

基調論文 | カーエアコンフィデンス

Confidence of Air Conditioner

渡辺 敏 藤原健一

Satoshi WATANABE Kenichi FUJIWARA

We give our heart to the title "Confidence of Air Conditioner", that stands for our confidence for the direction in the 21st century we should proceed to and reliance which we should obtain from the customers. In this paper, we introduce some parts of the car air conditioner which are changing steadily towards to 21st century.

Firstly, we outline the direction which we have to go on regarding to the safety and comfortable occupant space, then describe about the environmental correspondence which concerns largely on the development of the future car air conditioner.

1. はじめに

真夏に窓を閉めて走っている車が羨望の的となった時代は、つい30年ほど前のことである。いまや窓を開けて走っている車を見つけることは難しい。今日、車がこれほど普及したのは、移動手段としての利便性だけでなく、安全・快適性に大きく寄与しているカーエアコンによるところも多い。

歴史を振り返ると、人類は火という“暖”を取る手段から始まり、エアコンという手段を得て快適性を確保し、生活圏を拡張してきたと言える。作家の深田祐介氏は、「東南アジア諸国が経済的發展を遂げつつあるのは、工場の整備や機械などの自動化の導入ではなくて、暑さから開放したエアコンが一番の要因である」と言明している。

車は今や、カーエアコンを抜きにしては考えることはできない。車の基本性能である「走る・曲がる・止まる」に加え、冷やす(暖める)が加わったといっても過言ではない。それだけにカーエアコンに求められる要求も年々強くなってきている。特に21世紀初頭に向けて環境保護などでカーエアコンを取り巻く環境の変化は大きく、カーエアコンもそれを先取りすべく大きく変貌しようとしている。そんな今後のあるべき方向に向かっての確信及びカーエアコンメーカーとして勝ち取るべき信頼を本タイトルであるカーエアコンフィデンスに込めてみた。

今回は21世紀初頭に向かい変貌しているカーエアコンの一端を論じてみたい。

カーエアコンの本来の使命は安全で快適な車室内空間を創出することである。これを実現するための両輪

は(Fig.1)、駆動輪が小型・軽量・信頼性向上といった製品の改良であり(Fig.2)、舵を取り進む方向を定める前輪は今や地球環境対応であると言える。オゾン層破壊防止のためのフロン規制ではカーエアコンが先頭を切って新冷媒(HFC-134a)への切り替え(89-95)を行なったことは大きな前進であったが、現在は地球温暖化防止などもっと大きな波が押し寄せている。車の急激な省燃費化要求に合わせたカーエアコンの省動力、アイドル時エンジンストップでの空調など...さまざまな課題がある。

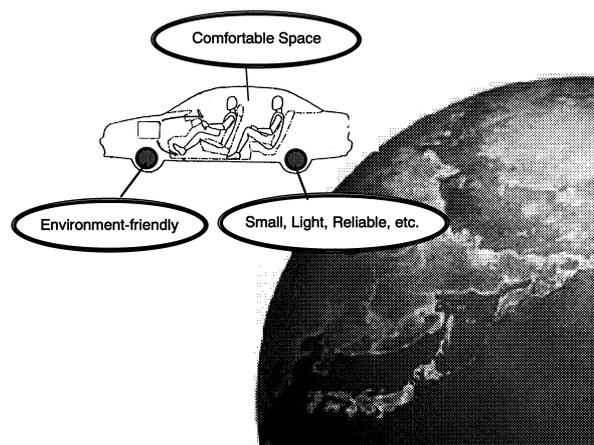


Fig.1 Missions of Car A/C

ここでは、まずカーエアコン本来の目的である安全・快適な車室内空間創出に向かって目指す方向について論じ、その後、今後のエアコンの開発方向に大きくかわる環境対応について述べる。

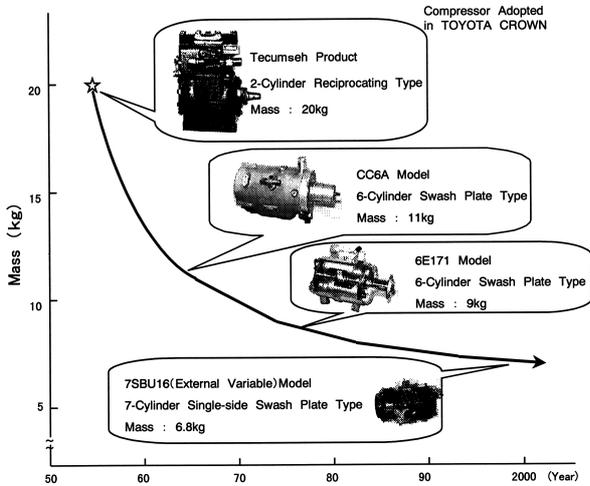


Fig.2 Trend of compressor weight

2. 快適空間の創出

カーエアコンは、これまで暑さ、寒さの不快を感じさせない空調を目指してきたと言える。この不快を感じさせないエアコンはまだ完成とは言えず、各席ごとの空調に加え個人の好みまで反映してくれる「パーソナル空調」を目指している。

