

複数開口を有する室を対象とした風の乱れによる換気効果に関する研究
(その19) 風洞実験による間仕切り壁が片側2開口時の換気量に及ぼす影響の検討
Ventilation Effect of External Wind Turbulence for a Room with Multiple Openings
(Part 19) Wind Tunnel Investigation for Effect of Internal Partition on Ventilation Rate
of a Room with Single-Sided Two Openings

○佐野 香之 (大阪大学) 小林 知広 (大阪大学)
山中 俊夫 (大阪大学) 小林 典彰 (大阪大学)
崔 ナレ (大阪大学) 蔣 子韜 (大阪大学)
豊澤 恒太 (大阪大学)

Kayuki SANO*¹ Tomohiro KOBAYASHI*¹ Toshio YAMANAKA*¹
Noriaki KOBAYASHI*¹ Narae CHOI*¹ Zitao JIANG*¹ Kota TOYOSAWA*¹
*¹ Osaka University

The purpose of this study is to clarify the ventilation effects caused by external wind turbulence. In this paper, focusing on changes in the ventilation effects due to room conditions, wind tunnel test was conducted on a isolated building model with single-sided two openings which has a partition wall in the room. The ventilation rates of the whole room and one of the rooms separated by a partition wall were measured by changing the position of the partition wall opening and the wind direction, and the differences in the ventilation effects are discussed.

はじめに

複数開口を有する室における風力換気量は主に時間平均の風圧係数差で予測されるが、風圧係数差が微小である場合にも風の乱れが駆動力となり換気が生じる。風の乱れによる換気の研究として、単一開口に関する研究は多く見られ、その換気の原理は室内空気の圧縮性による脈動現象と乱流拡散による混合現象の2種とされている¹⁾。また、複数開口においても風圧変動により流入出方向が変化する脈動²⁾と混合により換気が行われ、風圧係数差が微小な2開口を対象とした研究例³⁾⁻⁵⁾も見られるが、その換気効果には未だ不明な点も多い。そこで既報⁶⁾では、乱れによる換気効果の解明を目的として片側2開口(SS2)の単室模型を対象とした風洞実験を実施し、開口間距離や室の平面アスペクト比の違いによる換気効果の検討を行った。また前報⁷⁾では、SS2の建物を対象として、周辺建物が換気効果に与える影響を検討した。そこで本法では、室内状況による換気効果の変化に着目し、室内に間仕切り壁をもつ単体建物模型を対象とした風洞実験を実施し、換気量や換気効率の検討を行う。

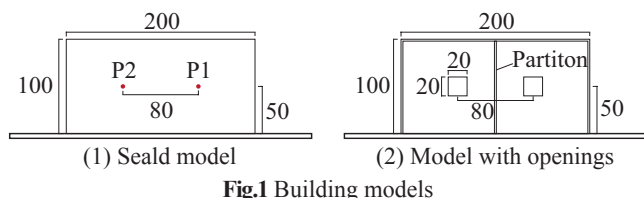


Fig.1 Building models

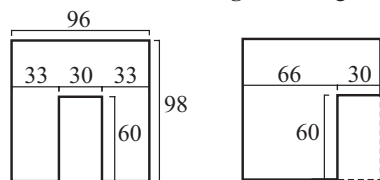


Fig.2 Partitions

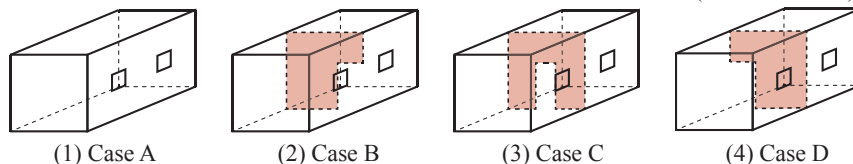


Fig.3 Partition cases

1. 風洞実験概要

実験は、前報⁷⁾と同様に大阪大学研究用風洞で実施し、床上1000mm高さで風速を10m/sに設定した境界層流下で風圧係数・換気量・室内風速の測定を行った。対象とする室モデルは、Fig.1に示すような200mm×100mm×100mmの角柱とし、開口のないシールドモデルと片側壁面に20mm×20mmの開口を2つ有する「開口モデル」を用いた。開口モデルでは開口中心高さは模型中心高さの床上50mmとし、開口間距離は80mmとした。また、長辺方向の模型中心断面に、Fig.2に示す30mm×60mmの開口を有する2種類の間仕切り壁を設置できる。Fig.3に間仕切り壁の設置条件を示す。Case Aを間仕切り壁を設置しない基本条件とし、Case Bでは間仕切り壁の開口が開口側に、Case Cでは中央に、Case Dでは壁面側になるように設置する。なお、風洞は風圧係数・室内風速測定では回流型、換気量測定では吹放型とした。

