

ブリーズラインを用いた暖房時窓近傍の熱環境制御に関する研究
 (第4報) CFD解析による大面積の窓を有するペリメータへの適用手法の検討
**Study on Thermal Environmental Control Using the Breeze Line Diffuser Near the Window
 During the Heating Period**
**(Part IV) Improvement Method When Used in Perimeter Zone with Large Window Area by
 CFD Simulation**

学生会員 ○盛 紹宇 (大阪大学)	技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学)
正会員 小林 知広 (大阪大学)	正会員 袁 継輝 (豊橋技術科学大学)
正会員 加藤 正宏 (鹿島技術研究所)	正会員 弓野 沙織 (鹿島技術研究所)

Shaoyu SHENG* ¹	Toshio YAMANAKA* ¹	Tomohiro KOBAYASHI* ¹
Jihui YUAN* ²	Masahiro KATO* ³	Saori YUMINO* ³

*¹ Osaka University *² Toyohashi University of Technology *³ KAJIMA Technical Research Institute

Breeze line diffuser has the complex outlet airflow characteristic due to the slight outlet size and the effect of the deflection panels which setting inside of the diffuser. In the previous studies, the diffuser's outlet velocity distribution model was submitted and verified by the CFD analysis of isothermal and free field conditions. In this paper, the velocity distribution model is used as an outlet boundary condition in a perimeter space with a large area window. The model is verified by heating usage, and the locations of outlet and inlet are adjusted as parameters to examine the heating effect of the perimeter zone in various airflow conditions.

1. はじめに

ペリメータ空間によく使われているブリーズライン型ディフューザでは、細長い吹出し面を持ち、また内蔵する制気パネルの影響により、複雑な吹出し気流特性がある。本研究では、実大実験の結果に基づき、吹き出し風速モデルの提案と CFD 解析により、ブリーズライン型ディフューザの暖房時の窓近傍温熱環境を予測する手法の開発を目的とする。ディフューザの吹出し気流性状の把握のため、前報¹⁾では、X型熱線風速計によるディフューザの吹出面風速分布データに基づいて、ディフューザの吹出し風速モデルを提案した上、自由場条件の CFD 解析による等温吹出し時のモデルの精度を検証した。本報では、ディフューザの風速モデルを大面積の窓を有するペリメータ空間に吹出し境界条件として設定し、CFD 解析による暖房吹出し時のモデルの適用性、また吸込、吹出口の設置位置の変更がペリメータ暖房の効果に与える影響の検討を行った。

2. 解析概要

研究対象とした、制気パネル付きのシステム天井用ブリーズライン型ディフューザを Fig.1 に示す。内部の制気パネルの開閉調整により、気流の中心吹き出しモードと全面積吹出しモードを交換することができる。本研究

は、ディフューザの暖房効果が強い中心吹き出しモードの風速モデルを境界条件として使用し解析を行った。解析領域は、実際のオフィス空間のサイズを対象として作成し、Fig. 2 に示すように、幅方向 3.2m、奥行方向 5m、天井高さ 2.8m の立方体空間である。ディフューザのペリメータ対策性能の解析を中心とするため、断熱性が低い 6mm 単板ガラスを使用し、解析領域の一面に 3.2m×2.8m (窓率 100%) のガラスカーテンウォールを設置した。ディフューザを 2.8m 高さの天井に設置し、ガラスとの距離 l (0.3m、0.5m、1.0m、1.5m) をパラメータとして変化している。

