

ショートノート 電気自動車用エアコンシステム*

Air Conditioning System for Electric Vehicle

鈴木隆久 石井勝也 入谷邦夫
Takahisa SUZUKI Katsuya ISHII Kunio IRITANI

1. 序 論

従来のガソリン車はエンジンの廃熱を利用して暖房を行い、冷房はエンジンの動力で直接クーラーサイクルのコンプレッサーを駆動している。

一方、電気自動車 (EV) はエンジンの廃熱のような暖房熱源がないため、電動コンプレッサーを用いたヒートポンプエアコンシステムを採用している。しかし、エネルギー源は車載の走行用バッテリーであるためエアコンの消費電力が一充電当たりの走行距離に大きく影響する。よって、EV エアコンシステムの課題は可能な限り少ない消費電力で快適性を実現することである。ガソリン車と EV におけるエアコンシステムの比較を図 1 に示す。

また車両用エアコンシステムのもう 1 つの機能は安全性の面から窓ガラスの曇りを取り視認性を確保することである。そこで、ヒートポンプシステムでいかに防曇、除湿を行うかが課題となる。

本ノートでは少ない消費電力で快適な空調と防曇性能を得るための方法について述べる。

2. 消費電力の低減

一般に、車両の熱負荷は冷房時よりも暖房時のほうが大きく、エアコンの消費電力も暖房時に大きくなる。これは、暖房時には窓の曇りを防止するために絶対湿度の低い外気を導入する外気モードとしているからで、車両熱負荷に対する換気負荷の割合は約 70% を占める。したがって、暖房時のエアコン消費電力を低減するには換気負荷を減らすため内気モードとすればよいのだが、外気温度が低い領域で窓の曇りが発生し安全性の面で適切でない。

そこで、図 2 に示すようにユニット内に上層と下層とを分けるしきりを設け、上層は防曇のために絶対湿度の低い外気を導入し室内コンデンサー上層部で加熱した後窓ガラスに沿って吹き出すとともに、下層は暖房のために内気を導入し室内コンデンサー下層部で加熱して足下に吹き出す二層流ユニットを用いた暖房を行うことで防曇と換気負荷の低減を両立することができる。図 3 は両方式それぞれにおける曇り発生状況を外気温度と湿度のマップ上で比較したものである。二層流ユニット方式 (図 2) の採用により暖房時熱負荷を半減させエアコン消費電力を低減するとともに図 3

| | ガソリン車 | EV |
|------------|-------------------|----------|
| エアコンシステム構成 | | |
| 暖房 | エンジン廃熱を利用 | 電動ヒートポンプ |
| 冷房 | エンジンで直接コンプレッサーを駆動 | |

図 1 EV とガソリン車のエアコン方式の比較

* SAE Technical Paper Series 960688 より和文翻訳にて転載

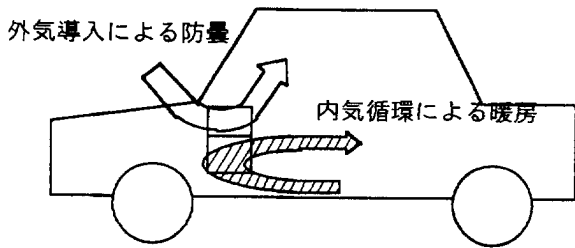


図2 二層流ユニット概念

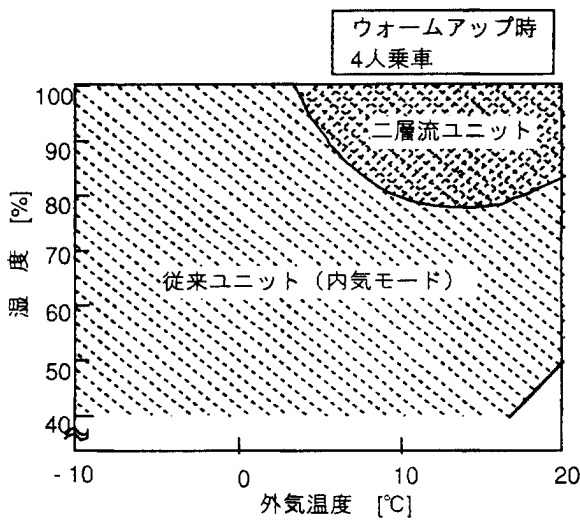


図3 従来ユニットと二層流ユニットにおける曇り発生領域の比較

に示すように高湿度の中間期を除き暖房運転での防曇が可能となる。

3. 防曇および除湿の実現方法

図4に冷房、暖房、除湿運転の機能を持つヒートポンプサイクルの構成と作動を示す。

このサイクル構成における特徴は、室内ユニットに熱交換器を2個持っていることである。一般的なヒートポンプ式のルームエアコンでは1つの熱交換器を冷房時はエバポレーター、暖房時はコンデンサーとして共用させているが、車両用のエアコンをこの方式にすると冷房運転をした後に暖房運転に切り替えたとき熱交換器に凝縮した水が蒸発し窓ガラスを一瞬にして曇らせる。そこで、安全上の理由から室内コンデンサーと室内エバポレーターを独立に配置している。

