



教室を対象とした人からの 飛沫の拡散に関する研究

飛沫の拡散・排出・除去のCFD解析

	中澤	郁
指導教員	有波	裕貴 助教

研究目的

インフルエンザやコロナウイルスなどによる**感染症**は、**飛沫・空気・接触感染**が主な感染経路である。

研究目的

インフルエンザやコロナウイルスなどによる**感染症**は、**飛沫・空気・接触感染**が主な感染経路である。

厚生労働省は、感染予防のためには換気等による**ウイルスの濃度低減**が重要であるとしている。

研究目的

インフルエンザやコロナウイルスなどによる**感染症**は、**飛沫・空気・接触感染**が主な感染経路である。

厚生労働省は、感染予防のためには換気等による**ウイルスの濃度低減**が重要であるとしている。

「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気量を示しており^{文1)}、**一人当たり30[m³/h]**を満足すれば、**ビル管理法における空気環境の基準**に適合し、「**換気の悪くない空間**」となるとしている。

研究目的

インフルエンザやコロナウイルスなどによる**感染症**は、**飛沫・空気・接触感染**が主な感染経路である。

厚生労働省は、感染予防のためには換気等による**ウイルスの濃度低減**が重要であるとしている。

「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気量を示しており^{文1)}、**一人当たり30[m³/h]**を満足すれば、**ビル管理法における空気環境の基準**に適合し、「**換気の悪くない空間**」となるとしている。

しかし、この換気量が室内の飛沫感染防止に有効であるのかは全く不明である。

研究目的

本研究では、CFD解析 (RANS※¹) により、**小学校の教室**を対象に、換気・空調・空気清浄機による**飛沫(ウイルス粒子)の拡散状況の解析**を行う。粒子が換気等で室内から**排出・除去される割合**を算出することで、飛沫の排出・除去効果を定量的に評価することを目的とする。

※1 レイノルズ平均モデル (Reynolds-Averaged Navier-Stokes simulations) を用いて解析する手法。

解析概要

解析対象は小学校の一般的な教室とし、解析領域は9.0[m] (x) × 9.6[m] (y) × 3.0[m] (z) とする。

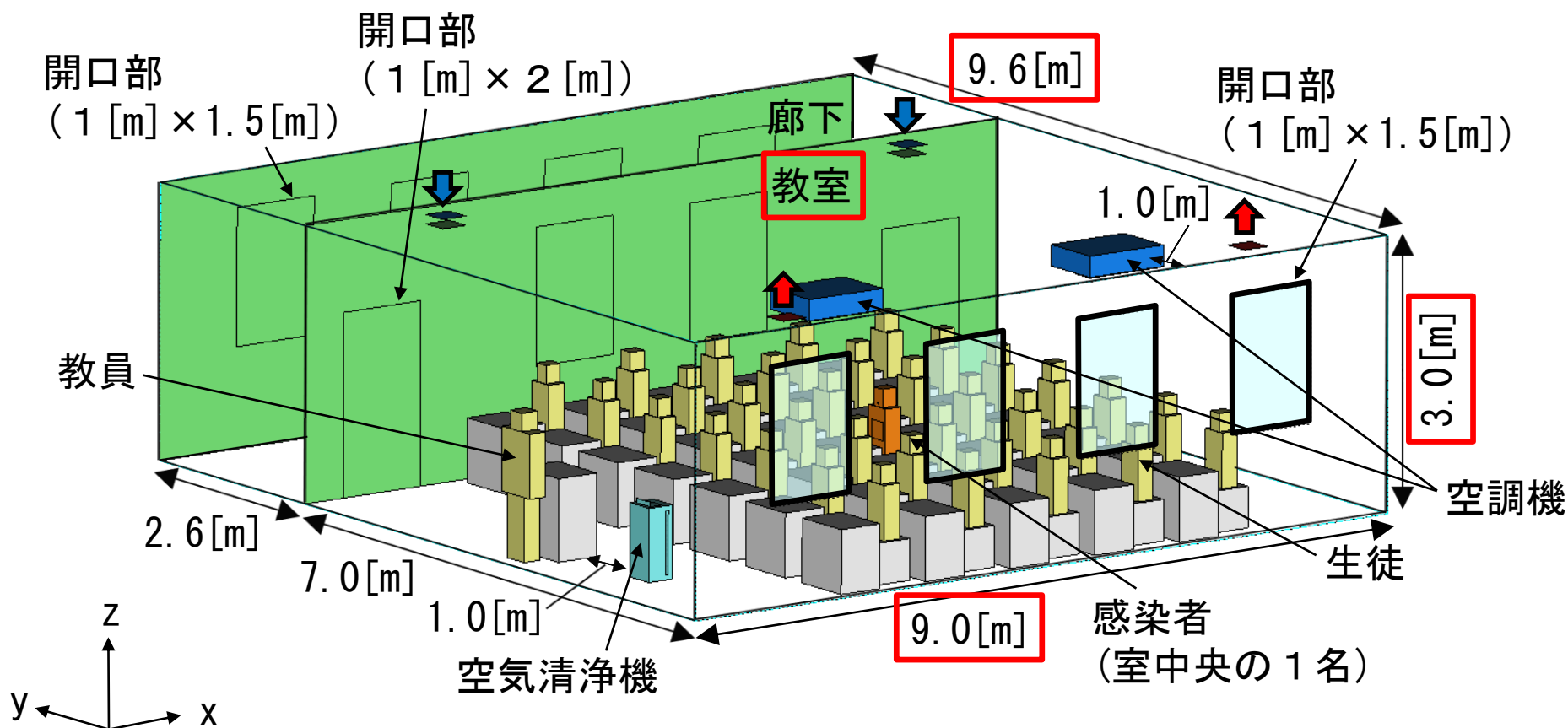


図1 解析対象モデル

解析概要

滞在人員は生徒35名、教員1名の計36名とし、**室中央の1名を感染者**とする。

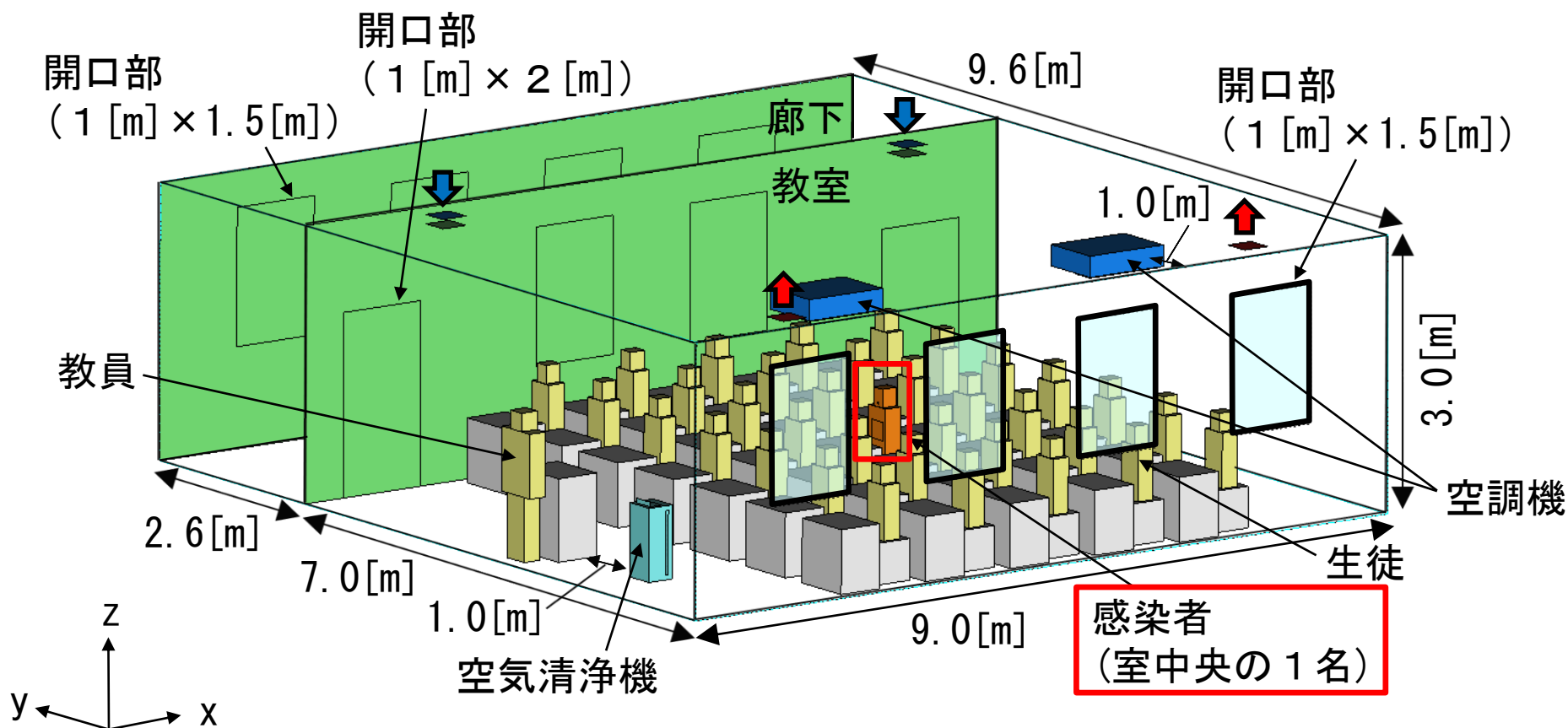


図1 解析対象モデル

解析概要

感染者は10[s] 毎に呼吸 (呼気の風速1.0[m/s] 文2)) していると仮定する。

人体表面温度 : 30[°C]
 口 : 0.02 × 0.02[m]
 呼出
 呼出温度 : 35[°C]
 呼気風速 : 1.0[m/s] 文2)
 飛沫
 飛沫粒径 : ①100[μm]
 ②10[μm]
 飛沫物性 : 水
 反発係数 : 1.0※2
 発生数 : 100個
 発生間隔 : 10[s]

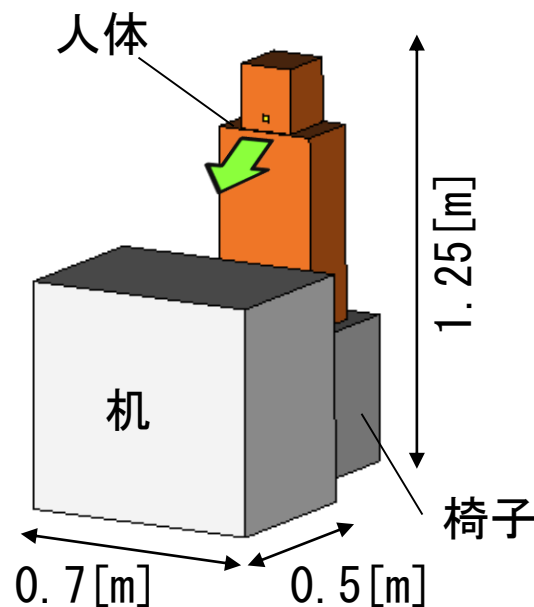


図2 人体モデル

文2) 村上ら「PIV風速計による人体呼吸域周辺の風速測定」、2001年

※2 換気による飛沫の排出率を算出するため、壁面に付着することで粒子が空気中から減少することがないように、壁面に到達した粒子は跳ね返るよう設定している。

解析概要

発生させる飛沫の粒径は100[μm]と10[μm]とする。粒径100[μm]の粒子は呼出後すぐ沈降するため無視し、粒径10[μm]の粒子のみ濃度の算出を行う。

人体表面温度：30[$^{\circ}\text{C}$]
 口：0.02×0.02[m]
 呼出
 呼出温度：35[$^{\circ}\text{C}$]
 呼気風速：1.0[m/s]文2)
 飛沫
 飛沫粒径：①100[μm]
 ②10[μm]
 飛沫物性：水
 反発係数：1.0※2
 発生数：100個
 発生間隔：10[s]

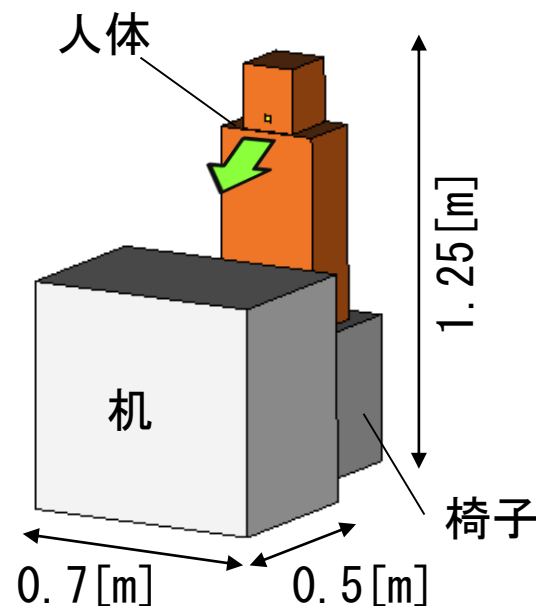


図2 人体モデル

文2) 村上ら「PIV風速計による人体呼吸域周辺の風速測定」、2001年

※2 換気による飛沫の排出率を算出するため、壁面に付着することで粒子が空気中から減少することがないように、壁面に到達した粒子は跳ね返るよう設定している。

解析概要

飛沫の物性は水とし、壁表面における反発係数は $1.0^{※2}$ とする。

人体表面温度：30[°C]
 口：0.02×0.02[m]
 呼出
 呼出温度：35[°C]
 呼気風速：1.0[m/s]文2)
 飛沫
 飛沫粒径：①100[μm]
 ②10[μm]
 飛沫物性：水
 反発係数： $1.0^{※2}$
 発生数：100個
 発生間隔：10[s]

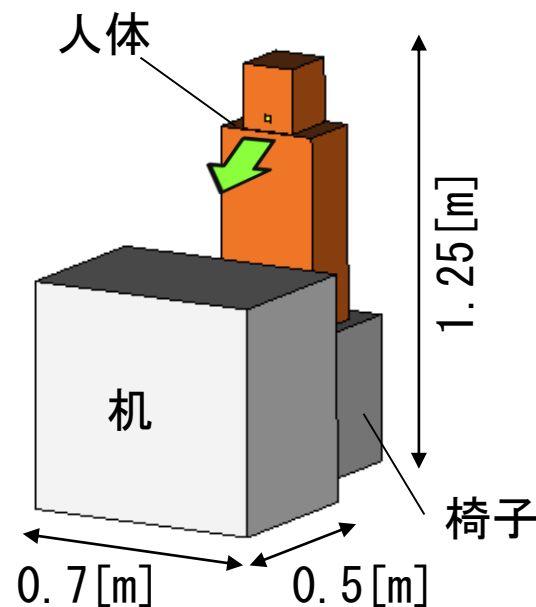


図2 人体モデル

文2) 村上ら「PIV風速計による人体呼吸域周辺の風速測定」、2001年

※2 換気による飛沫の排出率を算出するため、壁面に付着することで粒子が空気中から減少することがないように、壁面に到達した粒子は跳ね返るよう設定している。

解析概要

$t=0 \sim 600$ [s]の間は粒子を10[s]毎に100個発生させ、 $t=600 \sim 1,200$ [s]の間は発生を停止し、粒子数の減衰の解析を行う。

人体表面温度 : 30 [°C]
 口 : 0.02×0.02 [m]
 呼出
 呼出温度 : 35 [°C]
 呼気風速 : 1.0 [m/s] 文2)
 飛沫
 飛沫粒径 : ①100 [μm]
 ②10 [μm]
 飛沫物性 : 水
 反発係数 : 1.0※2
 発生数 : 100個
 発生間隔 : 10[s]

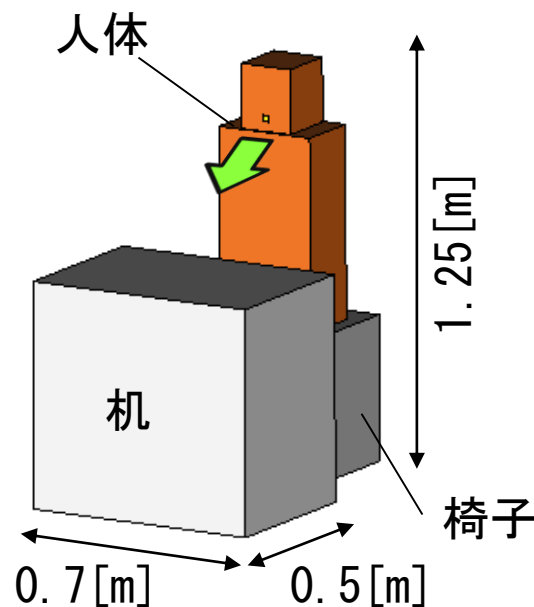


図2 人体モデル

文2) 村上ら「PIV風速計による人体呼吸域周辺の風速測定」、2001年

※2 換気による飛沫の排出率を算出するため、壁面に付着することで粒子が空気中から減少することがないように、壁面に到達した粒子は跳ね返るよう設定している。

解析概要

RANS解析には汎用数値流体解析ソフトSTREAM ver. 2020を使用する。

表 1 解析方法

乱流モデル	標準k-εモデル		
解析領域	9.0[m] × 9.6[m] × 3.0[m]		
境界条件	表面境界	床	壁面对数則
		モデル面	
	輻射境界	輻射率0.9	
	熱伝達 [W/(m ² ・K)] (熱貫流率)	外壁	4.09
		窓	5.99
		間仕切り壁	2.37
温度	等温時：室温 20[°C] 暖房時：室温 20[°C] 外気温 0[°C] 冷房時：室温 28[°C] 外気温 35[°C] (上下階、左右の教室は空調室)		
解析時間 t	粒子発生：t=0~600[s] 発生停止：t=600~1,200[s]		

解析条件

case1、case2では、給気は廊下側天井の給気口 ($500[\text{m}^3/\text{h}] \times 2$ 箇所)、排気は窓側天井の排気口 ($500[\text{m}^3/\text{h}] \times 2$ 箇所) から機械換気^{※3}で行う。

表2 解析条件

		換気方式	空調方法			換気方式	窓・扉の開口	外部基準風速
case1	case1-1	機械換気 ^{※3}	等温	case3	case3-1	自然通風 ^{※5} (等温)	全開	1.0[m/s]
	case1-2		暖房		case3-2			3.0[m/s]
	case1-3		冷房		case3-3			5.0[m/s]
case2	case2-1	機械換気 ^{※3} + 空気清浄機 ^{※4}	等温	case4	case4-1	自然通風 ^{※5} (等温)	1/4開	1.0[m/s]
	case2-2		暖房		case4-2			3.0[m/s]
	case2-3		冷房		case4-3			5.0[m/s]

