

特集 : Virtual Testing

6

## CFDを活用した空調開発の効率化 Efficiency Improvement of Air Conditioning Development Using CFD

矢野 輝 昭\*1

Teruaki Yano

金 清 政 治\*4

Masaharu Kanekiyo

中 村 良 則\*3

Yoshinori Nakamura

### 要 約

近年、開発期間の短縮や品質向上が求められており、空調開発において、これらに対応するためにComputational Fluid Dynamics (CFD) の活用が有効である。

マツダにおいても、ダクト、Heating Ventilating Air-Conditioning (HVAC) ユニットの解析やデフロスタ性能予測等にCFDを活用して、開発の早い段階で仕様を決定できるようになってきた。

本稿では、CFDによって効率的にベントダクトやデフロスタノズルの通気抵抗や騒音を低減した事例や、マツダ初のフルセンターレイアウトを採用したHVACユニットの開発に活用した事例を紹介する。

### Summary

In recent years short-term development and quality improvement are in demand, the utilization of Computational Fluid Dynamics (CFD) is effective in satisfying such a demand at air-conditioning development.

Mazda, having been using the CFD in the analysis of ducts and a HVAC (Heating Ventilating Air-Conditioning) units or the estimation of defroster performance, has had the ability to decide on air conditioning specifications even in the early stage of development.

This paper introduces the cases where the CFD has suppressed the airflow restrictions and noises of the vent duct and defroster nozzle with high efficiency and has been utilized in developing the HVAC unit featuring Mazda's first full central layout.

### 1. はじめに

開発期間の短縮や開発費削減が求められる中、低コストで高品質な商品を短期間で開発する技術の確立が必要である。空調開発においても、地球環境問題に対して小型・軽量化や省動力化を実現するとともに、お客様の快適性の高い要求にも対応することが求められている。これらに対して、開発の初期段階において短期間で仕様を決定するための予測技術としてCFD解析を行っている。

本稿では、マツダにおける空調性能の予測技術とこれを用いた商品開発の実例を紹介する。

### 2. CFDの空調開発への適用

空調性能開発は、デザインやパッケージで大きく影響を受けるため、早期にこれらと両立する要件を提示すること

が必要である。近年は、CFD解析を積極的に活用して、試作に頼らずに仕様を決定できるようになってきた。

空調開発におけるCFD解析は、市販の汎用流体解析ソフト“STAR-CD”を使用している。CFD解析では、ベントダクトやデフノズルなどのダクト内の流れ解析、デフロスターの晴れ解析、車室内の気流解析などを行っている。

マツダは、インパネやHVACの開発を担当する各部品サプライヤと役割を分担し、情報を共有化して解析している。解析結果をもとに、Rapid Prototypingによってダクト等を試作して検証することで図面の精度を向上でき、その後の型修正を大きく減少させることができている。

今回、①ベントダクトの最適化による通気抵抗と騒音の低減、②高効率な動圧式デフノズルの開発、③フルセンターレイアウトのHVACユニットの開発にCFDを活用した事例を説明する。

\*1, 2 装備開発部  
Interior Components Development Dept.

\*3 (株)日本クライメイトシステムズ  
Japan Climate Systems Corporation

\*4, 5 西川化成(株)  
Nishikawa kasei co., Ltd.

### 3. 解析事例

#### 3.1 ベントダクトの解析

##### (1) 通気抵抗の改善検討

ダクト解析条件を以下に示す。

流入条件：HVAC出口の風速分布

流出条件：圧力規定 (0Pa)

壁面条件：壁面測適用

乱流モデル：k-モデル

差分スキーム：風上差分 (一次精度)

初期レイアウト形状 (Model A) の解析結果はFig.1に示すように、サイドベントダクトのくねり形状やダクト曲折部の急なR形状およびダクト入り口直後の曲折形状が原因で、通気抵抗値と単体騒音性能が目標を大幅に未達の状況であった。CFDの結果を分析し、Fig.2に示すようにダクトのレイアウトや形状を大幅に見直した (Model B)。その結果、風量分配を適正にした上に、通気抵抗を135Pa、ダクト単体騒音を10dB低減することができ、トップクラスの低騒音性能が実現できた (Fig.3)。