また、除湿運転時にはエバポレーターで冷却、除湿した空気をコンデンサーで再加熱するため前述した二層流ユニットによる暖房運転で曇りが残る高湿度の中間期も防曇が可能である。

このサイクル構成のもう1つの特徴は冷房用および暖房用の絞りに除湿時の吹き出し温度制御を行うため電気式膨張弁を採用していることである。図5は電気式膨張弁の構造と冷媒流量特性の一例を示すものである。この膨張弁は、外部からの信号によりステッピングモーターを作動させ弁開度をきめ細かく調整することで冷媒の流量をリニアに制御できるものである。

図6は除湿運転時の冷媒の流れを示す。冷媒はコンプレッサー→室内コンデンサー→室外熱交換器→室内エバポレーター→コンプレッサーと3つの熱交換器す

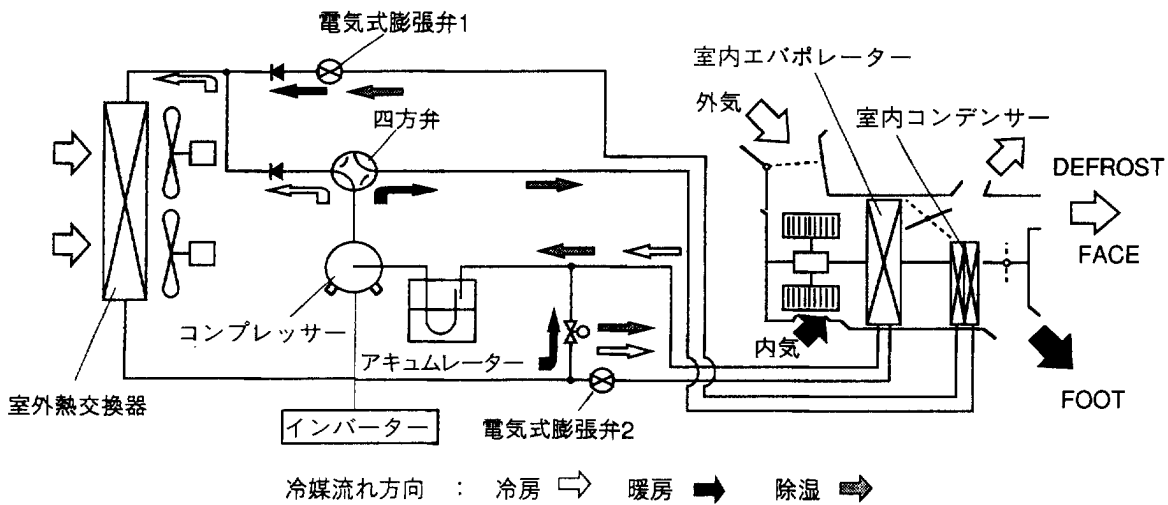


図4 システム構成と作動

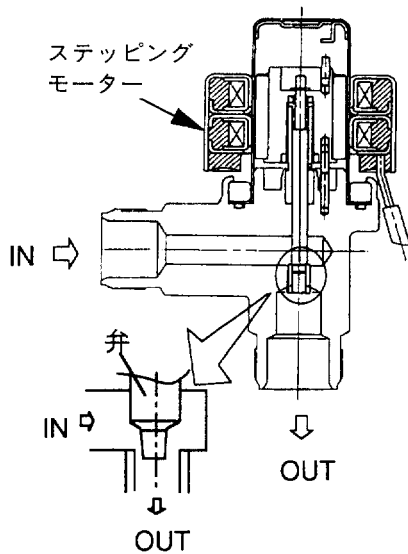
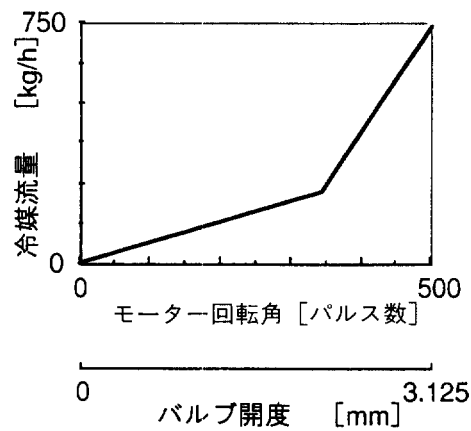


