

特集 電気自動車用空調の特徴・動向について*

Feature and trend of an air-conditioning system for Electric Vehicles

萩原 康正

Yasumasa HAGIWARA

伊藤 公一

Koichi ITO

酒井 雅晴

Masaharu SAKAI

五百井 伸泰

Nobuyasu IOI

Recently, hybrid vehicles (HV), plug-in hybrid vehicles (PHV), electric vehicles (EV), etc. have come to the fore-front and have been expected to be widely used because of their highly fuel-efficient performance. However, highly fuel-efficient vehicles with an engine bring a new issue; efficiency improvement of the engine increases the ratio of air-conditioning energy to transportation energy. In the case of EVs without an engine, the ratio of air-conditioning energy to transportation energy is much worse than that of HVs or PHVs because the waste heat from engines of HVs and PHVs can be used as the heating energy of air-conditioning in winter. Therefore, EVs require the development of a highly efficient air-conditioning system in order to improve the actual fuel consumption when using the air-conditioner. In this paper, we present (1) heat-source technologies using a heat-pump, (2) the technology of heat-load reduction using a two layer air flow system, and (3) the installation technology of electric compressors instead of engine-driven compressors.

1. はじめに

近年、車両の省エネのためにハイブリッド車 (HV)、プラグインハイブリッド (PHV)、電気自動車 (EV) などの車両の実用化・普及が望まれている。しかしながら、エンジン効率を向上させていくと走行エネルギーに対する空調エネルギーの割合が増して、実用燃費が悪化するなどの課題がある。特に冬季の暖房は通常の内燃機関の車両ではエンジン廃熱を利用しているため、エンジン効率を上げると廃熱が減り、暖房エネルギー供給のために燃料消費をふやすことで燃費が悪化する。EVになるとその傾向はさらに加速し、車の全消費エネルギーに対する冬季の暖房エネルギー等の割合は50%以上になる場合もあり、走行に利用できるエネルギーが減り、実走行距離が大きく低下する。

したがって、EVなどのエネルギー利用効率の良い車両では、暖房などの空調利用時の実燃費（実走行距離）向上のために、効率的な空調システムが必要とされている。本論では、まずEV用空調システムの特徴などを述べ、取り組むべき方向性を明らかにする。

2. 電気自動車 (EV) 用空調の特徴

車載用空調システムには快適性確保だけでなく、ウィンドシールドの曇りを晴らすなどの除湿機能による視認性確保が求められる。EVではこれらに加えて、実用走行距離向上の観点から電池の利用効率を向上させるための空調機器の省電力化が求められる。Table 1にEV用空調システムの特徴をまとめた。

Table 1 Features of air-conditioning systems in Electric Vehicles

		特徴	
		ICV(エンジン車)	EV(電気自動車)
快適性確保	冷房	・エアコン(エンジン駆動) ・ベルト駆動コンプレッサ	・電動エアコン ・電動コンプレッサ
	暖房	・エンジン廃熱利用 ・ヒータコア	・熱源を装備する必要 ・ヒートポンプ ・電気ヒータ等
視認性確保 (防曇、除湿)		・エアコン+エンジン排熱を用いた除湿、防曇	・ヒートポンプや内外気2層ユニット等を用いた除湿、防曇
電池利用効率 (走行距離)		燃料のエネルギー密度が高く、さらに、暖房は排熱で賄うために暖房による燃費悪化は少ない	電池のエネルギー密度低く、暖房も電池を利用するため走行距離に影響が大きい ・空調機器の高効率化 ・熱負荷の低減

快適性確保では、停止時にも空調を行うために電動コンプレッサなどの走行動力とは独立した動力が必要となる。また、内燃機関の車 (ICV) の暖房ではエンジン廃熱を利用していたが、EVではエンジンがないのでヒートポンプや電気ヒータなどの暖房熱源が必要となる。

視認性確保では、ICVは防曇のためにクーラ+エンジン廃熱を用いて除湿暖房を行っていたが、EVでは熱源がないため除湿暖房は困難である。そのために熱源としてヒートポンプなどを用いる。また防曇では、冬期には外気の湿度が低いので外気導入すれば防曇性能は良くなるが、換気ロスが増えて暖房負荷が大きくなる。そのため、換気ロスによる熱負荷増大を押さえて外気導入できる内外気2層ユニットなどの利用が行われる。