※3 滞在人員 (36人) $\times 30[\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{人}] = 1,080[\text{m}^3/\text{h}] \div 1,000[\text{m}^3/\text{h}]$ とした。換気回数は5.3[回/h]となる。

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速 ($z=12[\text{m}]$) を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階 (床面の高さ: $z=4.2[\text{m}]$) とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

解析条件

case2では、空気清浄機を教員の隣に設置し、風量は600[m³/h]、吹出風向は上向きに75[°]とする。

吹出

吹出口 : 0.15 × 0.25 [m]

風量 : 600 [m³/h]

風速 : 4.44 [m/s]

吹出風向 : 上向きに75[°]

吸込

吸込口 : 0.03 × 0.7 [m]

風量 : 300 [m³/h] × 2箇所

風速 : 3.99 [m/s]

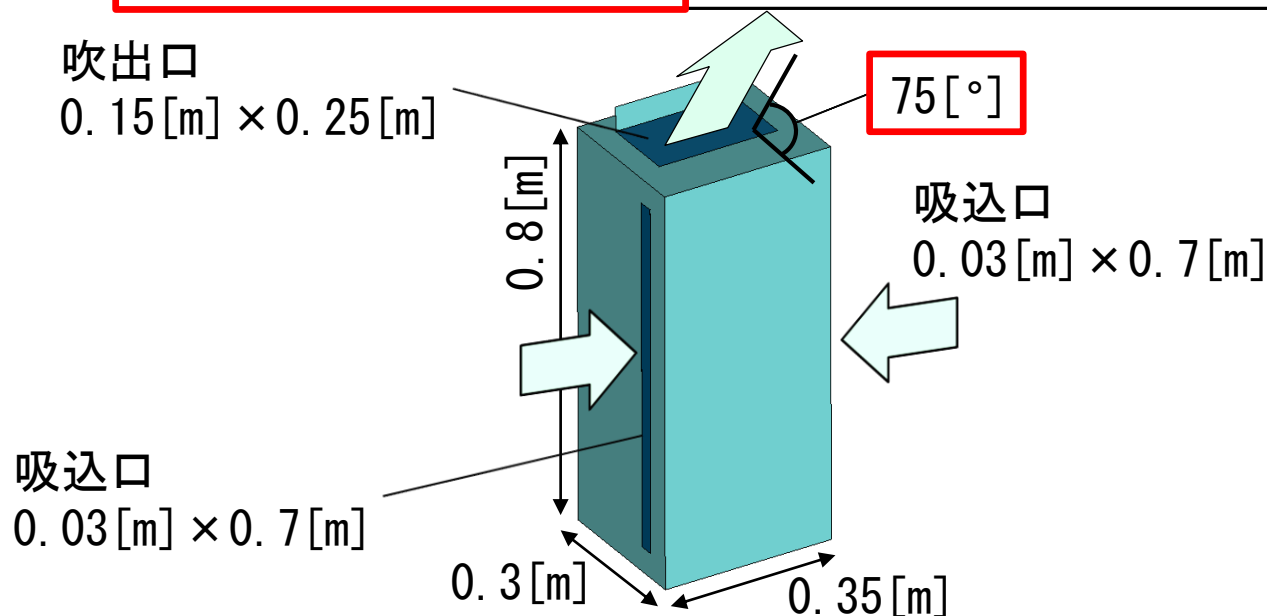


図3 空気清浄機※4

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

解析条件

空調機は教室窓側に2台設置し、風量は780[m³/h]、吹出風向は、暖房が下向きに45[°]、冷房は水平方向とする。

表 1 解析方法

乱流モデル	標準k-εモデル		
解析領域	9.0[m] × 9.6[m] × 3.0[m]		
境界条件	表面境界	床 モデル面	壁面对数則
	輻射境界	輻射率0.9	
	熱伝達 [W/(m ² ・K)] (熱貫流率)	外壁	4.09
		窓	5.99
温度	間仕切り壁		
	2.37		
解析時間 t	等温時：室温 20[°C]		
	暖房時：室温 20[°C] 外気温 0[°C] 冷房時：室温 28[°C] 外気温 35[°C] (上下階、左右の教室は空調室)		
解析時間 t	粒子発生：t=0~600[s]		
	発生停止：t=600~1,200[s]		

吹出	吸込
吹出口 : 0.09 × 0.85 [m]	吸込口 : 0.25 × 0.88 [m]
風量 : 780 [m ³ /h]	風量 : 780 [m ³ /h]
風速 : 2.83 [m/s]	風速 : 0.98 [m/s]
吹出風向 : 暖房時 下向きに45[°] 冷房時 水平方向	
吹出温度 : 暖房時 40[°C] 冷房時 18[°C]	

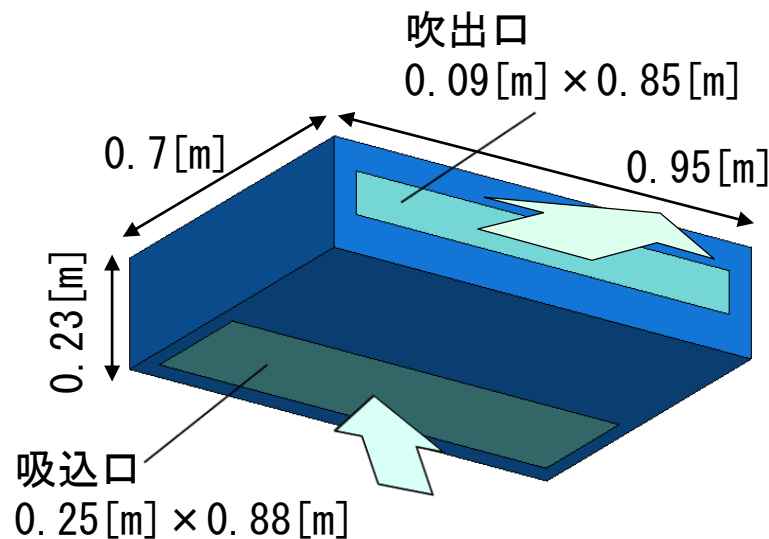


図 4 空調機

解析条件

case3、case4では教室の廊下側・窓側の開口部、廊下の開口部を開放し、**自然通風※⁵**を行った場合の解析を行う。

表 2 解析条件

		換気方式	空調方法			換気方式	窓・扉の開口	外部基準風速
case1	case1-1	機械換気※ ³	等温	case3	case3-1	自然通風※ ⁵ (等温)	全開	1.0[m/s]
	case1-2		暖房		case3-2			3.0[m/s]
	case1-3		冷房		case3-3			5.0[m/s]
case2	case2-1	機械換気※ ³ + 空気清浄機※ ⁴	等温	case4	case4-1	自然通風※ ⁵ (等温)	1/4開	1.0[m/s]
	case2-2		暖房		case4-2			3.0[m/s]
	case2-3		冷房		case4-3			5.0[m/s]

※ 3 滞在人員 (36人) × 30[m³/h・人]=1,080[m³/h] ≒ 1,000[m³/h] とした。換気回数は5.3[回/h] となる。

※ 4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※ 5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速(z=12[m])を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ:z=4.2[m])とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

解析条件

窓・扉の開口をcase3では全開、case4では1/4開とし、外部基準風速をそれぞれ1.0[m/s]、3.0[m/s]、5.0[m/s]とする。

表2 解析条件

		換気方式	空調方法			換気方式	窓・扉の開口	外部基準風速
case1	case1-1	機械換気※3	等温	case3	case3-1	自然通風※5 (等温)	全開	1.0[m/s]
	case1-2		暖房		case3-2			3.0[m/s]
	case1-3		冷房		case3-3			5.0[m/s]
case2	case2-1	機械換気※3 + 空気清浄機※4	等温	case4	case4-1		1/4開	1.0[m/s]
	case2-2		暖房		case4-2			3.0[m/s]
	case2-3		冷房		case4-3			5.0[m/s]

※3 滞在人員(36人) × 30[m³/h・人]=1,080[m³/h] ≒ 1,000[m³/h]とした。換気回数は5.3[回/h]となる。

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速(z=12[m])を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ:z=4.2[m])とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

気流分布・基準化濃度分布

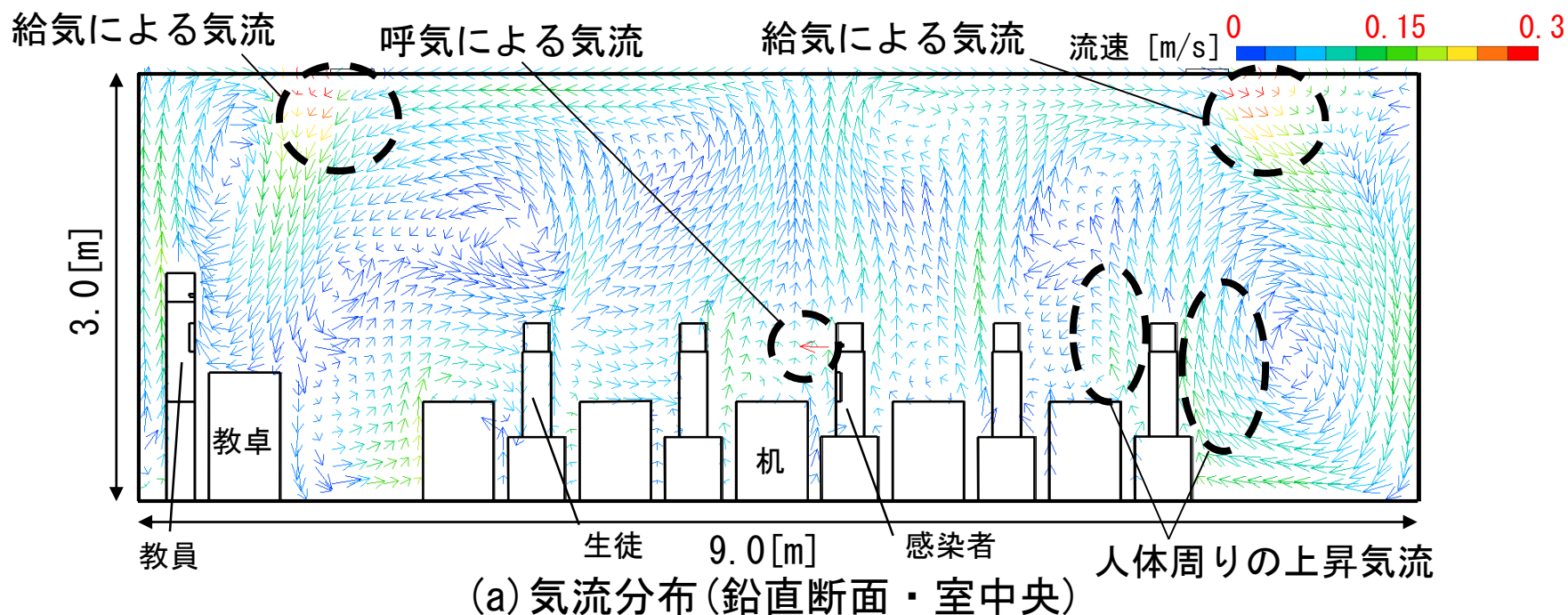


図 5 case1-1 解析結果 (機械換気※³、等温、換気回数5.3[回/h])

※³ 滞在人員 (36人) $\times$ 30[m³/h・人]=1,080[m³/h] $\div$ 1,000[m³/h] とした。換気回数は5.3[回/h] となる。

気流分布・基準化濃度分布

粒径10[μm]の飛沫は人体周辺の**上昇気流**により天井付近へ移動し、**教室全体に拡散**する。

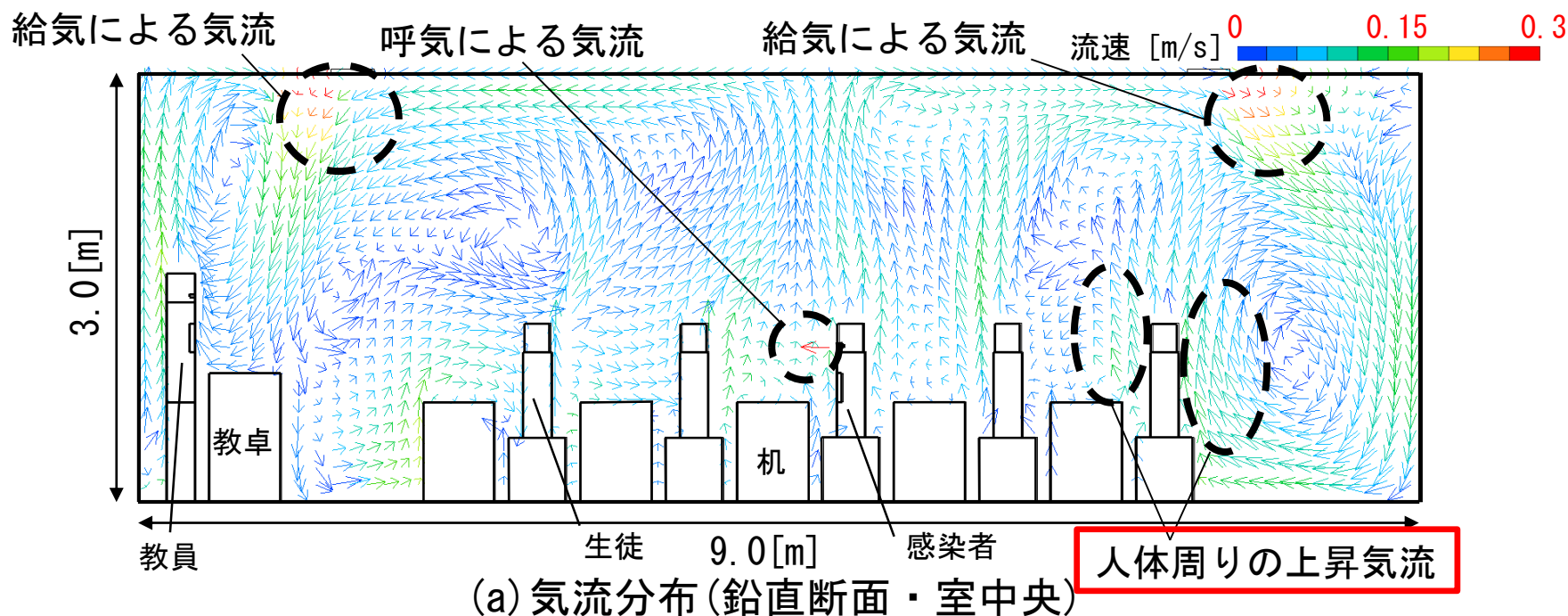
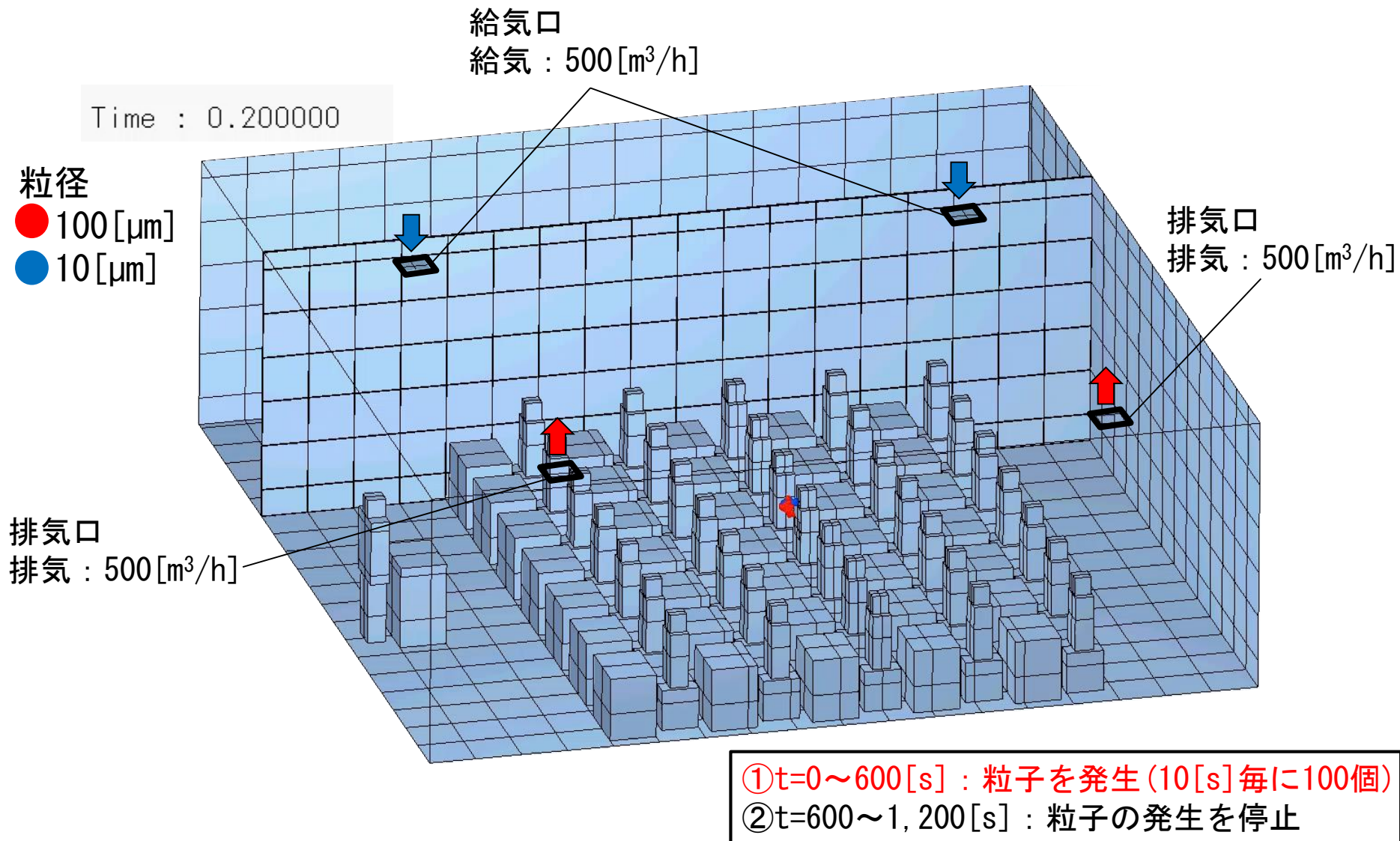


