Flow field and ventilation efficiency of urban street canyon space

❑ Background

　近年，都市への人口の集中は都市の発展が避けられない。但し，都市の行政的に制限されている開発領域と様々な要因により，都市は過密化と高層化されるだけの発展をもたらした。結局，都市のこういう状況は都市の屋外環境に種々の悪影響を及ぼし，例えばヒートアイランド，熱帯夜増加，汚染質(排気ガス等)増加などの社会的な問題をもたらした。特に，現在の都市の形状は都市のあちこちに，都市内部から発生した汚染質を都市空間内に滞留するように誘導し，益々都市屋外環境の悪化が増加されている。

　これらの都市環境の問題点に対し，様々な研究が行ってきた。特に，都市特有のストリートキャニオン空間はその内部から発生する汚染質が都市内に滞留しやすい空間とし，このストリートキャニオン空間に対する研究が検討されてきた。

❑ Objective

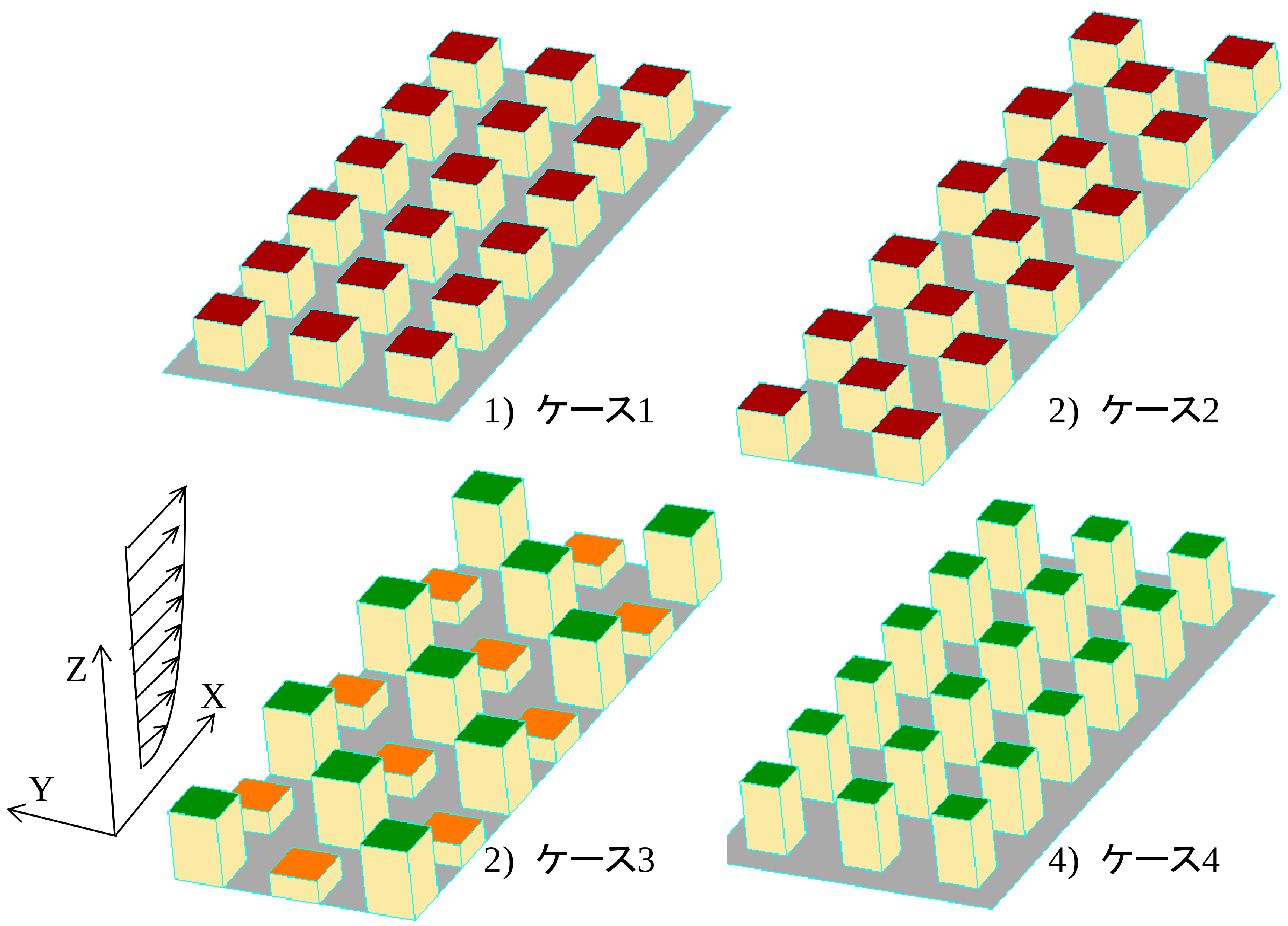
　建物の配置や高さのバリエーションがストリートキャニオン空間内の流れ場，濃度場などに及ぼす影響に関して考察し，各ケースにおける換気効率について検討を行った。更に，大気安定度を様々に変えたケースについてもその換気効率の影響について検討を行った。