電池の利用効率を向上させるためには空調の消費電

* (社)日本動力協会の了解を得て、「(社)日本動力協会発行 エネルギーと動力2011年特集号」頁49～53より、一部加筆して転載

力の低減が重要である。消費電力の低減には大きく分けて空調機器の高効率化と熱負荷の低減が必要となる。

これらの特徴を俯瞰するとEV用空調システムでは、

- ①冬期にエンジン廃熱以外の高効率な熱源が必要であること
- ②熱負荷の低減が必要であること
- ③電動コンプレッサを利用すること

が従来のICVに対しての大きな変化点であることがわかる。本論では、次章以降、高効率な熱源技術と熱負荷低減技術の概要を述べ、具体例としてヒートポンプ、内外気2層ユニットについて述べる。さらに、それらを支える要素技術として電動コンプレッサの紹介をする。

3. 熱源技術、熱負荷低減技術

Fig. 1に熱源技術と熱負荷低減技術を示す。熱源技術には電気を利用するPTCヒータ、グローヒータ、オイルのせん断力を熱に変えるビスカスヒータ、燃焼式ヒータ、冷媒を用いたホットガスヒータ、ヒートポンプなどがある。この中で原理的に効率（COP）が1を超えるのはヒートポンプだけである。

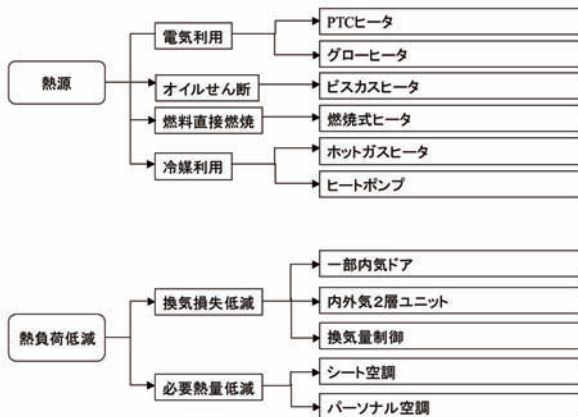


Fig. 1 Heat source and heat load reduction technologies

熱負荷低減技術では、換気損失を低減して、かつウィンドシールドの防曇が可能な内外気2層ユニットや換気量の制御などがある。必要熱量低減技術としては、人体に直接接触するシートを暖めたり、乗員周辺のみを温調するパーソナル空調などがある。

次節では熱源技術からヒートポンプ、熱負荷低減技術からは内外気2層ユニットを取り上げて説明を行う。

3.1 ヒートポンプ

3.1.1 車載用ヒートポンプの特徴

Fig. 2に車載用ヒートポンプと通常のカーエアコンの概略構成図を示す。車載用ヒートポンプでは車室内に高温の熱を放熱するコンデンサと条件によってはコンデンサにもエバポレータにもなる室外熱交換器、車室内の冷却に用いるエバポレータと三つの熱交換器を用いている。

カーエアコンではエンジン廃熱を利用するためにヒータコアと呼ばれる熱交換器を車室内に入れて暖房熱源としているが、ヒートポンプではコンデンサを車室内に入れて暖房熱源としている。また、除湿ではカーエアコン、ヒートポンプともエバポレータで冷却して除湿している。そのあと適正な吹出し温度にするための空気の再加熱をカーエアコンではヒータコア、ヒートポンプではコンデンサを用いて行う。

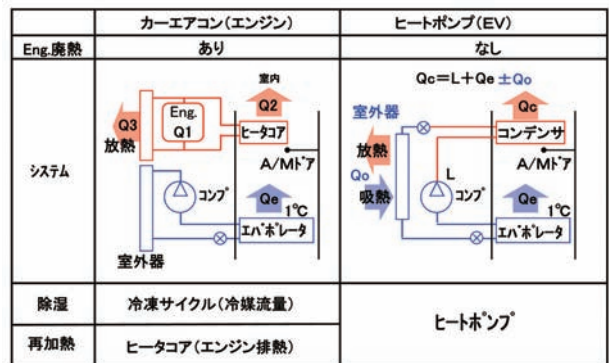


Fig. 2 Difference between conventional car air-conditioning systems and heat pump systems