図5 case1-1 解析結果(機械換気※³、等温、換気回数5.3[回/h])

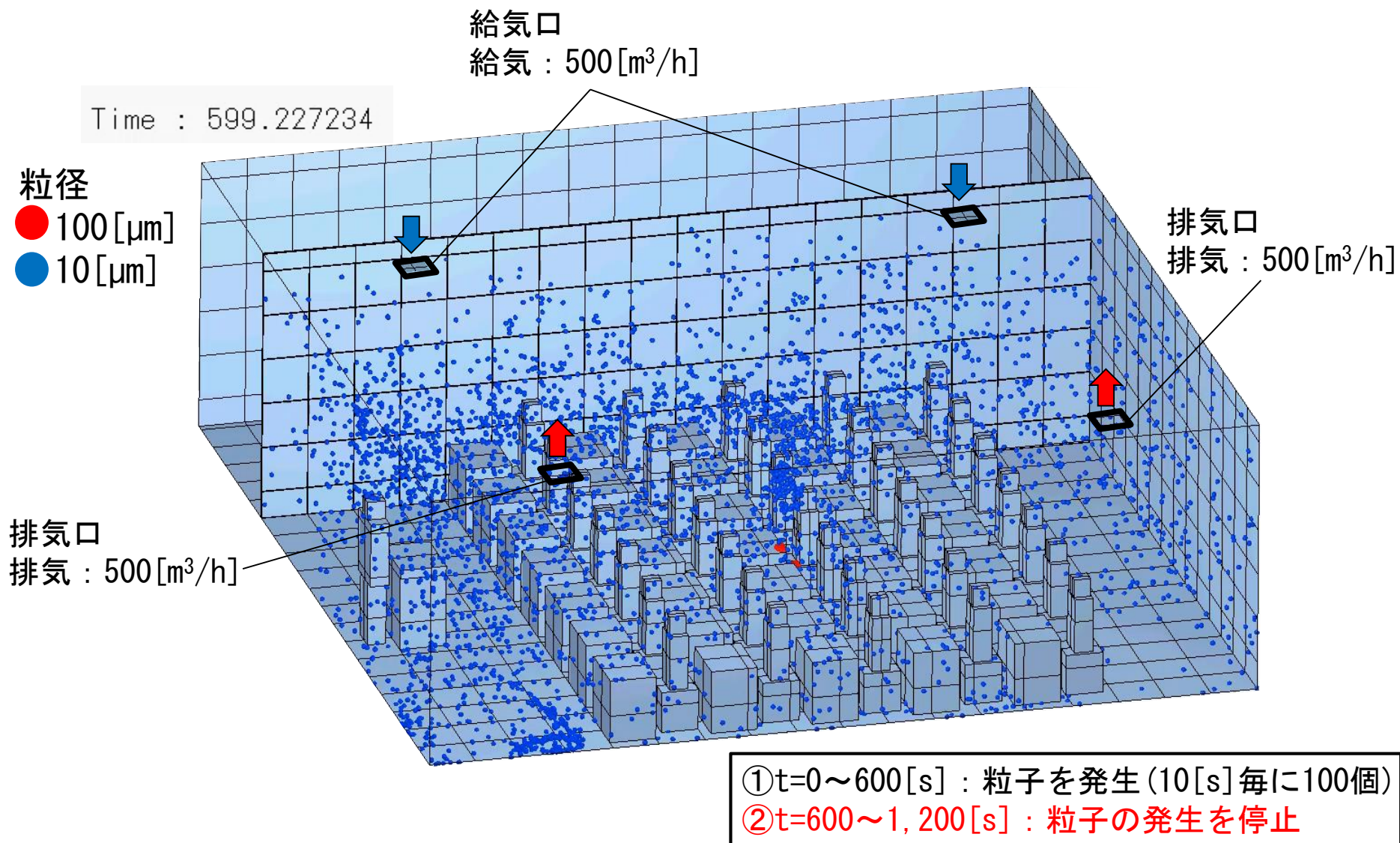
※³ 滞在人員(36人) $\times$ 30[m³/h・人]=1,080[m³/h] $\div$ 1,000[m³/h]とした。換気回数は5.3[回/h]となる。

気流分布・基準化濃度分布



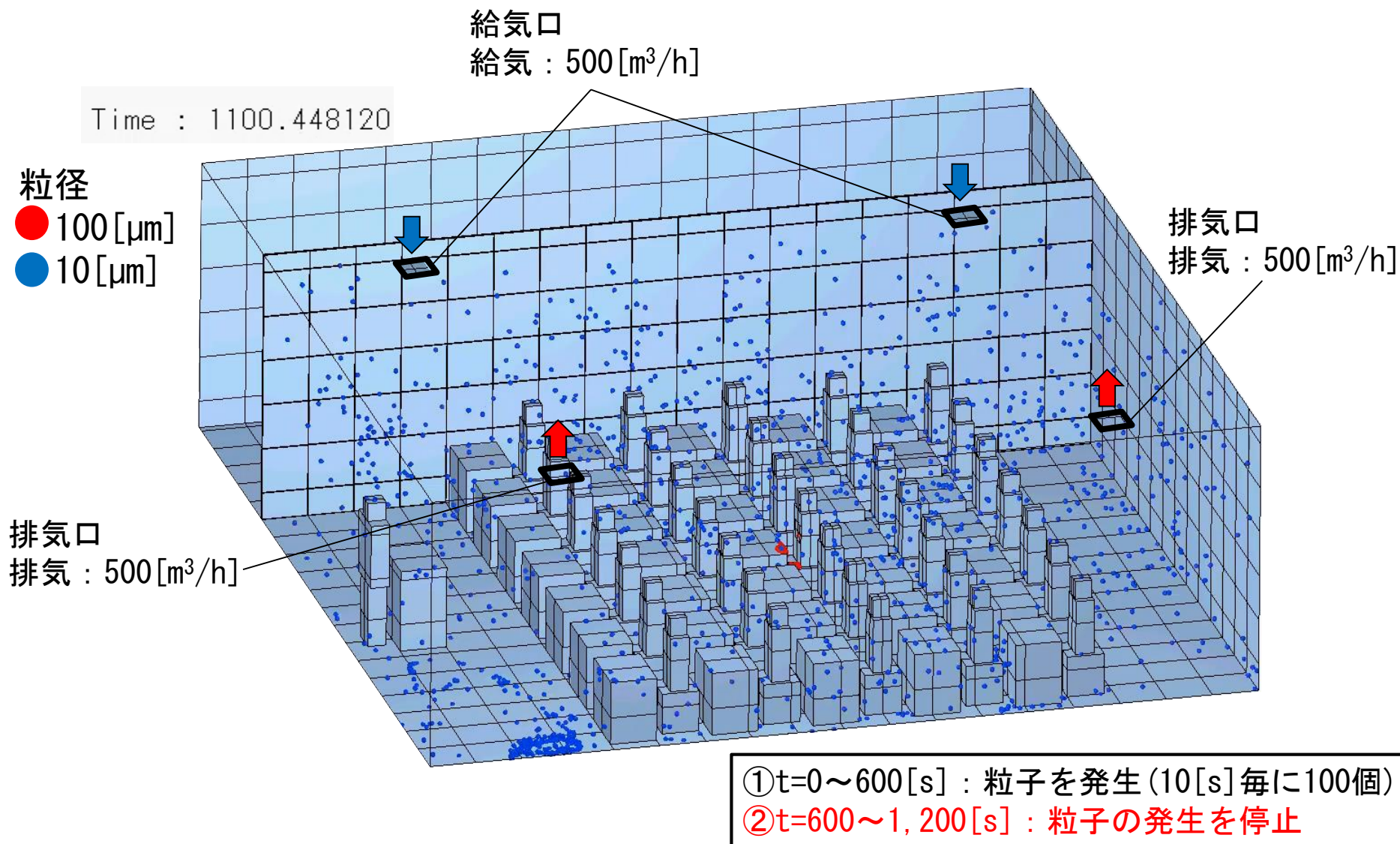
動画 case1-1の粒子の拡散状況 (0~100[s])

気流分布・基準化濃度分布



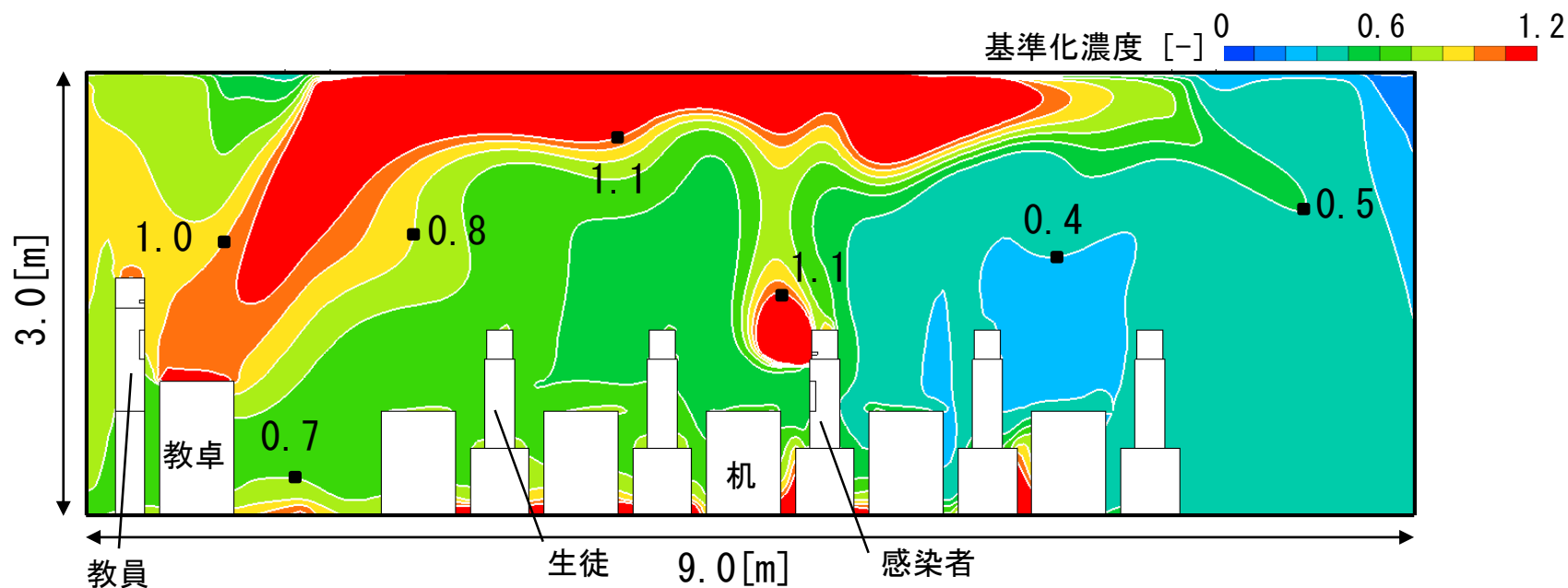
動画 case1-1の粒子の拡散状況(600[s]~)

気流分布・基準化濃度分布



動画 case1-1の粒子の拡散状況 (1, 100 [s] ~)

気流分布・基準化濃度分布



(b) $t=590[s]$ ※⁶の基準化濃度分布※⁷(鉛直断面・室中央)

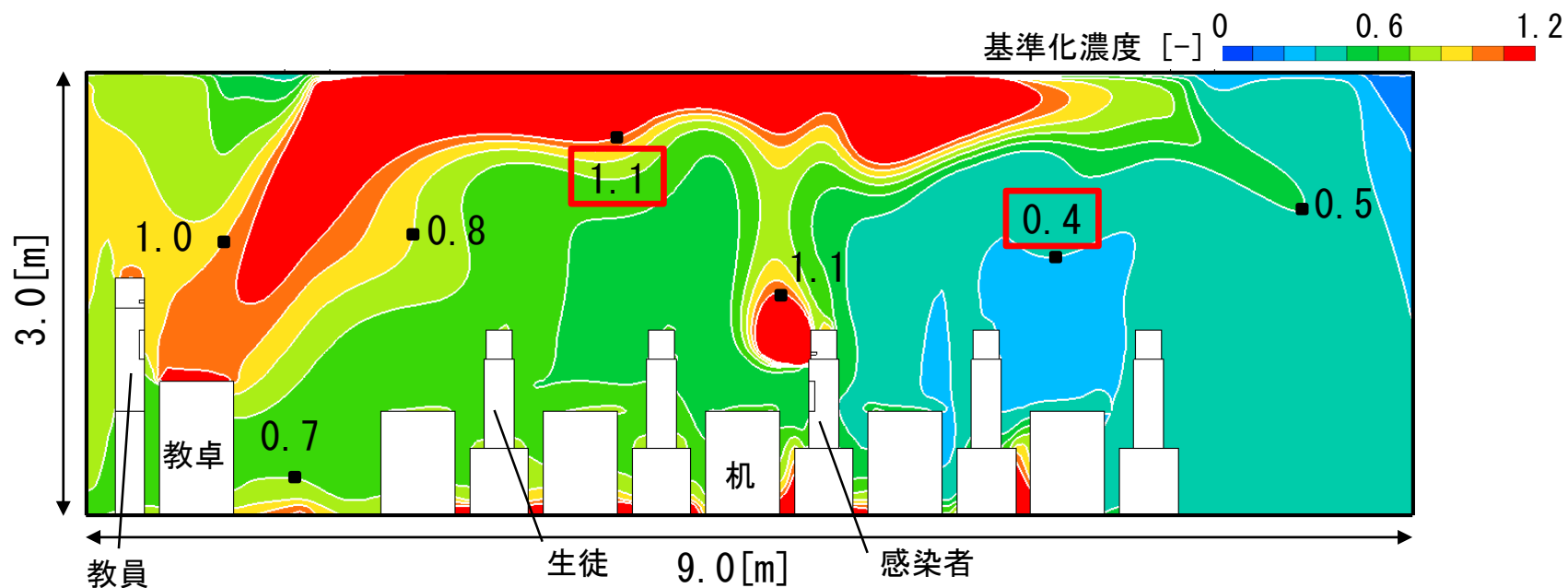
図5 case1-1 解析結果(機械換気、等温、換気回数5.3[回/h])

※⁶ 粒子発生最終時刻とする。

※⁷ 室内で発生するトレーサー量を換気量 ($1,000[m^3/h]$) で除した値を基準濃度とし、各点のトレーサー濃度は基準濃度で除すことで基準化濃度として表す。基準化濃度が 1.0 の時、完全拡散濃度となる。

気流分布・基準化濃度分布

基準化濃度は、室中央天井付近では**1.1程度**と高く、室後方では**0.4程度**と低くなる。



(b) $t=590[s]$ ※⁶の基準化濃度分布※⁷ (鉛直断面・室中央)

図5 case1-1 解析結果(機械換気、等温、換気回数5.3[回/h])

※⁶ 粒子発生最終時刻とする。

※⁷ 室内で発生するトレーサー量を換気量 ($1,000[m^3/h]$) で除した値を基準濃度とし、各点のトレーサー濃度は基準濃度で除すことで基準化濃度として表す。基準化濃度が 1.0 の時、完全拡散濃度となる。

気流分布・基準化濃度分布

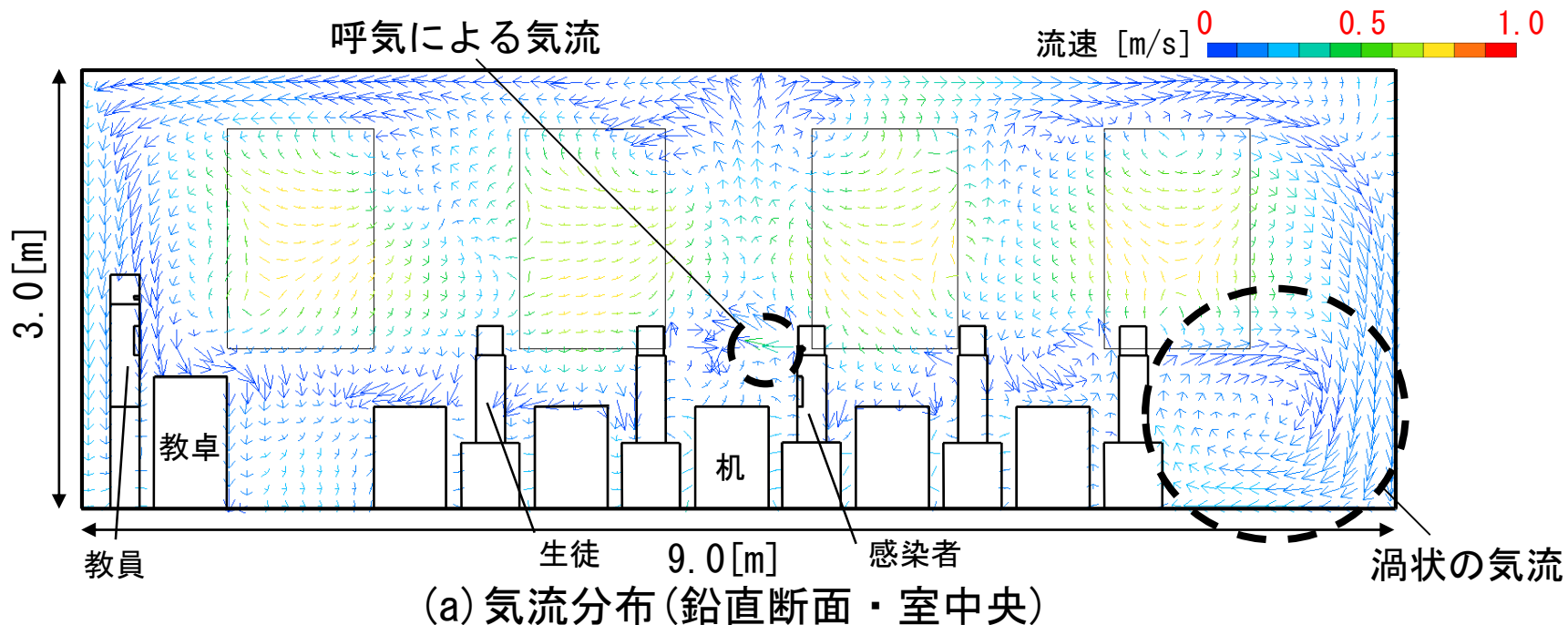


図7 case3-1 解析結果(自然通風※⁵、開口部全開、換気回数85.6[回/h])

