

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

-開口部に風力換気促進装置を設置した住宅を対象とした換気・通風性能評価-

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)

指導教員 赤林 中島 昭紀
伸一 教授

- 1 研究目的
- 2 数値流体解析の概要
- 3 数値流体解析結果
- 4 換気・通風性能評価手法の概要
- 5 換気・通風性能評価結果
- 6 まとめ

建物外部を流れる風を駆動力とする通風は、夏季や中間期に室内温熱環境の調整手法として従来から広く利用されてきた。

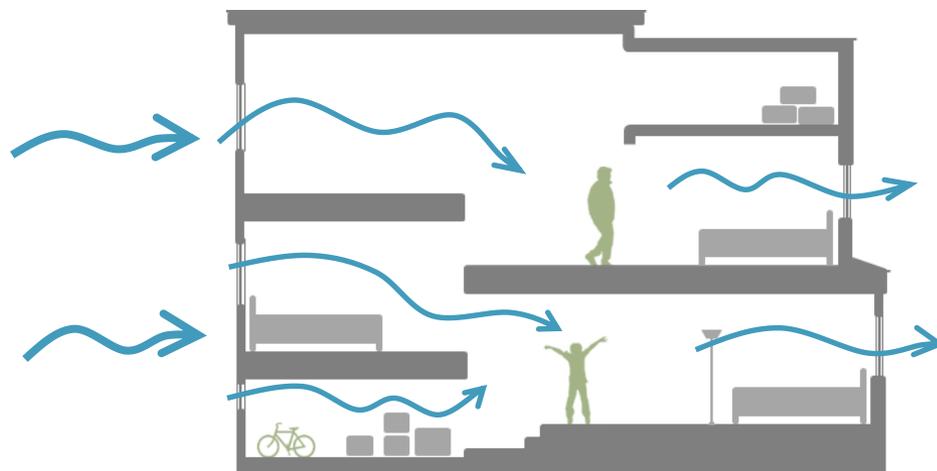


図 外部風による換気

建物外部を流れる風を駆動力とする通風は、夏季や中間期に室内温熱環境の調整手法として従来から広く利用されてきた。

通風は自然エネルギーを利用する換気方法であるため、一定の換気量を得られる機械換気に比較して換気量は不安定になる。

そのため建築計画の際には、より効果的な通風を得られる開口配置の検討が必要である。

野中ら^{文1)}は様々な住宅模型を対象とした風洞実験により、建物の**風上側壁面**と**風下側屋根面**に開口を配置することでより多くの通風量を得られることを明らかにしている。

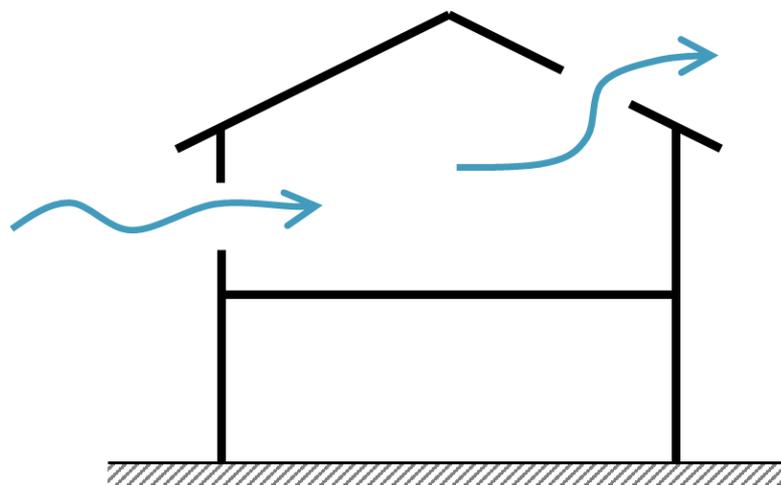


図 住宅における通風の一例

文1) 野中・倉渕・大場・遠藤・後藤・塚本「密集住宅地における建物表面風圧分布及び自然通風量に関する風洞実験密集住宅地における効果的な通風利用を目的とした開口部配置計画手法に関する研究(第1報)」日本建築学会環境系論文集、2009年

野中ら^{文1)}は様々な住宅模型を対象とした風洞実験により、建物の**風上側壁面**と**風下側屋根面**に開口を配置することでより多くの通風量を得られることを明らかにしている。

しかし、建築計画上の制約から建物の**片側同一壁面**の開口を開放するケースが多く、この場合、建物の風上・風下側それぞれの開口を開放した場合に比較して**十分な換気量は期待できない**とされている。

文1) 野中・倉渕・大場・遠藤・後藤・塚本「密集住宅地における建物表面風圧分布及び自然通風量に関する風洞実験密集住宅地における効果的な通風利用を目的とした開口部配置計画手法に関する研究(第1報)」日本建築学会環境系論文集、2009年

研究目的

また、必要換気量の算出に用いるザイデル式や流量係数と風圧力差を用いた換気量算出式など、従来の換気量予測は流入した気流の**換気経路**は考慮されていない。

開口の配置条件によっては**ショートサーキット**を形成し、新鮮空気が居住域に十分到達せずに室外に流出する可能性がある。

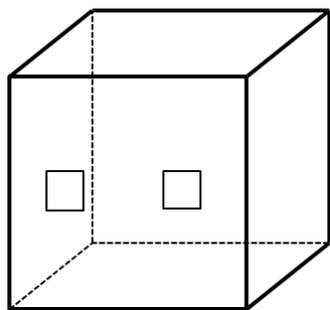
そのため通風性能の評価を行う際には開口面における換気量のみならず、流入した新鮮空気の内、室内の**換気に実質的に寄与する換気量**を把握する必要がある。

本研究では、換気・通風性能評価に関する数値解析を行う。

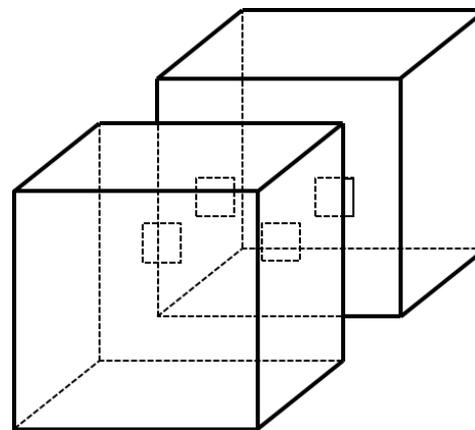
実現象では外部風は絶えず変動し、それにともない室内の気流性状も変化するため、瞬時的な通風現象を評価できる解析手法を用いる必要がある。

そこで風速の時間的変化を考慮し、非定常解析が可能なLESを用いて、風向に対して平行な同一壁面上に2つの開口を有する単純住宅モデルを対象に解析を行う。

単純住宅モデルを単体で配置した場合および市街地を想定して2棟隣接して配置した場合の室内外の気流性状の比較を行う。



(i) 単体で配置した場合



(ii) 2棟隣接して配置した場合

図 単純住宅モデル

更に建物外部を流れる気流を効果的に室内に誘引するために開口部に**風力換気促進装置 (GV: ガイドベーン)**を設置した場合の換気促進効果を検討する。

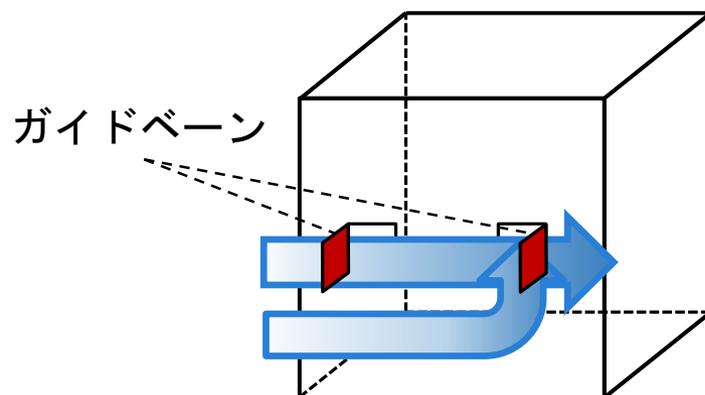


図 ガイドベーンの気流誘引効果

また、風速変動を考慮した換気・通風性能評価手法^{文2)}を適用することにより、GVの換気促進効果及び2棟隣接して配置した場合の隣棟間隔が換気性能に与える影響を定量的に評価する事を目的とする。

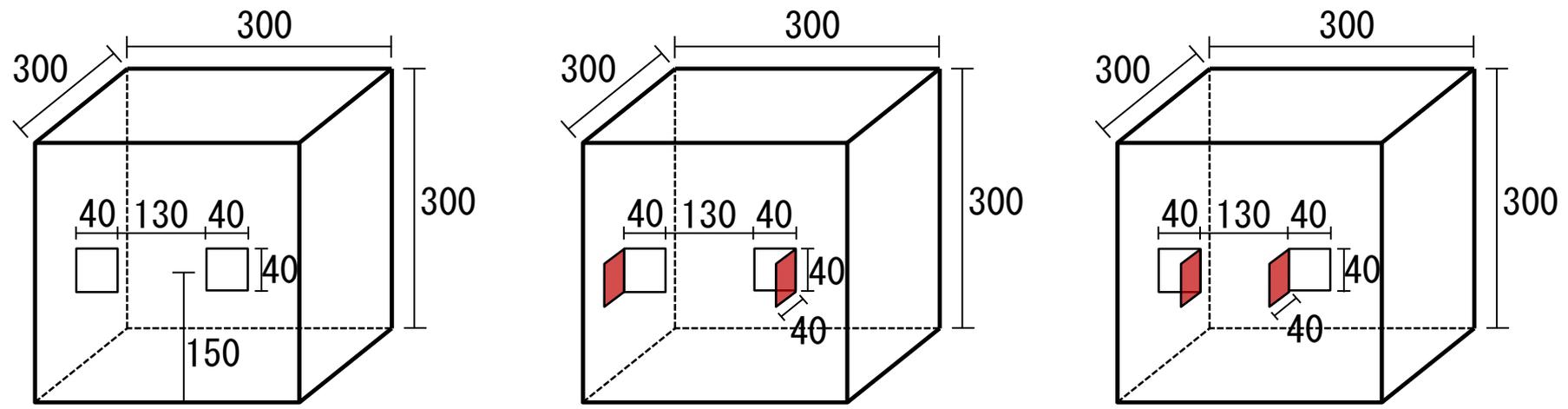
文2) 有波・赤林・富永・坂口・高野・本田「風速変動を考慮した自然換気・通風性能評価手法の提案 LES (Large-Eddy Simulation) による住宅の自然換気・通風性状に関する研究 その2」日本建築学会環境系論文集、2016年

- 1 研究目的
- 2 数値流体解析の概要
- 3 数値流体解析結果
- 4 換気・通風性能評価手法の概要
- 5 換気・通風性能評価結果
- 6 まとめ

2.1 解析対象

表 1 解析case

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



(a) A棟

(c) B棟

(e) C棟

図 1 単純住宅モデルの概要

2.1 解析対象

表 1 解析case

解析case		GV設置位置		配置条件	隣棟間隔 [mm]
		風上側開口	風下側開口		
case1 (A棟)	case1-1	なし		単体	-
	case1-2			2棟	100
	case1-3			2棟	200

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、40 [mm] (高さ) × 40 [mm] (幅) の開口を2箇所設ける。

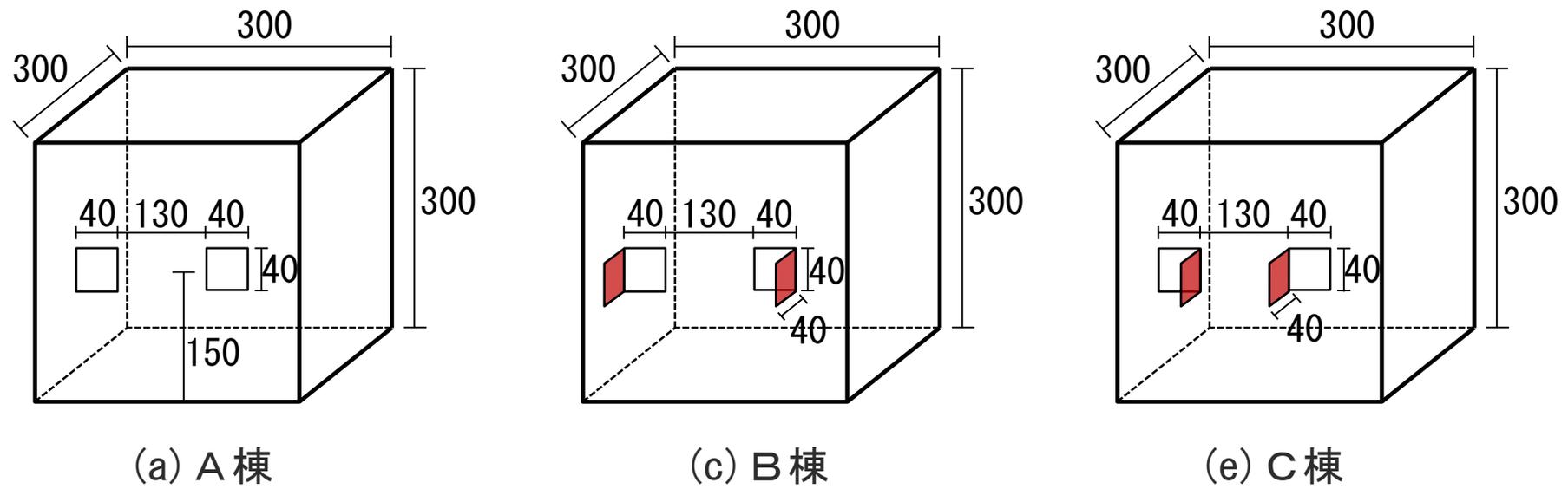


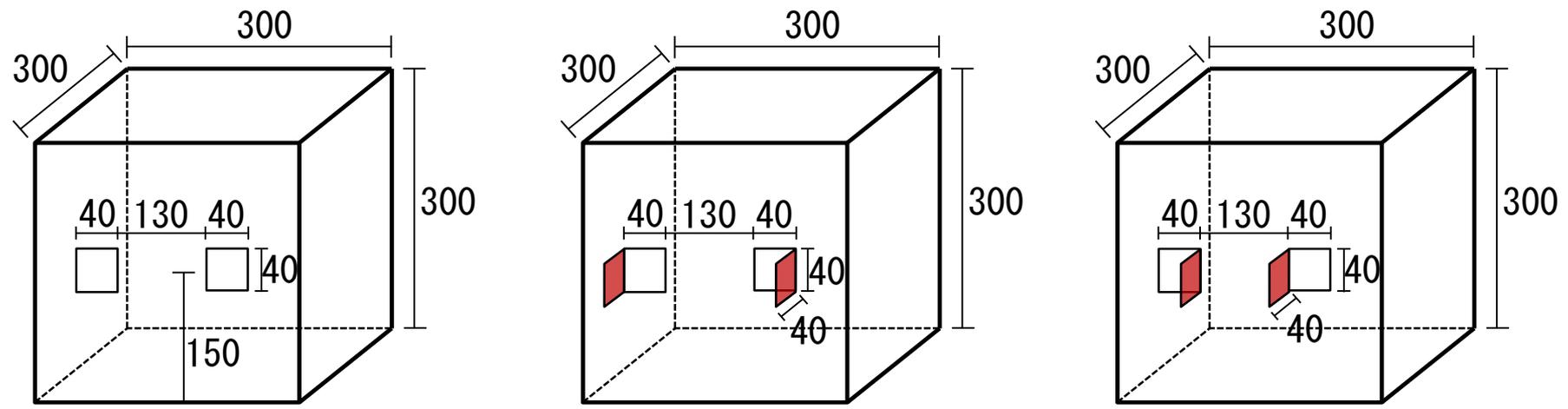
図 1 単純住宅モデルの概要

2.1 解析対象

表 1 解析case

解析case		GV設置位置		配置条件	隣棟間隔 [mm]
		風上側開口	風下側開口		
case1 (A棟)	case1-1	なし		単体	-
	case1-2			2棟	100
	case1-3			2棟	200
case2 (B棟)	case2-1	風上側	風下側	単体	-
	case2-2			2棟	100

開口の間隔は130 [mm] とし、開口の中心は地表面から150 [mm] の位置とする。



(a) A棟

(c) B棟

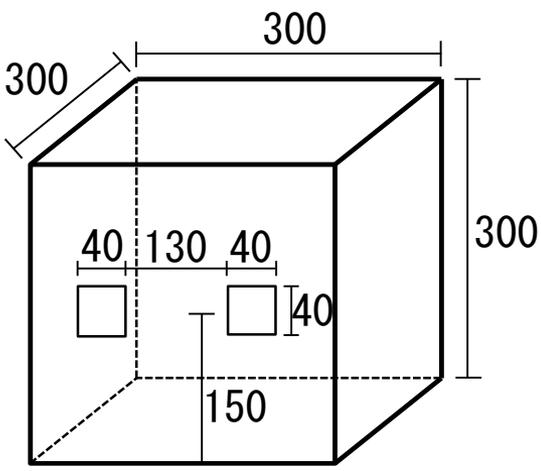
(e) C棟

図 1 単純住宅モデルの概要

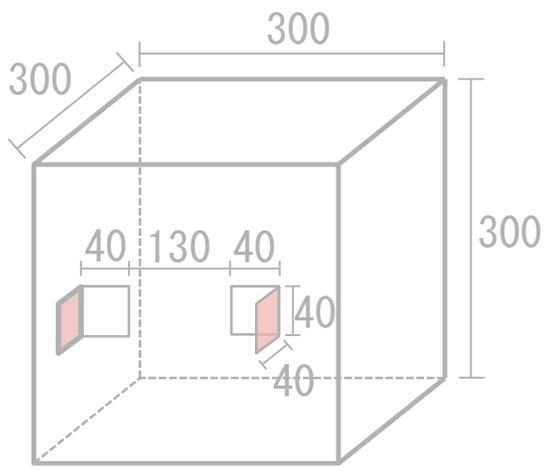
2.1 解析対象

表 1 解析case

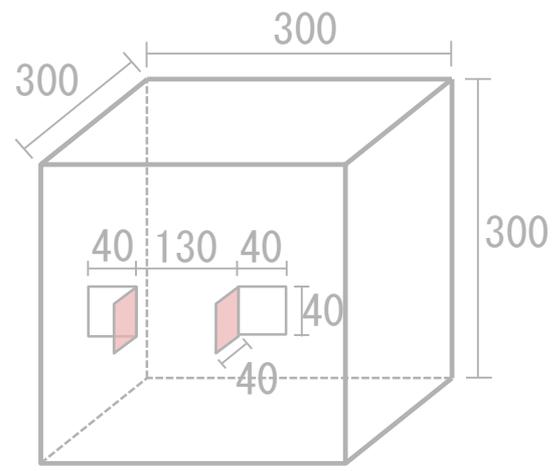
解析case		GV設置位置		配置条件	隣棟間隔 [mm]
		風上側開口	風下側開口		
case1 (A棟)	case1-1	なし		単体	-
	case1-2			2棟	100
	case1-3			2棟	200
case2 (B棟)	case2-1	風上側	風下側	単体	-
	case2-2			2棟	100
	case2-3			2棟	200
case3 (C棟)	case3-1	風下側	風上側	単体	-
	case3-2			2棟	100
	case3-3			2棟	200



(a) A棟



(c) B棟



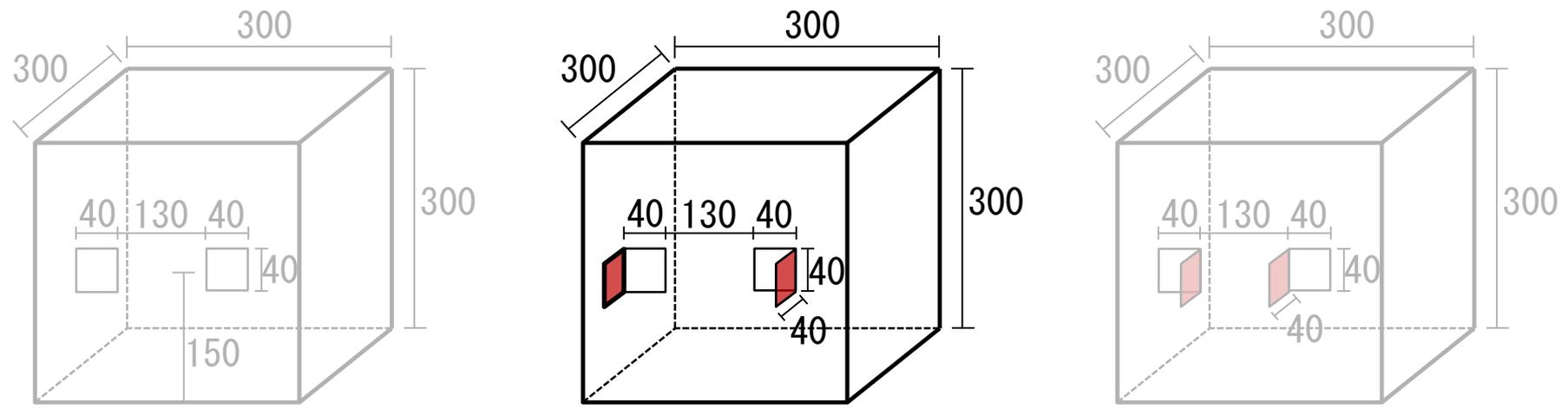
(e) C棟

図 1 単純住宅モデルの概要

2.1 解析対象

表 1 解析case

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



(a) A棟

(c) B棟

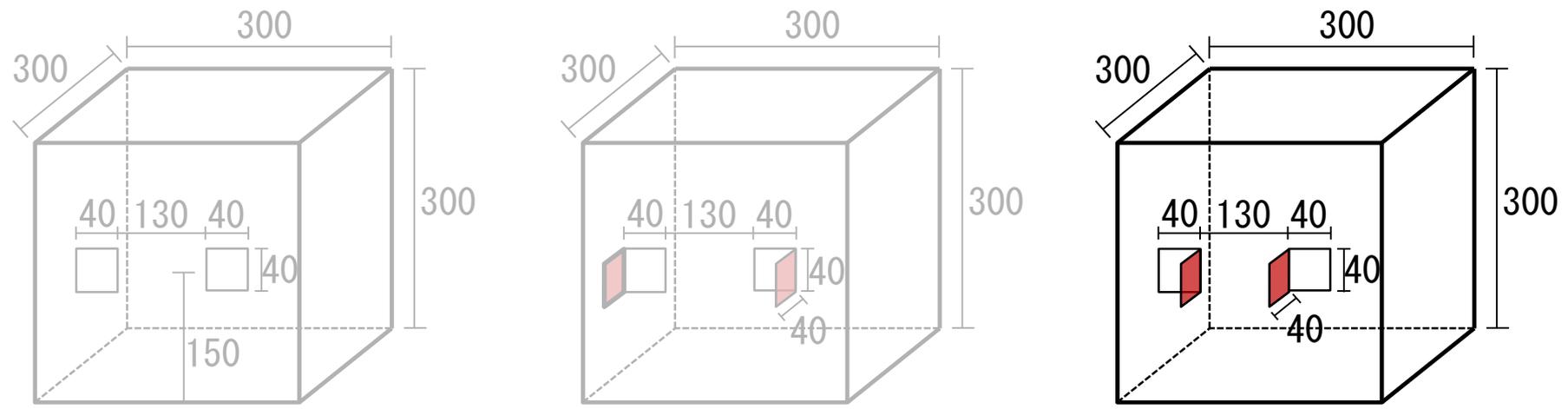
(e) C棟

図 1 単純住宅モデルの概要

2.1 解析対象

表 1 解析case

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



(a) A棟

(c) B棟

(e) C棟

図 1 単純住宅モデルの概要

2.1 解析対象

表 1 解析case

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



単位
[mm]