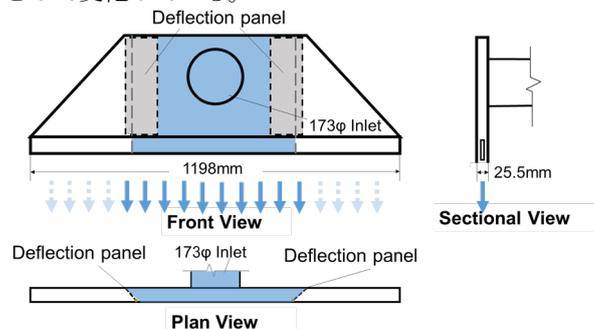


Fig.1 Detail view of the breeze line diffuser

吸込口では、窓から 200mm 距離の床面に (位置①) 200×3200mm のサイズで設置するケースを基本として、

吸込み口位置がペリメータ対策効果を評価するケースでは、位置①以外、Fig.2 に示すように、同じサイズで室内奥側の天井近傍（位置②）、またグリッド天井における吸込口を想定し、二組の吸込み口（20mm×600mm×2）を天井に設置するケース③を設定した。基準の解析条件を Table.1 に示す。

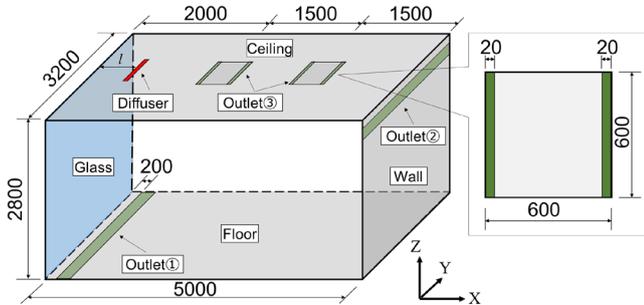


Fig.2 Image of outlet space in CFD model

Table.1 Calculation Conditions used in CFD

Analysis Method	CFD code	STREAM V14.1
	Turbulence Model	Standard k-ε model
	Algorithm	SIMPLER
	Discretization Scheme	QUICK
	Number of Mesh	500,000~800,000
Wall Boundary	Ceiling	No-slip, Radiation
	Partition wall	Free-slip, Radiation
	Interior wall	No-slip, Radiation
Flow Boundary	Floor	No-slip, Radiation
	Outlet	Natural outflow
Glass Boundary	Inlet	Velocity regulation
	Thermal conductivity	1.0[W/(m.k)]
	Outer surface	23[W/(m².k)]
Turbulence statistics	Inner surface	Log-law heat transfer
	Kinetic energy k	2.869[m²/s²]
	Dissipation rate ϵ	94.899[m²/s³]

3. 吹き出しと熱境界面設置

今回の解析は、室外空気温度を 2°C、吹き出し温度を 30°C に固定、室内温度を 22°C 目安として、暖房吹き出し風量 ($Q=396\text{m}^3/\text{h}$) を計算した。ディフューザーの幾何特性に基づき、Fig.3 に示すように、吹き出し面を $7 \times 22 = 154$ 個の吹き出境界面に分けた。前報²⁾で提出した無次元化風速分布モデルに風量条件を代入し、各吹き出し境界面の代表点における uvw 三成分風速を算出し、風速境界条件として使用した。成分風速の計算結果を uw , vw 成分別で表示する (Fig.4, Fig.5)。乱流エネルギー k と乱流散逸率 ϵ は、全吹き出し境界面は同じ数値を入力し、実験データから式 (1) と (2) を使用し、流速の変化に合わせて計算した値 ($k=2.869[\text{m}^2/\text{s}^2]$, $\epsilon=97.899[\text{m}^2/\text{s}^3]$) である。

$$k = k_e \times \eta^2 \quad (1)$$

$$\epsilon = \epsilon_e \times \eta^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

k : 乱流エネルギー [m^2/s^2]

ϵ : 乱流散逸率 [m^2/s^3]

η : 実験測定風速と境界面設置風速の比率

e : 実験値

熱境界条件に関して、窓ガラスの外側を熱伝達係数指定、ガラス内側を対数則（温度、風速とも）で設定した。

標準 $k-\epsilon$ モデルを用いたため、壁と窓ガラス近傍の第一メッシュの幅を 20mm 以上 ($y+$ を大部 11.6、気流が当たる場所 30 以上に保証) で設置した。また、窓ガラス面と壁 (22°C 固定、放射率 0.9) の間の放射解析も行った。