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速($z=12$ [m])を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ: $z=4.2$ [m])とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

気流分布・基準化濃度分布

窓を開放して自然通風した場合は、粒径 $10[\mu\text{m}]$ の飛沫は教室廊下側へ移動し、case1-1に比較して**教室全体に拡散する粒子数は極めて少ない。**

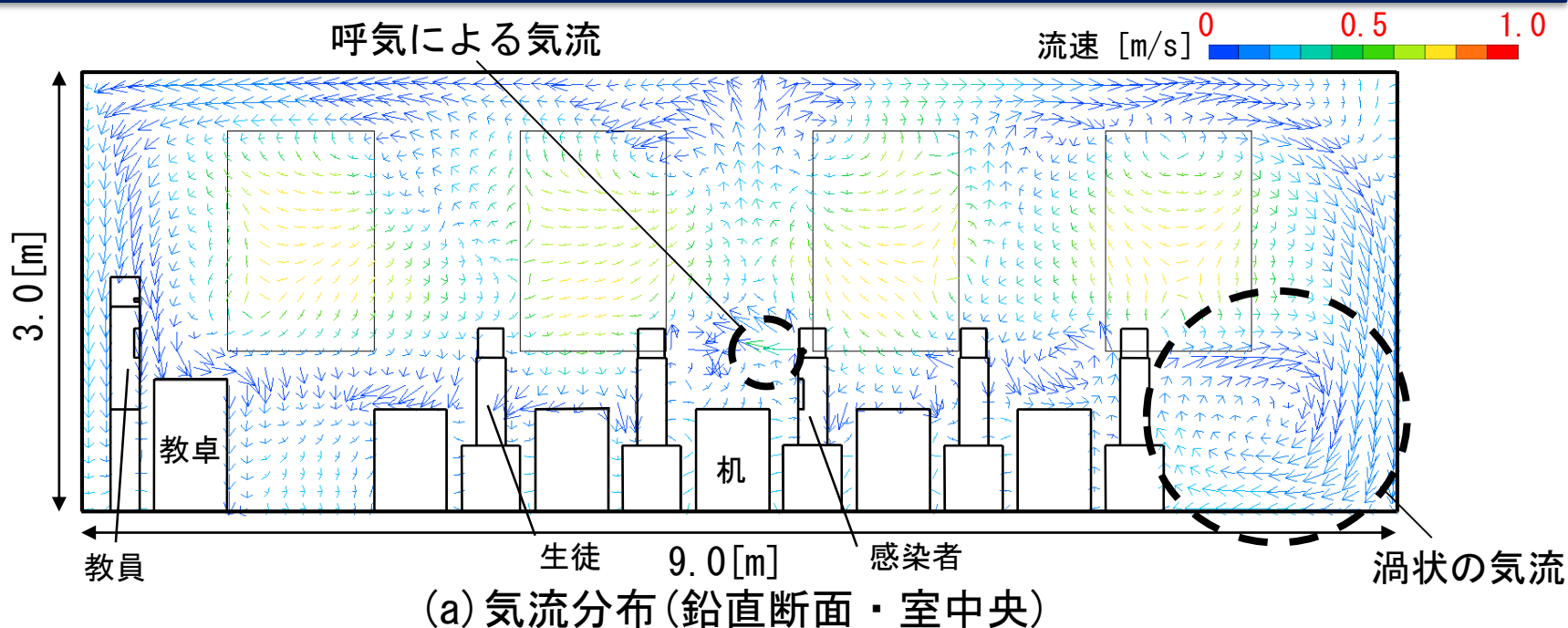


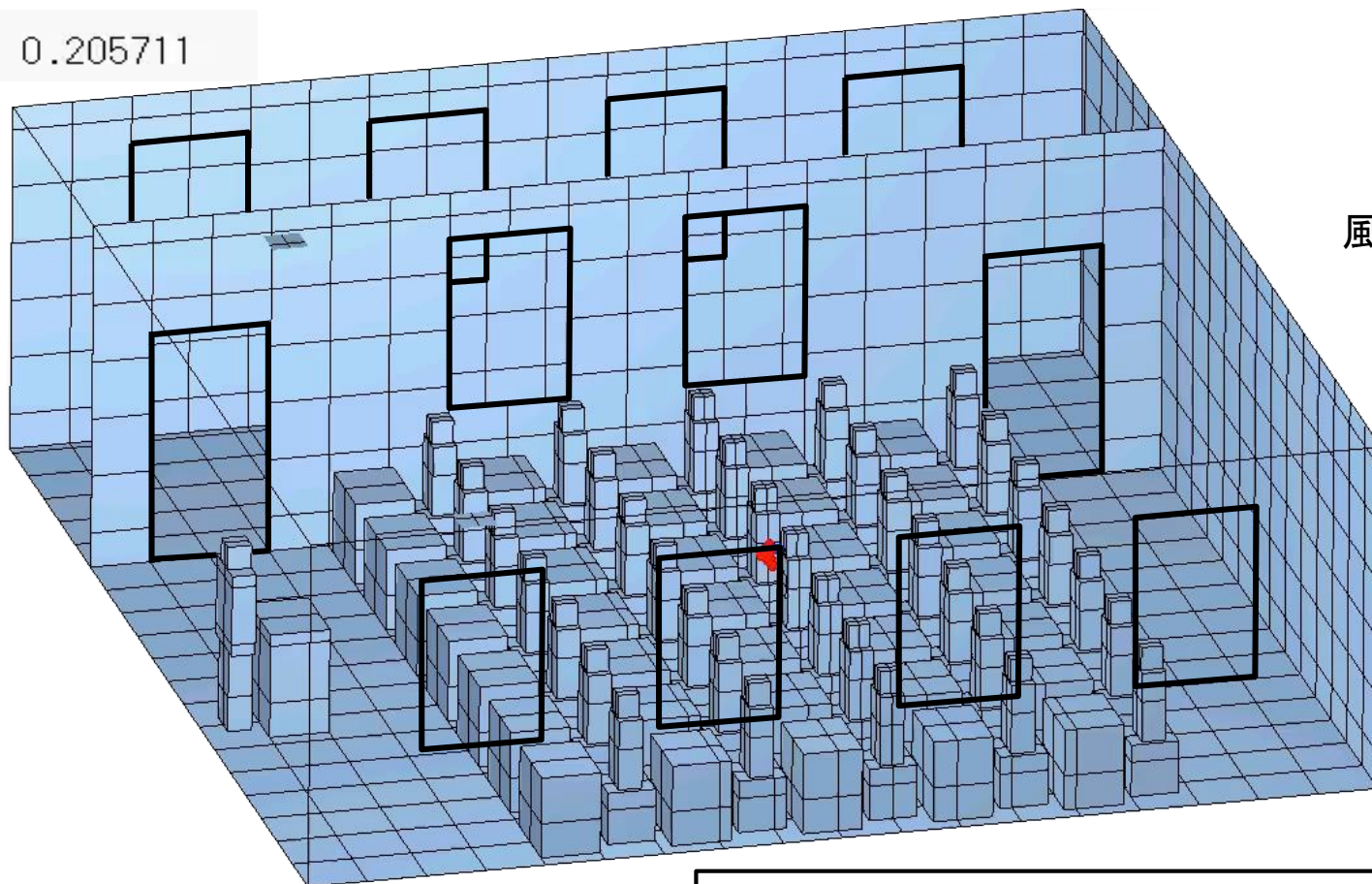
図7 case3-1 解析結果(自然通風※5、開口部全開、換気回数85.6[回/h])

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは $1/4$ 乗則に従うものとし、軒高風速($z=12[\text{m}]$)を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ: $z=4.2[\text{m}]$)とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

気流分布・基準化濃度分布

Time : 0.205711

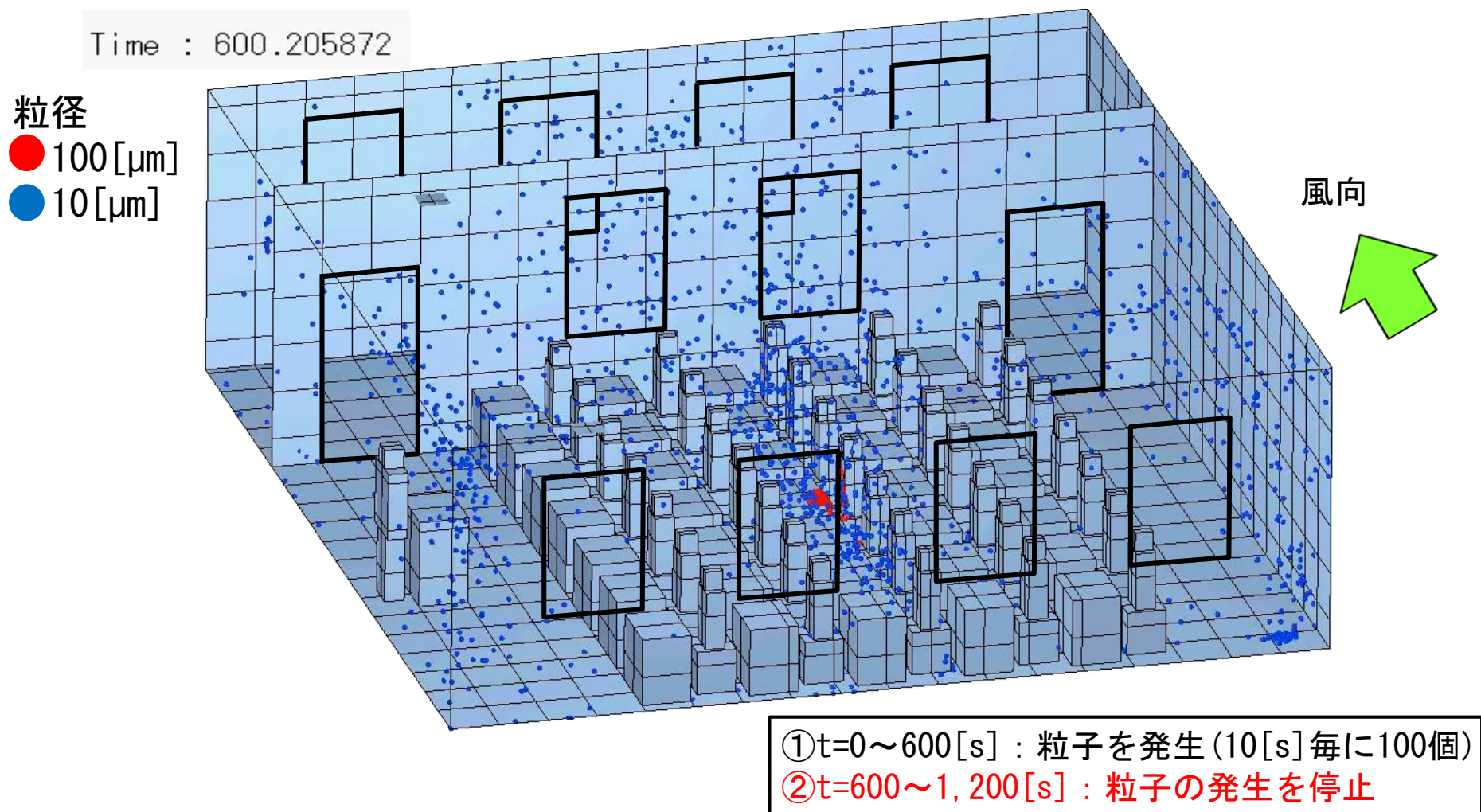
粒径
● 100 [μm]
● 10 [μm]



- ① $t=0 \sim 600$ [s] : 粒子を発生 (10 [s] 毎に100個)
- ② $t=600 \sim 1,200$ [s] : 粒子の発生を停止

動画 case3-1の粒子の拡散状況 (0~100 [s])

気流分布・基準化濃度分布

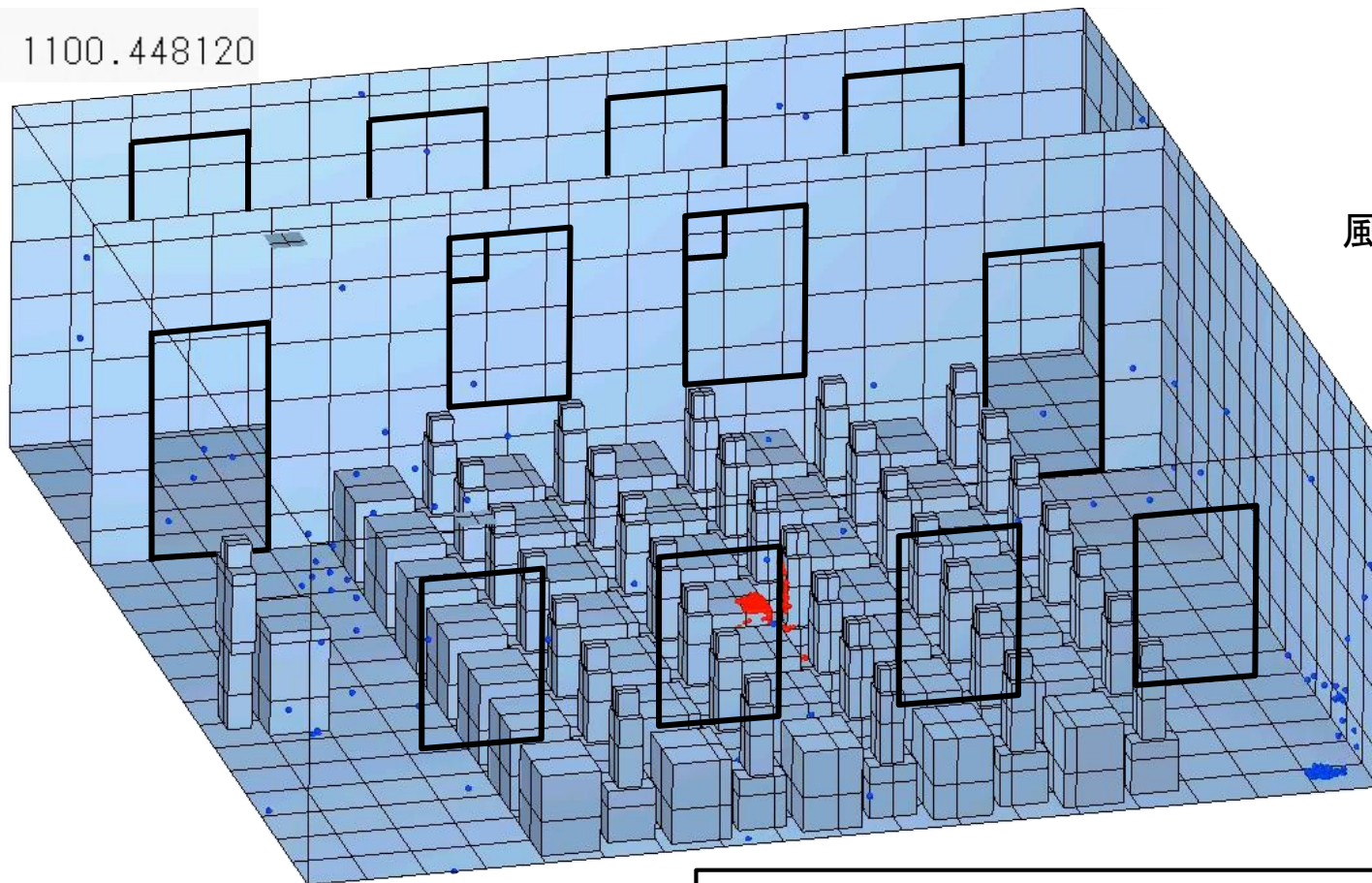


動画 case3-1の粒子の拡散状況 (600[s] ~)

気流分布・基準化濃度分布

Time : 1100.448120

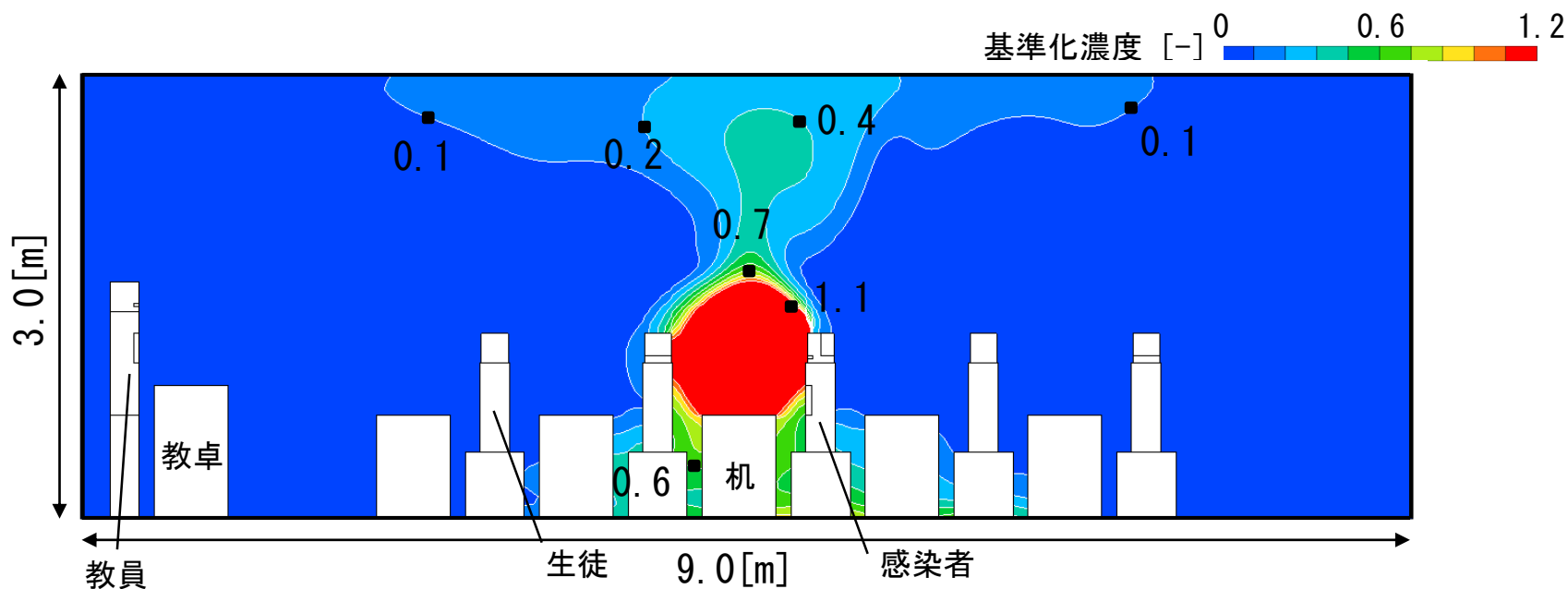
粒径
● 100[μm]
● 10[μm]