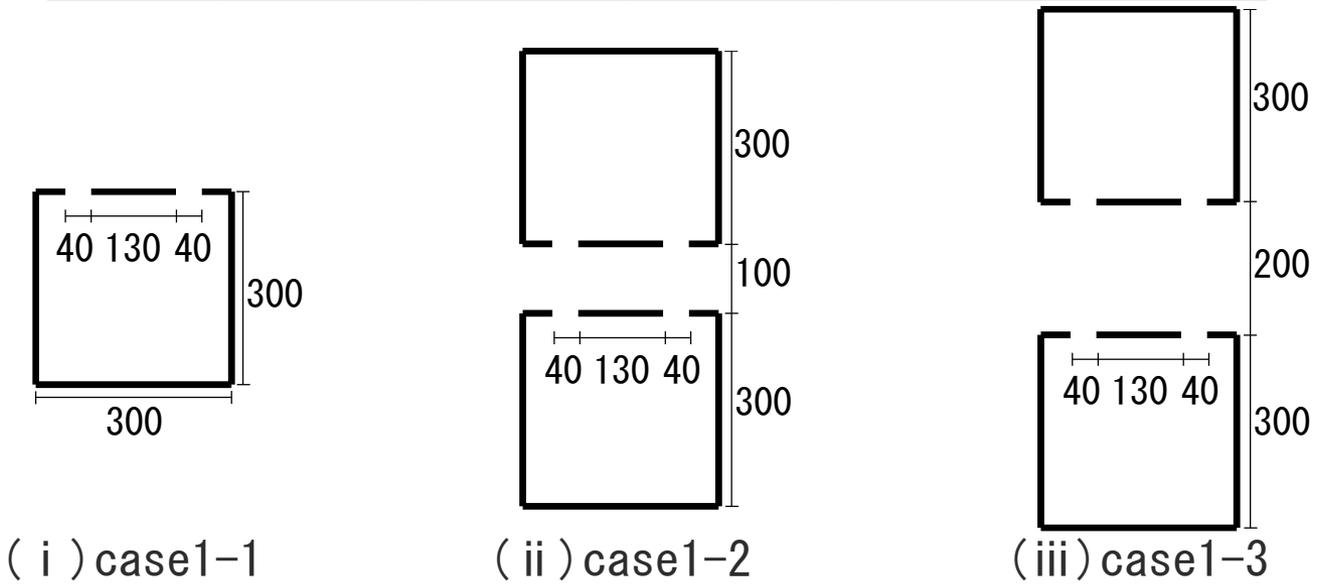


図 単純住宅モデルの配置図

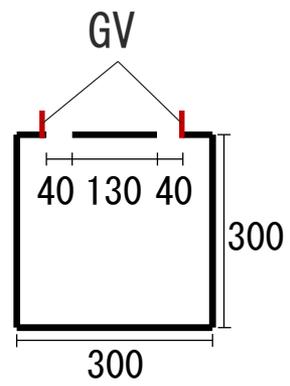
2.1 解析対象

表 1 解析case

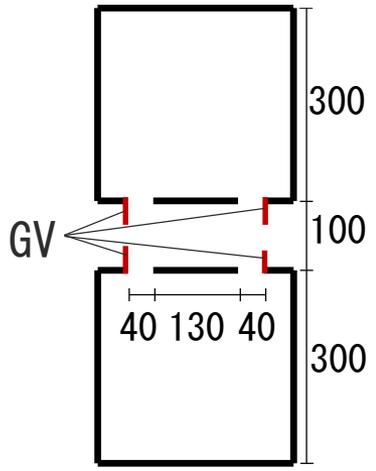
解析case		GV設置位置		配置条件	隣棟間隔 [mm]
		風上側開口	風下側開口		
case1 (A棟)	case1-1	なし		単体	-
	case1-2			2棟	100
	case1-3			2棟	200
case2 (B棟)	case2-1	風上側	風下側	単体	-
	case2-2			2棟	100
	case2-3			2棟	200
case3 (C棟)	case3-1	風下側	風上側	単体	-
	case3-2			2棟	100
	case3-3			2棟	200



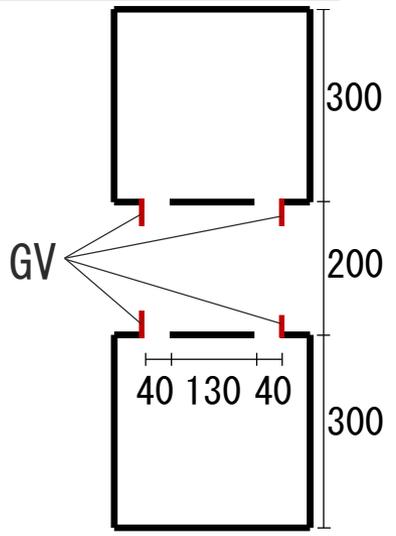
単位
[mm]



(iv) case2-1



(v) case2-2



(vi) case2-3

図 単純住宅モデルの配置図

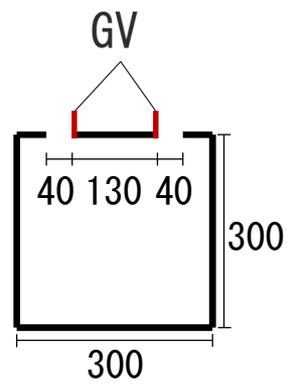
2.1 解析対象

表 1 解析case

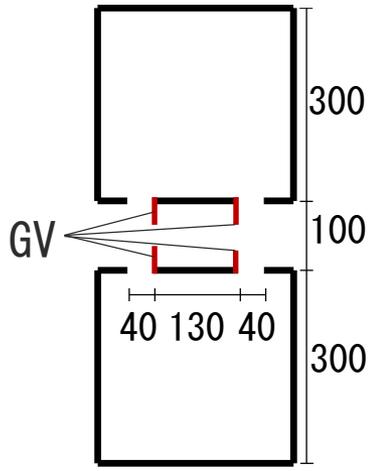
解析case		GV設置位置		配置条件	隣棟間隔 [mm]
		風上側開口	風下側開口		
case1 (A棟)	case1-1	なし		単体	-
	case1-2			2棟	100
	case1-3			2棟	200
case2 (B棟)	case2-1	風上側	風下側	単体	-
	case2-2			2棟	100
	case2-3			2棟	200
case3 (C棟)	case3-1	風下側	風上側	単体	-
	case3-2			2棟	100
	case3-3			2棟	200



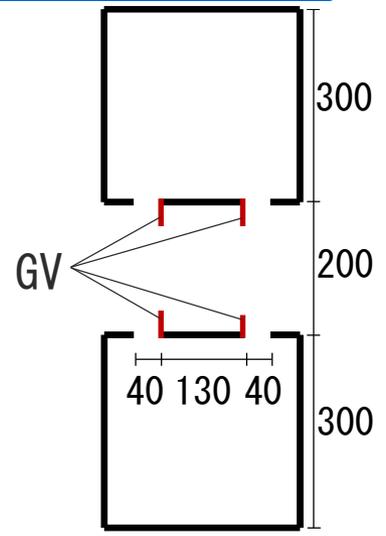
単位
[mm]



(vii) case3-1



(viii) case3-2



(ix) case3-3

図 単純住宅モデルの配置図

2.1 解析対象

解析領域は風洞を模擬し、
 $1,800$ [mm] (高さ) \times $1,800$ [mm] (幅) \times $7,800$ [mm] (長さ) とする。

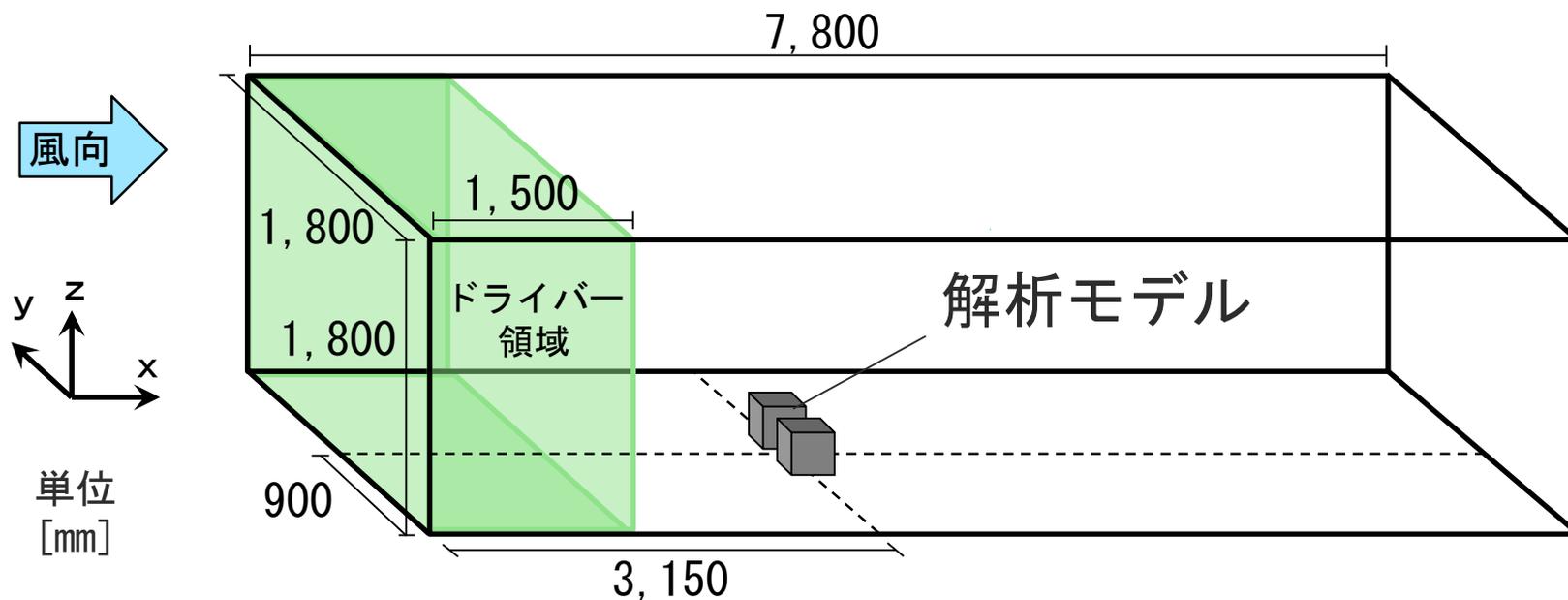


図2 解析領域

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻み Δt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

LES解析には汎用数値流体解析ソフトSTREAM ver. 11を使用する。

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻みΔt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

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。

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻みΔt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

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。

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻みΔt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

LES解析ではまず、解析領域の上流部分に変動気流流入境界条件を計算するためのドライバー領域を設け、開口がない単純住宅モデルで流入変動気流を作成するためのプレ解析を行う。

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻み Δt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

基準とする流入プロファイルは市街地を想定し、 $U \propto Z^{1/4}$ (U : 流速、Z : 高さ) とする。

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻み Δt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

次に、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、室内外気流性状の検討を行う。

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻み Δt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

解析開始からの経過時間をtとし、計算開始後t=0~2.6[s]までをプレ解析とする。

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻み Δt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

t=2.6~4.6[s]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。

2.2 LES解析条件

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 ²]		
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	t=2.6~4.6[s]	
	本解析	t=4.6~14.6[s]	
時間刻み Δt	6.5 × 10 ⁻⁵ [s]		
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.005 [m]		
解析領域 メッシュ数	単体で配置	211(x) × 156(y) × 107(z) = 3,522,012	
	隣棟間隔100[mm]	211(x) × 208(y) × 97(z) = 4,257,136	
	隣棟間隔200[mm]	211(x) × 209(y) × 97(z) = 4,277,603	

t=4.6~14.6[s]までの計10[s]間を本解析の結果として用いる。

- 1 研究目的
- 2 数値流体解析の概要
- 3 数値流体解析結果**
- 4 換気・通風性能評価手法の概要
- 5 換気・通風性能評価結果
- 6 まとめ

表 1 解析case

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

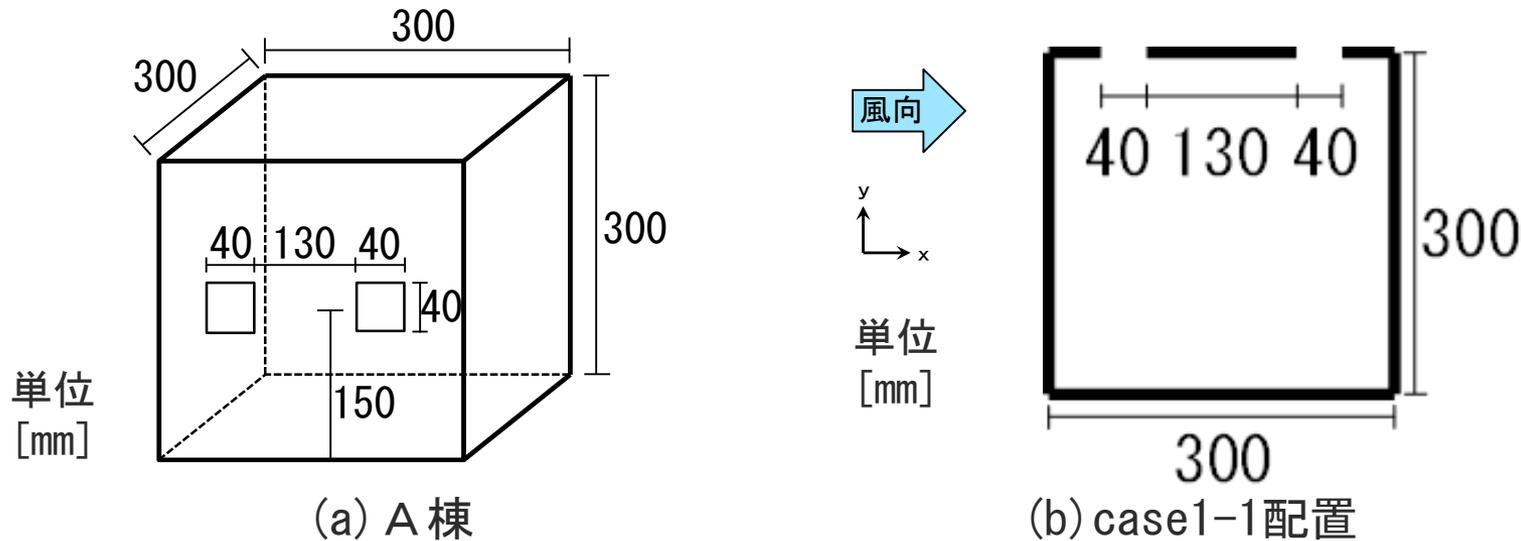
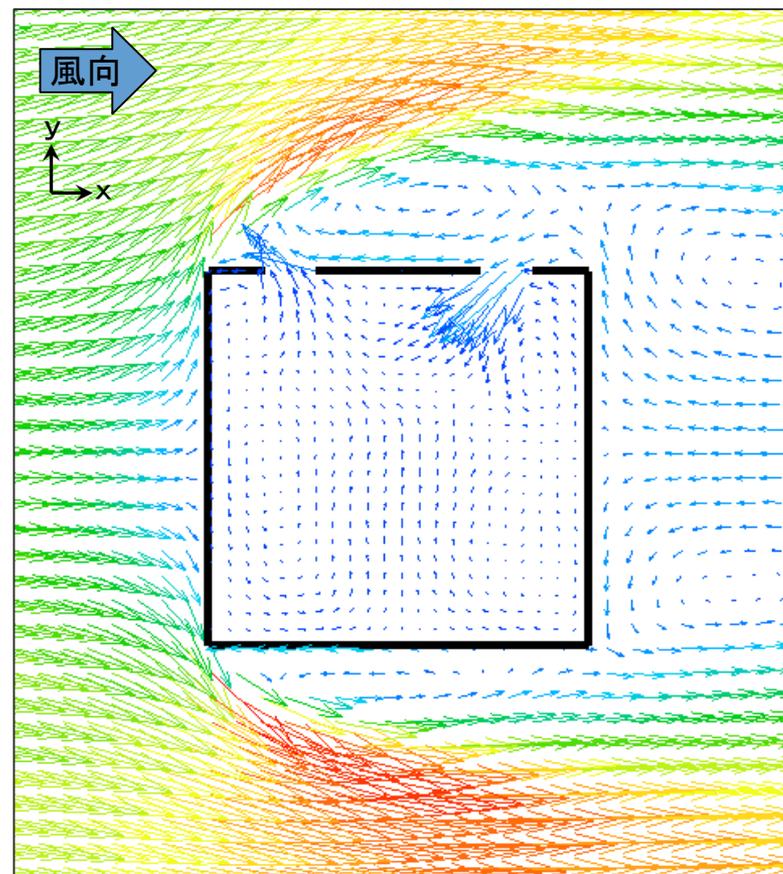
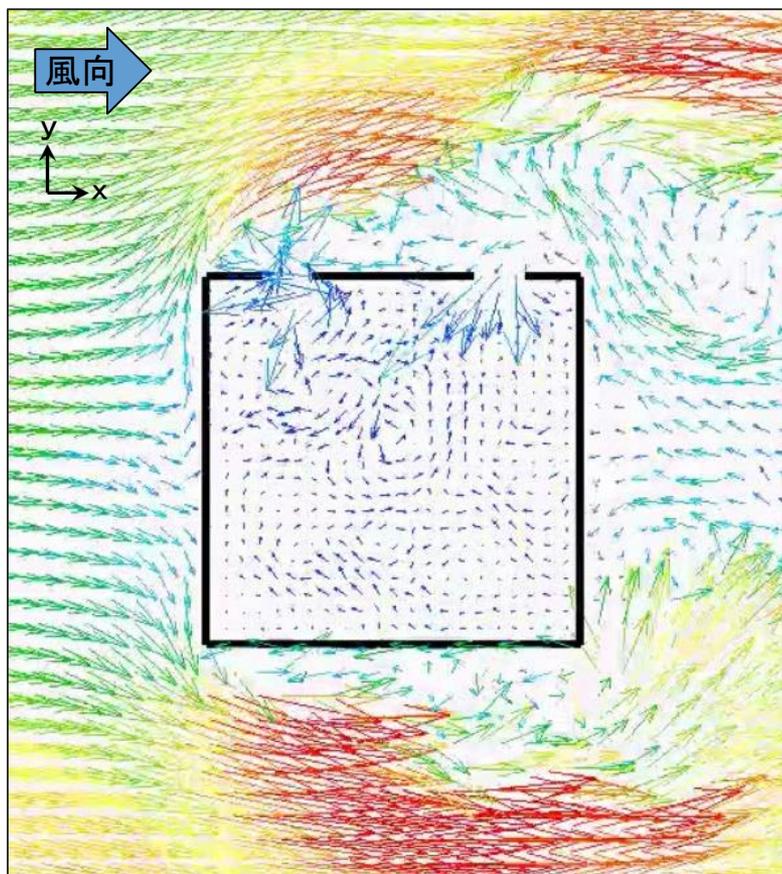
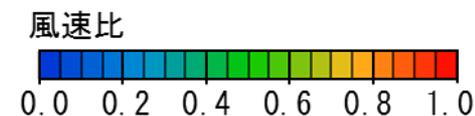
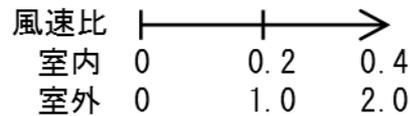
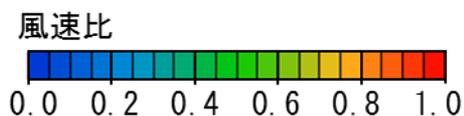
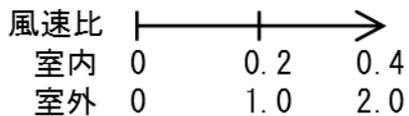


図 1 単純住宅モデルの概要

解析結果：case1-1(モデルA棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



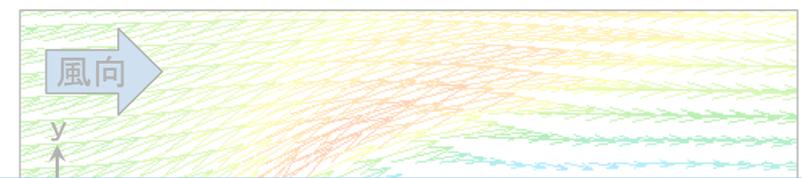
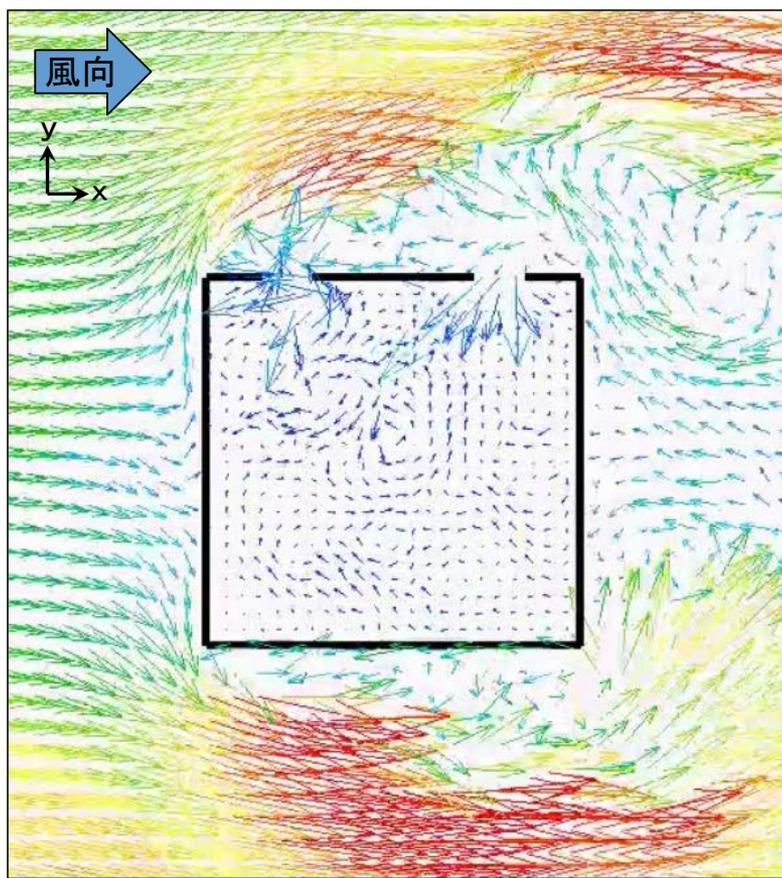
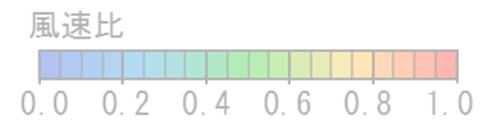
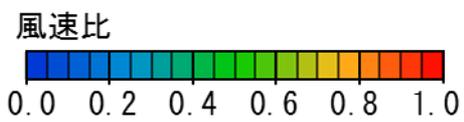
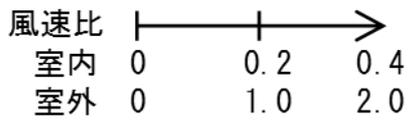
動画 case1-1の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

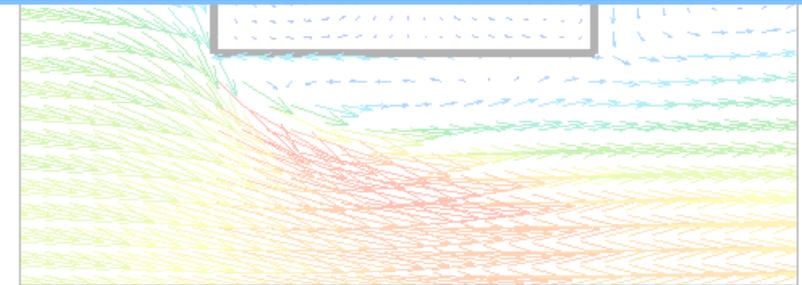
図4 case1-1の室内外風速比分布

解析結果：case1-1 (モデルA棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



風下側開口から断続的に気流が流入するが、建物隅角部で生じる気流の剥離の影響で、風上側開口から流入するタイミングがある。



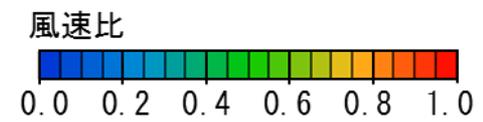
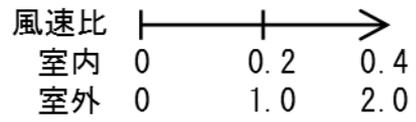
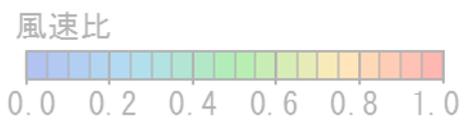
動画 case1-1の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図4 case1-1の室内外風速比分布

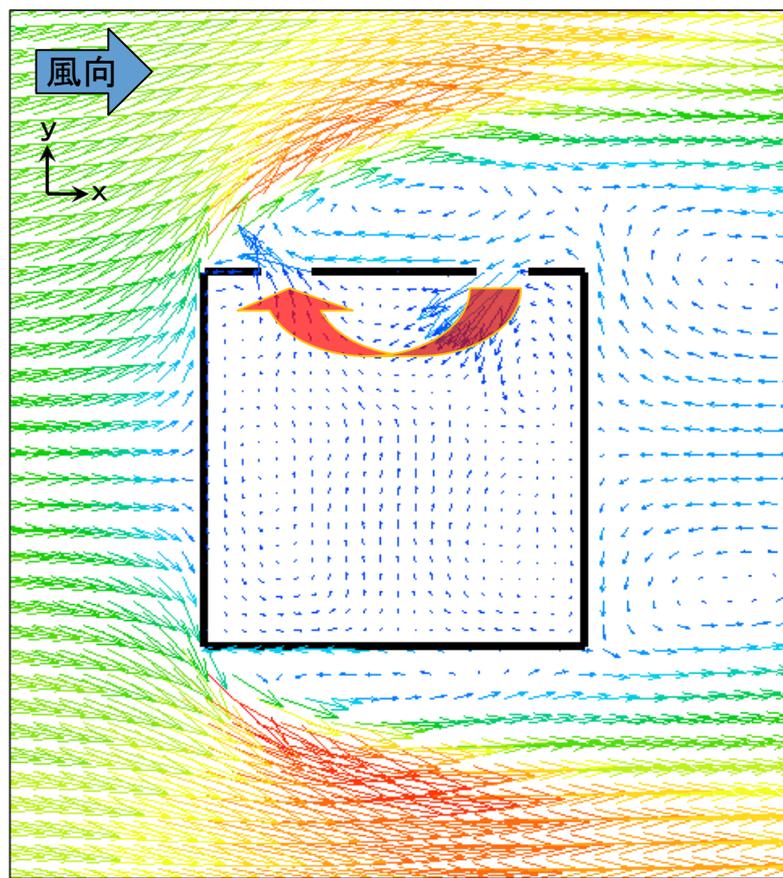
解析結果：case1-1 (モデルA棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