ヒートポンプにおける再加熱量 Q_c はコンプレッサ動力 L 、エバポレータ吸熱量 Q_e 、室外熱交換器吸熱量 Q_o を用いてあらわすと、

$$Q_c = L + Q_e \pm Q_o \quad (1)$$

となる。 Q_o の吸熱量はコンプレッサ回転数や絞りの開度を変えて外部熱交換器の状態を制御することで調整できる。

3.1.2 動作

<暖房>

Fig. 3に暖房時の動作を示す。コンプレッサで低温・低圧の冷媒ガスを圧縮する。コンプレッサで高圧・高温に圧縮された冷媒はコンデンサに入り凝縮熱を室内

に放出する。凝縮された冷媒は膨張弁を通り低温低圧になり室外熱交換器で大気から吸熱をする。

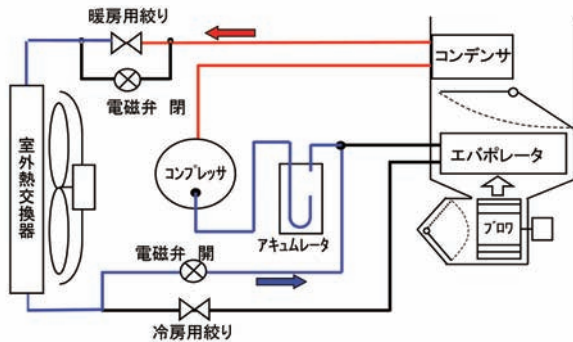


Fig. 3 Operation of heating mode

<冷房>

冷房の動作をFig. 4に示す。エアミックスドアがコンデンサを通る空気の流れを阻止しているため、コンデンサでの熱交換が行われない。さらに電磁弁が開いているので、膨張弁は通らずに室外熱交換器に入り、そこで凝縮する。その後冷房用の絞りで膨張し、低温低圧になり、室内空気から吸熱する。

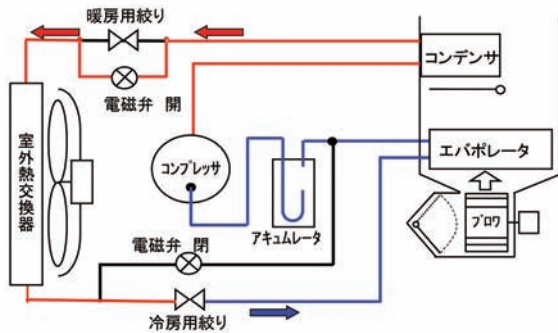


Fig. 4 Operation of cooling mode

<除湿暖房>

除湿暖房の動作をFig. 5に示す。除湿暖房時には暖房絞りと並列に設置された電磁弁は閉じているので暖房絞りを冷媒は通過する。室外熱交換器は冷媒の温度が外気の温度よりも高ければ凝縮器、低ければ蒸発器として働く。さらに冷房用の絞りを通してエバポレータに入りアキュムレータに戻る。除湿暖房運転ではコンプレッサとコンデンサ、室外熱交換器、エバポレータの3つの熱交換器を使用して除湿能力と再加熱能力(リヒート量)を制御する。

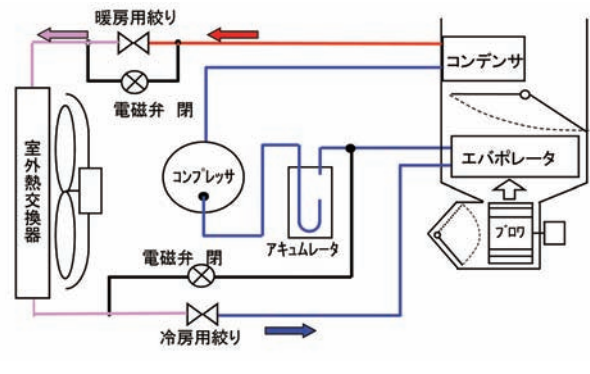


Fig. 5 Operation of dehumidifying and heating mode

3.1.3 ヒートポンプの極低温時の能力向上

ヒートポンプは-20℃程度の極低温になると冷媒の密度が低下して、コンプレッサで圧縮する質量流量が低下して能力が落ちる。このような場合、Fig. 6に示すようにガスインジェクションサイクルが用いられる。ガスインジェクションサイクルは高温段(コンデンサ)から2段階に膨張させ、中間段で気液分離して、ガスをコンプレッサ中間段に戻す。中間段は低温段(エバポレータ)よりも冷媒密度が高く冷媒の流量を増加させることができる。コンプレッサに入るガスが増えることにより能力が向上する。