図5 電気式膨張弁の構造と特性例



べてに冷媒が流れる。空気は室内エバポレーターで窓ガラスの除曇、防曇に必要な温度まで冷却、除湿され、室内コンデンサーで再加熱されて吹き出す。室内エバポレーターでの冷却、除湿量はコンプレッサー回転数により制御できるが室内コンデンサーでの再加熱量はサイクルの熱バランスにより一義的に決まる。よってこのシステムでは室外熱交換器の吸熱、放熱量を制御して吹き出し温度制御を行っている。

電気式膨張弁1を全開にし電気式膨張弁2を絞りとして用いると室外熱交換器は高压側であるためコンデンサーとして働き、放熱を行うため室内コンデンサーでの放熱量が少なくなりコンデンサー吹き出し温度は低くなる。一方、電気式膨張弁1を絞りとして用い電気式膨張弁2を全開にすると室外熱交換器は低压側であるためエバポレーターとして働き、吸熱を行うため室内コンデンサーでの放熱量が多くなり吹き出し温度は高くなる。よって、この二つのモードを使うことにより同じ除湿量の時に高低2つの吹き出し温度をつくることができる。

さらに、電気式膨張弁1と2を同時に絞りとして使うと室外熱交換器は中間圧力となり、電気式膨張弁1と2の絞り量を可変することにより室外熱交換器の放熱量を制御することができ両モードの間の任意の吹き出し温度をつくることが可能である。この状況を図7に示す。

この制御により除湿を行いながら自由な吹き出し温

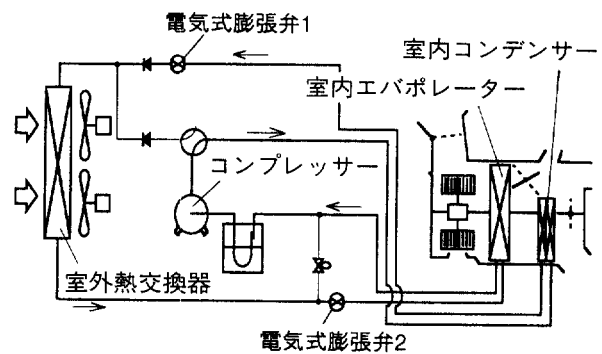


図6 除湿モード時の冷媒流れ

度が得られるため前述した二層流ユニットによる暖房では曇りが残る高湿度の中間期の時にも除湿運転を行うことで快適性を損なうことなく除湿、防曇が可能となる。

4. 機能部品

図4に示すシステムで使用している各コンポーネントの仕様を表1に示す。

電動コンプレッサはEV用に新規開発されたもので図8および表2に示すように騒音、振動面で優れるスクロールタイプである。効率面で優れるDCブラシレスモーターを小型軽量なアルミダイキャスト製のハウジングに内蔵し吐出冷媒で冷却して使用している。

その性能特性は図9に示すとおりであり、幅広い回

表1 本システムに用いた機能部品の仕様

| 機能部品 | | 仕様 |
|--------------------|----------|-------------------------|
| 電動スクロール コンプレッサー | タイプ | 密閉スクロール |
| | 容量 | 25 cc / rev. |
| | モータータイプ | DCブラシレス |
| | 最大出力 | 2.5 kW |
| | 最高回転数 | 9000 rpm |
| インバーター | タイプ | センサーレス |
| | 入力電圧 | 288 V DC |
| 室内コンデンサー | タイプ, サイズ | M.F. 220 x 188 x 16 x 2 |
| 室内エバポレーター | タイプ, サイズ | S.T. 250 x 260 x 90 |
| 室内エバポレーター | タイプ, サイズ | M.F. 710 x 397 x 16 |
| 冷媒 | 種類 | HFC134a |

表2 コンプレッサー仕様

| 項目 | | 仕様 |
|---------|------|-------------|
| コンプレッサー | タイプ | スクロール |
| | 容量 | 25cc/rev |
| | サイズ | φ117×254 |
| | 重量 | 8.9kg |
| | 回転数 | 600～9000rpm |
| | 冷媒 | HFC-134a |
| | オイル | エステル |
| モーター | タイプ | DCブラシレス |
| | 最大出力 | 2.5kW |
| | 冷却方法 | 吐出冷却 |

