

ヒータ・クーラー一体形カーエアコンの開発

Development of Compact Air Conditioning Unit for Vehicles

エアコン製作所 秋 元 良 作*¹ 川 原 辰 英*²

中 川 信 也*³

技 術 本 部 近 藤 文 男*⁴ 野 山 英 人*⁵

自動車用エアコンは乗員の快適性や安全性を確保するための必要機能として定着し、エアコン装着率はほぼ100%に達した。一方、自動車としての居住性向上や、高機能なオーディオやナビゲーションシステムの搭載によりエアコンの小形化が必要となった。そこで、エアコン部品の小形化と一体ユニット化により大幅な小形化を達成したので紹介する。

Recently, the installation rate of automobile air conditioners is close to 100%. This is a result of the fact that the air conditioner is considered to be standard and indispensable equipment for a vehicle to fulfill driver comfort requirements and to improve safety. On the other hand, to improve driver comfort, several additional devices such as a multi-functional audio system and an electronic navigation system are installed, and as a result, the air conditioner is required to be as compact as possible. The compact automobile air conditioner was developed by reducing the size of each components as well as combining the heater and cooler units.

1. ま え が き

最近の自動車技術動向の第一は、快適性と利便性の追及であり、RV車や高級車の人気として現われている。第二は安全性向上であり、エアバッグの常装化や車体構造の改良が行われている。第三は環境問題への対応であり、電気自動車や省燃費化の開発に注力されている。

カーエアコンは快適性や安全性を確保するための必要機能として定着し、その装着率はほぼ100%に達し常装化となった。

そこで、居住スペースの拡大や、高級オーディオ・ナビゲーション機器の搭載スペースの確保のため、エアコンの小形化が重要課題となってきた。

車室内側のエアコン部品は図1のようにブロワ・クーラ・ヒータの主要3部品から構成されているが、各部品の高効率化、小形化と空力的流動解析による低圧損化により、これら部品の一体ユニット化を図り、大幅な小形化を達成したので紹介する。なお、図1に現行エアコンの分割タイプの例と本開発による一体形ユニットを示す。

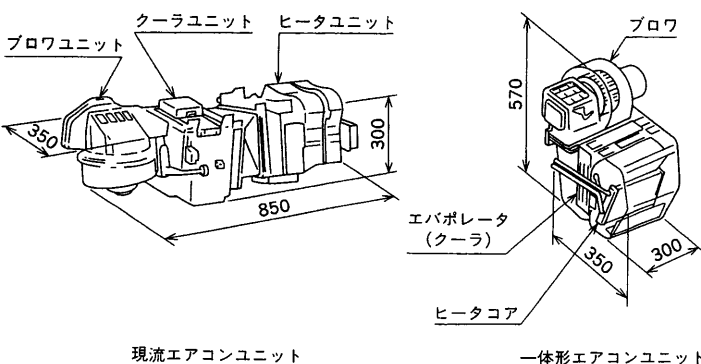


図1 エアコンユニット外形図 車室内側エアコンの現流品と開発品の外形図を示す。
Out view of air conditioning unit

2. 一体形カーエアコンの要素技術

一体形エアコンは各ユニットがコンパクトに組合せられて構成されるため、各コンポーネントのコンパクト化及びコンポーネント相互の影響を考えながら複合していく技術が必要となる。

ここでは、熱交換器の高性能化・コンパクト化、ブロワの低騒音化及び各コンポーネントの最適組合せを実現するための流れ解析について述べる。

2.1 熱交換器の高性能化・コンパクト化

熱交換器としてエバポレータを中心に、高性能化・コンパクト化について述べる。

エバポレータは、プレス成形したプレートとインナプレートにより構成される冷媒伝熱管と空気側フィンとを積層する構造である(図2)。この高効率化・コンパクト化を実現するために空気側・冷媒側の伝熱促進を検討した。

