解説

自動車用空調機器の技術開発 今後の展望

Future Technology for Automotive Climate Control System

執筆者プロフィール

井上 敦雄
Atsuo INOUE

◎1984年サンデン（株）入社，カーエアコン用コンプレッサの研究，HVACシステムの研究，技術企画を経て，現在は，環境対応商品の開発に従事。
◎研究・専門テーマは，カーエアコンシステム
◎サンデン（株）開発本部 グローバル自動車システム開発室 環境商品開発部
(〒372-8558 群馬県伊勢崎市八斗島町 350)
／E-mail : inoue_atsuo@sanden.co.jp)

坪井 政人
Masato TSUBOI

◎1992年サンデン（株）入社，HVACシステム熱交換器の研究を経て，現在は，次世代の空調システムの研究に従事。
◎研究・専門テーマは，次世代の空調システムの研究
◎サンデン（株）開発本部 基盤技術開発部 空調システムグループ
(〒372-8558 群馬県伊勢崎市八斗島町 350)
／E-mail : tsuboi_masato@sanden.co.jp)

1. はじめに

今，自動車用空調システムは，その歴史の中で，大きな転換期を迎えているのかもしれない。

ガソリンエンジン車やディーゼルエンジン車が席卷してきた時代から，バッテリーカーや燃料電池自動車のような電動車両の台頭により，より高効率なパワートレインへの移行が進みつつある。

従来，自動車暖房は，内燃機関の廃棄エネルギーを利用してきた。すなわち，その廃棄エネルギーが大きく低減すれば，暖房の熱源は不足し大きな課題となる。

また，パワートレインが高効率化すれば，空調システム自体の省エネルギーも必要になってくる。さらに定置向けのように，自動車空調の省エネルギーに対し，政策的な差別化措置が取られるようになれば，その必要性は，絶対的

なものとなる。

本稿では，これらニーズの変化により，大きく変貌してゆくであろう，自動車用空調システムについて，過去も振り返りながら言及する。

2. 自動車用空調の特徴

自動車空調の歴史は，およそ 100 年の歴史を迎えようとしている（図 1）。自動車の発明は，ダイムラーやベンツとされるが，その後，大量生産による普及と同時に，そのデザインが“原動機付き馬車”から，今日の自動車の様相を呈してきたが，自動車空調の登場はこの時期と同じくする。

自動車空調は当初，排気ガスやエンジン冷却水を熱源とした暖房からスタートし，1930 年のフロン生産開始を契機に登場したカークーラが，1950 年代から本格的に普及した。その後，暖房・冷房・除湿を一つのシステムで実現する“カーエアコン”へと発展し，今日に至っている。

このような経緯で発展してきた自動車の空調は，“ルームエアコン”などの定置向け空調に対し，下記の点が異なる。

(1) 暖房吹出し温度が高い（冷房吹出し温度が低い）

住宅などに比べると断熱性の低いボデーに囲まれた空間を暖房する自動車は，空調起動時，車室内の温度は極めて低いことが多く，高い吹出し温度により暖房感を得る必要がある。なお，冷房の場合も同様なことが言える。

(2) 吹出し風を感じる空調

(1) と同じ理由で，定置向けに比べると空調起動初期，乗員周囲の風速は高く，これにより，迅速な快適感を得る形となっている。すなわち，吹出し風が乗員の快適性に大きく影響を与える点が特徴と言えるが，住宅などに

図 1 自動車用空調の歴史

対し、自動車は圧倒的に狭い空間であることもその要因である。

(3) ウィンドシールドの窓曇れ機能を要す

中間期から冬季の高湿度環境では、ウィンドシールド内面で水分結露が発生する。この“曇り”を迅速に除去するために、強力な除湿が必要である。また、省エネルギーと窓曇り防止の両立を図るためには、緻密な除湿能力制御が必要となる。さらに、厳冬期には、ウィンドシールドの結氷解除（デフロスト）も必要である。

(4) 小型、軽量である

移動体の部品として、軽量／小型化に対する要求は強い。定置向けの空調機が、鉄や銅を多用しているのに対し、自動車用では、アルミニウム、樹脂を主要材料としている。

今後の新しい空調装置においても、上記特徴を踏まえた上で、開発されることになろう。

しかし、これらは、快適性、安全性や省エネルギーに由来する要求事項を実現するための一つの帰結に過ぎず、本質に根ざす異なる手段により解決も模索されるであろう。

3. 暖房熱源

前章で言及したとおり、従来の車両用空調装置は、定置空調よりも高い吹出し温度を要す。すなわち、必要な快適性を得るための、暖房熱源は、必要エネルギー量と必要温度の双方の達成が必要となる。