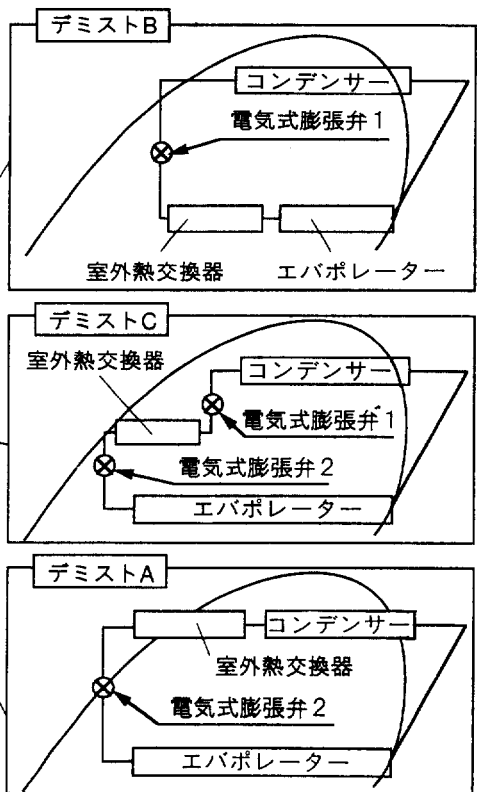
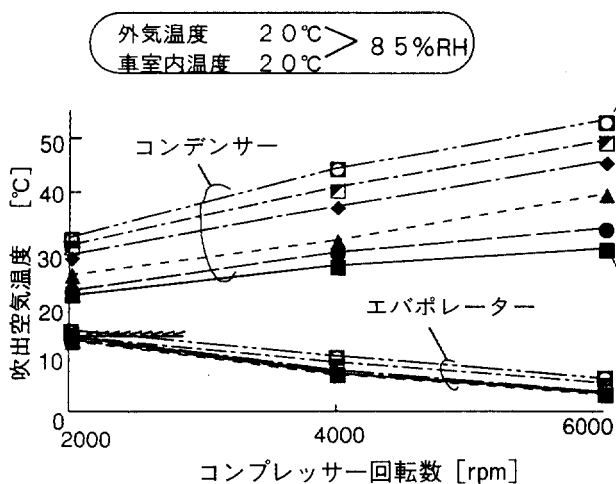


図7 除湿時吹出空気温度制御

回転域にわたり高効率を実現している。

このコンプレッサーを駆動するインバーターの仕様を表3に示す。これはセンサーレス制御方式のものであり、マイコンによりパワー素子であるIGBTを駆動するタイミングを常時最適に制御することによりすべての回転数において高効率を実現している。図10にインバーター性能(効率特性)を示す。また、インバーター自身にパワー素子を保護するための電流保護および加熱保護機能を持っており、パワー素子の冷却は空冷、水冷の両方に対応できる構造としている。

室内コンデンサーはマルチフロータイプのコンデンサーを室内ユニットに収まるように小型化して用いており、室内エバポレーター、室外熱交換器はガソリン車のものを流用している。