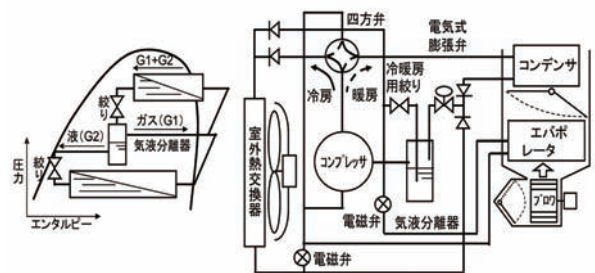


Fig. 6 Gas injection type heat pump system

3.2 内外気2層ユニット

Fig. 7に熱負荷の内訳を示す。車両の熱負荷の6割は換気による損失であり、残り4割は熱伝導による損失となる。Fig. 8は換気損失を減らすために内気循環率を増やした場合に起こる窓曇りへの影響を示してある。この図に示すように内気循環率が20%を超えると窓曇りが発生する。内気循環では、暖かい空気を再加熱するため、暖房能力を向上させることができる反面、乗

員の呼気により、車室内湿度が上昇し、窓の曇りが発生するからである。この課題への対応として、窓曇りを発生させない程度に内気循環空気を一部利用するために内外気2層ユニットが用いられる。

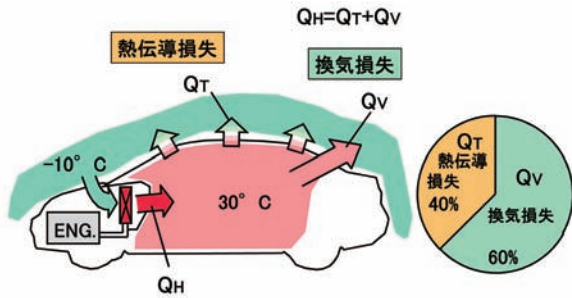


Fig. 7 The ratio of heating load

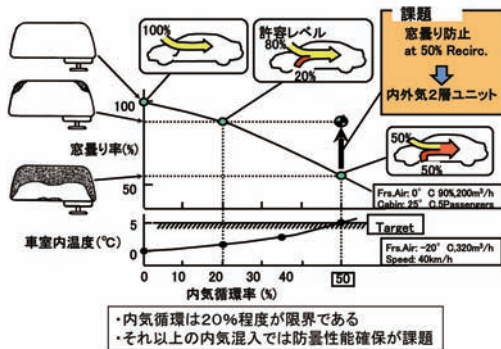


Fig. 8 Effect of ventilation-loss-reduction

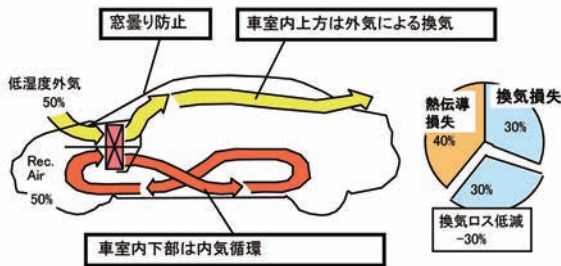


Fig. 9 Air circulation of the two layer flow system

内外気2層の風流れをFig. 9に示す。外気導入空気と内気導入空気を分離したままヒータコアで加熱し、外気導入側は車室内の上部に、内気導入側は足元に吹き出すようにしたものである。外気量と内気量の比率は半々程度に設定しており、DEF吹き出しやサイドFACE吹き出しからの風は、外気側の乾いた空気となるため窓ガラスは曇ることはない。一方、FOOT吹き出しの風は内気風となっており、その分換気損出を減らすことができる。

そのユニットの構造をFig. 10に示す。ファンは2層構造となっており、本体ユニット内にも仕切板をいれて外気と内気が混ざらないようにしている。ファンやエバポレータ、ヒータコアの前後に、多少の隙間があるが、外気側の圧力を内気側の圧力より高める事により、内気が外気側に混入する事を抑え、窓曇りが発生しないように防止している。

