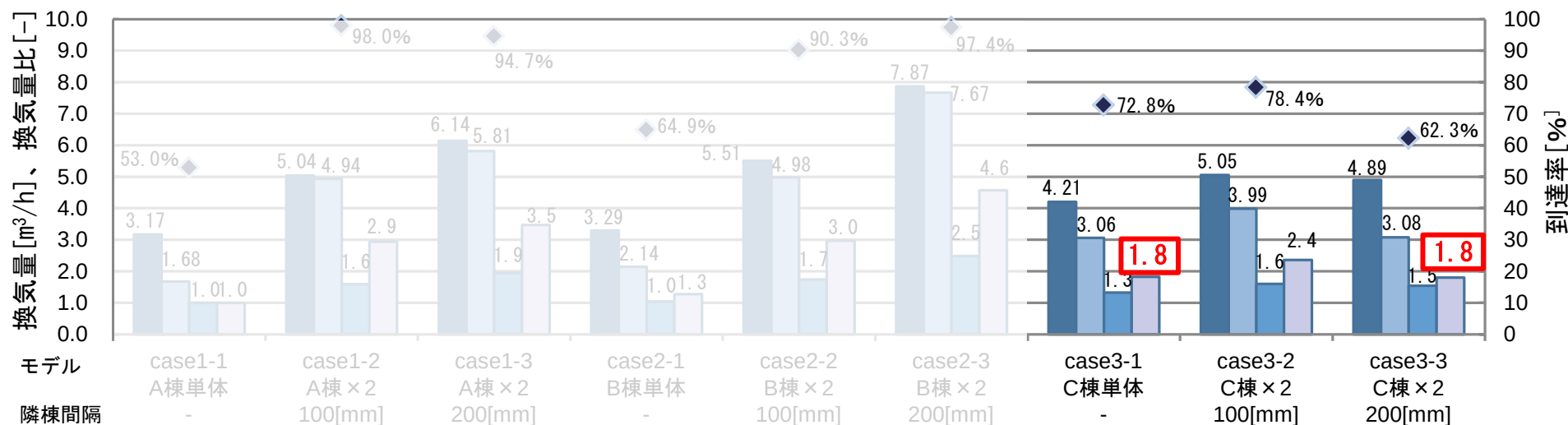


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較

case1-2、1-3、2-2、2-3は流入出開口が時間的に変化せず、室内に大きな循環流を定常的に形成するため、粒子到達率が90[%]を超える。しかしcase3-2、3-3では風上、風下側の両開口部で気流が流入出するため、室内の気流性状が複雑となり、到達率が60～80[%]程度となる。