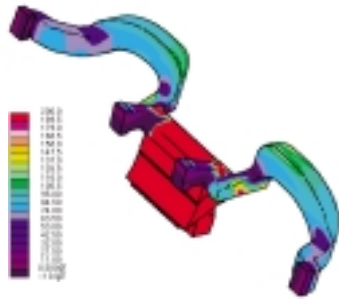


Fig.1 Pressure Distribution (Model A)

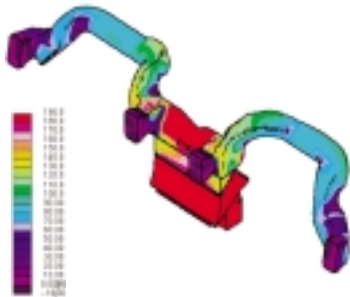


Fig.2 Pressure Distribution (Model B)

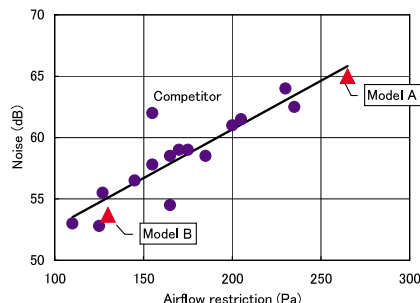


Fig.3 Comparison of Airflow Restriction and Noise

##### (2) 計算精度

通気抵抗の計算値の精度は約5%とよく一致している。また、各吹き出し口の風量分配も実測値との比較で最大2%の差であり、実用上問題ないレベルにある (Fig.4)。

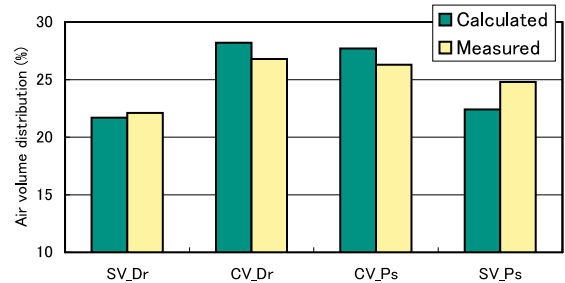


Fig.4 Comparison Air Volume Distribution

#### 3.2 デフロスタの解析

##### (1) デフノズルの解析

従来マツダでは静圧式ノズルを多く採用してきたが、レイアウトの制約から十分な容量のチャンバを確保できず、動圧式ノズルと比較して、通気抵抗や吹き出し風速分布の均一性において不利であった。そこで今回、新たに動圧式ノズルにおいて通気抵抗の低減、低騒音化、風速分布の改善を目指し、ノズル形状の最適化を行った。

今回開発したノズルの速度ベクトル分布と吹き出し風速分布をFig.5に示す。ノズルからの吹き出し風速分布は均一であり、吹き出し風速分布や各吹き出し口の風量分配の計算値は、実測値とよく一致している (Fig.6)。

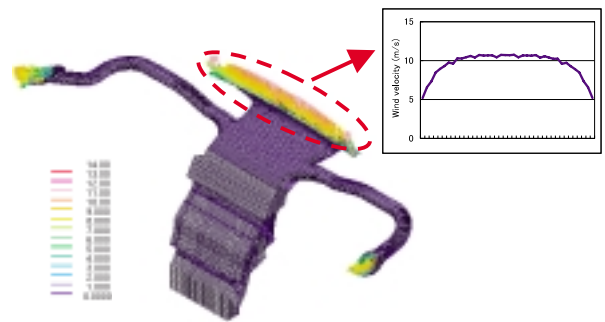


Fig.5 Velocity Vector and Outlet Velocity Distribution

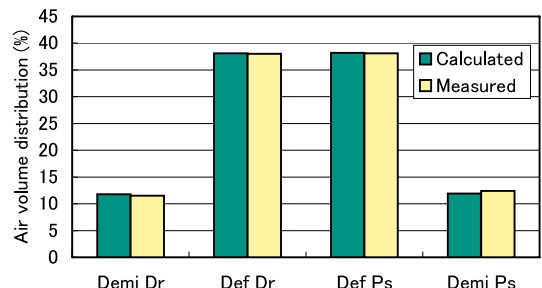


Fig.6 Comparison Air Volume Distribution

通気抵抗やノズル単品騒音においても、静圧式ノズルを採用していた従来モデルと比較して通気抵抗を60%、単品騒音を10dBと大幅に低減でき、競合車と比較してもトップクラスの性能を確保している (Fig.7)。

