

VAV 機能付ディフューザに関する研究 Study on the Thermally Powered VAV Diffuser

正 会 員 ○須藤 美音 (総合設備コンサルタント) 正 会 員 高橋 岳生 (東京大学生産技術研究所)
正 会 員 加藤 信介 (東京大学生産技術研究所)

Mine SUDO*¹

Takeo TAKAHASHI*²

Shinsuke KATO*²

*1 SOGO SETSUBI Consultant Co.,Ltd.

*2 Institute of Industrial Science, University of Tokyo,

In this study, we examined the performance of thermally powered VAV diffusers from the viewpoint thermal comfort and energy conservation. Effective draft temperature of thermally powered VAV diffusers in most measurement point is within comfortable range. And energy reduction is 43.6% compared with the conventional diffusers.

1. はじめに

近年、オフィス執務者の生産性向上の観点から、オフィスのアメニティ向上、パーソナリゼーションに対する要求が高まっている。また、地球環境問題、都市環境問題の深刻化により、省エネに対する取組みが重要視されるようになり、特に、この問題の大きな要因のひとつである空調排熱の削減が求められている。これより、執務者にとって過冷房・過暖房のない適切な空調制御、また、室内に偏在する熱負荷に対応した適切な空調制御を行う必要があり、空調方式もゾーン別、個別と細分化されるようになった。

このような、オフィスの変化、オフィス空調のあり方の変化の中、VAV (Variable Air Volume) システムやパーソナル空調システムなどの空調システムが出現したが、既存ビルへの導入の難しさやイニシャルコストが高価であること等、様々な問題点が指摘されている。

本研究は VAV 機能付ディフューザに関して、快適性・省エネ性の観点から性能評価を行うことを目的とする。

2. VAV 機能付ディフューザの概要

VAV 機能付ディフューザは、吹出口単体にサーモスタット、風量調整ダンパ、吹出口がワンパッケージ化されている。吹出風向は天井面にほぼ平行で (図 1)、コアンダ効果により室内の気流を誘引し、吹出口内に内蔵されているサーモスタットは強制誘引された室内気流温度を検出する。サーモスタットは黄銅製のシリンダーで中にワックス状の物質が充填され、温度変化に伴うワックスの膨張・収縮によりピストン棒を動かし、ダンパが比例的に制御される。これにより、負荷変動に対して吹出口単位で制御できると期待される。また、変化する風量に応じて、ブレードが開閉し、吹出口の開口面積が自動的に調節されるため、風量が減少した場合でも、居住域に一定の風速を確保できる。

3. 実測概要

冬季は 2006 年 1 月 13 日～15 日、20 日～22 日、夏季は 2006 年 8 月 8 日～14 日に実施された。ここでは夏季冷房時に関する報告をする。

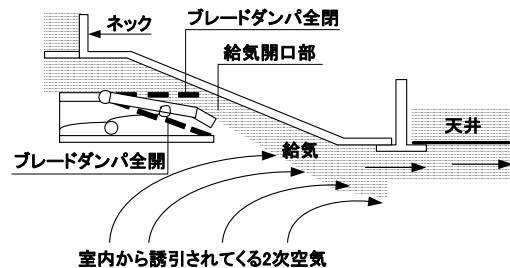


図 1 VAV 機能付ディフューザ 断面図

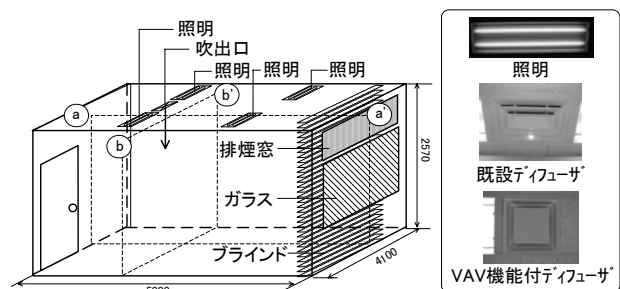


図 2 測定対象室概要

表 1 実測ケース

| ケース | ケース 1 | ケース 2 |
|-----|----------|---------------|
| 測定日 | 8/13 | 8/14 |
| 吹出し | 既設ディフューザ | VAV 機能付ディフューザ |

