

住宅の自然換気・通風に関する研究

間仕切り壁を設置した単純住宅モデルの
通風気流のLES解析

滝田 伸

指導教員 有波 裕貴 助教



研究目的

研究目的

近年、**家庭におけるエネルギー消費量**は、快適な室内環境の追求や新たな家電製品の普及により、**増加傾向**にある。

住宅では、**再生可能エネルギー**を活用して室内の快適性を高める**室内環境調整手法の開発**が求められており、日本では夏季や中間期において**自然通風**が解決策の一つとして注目されている。

自然通風には**換気による排熱効果**と、室内風速を増加させ**体感温度を低下させる効果**があるため、**冷房の使用頻度の低下**及び**冷房用エネルギーの削減**が期待される。

研究目的

住宅の通風気流性状を分析するためには、住宅周辺で生じる外部風の変動、住宅の間取りや開口条件等を、総合的に考慮する必要がある。

既往の研究^{文1)}では間仕切り壁を設置した単純住宅モデルを対象に気流の可視化撮影・PIV解析を行い、モデル内外の気流性状を明らかとした。

本研究では同寸法の単純住宅モデルを対象に気流の時刻変動を予測可能なLarge-Eddy Simulation(以下:LES)を用いることで気流性状を把握し、自然換気量を評価することを目的とする。

文1) 伊藤：「住宅の自然換気・通風に関する研究 間仕切り壁を考慮した単純住宅モデルの通風気流の可視化・PIV解析」、新潟大学工学部工学科建築学プログラム卒業論文、2024年

研究概要

研究概要

解析領域は4,000 [mm] (幅) × 1,000 [mm] (高さ) × 1,000 [mm] (奥行き) とする。

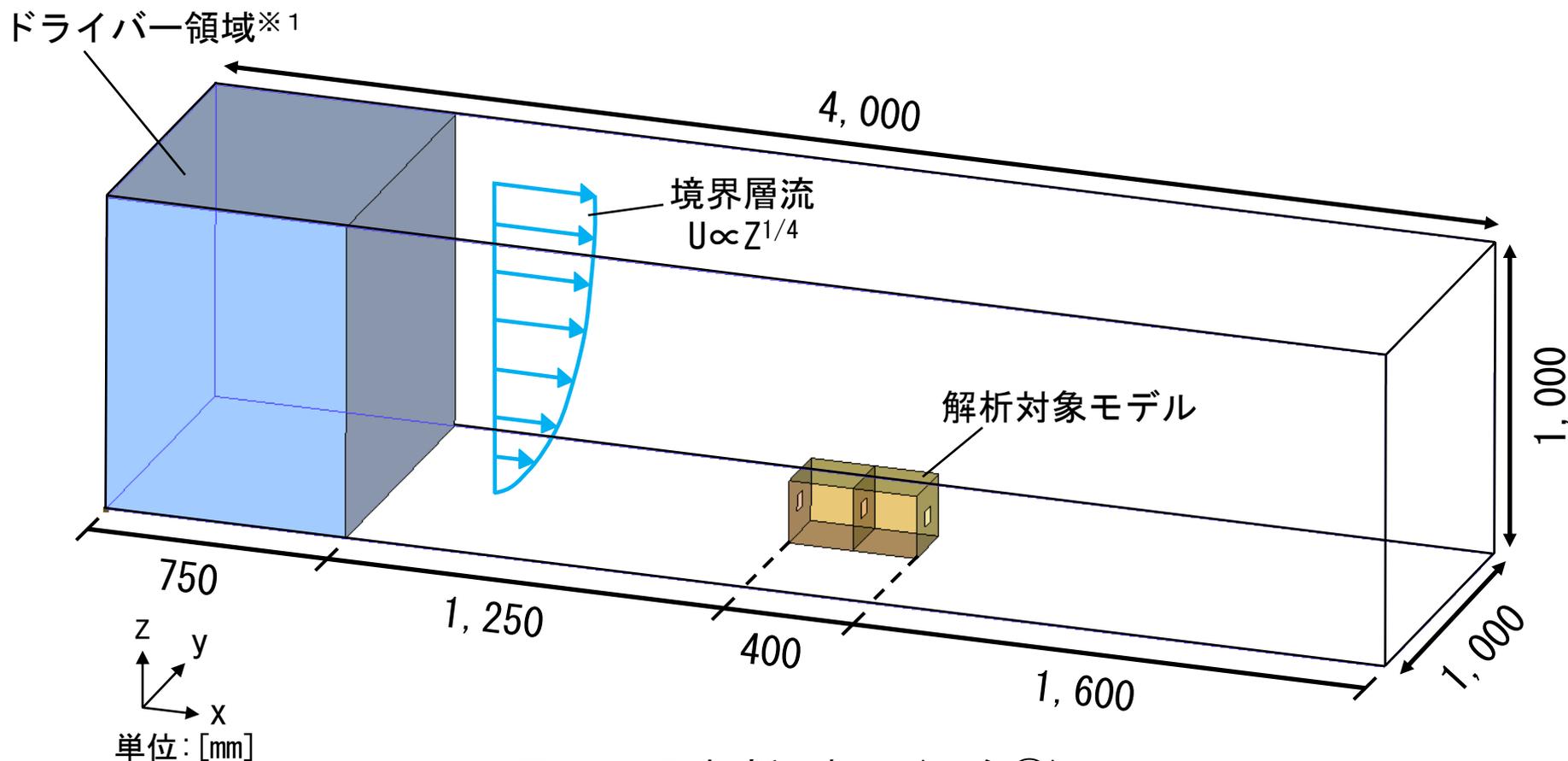


図1 LES解析の概要(風向①)