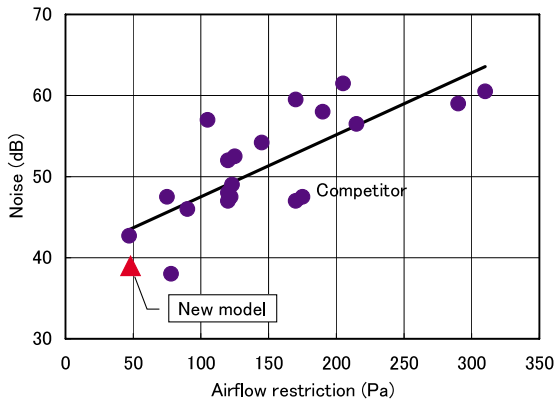


Fig.7 Comparison of Airflow Restriction and Noise

(2) 晴れ性能の解析

ノズル形状の最適化とともに、吹き出口とウインドガラスとの距離やデフロスタ風のウインドへの当たり角についても解析を行い、様々な条件下で晴れに対して最適な条件を明確にした。

ウインドシールドとサイドウインドの風速分布の計算結果をFig.8に示す。差分スキームは単調移流再構成スキーム (2次精度) を使用している。実測値 (Fig.9) と比較してよく一致しており、また低温時の晴れ性能とも相関があり、晴れ性能を充分予測可能となった。

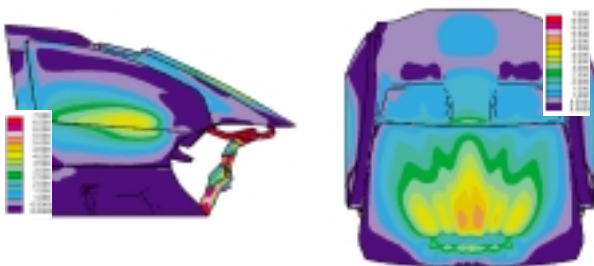


Fig.8 Calculated Flow Velocity Distribution

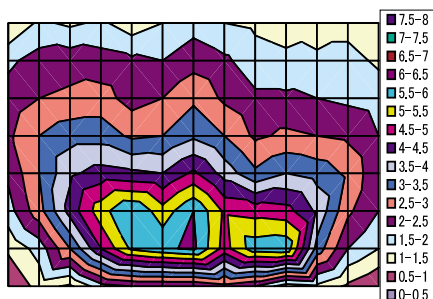


Fig.9 Measured Flow Velocity Distribution

3.3 HVACの解析

今回開発したHVACユニットは、ブロウ、熱交換器、エアミックスチャンバを車両中央に全て配置したフルセンターレイアウトを採用した。フルセンターレイアウトはスペースの制約条件が厳しく、効率的な設計が求められ、CFDを活用して開発を進めた。