一方、内燃機関のエネルギー収支は、燃焼エネルギーを100と置いたとき、排気損失、冷却損失などのエネルギー損失などを差し引くと、正味軸動力として活用されるエネルギーは、30%程度である（図2）。従来の内燃機関を搭載した自動車では、エンジン冷却水による損失エネルギーを暖房に利用しているので、この冷却損失の大小および、媒体温度の高低が空調性能に大きな影響を及ぼす。

すなわち、省燃費化された内燃機関自動車やハイブリッ

図2 ガソリンエンジン車のエネルギー収支

ド自動車のように、パワートレインが大きく効率化されれば、冷却損失が減少し、暖房熱源の必要エネルギー量／温度が大きく低下する。この課題を解決する方向性は、大きくは次の2点である。

(1) 代替熱源利用による暖房

(2) 必要エネルギーの低減

必要エネルギーの低減は次章に譲り、代替熱源利用による暖房について、以下に解説する。

代替熱源利用による暖房は、従来から、一部北ヨーロッパ地域などで燃焼ヒータが採用されていた。また、ホットガスデフロスト回路を応用したホットガスヒータ⁽¹⁾、流体摩擦ヒータ⁽²⁾の採用実績もあるが、広く定着はしていない。

一方、電気ヒータなど、電気エネルギーを利用する暖房が普及しつつあり、もともと、電気エネルギーソース（オルタネータなど）と蓄電手段（バッテリー）を持つ自動車では、次世代自動車を含め、さらに採用が拡大すると思われる。電気エネルギー利用のヒータは、主に次の3種が普及するであろう（図3、図4）。

(1) クーラント加熱電気ヒータ

クーラントを加熱し、HVAC (Heating Ventilating Air Conditioning) ユニットのヒータコアで車室内空気を加熱する。衝突安全性の観点から、車室内に高電圧部品を配置できない場合に適す。また、ハイブリッド車などへ適用した場合、エンジン暖機を速めることができ、燃費改善や排気ガス清浄の効果も期待できる。発熱体は、熱

(1) クーラント加熱電気ヒータ

(2) 空気加熱電気ヒータ

図4 電気ヒータ

線ヒータ、PTC (Positive Temperature Coefficient)、発熱素子、セラミックヒータが用いられる (図4)。

(2) 空気加熱電気ヒータ

HVACユニットを通過する空気を直接加熱する暖房熱源である。PTC 発熱素子を適用することで、通過風量による能力制御が可能であり、シンプルな暖房システムを構築しやすい (図4)。

(3) ヒートポンプシステム

ヒートポンプシステムは、ルームエアコンなど定置向けには、一般的な空調システムとして普及している。このシステムの最大の特徴は、効率が高いことであるが、自動車用空調としては、さらに次の要件が加わる。

要件1：業界統一冷媒の使用が原則

自動車はグローバルで生産・販売・サービスされる商品であるがゆえに、世界標準仕様が必要とされる。空調用冷媒も製造コストとサービス（保守）の観点から、今までも、自動車に適用される冷媒は、業界統一仕様となっている。

今後、自動車用冷媒は、冷房装置向けに HFO1234yf などが適用される見通しであるが、高い吹出し温度を必要とする自動車暖房では、高圧縮比運転が必要となり、この冷媒の圧力温度特性から、高い COP (Coefficient of Performance) は望めない。よって、ガスインジェクションサイクルなどによって、サイクルの高効率化を図り、高圧縮比運転に対応する必要がある (図5)。

図5 ガスインジェクションサイクル

要件2：強力な除湿暖房を必要とする

中間期（外気温度 5～25℃ 程度）や冬季において、雨天時や多くの乗員を乗せ車室内の水分発生が多い場合、窓の曇りが生じ、運転者の視界を損なう場合がある。

窓の曇りを急速に除去できるよう、とくに中間期暖房は、三つの熱交換器を用い、再加熱運転が可能なサイクルが必要である (図5)。

要件3：小型化、軽量化が必要である

移動体に搭載する自動車部品であるがゆえ、小型化、軽量化に配慮しなければならない。とくに、吸熱性能、放熱性能、および、着霜のしにくさを両立させなければならない室外熱交換器は課題が大きく、例えば、およそ定置向けルームクーラの 1/3 程度のサイズで同一能力を発生させなければならない。

以上のような自動車特有の要件を踏まえると、ヒートポンプシステムを実現するための課題は多い。しかし、外気や廃棄される熱エネルギーを有効に活用し、高い効率で暖房を提供できる自動車用ヒートポンプシステムは、今後、大きな進化を果たす可能性がある。

4 省エネルギー化

自動車の燃費規制や CO₂ 排出量規制により、自動車の燃費は、モデルチェンジごとに大きく低減されてきている。

現在、自動車の走行燃費に対し、カーエアコンが消費する燃料は、およそ 2 割程度を占めるが (図6)、車両燃費の向上により、この割合は増加する。当然、カーエアコンに対する省エネルギー要求は、ますます大きなものとなる。