※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、建物風上側に設けた領域である。

研究概要

解析対象モデルは400[mm] (幅) × 200[mm] (高さ) × 200[mm] (奥行き) の直方体とする。

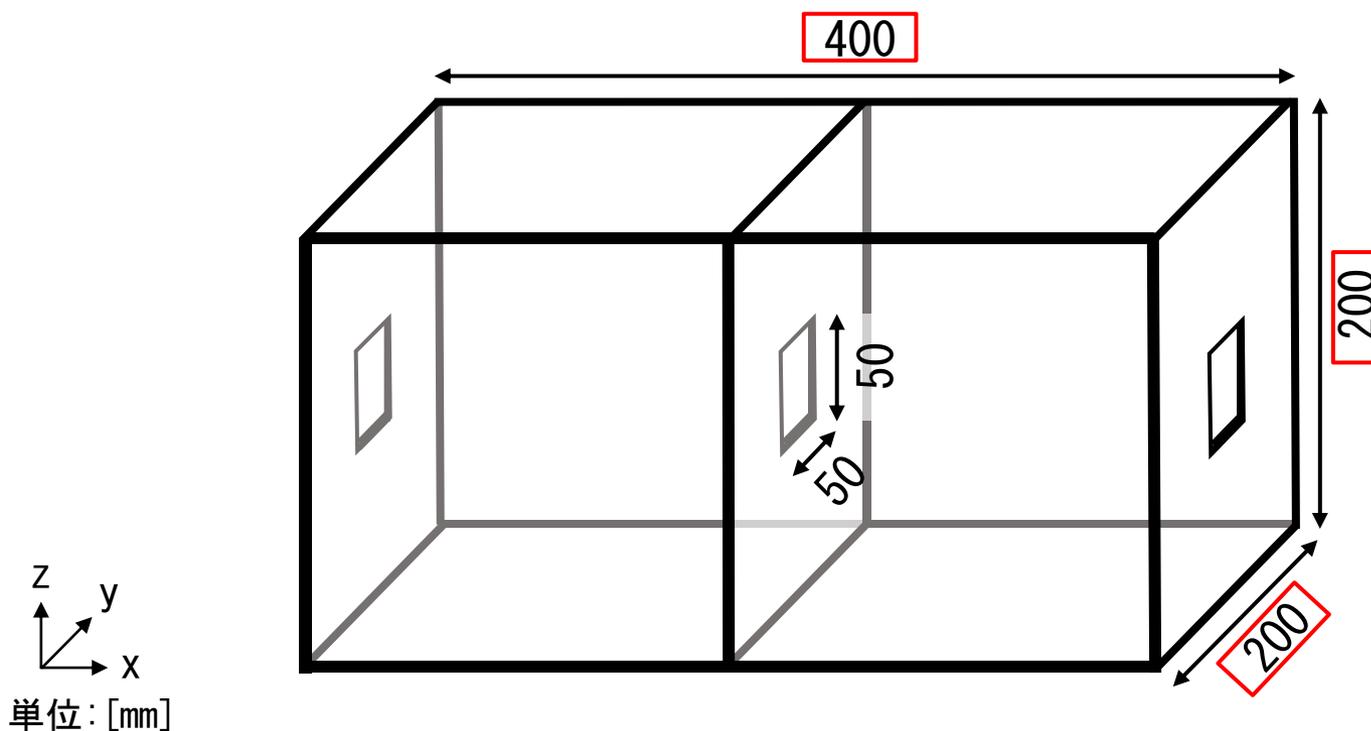


図2 解析対象モデルの概要 (case1)

研究概要

側面と内部の間仕切り壁には50 [mm] (幅) × 50 [mm] (高さ) の開口部を設ける。

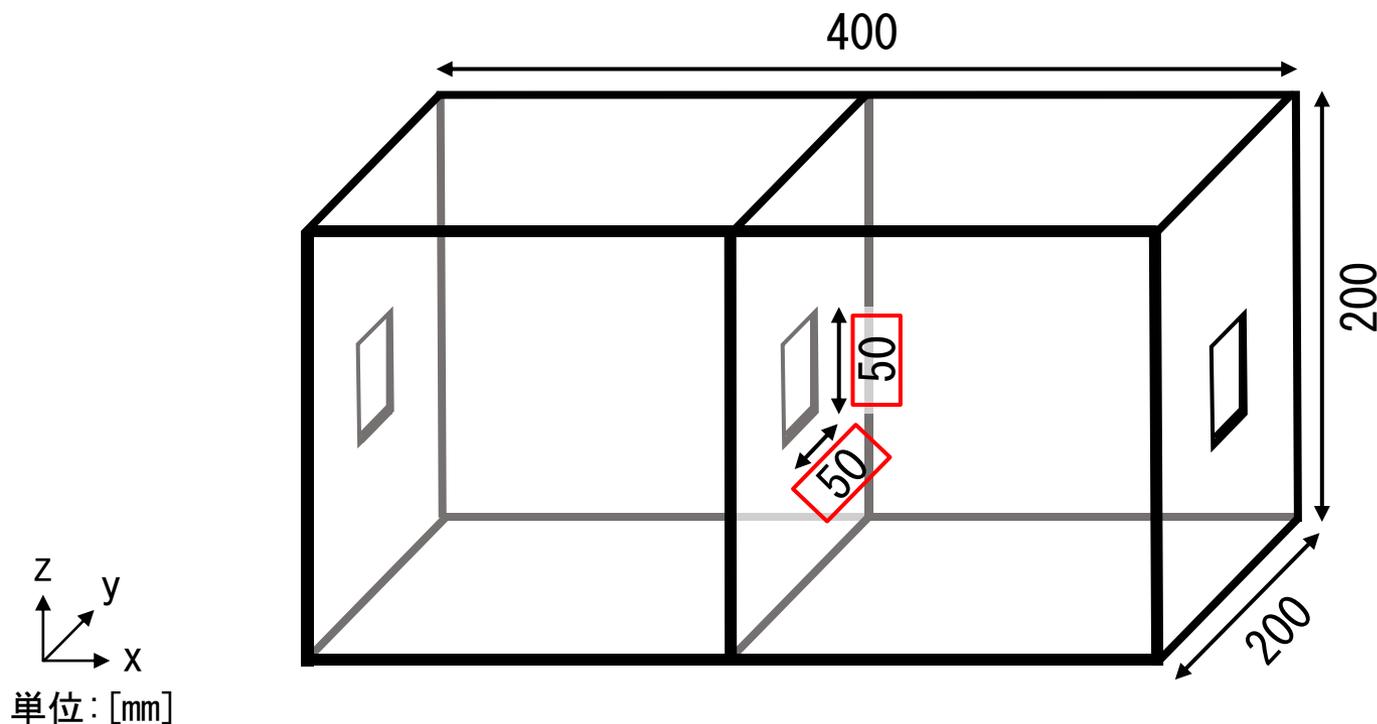


図2 解析対象モデルの概要 (case1)