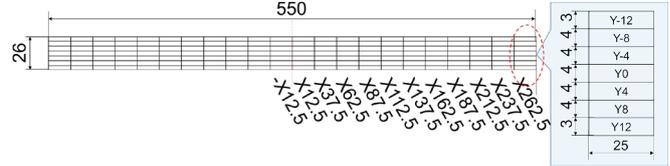


Fig.3 Distribution of boundary condition at outlet surface

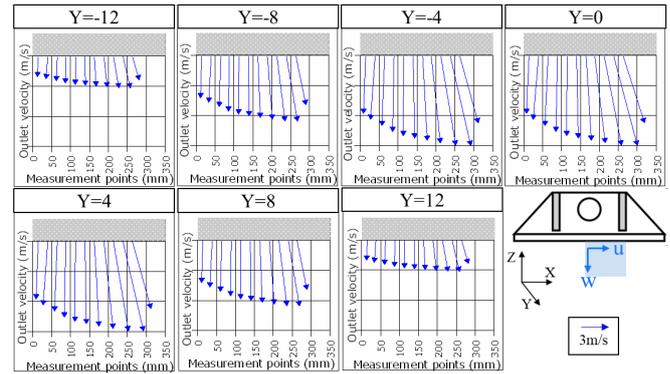


Fig.4 Vector velocity (uw) used as boundary conditions

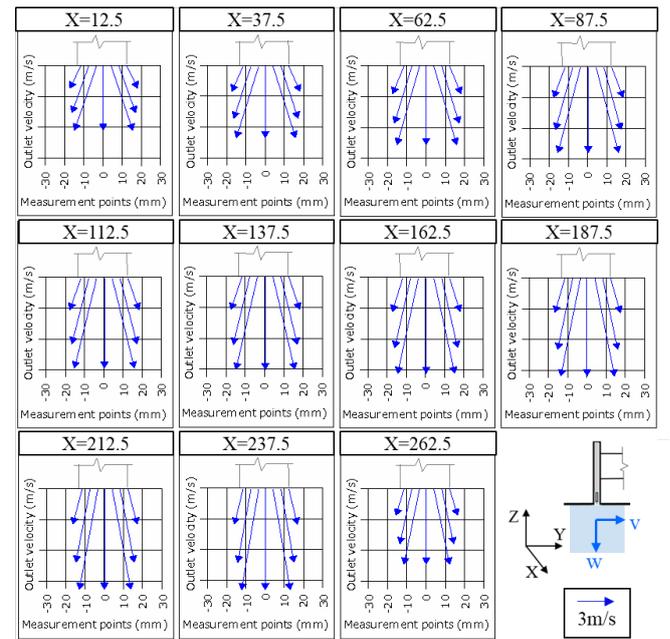


Fig.5 Vector velocity (vw) used as boundary conditions

4. 解析結果と分析

4.1 吹き出し口の位置変化と影響

吹き出し口の設置位置をパラメータとして変化し、窓から 0.3m、0.5m、1.0m の距離、また窓近傍にある梁などの障害物から避けることを想定し、窓から 1.5m の距離、計 4 ケースでディフューザーの設置位置がペリメータ対策性能に与える影響を検討した。CFD 解析の結果より、室内の風速と温度分布図を作成した (Fig.6)。X 断面はディフューザーの垂直方向、Y 断面はディフューザーの水平方向、Z 断面は床面と水平している方向を表す。