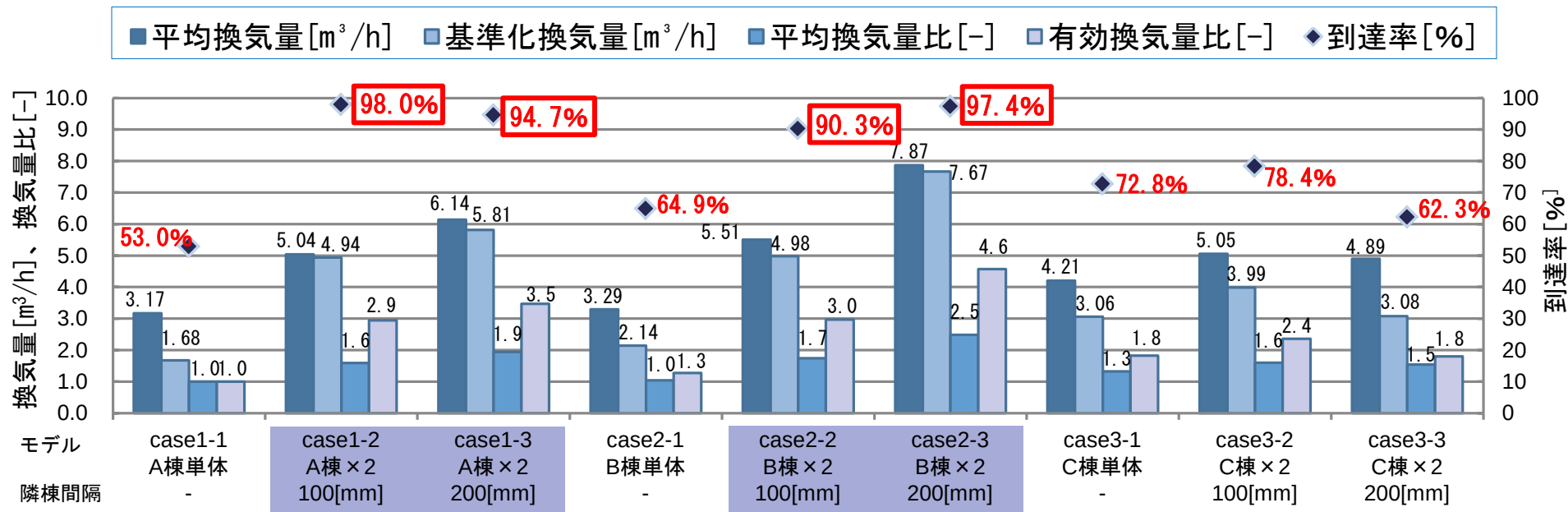


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較

case1-2、1-3、2-2、2-3は流入出開口が時間的に変化せず、室内に大きな循環流を定常的に形成するため、粒子到達率が90[%]を超える。しかしcase3-2、3-3では風上、風下側の両開口部で気流が流入出するため、室内の気流性状が複雑となり、到達率が60～80[%]程度となる。

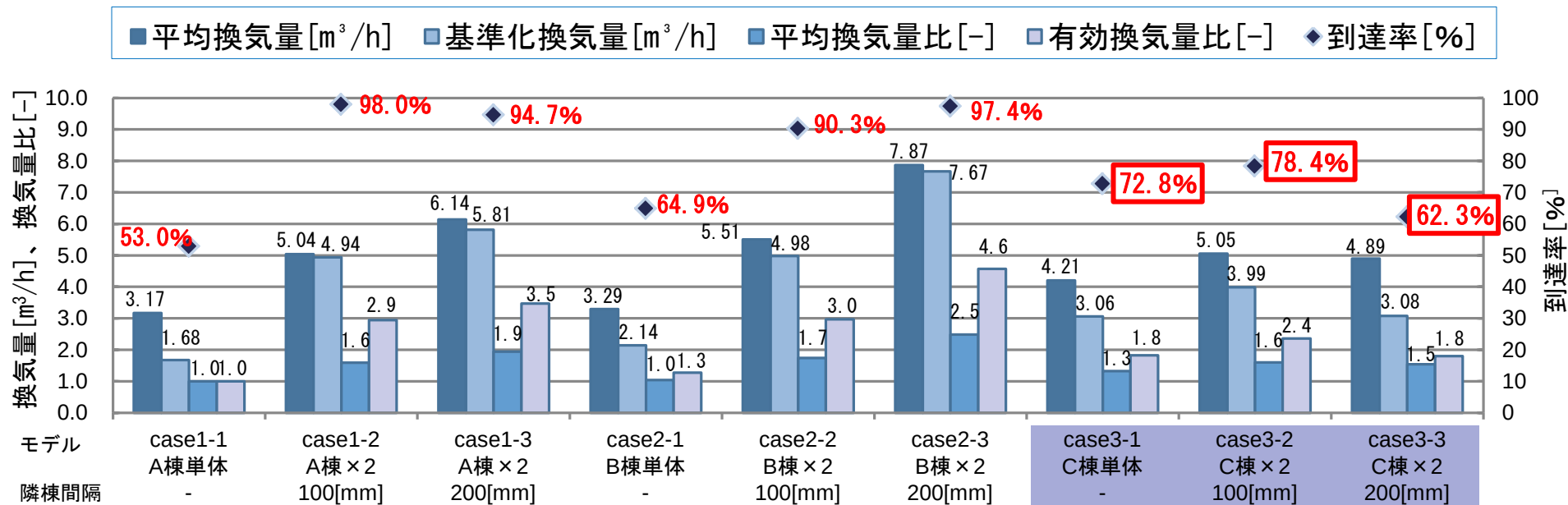


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較

単体の場合ではcase3-1、2棟を隣接して配置した場合ではcase2-3が最も有効換気量比が高く換気性能が良い。2棟を隣接して配置した場合、case3のGV設置位置ではcase1、case2と比較して有効換気量比が低下するため、換気性能を阻害していると考えられる。