Flow field and ventilation efficiency of urban street canyon space

❑ Method

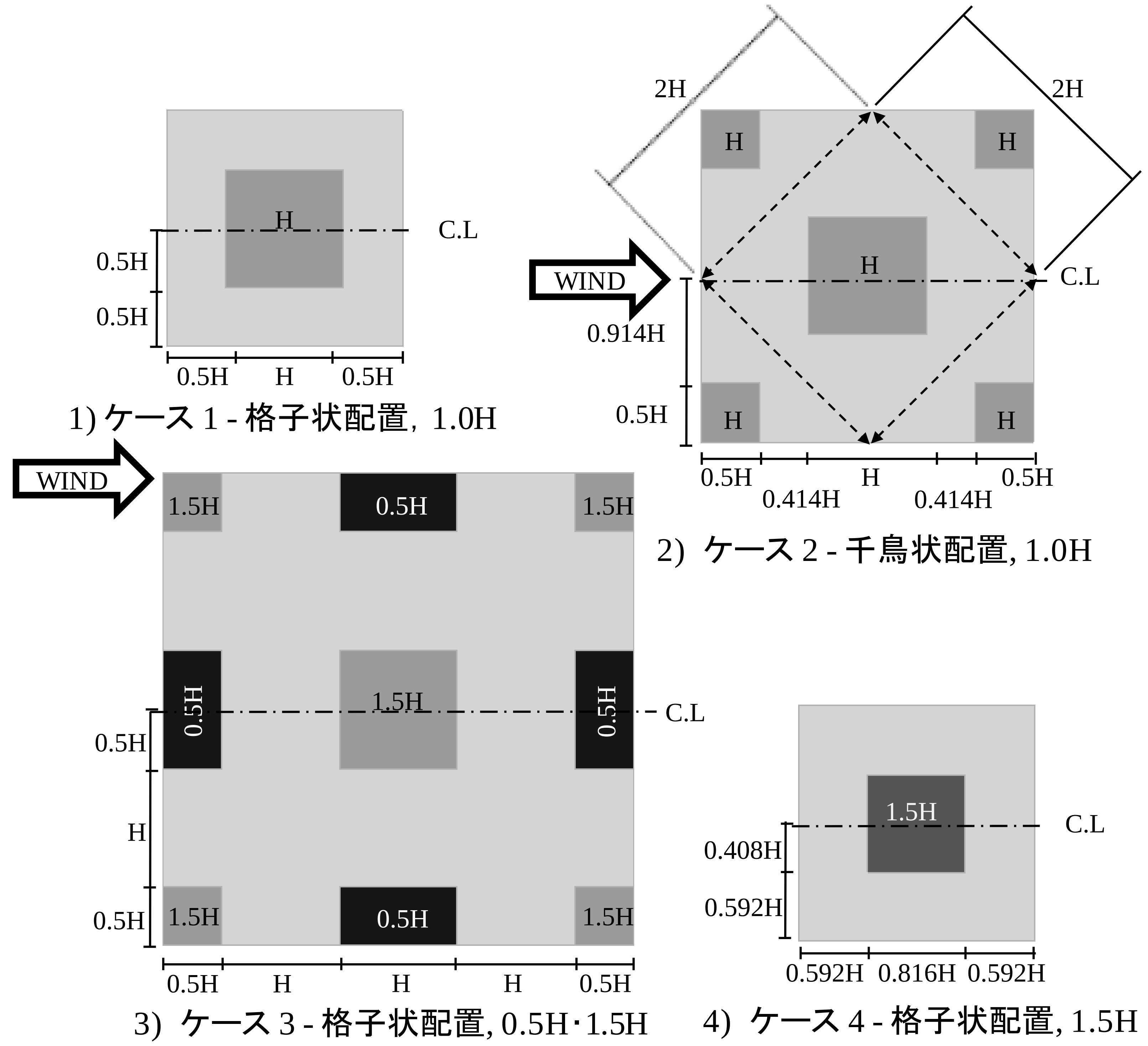
1. 境界層が十分に発達したストリートキャニオン空間を仮定
2. その空間の流れ場において平均的な容積率，建蔽率を一定とした条件(但し，ケース4は異なり)
3. 建物配置・高さのバリエーションした条件
4. 大気安定・不安定条件