2箇所開口のうち、風下側開口から風速比0.15程度で流入した気流が開口を有する壁面を沿う様に室内を流れ風上側開口から流出する。

平均換気量は3.17 [m³/h]である。



動画 case1-1の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図4 case1-1の室内外風速比分布

表 1 解析case

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

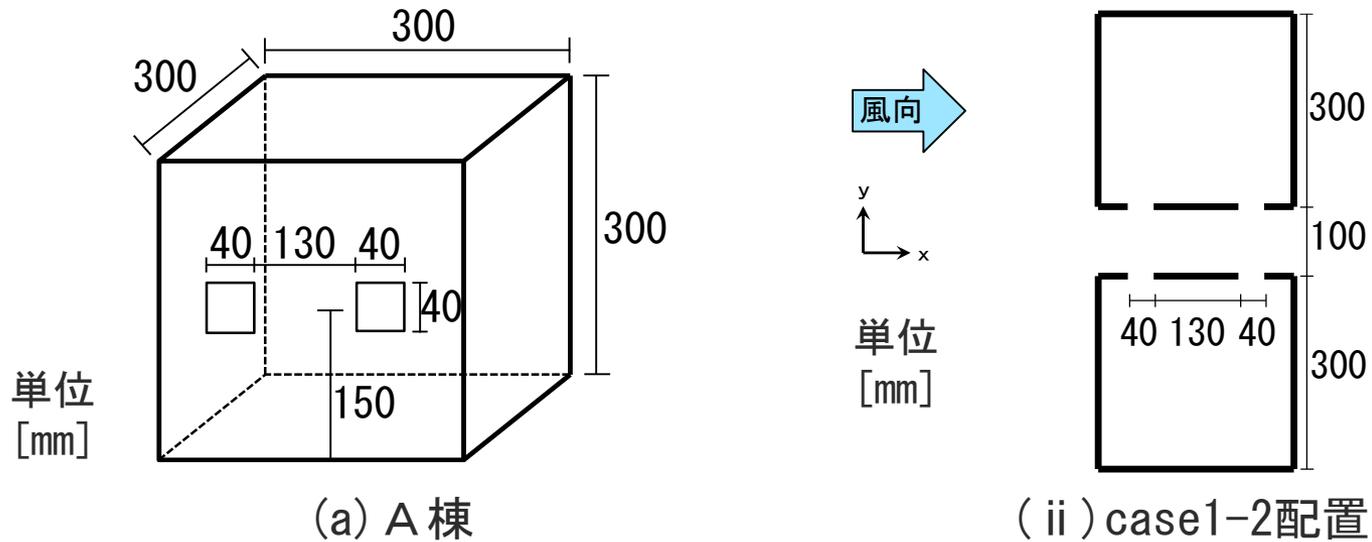
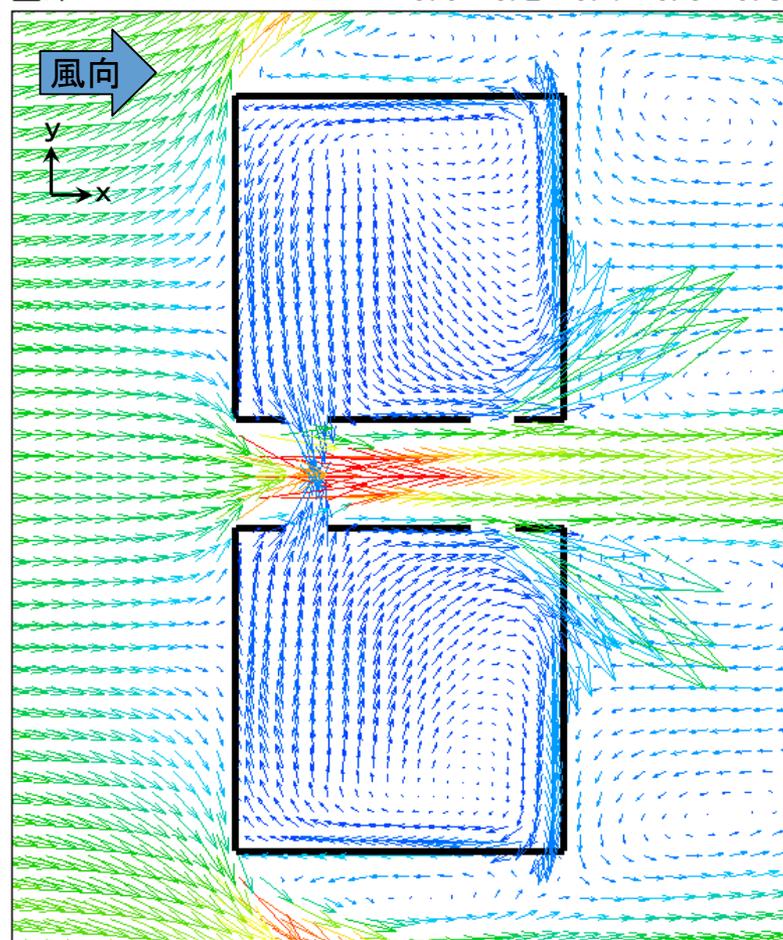
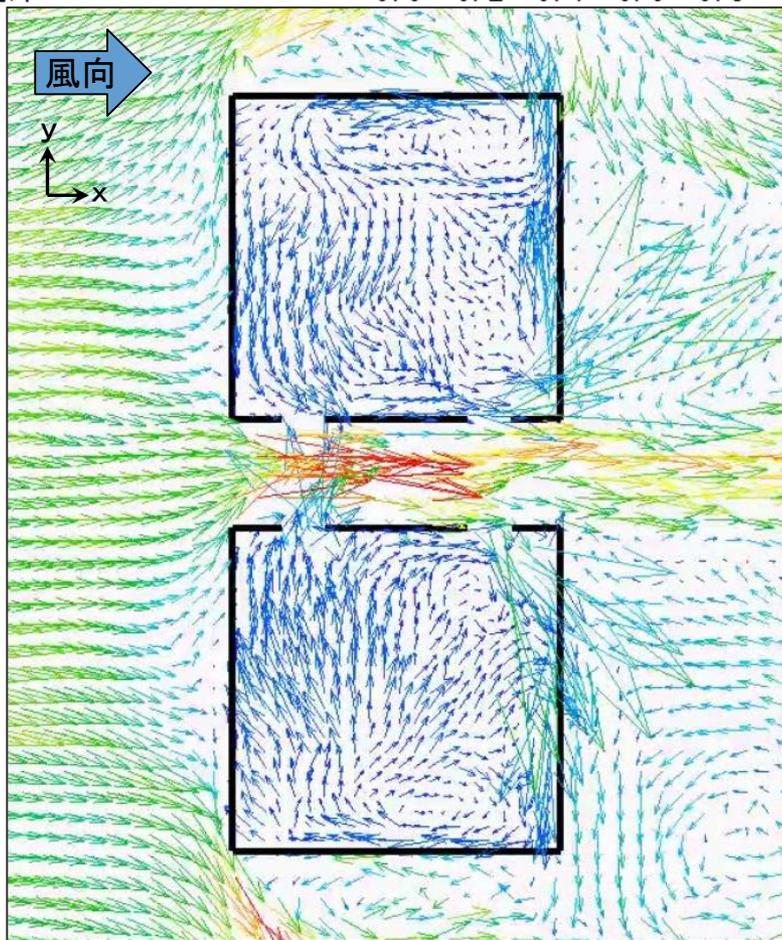
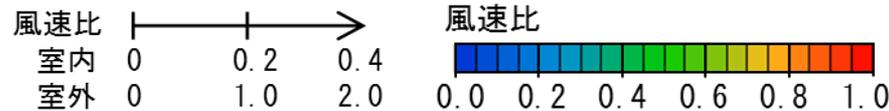
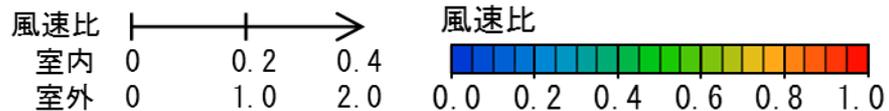


図 1 単純住宅モデルの概要

解析結果：case1-2(モデルA棟、隣棟間隔100[mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



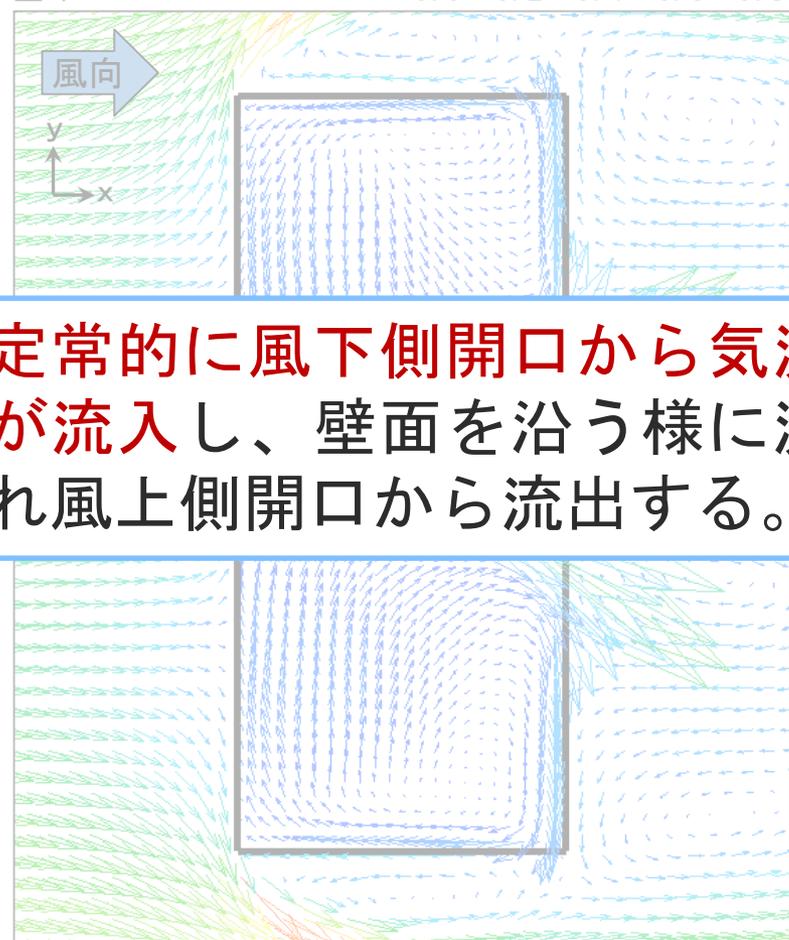
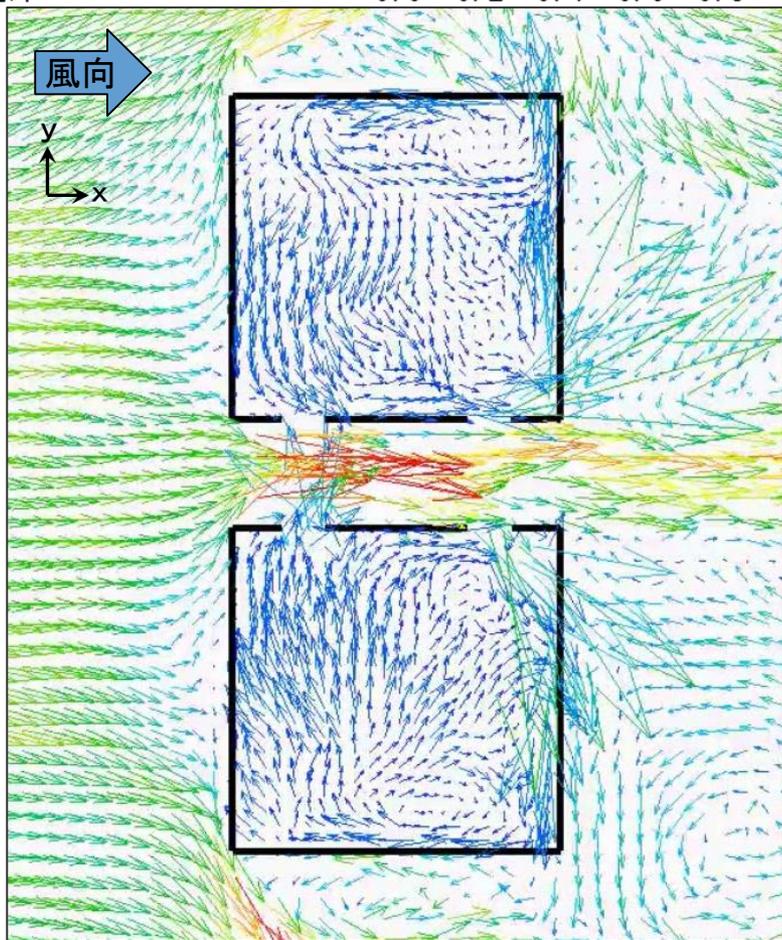
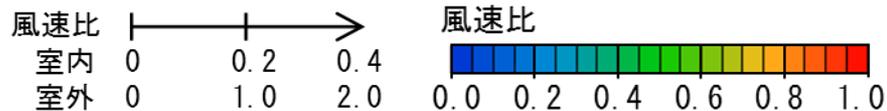
動画 case1-2の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図5 case1-2の室内外風速比分布

解析結果：case1-2(モデルA棟、隣棟間隔100[mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



定常的に風下側開口から気流が流入し、壁面を沿う様に流れ風上側開口から流出する。

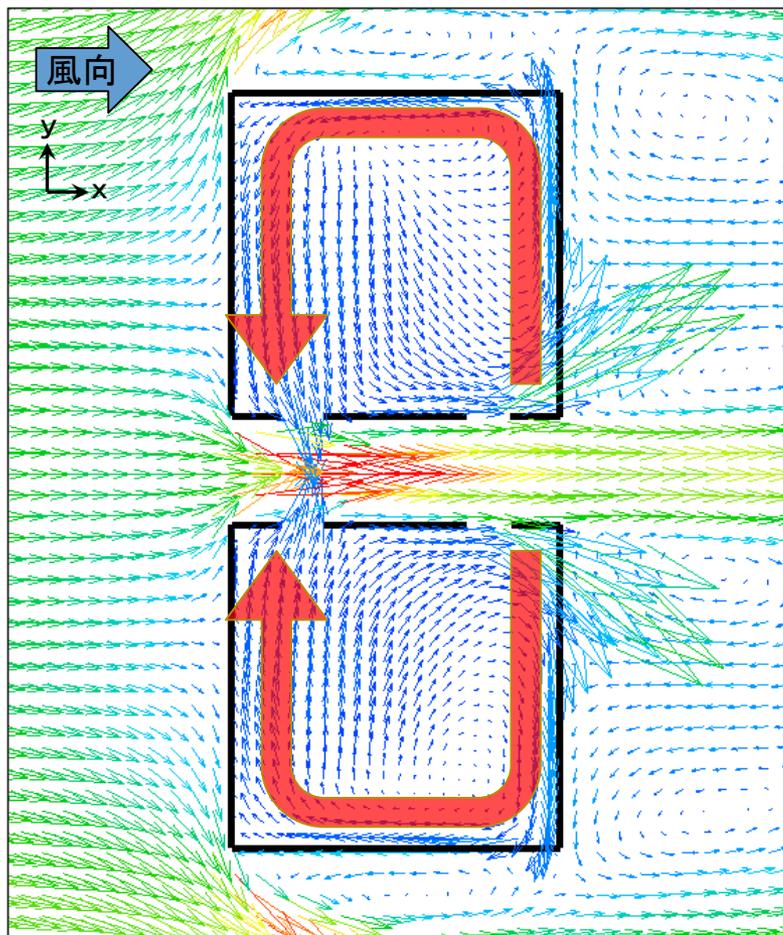
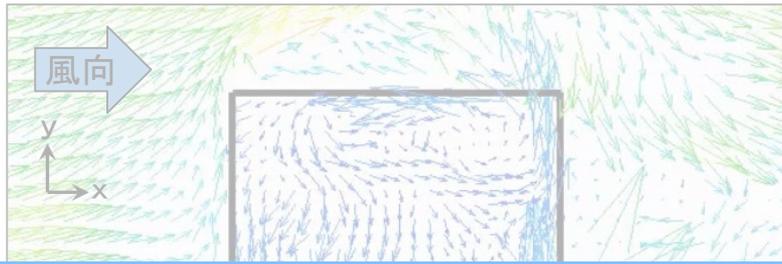
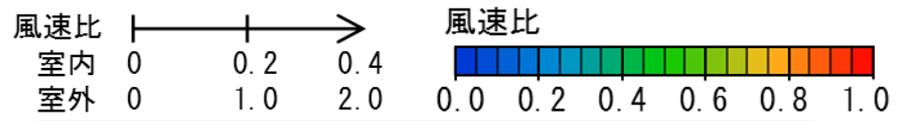
動画 case1-2の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図5 case1-2の室内外風速比分布

解析結果：case1-2(モデルA棟、隣棟間隔100[mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



風下側開口から気流が風速比0.4程度で流入し、室内全体を循環するような気流場を形成し風上側開口から流出する。

平均換気量は5.04[m³/h]である。

動画 case1-2の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図5 case1-2の室内外風速比分布

表 1 解析case

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

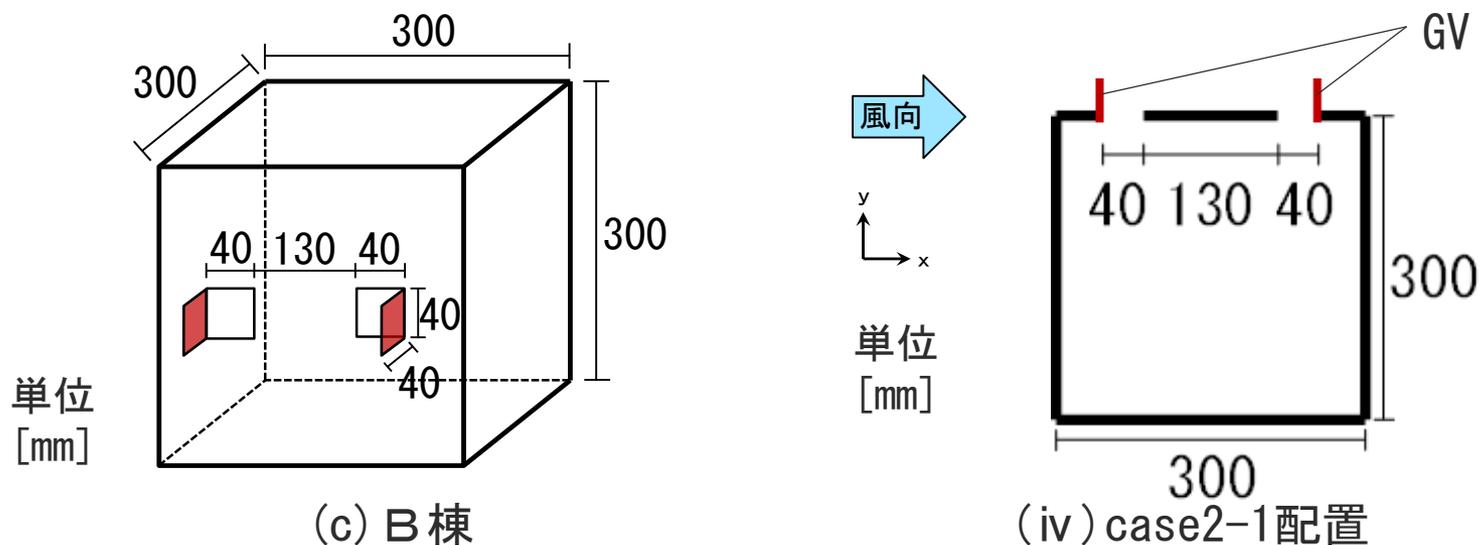
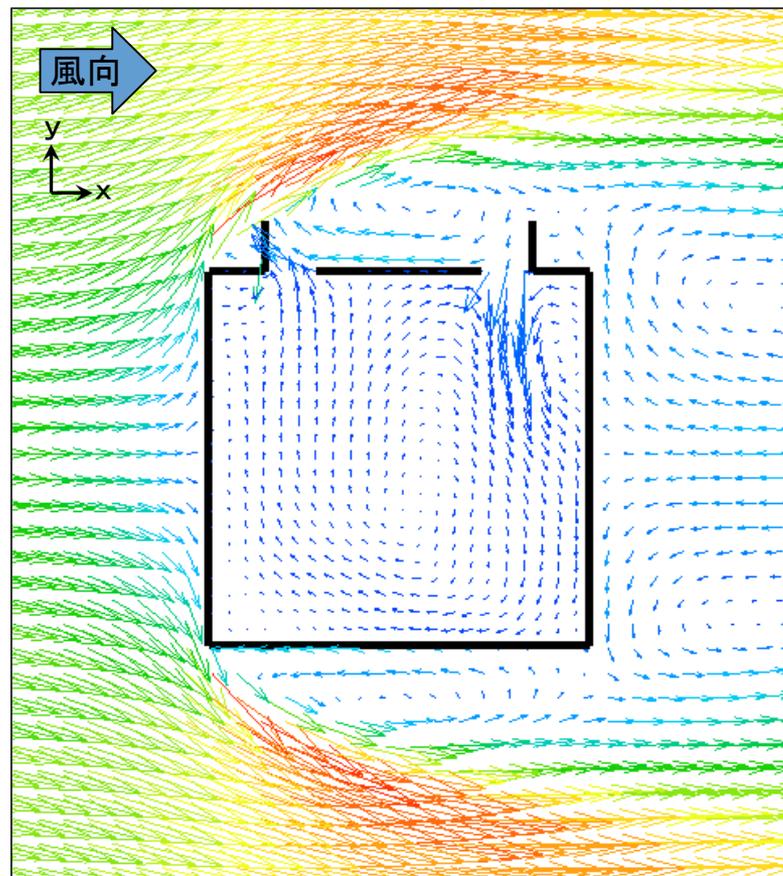
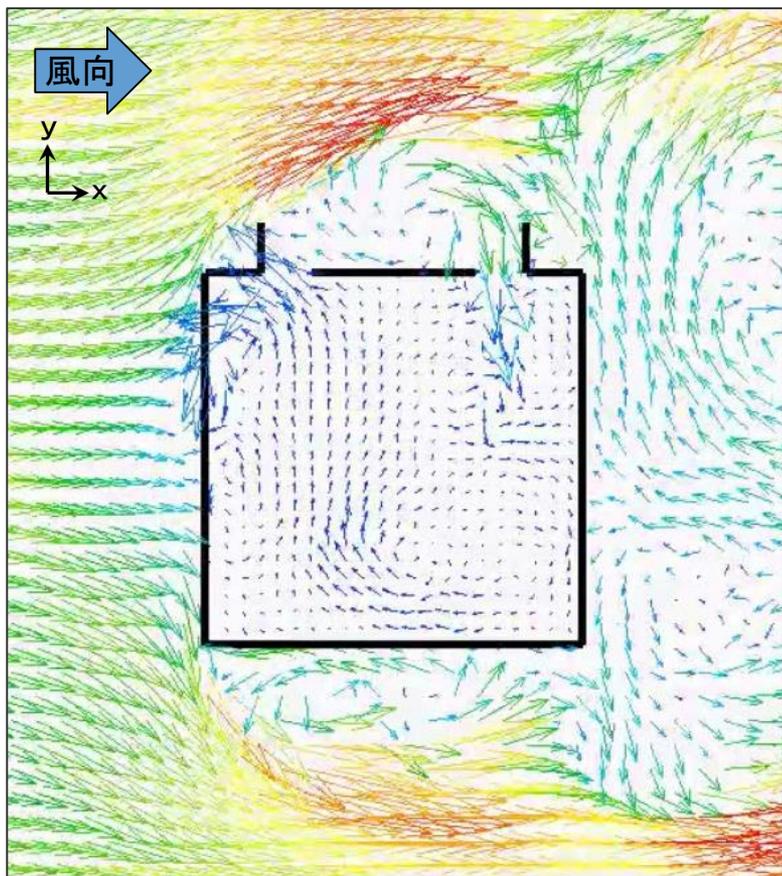
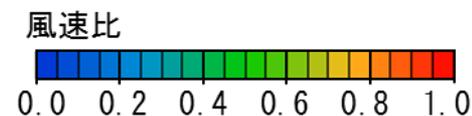
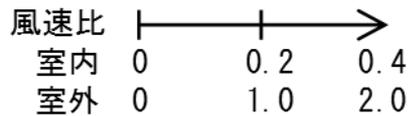
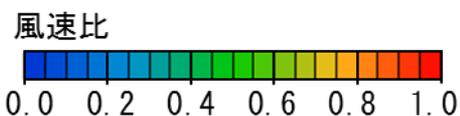
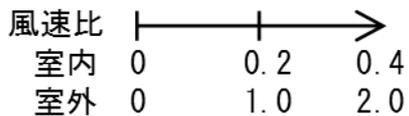