研究概要

解析結果の表示断面は解析対象モデルの**中心位置の水平、垂直断面**とする。

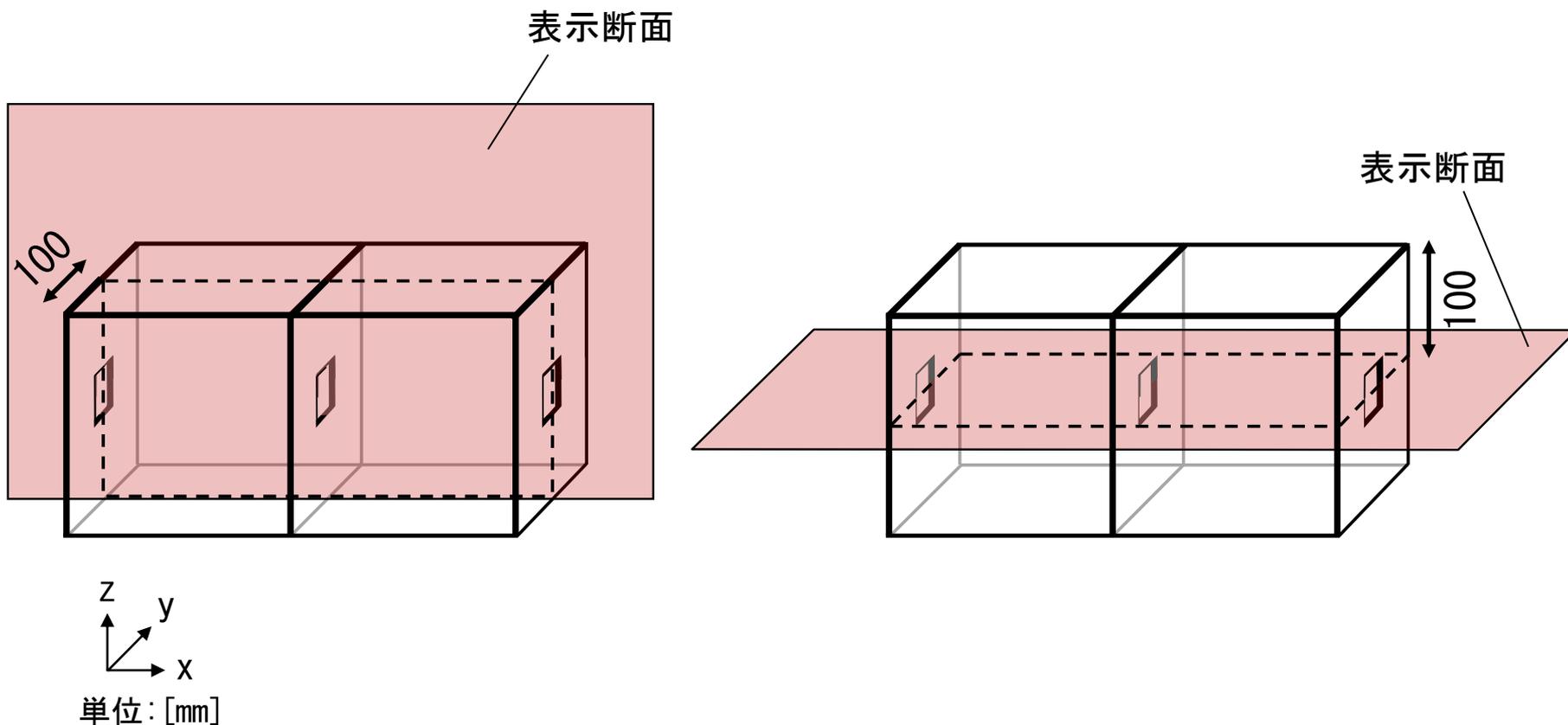
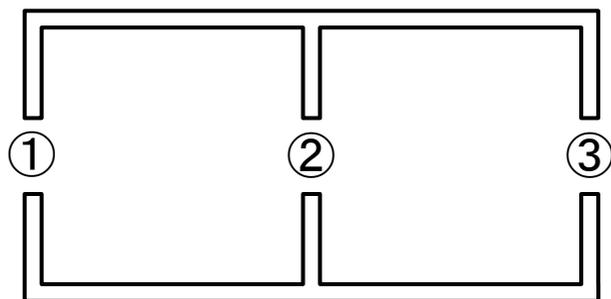
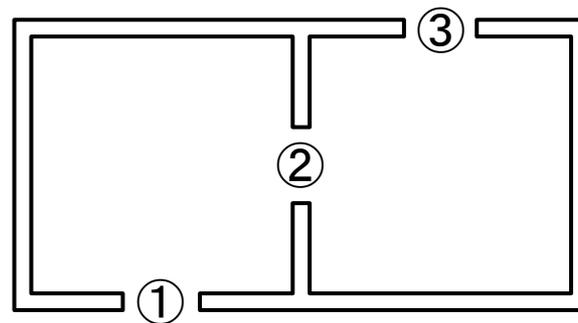


図 y、z軸における解析結果の表示断面位置の概要 (case1-1)

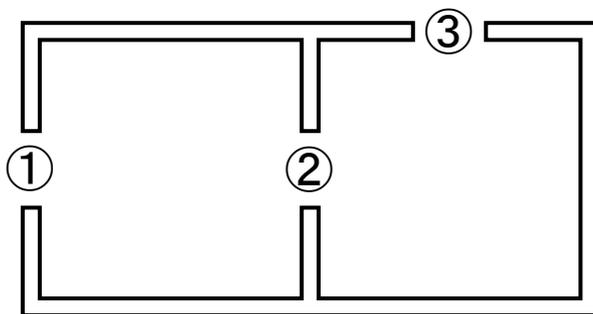
モデルの開口条件は、以下の4パターンとする。



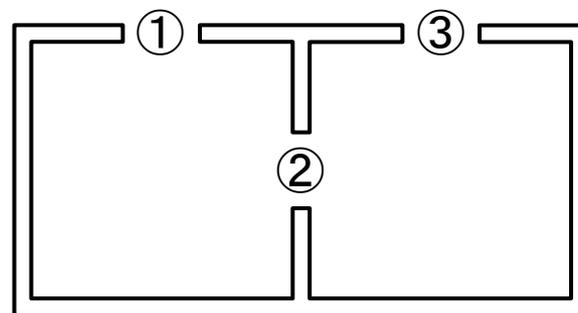
case1



case2



case3



case4

図3 開口条件

風向は、長辺に平行な向き（風向①）と、短辺に平行な向き（風向②）の2条件を設定し、計8 caseの解析を行う。

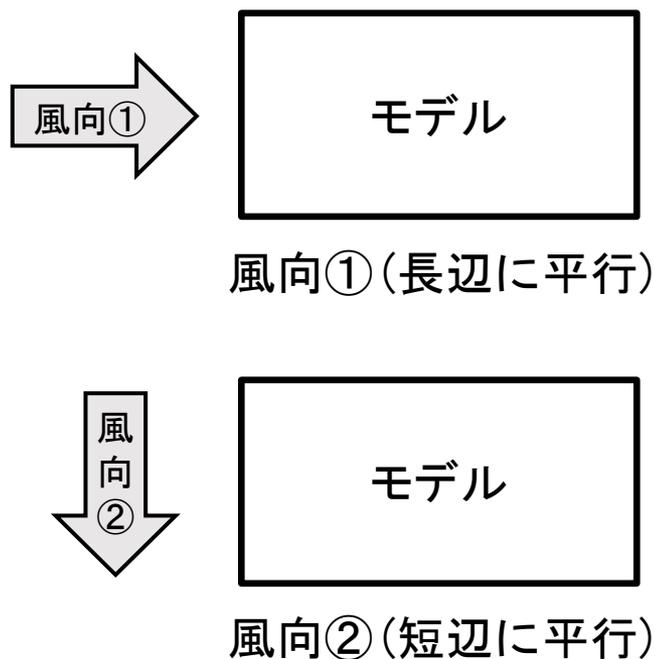


表 1 解析case

case		風向
case1	case1-1	①
	case1-2	②
case2	case2-1	①
	case2-2	②
case3	case3-1	①
	case3-2	②
case4	case4-1	①
	case4-2	②