しかし、それとても自然の風の心地よさには到底及ばない。昔から俳句に詠まれている薫風の心地よさを車室内に再現させることが技術者の夢である。不快を感じさせないエアコンから積極的に心地よさを「感じさせる空調」が今後の目指す姿と言える。

2.1 全体空調からパーソナル空調へ

これまでカーエアコンは、四季の変化や日射変化に対し、車室内全体をいかに適温に保つかを努力してき

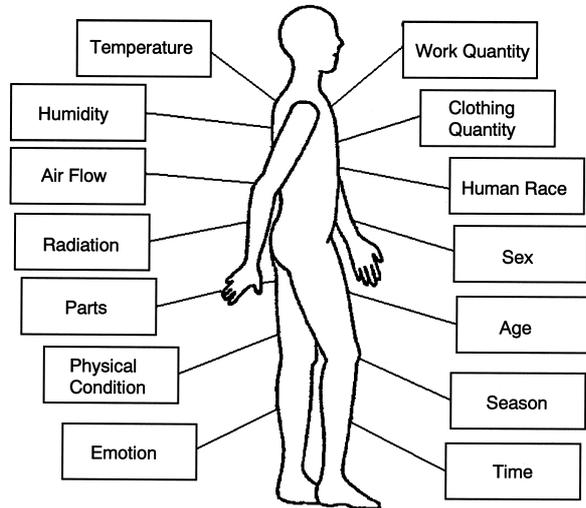


Fig.3 Factors in thermal comfort

た。しかし、温熱感にはさまざまな要因 (Fig.3) があり、適温に空調されていても日射が当たる窓側の人は熱いと感じるし、その日の体調や暑がりか、寒がりかによっても異なってくるので全体空調では限界がある。

2.1.1 パーソナルへの第一歩～セルシオ用エアコン

現在の2代目セルシオは、上下左右独立温度コントロール機能を持つ、先進的なエアコンである (Fig.4)。運転席と助手席は、お互い相手に気遣うことなく自由に好みの温度にすることができる。また、日射の方位を検知し、日射の当たる側の上側(上半身)のみ適度な冷風を送風し、日射による不快感を無くしている。本システムは、パーソナル空調の第一歩と言える。

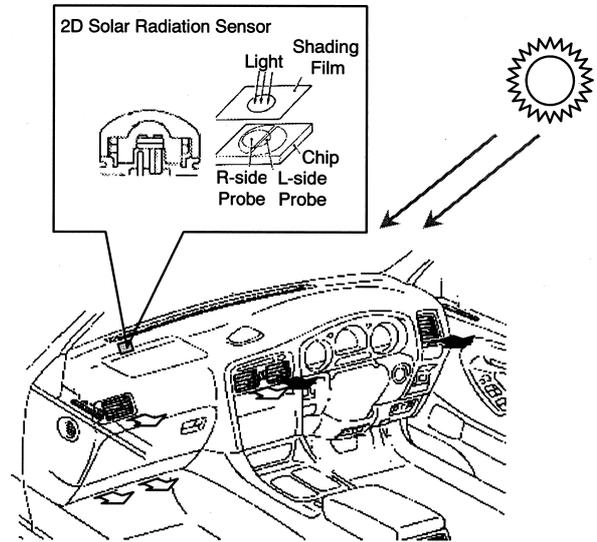


Fig.4 Celsior independent temp. Control A/C

2.1.2 個人を知るかしこいエアコン

車室内空間をゾーンごとに独立に空調された風を送り出すことができても頻繁な操作が伴っては快適とは言えない。個人の温熱感に影響する要因を検知して自動制御してくれる無操作エアコンがパーソナルエアコンの目指す姿である。