図 1 単純住宅モデルの概要

解析結果：case2-1 (モデルB棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



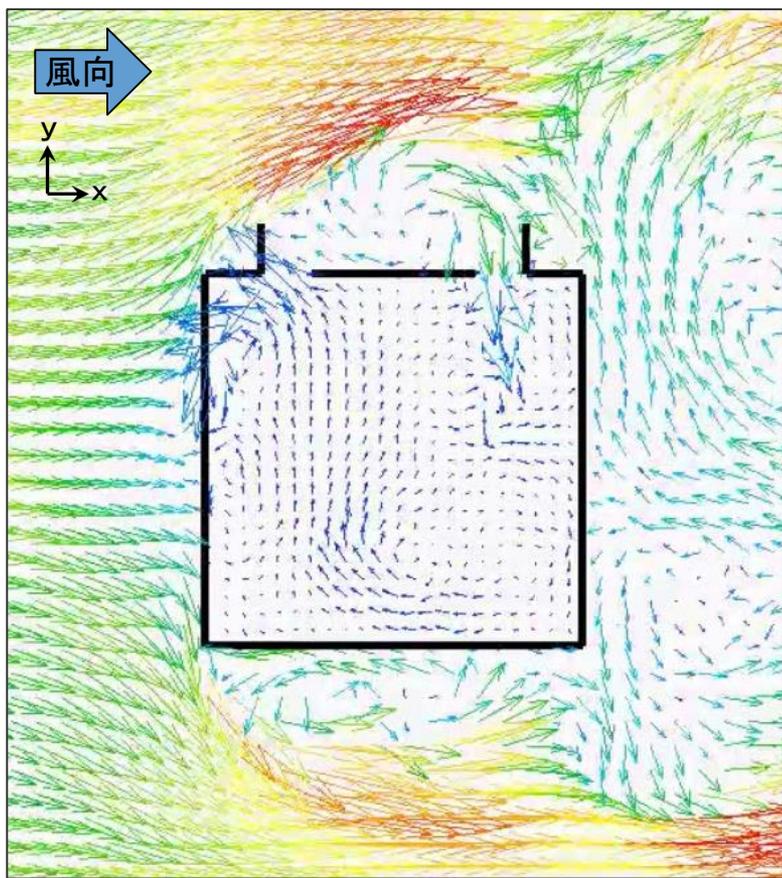
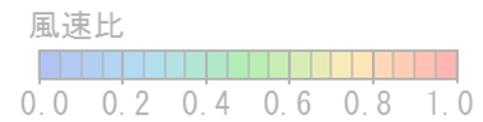
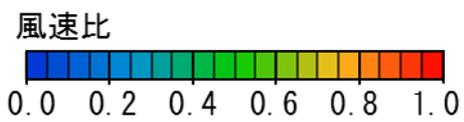
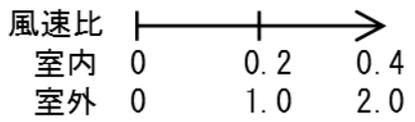
動画 case2-1の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図7 case2-1の室内外風速比分布

解析結果：case2-1 (モデルB棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



case1-1と同様に、風下側開口から断続的に気流が流入するが、建物隅角部で生じる気流の剥離の影響で、**風上側開口から流入するタイミングがある。**

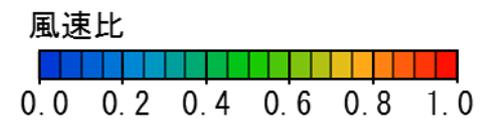
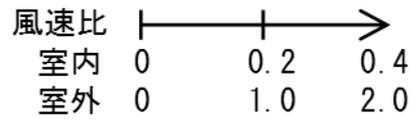
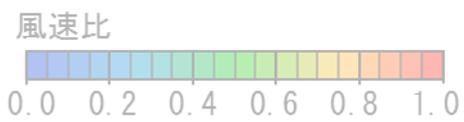
動画 case2-1の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図7 case2-1の室内外風速比分布

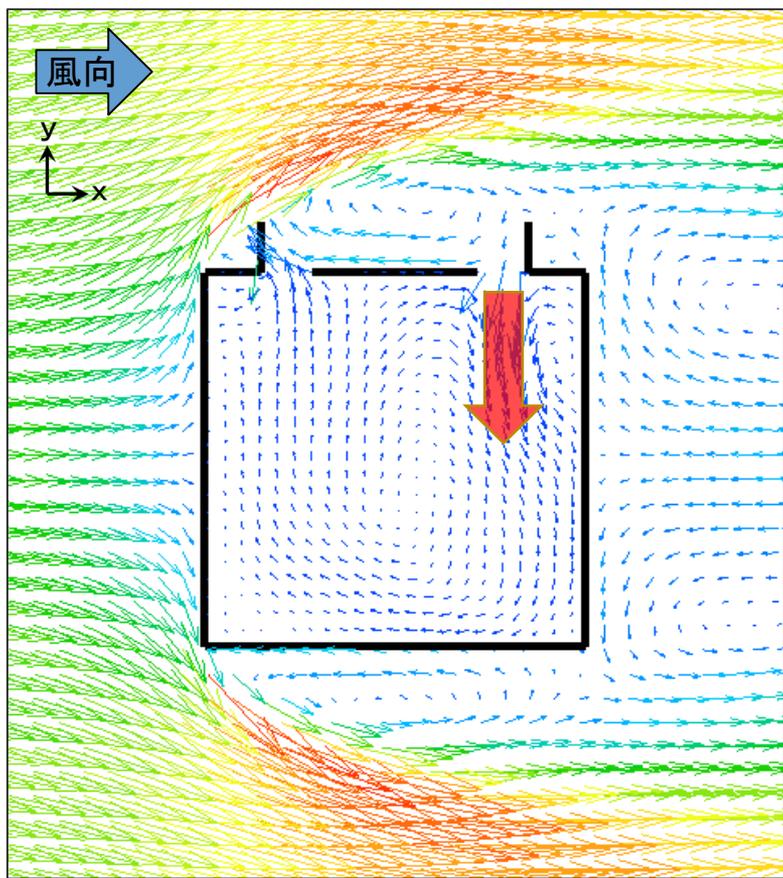
解析結果：case2-1 (モデルB棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



風下側開口から気流が風速比0.1程度で開口面に対して**垂直方向**に室内に流入し、室内全体を循環するような**気流場**を形成し、風上側開口から流出する。

平均換気量は**3.29 [m³/h]**である。



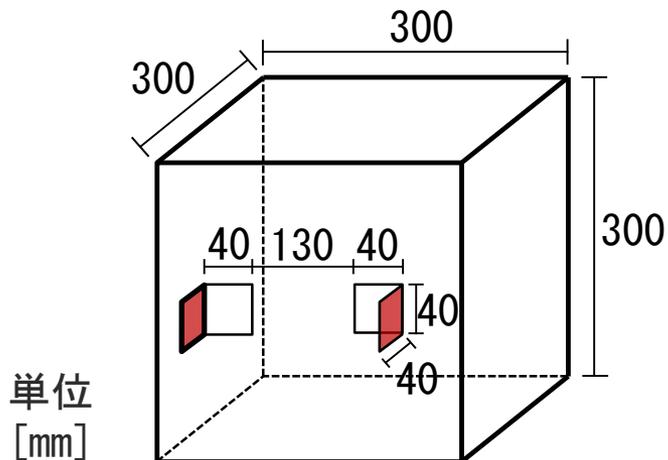
動画 case2-1の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

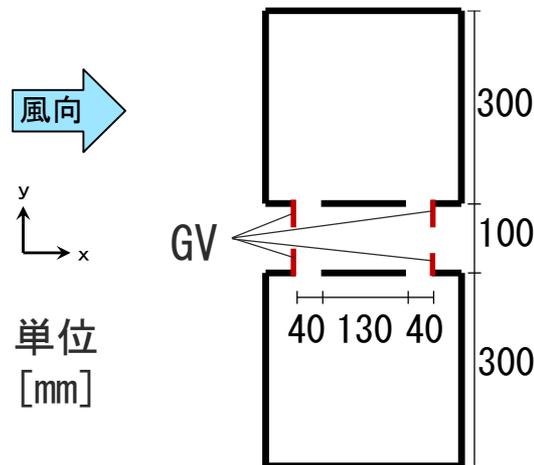
図7 case2-1の室内外風速比分布

表 1 解析case

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



(c) B棟

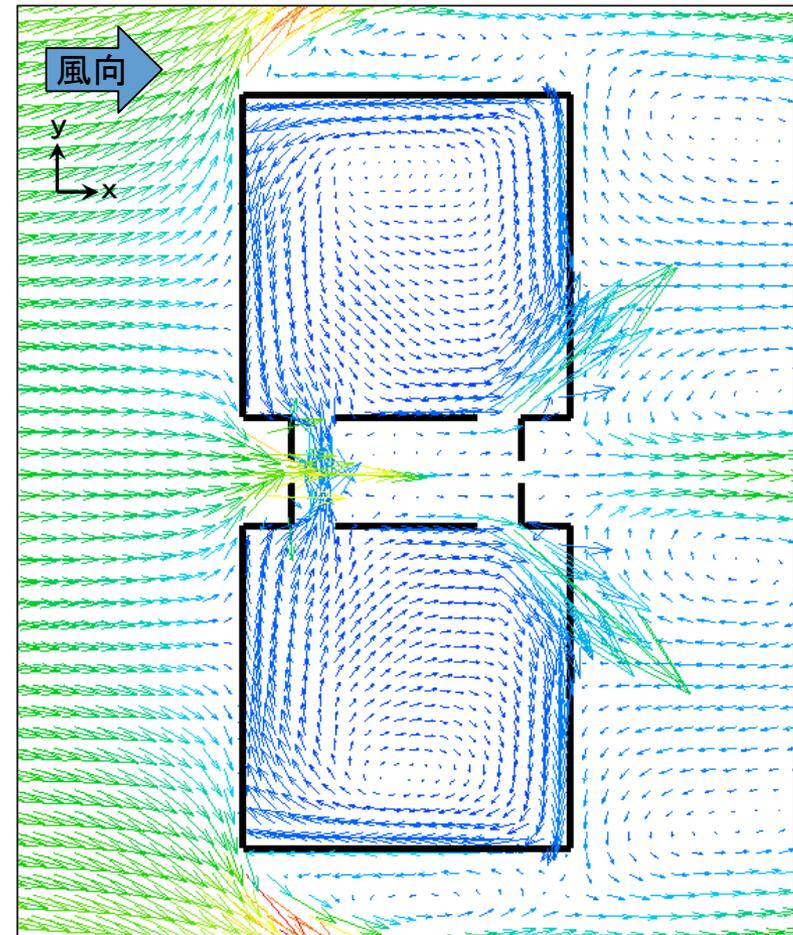
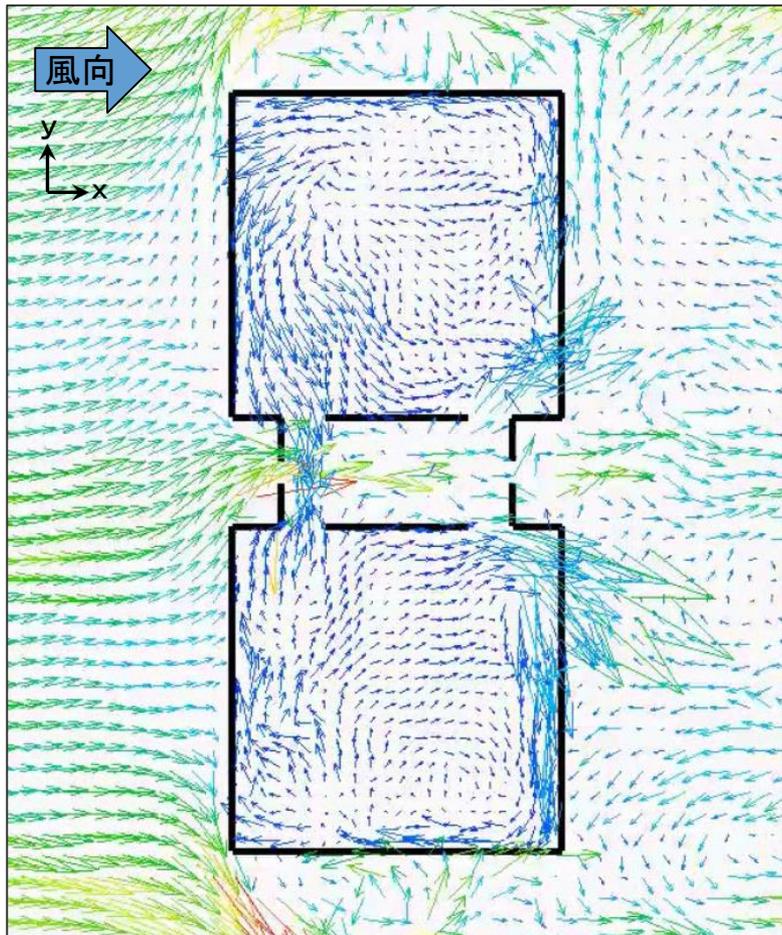
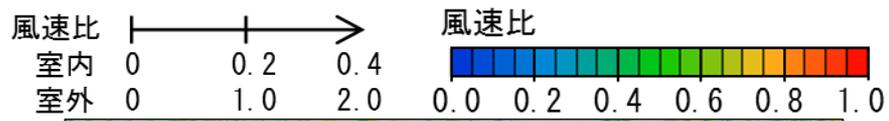


(d) case2-1配置

図 1 単純住宅モデルの概要

解析結果：case2-2(モデルB棟、隣棟間隔100[mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



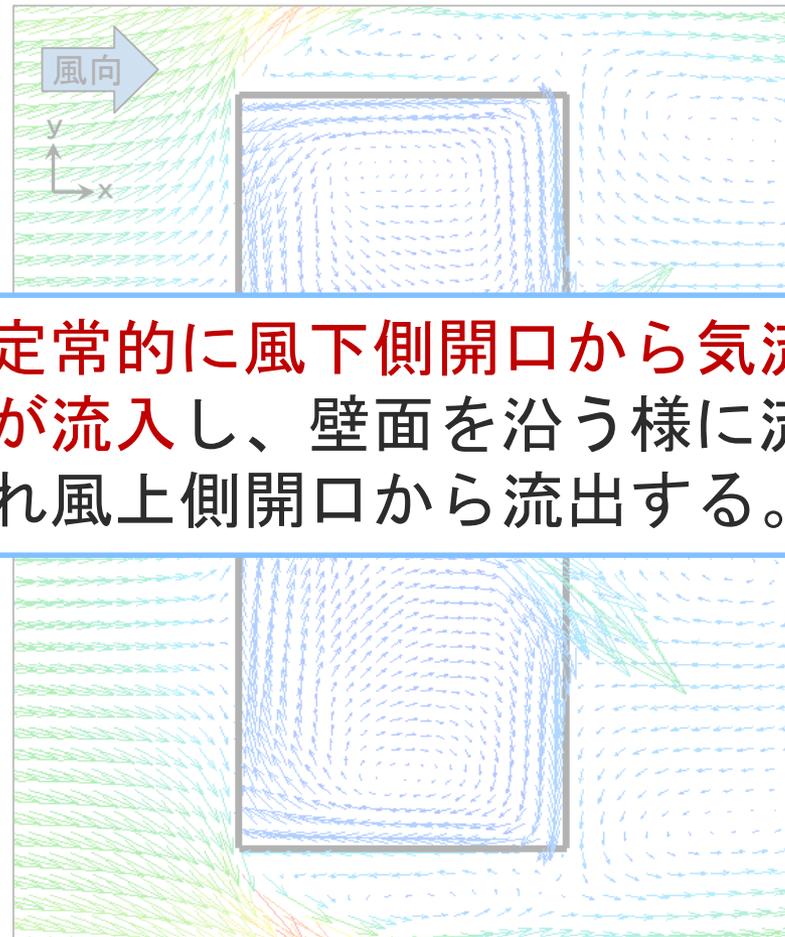
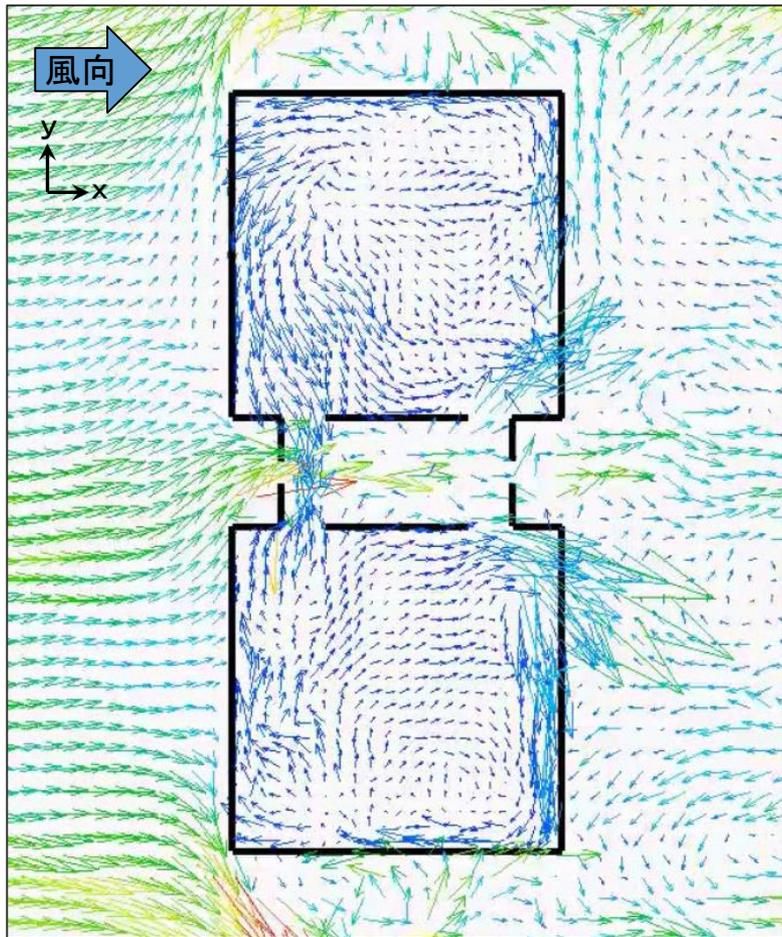
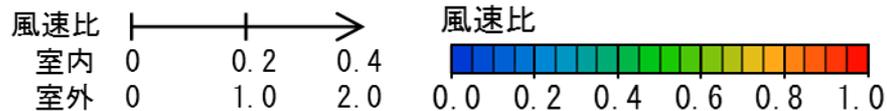
動画 case2-2の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図8 case2-2の室内外風速比分布

解析結果：case2-2(モデルB棟、隣棟間隔100[mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



定常的に風下側開口から気流が流入し、壁面を沿う様に流れ風上側開口から流出する。

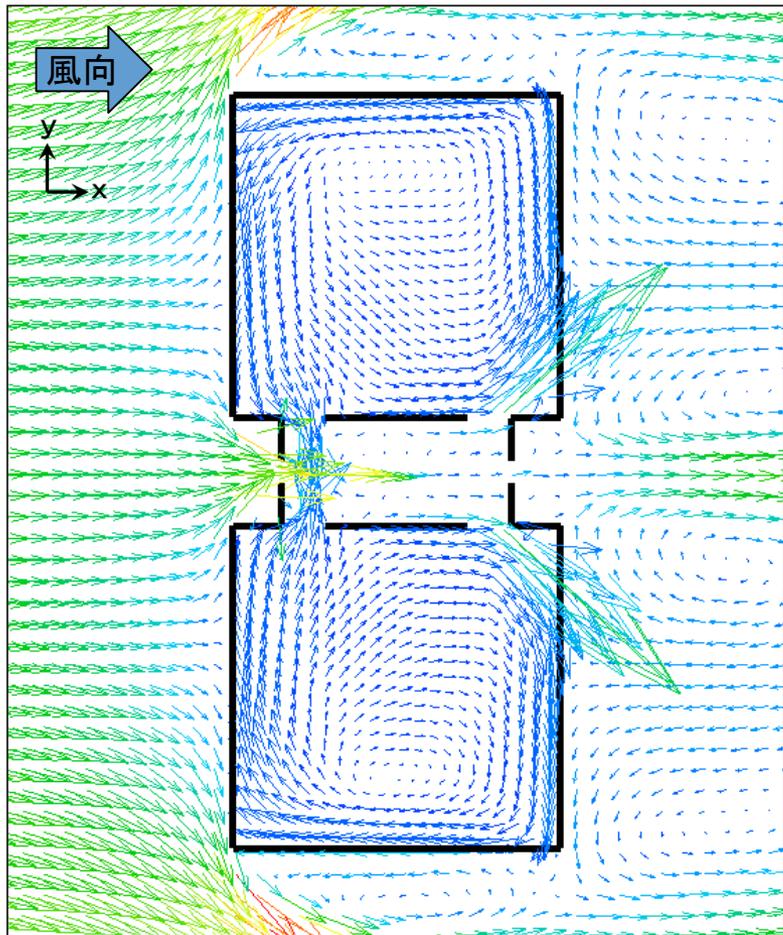
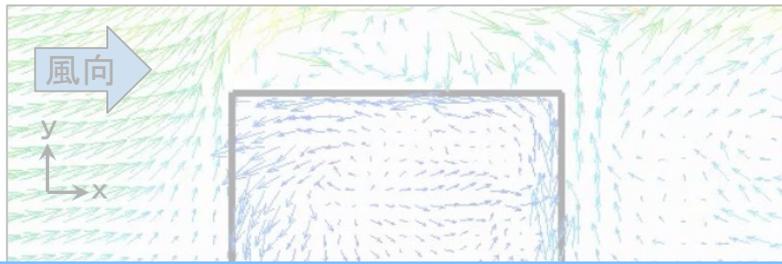
動画 case2-2の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図8 case2-2の室内外風速比分布

解析結果：case2-2(モデルB棟、隣棟間隔100[mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



風下側開口から気流が風速比0.4程度で流入し、**室内全体を循環するような気流場を形成し**風上側開口から流出する。

平均換気量は**5.51 [m³/h]**である。

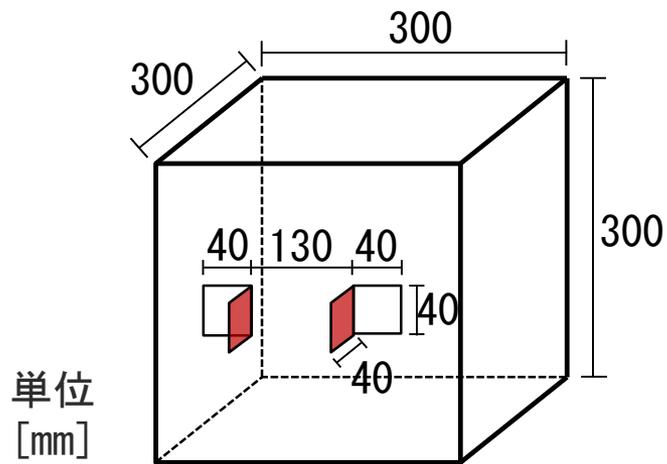
動画 case2-2の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