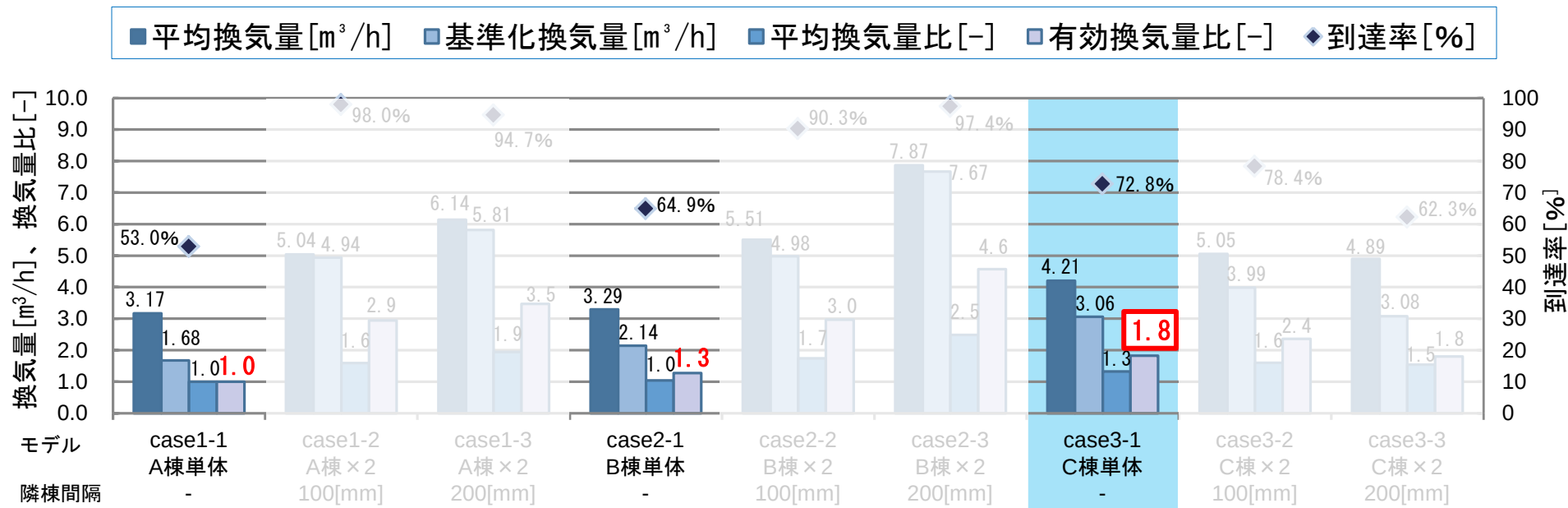


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較

単体の場合ではcase3-1、2棟を隣接して配置した場合ではcase2-3が最も有効換気量比が高く換気性能が良い。2棟を隣接して配置した場合、case3のGV設置位置ではcase1、case2と比較して有効換気量比が低下するため、換気性能を阻害していると考えられる。