HVACの圧力分布と速度ベクトル分布の解析結果をFig.10に示す。通気抵抗の解析結果と実測値の比較をFig.11に示すが、精度は約15%以内で予測可能である。

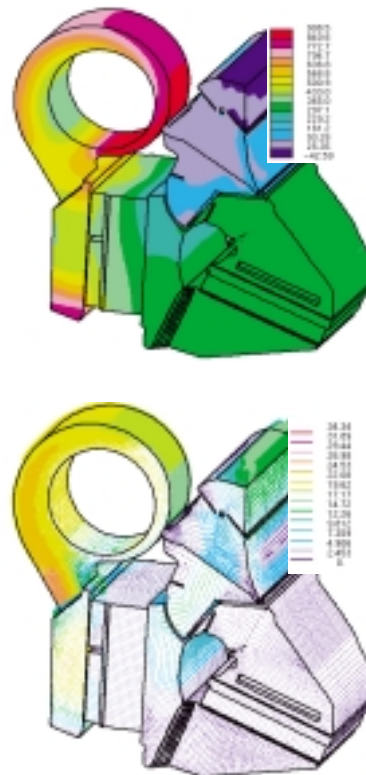


Fig.10 Pressure Distribution and Velocity Vector

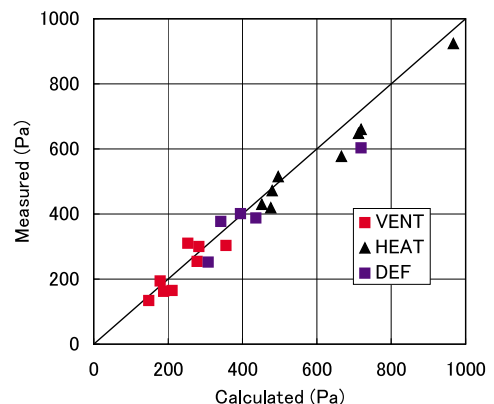


Fig.11 Correlation of Airflow Restriction

また温度分布の解析も実施し、温度コントロール特性の検討を行った。温度予測に関しては、精度的に更に改善の余地があるが (Fig.12), レイアウト初期段階の温度コントロール特性の検討には利用できることが確認できた。

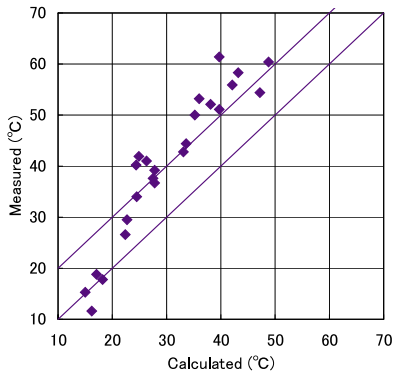


Fig.12 Correlation of Temperature

フルセンターユニットを実現したことで、HVACの横幅は飛び抜けて小さく (Fig.13), 大型グローブボックスの採用などインパネ内部のレイアウトにおいて自由度の向上に貢献できた。

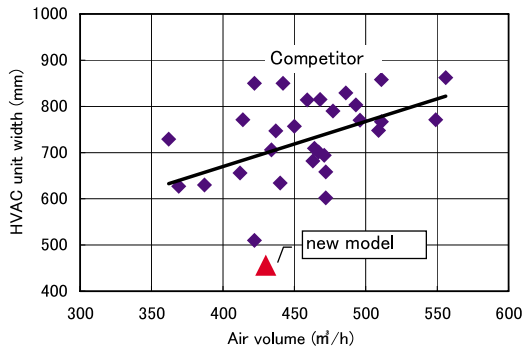


Fig.13 Size of HVAC Unit

3.4 システムでの性能向上

ベントダクトやデフノズルの性能改善とフルセンターHVACの開発によって、通気抵抗と騒音を大幅に改善できた。Fig.14に示すように、従来の車種と比較してVENTモード、DEFモードともに通気抵抗は約40~45%低減でき、これによって騒音も1.5dB改善できた。

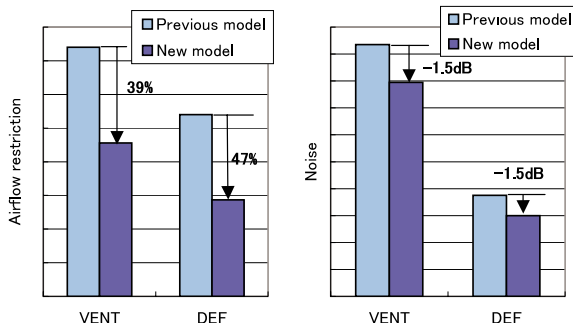


Fig.14 Improvement of Airflow Restriction and Noise

3.5 HVAC内の細部流れの解析

CFDはこれまで紹介した以外にもHVAC内の細部の流れなどに対して活用している。

Fig.15はエバポレータの風速分布を計算し、耐フロスト性の改善検討を実施した事例である。HVAC内の通路やエアガイド形状を見直し、フロストしやすい風速の弱い部分を改善することで対策を行った。また、エバポレータのフィン配列や形状の最適化の検討にもCFDを有効活用している。