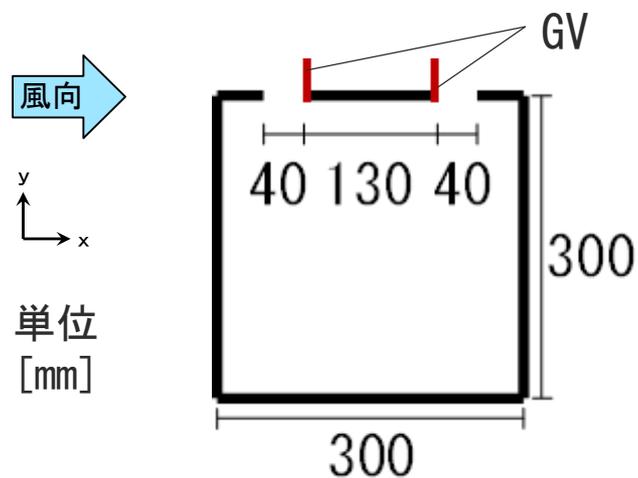
図8 case2-2の室内外風速比分布

表 1 解析case

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



(e) C棟

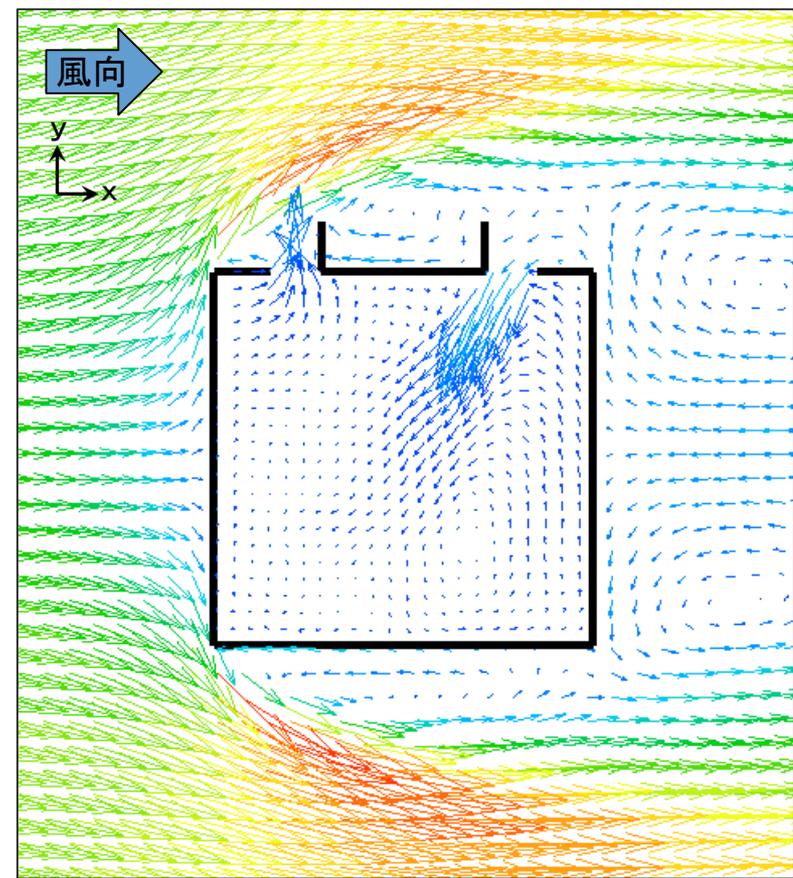
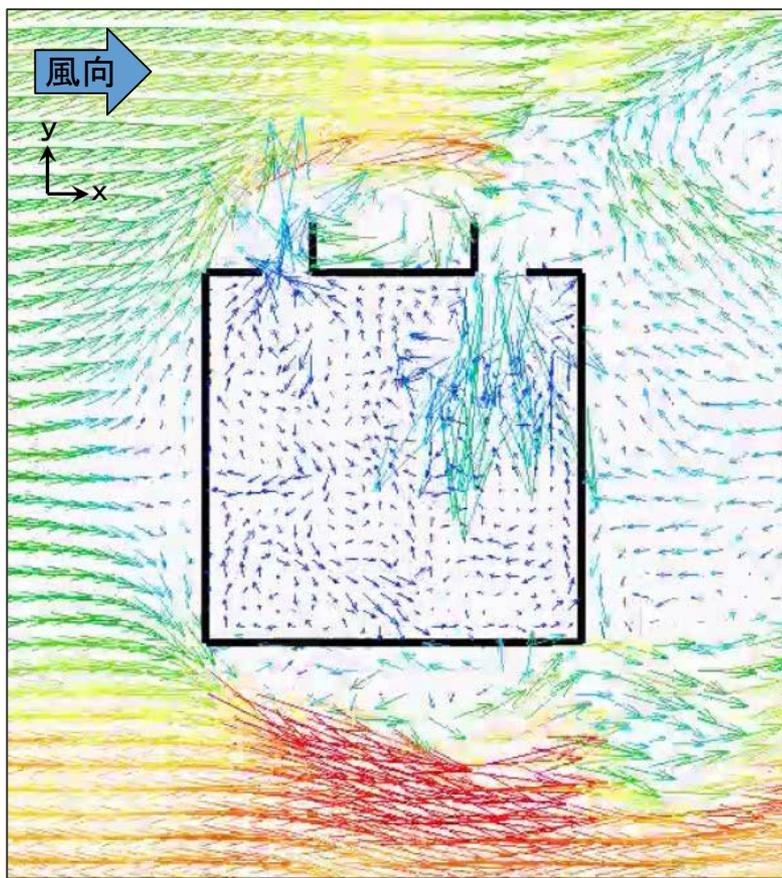
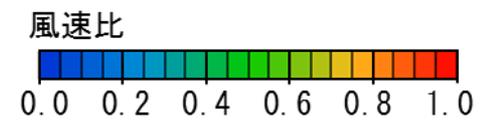
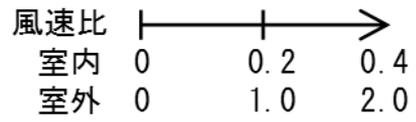
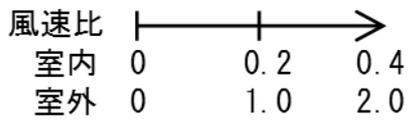


(vii) case3-1配置

図 1 単純住宅モデルの概要

解析結果：case3-1 (モデルC棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。

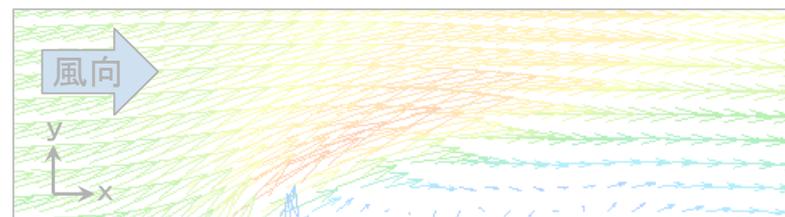
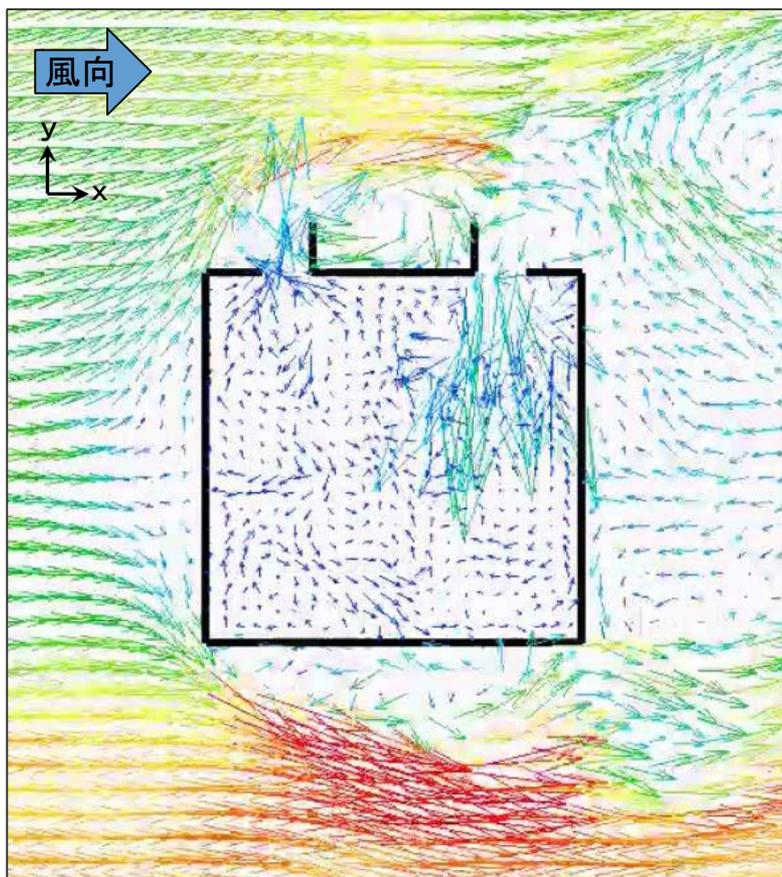
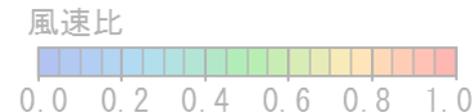
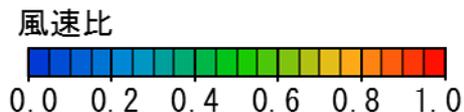
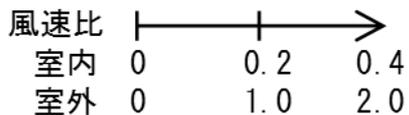


動画 case3-1の室内外瞬時風速比分布

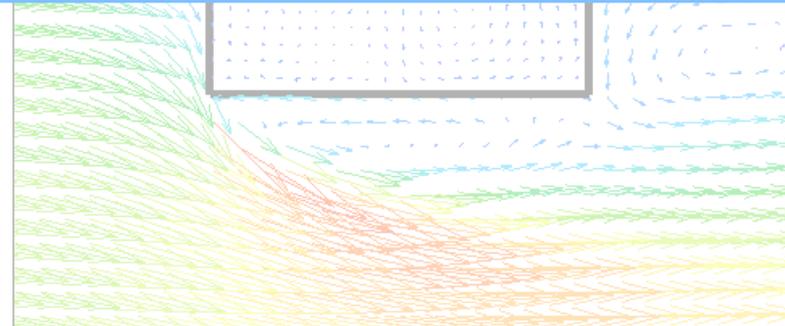
(b) 平均風速比分布
図10 case3-1の室内外風速比分布

解析結果：case3-1 (モデルC棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



断続的に風下側開口から気流が流入するが、**風上側開口から気流が流入するタイミングがある。**



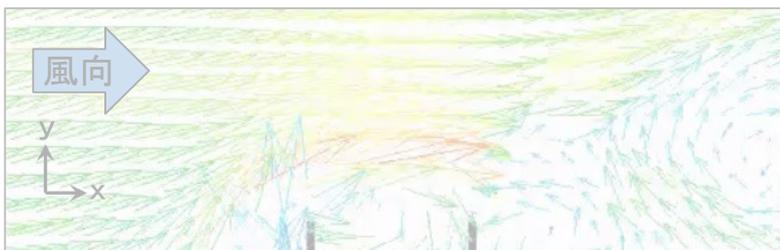
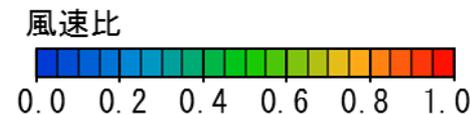
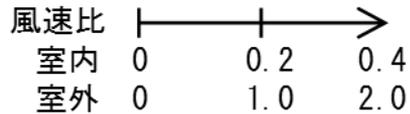
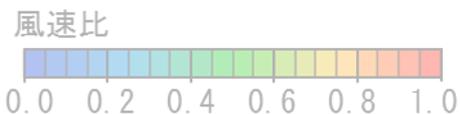
動画 case3-1の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図10 case3-1の室内外風速比分布

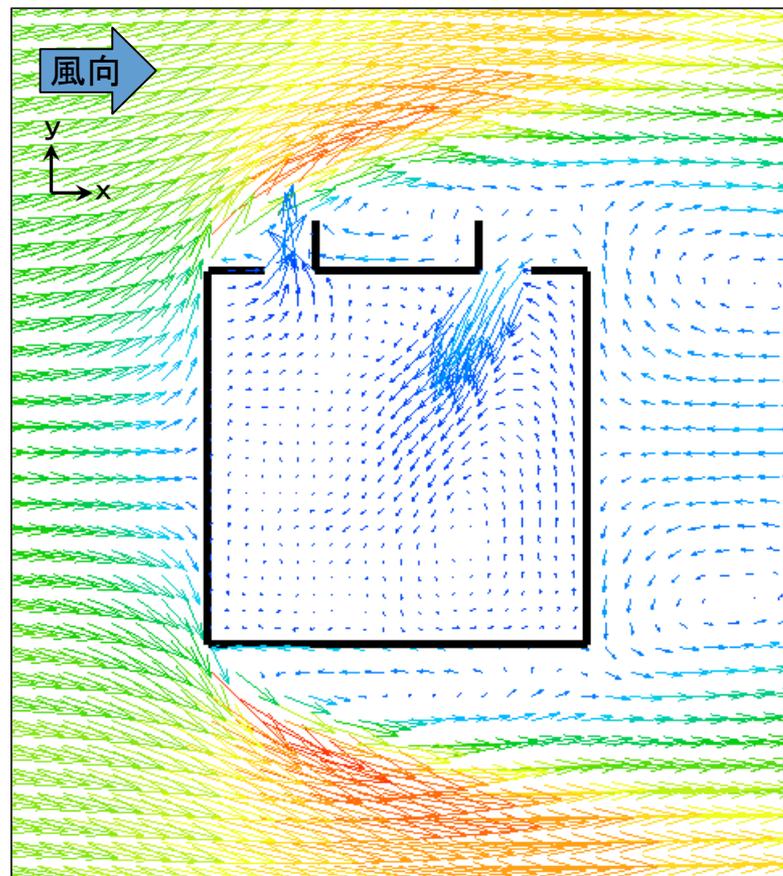
解析結果：case3-1 (モデルC棟、単体配置)

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



風下側開口から気流が風速0.2程度で室中央部に向かって流入する。

平均換気量は4.21 [m³/h]である。



動画 case3-1の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図10 case3-1の室内外風速比分布

表 1 解析case

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

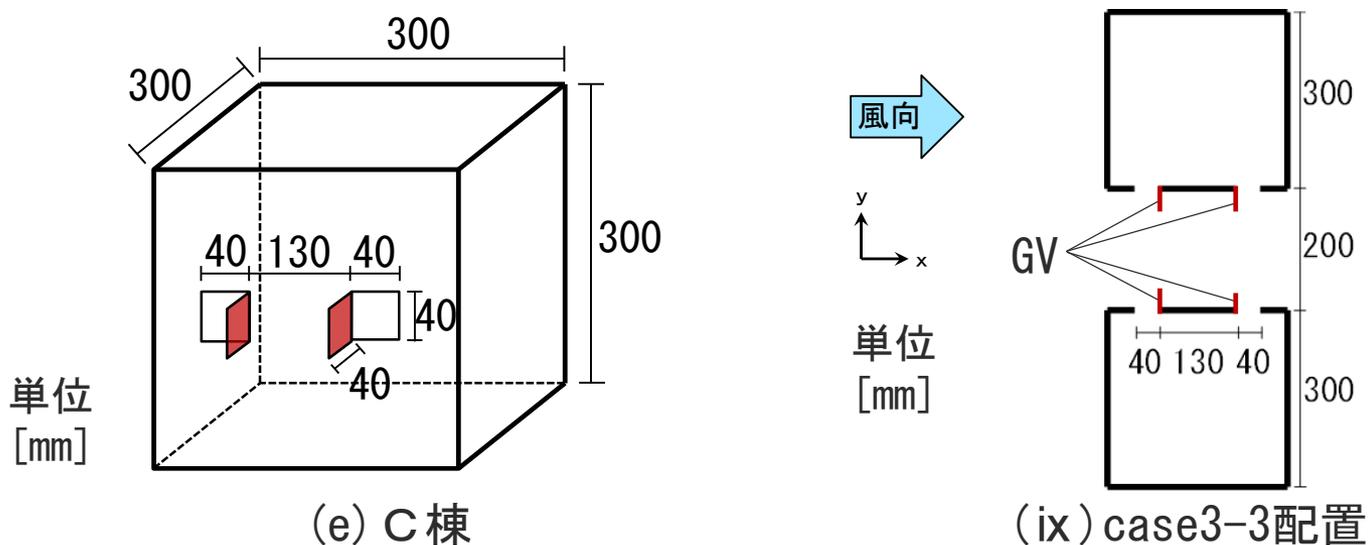
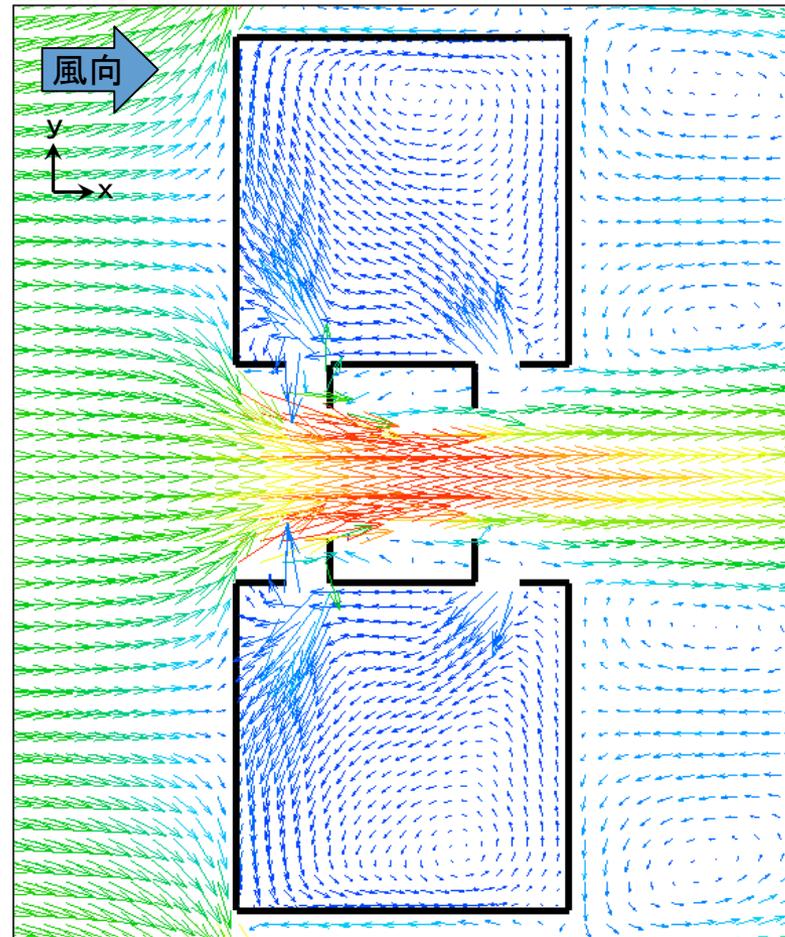
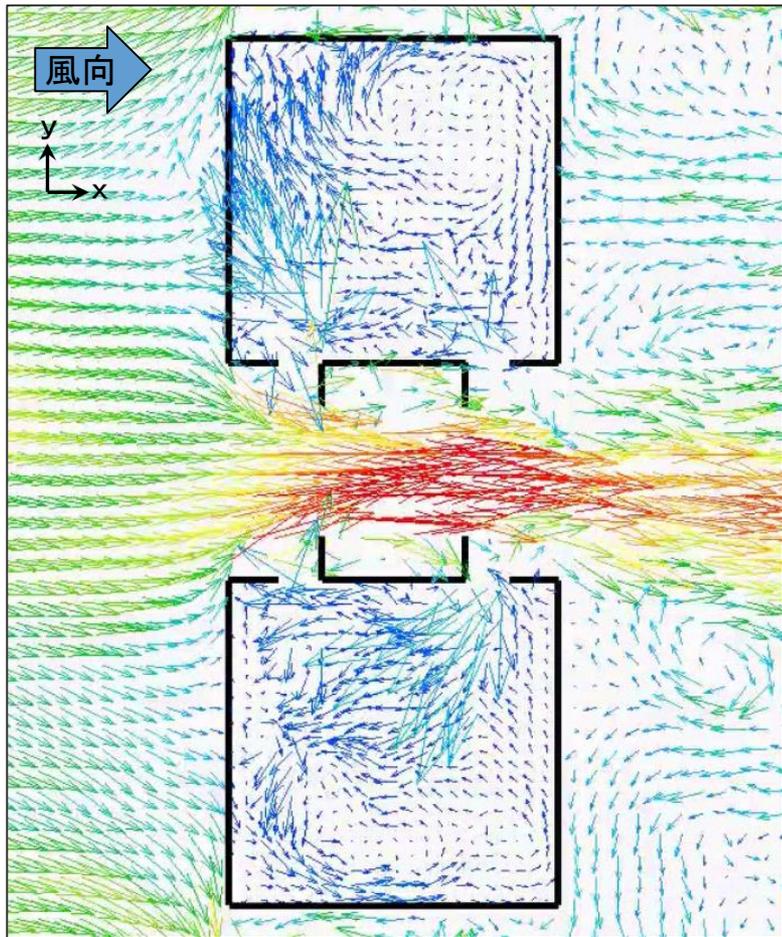
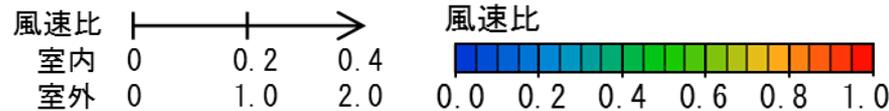
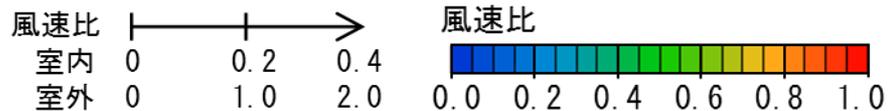


図 1 単純住宅モデルの概要

解析結果：case3-3(モデルC棟、隣棟間隔200[mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



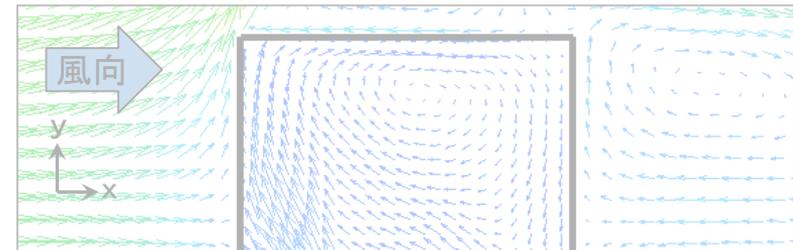
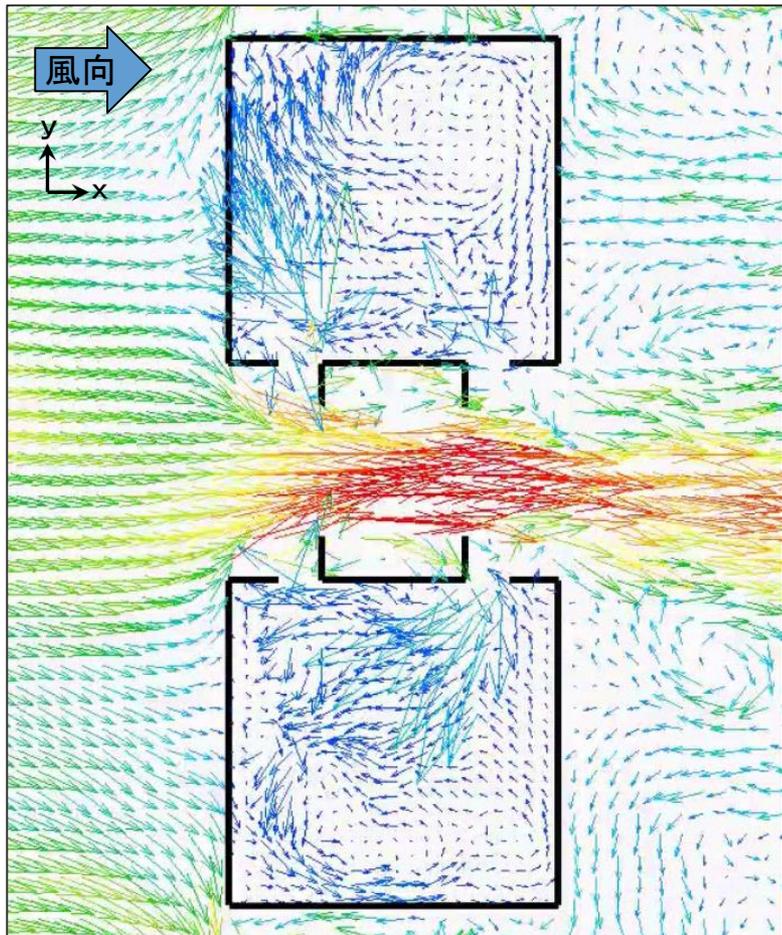
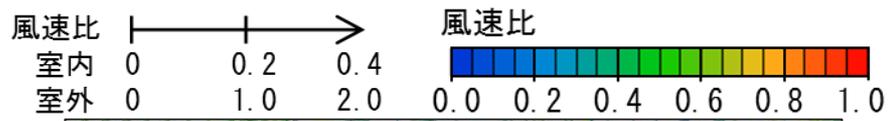
動画 case3-3の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

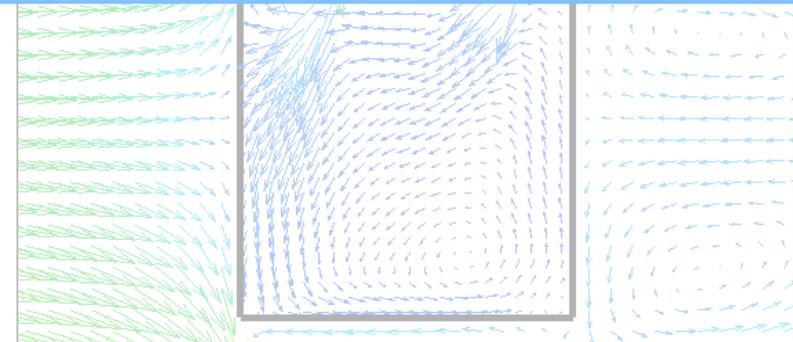
図12 case3-3の室内外風速比分布

解析結果：case3-3 (モデルC棟、隣棟間隔200 [mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。