状態を知る：その日の着衣によって快適温度が異なる。真夏炎天下を歩いていた人はしばらく体が熱くなっているなど同一の温度・風速場でも状態により、温熱感は異なるため個人ごとの温熱状態を知る必要がある。これまでの研究で生体信号の中で皮膚温が最も温熱感を代表している (Fig.5) ことが分かり、額の皮膚温を測定し、目標皮膚温(約33℃)になるように空調制御するシステムを提案した (Fig.6)¹。現在、精度

よく額の皮膚温を測る手段がまだ開発できていないが、この研究からは現在活用中の温熱感覚評価マネキンシステム(Fig.7)に結びついている。この評価システムは、従来のサーマルマネキンとは異なり、通常のマネキンの表面に、温度・風速・輻射量センサを取付け、その値から皮膚温を算出して温熱感覚をビジュアル表示することができる。この皮膚温と温熱感との関係は、日射の影響、性別差、年齢差などで多少異なってくる(個別論文参照)ので、今後、更に精度を上げていく必要がある。

好みを知る：個人の状態を知って緻密に制御するエアコンができたとしても個人の好みまで反映できない。風が嫌いな人はクールダウン時でも早く風を少なくしたいなどの好みにより、操作がどうしても必要となる。この好みの操作まで無くするためには、その人の操作パターンを学習させる必要がある。97トヨタプログレにて革新的なニューロ制御エアコン(個別論文参照)を世に出した。このエアコンは制御性の飛躍的向上を狙ってあらゆる条件下でのエアコン制御の対応データをインプットしている。このニューロ制御をベースに、さらに学習制御による無操作化を目指していく。

2.2 感じない空調から感じる空調へ

風を当てると当初は心地良いがすぐ慣れてしまい、風が当たるわずらわしさがグロースアップされる。この風を変動させてやれば不快感は解消する。快適な状態とは人間の産熱と放熱のバランスがとれた状態ではなく、適度なサブストレスがあって、人間が本来持っているホメオスタシス機構(恒常性の維持)を発揮させ