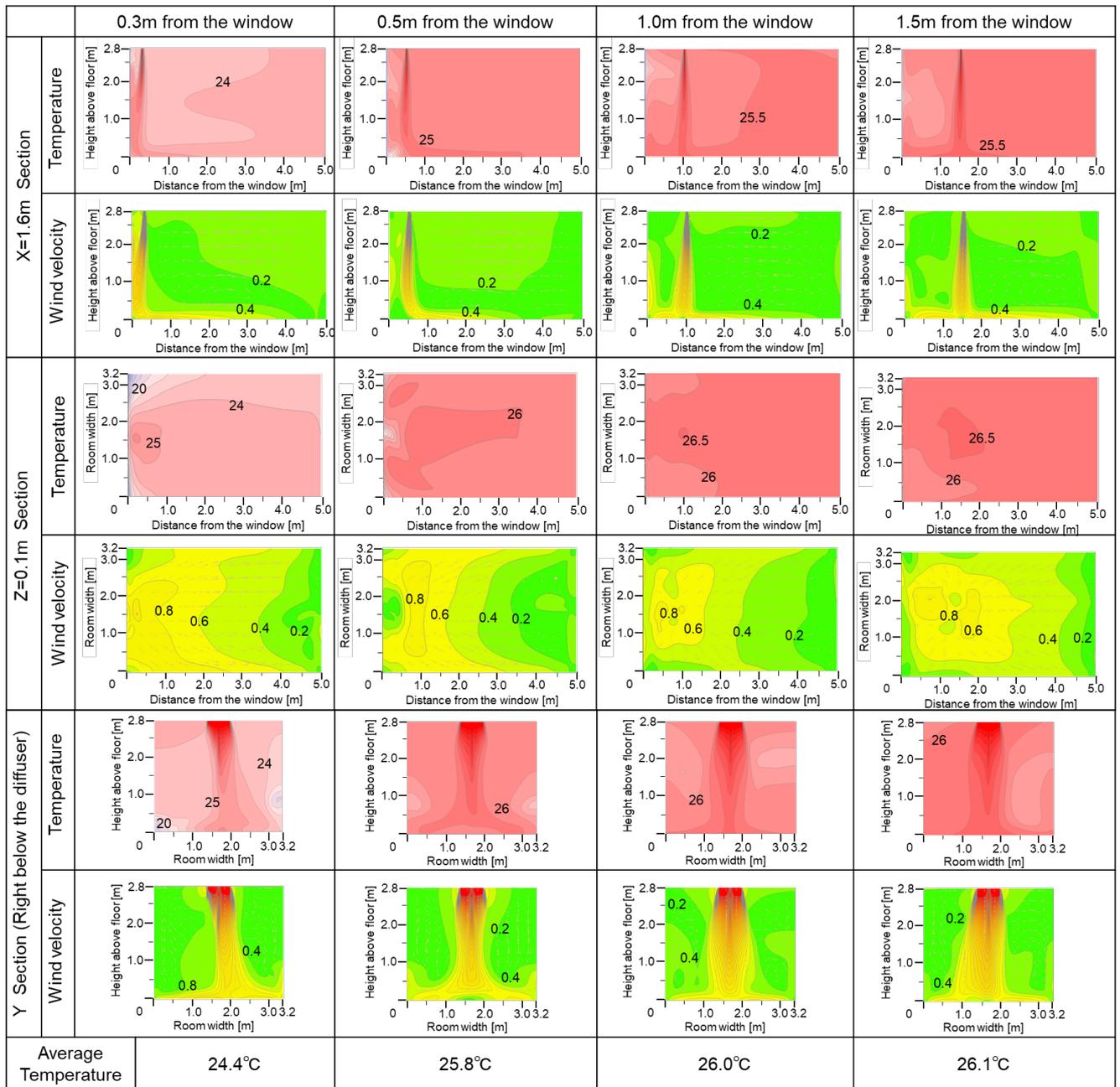


Fig.7 Distribution of temperature and scalar wind velocity

そして、窓ガラスから2m~5mの距離の空間をインテリア部で定義し、インテリア部の平均空気温を計算した。Fig.7に示すように、ディフューザーが窓から0.3m距離で設置する場合、暖房吹き出し気流が窓ガラスへ誘引され、熱量が窓ガラスを通じて室外へ流出するため、室内温度が四つのケースの中に最も低い(24°C前後)ことが分かった。また、ガラス表面の摩擦と温度下降の影響により、ディフューザー直下の吹き出し気流分布範囲が狭くなり、窓面からの低温気流が吹き出し気流の到達していない場所から室内に侵入し、人の足位置の高さの断面(Section Z=0.1m)では、窓から1.5mの距離まで顕著なコールドドラフトが発生した。以上により、ディフューザーが窓

から0.3m距離で設置するのは暖房効率、またコールドドラフト対策効果が最も悪いケースと言える。

