

基調論文 熱システムの現状と将来動向*

Present Status of Thermal Systems and Possible Future Trends

杉 光

Hikaru SUGI

山中康司

Yasushi YAMANAKA

With regard to featuring the relevant reports vis-à-vis car air conditioning, the latest environmental oriented technologies relating to car air conditioning and the future of said are to be discussed here. To further improve such technologies, it is very important to proceed with the development of the technology from the standpoint of efficient thermal management considering the vehicle as a whole. Therefore in this report, the words “car air conditioning” are intentionally removed from the title of the report. The latest and upcoming technologies are reported under the title “Present Status of Thermal Systems and Possible Future Trends”.

Key words : Air conditioning , Thermal systems

1. はじめに

今日ほど、省エネルギー・省燃費が真剣に叫ばれている時代はない。これは、地球温暖化防止のための京都議定書が1997年に採択されて以来7年余りを経て発効され、その目標達成のための官民挙げた努力が始まっているからである。また、大気中のCO₂濃度の上昇により、生態系への影響が心配されると共に温暖化による気候変動の影響を一人ひとりが肌で感じ、真剣に対応しなければならないと思い始めているからでもある。

ここで、カーエアコンの歴史は古い。1950年代の米国において、従来のヒータに加えてトランクルームに搭載されたクーラが始まりである。それ以来「快適」「小型・軽量」そして「効率向上」にたゆまぬ努力を積み重ねて今日のカーエアコンがある。特に「効率向上」すなわち「環境対応」は、石油ショックやオゾン層保護などその時代時代の社会的要請が技術開発を促進し、それにより格段に進歩してきた。

今回、カーエアコン関係の特集にあたり、ますます重要となる「環境対応」の最新技術と将来動向について論じてみたい。その中で、将来のカーエアコンを考えたとき、車全体を捉えて、特にいかに効率的に熱マネジメントするかという視点で技術開発を進め、進歩していかなければならないと考えている。そこで、あえて「カーエアコン」でなく「熱システムの現状と将来動向」というタイトルとした。

2. 地球環境への影響

カーエアコンの地球環境への影響とめざす方向について述べる。

わが国の温室効果ガス排出量の約20%強が自動車を中心とした運輸部門である (Fig. 1)。その中で、カーエアコン (冷房) はエンジン動力を利用して作動しているため年間平均で9%の燃料消費をしている (Fig. 2) と考えると、全体の2%程度の排出割合と推測され、けっして無視できる値ではない。