- ① $t=0 \sim 600[\text{s}]$: 粒子を発生 (10[s] 毎に100個)
- ② $t=600 \sim 1,200[\text{s}]$: 粒子の発生を停止

動画 case3-1の粒子の拡散状況 (1, 100[s] ~)

気流分布・基準化濃度分布



(b) $t=590[s]$ ※⁶の基準化濃度分布※⁷(鉛直断面・室中央)

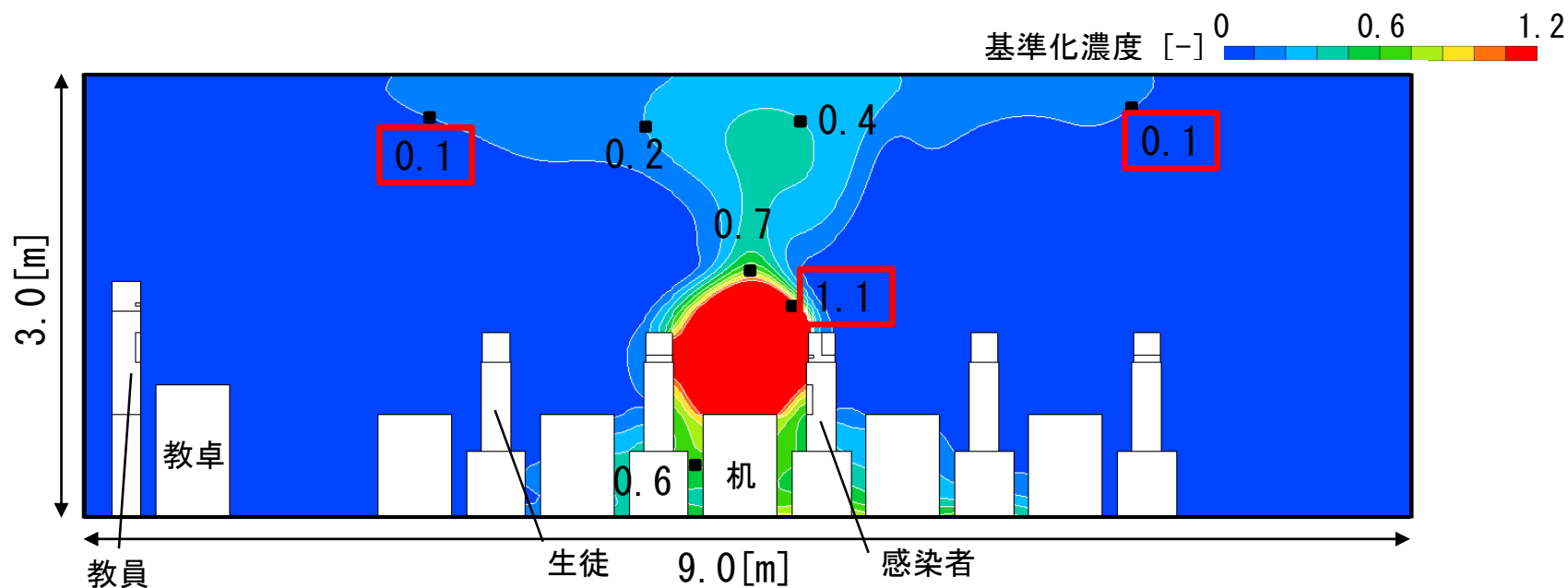
図7 case3-1 解析結果(自然通風、開口部全開、換気回数85.6[回/h])

※⁶ 粒子発生最終時刻とする。

※⁷ 室内で発生するトレーサー量を換気量(1,000[m³/h])で除した値を基準濃度とし、各点のトレーサー濃度は基準濃度で除すことで基準化濃度として表す。基準化濃度が1.0の時、完全拡散濃度となる。

気流分布・基準化濃度分布

基準化濃度は、感染者付近では**1.1程度**と高いが、室前方、室後方では**0.1程度**と極めて低い。



(b) $t=590[s]$ ※⁶の基準化濃度分布※⁷(鉛直断面・室中央)

図7 case3-1 解析結果(自然通風、開口部全開、換気回数85.6[回/h])

※⁶ 粒子発生最終時刻とする。

※⁷ 室内で発生するトレーサー量を換気量 ($1,000[m^3/h]$) で除した値を基準濃度とし、各点のトレーサー濃度は基準濃度で除することで基準化濃度として表す。基準化濃度が 1.0 の時、完全拡散濃度となる。

各caseの排出率

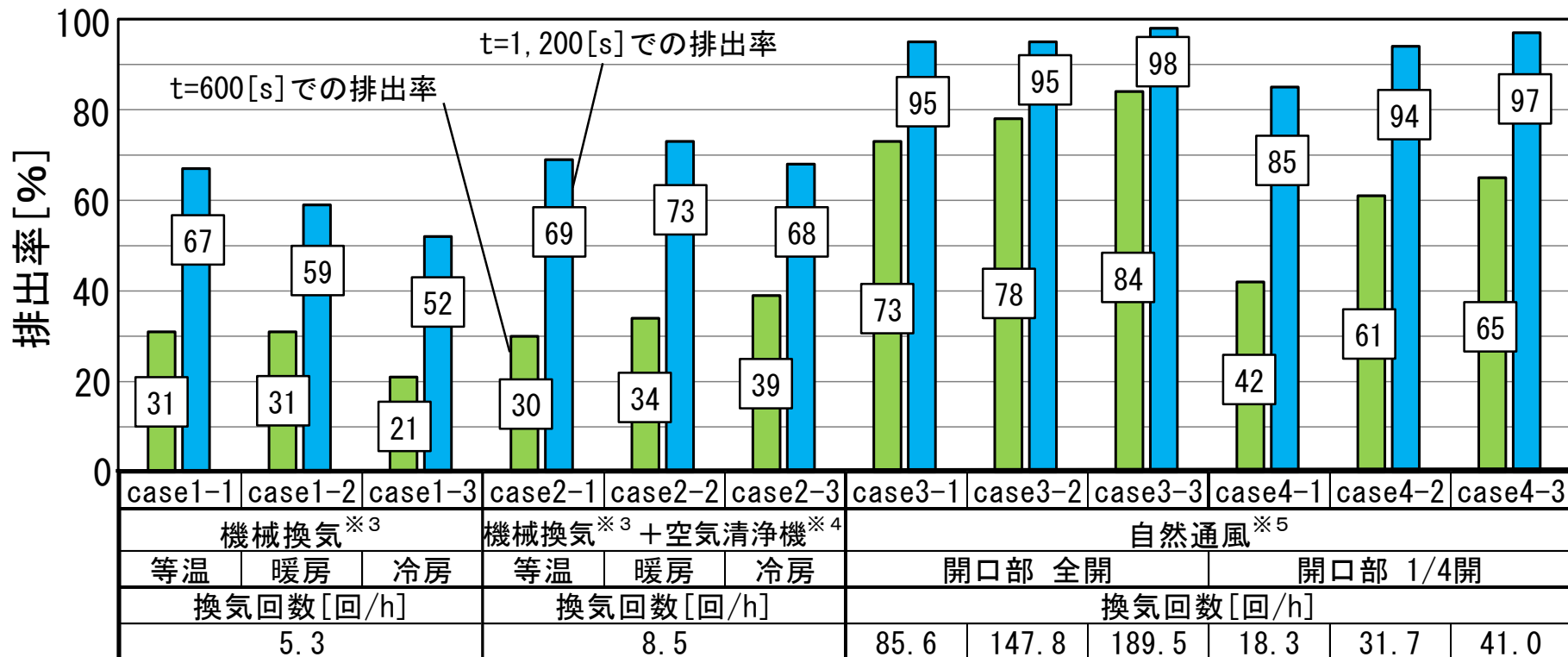


図9 各case毎の排出率 (t=600[s]、1, 200[s])

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速(z=12[m])を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ:z=4.2[m])とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

各caseの排出率

case1-1の排出率は $t=600[s]$ では31[%]、 $t=1,200[s]$ では67[%]となる。

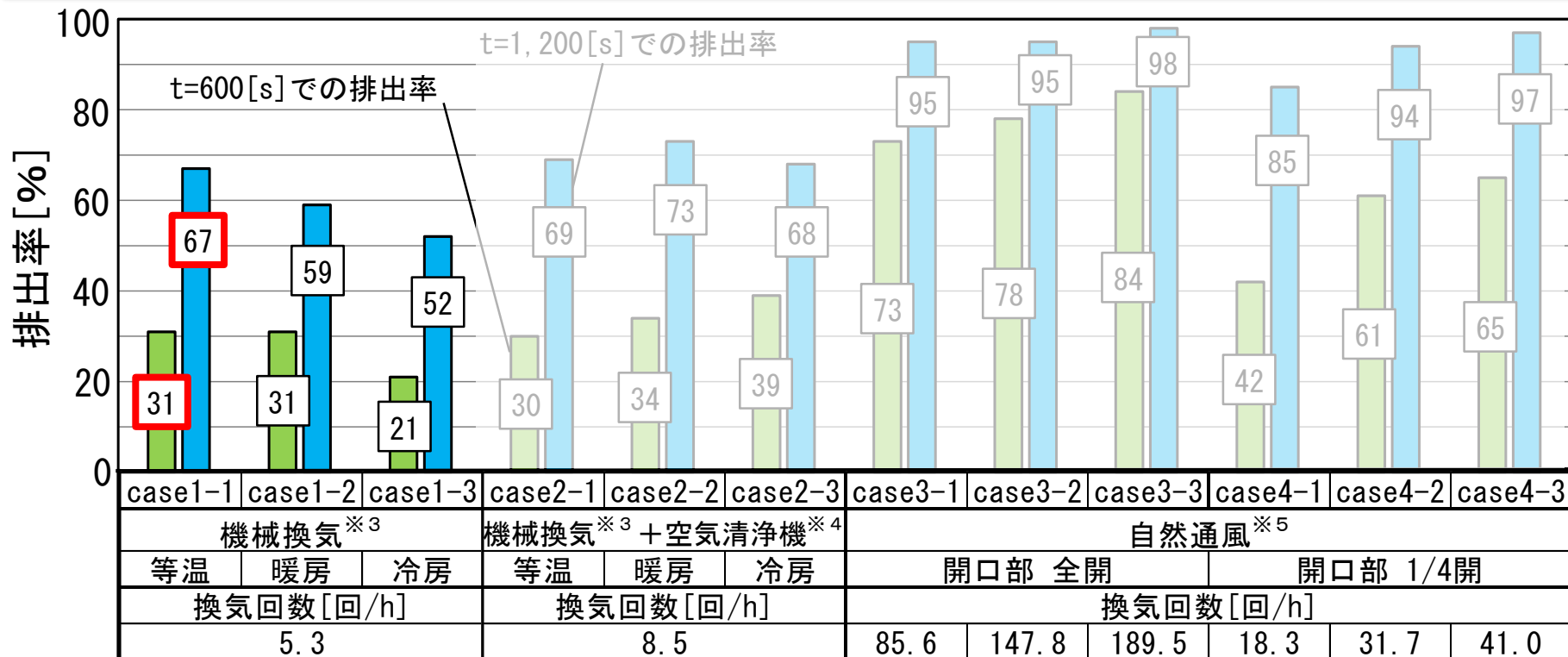


図9 各case毎の排出率 ($t=600[s]$ 、 $1,200[s]$)

※⁴ 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※⁵ 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速($z=12[m]$)を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ: $z=4.2[m]$)とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

各caseの排出率

case1-2、case1-3の排出率はcase1-1に比較して低くなる。

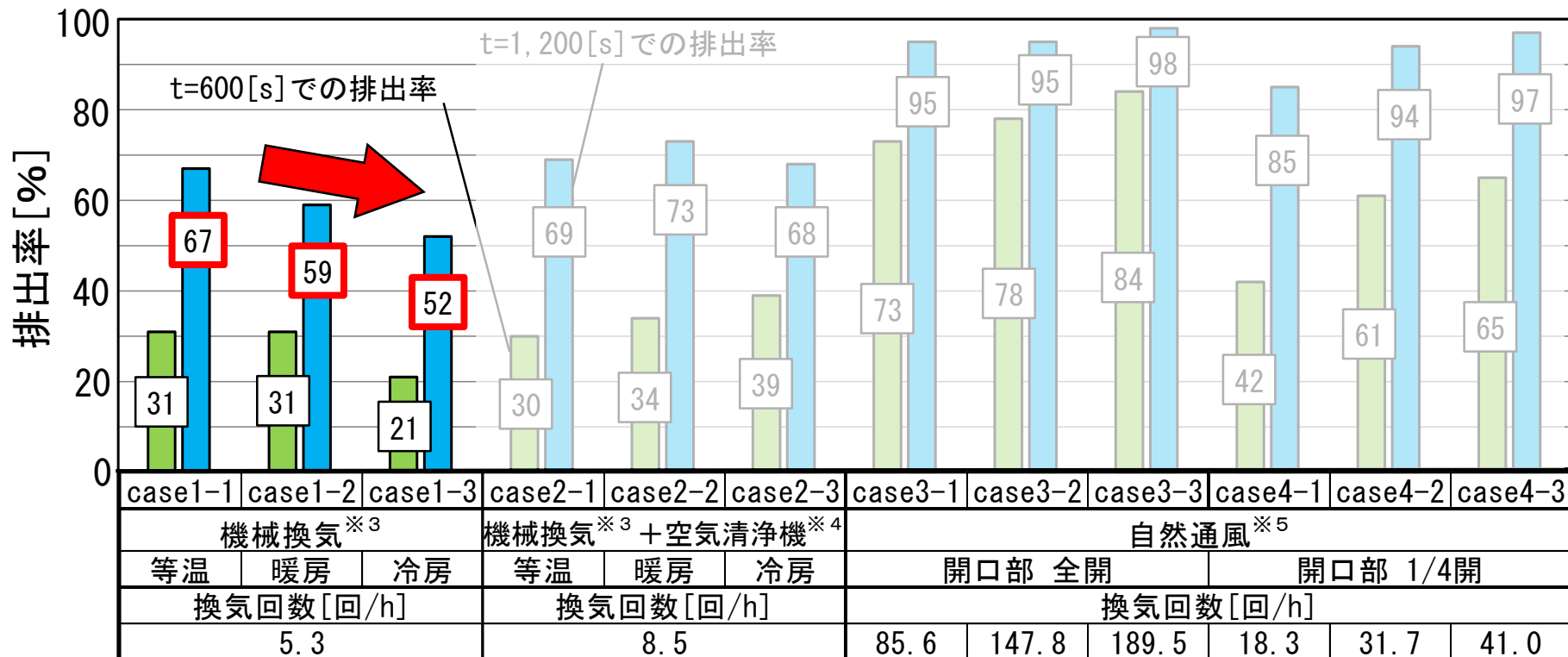


図9 各case毎の排出率 (t=600[s]、1,200[s])

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速(z=12[m])を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ:z=4.2[m])とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

各caseの排出率

case2-1の排出率は $t=600[s]$ では30[%]、 $t=1,200[s]$ では69[%]となり、case1-1に比較して殆ど差は見られない。

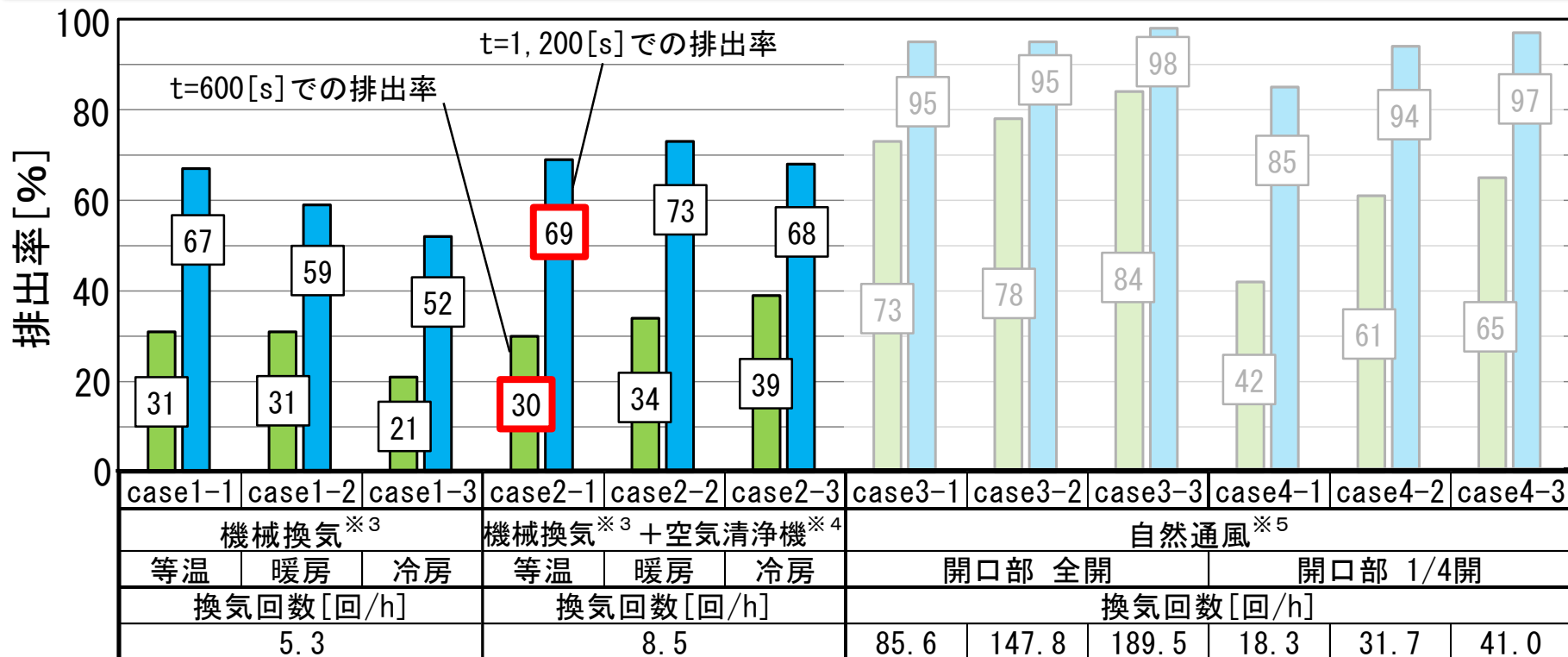


図9 各case毎の排出率 ($t=600[s]$ 、 $1,200[s]$)