ディフューザーの設置位置が窓から遠く離れると、暖房気流が窓ガラスに付着することを避けることにより、全体室温が高くなり(26°C前後)、より高い暖房効率があるのを明らかにした。また吹き出し気流の温度が床面近傍まで保たれて、拡散範囲が窓近傍から吹出すケースより広いことも分かった。

吸込み口の設置位置(ガラス内側から200~400mm範囲の床面流出)より、窓から0.5mのディフューザーから吹き出された暖房気流は、窓からの低温気流と混合した後、ほぼ一直線に流出口に吸い込まれた。残った壁面が

らの低温下降流が窓近傍の範囲内によく除去されたため、床から 0.1m 高さ断面に最も均一な温度分布があり、窓から 0.5m 距離でディフューザーを設置するケースの気流混合効果が相対的に高いとみられる。

4.2 吸込み口の位置変化と影響

吸込み口の設置がディフューザーのペリメータ対策効果に対する影響を検討するため、Fig.2 に示すように、吹出し口の位置を窓から 0.5m のところに固定し、吸込み口の設置位置 (outlet②) と寸法 (outlet③) をパラメータとして変更し、解析を行った。各断面の風速、温度分布を Fig. 8 に示す。

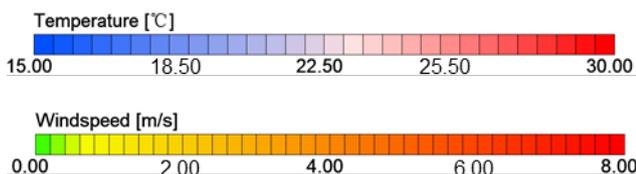
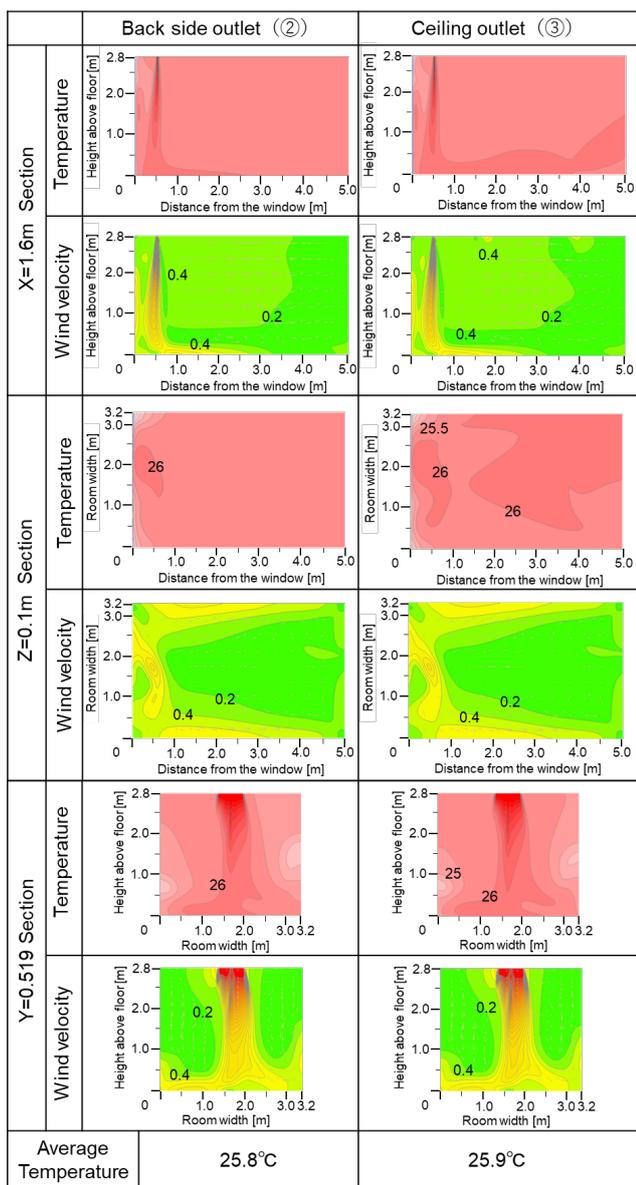