2.1.1 空気側の高性能化

空調用熱交換器は、低騒音化のため設計風速を低く抑える必要から、全熱抵抗に占める空気側フィンの熱伝達率の割合は大きく、性能向上の重要なポイントである。従来から空気側熱伝達率向上の研究は多く、フィンの前縁効果を利用するものがほとんどである。

空気側熱伝達率向上としてルーバフィンの細寸幅化⁽¹⁾⁽²⁾があり、ルーバ長さを従来対比60%とした細寸幅ルーバフィン熱交換器で、従来対比空気側熱伝達率を約10%向上し、圧力損失を約5%低減することができた。

2.1.2 冷媒側の高性能化

図2に示すインナプレートの表面にエンボスを付け、冷媒流れ方向に細かい溝を形成することにより、平滑面に比べ約2.7倍の熱伝達率を得た。これは、エンボスによる流れを乱す効果と凸部の液膜を薄くする効果による。

また各伝熱管への冷媒の最適分配による過熱領域の低減が高性能化の重要なポイントである。伝熱管を3ブロック化することにより、従来と同等の冷媒側圧力損失で熱交換能力の増大を得るこ

*1 技術部カーエアコン2グループ主務 *4 名古屋研究所機械物理研究室主務

*2 技術部カーエアコン1グループ

*5 名古屋研究所冷熱システム研究室

*3 技術部技術開発グループ

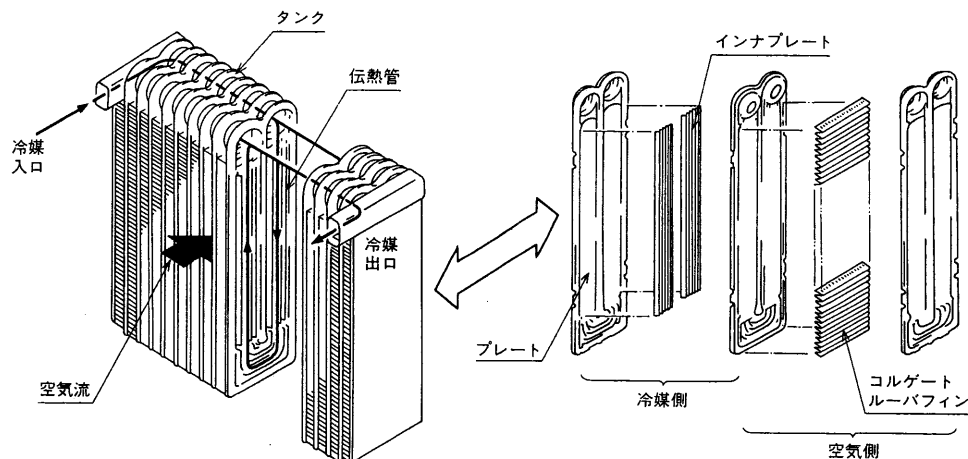


図2 積層形蒸発器 プレス成形されたプレート（伝熱管）と空気側フィンとを積層して形成される積層形蒸発器を示す。
Laminate type evaporator

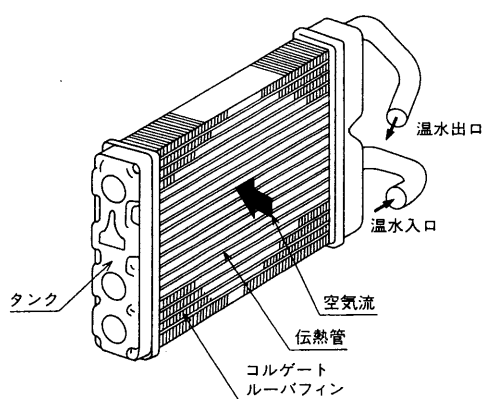


図3 ヒータコア ヒータ熱交換器の外観を示す。
Heater core

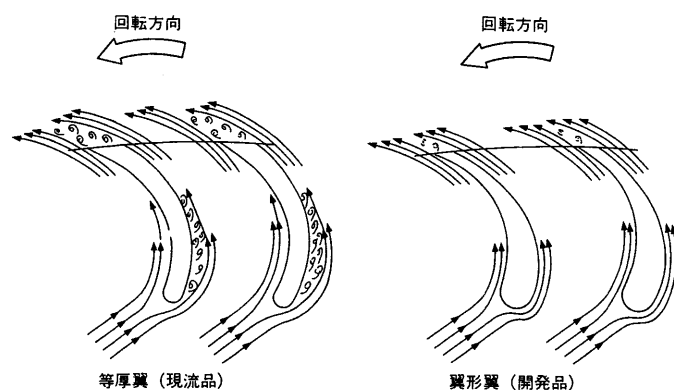


図4 羽根形状 現流品と開発品の翼形状と気流比較を示す。
Profile of blade

とができた。

2. 1. 3 ヒータの高性能化

図3に示すようなヒータにおいても、性能への寄与が大きい空気側をエバポレータで示した細寸幅のルーバフィンにより高効率化・コンパクト化を図った。

2. 2 ブロウの高性能化・低騒音化

カーエアコン用ブロウは、家庭用や業務用の通常の空調機と比べ作動範囲が広く、フェース・フットなどの各モードに対して良好な性能を発揮できるように考えねばならない。