図 4 解析時の風向

LES解析には汎用流体解析ソフトSTREAM ver. 2022を使用し、等温で解析する。

表 2 LES解析条件

SGSモデル	Dynamic型 Smagorinskyモデル	
解析対象領域	4,000(x) × 1,000(y) × 1,000(z) [mm]	
建物モデル	400(x) × 200(y) × 200(z) [mm]	
境界条件	流入	ドライバー領域 ^{※1} で流入変動気流を作成する
	流出	自然流出
	壁境界	ノースリップ
ドライバー領域 ^{※1}	境界層発達型 主流X正方向	
	基準高さ	0.7[m]
	基準高さの流速	1.85[m/s]
解析時間	プレ解析 : t=0~10[s]、本解析 : t=10~20[s]	
タイムステップ間隔	1.0×10^{-3} [s]	
温度	等温	
解析領域メッシュ数	229(x) × 120(y) × 103(z) = 2,830,440	
計算アルゴリズム	Fractional Step法	

※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、建物風上側に設けた領域である。

研究概要

流入変動気流は**ドライバー領域^{※1}**により作成する。解析開始後 $t=10[s]$ までを流入変動気流作成のためのプレ解析とし、 $t=10\sim 20[s]$ までの計 $10[s]$ 間を本解析の結果として用いる。

表 2 LES解析条件

SGSモデル	Dynamic型 Smagorinskyモデル	
解析対象領域	4,000(x) × 1,000(y) × 1,000(z) [mm]	
建物モデル	400(x) × 200(y) × 200(z) [mm]	
境界条件	流入	ドライバー領域 ^{※1} で流入変動気流を作成する
	流出	自然流出
	壁境界	ノースリップ
ドライバー領域 ^{※1}	境界層発達型 主流X正方向	
	基準高さ	0.7[m]
	基準高さの流速	1.85[m/s]
解析時間	プレ解析 : $t=0\sim 10[s]$ 、本解析 : $t=10\sim 20[s]$	
タイムステップ間隔	$1.0 \times 10^{-3}[s]$	
温度	等温	
解析領域メッシュ数	229(x) × 120(y) × 103(z) = 2,830,440	
計算アルゴリズム	Fractional Step法	

※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、建物風上側に設けた領域である。

ドライバー領域※¹による境界層流のべき指数は1/4とする。

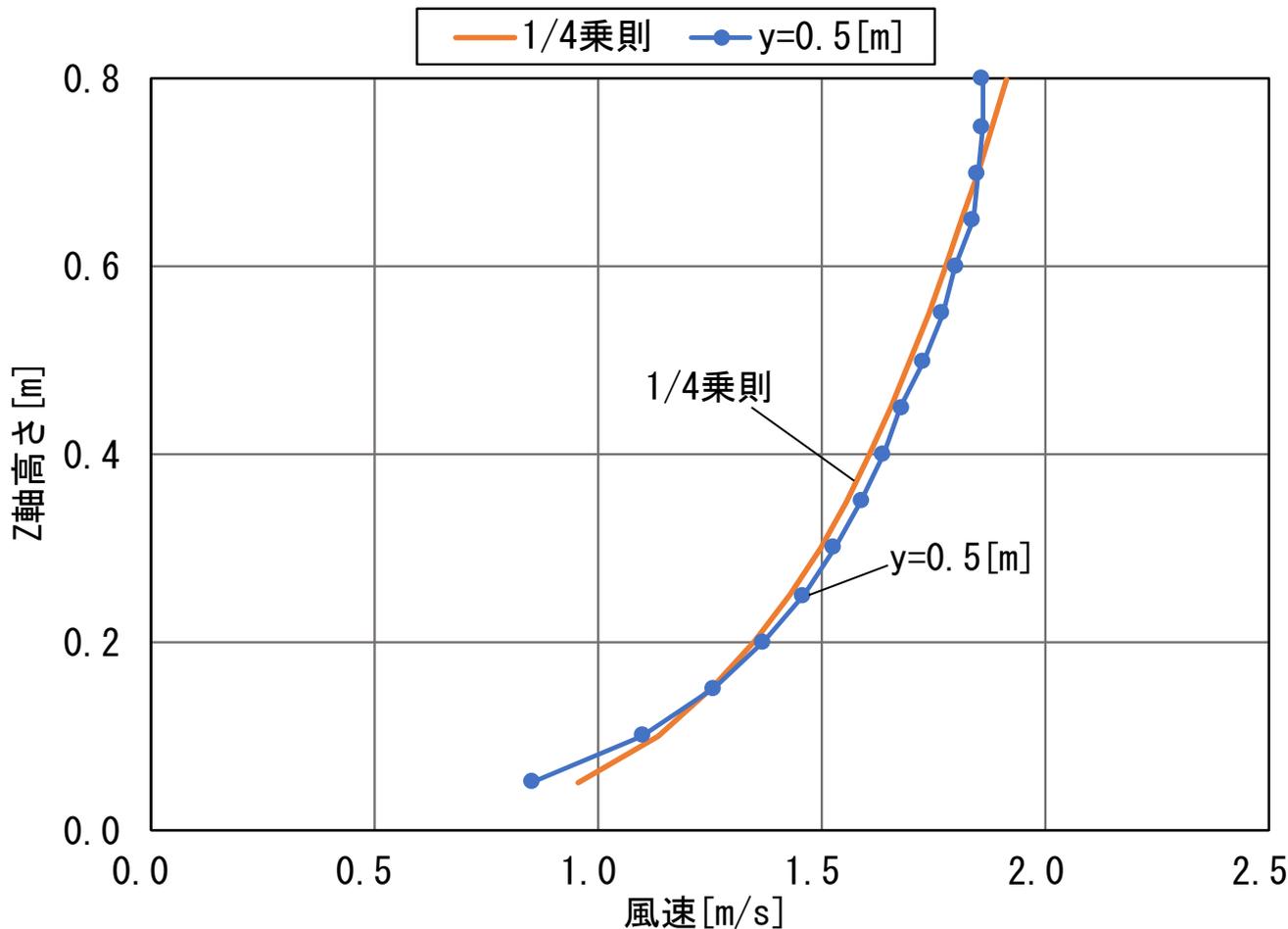


図5 流入変動気流の平均風速分布 (x=800 [mm])

※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、建物風上側に設けた領域である。

解析結果

解析結果 (case1-1)

風上側開口部から風速比^{※3}約0.27~0.37[-]で気流が流入する。間仕切り壁周辺では、風上側から風下側の室へ風速比約0.27~0.37[-]で気流が通過し、風下側の室から流出する。

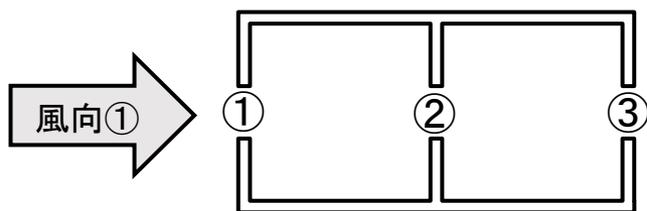
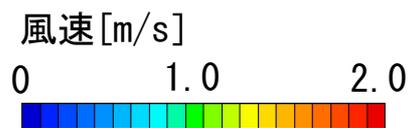