Fig.8 Distribution of temperature and scalar wind speed

Fig.8 と Fig.7 の結果を比べて、暖房気流が窓ガラスから 0.5m 距離で吹出される場合、吸込み口の位置にかかわらず、足の位置を代表する高さ断面 (Section Z=0.1m) では、ほぼ同じ風速分布があり、窓からのコールドドラフト気流もガラスから室内奥まで 0.5m の範囲内に制限された。また、吸込み口がグリッド天井のサイズに合わせて、複数で天井に設置される場合 (Outlet ③)、床面近傍の気温は同じ吹出し口位置のケースの中に最も高いことより、吹出し口が窓近傍 (ガラスから 0.5m) に設置する場合、吸込み口を複数に分けて、天井に設置することが空調気流のショットサーキットを軽減し、負荷除去効果の向上に積極的な影響があることが分かった。

5. まとめ

吹出し風速の分布モデルを用いて、ブリーズライン型ディフューザーが十分な吹出し風量がある条件で、ペリメータ対策性能があることを CFD 解析による検証した上、窓からの冷負荷を効率良く除去するため、窓から一定な設置間隔 (0.5m 以上目安) が必要であることを示した。吸込み口が窓近傍の床面に設置される場合、ペリメータの利用状況に基づいて、吹出し口をできる限り室の奥側に設置し、暖房効率を向上されることを提案した。また、ライン型ディフューザーが窓近傍 (0.5m) に設置する場合、床面吸込み口より、複数の天井吸込み口と併用する場合が効率的に負荷を除去できることも明らかにした。今回の解析は、標準 $k-\epsilon$ モデルを用いたが、壁関数を境界面条件として使用し、モデルの特性により、対流熱伝達率の予測精度が不足し、室内温度の解析結果は負荷計算時の予測値より 2.5°C 前後上回った。それに対して、低レイノルズ数型 $k-\epsilon$ モデルを用いる解析、また実験データに基づき直接窓内表面の熱伝達係数を指定することにより解析の精度向上を励む。また、窓面からの流入熱と室内への供給エネルギーなどを細かく解析し、各設置方法の暖房効率を検討するのを今後の課題として行う予定である。

【参考文献】

- 1) 盛紹宇、山中俊夫、小林知広、袁継輝、加藤正宏、弓野沙織：ブリーズラインを用いた暖房時窓近傍の熱環境制御に関する研究 (第 3 報) X 型熱線風速計を用いた風速測定に基づく吹出し気流特性の把握及び CFD 解析, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術発表会論文集, 第 49 回, 2020.3
- 2) 盛紹宇、山中俊夫、小林知広、袁継輝、加藤正宏、弓野沙織：ライン型ディフューザを用いた暖房時ペリメータ熱環境制御に関する研究 (第 4 報) X 型熱線風速計に基づくディフューザ吹き出し気流のモデル化及び CFD 解析, 日本建築学会 2020 年度大会学術講演梗概集, 2020.9