ブロウの性能（含む騒音）向上のためには、羽根車・ケーシング及び内外気切換箱等の適正化を図る必要がある。

羽根車は、従来の当社の設計法⁽³⁾をベースに図4に示すように翼形化した。羽根前縁の丸みを大きくしてあるので羽根への入射角度が各作動点により変わっても前縁ではく離を防止でき、また翼間通路が自由に設計できるため、羽根間の相対速度の制御が行える。その結果、高性能化・低騒音化が図れるようになった。

ケーシング形状は、基本的には羽根から流出した流れはケーシング内で自由渦となるよう対数らせんとし、それから外れる場合には、流れの可視化等の流れの分析により適正化を図っている⁽⁴⁾。また、内外気切換箱形状については車体側のトーボード等を含む流れ解析により形状の適正化を図っている⁽⁵⁾。

2. 3 流れの制御法

各コンポーネントの適性配置の検討には、流れ解析が有効であ

る。この場合、エバポレータやヒータのモデル化が重要である。このモデル化は、熱交換器を単純な抵抗体で置き換えることだけでは不十分で、熱交換器内の流れの特性を知ることが重要である。

カーエアコン用エバポレータやヒータは偏平伝熱管とルーバフィンであり、偏平管による横方向の拘束・熱交換器に入った位置とほぼ同じ位置から流出するフィン内の流れの特性を組入れモデル化した⁽⁶⁾。

また、ユニット内では各部の相互の影響により、熱交換器を空気が一様に通ることはなく、何らかの速度の偏りを生じ、どの程度熱交換器能力が低下するかを検討することは非常に重要となる。故意に速度分布を熱交換器に与えて低下割合を分析し⁽⁶⁾、次式に示すように熱交換器の速度分布の偏りの指標 K 値及び一様流に対する熱交換器能力の性能低下割合 D は、極めて簡単な式で表されることを見いだしている。

$$K = \sqrt{\frac{1}{S} \int_s \left(\frac{u(s) - \bar{u}}{\bar{u}} \right)^2 ds} \quad (1)$$

$$D = (Q_u - Q_n) / Q_u \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$D = CK^2 \quad (3)$$