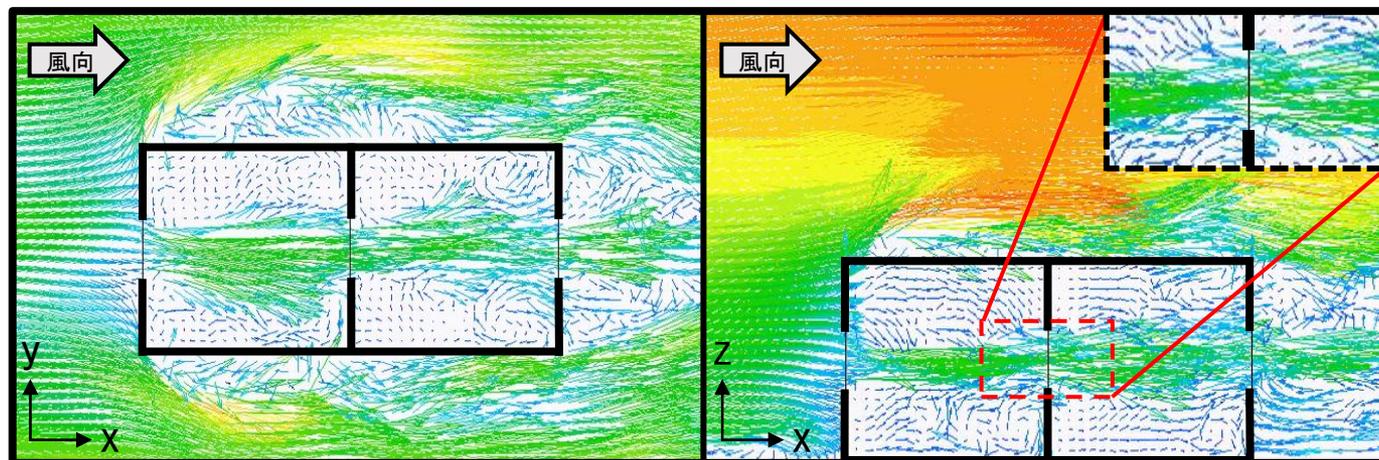
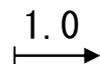
図 風向・開口部番号

表 1 解析case

case		風向
case1	case1-1	①
	case1-2	②
case2	case2-1	①
	case2-2	②
case3	case3-1	①
	case3-2	②
case4	case4-1	①
	case4-2	②



基準ベクトル [m/s]



動画 LES解析結果 (case1-1)

※3 基準高さ700 [mm]での風速1.85 [m/s]に対する風速比とする。

解析結果 (case1-1)

平均通過風量※²は開口部①、②、③ともに0.016[m³/s]となる。

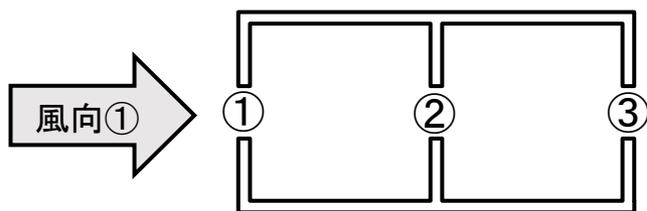


図 風向・開口部番号

表 1 解析case

case		風向
case1	case1-1	①
	case1-2	②
case2	case2-1	①
	case2-2	②
case3	case3-1	①
	case3-2	②
case4	case4-1	①
	case4-2	②

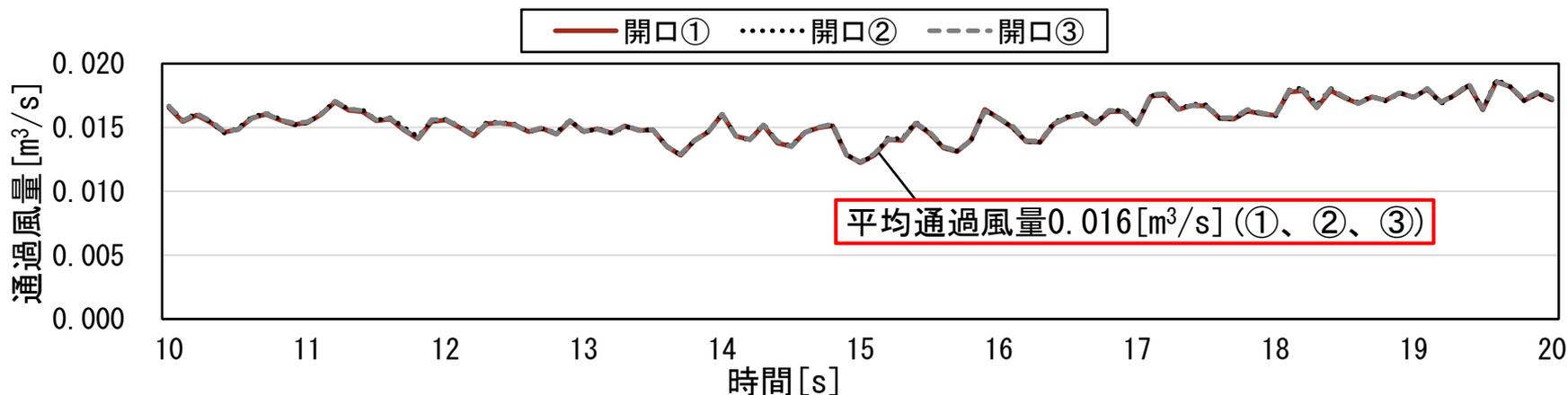


図 6 開口部ごとの時系列通過風量 (case1-1)

※² 開口部の各メッシュごとの瞬時風速の絶対値を用いて各時刻ごとに積分した風速。

解析結果 (case1-2)

左右の開口部から風速比※³ 約0.03~0.25[-]で気流が流入と流出を交互に繰り返す。間仕切り壁周辺では、風速比約0.03~0.14[-]で気流が両空間で流入と流出を交互に繰り返す。

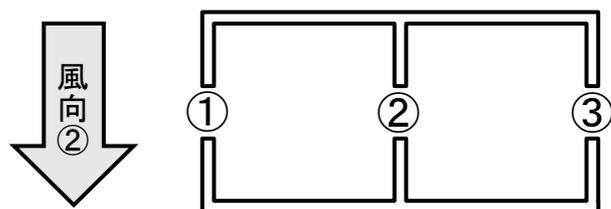
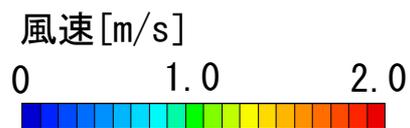