❑ CFD analysis model



❑ CFD analysis case

ケース	Building (X m × Y m × Z m) 15 m =1.0H	Floor area ratio	Building coverage ratio
ケース1	1.0H × 1.0H × 1.0H ：中層	125%	25%
ケース2	1.0H × 1.0H × 1.0H：中層	125%	25%
ケース3	1.0H × 1.0H × 1.5H ：高層 1.0H × 1.0H × 0.5H ：低層	125%	25%
ケース4	0.816H × 0.816H × 1.5H： 高層	125%	16.64%



❑ Analysis domain

加藤研究室・大岡研究室・菊本研究室
Kato Lab., Ooka Lab., and Kikumoto Lab.

Flow field and ventilation efficiency of urban street canyon space

❑ Condition of CFD analysis

	Wind velocity	k	ε
Top	Free slip		
Top	$\frac{\partial U_1}{\partial X_3}=0$, $\frac{\partial U_2}{\partial X_3}=0$, $U_3=0$	$\frac{\partial k}{\partial X_3}=0$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial X_3}=0$
Side	Symmetry		
Side	$\frac{\partial U_1}{\partial X_2}=0$, $U_2=0$, $\frac{\partial U_3}{\partial X_2}=0$	$\frac{\partial k}{\partial X_2}=0$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial X_2}=0$
Inlet / Outlet	Cyclic ((Δp/Δx) 0.008/30 [*Pa/m*]),		
Ground	Z0 logarithmic law (Z0 = 0.01 m)[文4)]	$\frac{\partial k}{\partial X_3}=0$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial X_3}=0$
Building		$\frac{\partial k}{\partial Xi}=0$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial Xi}=0$
Building		(Xn: Wall normal direction)	

	Concentration	Temperature
Top	C = 0	T = 303K (Fixed value)
Side	Symmetry	
Side	$\frac{\partial C}{\partial X_2}=0$	$\frac{\partial T}{\partial X_2}=0$
Inlet / Outlet	Cyclic	
Ground	$\frac{\partial C}{\partial X_3}=0$	T = 302K (Stable) T = 308K (Weak unstable) T = 313K (Unstable)
Building	$\frac{\partial T}{\partial Xn}=0$ (Xn: Wall normal direction)	