2. 風圧係数測定

2.1 実験条件

シールドモデルを用いて、模型壁面の風圧係数及び風圧係数差の瞬時変動を測定する。Fig.4に測定点及び測定風向を示す。測定点は開口中心点を想定した2点とし、風向は0°~180°の間で30°間隔7風向とした。風圧は微差圧計(Validyne社, DP45)を用いて1.0kHz, 60sで測定し、風圧係数算出に用いる基準動圧は軒高(床上100mm)の

アプローチフロー速度圧とした。各点の風圧係数は、前報と同様に風洞壁面に設置したピトー管の静圧を基準として測定した。また、風圧係数差の瞬時変動の測定では、2点の風圧差を同微差圧計により直接測定した。

2.2 測定結果

Fig.5 に、2点間の風圧係数差の時間平均値 ΔC_p の測定結果を示す。なお、 ΔC_p は P1 の値から P2 の値を引いた値を示している。結果より、90°以外では ΔC_p の絶対値は 0.2 以下となり、SS2 では風向を変化させても ΔC_p が小さくなる場合が多い考えられる。また、90°では剥離の影響で ΔC_p の絶対値は大きくなると考えられる。

また、**Fig.6** に風圧係数差の瞬時変動を示す。全ての条件で風圧係数差の正負が時間により入れ替わることが確認された。特に測定点が風上側にある 0°~60°と 150°、180°では正負の入れ替わりが多く、開口部間で流入出する気流の向きが入れ替わる脈動的な換気が顕著になると考えられる。また、90°及び 150°では正負の入れ替わりが発生するが概ね負の値となり、風下側開口から風上側開口への流れが主流となると考えられる。

3. Purging Flow Rate 測定

3.1 実験条件

開口ありモデルにおける換気量を評価するため、前報と同様に CO₂ を用いたトレーサガス定常発生法により Purging Flow Rate (PFR)⁸⁾ を測定した。**Table 1** に PFR の測定条件を示す。なお、表には PFR の測定結果を併記している。PFR は、Case A ~ D の 4 つの間仕切り壁条件に対して、風圧係数測定と同様の 7 風向で測定した。Case A では室全体の PFR である PFR_{Whole} を測定し、間仕切り壁のある Case B ~ D では PFR_{Whole} に加え、間仕切り壁で区切られたそれぞれの室の PFR も測定する。なお、風向 0°の時に風上側に向かって左側にある室の PFR を PFR_{Left}、右側にある室の PFR を PFR_{Right} とする。また、**Fig.7** に室モデル内の CO₂ の発生点及び吸引点を示す。PFR_{Whole} の測定では、模型内 8 点に設置された配管から CO₂ を模型内に供給し、2 点から室内空気を吸引し濃度を測定した。PFR_{Left} 及び PFR_{Right} の測定では、測定対象室内の 4 点から CO₂ を供給し、1 点から室内空気を吸引した。