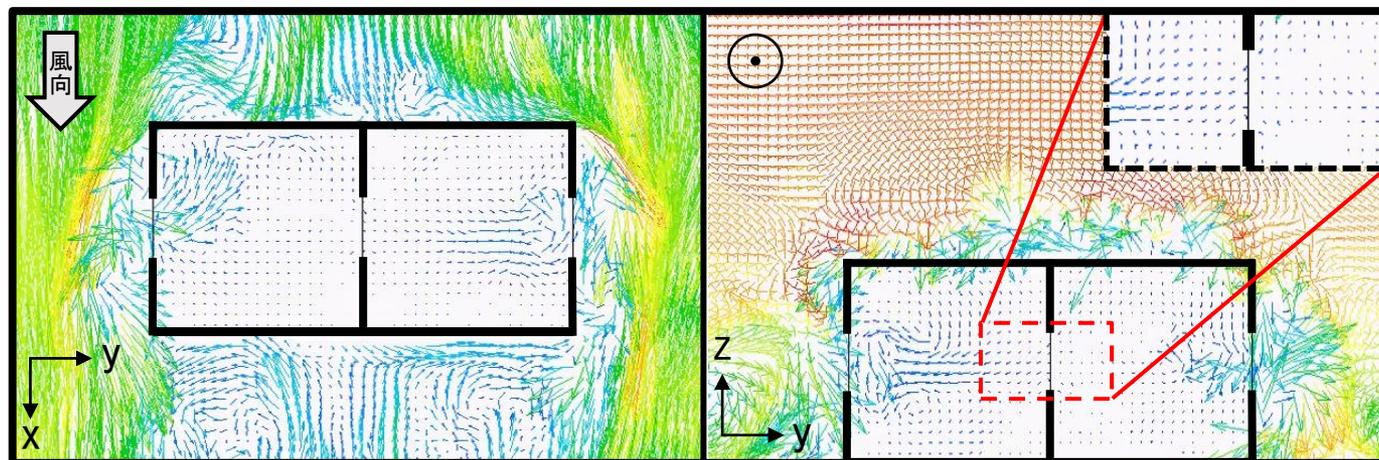
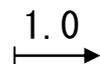
図 風向・開口部番号

表 1 解析case

case		風向
case1	case1-1	①
	case1-2	②
case2	case2-1	①
	case2-2	②
case3	case3-1	①
	case3-2	②
case4	case4-1	①
	case4-2	②



基準ベクトル[m/s]



動画 LES解析結果 (case1-2)

※³ 基準高さ700[mm]での風速1.85[m/s]に対する風速比とする。

解析結果 (case1-2)

平均通過風量※²は開口部①で0.00424[m³/s]、開口部②で0.00195[m³/s]、開口部③で0.00450[m³/s]となる。

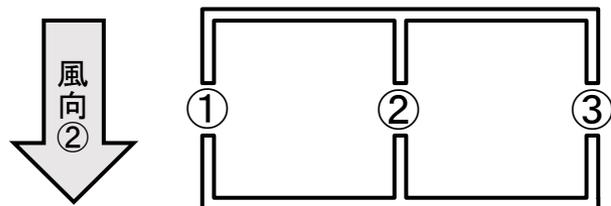


図 風向・開口部番号

表 1 解析case

case		風向
case1	case1-1	①
	case1-2	②
case2	case2-1	①
	case2-2	②
case3	case3-1	①
	case3-2	②
case4	case4-1	①
	case4-2	②

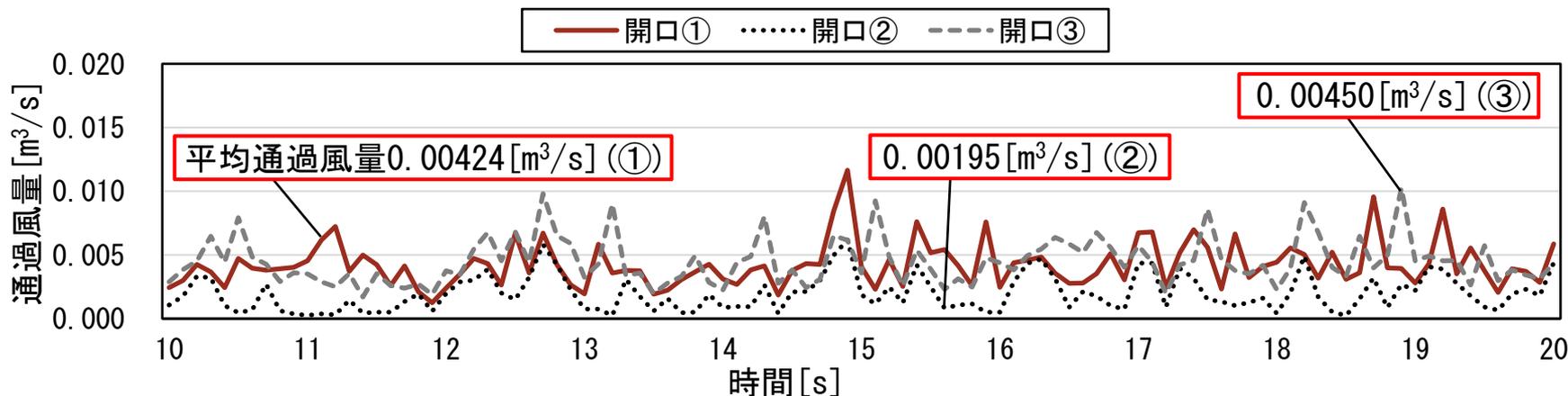


図 6 開口部ごとの時系列通過風量 (case1-2)

※² 開口部の各メッシュごとの瞬時風速の絶対値を用いて各時刻ごとに積分した風速。

解析結果 (case2-1)

風下側開口部から風速比^{※3}約0.2~0.3[-]で気流が流入する。間仕切り壁周辺では、風下側から風上側の室へ風速比約0.2~0.3[-]の直線的な気流が通過し、風上側開口部から流出する。

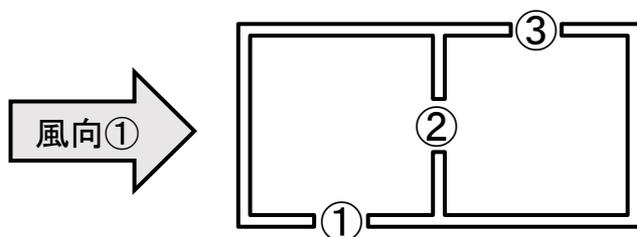
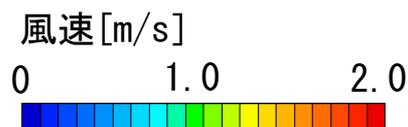


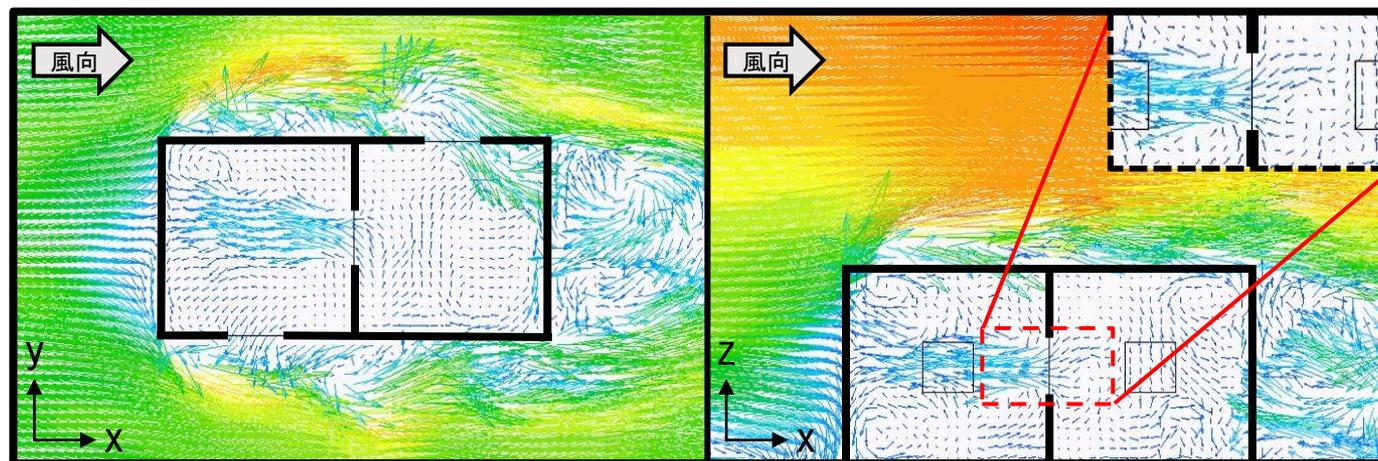
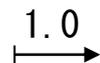
図 風向・開口部番号