風上側開口では気流の流入と流出が同一開口面で生じる。
 風下側開口では気流の流入出が交互に生じる。



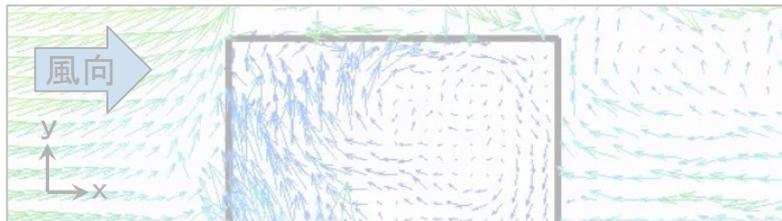
動画 case3-3の室内外瞬時風速比分布

(b) 平均風速比分布

図12 case3-3の室内外風速比分布

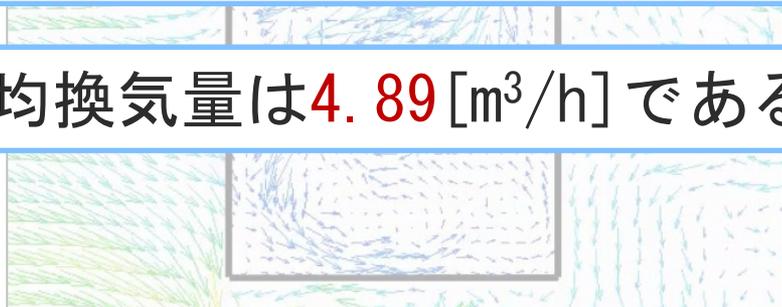
解析結果：case3-3(モデルC棟、隣棟間隔200[mm])

室内風速比は室外風速比の5倍として示す。

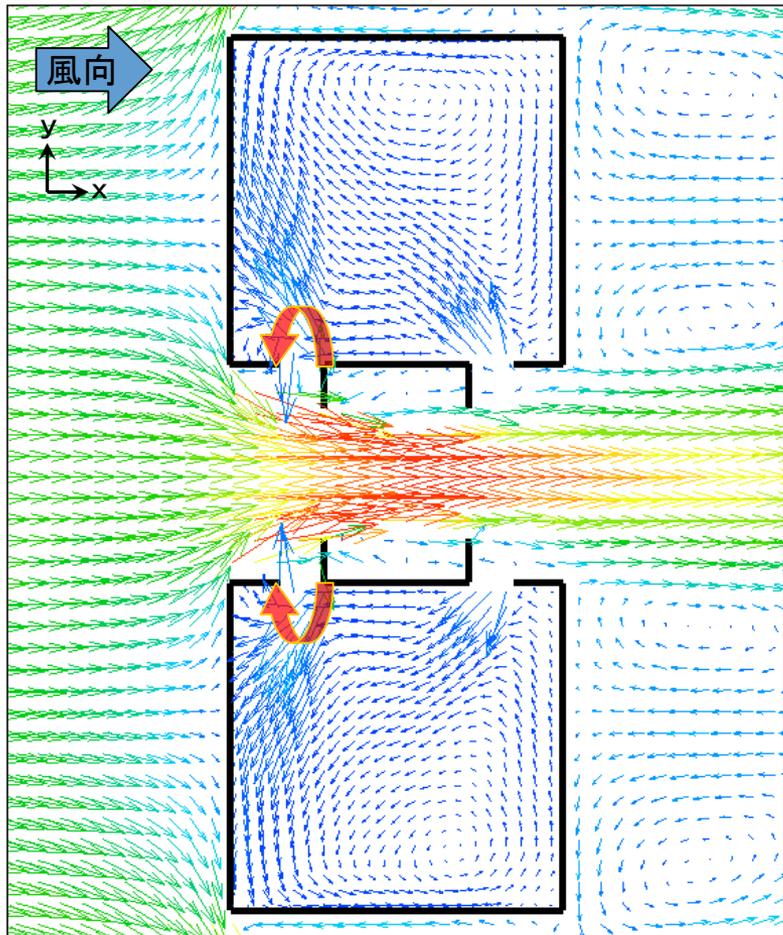


風上側、風下側の両開口から気流が室内に流入する。風上側開口付近では渦が形成されており気流の流入出が同一開口面で生じている。

平均換気量は4.89 [m³/h]である。



動画 case3-3の室内外瞬時風速比分布



(b) 平均風速比分布

図12 case3-3の室内外風速比分布

- 1 研究目的
- 2 数値流体解析の概要
- 3 数値流体解析結果
- 4 換気・通風性能評価手法の概要
- 5 換気・通風性能評価結果
- 6 まとめ

4.1 評価手法の概要



LES解析結果で示した平均換気量は**開口面における気流の流入出風速**により算出しているため、室内に流入した空気の**換気経路は考慮されていない**。

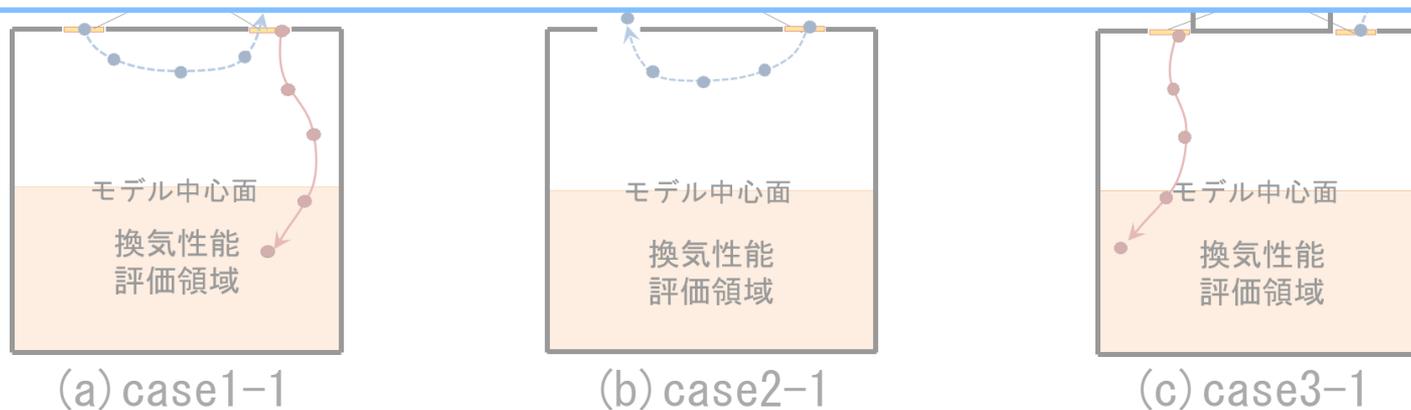


図13 風速変動を考慮した換気・通風性能評価手法

4.1 評価手法の概要

そこで、換気・通風性能評価手法では、新鮮空気の室内到達深度を念頭に、質量、大きさの無い粒子を開口面から放出し、気流に追従させる解析を行う。

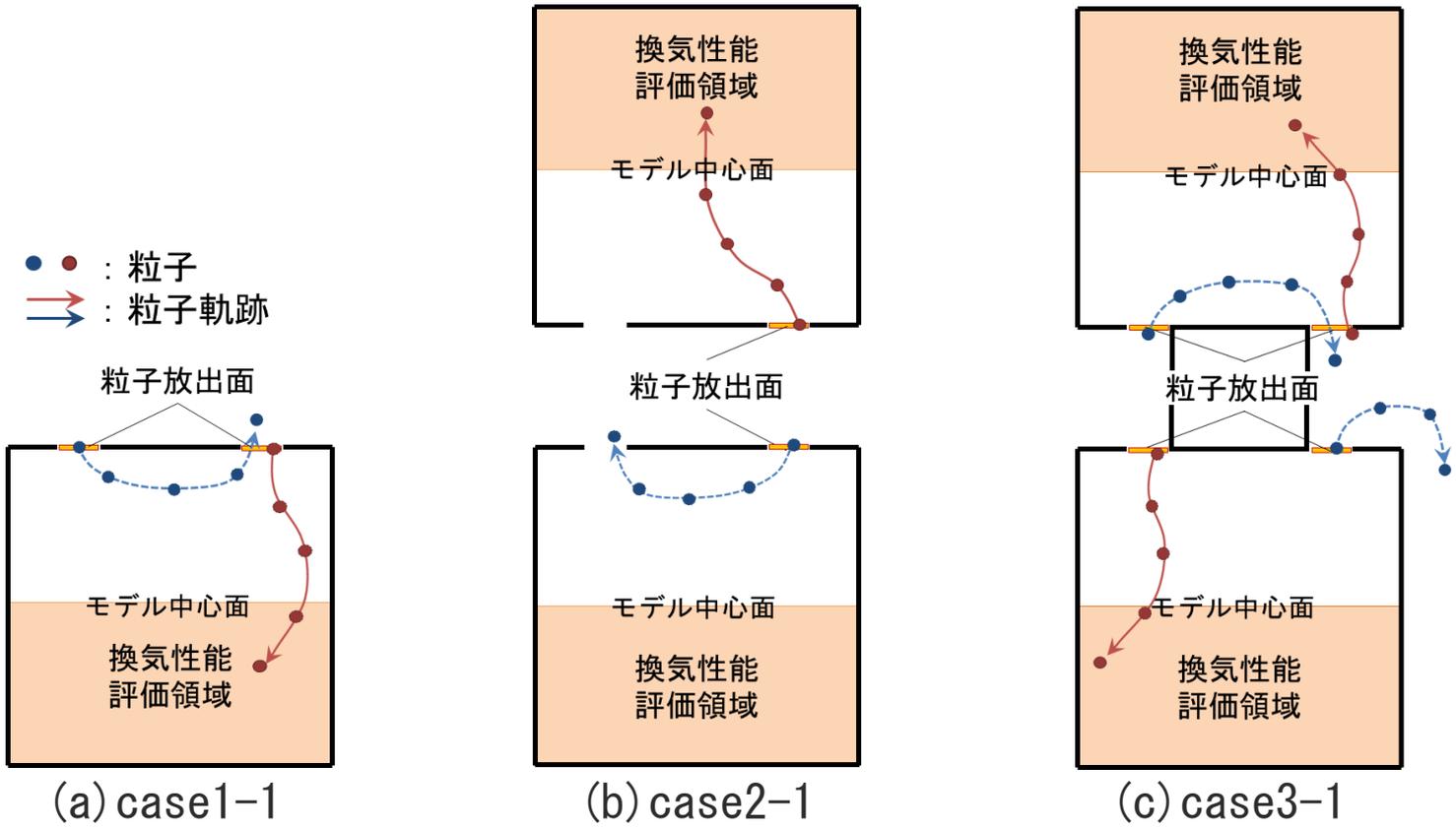


図13 風速変動を考慮した換気・通風性能評価手法

4.1 評価手法の概要

室内に流入した新鮮空気が居住域に到達せずに**ショートサーキット**する場合を考慮し、モデル中心面から開口を有する壁面と対向する壁面までを**換気性能評価領域**とする。