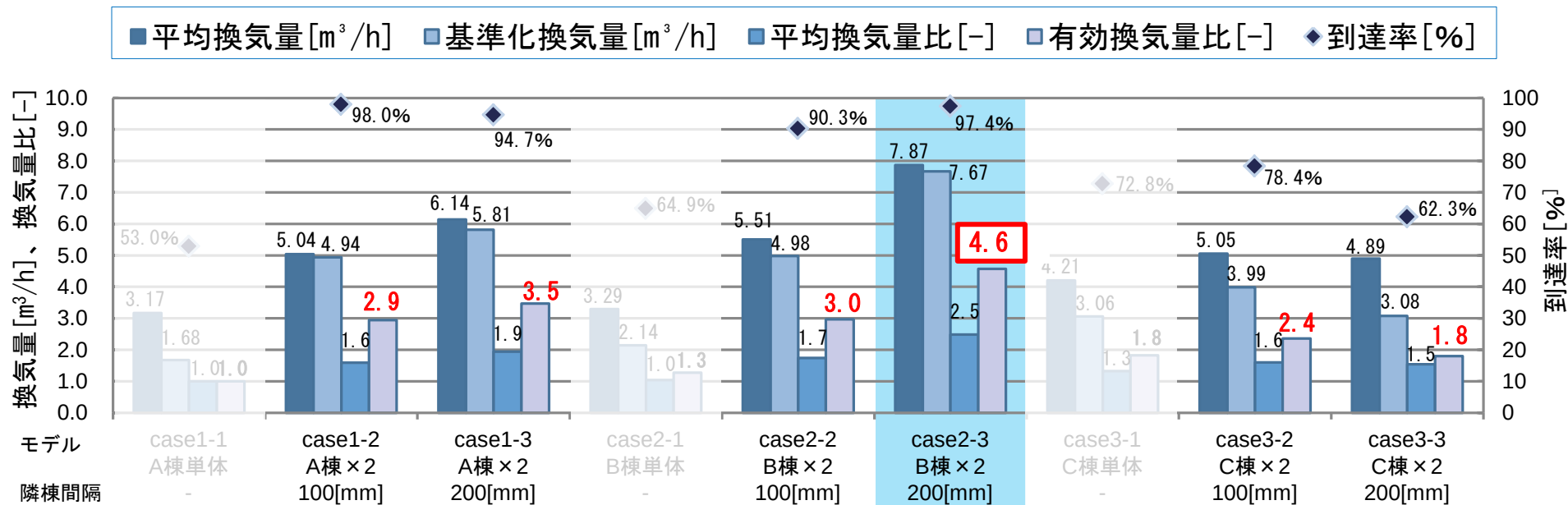


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

単体の場合ではcase3-1、2棟を隣接して配置した場合ではcase2-3が最も有効換気量比が高く換気性能が良い。2棟を隣接して配置した場合、case3のGV設置位置ではcase1、case2と比較して有効換気量比が低下するため、換気性能を阻害していると考えられる。