表 1 解析case

case		風向
case1	case1-1	①
	case1-2	②
case2	case2-1	①
	case2-2	②
case3	case3-1	①
	case3-2	②
case4	case4-1	①
	case4-2	②



基準ベクトル [m/s]



動画 LES解析結果 (case2-1)

※3 基準高さ700 [mm]での風速1.85 [m/s]に対する風速比とする。

解析結果 (case2-1)

平均通過風量※²は開口部①で0.00679[m³/s]、開口部②で0.00636[m³/s]、開口部③で0.00654[m³/s]となる。

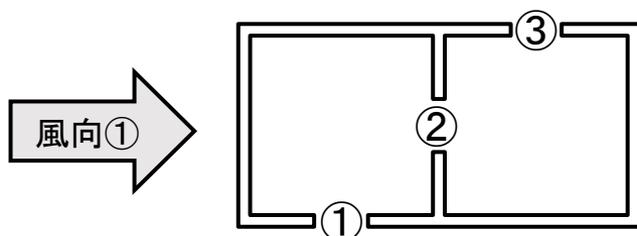


図 風向・開口部番号

表 1 解析case

case		風向
case1	case1-1	①
	case1-2	②
case2	case2-1	①
	case2-2	②
case3	case3-1	①
	case3-2	②
case4	case4-1	①
	case4-2	②

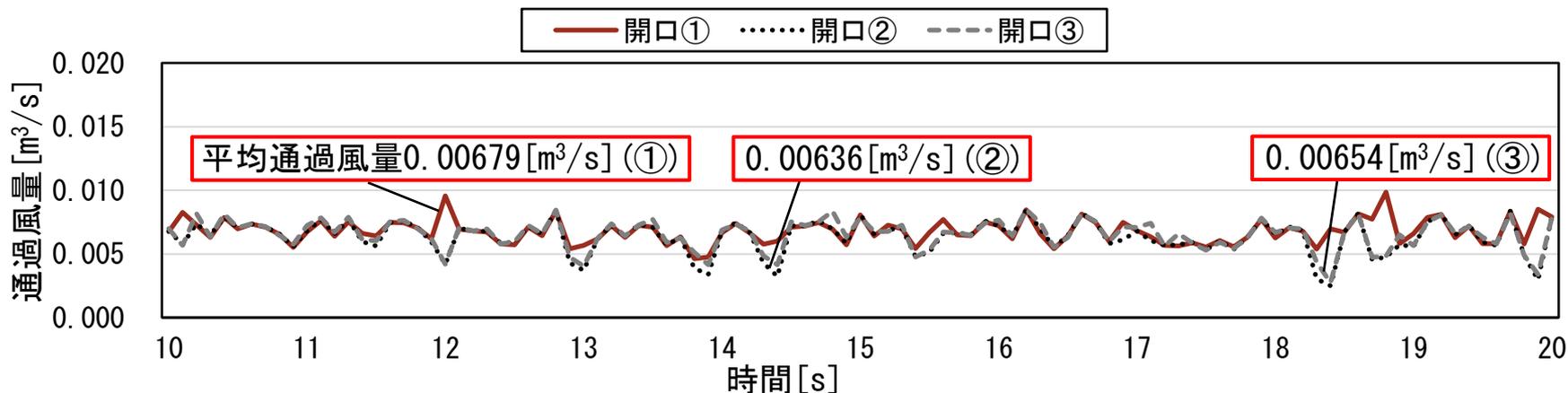


図 6 開口部ごとの時系列通過風量 (case2-1)

※² 開口部の各メッシュごとの瞬時風速の絶対値を用いて各時刻ごとに積分した風速。

解析結果 (通過風量)

case1-1では通過風量が開口部①、②、③ともに約0.158[m³]となり最も多く、case1-2では通過風量が約0.0440[m³] (①、③)、0.0196[m³] (②)となり最も少ない。

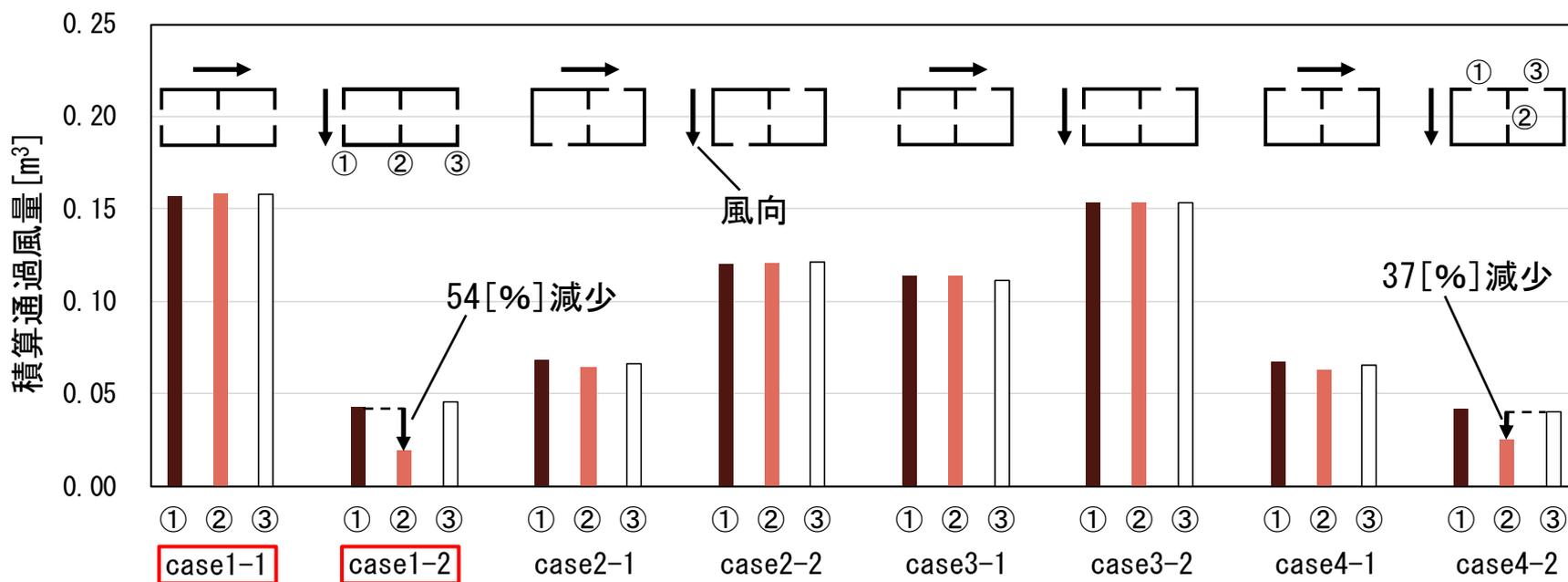


図8 各開口部における10[s]間の積算通過風量 (t=10~20[s])