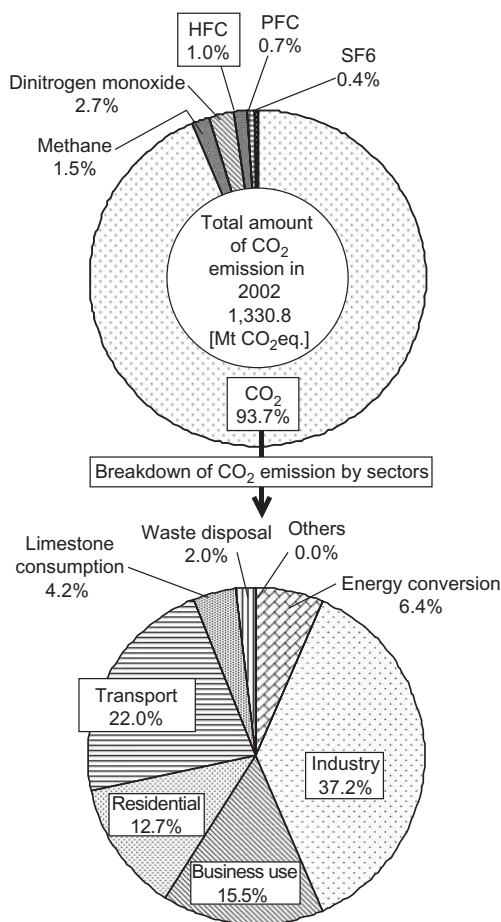


Fig. 1 GHG effects on global warming

*2005年2月28日 原稿受理

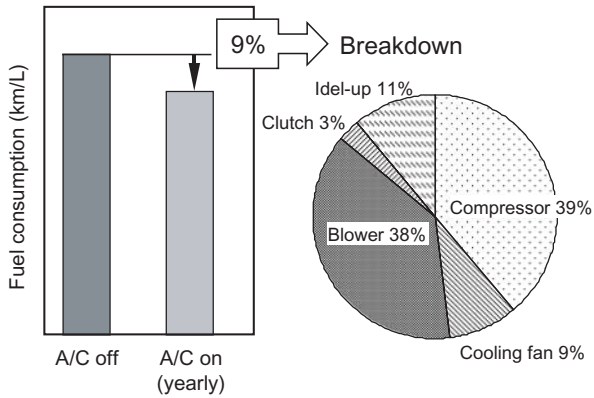


Fig. 2 Influence of A/C on fuel consumption

一方、使用されている冷媒はHFC134aでGWP (Global Warming Potential) がCO₂の1300倍あり、地球温暖化防止京都会議 (COP3) における規制対象ガスとなっている。多くの国で回収、破壊が義務付けされており、これまでその実行と共に機器としての省冷媒化や低漏れ化に努力してきている。将来的には、自然冷媒に代表される低GWPの冷媒に移行していくべきであろう。

暖房においては、これまでエンジンの廃熱 (冷却水) を有効利用してきた。しかし、最近のパワートレインの高効率化に伴い熱源不足が顕在化してきており、これは高効率エンジン車・ハイブリッド車に進むにつれ、よりクローズアップされる。そのため、自ら熱源を作り出す必要があり、燃費への影響が小さいより高効率な手段が必要となる。

以上、めざす方向をまとめてみると

- (1)省動力技術
- (2)冷媒の低GWP化 (自然冷媒など)
- (3)暖房の高効率化

と言えよう。

3. 省動力技術

カーエアコンの省動力化には機器および冷凍サイクルの高効率化に加え、車両全体からのアプローチが重要である。以下、その最新技術と共に今後の開発方向について述べる。

3.1 機器

3.1.1 コンプレッサ

カーエアコンの心臓部であるコンプレッサの効率向上は直接エンジン負荷低減につながるため、これまで改良を積み重ねてきており (Fig. 3)、現状では70%以

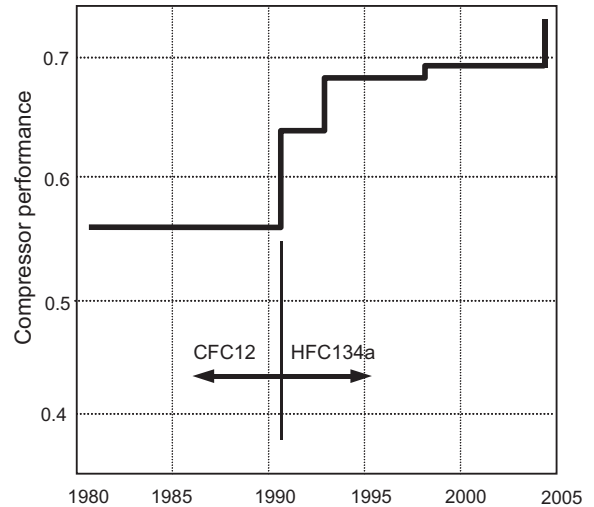


Fig. 3 Improvement of compressor efficiency

上の効率となっている。

その中で最新技術として、吐出弁・吸入弁の圧力損失に着目し、その損失低減を図ったロータリバルブ機構のコンプレッサがある。その特徴は、Fig. 4が示すように吸入弁を廃止し軸部のロータリバルブで圧縮室にダイレクト吸入させるもので、10%程度効率向上が達成できている。