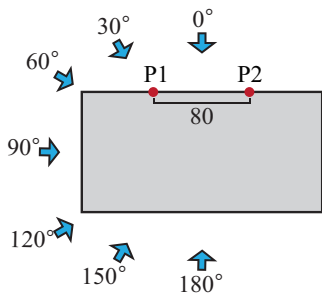


Fig. 4 Measurement point and angle

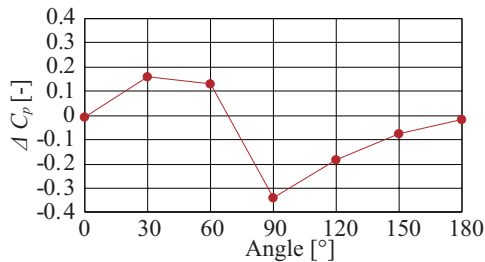


Fig. 5 Average wind pressure difference

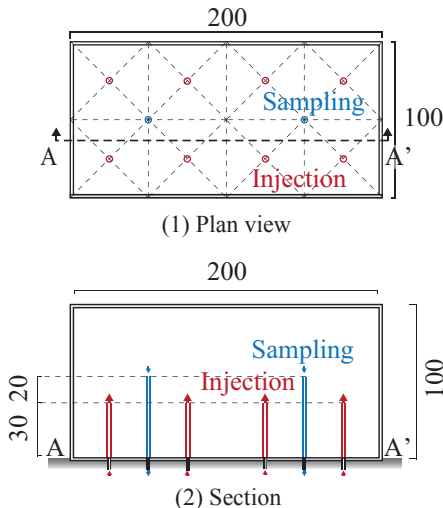


Fig. 7 Model for PFR measurement

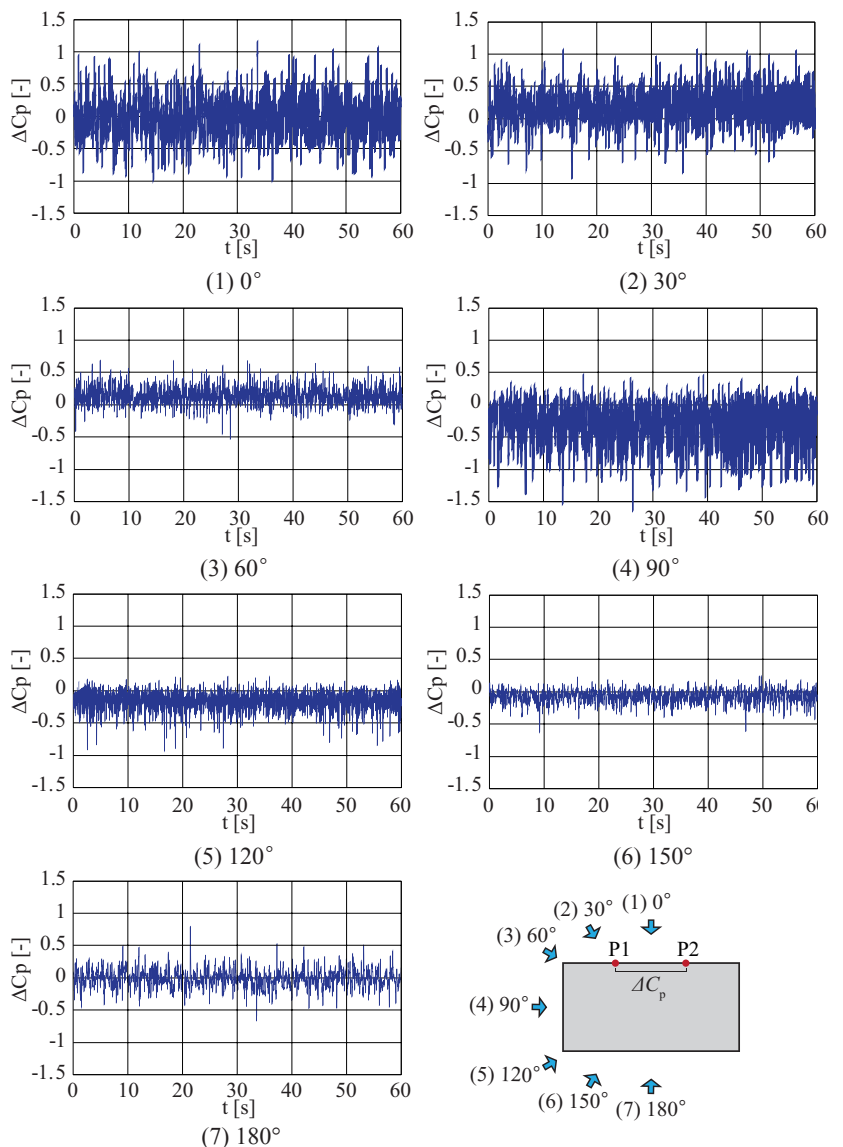


Fig. 6 ΔC_p fluctuation

3.2 実験結果

Fig.8 に、 $PFR_{Whole} \cdot PFR_{Left} \cdot PFR_{Right}$ の測定結果をそれぞれ示す。なお、 0° 及び 180° では対称性を考慮して、片室の換気量は PFR_{Left} のみで測定した。