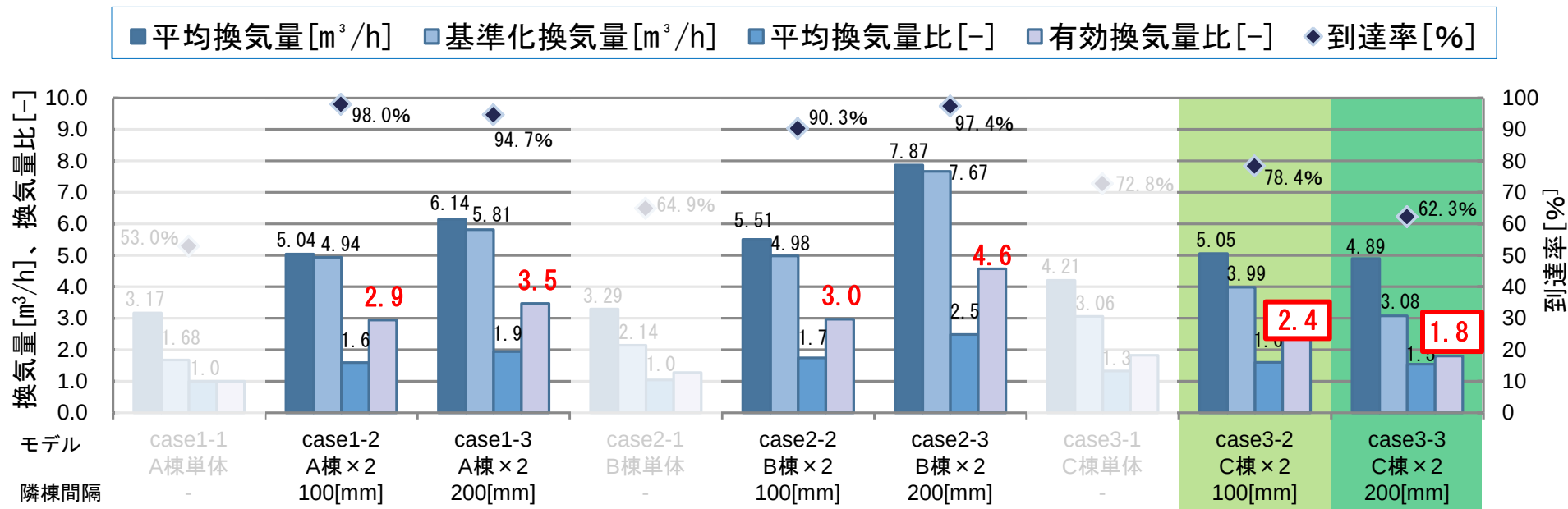


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

各caseの比較

今回の解析caseの中では、**case2-3**の有効換気量比が最も高く、case1-1に対して**4.6倍**である。

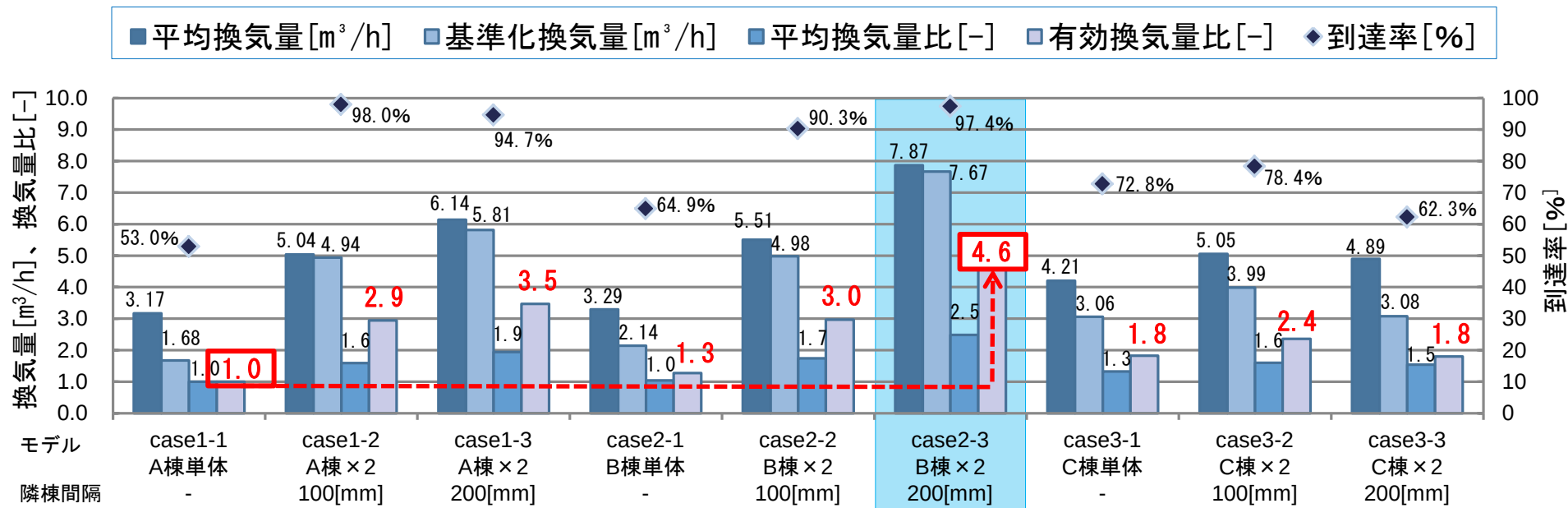


図3 各caseにおける粒子到達率及び有効換気量比の比較

- ① case1 (モデル A 棟) ではcase1-1 (単体) で到達率が53[%]となり、流入風量の約半分がショートサーキットする。2 棟を隣接して配置した場合、単体と比較して有効換気量比が高くなり、換気性能が向上する。
- ② case2 (モデル B 棟) では 2 棟を隣接して配置する場合、到達率が 90[%] を超える。有効換気量比を比較するとcase2-1 (単体) より 2 棟を隣接して配置するcase2-2、2-3の方が高く、換気性能が良い。
- ③ case3 (モデル C 棟) ではcase3-1 (単体) と 2 棟を隣接して配置したcase3-3の有効換気量比は1.8とほぼ同様となる。
- ④ 2 棟を隣接して配置した場合、case3のGV設置位置では、GVを取り付けないcase1と比較して有効換気量比が低下するため、換気を阻害していると考えられる。
- ⑤ 今回の解析caseの中では、case2-3の有効換気量比が最も高く、換気性能が良い。case1-1 (単体) と比較すると4.6倍の有効換気量を得られる。