3.1 実測対象室概要

実測を行ったのは事務所ビル(東京、建築面積 1,397m²、9 階建、各階空調方式) 5 階の応接室 (4,100×5,000mm)。応接室の概要を図 2 に示す。室内のテーブル・イスは測定中は撤去した。

吹出口は室内の中央に 1 箇所、吸込口は照明スリットの 4 箇所である。既設ディフューザは、500×300mm。VAV 機能付ディフューザは 300×300mm。

3.2 測定ケース

測定ケースを表 1 に示す。ケース 1 は既設ディフューザ、ケース 2 は VAV 機能付ディフューザとした。

3.3 測定項目

測定項目を以下に示す。測定は空調和・衛生工学会室内環境測定マニュアルに準じて行った。

(1) 風速分布：多点風速計により計 36 点測定した。

- (2) 吹出風量：吹出口に補助ダクトを設置し、サーミスター風速計により各分割面の風速を測定した。
- (3) 室内温度分布：熱電対により計 84 点測定した。
- (4) グローブ温度：室中央、高さ 1.1m にてグローブ温度計により測定した。
- (5) PMV：室中央、高さ 1.1m にて、PMV 計により測定した。代謝量 1.1MET、着衣量 0.6clo と仮定した。
- (6) 風向：スモークテスターにより、白煙を発生させ、風向を目視、観察した。また、天井近傍に短冊を設置し、吹出口周辺の気流を撮影した。
- (7) 気流の可視化：スモークジェネレータによる白煙を吹出直後の気流中に導入し、拡散性状を撮影した。
- (8) 上下温度分布の可視化：吹出口近傍に黒紙を天井面より 30cm 幅でたらし、サーモカメラにより観察した。

4. 測定結果

4.1 外気条件

東京管区気象台における風速、気温の観測データを表 2 に示す。8/13 の気温は平年より低く、8/14 は平年並みであった。

4.2 風量測定結果

風量測定結果を表 3 に示す。ケース 1 (既設ディフューザ) は 340.2m³/h、ケース 2 (VAV 機能付ディフューザ) は 426.2m³/h で、既設ディフューザより風量が多い^{1) 2)}。また、VAV 機能付ディフューザが全閉時の場合、風量が 206.8m³/h で全開時の 48.5%程度となった。

4.3 風速分布

図 3、4 に既設ディフューザ (風量 340.2m³/h) と VAV 機能付ディフューザ (風量 426.2m³/h) の気流分布を示す。なお、図中の括弧内の数値はケース 1、括弧外の数値はケース 2 である。

ケース 1 とケース 2 の風速分布を比較すると、②-②' 断面では特に 2.3m 高さで差が見られ、ケース 1 の方が風速が高い傾向にある。2.3m の吹出口の近傍においては、ケース 1 で 0.53m/s、0.46m/s であるのに対し、ケース 2 では 0.07m/s、0.17m/s である。居住域においては (高さ 0.1~1.7m)、ケース 2 の方が若干風速が高い傾向にある。また、ケース 1 では風速が 0m/s となるポイントがいくつかあり、ムラがみられる。

4.4 温度分布

図 5 に鉛直温度分布を示す。外気条件よりケース 1 (既設ディフューザ) 測定時の外気温は 28.5℃、それに対しケース 2 (VAV 機能付ディフューザ) の測定時は 31.0℃。ケース 2 測定時の外気温が高いため、全体的にケース 2 の方がケース 1 より高温である。居住域 (0~1.7m) においては、ケース 1、ケース 2 共に鉛直方向に大きな温度差はない。天井近傍においては、測定点 A は吹出口から最も遠くかつ日射の影響を受けやすい位置にあるため、高さ 2.3m、2.5m の温度が他の測定点と比較して最も高い。し

表 2 外気条件

| 時刻 | 測定項目 | ケース 1 (8/13) | ケース 2 (8/14) |
|------|----------|--------------|--------------|
| 9 時 | 気温 (°C) | 24.9 | 28.7 |
| | 風速 (m/s) | 1.1 | 1.1 |
| 12 時 | 気温 (°C) | 28.7 | 31.4 |
| | 風速 (m/s) | 3.3 | 4.0 |
| 15 時 | 気温 (°C) | 29.3 | 30.6 |
| | 風速 (m/s) | 3.5 | 2.6 |