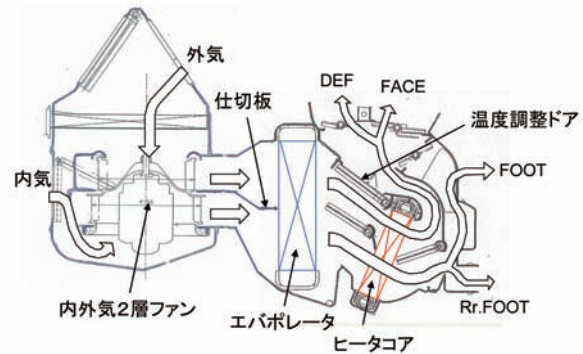


Fig. 10 Schematic view of the two layer flow unit

4. 電動コンプレッサ

4.1 電動コンプレッサの特徴

内燃機関の車 (ICV) ではエンジンの駆動力をベルトを介してコンプレッサに伝達し、コンプレッサを駆動している為、駆動源であるエンジンが停止してしまうとコンプレッサが駆動出来ない。これに対して電動コンプレッサは、コンプレッサ自身が駆動源であるモータを内蔵しているためエンジンが停止しても必要な時に必要な回転数で運転することが可能である。また、駆動源であるモータを有することで車両への搭載位置もベルトを介す必要がなく自由に搭載することが出来る。

電動コンプレッサの例として“ES34” (シリンダ容積：34cc) をFig. 11に示す。ES34は容量バリエーションの中で最も大きいタイプである。“ES34”は'07年に

登場したLS-HV向けに開発され、海外メーカーにも幅広く採用されている。他に必要性能や車格に応じて、シリンダ容積別にES27, ES14をラインアップしている (Fig. 12).



Fig. 11 Exterior view of DENSO electric compressor ES34

機種	ES14	ES27 (吸)	ES34
構造			
外形寸法	Φ109×L184	Φ109×L193	Φ109×L226
質量	4.6kg (オイル量: 130cm ³)	5.8kg (オイル量: 120cm ³)	6.6kg (オイル量: 140cm ³)
容積	14 cm ³ /rev	27 cm ³ /rev	34 cm ³ /rev
回転数	8200 r/min	5200 r/min	4900 r/min
Max	10000 r/min	8600 r/min	6800 r/min
オイルセバ	有り	無し (有り可)	有り

Fig. 12 Lineup of DENSO electric compressors

4.2 電動コンプレッサの構造

Fig. 13に簡単に構造を示す。吸入された冷媒ガスは密閉されたアルミ製ハウジング内のモータ部とハウジング外部に密着したインバータを冷却しながら圧縮部に到達し、圧縮部内のスクロール式コンプレッサで圧縮されて吐出される。ガスが通過するハウジング内のモータにハウジング外部に配置されたインバータからの電気を伝える役目を果たす密閉型端子を採用しインバータの冷却性とハウジングの耐圧強度を同時に実現できる。

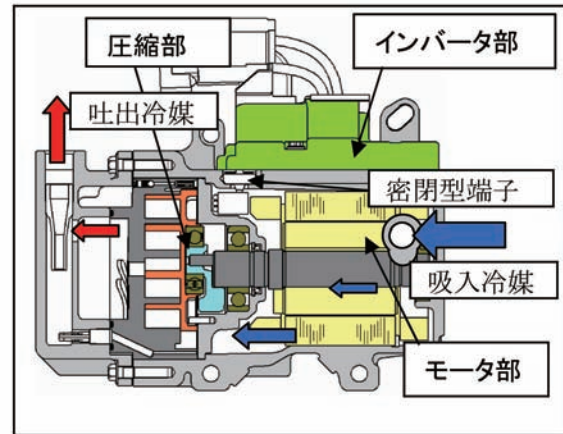


Fig. 13 Cross sectional view of DENSO electric compressor

4.3 車両搭載における技術課題

課題は、主に以下の二つである。

- 1) A/Cインバータの冷却
- 2) 主機 (車両) 側昇圧コンバータとの電気共振

電動コンプレッサはモータを内蔵すると共に駆動制御回路であるA/Cインバータも搭載しているが、ESシリーズではこのA/Cインバータをコンプレッサ上部に配置した構造を採用しており、吸入冷媒によりA/Cインバータ冷却を行うことによって耐熱SPECとしては100℃環境 (エンコパ内搭載) を達成している。

主機 (車両) 側昇圧コンバータとの電気共振とは昇圧コンバータが駆動する際のキャリア周波数と電動コンプレッサのA/Cインバータ側駆動周波数が近接しゲイン (減衰率) が上昇してしまい、入力側にある電解コンデンサへのリップル電流が大きくなることで発熱量が増加し寿命が縮んでしまう現象である (Fig. 14)。この場合、コイル容量を変更するなどして入力電流ゲインを下げることで回避するなどの対策が必要となる。