※⁴ 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※⁵ 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速($z=12[m]$)を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ: $z=4.2[m]$)とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

各caseの排出率

空調を行ったcase2-2、case2-3の排出率は、case1-2、case1-3に比較して高くなる。

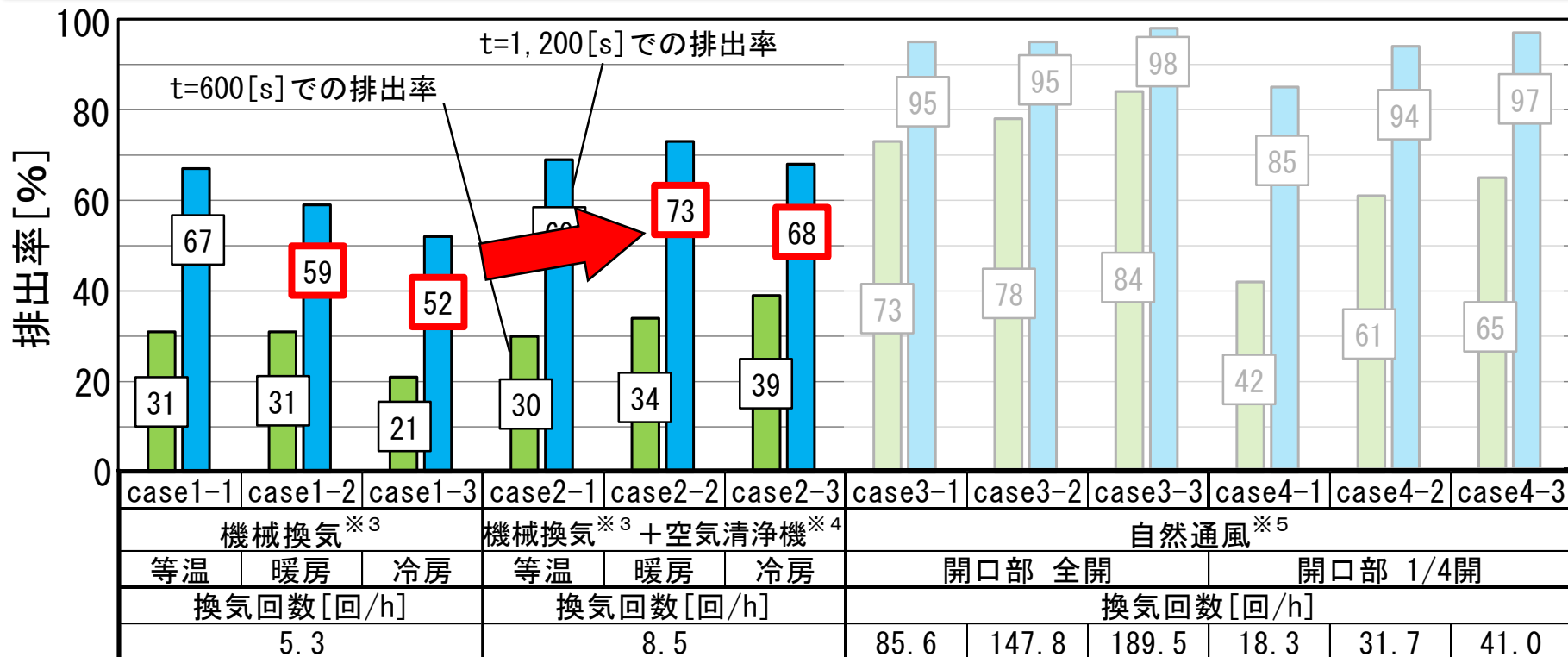


図9 各case毎の排出率 (t=600[s]、1, 200[s])

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速(z=12[m])を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ:z=4.2[m])とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

各caseの排出率

全てのcaseにおいて $t=1, 200[s]$ での排出率が90[%]程度となり、機械換気を行った場合のcaseに比較して極めて高い。

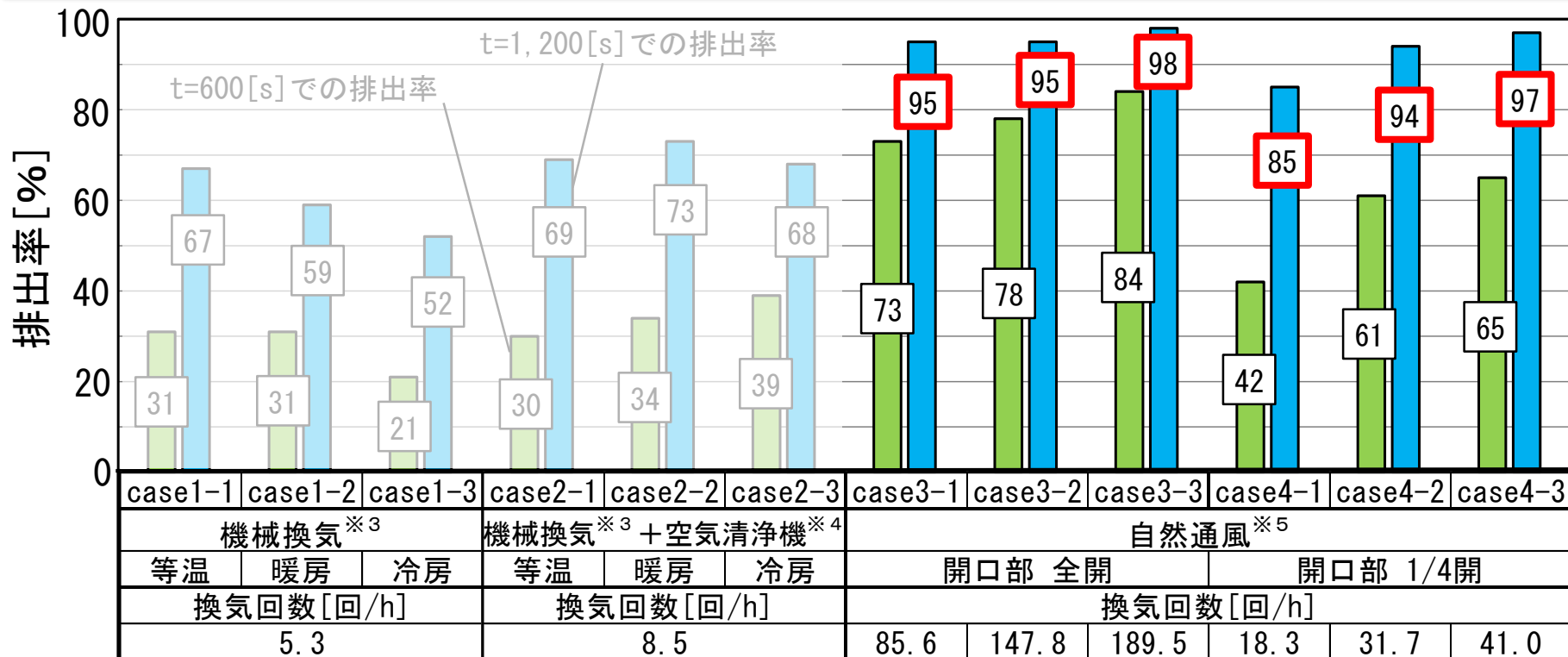


図9 各case毎の排出率 ($t=600[s]$ 、 $1, 200[s]$)

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速($z=12[m]$)を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ: $z=4.2[m]$)とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

各caseの排出率

これはcase1-1に比較して換気量が増えているためと考えられる。**夏季は窓を開放することが極めて効果的である。**

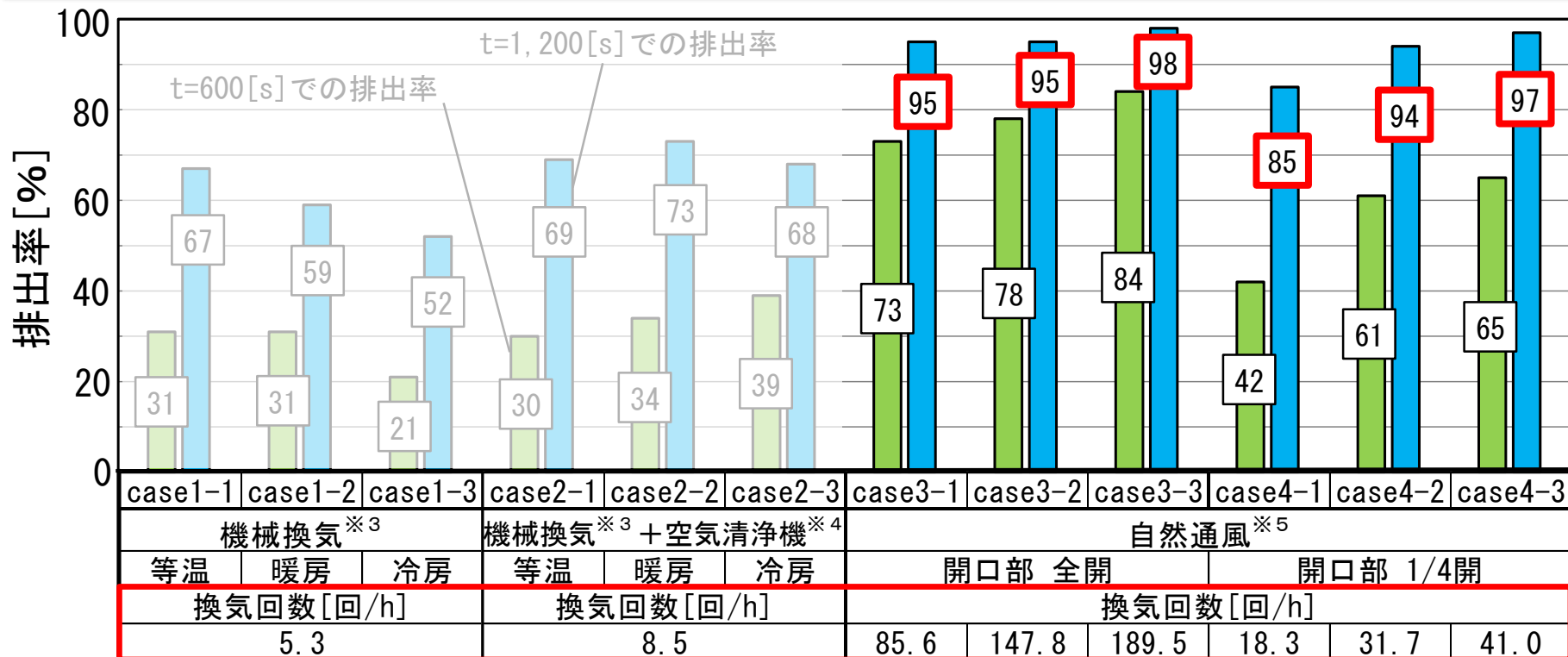
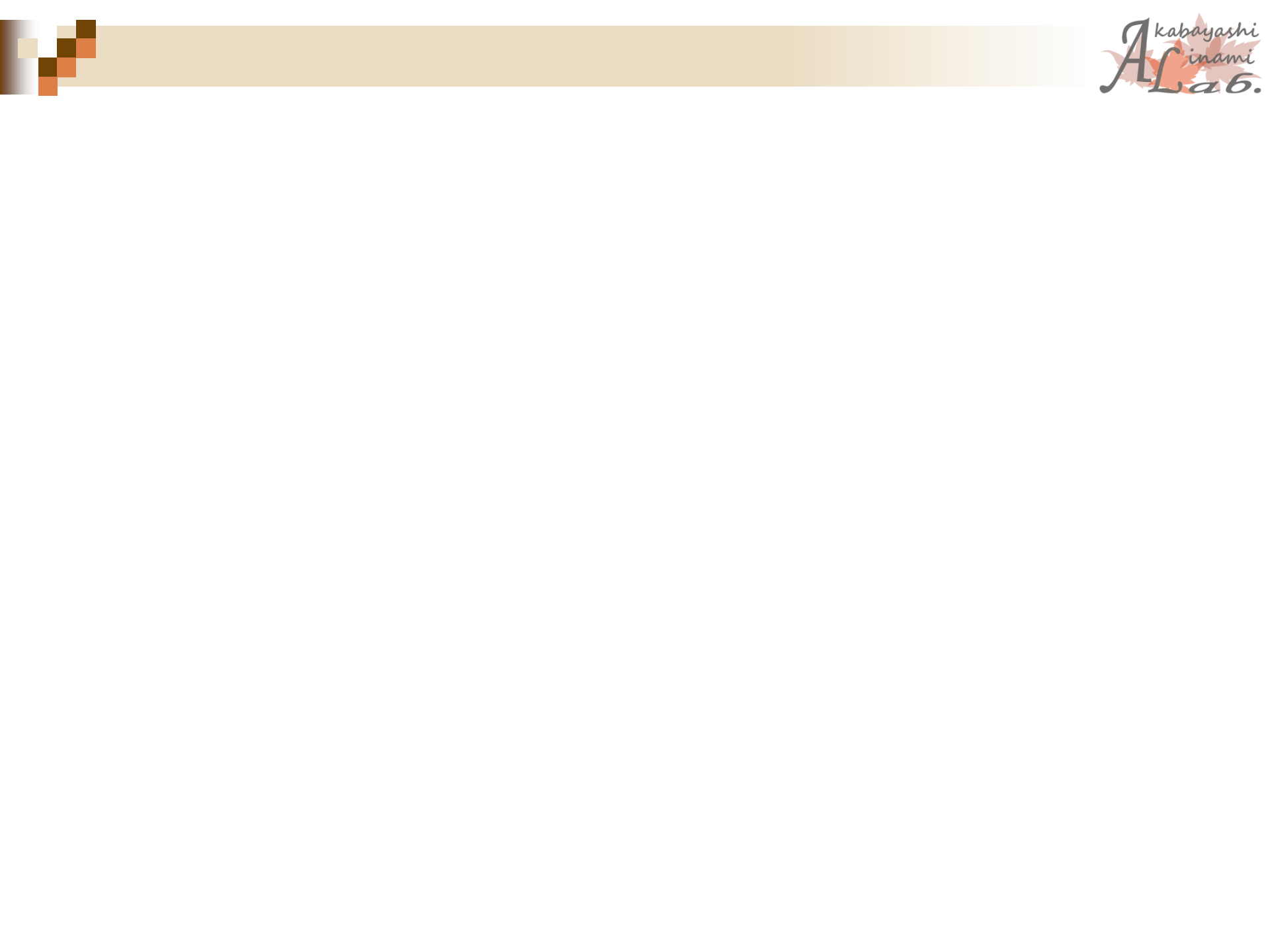


図9 各case毎の排出率 (t=600[s]、1, 200[s])

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

※5 本研究では、一般的な小学校を対象としており、外部風の鉛直プロファイルは1/4乗則に従うものとし、軒高風速(z=12[m])を基準風速とする。対象教室は3階建ての2階(床面の高さ:z=4.2[m])とし、風向は教室から流入し廊下の窓から流出するものとする。

- ①case1-1において粒径 $10[\mu\text{m}]$ の飛沫は人体周辺の上昇気流により天井付近へ移動し、教室全体に拡散する。
- ②case1-1の排出率は $t=600[\text{s}]$ では31[%]、 $t=1,200[\text{s}]$ では67[%]となる。
- ③自然通風の全てのcaseにおいて $t=1,200[\text{s}]$ での排出率が90[%]程度となり、機械換気を行った場合のcaseに比較して極めて高い。夏季は窓を開放することが極めて効果的である。



数値流体解析 (CFD)

数値流体解析 (CFD) により、流体の流れや熱の伝わり方の様子を解析することができる。全ての乱流渦をモデルにより表現し解析する手法をレイノルズ平均モデル (RANS) といい、本報で用いている手法である。

流量収支

吹出は口から行う。流量収支を合わせるため、吸込を行う必要があるが、本来は吸込と吹出は同時に発生しないため、吹出気流に影響を与えないよう腹部に吸込部分(口の100倍の面積)を設けた。