- <u>周期境界条件(Cyclic)</u>
  圧力差勾配 (Δp/Δx) を0.008/30 [Pa/m]で一定

- <u>差分スキーム</u>
  移流項：一次風上差分スキーム
  他の空間差分：2次精度中心差分である

❑ Concentration

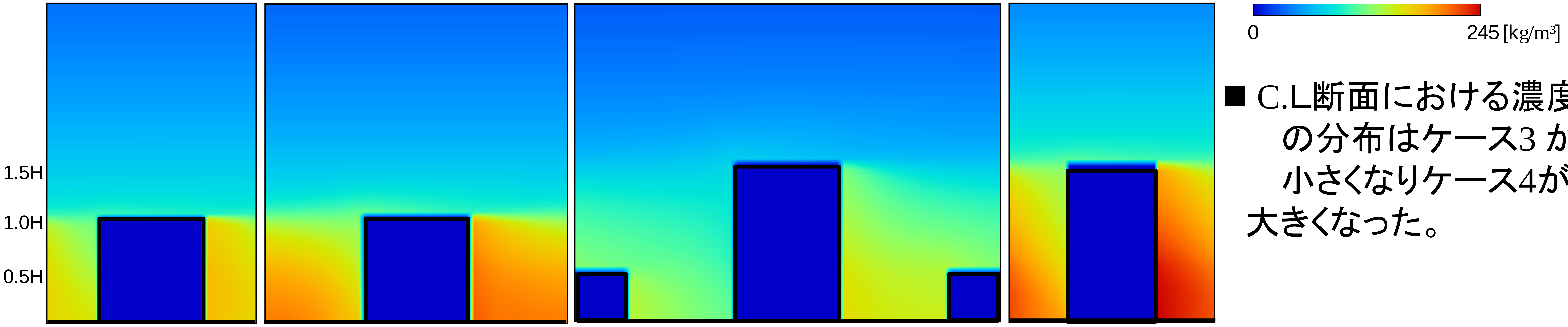
- 0.5H 高さの空間で濃度を単位体積当たり1μg/m^{3}発生，但し，ケース4は建蔽率が異なるので単位体積当たり0.899μg/m^{3}濃度発生

❑ Atmospheric stability

Case	Atmospheric stability	Air temperature [K]	Ground temperature [K]	*Rb*
Case 1	Neutral	303		0
Case 5	Stable	303	302	0.0444
Case 6	Weak unstable	303	308	-0.3171
Case 7	Unstable	303	313	-0.6511

Flow field and ventilation efficiency of urban street canyon space

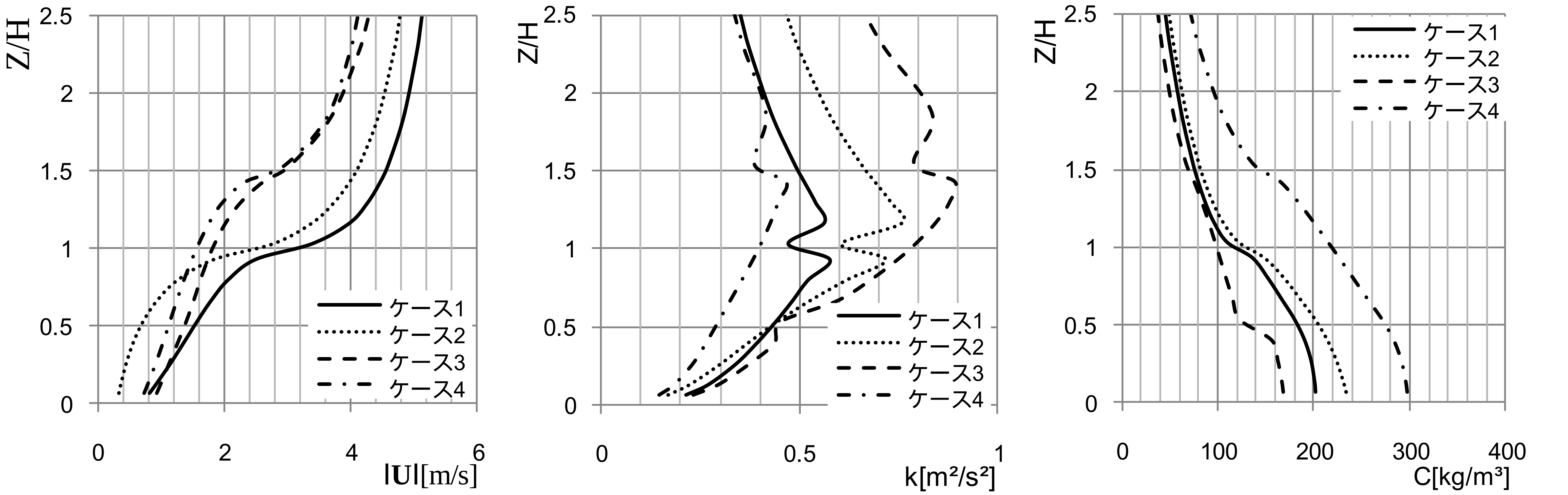
❑ Result of CFD analysis (Isothermal case)



(1) ケース1　(2) ケース2　(3) ケース3　(4) ケース4

Spatial distribution of concentration at C.L. section

■ C.L断面における濃度の分布はケース3 が最も小さくなりケース4が一番大きくなった。



(1) Wind velocity (|U|)　(2) Turbulent kinetic energy k　(3) Concentration (C)