ここに、

u : 熱交換器通過平均風速

$u(s)$: 分割領域 ds での風速

S : 熱交換器正面面積

Q_u : 一様流での熱交換器能力

Q_n : 分布流のときの熱交換能力

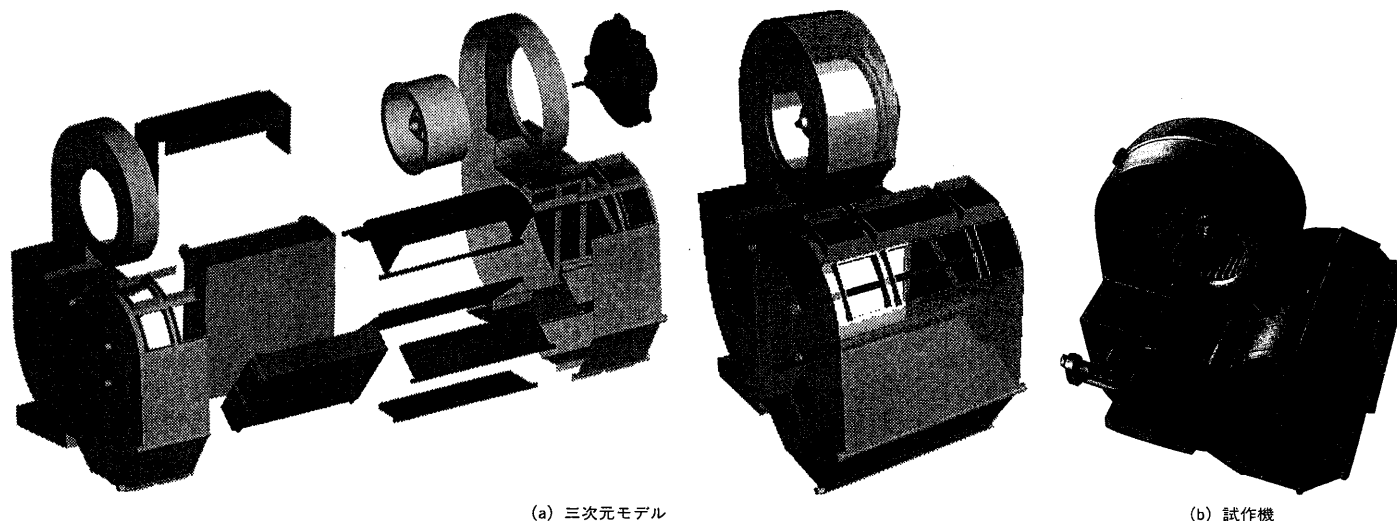


図5 三次元 CAD モデルと試作機 (a) 三次元形状を容易に認識できる。(b) CAD データを利用した光造形による試作機を示す。
Three dimensional CAD model & prototype

表1 要求性能及び諸元
Performance and specification

項 目	性能・諸元
最 大 風 量	冷 房 450 m ³ /h
	暖 房 350 m ³ /h
能 力	冷 房 4 500 W
	暖 房 5 000 W
ブロワモータ	シロッコファンφ140×H 80 入力 200 W
エバポレータ	アルミラミネートタイプ H 235×W 244×D 68
ヒータコア	アルミコルゲートフィン H 166×W 245×D 25