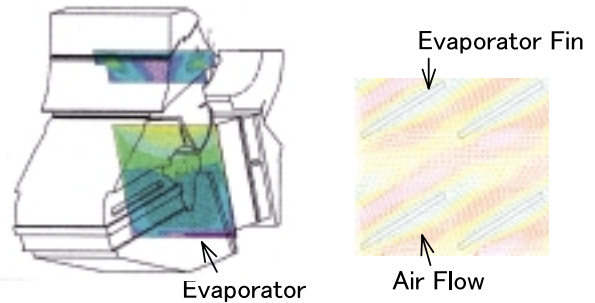


Fig.15 Flow Velocity Distribution of Evaporator

Fig.16ではHVAC内のドア部の流れを解析し、ドア両面の総圧からドアへのモーメントを求めた。ドアのレイアウトや形状を検討し、大風量時においてもヒーターコントロールの操作性を向上することができた。また、ドアの開度が小さいとき、ケースとの隙間において流速が速くなり異音が発生する。流速と異音発生の関係を検討し、ドア形状と開度の最適化を行った。

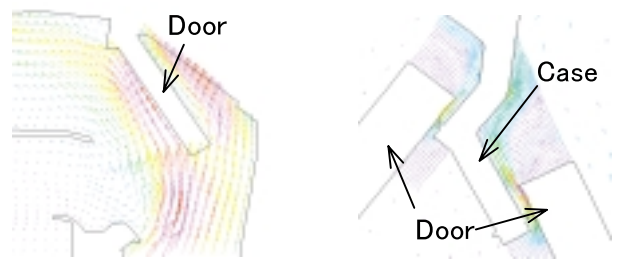


Fig.16 Flow Velocity Distribution of HVAC Door

Fig.17はプロウレジスタのヒートシンク形状やレイアウトを検討したものである。プロウユニットのスクロール部に配置した場合とエバポレータ部に配置した場合での流れ計算を行い、冷却に必要な最低風速が得られ、抵抗が少なく、風の乱れによる異音の発生のない場所を選定した。

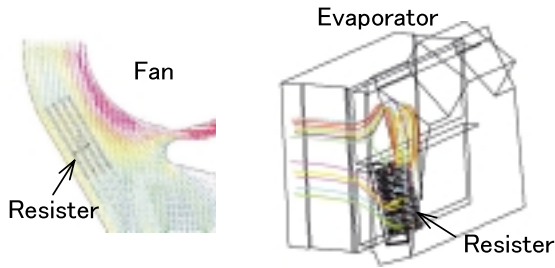


Fig.17 Examination of Layout of Resister

### 3.6 開発の効率化

CFDを開発に積極的に活用することで、開発効率も大幅に向上できた。現在、設計活動はCFDで実施しており、開発期間の前半における検討工数は増加しているが、試作車での評価段階以降での後戻りがなくなったことで大幅に育成工数を削減でき、開発期間全体では約40%の削減ができています。また、性能改善に起因する型の修正もほとんどなくなり、開発費の削減にも貢献できています。

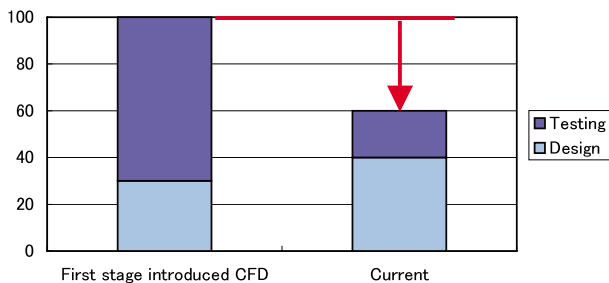


Fig.18 Reduction in Development Time

## 4. まとめ

CFDの活用によって、試作に頼らず短期間で高性能な商品開発が可能となってきたが、今後更なる精度の向上と解析時間の短縮が課題であり、引き続き検討を行っていく。

現在CFDにおいて最も工数が必要な業務はモデル作成であり、特に解析時間が多大に必要な車室内の気流解析の効率化が急務である。モデル作成業務を効率化することで、更なる開発期間の短縮に繋がり、メッシュサイズやメッシュ形状と計算精度との両立を図ることやエラーメッシュの修正時間の短縮などに取り組んでいく。

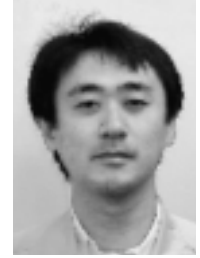
更に低風量時の計算精度を改善することや、検討が充分できていないベントルーバーの解析などを行っていき、乗員の快適性の予測精度を向上させていく。

今回の開発にあたり、ご協力をいただいた(株)日本クライメイトシステムズ殿並びに西川化成(株)殿に感謝いたします。

### 著者



矢野輝昭



中村良則



金清政治