Vertical profile of horizontal averaged turbulent statistics

■ 水平面平均の鉛直分布の風速(|U|)はケース1が大きくなりケース4が小さくなった。

■ 水平面平均の鉛直分布の乱流エネルギーkはケース3が大きくなりケース4が小さくなった。

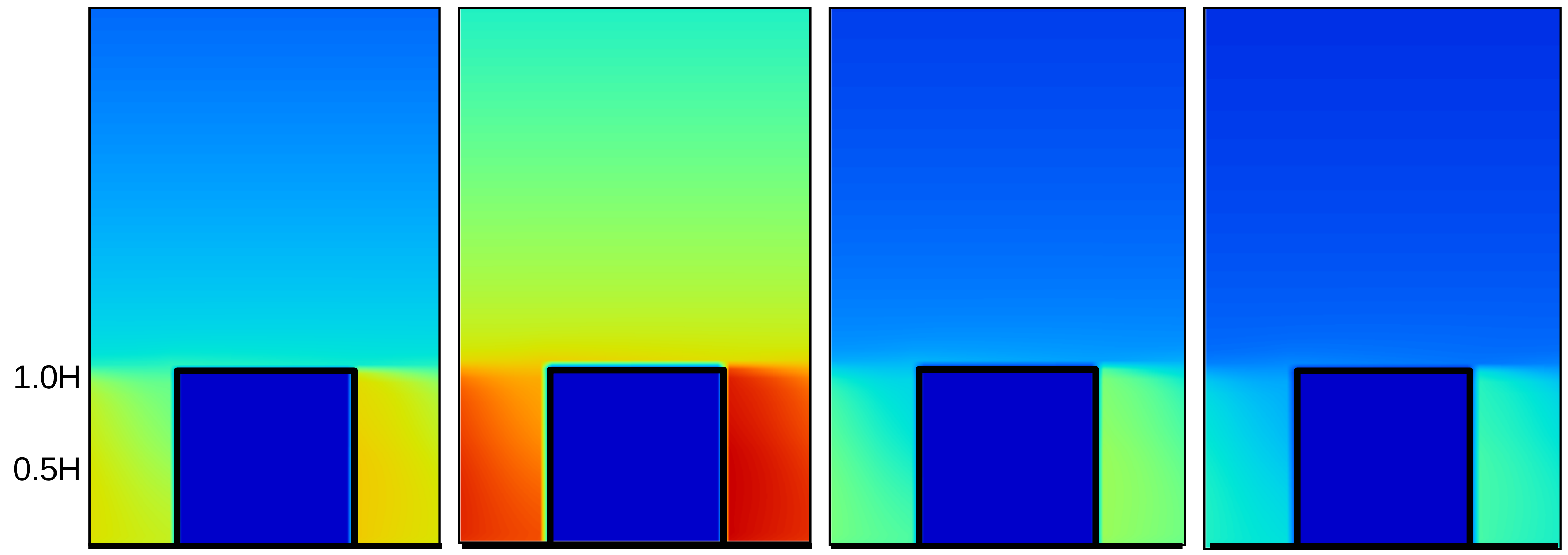
■ 水平面平均の鉛直分布の濃度はケース4が最も大きくなり，ケース3が一番小さくなった。

■ これらの結果，濃度の拡散に関しては乱流エネルギーk 影響を及ぼしていると推測される。

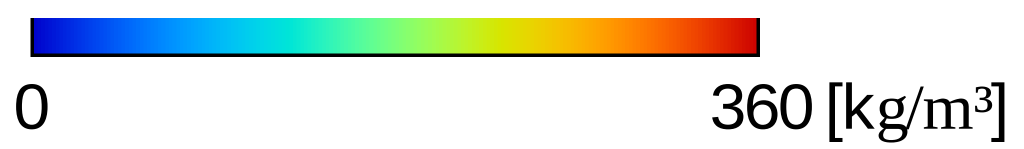
加藤研究室・大岡研究室・菊本研究室
Kato Lab., Ooka Lab., and Kikumoto Lab.