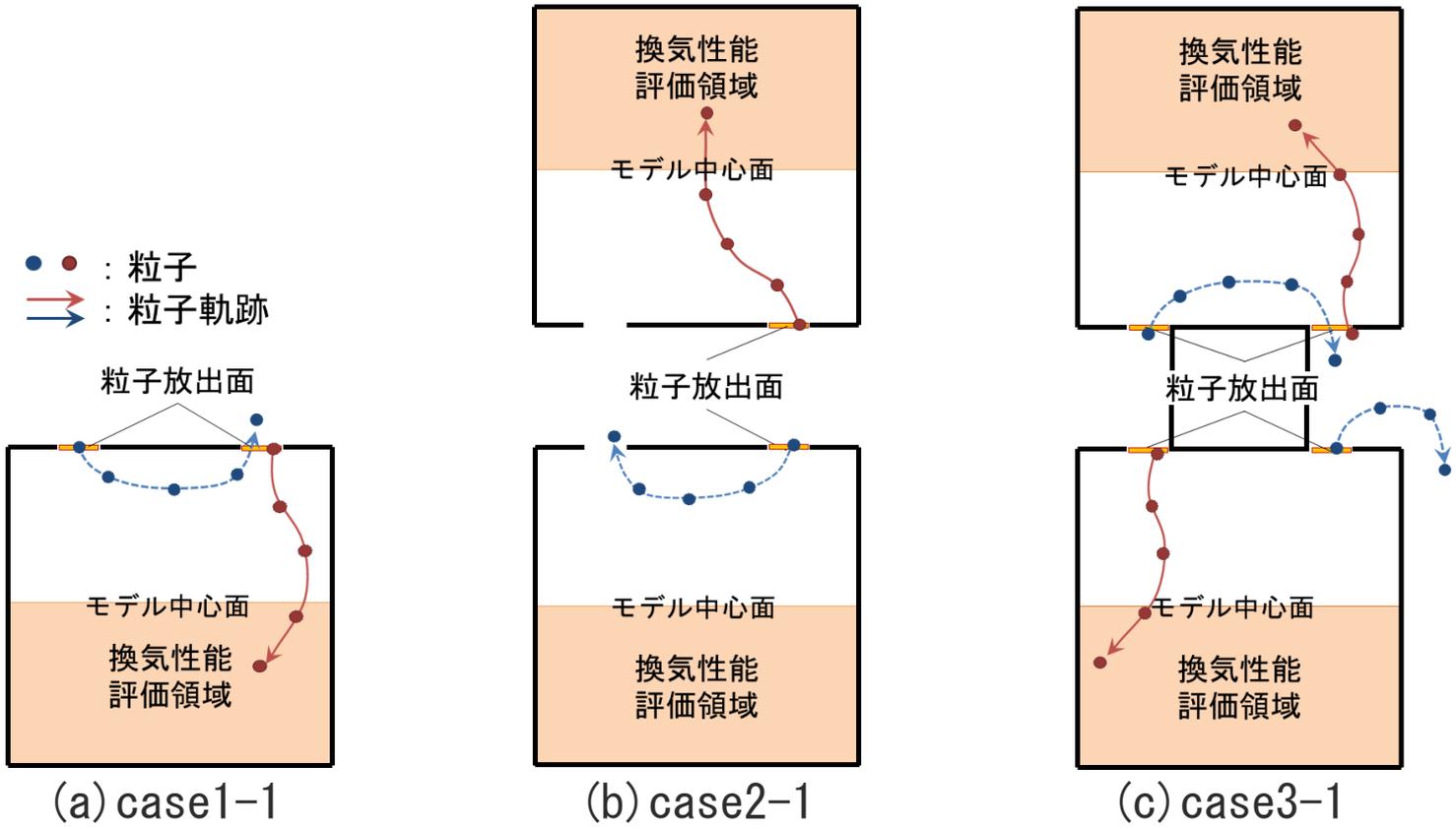


図13 風速変動を考慮した換気・通風性能評価手法

4.1 評価手法の概要

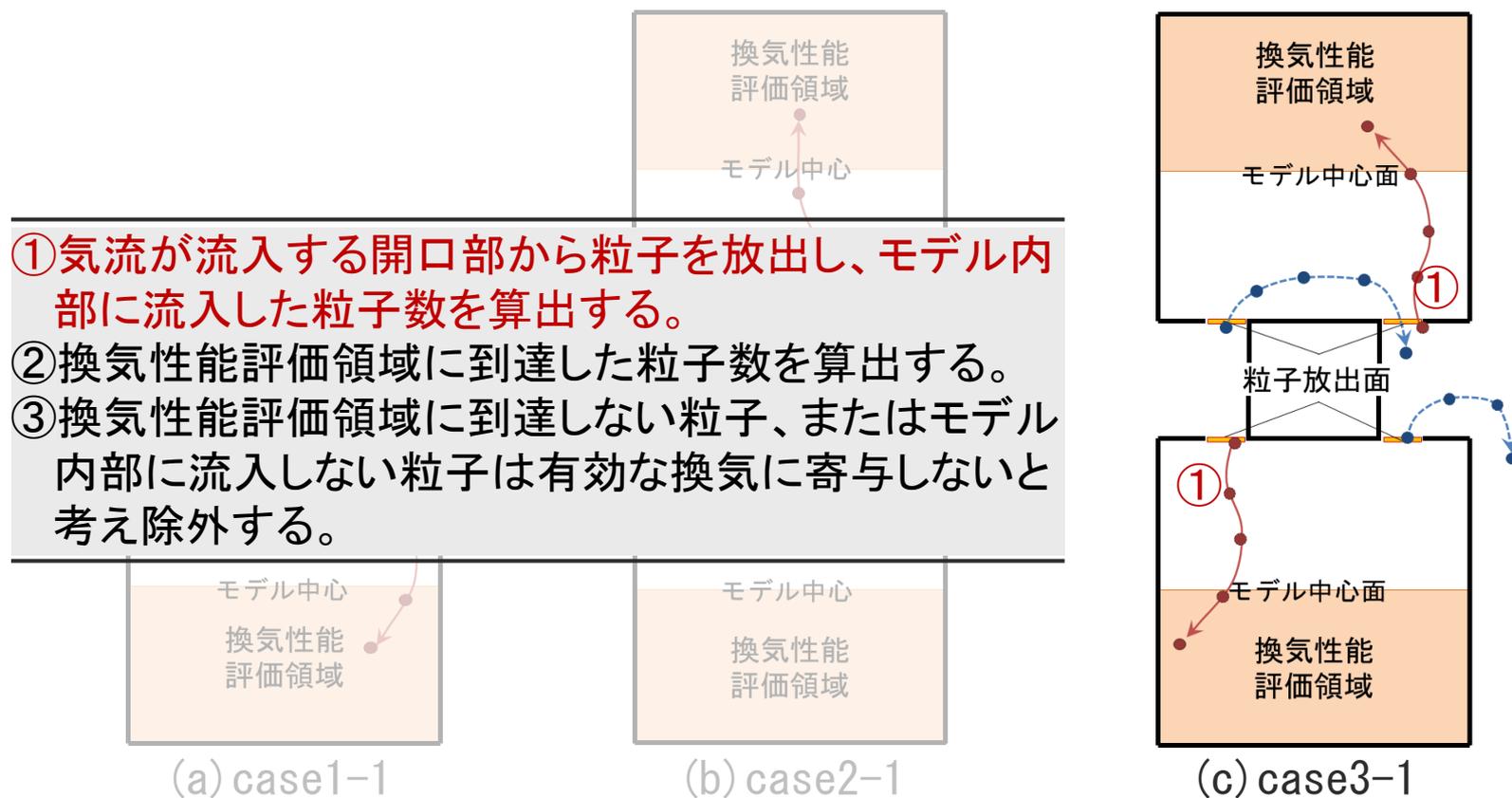


図13 風速変動を考慮した換気・通風性能評価手法

4.1 評価手法の概要

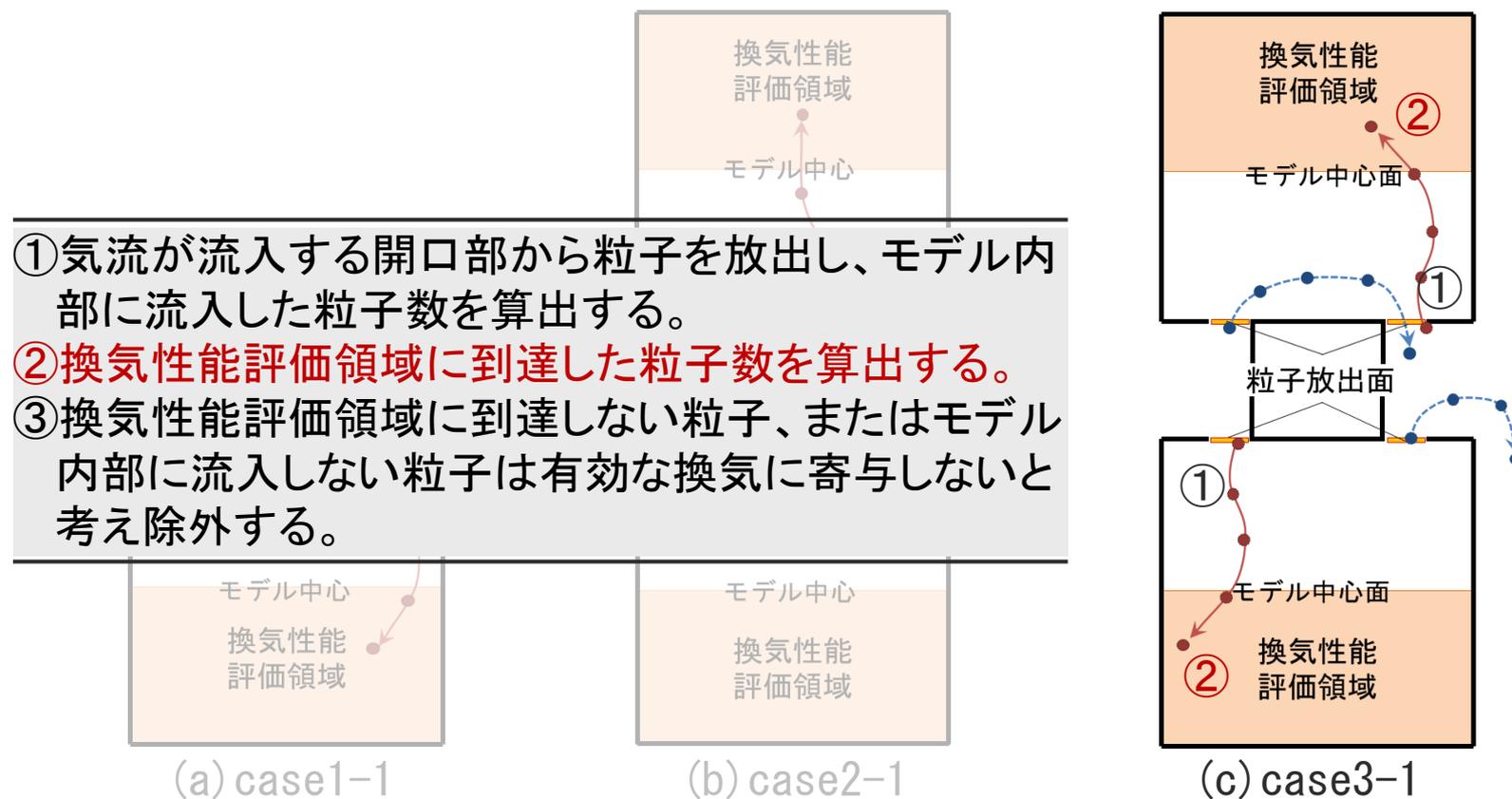


図13 風速変動を考慮した換気・通風性能評価手法

4.1 評価手法の概要

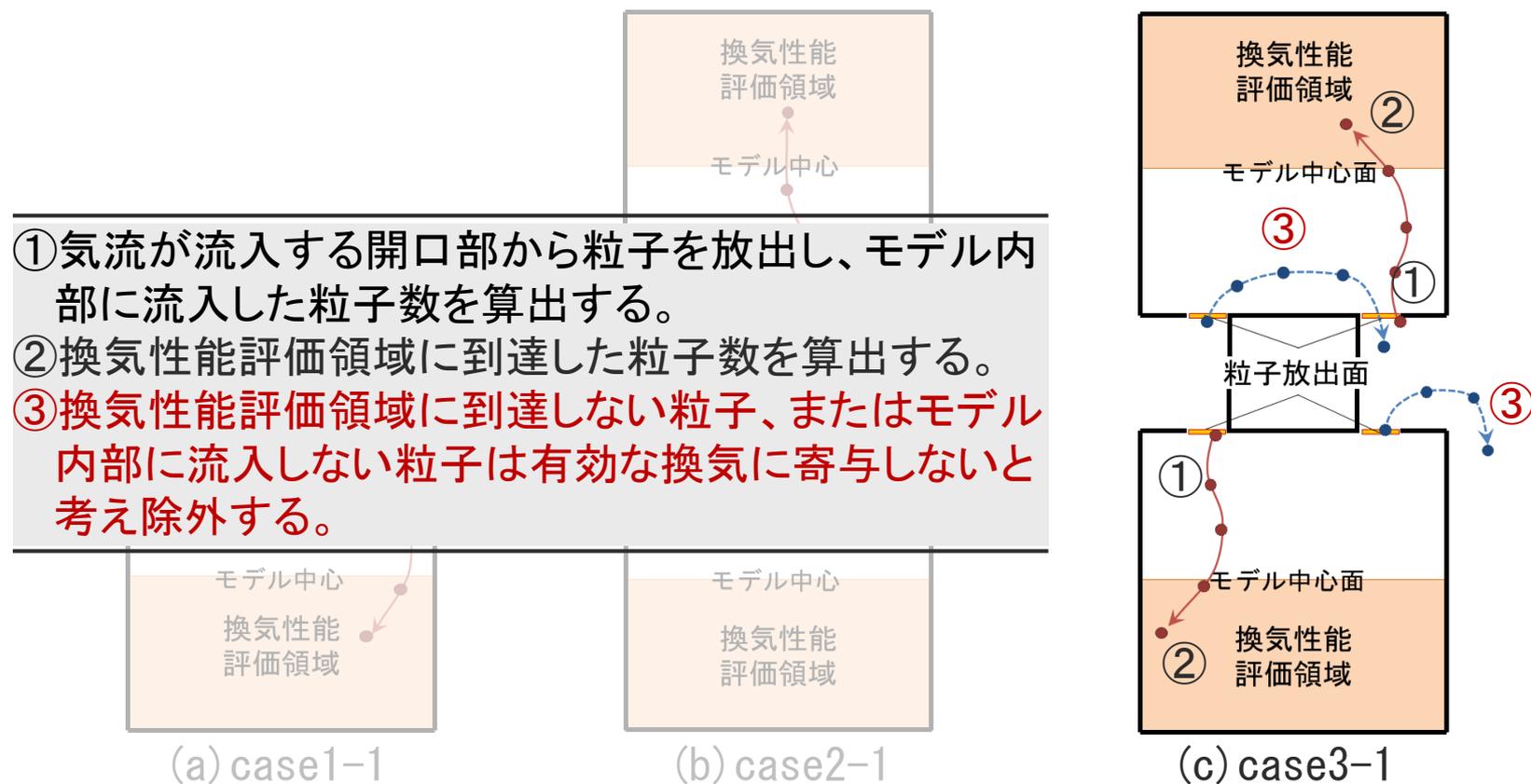


図13 風速変動を考慮した換気・通風性能評価手法

4.1 評価手法の概要

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し、室内に気流が流入する開口面とする。

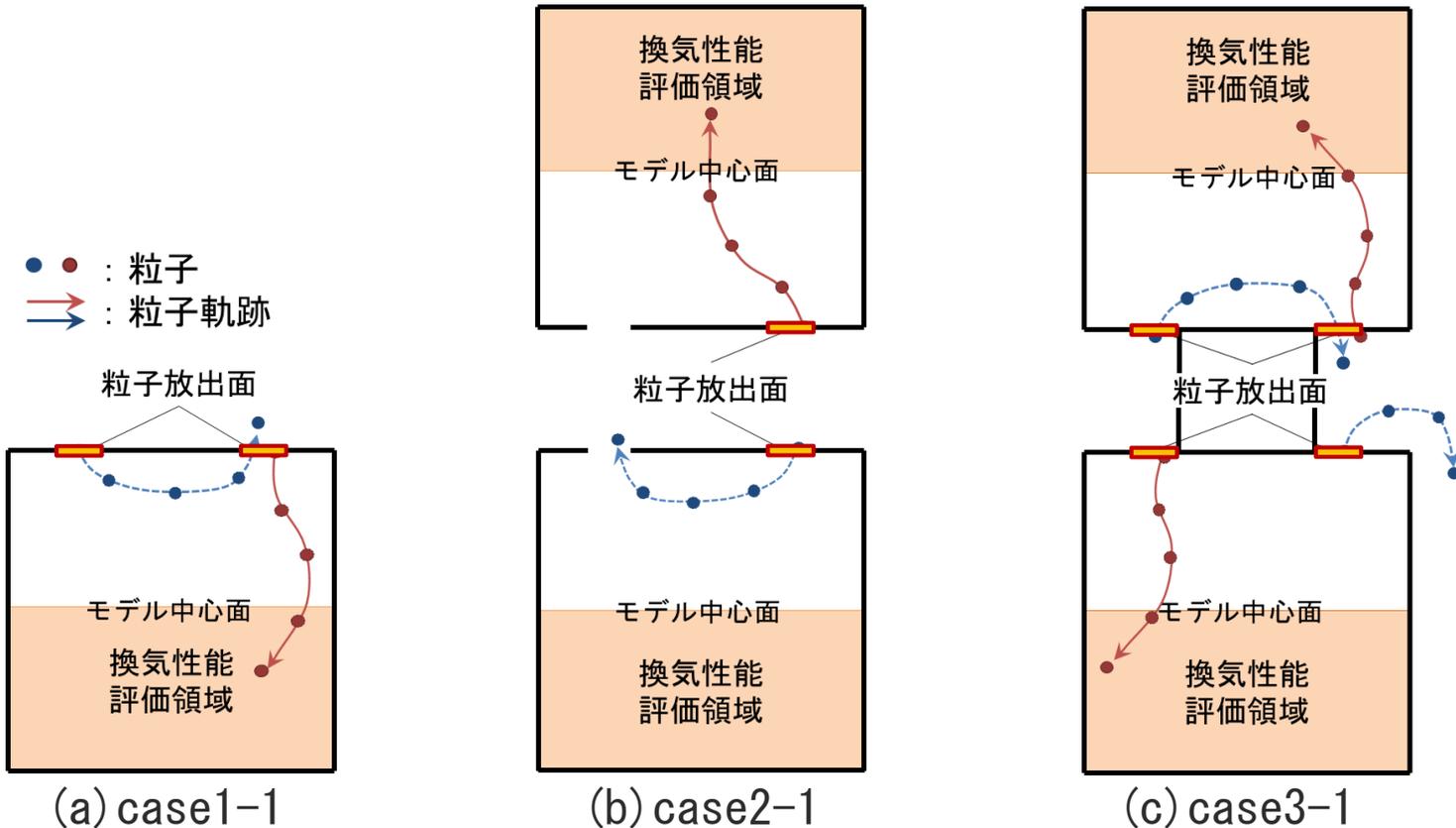


図13 風速変動を考慮した換気・通風性能評価手法

4.1 評価手法の概要

粒子放出間隔は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。

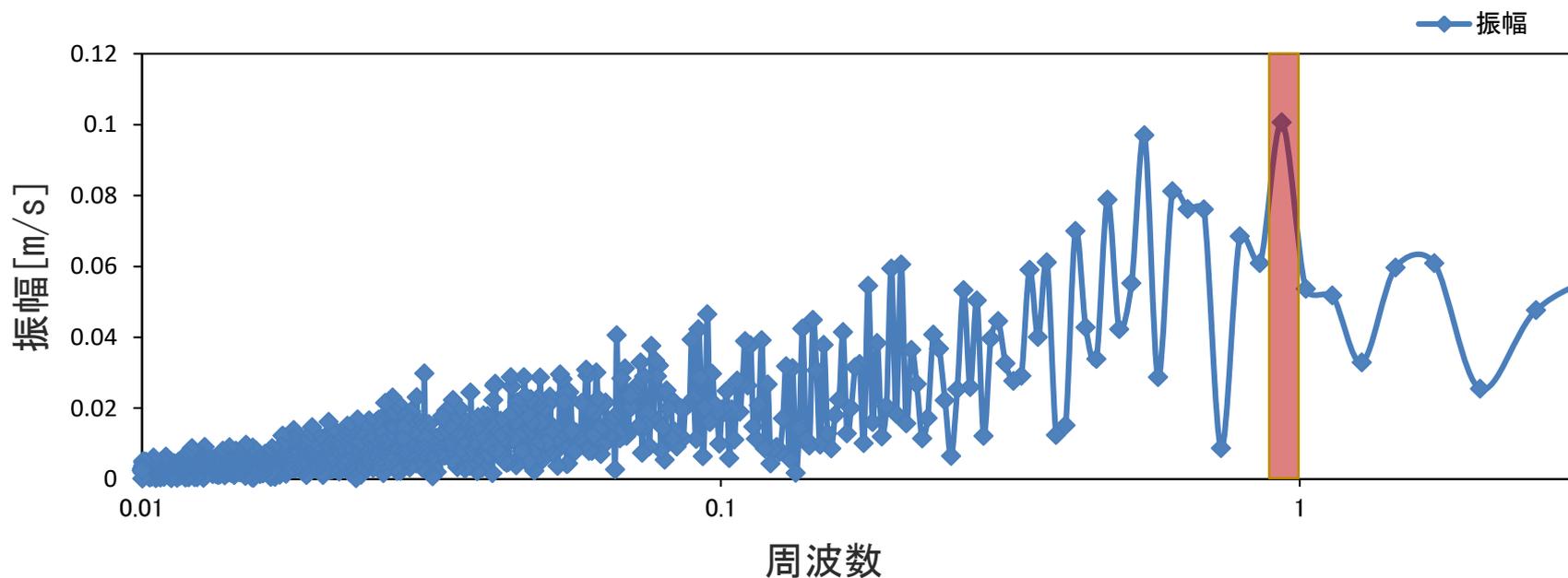


図 スペクトル解析

4.3 有効換気量比の算出方法

まず、開口部から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**とする。

表3 有効換気量比の算出方法

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

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

$$r = Q/Q_o [-] \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

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

i : 到達率[%]

n_r : 到達粒子数[個]

n_{in} : 流入粒子数[個]

Q_e : 有効換気量[m³/h]

Q : 平均換気量[m³/h]

r : 平均換気量比[-]

Q_o : case1-1の平均換気量[m³/h]

r_e : 有効換気量比[-]

Q_{eo} : case1-1の有効換気量[m³/h]

4.3 有効換気量比の算出方法

次に、流入粒子が十分に居住域に到達せずにショートサーキットする場合を考慮し、**換気性能評価領域まで到達した粒子数を到達粒子数とする。**

表3 有効換気量比の算出方法

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

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

$$r = Q/Q_o [-] \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

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

i : 到達率[%]

n_r : 到達粒子数[個]

n_{in} : 流入粒子数[個]

Q_e : 有効換気量[m³/h]

Q : 平均換気量[m³/h]

r : 平均換気量比[-]

Q_o : case1-1の平均換気量[m³/h]

r_e : 有効換気量比[-]

Q_{eo} : case1-1の有効換気量[m³/h]

4.3 有効換気量比の算出方法

室内への流入粒子数 (n_{in}) と換気性能評価領域への到達粒子数 (n_r) から式(1)より到達率 (i) を算出する。

表3 有効換気量比の算出方法

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

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

$$r = Q/Q_o [-] \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

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

i : 到達率[%]

n_r : 到達粒子数[個]

n_{in} : 流入粒子数[個]

Q_e : 有効換気量 [m^3/h]

Q : 平均換気量 [m^3/h]

r : 平均換気量比 [-]

Q_o : case1-1の平均換気量 [m^3/h]

r_e : 有効換気量比 [-]

Q_{eo} : case1-1の有効換気量 [m^3/h]

4.3 有効換気量比の算出方法

LES解析結果で算出した各caseの粒子放出タイミング毎の平均換気量(Q)と到達率(i)から式(2)より**有効換気量(Qe)**を算出する。

表3 有効換気量比の算出方法

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

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

$$r = Q/Q_o [-] \quad \dots (3)$$

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

i : 到達率[%]

n_r : 到達粒子数[個]

n_{in} : 流入粒子数[個]

Qe : 有効換気量[m³/h]

Q : 平均換気量[m³/h]

r : 平均換気量比[-]

Q_o : case1-1の平均換気量[m³/h]

r_e : 有効換気量比[-]

Q_{eo} : case1-1の有効換気量[m³/h]

4.3 有効換気量比の算出方法

case1-1の有効換気量を Q_{e0} として、各caseの基準化を行い、式(4)より有効換気量比(re)を算出する。

表3 有効換気量比の算出方法

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

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

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

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

i : 到達率[%]

n_r : 到達粒子数[個]

n_{in} : 流入粒子数[個]

Q_e : 有効換気量[m³/h]

Q : 平均換気量[m³/h]

r : 平均換気量比[-]

Q_0 : case1-1の平均換気量[m³/h]

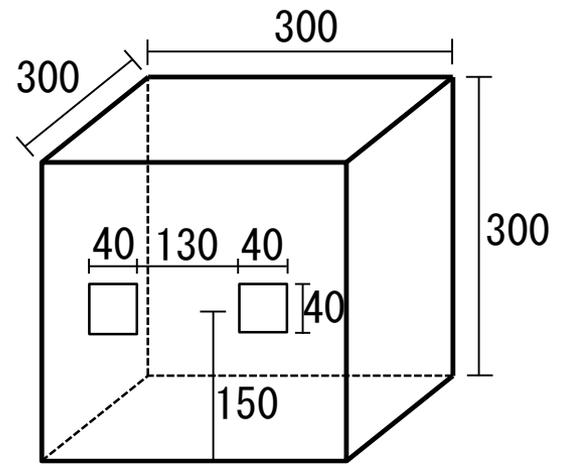
re : 有効換気量比[-]

Q_{e0} : case1-1の有効換気量[m³/h]

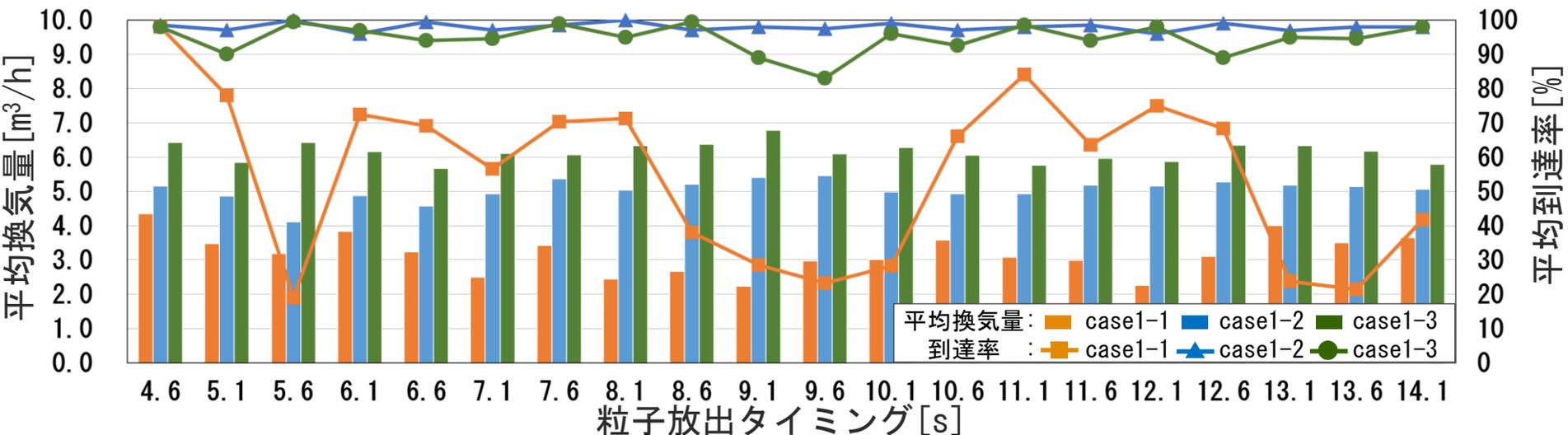
- 1 研究目的
- 2 数値流体解析の概要
- 3 数値流体解析結果
- 4 換気・通風性能評価手法の概要
- 5 換気・通風性能評価結果
- 6 まとめ

5.1 case1 (GVを設置しない場合：A棟)

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



(a) A棟

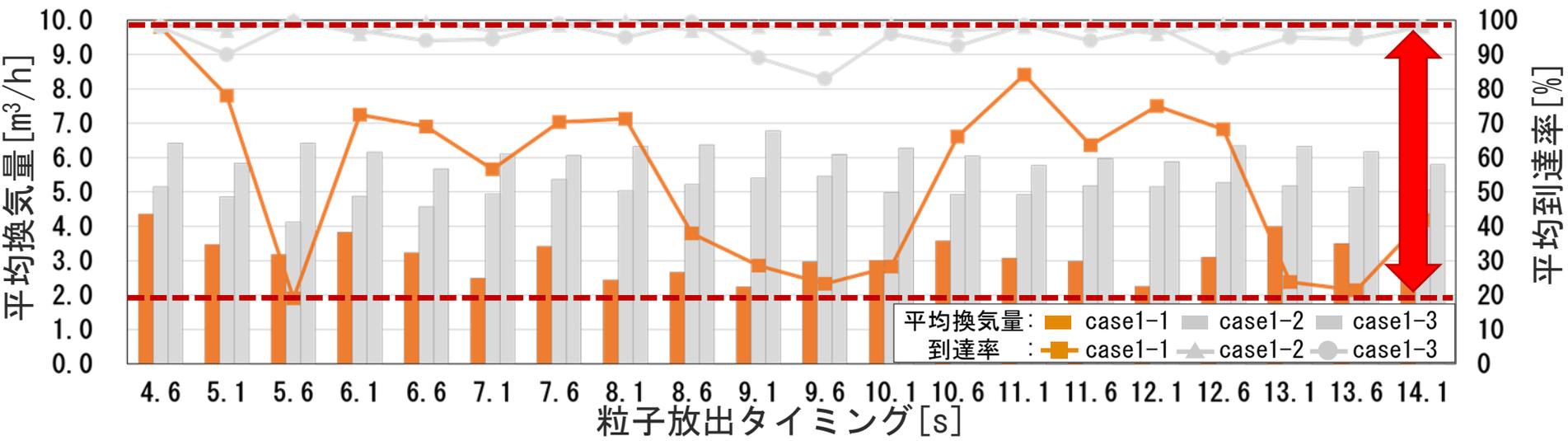


(a) case1

図14 粒子放出タイミング毎の平均換気量と到達率の推移

5.1 case1 (GVを設置しない場合：A棟、単体配置)

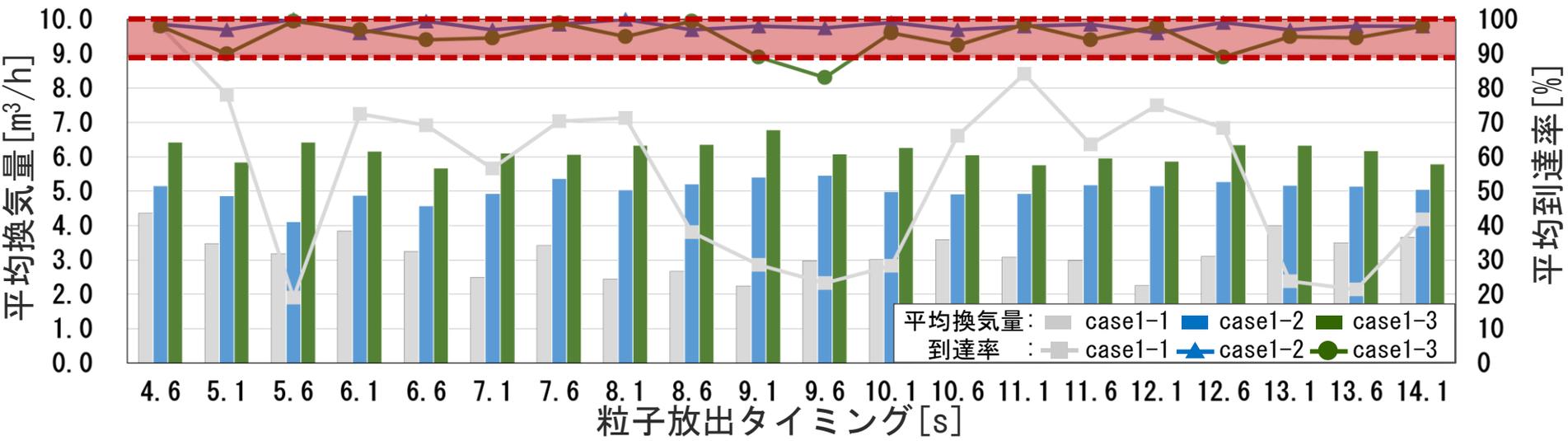
単体で配置した場合、風上側・風下側開口で気流の流入出が変動する。粒子放出のタイミングによって到達率が19～98[%]と大きく変動する。



(a) case1
 図14 粒子放出タイミング毎の平均換気量と到達率の推移

5.1 case1 (GVを設置しない場合：A棟、2棟隣接配置)

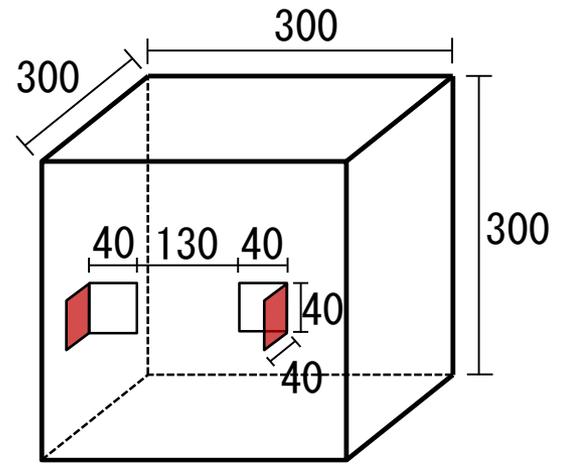
2棟隣接して配置した場合は隣棟間に気流の縮流が生じ、開口付近の風向が安定するため、到達率が定常的に90[%]を超える。



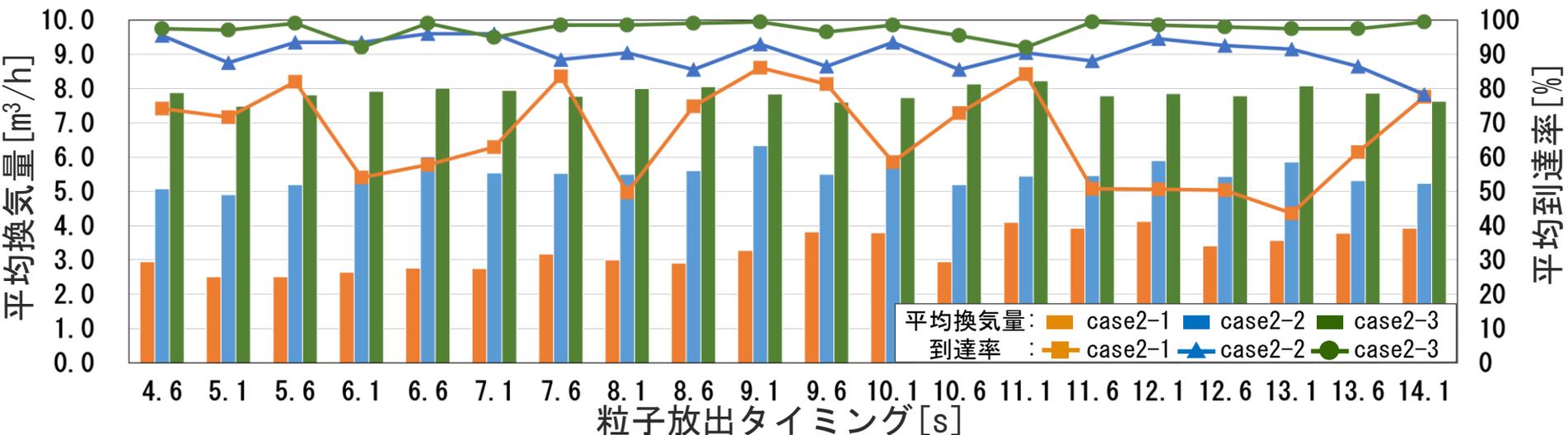
(a) case1
 図14 粒子放出タイミング毎の平均換気量と到達率の推移

5.2 case2 (GVを設置する場合：B棟)

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



(c) B棟

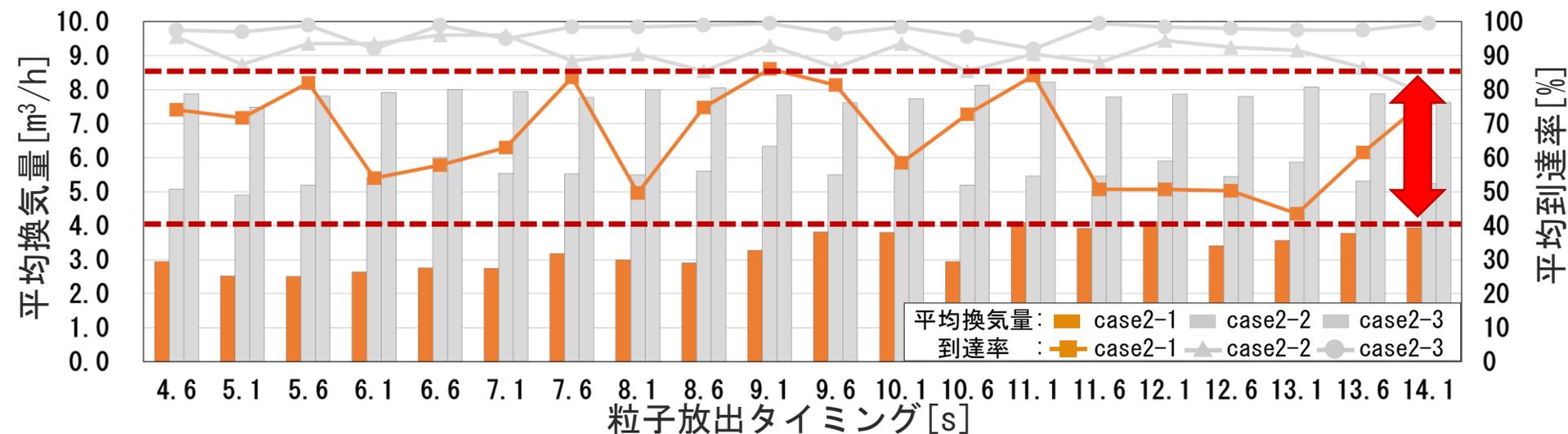


(a) case1

図14 粒子放出タイミング毎の平均換気量と到達率の推移

5.2 case2 (GVを設置する場合：B棟、単体配置)

case1-1と同様に、単体で配置した場合、建物隅角部の気流の剥離の影響で風上側・風下側開口で気流の流入出が時間的に変動するため、粒子放出タイミングによって到達率は44%～86[%]と変動する。