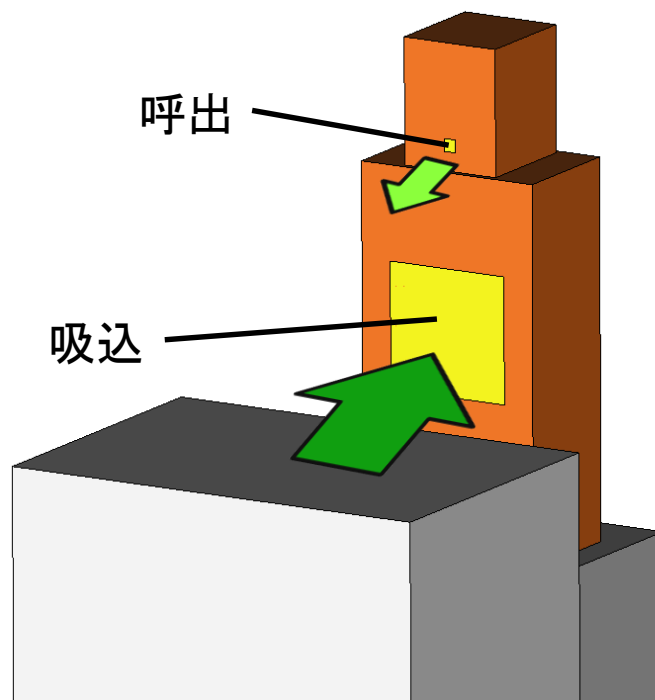


図 流量収支

気流分布・基準化濃度分布

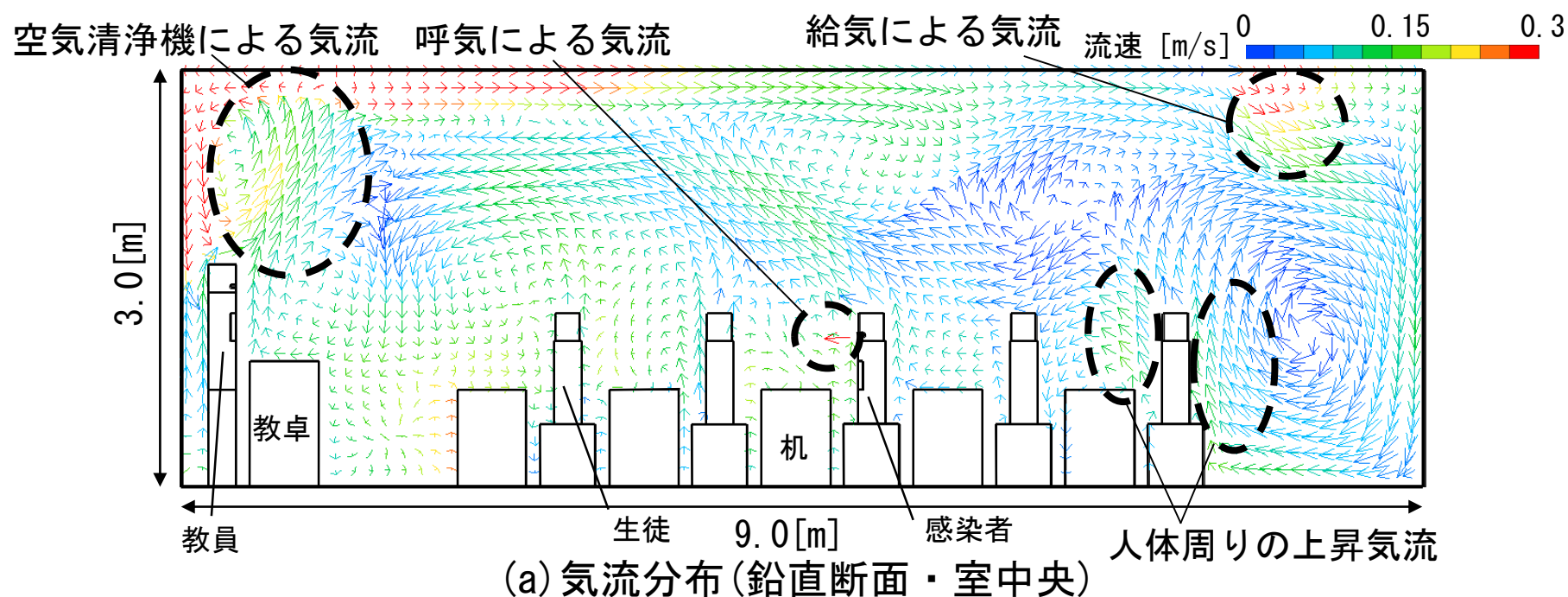


図6 case2-1 解析結果 (機械換気^{※3}+空気清浄機^{※4}、等温、換気回数8.5[回/h])

※3 滞在人員 (36人) $\times$ 30[m³/h・人]=1,080[m³/h] $\div$ 1,000[m³/h]とした。換気回数は5.3[回/h]となる。

※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

気流分布・基準化濃度分布

case1-1同様、粒径 $10[\mu\text{m}]$ の飛沫は人体周辺の上昇気流により天井付近へ移動し、**教室全体に拡散**する。

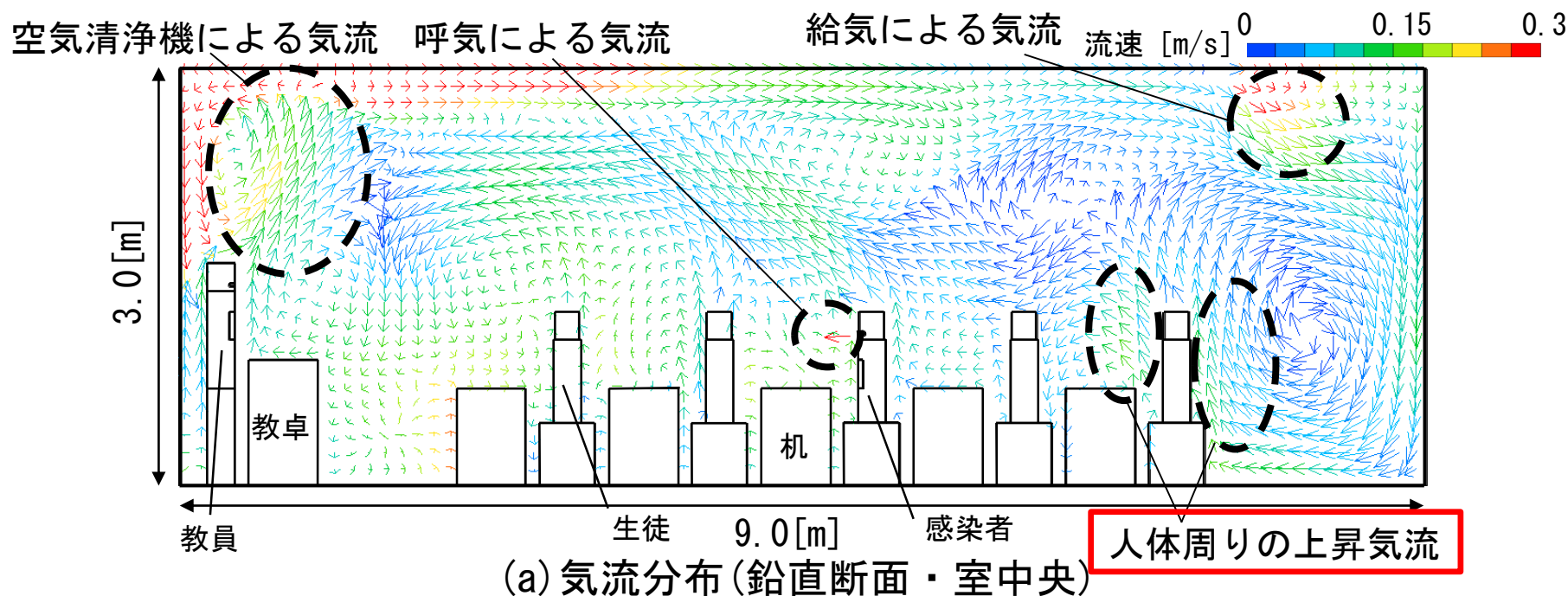
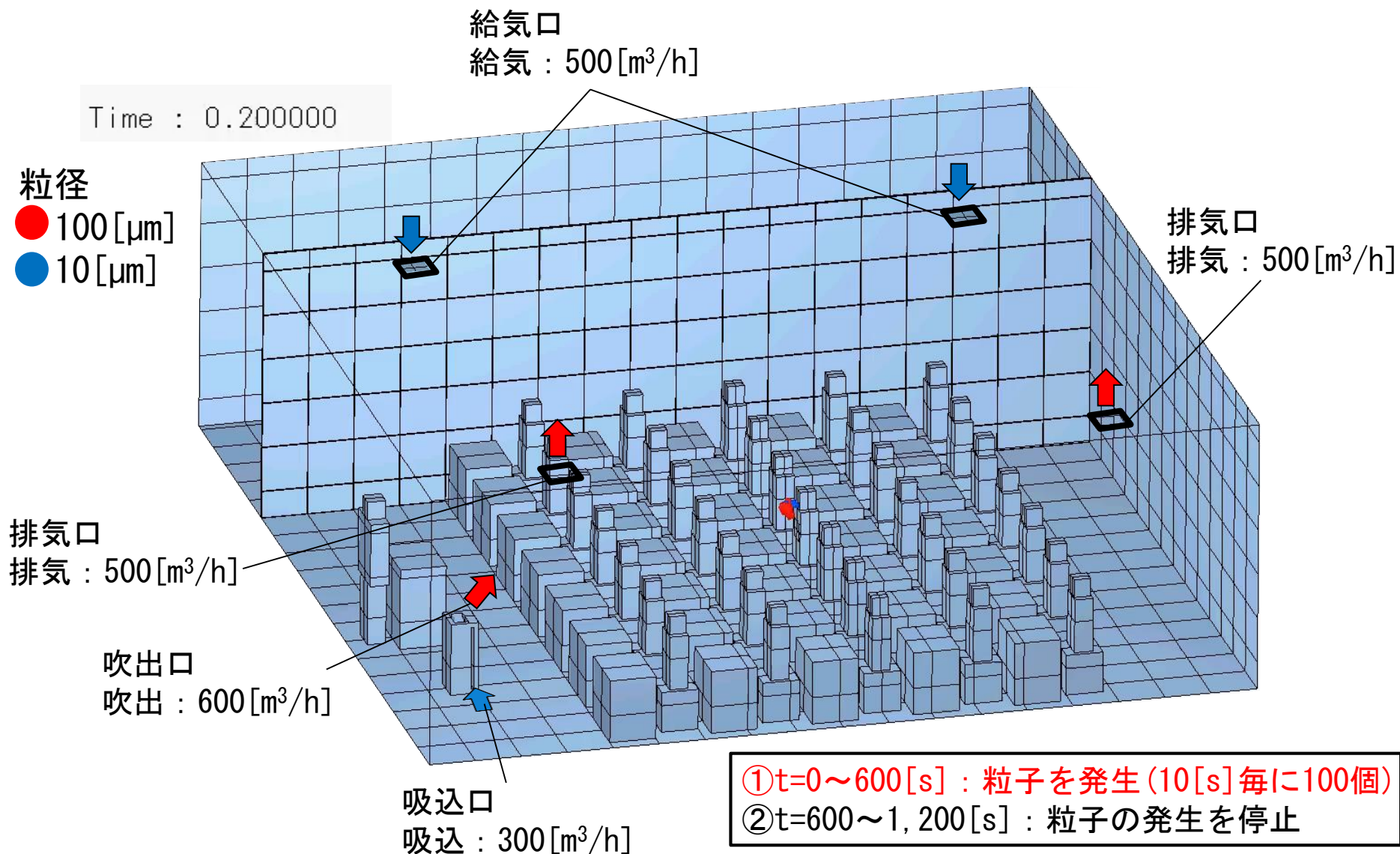


図6 case2-1 解析結果 (機械換気^{※3}+空気清浄機^{※4}、等温、換気回数8.5[回/h])

※3 滞在人員(36人) $\times 30[\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{人}] = 1,080[\text{m}^3/\text{h}] \div 1,000[\text{m}^3/\text{h}]$ とした。換気回数は5.3[回/h]となる。

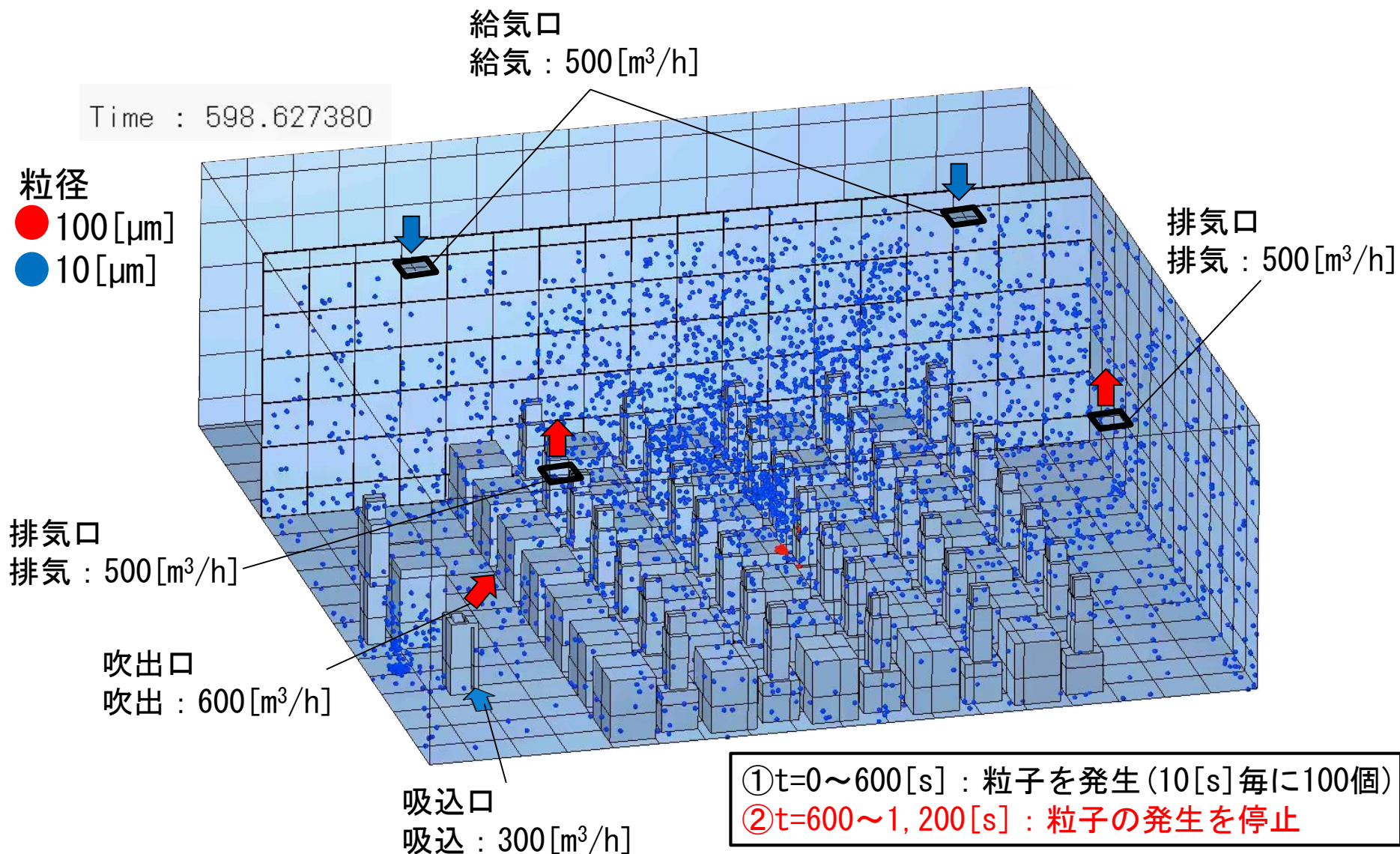
※4 本研究では、空気清浄機の飛沫除去率を100[%]とする。

気流分布・基準化濃度分布



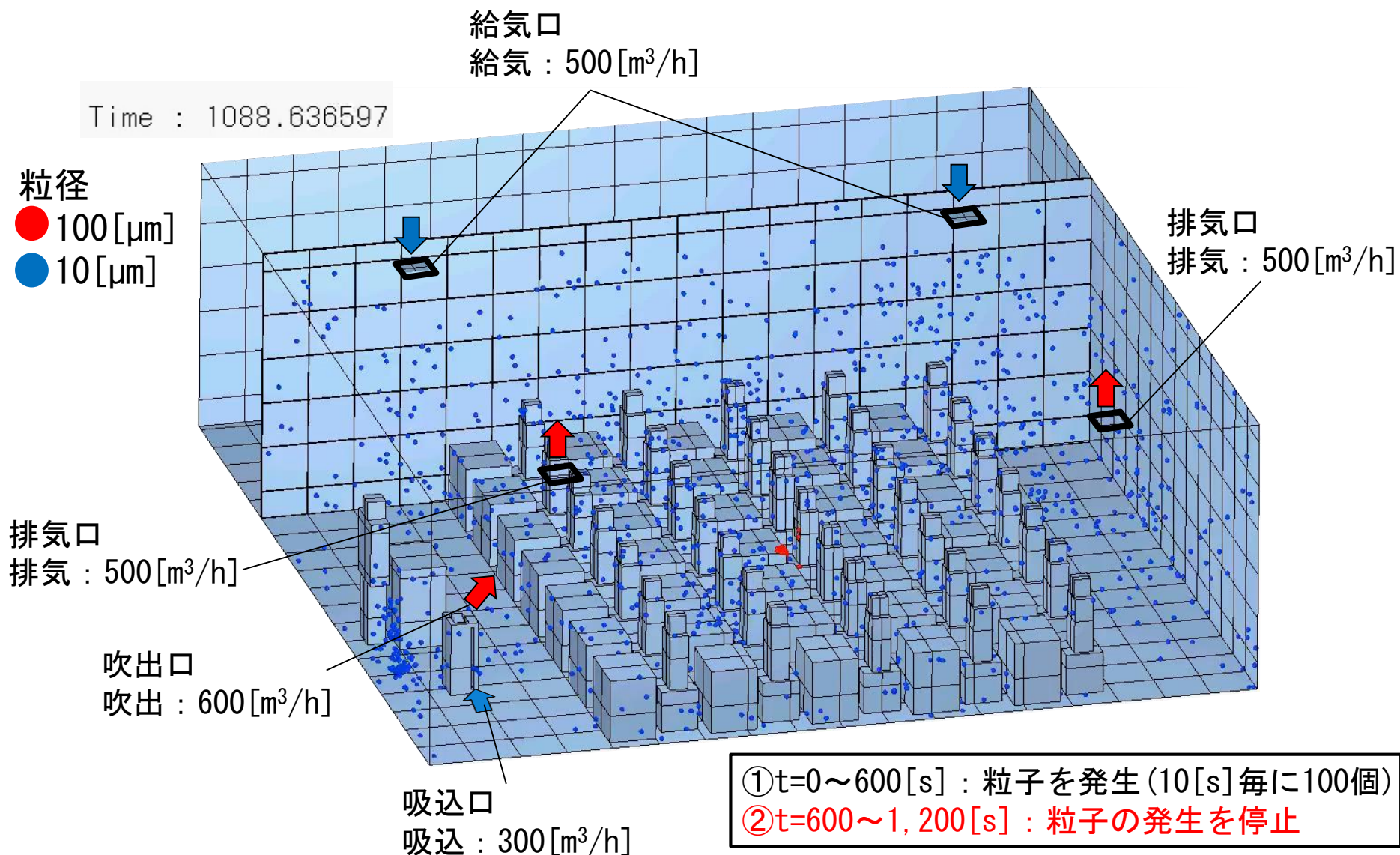
動画 case2-1の粒子の拡散状況 (0~100[s])