PFR_{Whole} は、開口が風上側にある $0^\circ \sim 60^\circ$ 、及び 150° 、 180° では間仕切り壁の開口位置に関わらず概ね一定となった。これらの条件では風圧係数差の瞬時変動から流入出が変化する非定常な換気が行われると考えられ、乱れによる換気下では間仕切り壁による換気効果の違いは小さい可能性が考えられる。一方 90° と 120° では条件によって差が見られ、間仕切り壁のない Case A と比較し、壁面開口に近い位置に間仕切り壁の開口がある Case B で小さく、壁面開口から離れた位置に間仕切り壁の開口がある Case C、Case D では同等以上となった。これは、本報の模型では外壁開口と比較し間仕切り壁の開口の面積が大きく、室内の換気量は間仕切り壁の有無によってほとんど変化しないと考えられるため、室内の換気効率が影響している可能性が挙げられる。これらの条件では開口部間の流れの方向が定まる換気が行われると考えられ、間仕切り壁の開口を通過するような換気経路が形成されることで換気効率が変化する可能性と考えられる。

また、間仕切り壁で区切られた片室では、同一開口内での瞬時の流入・流出は一樣であると仮定すると 2 室の換気量は等しくなると考えられる。しかし、 $90^\circ \sim 150^\circ$ では PFR_{Left} と PFR_{Right} に差が見られ、 PFR_{Left} では室奥側

に間仕切り壁の開口がある Case C、D で大きくなる一方、 PFR_{Right} では全条件で一定となる。これは、2 室の換気効率の違いが結果に違いを与えたと考えられる。これらの条件では右室から流入した気流が間仕切り壁の開口を通過し左室から流出する流れが主流になると考えられるが、右室では一定の風速を有する気流が流入するため間仕切り条件に関わらず概ね室内に新鮮空気が行き渡る一方、間仕切り壁の開口から左室に流入する気流は低速となるため、間仕切り壁の開口位置により換気経路が大きく異なり、換気効率が変化する可能性が挙げられる。

4. 換気効率の検討

前報⁷⁾と同様の手法で、開口部に流入した気流の室内空間への有効分配率を示す ϵ を評価する。Fig.9 に、室全体の $AFR_{orifice}$ の算出結果を、 PFR_{Whole} の測定結果と共に示す。なお、間仕切り壁の開口の有無により抵抗が異なるため、Case A と Case B ~ D でそれぞれ $AFR_{orifice}$ ⁷⁾ を算出した。結果より、AFR より PFR の方が大きくなる条件がみられる。AFR は開口部を通過した空気流量を表し、PFR はそのうち汚染物の排出に有効に働いた量を表すため、AFR は PFR より大きくなると考えられるが、これは PFR 測定における室内の濃度分布により PFR が過大評価されている可能性が挙げられる。