Flow field and ventilation efficiency of urban street canyon space

❑ Result of CFD analysis (Non-isothermal case)

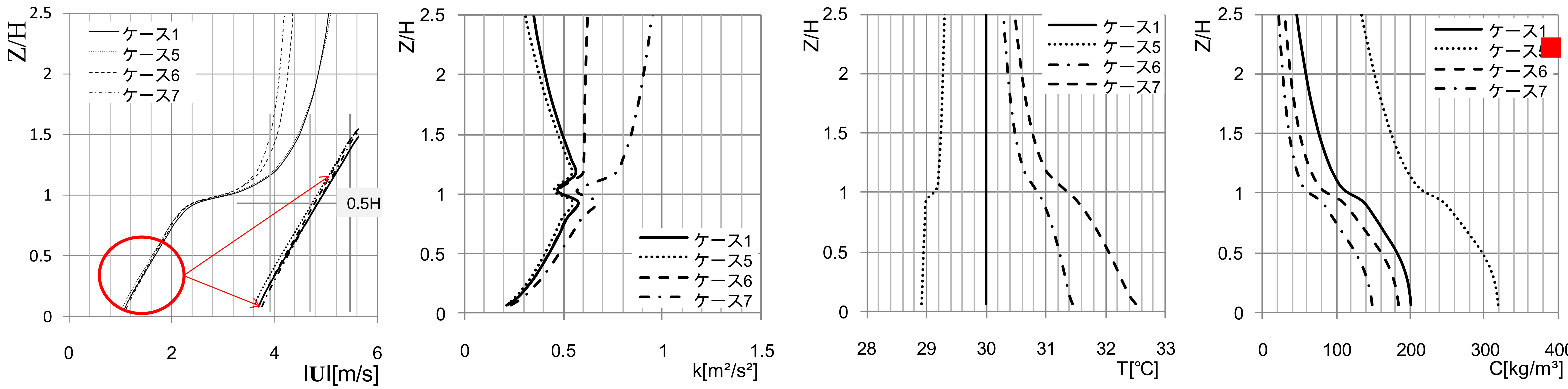


(1) ケース1　(2) ケース5　(3) ケース6　(4) ケース7



Spatial distribution of concentration at C.L. section

- ■C.L断面における濃度の分布はケース5 が最も小さくなりケース7が一番大きくなった。
- ■ 水平面平均の鉛直分布の風速(|U|)はケース5の方がケース1よりやや大きくなった。
- ■ 水平面平均の鉛直分布の乱流エネルギー*k*はケース7が最も大きくなり，ケース5が一番小さくなった。
- ■ 水平面平均の鉛直分布の濃度はケース5が最も大きくなり，ケース7が一番小さくなった。



(1) Wind velocity (|U|)　(2) Turbulent kinetic energy k　(3) Temperature (T)　(4) Concentration (C)

Vertical profile of horizontal averaged turbulent statistics

■ 大気不安定の場合，浮力効果による気流が鉛直方向に動き，乱流拡散が増加したが，大気安定の場合は大気を抑える効果が大きいので乱流拡散が減少すると推測される。

加藤研究室・大岡研究室・菊本研究室
Kato Lab., Ooka Lab., and Kikumoto Lab.

Flow field and ventilation efficiency of urban street canyon space

❑ Evaluation of ventilation efficiency using ventilation volume and PFR

❑ Ventilation volume and PFR

$$Q[m^3/\sec] = \int_V q dv / \frac{1}{S}\int_S C ds \quad (式1)$$

$$PFR = V_P / (VF \times T_P) = q_p / C_p \quad (式2)$$

Q：換気量 [m^3/sec]。ここで，式 1の右辺の分子は体積発生全濃度，分母は面積当たり発生濃度を意味し，q：単位体積当たりの発生濃度値[$\mu g/m^3$]，C：濃度の発生濃度値[$\mu g/m^3$]，C：濃度が移流する面 S の平均濃度値。V_P：局所領域Pの体積[m^3]，T_P：局所領域Pにおけるparticleの平均滞在時間[sec/1回の滞在]，C_P：局所領域Pの平均濃度[$\mu g/m^3$]，q_p：単位時間当たり局所領域P内で発生する汚染質量[m^3/sec]，VF：訪問回数，汚染質の再帰率を意味する。

ここで，対象領域内の換気効率については対象領域の上端と上空との間で交換される
- **単位地表面積当たりの換気量**
- **単位地表面積当たりの実質的な換気量PFR**