表 3 風量測定結果

| | ケース 1 | ケース 2 (全開) | ケース 2 (全閉) |
|------------------------|-------|------------|------------|
| 風量 (m ³ /h) | 340.2 | 426.2 | 206.8 |
| 換気回数 (回/h) | 6.5 | 8.1 | 3.9 |

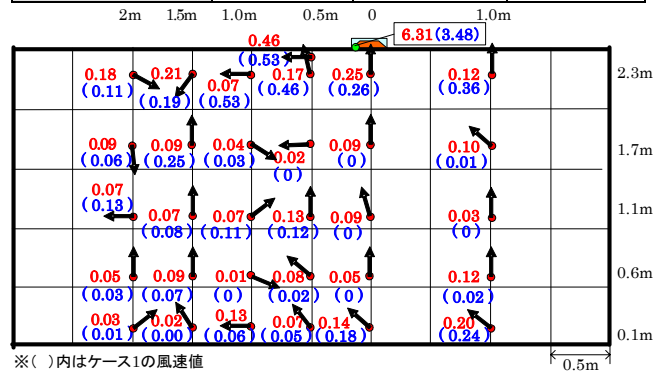


図 3 風向・風速分布②-②' 断面

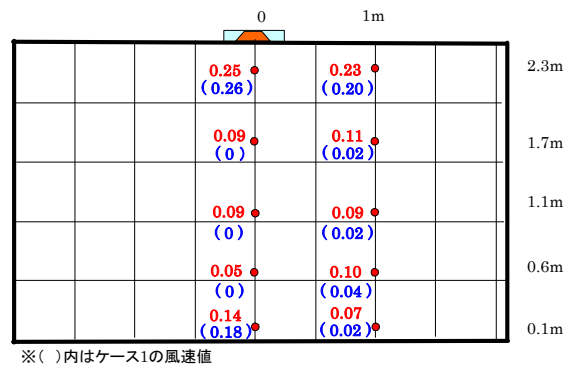


図 4 風向・風速分布③-③' 断面

かし、2 ケース間に大きな傾向の違いはない。測定点 B については、測定点 A と同様に天井近傍で高温になる傾向があるが、VAV 機能付ディフューザは吹出口の気流が天井を沿って流れるため、ケース 2 の方が低温となる傾向にある。測定点 C、D、E、F では吹出口に近いために、高さ 2.3m、2.5m で低温となる傾向があるが、特にケース 1 では居住域の温度と比較して顕著に低温である。また、高さ 2.3m でケース 1 では吹出口の気流の影響で低温となっているが、ケース 2 では大きく低下していない。これは、前述のように VAV 機能付ディフューザでは、吹出口の気流が天井を沿って流れるためである。測定点 G ではケース 1、ケース 2 ともに天井近傍の温度は居住域の温度とあまり変わらない。これは、天井の発熱の影響や吸込スリットにより吹出した気流が吸込まれるためと考えられる。

4.5 快適性評価 (有効ドラフト温度)