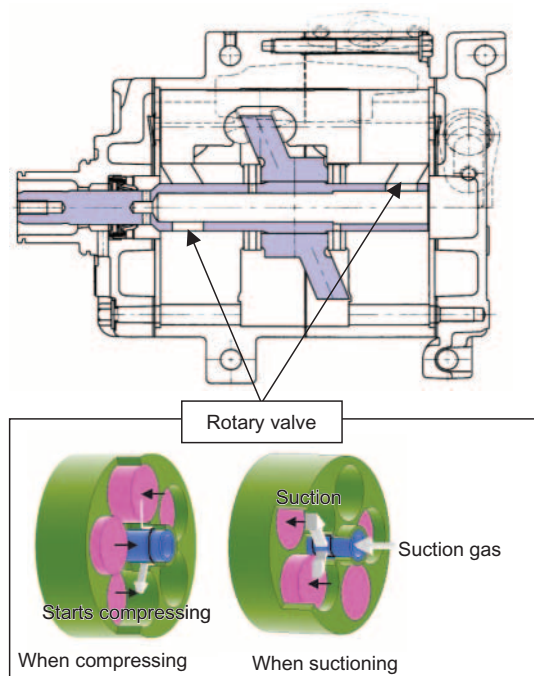


Fig. 4 The image of rotary valve type swash plate compressor

省燃費化には軽量化も重要なアイテムである。コンプレッサは電磁クラッチとベルトを介しエンジンで駆動されており、クラッチ部も含めると重量で約6kgある。可変容量型コンプレッサにおいて、本文でも紹介するが最新のものはその容量を0%近くにするにより電磁クラッチ部の廃止、プーリの樹脂化による大幅な軽量化を実現した。

パワートレーン系がハイブリッド車・燃料電池車になると、高電圧で電力的にも余裕があるため、エンジンから独立した電動コンプレッサが良い。これは、エンジンに左右されずに能力をコントロールできるため、高効率で最適な空調の実現が可能である（本文紹介）。

3.1.2 コンデンサ

コンデンサの高性能化は、冷凍サイクルの高圧を低下させ省動力につながり、コンデンサ性能10%向上で4%程度の省動力効果がある。性能向上手段としては、チューブやフィンの微細化・多パス構造の採用であり、これらを実現するためには伝熱技術だけでなく、超微細押し出しなどの加工技術や高強度・高耐食薄肉材などの材料技術が不可欠である。

Fig. 5に性能向上の推移を示すが、これらの技術開発により過去20年間で同一正面面積あたりの性能は約2倍にも向上した。

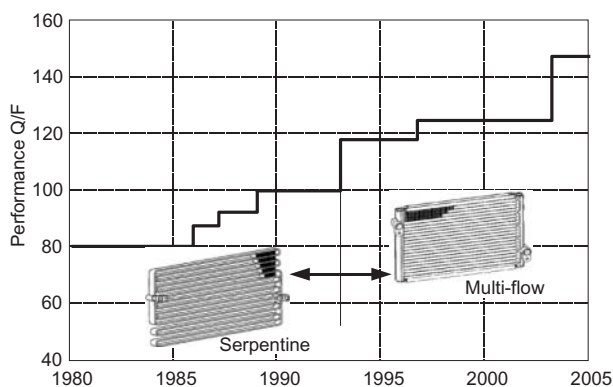


Fig. 5 Improvement of condenser efficiency

3.2 冷凍サイクル

カーエアコンの冷凍サイクルは、コンプレッサ・コンデンサ・膨張弁・エバポレータからなる極めて単純な蒸気圧縮式冷凍サイクルである。車両搭載の面より、複雑にすることなく効率を上げることが重要である。

3.2.1 サブクールシステム

コンデンサ出口の液冷媒を過冷却させ効率向上を図ったシステムがサブクールシステムで、5%程度の性

能向上を図ることができる¹⁾ Fig. 6は、コンデンサに凝縮部と気液分離室と過冷却部（サブクール部）を一体化し簡素にそのシステムを成立させることができ、現在では広く採用されている。