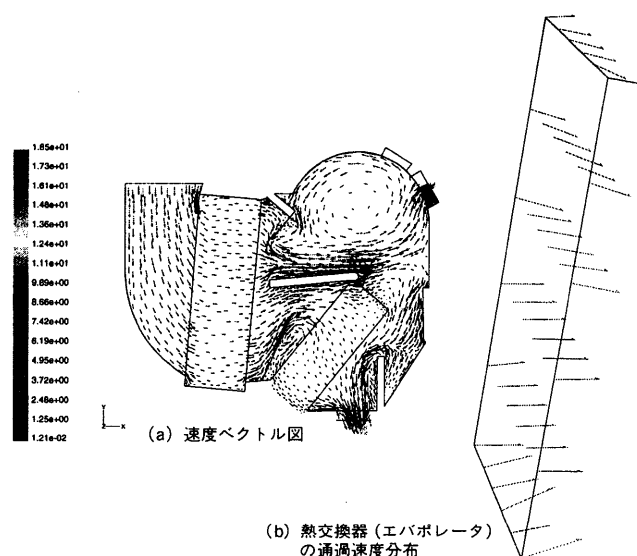


図6 ユニットの流動解析結果 ユニットの流動状態の例を示す。
Example of CFD analysis in car air cooling unit

3. 一体形カーエアコンの開発設計

各コンポーネントの高性能化・コンパクト化について述べてきたが、ユニット全体の設計では、各運転モードの風量・騒音等の目標仕様を満足させるために、これらのコンポーネントをいかにうまく組合せるかが非常に重要である。そこで本開発では、ユニットの目標性能を満足する各コンポーネントの配置計画を短期間で行うため、三次元 CAD を用いて開発設計を行った。目標性能及び諸元を表 1 に示す。

3.1 三次元 CAD の利用による開発設計

三次元 CAD は、形状を容易に認識でき、限られたスペースへ三次元的な配置を行う設計に有効であるため、コンピュータ画面上でエアコンの構造を直感的に捕らえることができる。設計初期段階で、組立性・サービス性を各部門で十分検討し、さらに次項で述べる流動解析・振動強度解析を行った。

図 5 に三次元 CAD で作成したユニットのモデル及び三次元形状データを使用し光造形法を用いて作製した試作機を示す。

3.2 流動解析による事前検証

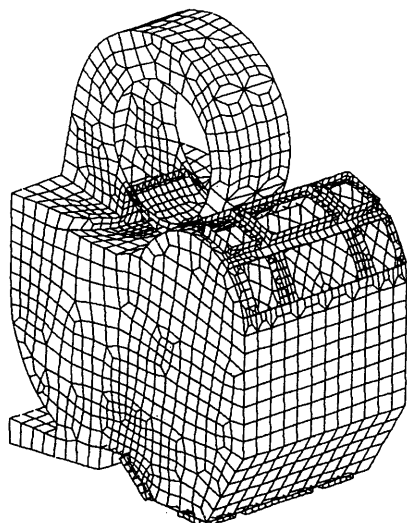
カーエアコンでは、運転モードごとに通風路と吹出し口が異なる。そこで、三次元 CAD で作成した三次元形状モデルを使用し、各運転モードにおけるユニット内の流動状態、圧力損失及び熱交換器性能などを予測するため非構造格子を用いた有限体積法により N-S 方程式を離散化した三次元乱流解析コード (RAM-PANT/k-εモデル) を用いて計算を行った。

図 6 に解析結果の一例を示す。ユニット内の空気流路中に急拡大が存在し、そのため流れのはく離を避けることが非常に困難であるが、エバポレータ・ヒータ位置及びダンパ位置・角度、各部寸法の適正化を解析結果を用いて行い、各運転モードで目標性能を満足する圧力損失に低減することができた。

また、図 6 に冷房運転モード時にエバポレータを通過する空気の流れ速度分布を示す。エバポレータを通過する速度は一樣とはならず、ブロワに近い曲り部の速度が小さくなるため、エバポレータ性能は一樣に流入する場合と比較し低下する。性能低下は一樣に流入した場合と比較し分布がある場合、式(1)、(2)、(3)から算出でき、この場合、熱交換性能は一樣流時と比較し約 5 % 低下する。

3.3 振動・強度解析による事前検証

カーエアコンは、走行時に路面振動など外部から加振されるためにユニットの固有振動数及び固有モードを把握し、適切な位置への補強材の配置及び肉厚の配分を考慮することが必要となる。図 7 に解析結果の一例と固有振動数計算値の例を示す。路面により実際にユニットに生じる加振周波数は 20~40 Hz であり、こ



固有振動モード	1	2	3
固有振動数 (Hz)	27.54	40.28	43.62

図7 振動・強度解析例 一次の固有モードはブロワの倒れモードであり、ブロワ根元部の補強が必要となる。
Calculated value of natural frequency by finite element analysis