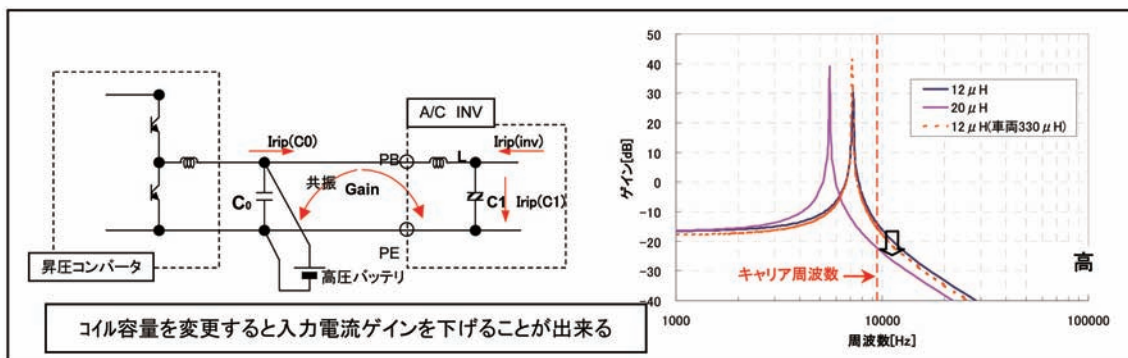


Fig. 14 Resonance in A.C. inverter

5. まとめと今後の動向（課題・方向性）について

以上述べてきたように電気自動車において、快適性、視認性、電池利用効率の観点で、熱源技術、熱負荷低減技術が重要である。その中から、熱源技術ではヒートポンプ、熱負荷低減技術では内外気2層ユニットについて紹介した。ヒートポンプの残された課題としては-20℃までの極低温対応技術、除湿能力拡大、着霜抑制などがあり技術確立が待たれている。さらに、エジェクタなどの夏季の省動力技術との併用も重要である。（Fig. 15）

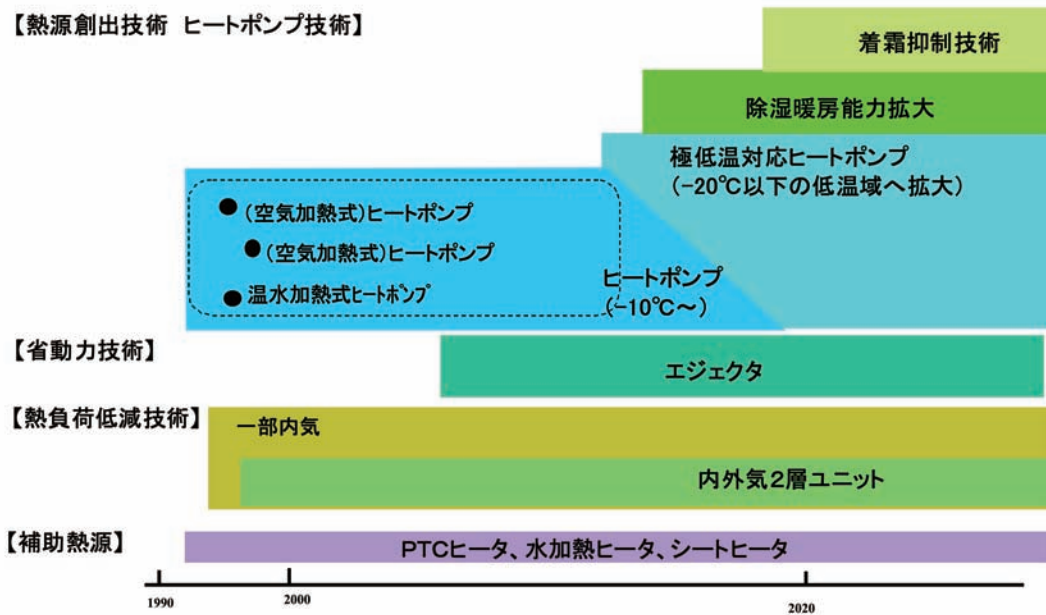


Fig. 15 Future trends of air-conditioning systems in Electric Vehicles

<著 者>



萩原 康正
(はぎわら やすまさ)
熱システム開発部 博士(工学)
ヒートポンプなどの将来空調
開発に従事



伊藤 公一
(いとう こういち)
熱機器開発1部
カーエアコン用車室内ユニット
開発に従事



酒井 雅晴
(さかい まさはる)
熱機器開発1部 博士(工学)
カーエアコン用送風機開発に
従事



五百井 伸泰
(いおい のぶやす)
熱機器開発2部
カーエアコン用電動コンプレッサ設計に従事