気流分布・基準化濃度分布



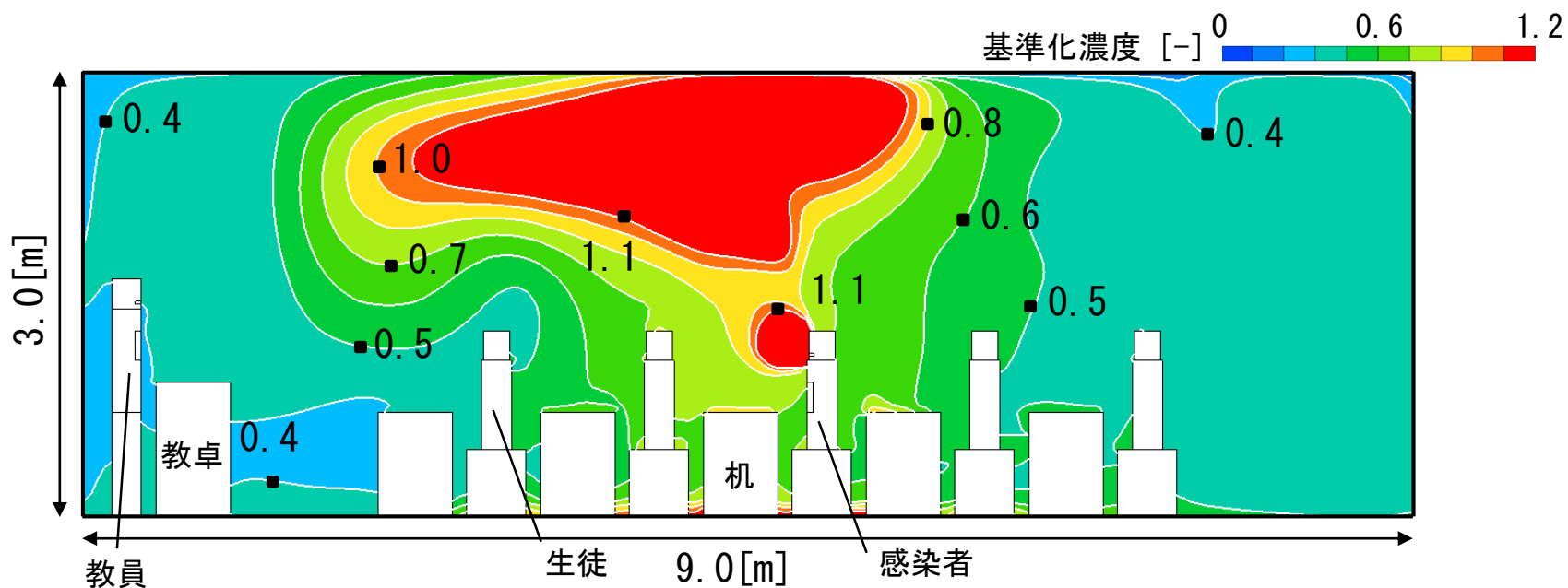
動画 case2-1の粒子の拡散状況 (600 [s] ~)

気流分布・基準化濃度分布



動画 case2-1の粒子の拡散状況 (1, 100 [s] ~)

気流分布・基準化濃度分布



(b) $t=590[s]$ ※⁶の基準化濃度分布※⁷(鉛直断面・室中央)

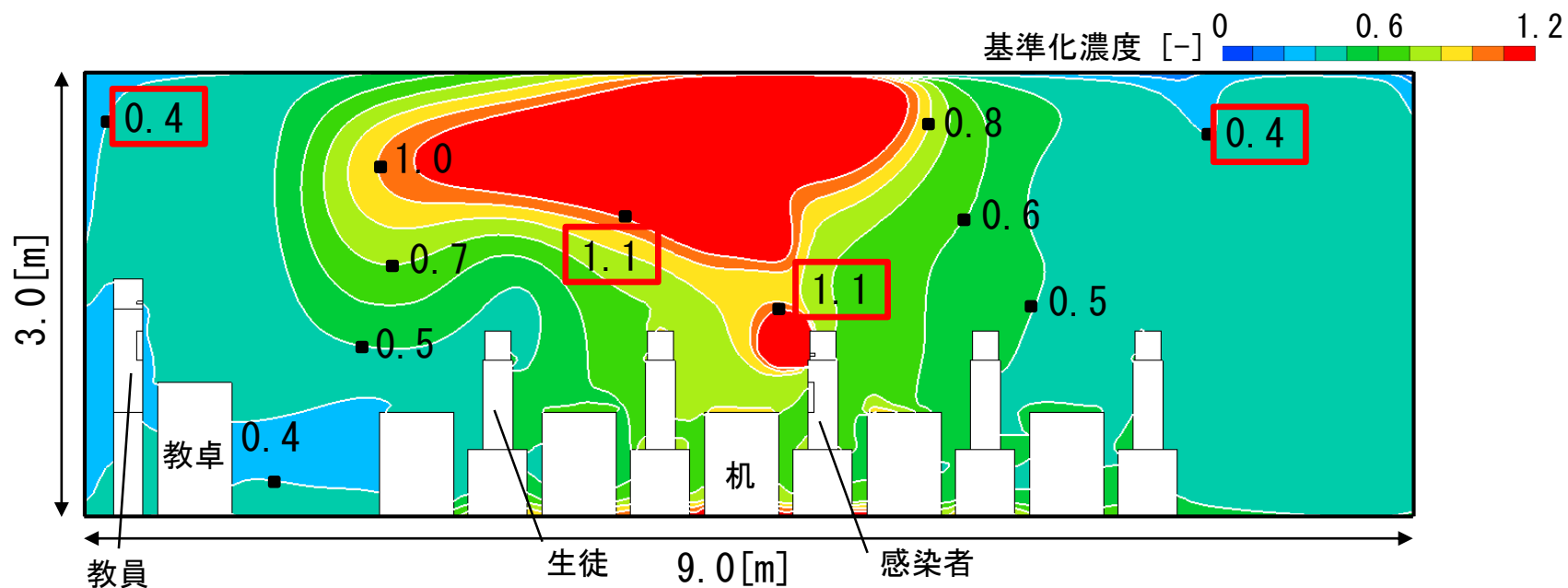
図 6 case2-1 解析結果(機械換気+空気清浄機、等温、換気回数8.5[回/h])

※⁶ 粒子発生最終時刻とする。

※⁷ 室内で発生するトレーサー量を換気量 ($1,000[m^3/h]$) で除した値を基準濃度とし、各点のトレーサー濃度は基準濃度で除すことで基準化濃度として表す。基準化濃度が 1.0 の時、完全拡散濃度となる。

気流分布・基準化濃度分布

基準化濃度は室中央天井付近、感染者付近では**1.1程度**と高く、室前方、室後方では**0.4程度**と低くなる。



(b) $t=590[s]$ ※⁶の基準化濃度分布※⁷(鉛直断面・室中央)

図6 case2-1 解析結果(機械換気+空気清浄機、等温、換気回数8.5[回/h])

※⁶ 粒子発生最終時刻とする。

※⁷ 室内で発生するトレーサー量を換気量(1,000[m³/h])で除した値を基準濃度とし、各点のトレーサー濃度は基準濃度で除すことで基準化濃度として表す。基準化濃度が1.0の時、完全拡散濃度となる。

排出割合

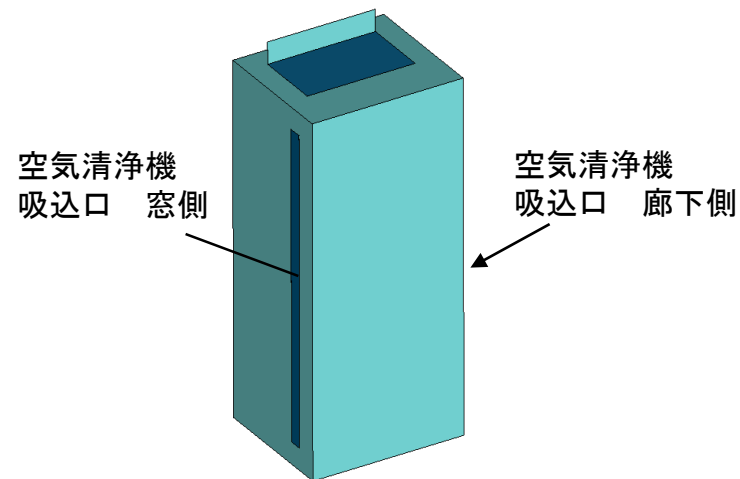
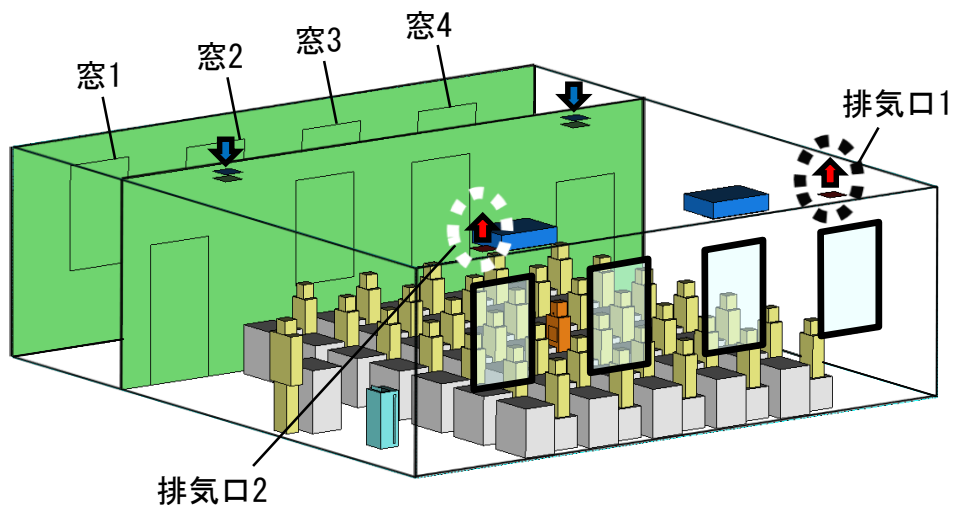


表 排出箇所による粒子排出数

粒子数	排気口1(教室後ろ)	排気口2(教室前)	空気清浄機_吸込口_窓側	空気清浄機_吸込口_廊下側	計
case1-1	1323	2700			4023
case1-2	1142	2411			3553
case1-3	1941	1194			3135
case2-1	1876	1203	517	512	4108
case2-2	2162	1391	332	472	4357
case2-3	487	2014	715	867	4083
	窓1(黒板側)	窓2	窓3	窓4(教室後方側)	
case3-1	736	1901	2216	831	5684
case3-2	247	2187	2432	845	5711
case3-3	461	1554	2367	1501	5883
case4-1	1654	1655	1093	680	5082
case4-2	1111	1495	1880	1122	5608
case4-3	864	1521	2054	1384	5805

排出割合

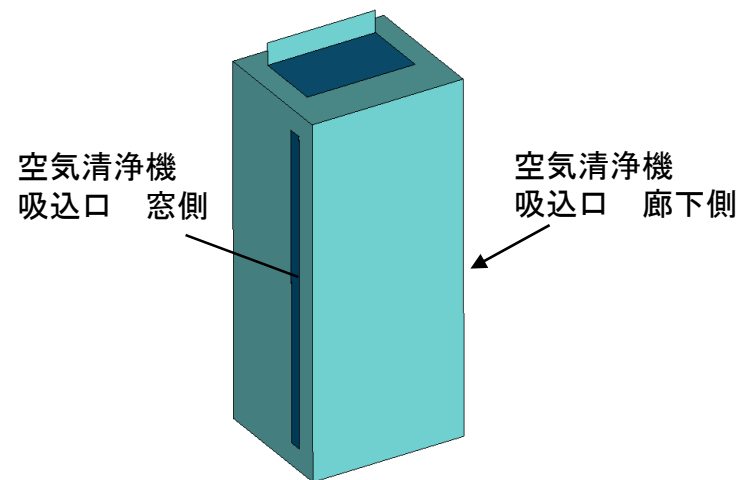
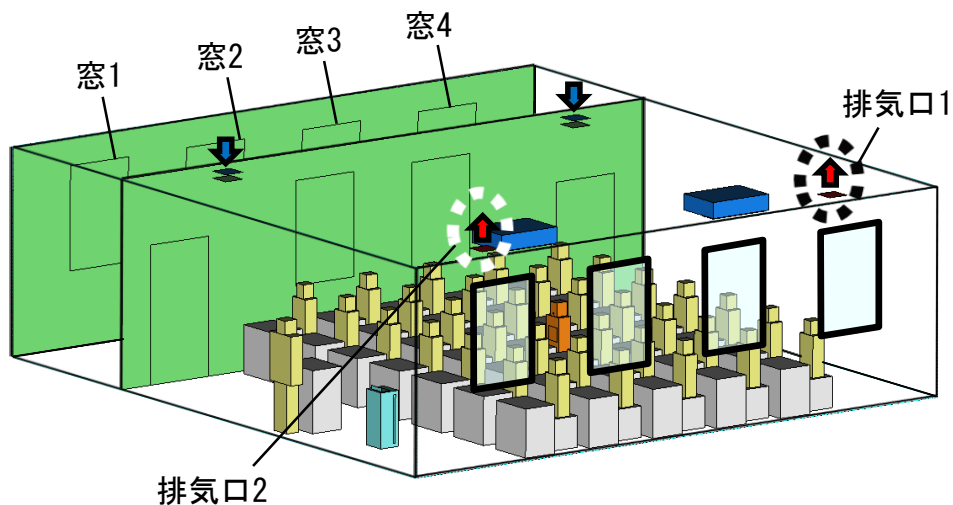


表 排出箇所による粒子排出割合[%]

割合[%]	排気口1(教室後ろ)	排気口2(教室前)	空気清浄機_吸込口_窓側	空気清浄機_吸込口_廊下側	計
case1-1	32.9	67.1			100
case1-2	32.1	67.9			100
case1-3	61.9	38.1			100
case2-1	45.7	29.3	12.6	12.5	100
case2-2	49.6	31.9	7.6	10.8	100
case2-3	11.9	49.3	17.5	21.2	100
	窓1(黒板側)	窓2	窓3	窓4(教室後方側)	
case3-1	12.9	33.4	39.0	14.6	100
case3-2	4.3	38.3	42.6	14.8	100
case3-3	7.8	26.4	40.2	25.5	100
case4-1	32.5	32.6	21.5	13.4	100
case4-2	19.8	26.7	33.5	20.0	100
case4-3	14.9	26.2	35.4	23.8	100

換気回数と排出率の関係

表 各caseの解析条件と換気回数

case1-1	case1-2	case1-3	case2-1	case2-2	case2-3	case3-1	case3-2	case3-3	case4-1	case4-2	case4-3
機械換気※ ³			機械換気※ ³ + 空気清浄機※ ⁴			自然通風※ ⁵					
等温	暖房	冷房	等温	暖房	冷房	開口部 全開			開口部 1/4開		
換気回数[回/h]			換気回数[回/h]			換気回数[回/h]					
5.3			8.5			85.6	147.8	189.5	18.3	31.7	41.0

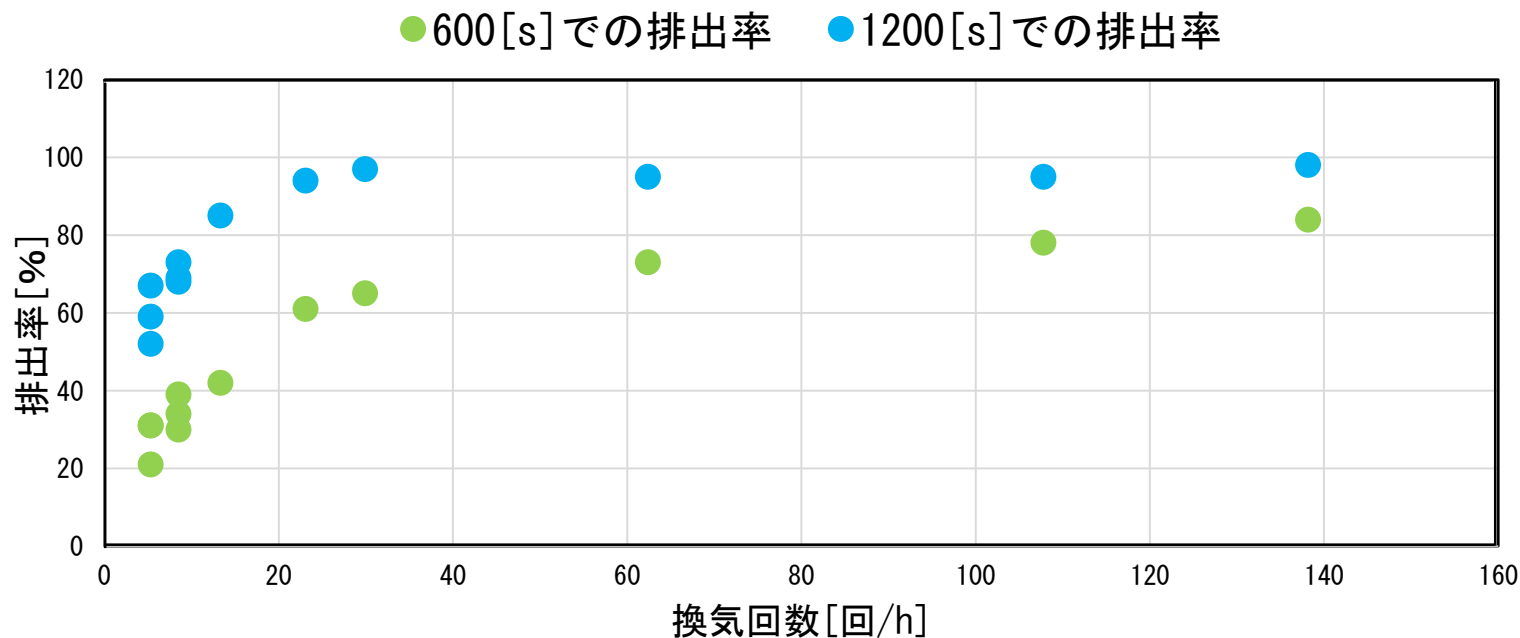


図 換気回数と排出率の関係

※ 3 滞在人員 (36人) × 30[m³/h・人]=1,080[m³/h] ÷ 1,000[m³/h]とした。換気回数は5.3[回/h]となる。