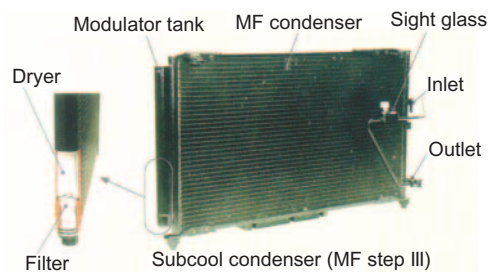


Fig. 6 Subcool condenser

3.2.2 オイルセパレータ付コンプレッサ

冷凍機油はコンプレッサの潤滑には不可欠であるが、熱交換器内に付着すると熱交換効率低下や圧力損失増加によりサイクル効率が下がる。通常4~5%程度のオイルが冷凍サイクルを循環しており、性能低下は6~7%ある。そのため、コンプレッサ内に遠心分離方式でオイルを分離しサイクルに出さないタイプのコンプレッサ (Fig. 7)²⁾が有効であり、この技術も広がりつつある。

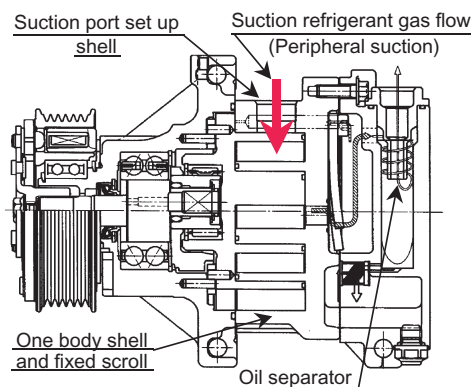


Fig. 7 Comparison with oil separator

3.2.3 内部熱交換システム

エバポレータで蒸発したガス冷媒は空気を冷却する能力はなくなっているものの、自らの高圧の液冷媒を冷却することはできる。そこで、高圧側の液冷媒と低圧側のガス冷媒を熱交換する内部熱交換システムが研究されている (Fig. 8)³⁾ この実現には、いかに小型・簡素で圧力損失の小さい熱交換器にするかが重要となる。

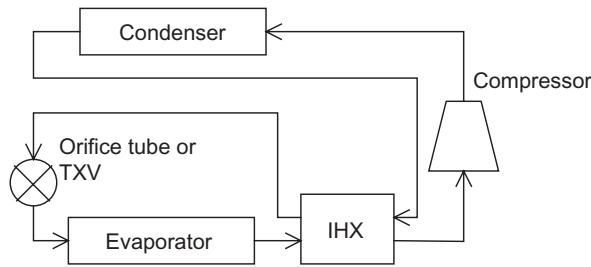


Fig. 8 Inter heat exchange system

3.2.4 エジェクタシステム

冷媒の膨張時の損失に着目し、その損失をエジェクタで回収するシステムは古くから考えとしてはあったが (Fig. 9)、二相流のエジェクタ効率が低く実用化は困難であった。最近、二相流内の液滴の微粒化に成功し、冷凍車において大幅な効率向上を実現した (本文紹介)。この技術は、基本的にあらゆる蒸気圧縮式冷凍サイクルに適用できる技術であるが、カーエアコンへの適用には幅広い運転条件下で効率を維持しかつ、いかに簡素な構成にするかが実現の鍵を握ると思われる。