快適性については、有効ドラフト温度を指標として評価を行った。ASHRAE では、室内の温度差とドラフトに対

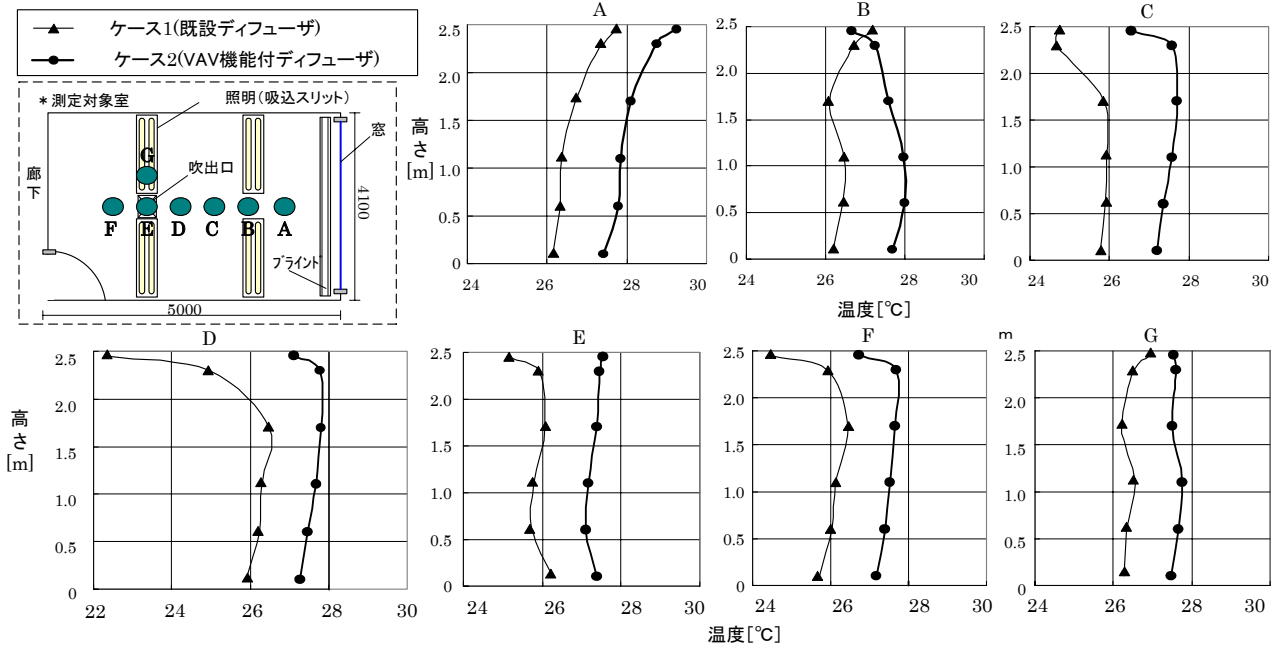


図5 鉛直温度分布

し、快適状態を表す指標として有効ドラフト温度 θ [°C] を定義している (式 (1))。

$$\theta = (T_x - T_c) - 8(U_x - 0.15) \dots \text{式 (1)}$$

T_x : 室内の局所温度 [°C]、 T_c : 室内の平均温度 [°C]、

U_x : 室内の局所気流速度 [m/s]

有効ドラフト温度が $-1.7 \sim +1.1$ °C で、かつ風速が 0.35 m/s 以下の範囲であれば、座っている居住者の大多数が快適と定義されている。

図 6、7 に有効ドラフト温度分布を示す。図中でアンダーラインのある数値は快適範囲外である。ケース 1 (既設ディフューザ) は居住域では快適範囲外のポイントはあまりないが、天井付近を中心に快適範囲外のポイントが多く存在する。それに対して、ケース 2 (VAV 機能付ディフューザ) では快適範囲外となるのは 2 ポイントのみである。ケース 1 では全測定ポイント 35 ポイント中 24 ポイントが快適範囲にあり (69%)、ケース 2 は 33 ポイントが快適範囲にある (94%)。

5. 省エネルギー性の検討

測定データに基づき、各階空調方式の CAV システムに対し、既設ディフューザを使用した場合と VAV 機能付ディフューザを使用した場合において、省エネルギー性に関するシミュレーションを行った。ここでは、ファン動力削減分を省エネ量としている。ただし、測定を実施したのは応接室の吹出口 2 箇所のみであるが、シミュレーションでは事務所 (事務所ビル 5F 部分、冷房面積約 657 m^2) の 24 箇所すべてについて推定を行った。