また、Fig.10 に PFR を AFR で除した換気効率 ϵ の算出結果を示す。同一風向では、壁面開口から離れた位置

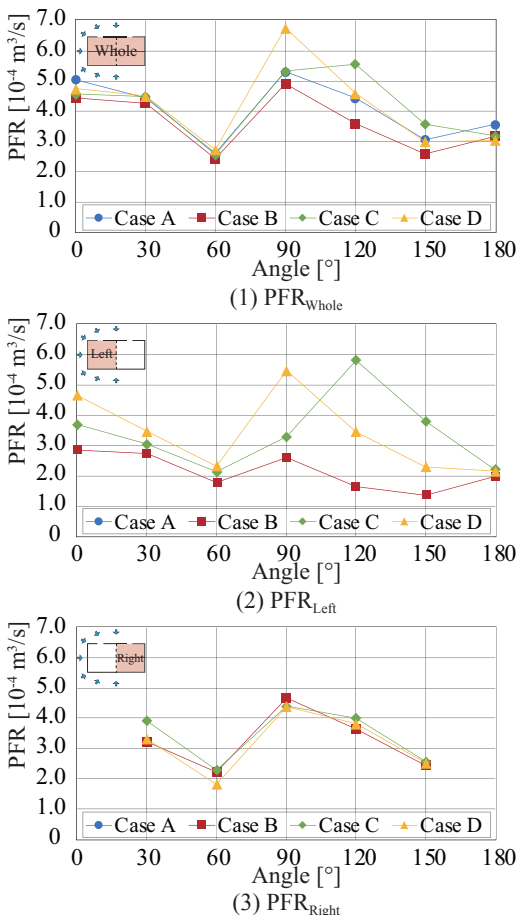


Fig. 8 Relationship between Angle and PFR

Table 1 Experimental conditions and obtained results

Case	Angle [°]	Descriptor	PFR_{Whole} [10 ⁻⁴ m ³ /s]	PFR_{Left} [10 ⁻⁴ m ³ /s]	PFR_{Right} [10 ⁻⁴ m ³ /s]	ΔC_p [-]
SS2-A	0		5.05			-0.006
	30		4.45			0.160
	60		2.61			0.131
	90		5.31			-0.340
	120		4.44			-0.183
	150		3.07			-0.073
	180		3.57			-0.017
SS2-B	0		4.45	2.86		-0.006
	30		4.27	2.75	3.22	0.160
	60		2.44	1.79	2.22	0.131
	90		4.92	2.61	4.67	-0.340
	120		3.60	1.66	3.64	-0.183
	150		2.60	1.37	2.44	-0.073
	180		3.18	1.97		-0.017
SS2-C	0		4.58	3.70		-0.006
	30		4.49	3.05	3.92	0.160
	60		2.56	2.13	2.28	0.131
	90		5.33	3.30	4.39	-0.340
	120		5.57	5.83	4.01	-0.183
	150		3.58	3.80	2.57	-0.073
	180		3.19	2.21		-0.017
SS2-D	0		4.75	4.66		-0.006
	30		4.51	3.47	3.31	0.160
	60		2.73	2.32	1.82	0.131
	90		6.75	5.48	4.38	-0.340
	120		4.60	3.46	3.81	-0.183
	150		3.00	2.30	2.53	-0.073
	180		3.04	2.16		-0.017

に間仕切りの開口がある Case C, D で換気効率は高くなり、間仕切りのない Case A よりも大きくなる条件も存在する。また、全体を通して換気効率は 80 ~ 90% 程度となったが、60°では全条件で 60% 程度となった。これは、開口部からの気流の流入角度が影響し、室内に気流が到達しづらい換気経路が形成された可能性が考えられる。

5. 室内風速測定

5.1 実験条件

LES の精度検証用データの取得及び室内気流性状の把握を目的として、I 型熱線風速計を用いて開口ありモデルの室内風速を測定する。測定点は Fig.11 に示すように、Case C の風向 0°における右側の開口中心を通る鉛直断面での 45 点と、Case B ~ D の各条件の間仕切り開口面での鉛直方向 5 点とし、各点 1.0 kHz で 60 s 測定した。測定は、模型の天井面と床面に設置したスロットから室内に熱線風速計を挿入して行い、鉛直断面では xz 方向風速、間仕切り開口面では yz 方向風速を測定した。

5.2 実験結果

Fig.12 に示す鉛直断面の測定結果より、外壁開口付近では流入出気流の影響で最大 0.8 m/s 程度の風速が存在するが、天井及び床面付近や室内に近づくにつれほとんど風速はなくなることが確認できる。また、間仕切り開口面での風速は条件間で差が見られ、これは開口面内での風速分布の影響に加え、条件により間仕切り開口を通過する風量が異なる可能性も考えられる。