また、搭載エネルギー量に制約のある電気自動車においては、空調の消費エネルギーが切実な問題となっている。たとえば、市街地で 120km 走行する電気自動車が、暖房を稼働させた場合、30～40% 走行距離が低減するのが現状である。

カーエアコンの消費動力の内訳 (図6) から、最も消費動力比率が大きいのは、コンプレッサ動力であり、この部分のエネルギー消費を低減することが効果的である。以下、コンプレッサ消費エネルギー低減手法について述べる。

4.1 熱交換器の性能向上

コンプレッサ動力を低減させるための一つの方法は、冷凍サイクルの圧縮比を低減させることである。そのため、コンデンサ能力の向上や、エバポレータ能力の向上が有効な手段となる。

伝熱フィンの薄肉化とフィンピッチ高密度化、フィン形

図6 車両燃費とカーエアコン消費動力 (スモールカーの一例)

省動力の観点でベルト駆動、モータ駆動を最適選択
図7 ハイブリッドコンプレッサ (スクロールタイプ)

状などによる空気側伝熱改善、冷媒チューブの内部伝熱改善などがその対応手法である。

4.2 効率的な冷凍サイクルの採用

コンプレッサ動力低減のもう一つの方法は、冷凍サイクルにおける、熱交換器出入り口のエンタルピー差を拡大、または、コンプレッサ出入り口のエンタルピー差を低減させることである。

前者の対応の一つは、液/ガス熱交換器の採用である⁽³⁾。今後、冷媒配管を応用した二重管タイプ、または、積層型プレートタイプなどが普及する可能性がある。

後者の対応には、前述のガスインジェクションシステムがある(図5)。この方式は、とくに高圧縮比の暖房に有効であり、ヒートポンプシステムの効率改善手段になり得る(図5)。

4.3 コンプレッサの効率向上

従来、摩擦損失、圧縮冷媒漏れ(ブローバイガス)などの損失を低減することで、機械効率、全断熱圧縮効率を向上させてきた。なかでも、スクロールコンプレッサは、他の方式に比較し効率は高い。さらに、電動/ベルト駆動の運転モードを最適選択することで、省エネルギー化を狙っているハイブリッドコンプレッサ⁽⁴⁾が、一部のハイブリッド自動車に展開されている(図7)。

4.4 エネルギーロスの低減

冷凍サイクルのエネルギーロスの低減は、オイル循環率の低減、圧力損失の低減、エンジン排熱影響の低減(冷房)などが挙げられる。このうち、オイル循環量の低減は、コンプレッサ内部(吐出側)に、オイルセパレータ構造を持つことで対応しており、今後も継続されるであろう(図8)。

4.5 必要エネルギーの低減

主な空調の目的は、①乗員の快適感(温調、換気)と、②窓曇りの除去/防止である。空調システムは、この目的を達成する中で、最小限の能力発生に抑えるべきである。

そのためには、室内温度と湿度を最適に制御する必要があり、とくに、除湿暖房における、除湿能力(蒸発温度)の制御を最適化することの効果は大きい。湿度検知手段を設け、除湿能力の最適化を図る技術は、今後、さらに進化するものと思われる。

図8 オイルセパレータ付きスクロールコンプレッサ

図9 自動車空調 将来の夢

その他、外気導入空気の低減技術や、高断熱ガラスなど車両側熱負荷の低減技術も展開されるであろう。

5. まとめ

従来の内燃機関自動車に比べ、電気自動車では約2/3の部品点数が使われなくなると言われている。

その中で、広い地域に適応しなければならない自動車にとって、カーエアコンは電動自動車の時代も存続する部品の一つであろう。自動車発展の黎明期では、カーエアコンはエンジンの熱管理とともに形成され、今日の標準化された形に進化してきた。今後、自動車のエネルギー管理の考え方が大きく変わろうとしている中で、カーエアコンも姿を変えなければいけない。本稿で述べた、「低熱源への対応」や「省エネルギー」はその一部である。

また、エネルギー供給システムや交通システムなどの社会システムも大きく変化してゆく中で、自動車の使われ方、自動車と人のかかわり方も変化するであろう。その中で、人の安全、健康に対し、従来以上に配慮しなければならない。将来のパワートレイン多様化、スマートグリッド、グリーンIT、ITS-自動運転...などに適応するカーエアコンとは、いったいどのような姿であろうか(図9)。

(原稿受付 2010年9月6日)

●文 献

- (1) 五島正雄, 上級標準テキスト 冷凍技術 冷凍編, (1988), 127, 日本冷凍空調学会.
- (2) Wienholt, H. W., Visco Heater for Low Consumption Vehicle, Spec Publ Soc Automot Eng, SP-1733, (200303), 59-63.
- (3) 永野 弘, 冷凍空調便覧 基礎編, (1993), 268, 日本冷凍空調学会.
- (4) Tsuboi, M., Development of Hybrid Compressor, SAE PAPER, 2004-01-0912, (2004).