解析結果 (通過風量)

case1-2、case4-2では開口部①、③に対して②の通過風量が少なくcase1-2では54[%]、case4-2では37[%]減少した。

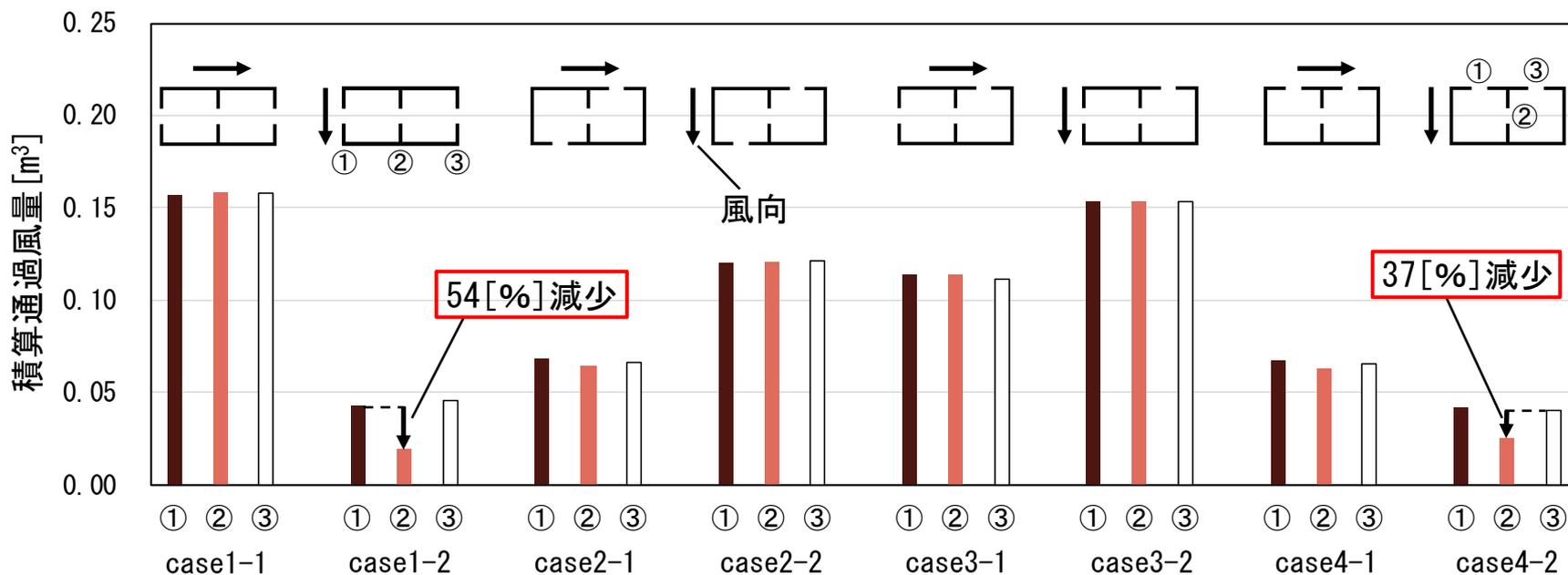
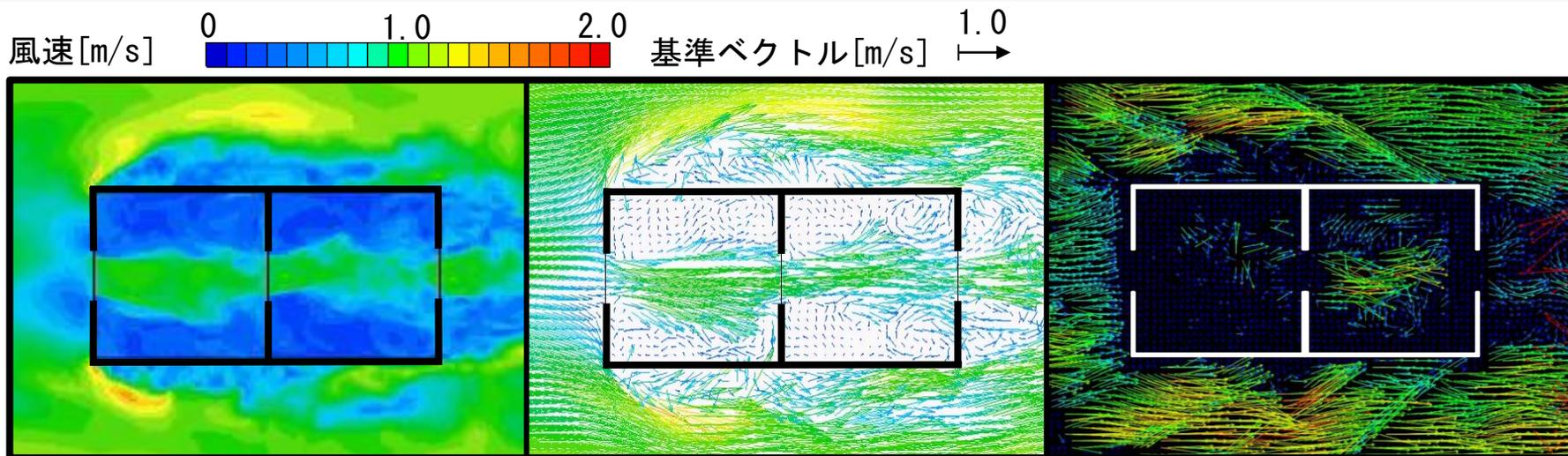


図8 各開口部における10[s]間の積算通過風量 (t=10~20[s])

まとめ

- ① case1-1では風上側開口部から流入し、風下側から室外へ流出した。case1-2では上下の開口部から交互に気流の流入と流出を繰り返す。case2-1では風下側開口部から気流が流入し、風上側の室で直線的な気流が発生した。
- ② case1-1の通過風量が最も多く、case1-2の通過風量が最も少なくなった。



LES
動画 PIV、LES解析結果 (case1-1)

PIV (既往の研究^{文1)})

文1) 伊藤：「住宅の自然換気・通風に関する研究 間仕切り壁を考慮した単純住宅モデルの通風気流の可視化・PIV解析」、新潟大学工学部工学科建築学プログラム卒業論文、2024年