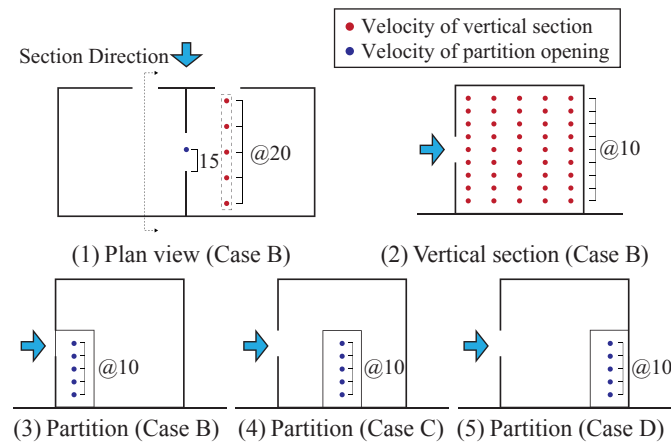


Fig. 11 Indoor measurement points

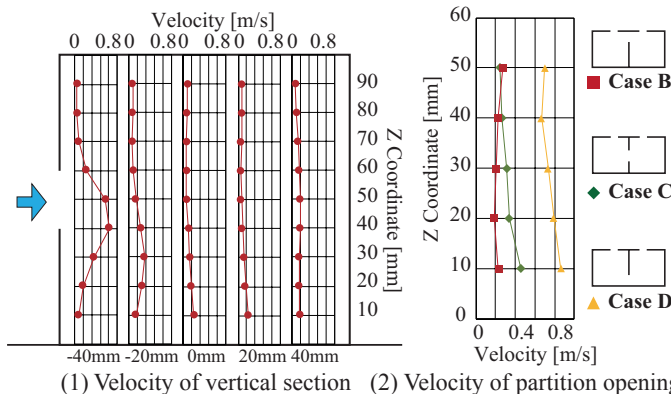


Fig. 12 Indoor velocity

おわりに

本報では、室内に間仕切り壁をもつ片側 2 開口建物を対象とした風洞実験により室全体・片室の PFR や換気効率を検討し、間仕切り開口の位置により換気効果は異なることを確認した。今後は LES 解析を用いてより詳細な気流性状や換気効率に関する検討を行う。

【謝辞】

本研究の一部は JSPS 科研費 (基盤研究 (B) JP20H02311, 研究代表者: 小林知広) の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) F. Haghghat, J. Rao, and P. Fazio: The Influence of Turbulent Wind on Air Change Rates - A Modeling Approach, Building and Environment, Vol.26, No.2, pp.95-109, 1991
- 2) F. Haghghat, H. Brohus, and J. Rao: Modelling air infiltration due to wind fluctuations - a review, Building and Environment, Vol.35, pp.377-385, 2000
- 3) 檜崎正也, 山中俊夫, 樋口祥明: 風の乱れを考慮した換気設計法に関する研究 第 1 報 風の乱れによる換気効果とそのメカニズム, 空気調和・衛生工学会論文集, pp.25-34, 1989.2
- 4) T. Yamanaka, H. Kotani, K. Iwamoto, and M. Kato: Natural, Wind- Forced Ventilation caused by Turbulence in a Room with a Single Opening, International Journal of Ventilation, Vol. 5, No.1, pp.179- 187, 2006.6
- 5) 河野良坪, 加藤信介, 大岡龍三, 高橋岳生: 横風時における片側開口居室の換気量予測 片壁面上のみに開口を有する居室の換気性状に関する研究 (その 3), 日本建築学会環境系論文 集 第 73 卷 第 626 号, pp.437-443, 2008.4
- 6) 佐野香之, 小林知広, 山中俊夫, 小林典彰, 崔ナレ, 蔣子韜: 複数開口を有する室を対象とした風の乱れによる換気効果に関する研究 (その 14) 片側二開口の単室を対象とした流入出風速及び換気量測定, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, I-5, 2022.3
- 7) 豊澤恒太, 小林知広, 山中俊夫, 小林典彰, 崔ナレ, 蔣子韜, 佐野香之: 複数開口を有する室を対象とした風の乱れによる換気効果に関する研究 (その 18) 風洞実験による周辺建物が片側 2 開口時の換気効果に与える影響の検討, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2023.3 掲載予定
- 8) D. Etheridge, M. Sandberg : BUILDING VENTILATION - Theory and Measurement, John Wiley & Sons Ltd, 1996

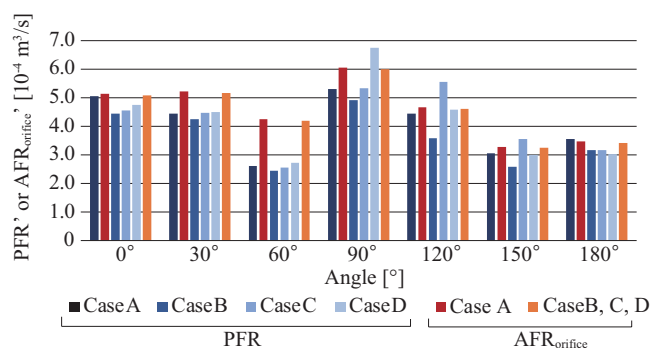


Fig. 9 AFR_{orifice} calculation results

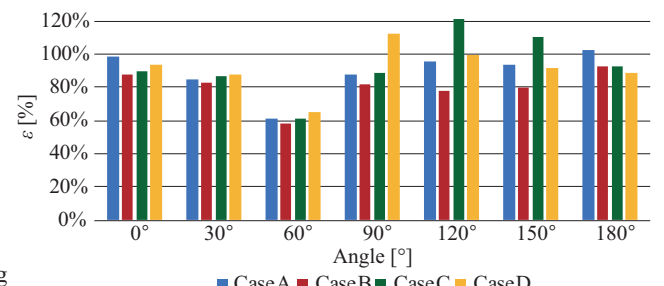


Fig. 10 ε calculation results