5. 性能評価

このシステムのテスト結果は表4に示すとおりであり、-10℃～40℃の外気温度範囲で定常時には最大1kWの消費電力で冷房から暖房まで行うことができる。

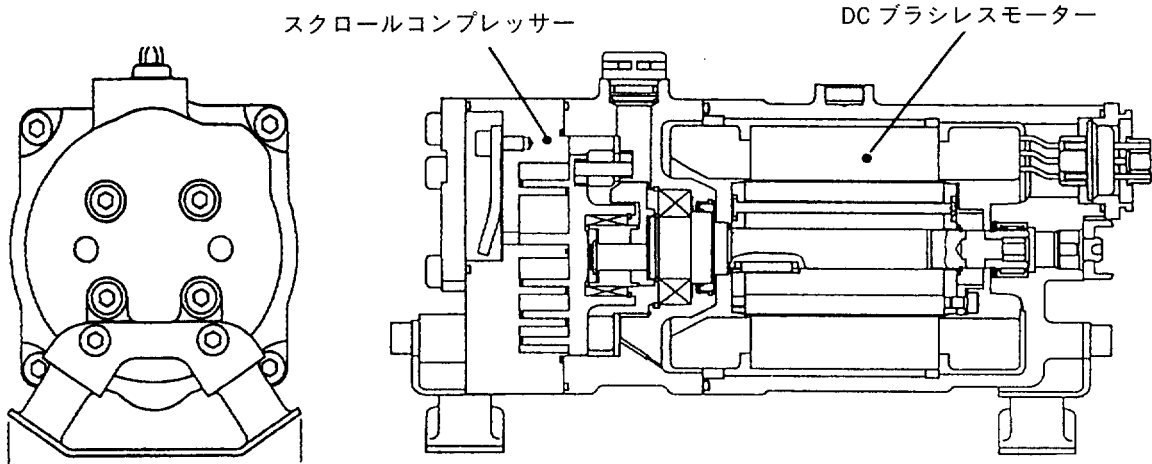


図8 電動コンプレッサーの構造

表3 インバーター仕様

| 項目 | 仕様 | |
|---------|--------------|----------|
| 入力電圧 | 高電圧系 | Max.400V |
| | 低電圧系 | 8~16V |
| 最大出力電流 | 16.5 A RMS | |
| キャリア周波数 | 10 kHz | |
| 回転数 | 600~9000 rpm | |
| 使用外気温度範 | -20~60°C | |
| 囲イズ | 215x170x60 | |
| 重量 | 2.4kg | |
| 冷却方法 | 水冷, 空冷が可能 | |

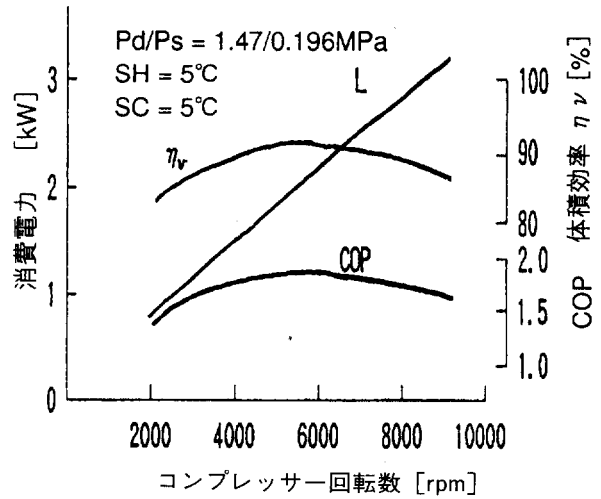


図9 コンプレッサー性能

表4 本システムの冷暖房能力

| 条件 | | 結果 | |
|----|-----------------|-------|-------|
| | | 能力 | 電力 |
| 冷房 | 外気温度 40°C | 2.9kW | 1.0kW |
| | 車室内 27°C, 50%RH | | |
| 暖房 | 外気温度 -10°C | 2.3kW | 1.0kW |
| | 車室内 25°C | | |

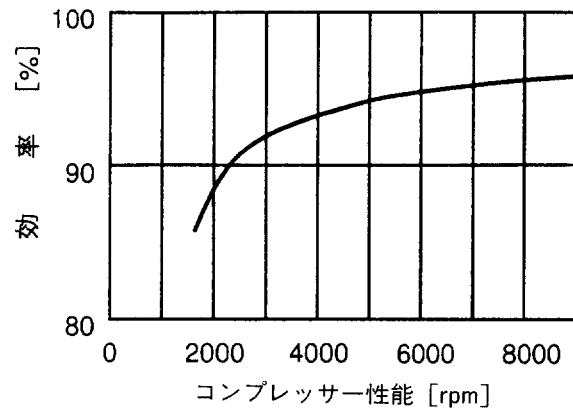
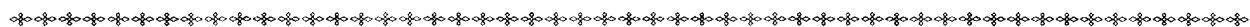


図10 インバーター性能

6. む す び

EV エアコンの課題は可能な限り少ない電力で車室内の快適性と窓ガラスの視認性を確保することである。この課題に対し、熱負荷の低減と防曇を両立する二層流暖房の考えを用い消費電力を低減するととも

に、除湿運転可能なヒートポンプ構成と電気式膨張弁による吹き出し温度制御により中間期の除湿を可能とすることで、冷房から暖房まで少ない消費電力で快適性と安全性を確保できるシステムを得ることができた。



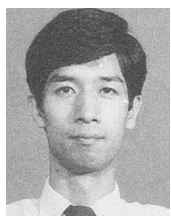
< 筆 者 >



鈴木 隆久 (すずき たかひさ)
EVプロジェクト部
EV用エアコンシステムの開発に
従事。



石井 勝也 (いしい かつや)
EVプロジェクト部
EV用エアコンシステムの開発に
従事。



入谷 邦夫 (いりたに くにお)
EVプロジェクト部
EV用エアコンシステムの開発に
従事。