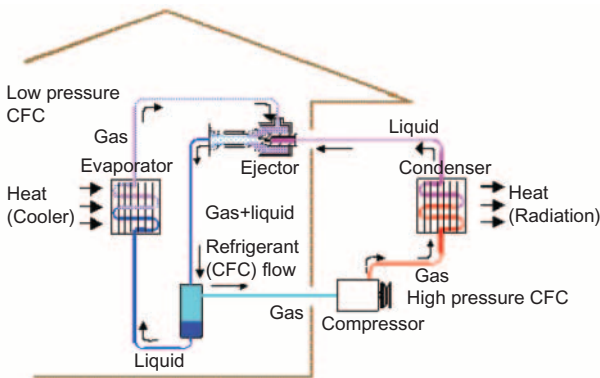


Fig. 9 Ejector cycle

3.3 車両全体からのアプローチ

カーエアコンは、それぞれの機能部品を車両に搭載してはじめて機能を発揮する。言い換えれば、車両での使われ方が省動力を左右すると言っても過言ではない。そのポイントは

(1) 熱的環境改善

エンジンルームからコンデンサへの熱風廻り込み低減および外気吸入口の温度上昇低減

(2) エンジン・エアコン協調制御

パワートレーン系の効率を考慮したコンプレッサの最適制御

(3) 省能力

できる限り少ない冷房能力での快適性実現以上の三つと考えられる。以下、その最新の事例を紹介する。

3.3.1 熱的環境改善

Fig. 10に示すフロントエンドモジュール (以下FEM) は、キャリアの導風形状を最適化し、従来、風の逃げ道であった部品周りの隙間を最小限に抑える迷路構造をとることでシール性を向上し、走行風を効率よくコア (放熱部) に取り込み、通過風量を増大させた。このような積極的な性能向上策を採用することで、アイドル時や渋滞走行時に発生するエンジンルームからの熱風回り込みを、廻り込み防止ダクトにてシャットダウンする。これによってコンデンサ前の気温を約5℃下げることが可能となり、コンプレッサ動力に換算すると13%の省動力になった。

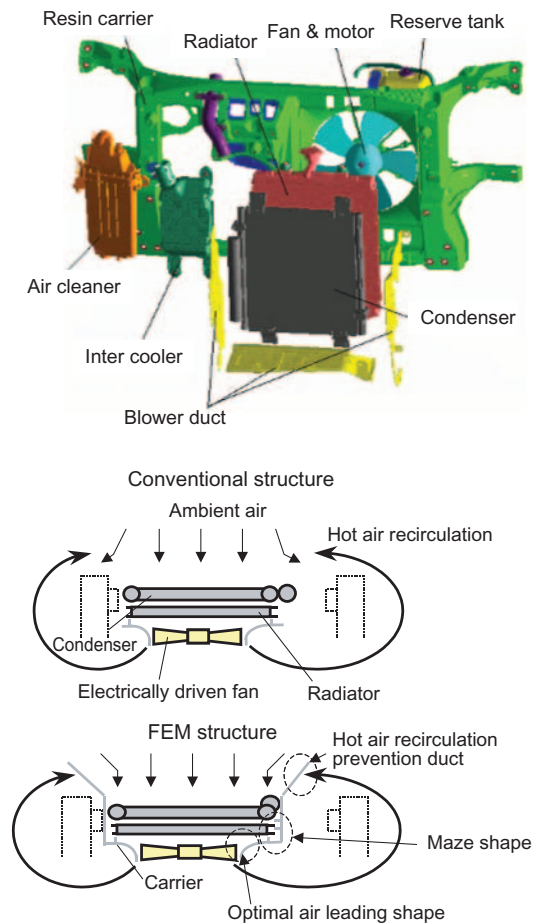


Fig. 10 Front end module

3.3.2 エンジン・エアコン協調制御

Fig. 11に、ある車両の制御例を示す⁴⁾。外部可変容量コンプレッサを用いて、加速時に加速性と冷房性能の両立を図った容量でのコントロールと、減速時に減速エネルギー回生の目的で大容量化を図り、約2%の省燃費を実現した。今後とも、特にハイブリッド車などは、パワートレーン系と連携した、よりきめ細かな制御が必要になると考えられる。

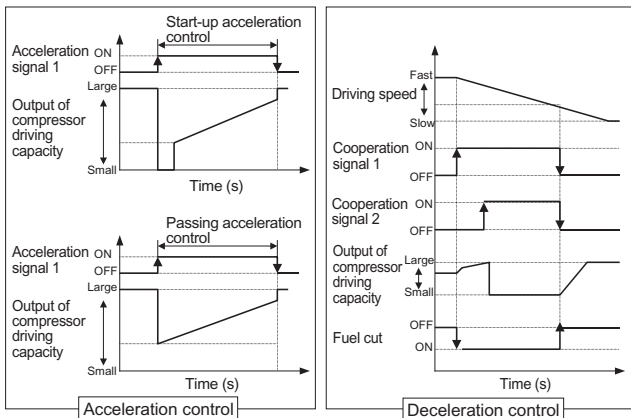


Fig. 11 Engine-A/C cooperation control

3.3.3 省能力

カーエアコンは、春・秋の中間期はFig. 12に示すように、エバポレータで除湿しヒータコアで最適な温度になるようコントロールしている。最新のエアコンシステムは湿度センサを用い、この除湿量を室内湿度に応じて快適で、かつ、窓ガラスが曇らないようきめ細かな制御を行い、必要最低限の効率的運転を実現している。