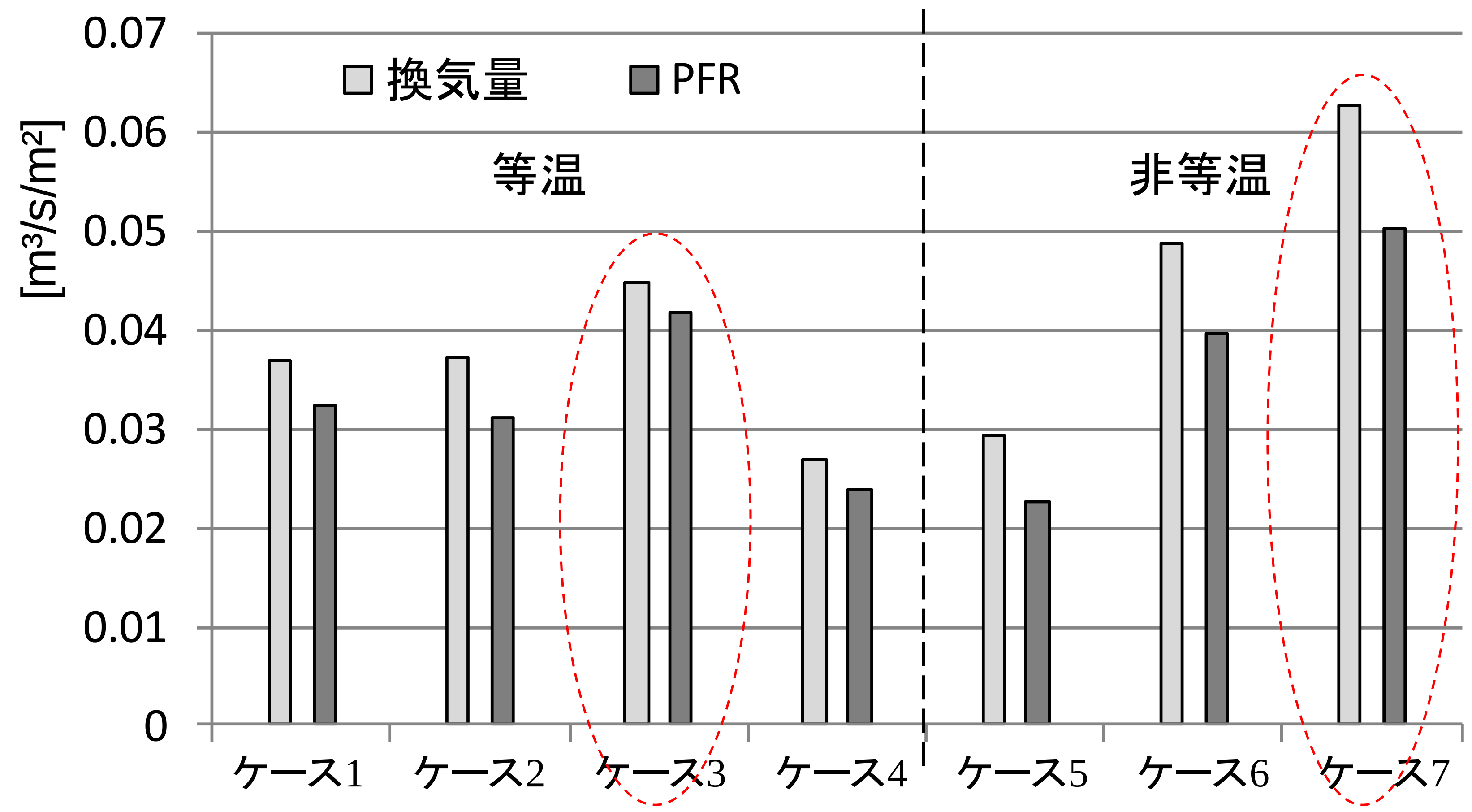
用いて評価した。

■ 換気量と等温の場合ケース3が良くなり，非等温の場合ケース7が最も良くなった。

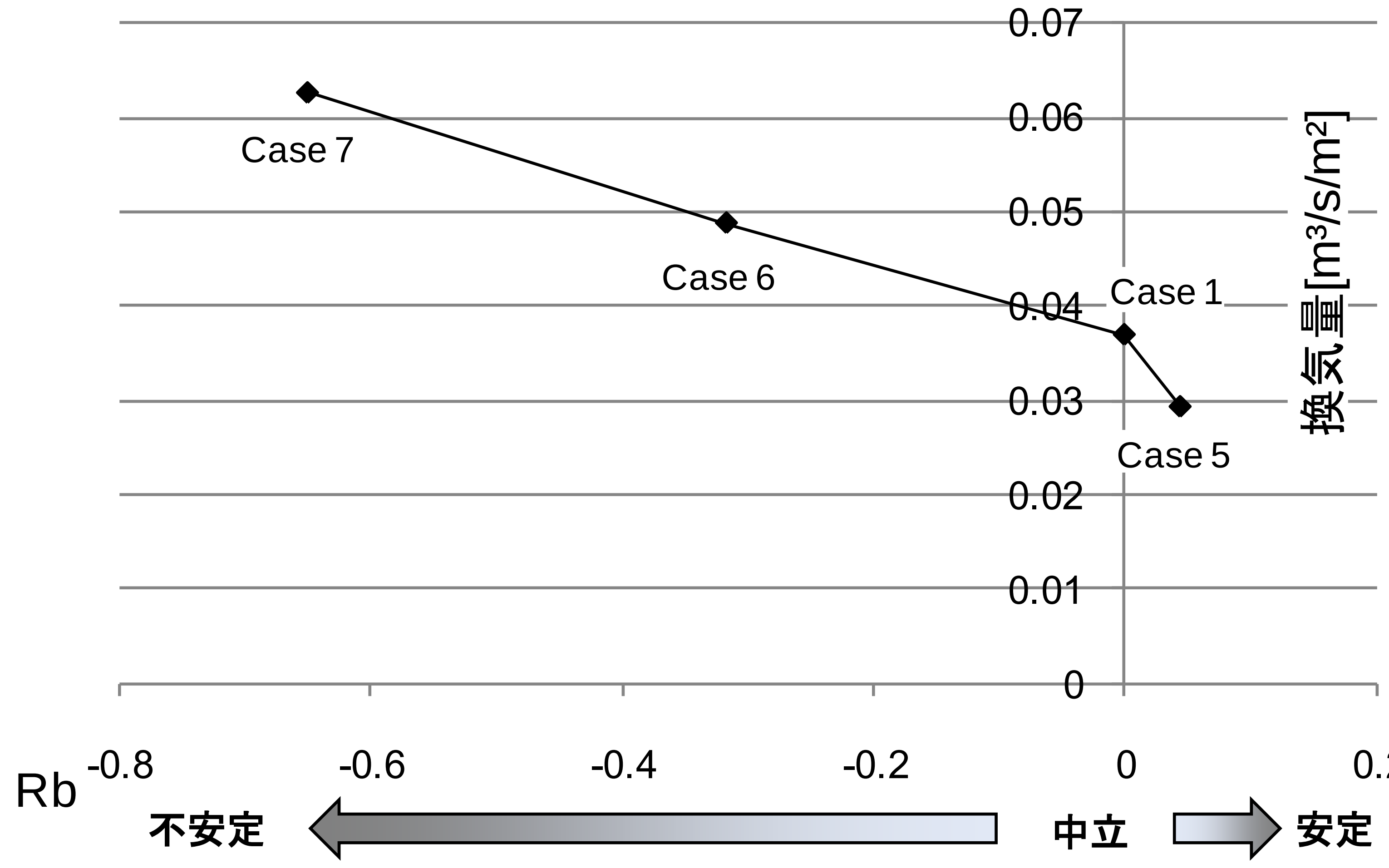
■ PFRも等温の場合ケース3が，非等温の場合ケース7が良くなった。

■結局，換気量はストリートキャニオン空間の形状と大気安定度(大気不安定)に大きな影響を受けていると推定される。

❑Ventilation volume and PFR per unit ground area



❑Relation between Rb and ventilation volume per unit ground area



■大気安定度により換気量が変化されることが明確になり，不安定になるほど換気量が高くなり，換気効率が向上されることが推測できる。

加藤研究室･大岡研究室･菊本研究室
Kato Lab., Ooka Lab., and Kikumoto Lab.