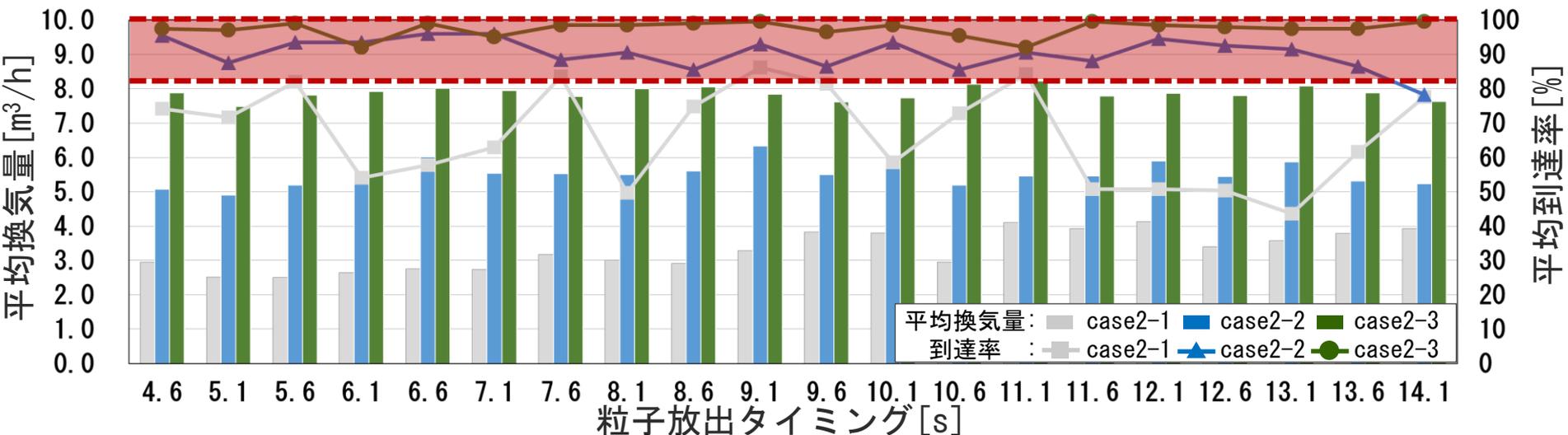


(a) case1

図14 粒子放出タイミング毎の平均換気量と到達率の推移

5.2 case2 (GVを設置する場合：B棟、2棟隣接配置)

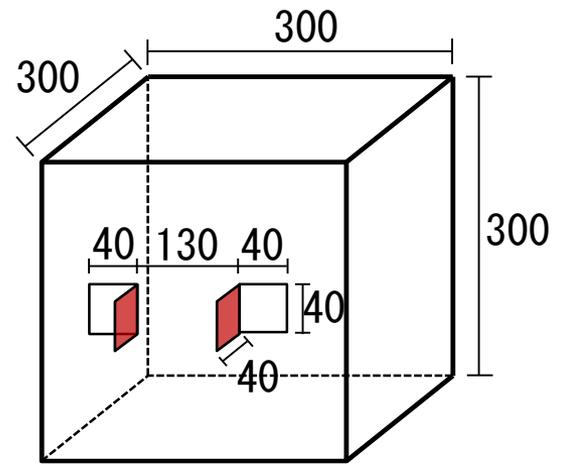
2棟隣接して配置した場合、粒子放出タイミング毎の到達率は定常的にcase2-2で80[%]、case2-3で90[%]を超える。



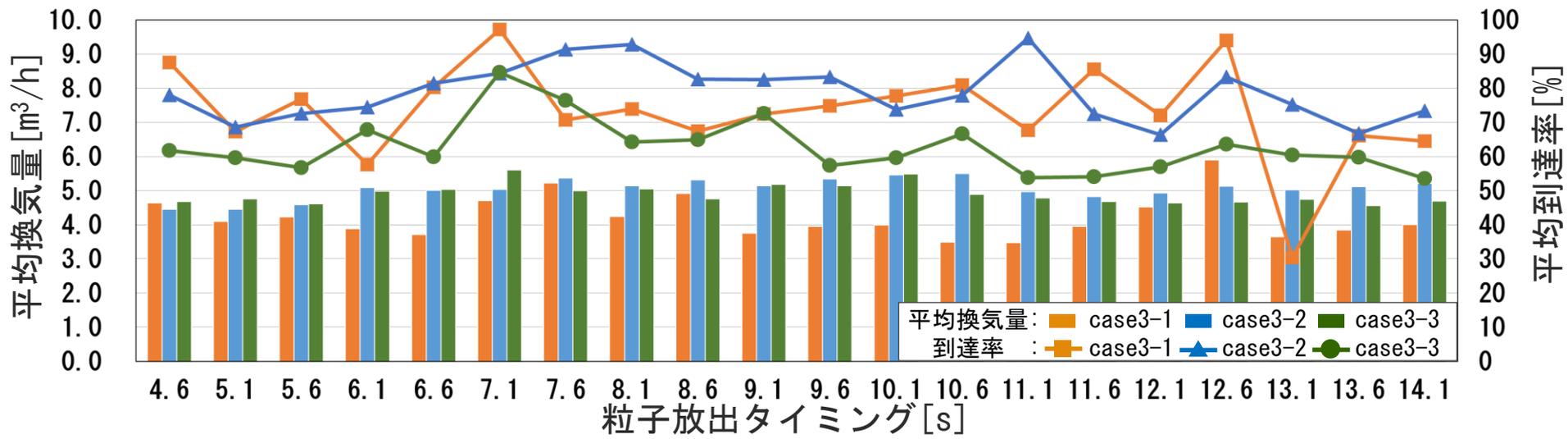
(a) case1
 図14 粒子放出タイミング毎の平均換気量と到達率の推移

5.3 case3 (GVを設置する場合：C棟)

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



(e) C棟

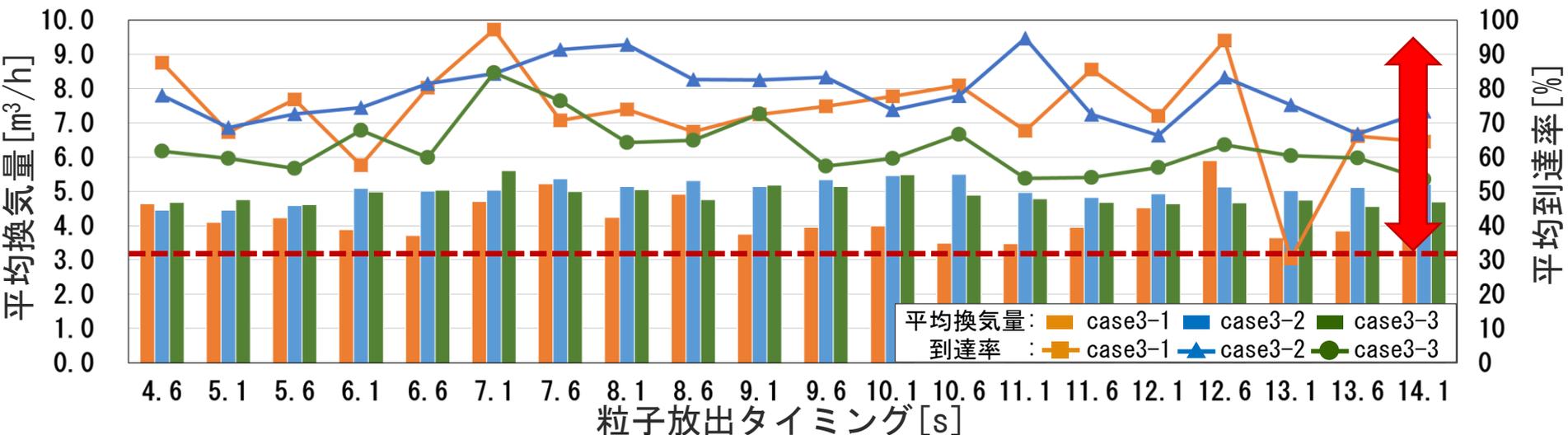


(a) case1

図14 粒子放出タイミング毎の平均換気量と到達率の推移

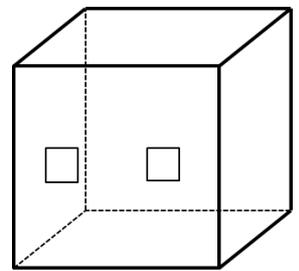
5.3 case3 (GVを設置する場合：C棟)

各caseで、風上・風下側の開口で流入出開口が時間的に変化するため室内の気流性状が複雑になり、**粒子放出タイミング毎の到達率が大きく変動する。**

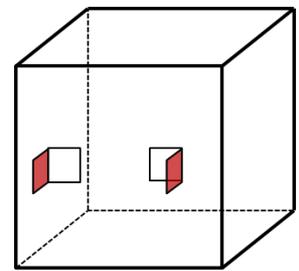


(a) case1
 図14 粒子放出タイミング毎の平均換気量と到達率の推移

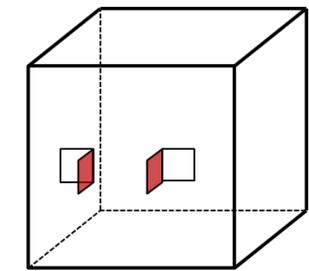
5.4 各caseのまとめ



(i) A棟



(ii) B棟



(iii) C棟

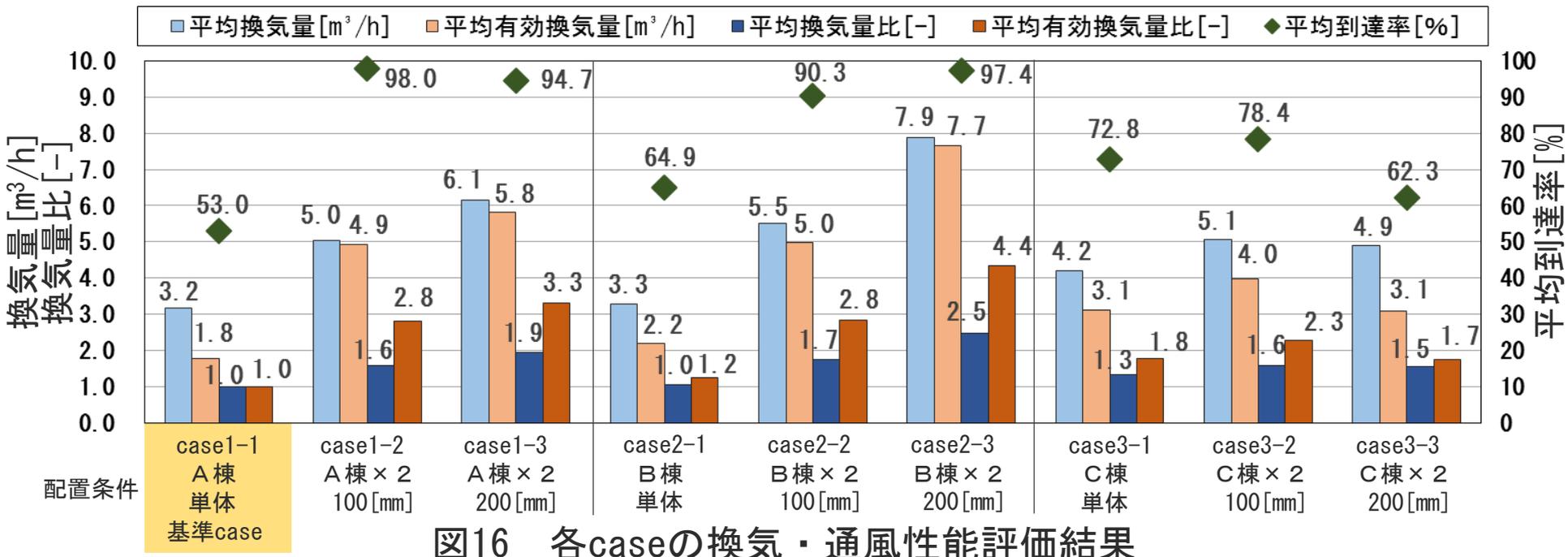


図16 各caseの換気・通風性能評価結果

5.4 各caseのまとめ

各caseにおいて単体で配置した場合は、**風上・風下側開口で気流の流入出が時間的に変化する。**

平均到達率がcase1-1で53.0[%]、case2-1で64.9[%]、case3-1で72.8[%]となり、流入した気流が**室内に十分に拡散せず**にショートサーキットを形成する。

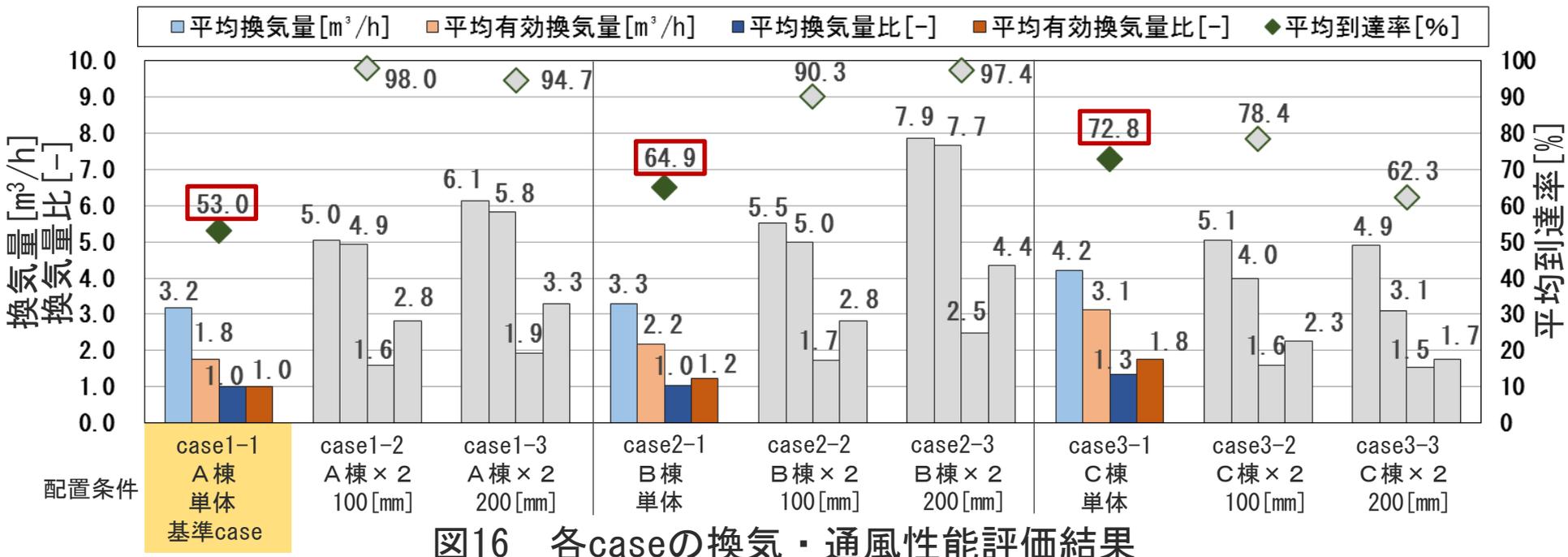


図16 各caseの換気・通風性能評価結果

5.4 各caseのまとめ

case1、case2の住宅モデルでは2棟隣接して配置した場合、風上・風下側開口で気流の流入出が時間的に変化せず定常的に室内を大きく循環する気流場が形成される。

そのため、平均到達率が90[%]を超える。さらに、隣棟間隔を広げることで換気性能が向上した。

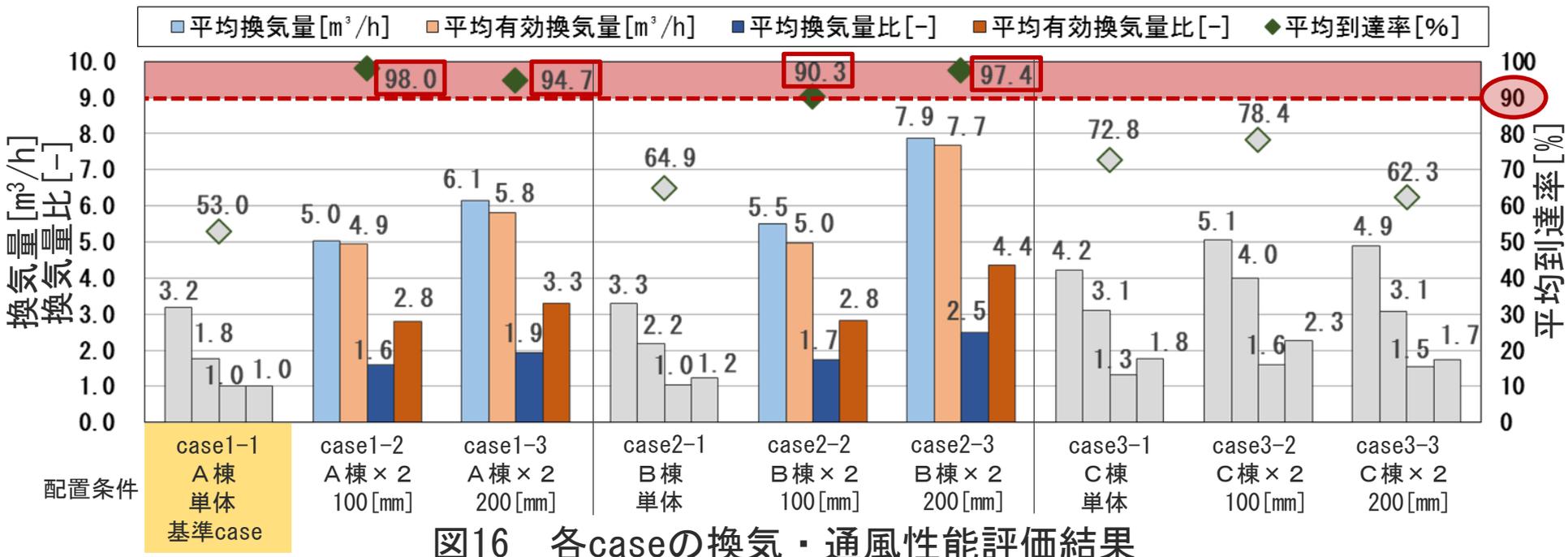


図16 各caseの換気・通風性能評価結果

5.4 各caseのまとめ

case2-3が最も平均有効換気量比が高く、case1-1に比較して約4.4倍の有効換気量を得られる。

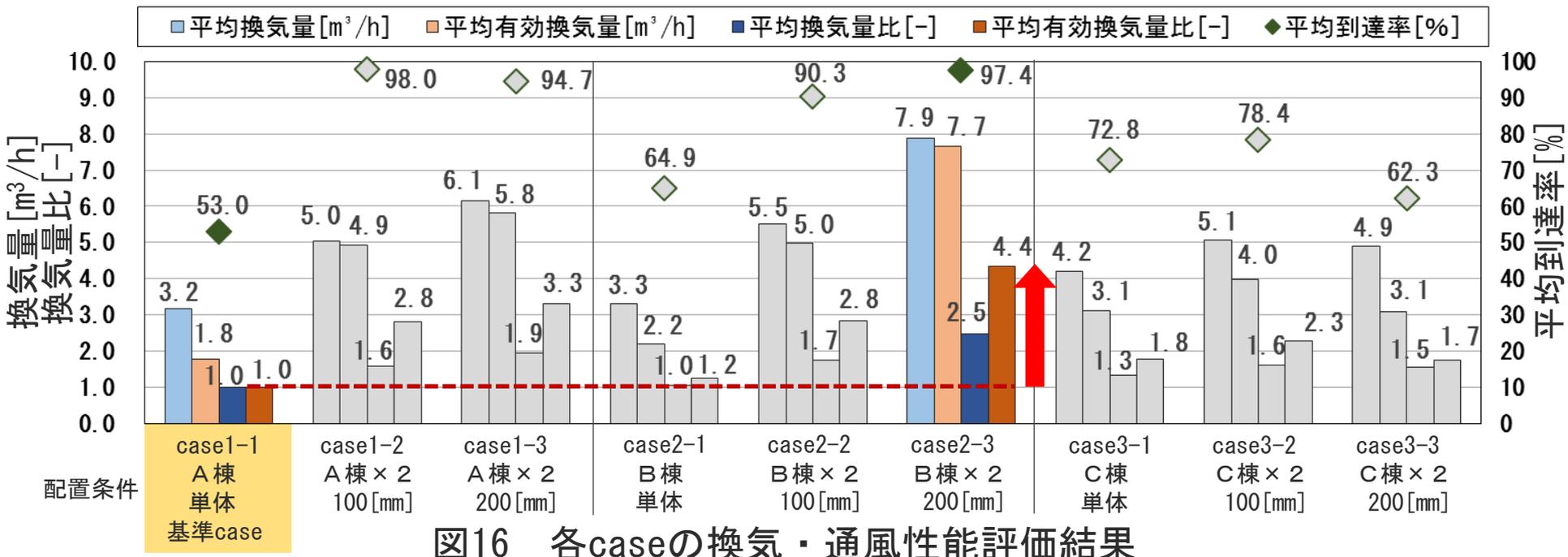


図16 各caseの換気・通風性能評価結果

5.4 各caseのまとめ

2棟隣接して配置した場合、case3のGV設置位置ではcase1、case2に比較して平均有効換気量比が低く、GVが換気を阻害している。

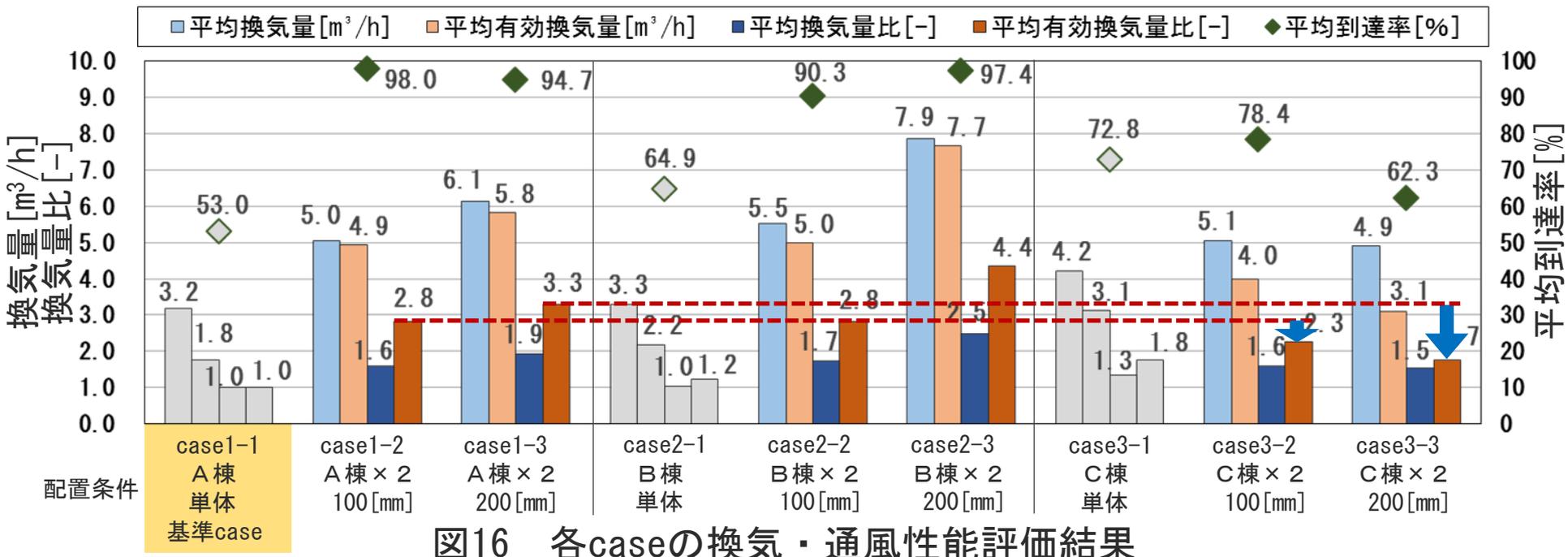


図16 各caseの換気・通風性能評価結果

- 1 研究目的
- 2 数値流体解析の概要
- 3 数値流体解析結果
- 4 換気・通風性能評価手法の概要
- 5 換気・通風性能評価結果
- 6 **まとめ**

まとめ

- ①住宅モデルを単体で配置した場合、建物外壁の隅角部で気流の剥離が生じるため、開口付近で複雑な気流場となり風上・風下側開口で流入出開口が時間的に変化する。
- ②case1では、単体で配置した場合(case1-1)、平均到達率が53.0[%]となり、流入風量の約半分がショートサーキットを形成する。また、粒子タイミング毎の到達率が19~98[%]と大きく変動する。2棟隣接して配置した場合、流入した気流は室内に大きな循環気流を形成するため、到達率は定常的に90[%]を超える。隣接配置することで、換気性能が向上する。
- ③case2では、単体で配置した場合(case2-1)、平均到達率が65.0[%]となる。2棟隣接して配置した場合、流入した気流は室内に大きな循環気流を形成するため粒子到達率は定常的に80[%]を超える。隣接配置することで、換気性能が向上する。
- ④case3では、2棟隣接して配置した場合、風上側開口付近で渦が形成され、同一開口面で気流の流入出が生じる。他のcaseに比較して、配置条件による有効換気量比の差は小さい。風上・風下側の開口で流入出開口が時間的に変化するため、室内の気流性状が複雑になり、粒子放出タイミング毎の有効換気量比が大きく変動する。
- ⑤単体で配置した場合はcase3-1が、2棟隣接して配置した場合はcase2-3が最も平均有効換気量比が高い。case2-3はcase1-1に比較して約4.4倍の有効換気量を得られる。
- ⑥2棟隣接して配置した場合、case3のGV設置位置では他のcaseに比較して平均有効換気量比が低く、換気を阻害している。