4. 冷媒の低GWP化

次世代のカーエアコンにはGWPの低い冷媒が求められている。その有力候補が自然冷媒であるCO₂ (GWP=1)である。

Fig. 13は、CO₂とHFC-134aの冷凍サイクル性能のモリエル線図上での比較をまとめたものである。CO₂冷凍サイクルは、HFC-134aサイクルと比較して約7倍の高圧圧力をもっていることから、耐圧設計が重要であることはよく知られているが、最も重要なことはHFC-134aと比較して明らかに理論的な成績係数が劣っているということである⁵⁾。

効率を向上するために、各機能部品の性能・効率向上は当然であるが、更にHFC-134aサイクルの効率

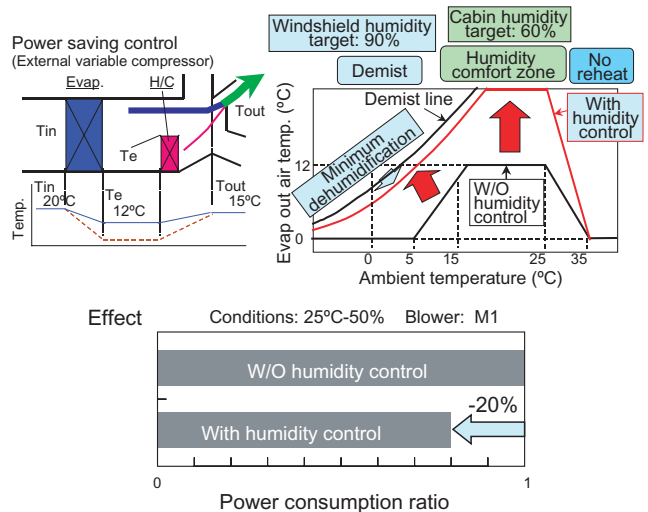


Fig. 12 The system with temperature sensor

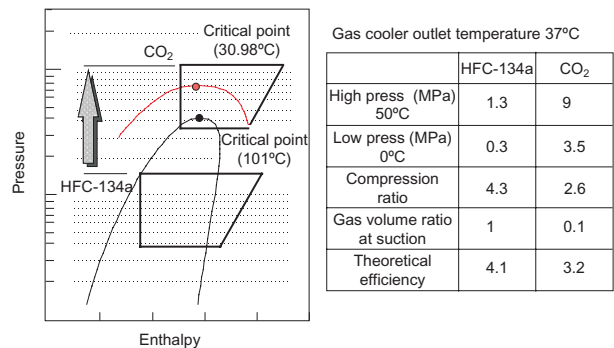


Fig. 13 Theoretical performance of CO₂

向上技術として紹介した内部熱交換器の採用が必要不可欠となる。

また、CO₂は高低圧力差が大きいので、膨張時の損失も大きく、冷凍サイクルの効率向上にはエジェクタシステムが有効である。

車両全体の取り組みにおいては、CO₂冷媒の特性を生かした最適なFEMも検討していく必要がある。

5. 暖房の効率化

エンジンの低燃費化に伴い、暖房の熱源がますます不足してきている。特に、これは直噴ディーゼルエンジンやハイブリッド車で顕在化している課題だが、将来的には効率の高いガソリンエンジンにも広がるのが予想され、今後、補助暖房装置、特に効率の良い装置の開発がますます重要となる。

Fig. 14に現在、市場で採用されている主な補助暖房装置を示す。500~1000W程度のPTCヒータ、1000~2000Wの冷凍サイクルを利用したホットガスヒータ

(本文紹介), 3000W以上の燃焼式ヒータが代表的な製品であり, それぞれ不足熱量で使い分けされている。

これらの技術は, 燃料を直接燃焼させるか, エンジンを通じた動力や電気エネルギーを熱に変換して利用するシステムであるが, より効率の良いシステムを考えていく上では, 排気ガスに捨てられている熱エネルギーやヒートポンプなどにより空気の熱エネルギーを利用する方法が良い。