の範囲に存在する固有モードについては共振の可能性があるため、補強材等十分な対策を施した。

以上述べた三次元 CAD を用いた開発設計により、目標値を満足する基本形状を見つけることができ、次章で述べる試作・試験での事前検討ができた。

4. 試験結果

前期要素及び解析技術を用いた検討に基づいて設計、試作したユニットにて風量・冷暖房能力・エアミックス特性等を測定し、実用性を確認した。

4.1 ユニット風量

圧損-風量特性を測定した結果を図8(a)に示す。流動解析結果と比較すると良い一致を示し、解析の有効性が認められた。また、ブロワモータ電圧 12 V 時の風量は、小型乗用車として十分な値であった。

4.2 冷暖房能力

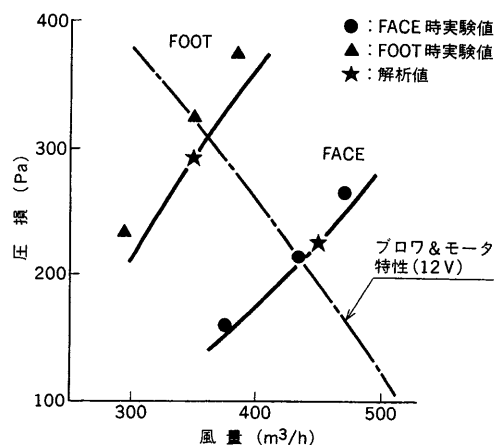
前節に述べたとおり、ユニット風量が確保できたことにより、冷房能力 4.4 kW、暖房能力 5.2 kW となり、目標冷暖房能力をほぼ達成できた。

4.3 エアミックス特性

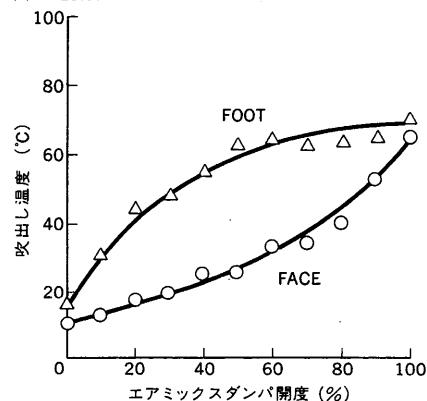
エアミックスダンパの開度に対するユニットからの吹出し温度を測定し、その結果を図8(b)に示す。開度に対する温度変化は、FACE モードは下に凸、FOOT モードは上に凸の曲線で、比較的良好な特性を示した。

5. むすび

カーエアコンに対する車両側要求事項は年々厳しくなっている。特に本報で述べたクーラ・ヒーター一体形ユニットは、小形化によ



(a) 風量特性



(b) エアミックス特性

図8 ヒータ・クーラ一体形エアコンユニットの特性
Characteristics of air flow and air blending

る居住スペースの拡大、高付加価値機能の搭載スペース確保のほかに、一体形による組立ラインでの作業性改善・軽量化・低コスト化等の効果は大きく、今後のカーエアコンの主流となる構造と考える。

本報では一体形ユニットの開発に必要な要素技術・解析・評価技術を主に述べたが、さらに効率向上・小形化を進めるための技術開発を進めていきたい。

参考文献

- (1) 青木ほか、空調用高性能小型熱交換器の研究、三菱重工技報 Vol.26 No.3 (1989) p.212
- (2) 吉越ほか、空調用熱交換器の高効率・コンパクト化に関する研究、三菱重工技報 Vol.30 No.5 (1993) p.431
- (3) 野島ほか、空調用多翼送風機の性能に関する研究、三菱重工技報 Vol.9 No.3 (1972) p.40
- (4) 松田ほか、空調用多翼送風機の低騒音化、三菱重工技報 Vol.31 No.6 (1994) p.435
- (5) 谷口・近藤、空調機内空気流動損失予測法の研究、日本機械学会講演論文集 No.920-92 (1992) p.387
- (6) Kondo, F. et al., Prediction Method on Effect of Thermal Performance of the Heat Exchanger due to Non-uniform Air Flow Distribution, SAE Paper No.850041 (1985)