5.1 シミュレーションの条件

(1) 熱負荷変動パターン

月別熱負荷変動パターン、時刻別熱負荷変動パターンは

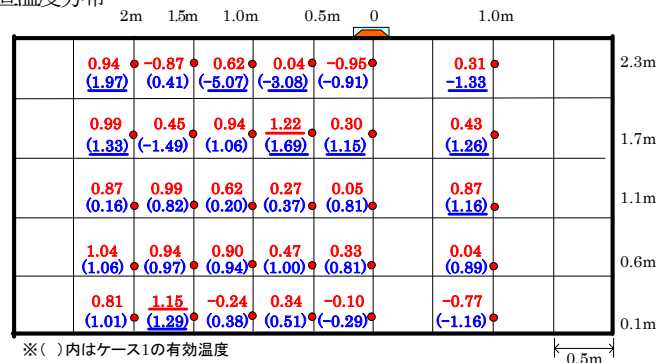


図 6 有効ドラフト温度①-a' 断面

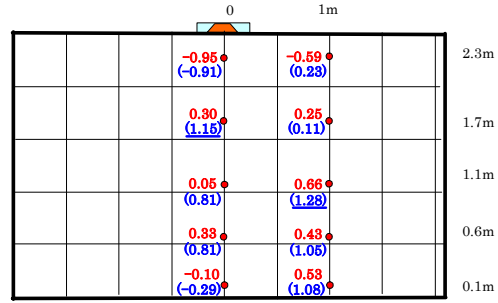


図 7 有効ドラフト温度②-b' 断面

空気調和・衛生工学会のデータに基づく^{文 2)、3)}。建物熱特性、空調システムの詳細は紙幅の関係で省略する。

(2) 空調機仕様及び運転条件

空調機は 2 機で、それぞれ送風量 $5500 \text{ m}^3/\text{h}$ 、動力 3.7 kW 。冷房の使用時間帯は 7~20 時、使用日数は 1 年間 (365 日) のうち 5/7 日とした。熱負荷変動パターンより、1 月の 8 時が暖房時の最大負荷、8 月の 15 時が冷房時の最大負荷となる。そのため、この時を最大送風量となるものとして、計算を行った。VAV 機能付ディフューザは、熱負荷の変動に対して風量を変動させるが、測定結果より、風量を最大 50% まで絞れるものとして検討を行った。