Fig. 15はBehr社が提案している排気熱を冷却水に回収する排気熱回収システムで, 最大5kWの熱量が回収できるとされている⁹⁾。

一方ヒートポンプにおいては, 自然冷媒として注目されているCO₂冷媒が, その高い密度が効果を発揮し優れたヒートポンプ性能を有する。FCHVに採用されたCO₂ヒートポンプ(本文紹介)は, それのみで寒冷地の暖房能力を賄える性能を有している。

今後CO₂エアコンは, 自然冷媒だけでなくこのヒートポンプ能力を生かしたシステムとして広く採用されるものと思われる。

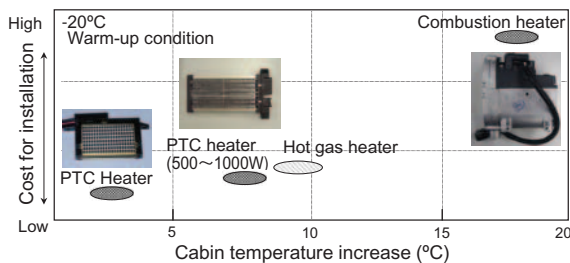


Fig. 14 Technology for low heat source



Fig. 15 Exhaust heat exchanger with coolant connections, bypass and bypass flap for DI diesel engines

6. 新しい熱システム

カーエアコンの地球環境への影響を少なくするためには, 効率的な冷暖房技術が重要であるのは言うまでもないが, 今後更に飛躍していくためには, エアコン

だけでなく車両全体, 特にエンジンなども含めた熱マネジメントが重要と確信している。発生した熱をいかに有効に活用するか, 必要な部位を最適に冷却し効率向上を図るかなど, 車両全体を捉えた熱システムである。

例えばFig. 16は, エアコンのコンプレッサで加熱された冷媒をエンジン冷却水に放熱し, 暖機性を向上し燃費向上につなげる提案である⁷⁾。エアコンの廃熱を有効活用する一つのアイデアと言えよう。また, エンジンからの廃熱は, 冬場は暖房に活用できているが夏場は捨てているのみであり, 熱-エネルギー変換技術によりエネルギーとして活用する領域にも踏み込んでいくべきだろう。

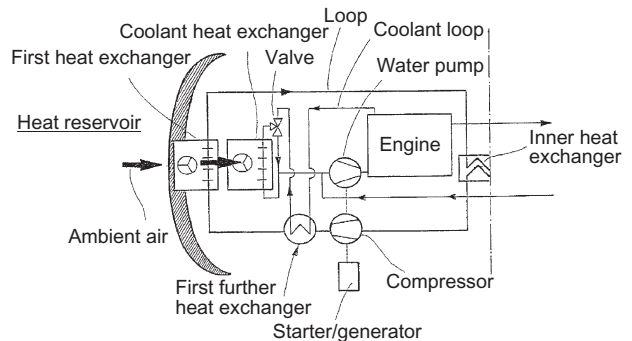


Fig. 16 Coolant heating system using A/C

7. おわりに

人類は, 動力や電力を利用し, 自動車や冷暖房などで文明生活を可能にしている。これは, 熱エネルギーを動力や電力に変換し活用している結果だが, 70%程度は未活用のまま熱として捨てられているのも事実である。

これらのことを考えると, 自然との共生には熱をいかに有効に活用・マネジメントするかに尽きると言っても過言ではない。我々“熱”の技術者にとって, 非常にやりがいのある時代と言えよう。

<参考文献>

- 1) Yamanaka : SAE paper 970110
- 2) 秋山, 他 : 自動車技術会 1998春季 151講演
- 3) Chao A. Zhang : SAE paper 2002-01-0507
- 4) コロナプレミオ新型車解説書 2001.12
- 5) Hirata : IIR Gustav Lorentzen Conference 1998. Oslo
- 6) Dieter Heinle : ATZ 9/2003
- 7) US Pat. 2002/0189271 A1



<著 者>



杉 光
(すぎ ひかる)
常務役員
冷暖房事業部担当



山中 康司
(やまなか やすし)
熱システム開発部
カーエアコンシステムの開発に従事