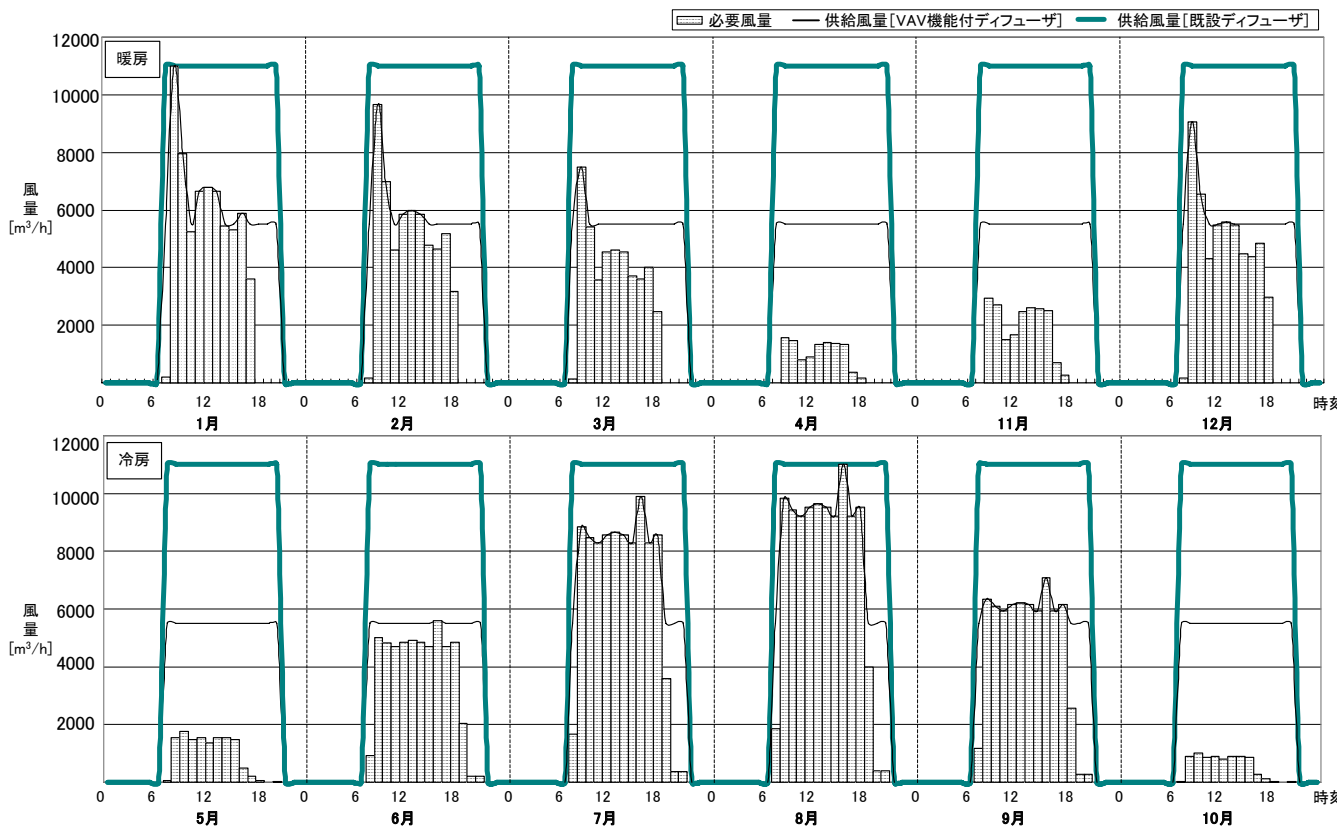


図8 省エネルギー性の検討(冷房面積657m²・9F建の5F事務室)

5.2 シミュレーション結果

図8にシミュレーションの結果を示す。変動する熱負荷を処理するのに必要な送風量を棒グラフで、それに対し、VAV機能付ディフューザ及び既設ディフューザを使用した場合のそれぞれの供給風量を折線グラフで示す。

既設ディフューザの場合、冷房時・暖房時ともに、必要風量に対して多量に供給していることが、特に中間期(4、5、10、11月)は冷暖房の負荷が小さく、過剰供給している。VAV機能付ディフューザの場合も中間期では過剰供給しているが、既設ディフューザに対して半分の風量ですむ。

VAV機能付ディフューザと既設ディフューザの搬送動力における省エネ評価結果を表4に示す⁴⁾。CAVシステムでVAV機能付ディフューザを使用した場合、年間で約322円/m²、既設ディフューザに対して43.6%のエネルギー費用が削減される。

6. まとめ

VAV機能付ディフューザに関して、夏季冷房時の性能試験を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) VAV機能付ディフューザ・既設ディフューザ共に居住域における上下温度差はほとんどなかった。
- (2) 天井近傍においてもVAV機能付ディフューザでは居住域と大きな温度差はみられていないが、既設ディフューザでは温度差が生じていた。
- (3) 有効ドラフト温度により快適性評価を行なった結果、

表4 年間省エネ評価

| | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 冷房動力省エネ量 (A) | 7,610.8 [kWh] |
| 暖房動力省エネ量 (B) | 8,857.6 [kWh] |
| 年間動力省エネ量 (C) (= (A+B) × 5/7) | 11,763.2 [kWh] |
| 年間省エネ金額 (D) (= C × 18) | 211,737 [円] |
| 床面積あたりの年間省エネ金額 (E) (= D / 657) | 322 [円/m ²] |

VAV機能付ディフューザでは測定ポイントのうち94%が快適範囲内にあった。既設ディフューザでは69%が快適範囲内にあった。

- (4) シミュレーションの結果、空調エネルギーが年間で約322円/m²削減される(43.6%削減)。

[謝辞] 研究の遂行にあたり慶應義塾大学・村上周三教授、東洋大学・高草木明教授には多大なご助言を得た。ここに記して深甚の謝意を表します。また、VAV機能付ディフューザをご提供くださいました(株)くろがね工作所・石井龍彦様、小田成俊様、(株)日空研・宮田信夫様に厚く御礼申し上げます。

[参考文献] 1) 須藤ら: VAV機能付ディフューザに関する研究(その1~2)、日本建築学会大会学術講演梗概集D-2、(2006.9)、pp.1123-1126 2) 空気調和・衛生工学会: 都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価

[注釈] 1) VAV機能付ディフューザは、全開の風量が100%の場合の測定を行った。ただし、熱負荷の変動により風量に変化するため、測定中必ずしも一定とは限らない。2) 既存のCAVシステムに対して、吹出口を交換しただけの工事で留まっており、静圧制御までは行っていない。そのため、既設ディフューザとVAV機能付ディフューザの間に風量の差が生じた。3) 1~4月及び11~12月を暖房期間、5~10月を冷房期間とする。4) ここでは、各月の時間別別に必要動力とVAV機能付きの吹出口及び既設ディフューザに対する供給動力を示し、その差を省エネ分とした。省エネ量を省エネ金額に換算する際は、1kWhあたり18円とした。