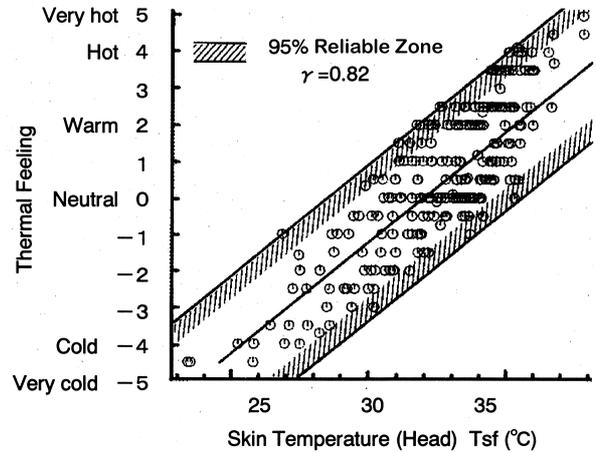


Fig.5 Relationship between skin temperature and thermal feeling

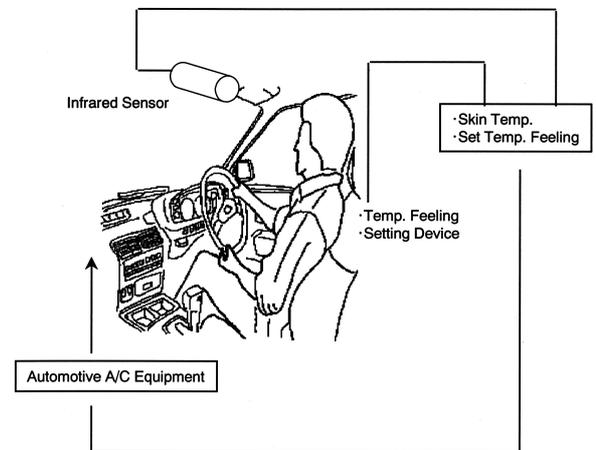


Fig.6 Ideal air conditioning system

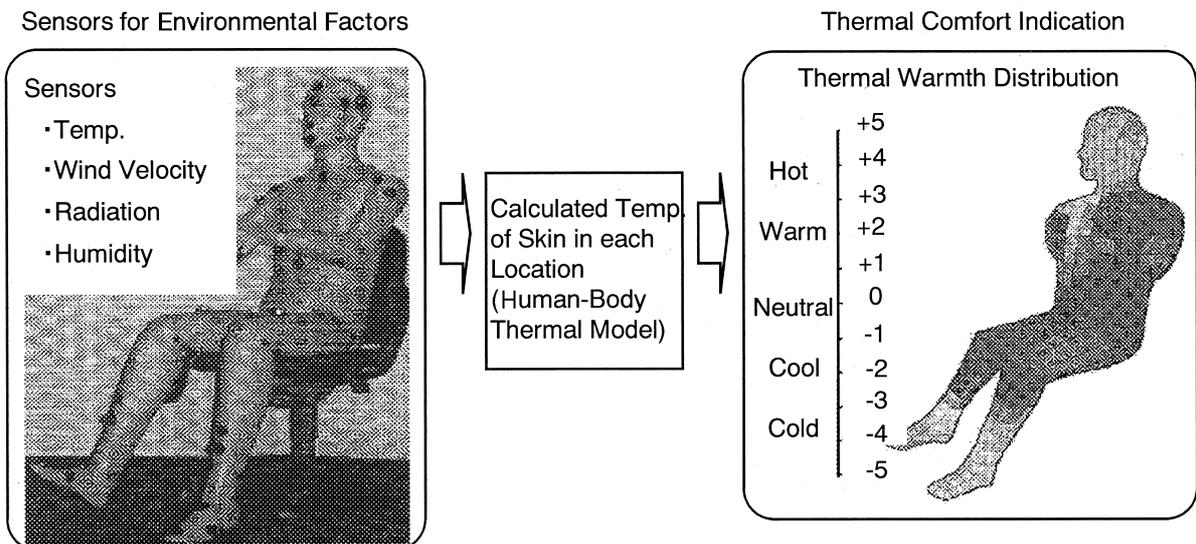


Fig.7 Thermal warmth feeling evaluation system

た状態と言われている．適度なサブストレス変化(ゆらぎ)を与える感じる空調が，今後の目指す方向であろう．

2.2.1 暖かさ，涼しさを感じる

適度な一定温度の中にいると最初は快適に感じてでもすぐに慣れてしまい，暑さ，寒さを感じない無感の状態となる．そこで，温度を適度なサブストレスの範囲(±2 程度)でゆるがせ，変化を与えれば，再び心地よさを感じるようになる(Fig.8)．例えば夏場では，温度が下がる方向のとき“やや涼しい”との心地よさを感じるのである．

快適性を生体信号で取り出すのは難しい．この時の脳波を比較すると適度なサブストレスがあった方が脳が活性化していることが分かる(Fig.9)．このことはドライバーにとって必要な適度な緊張感を維持できることを意味しており，安全の面からも好ましい．

この温度ゆらぎについては，ルームエアコンでは既実現されている．しかし，カーエアコンでは日射の有無で温熱感覚が大きく変化するなど，外乱の変化が大きく常に温度補正が必要なため，まだ実用に至っていない．しかし，高級車で採用されているシンググリルは風のゆらぎ効果を利用したものの一つで好評である．今後，さらに風と温度の両面からゆらぎを有効に生かした感じる空調を目指したい．

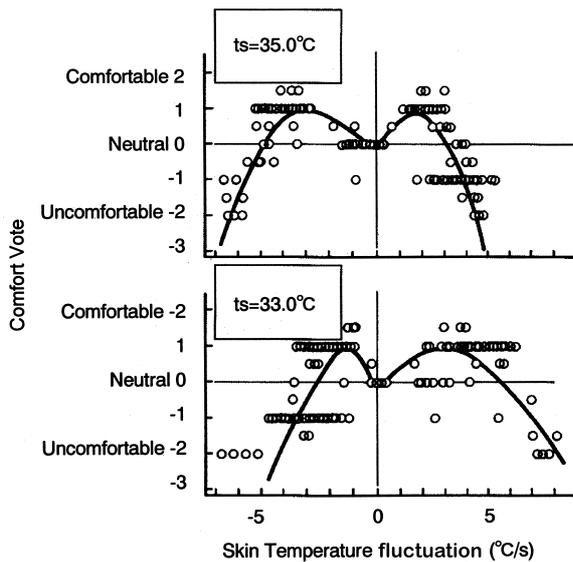


Fig.8 Comfortable skin temperature fluctuation

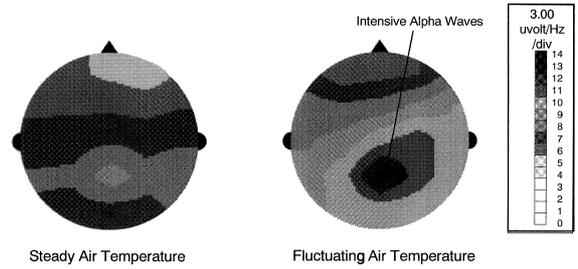


Fig.9 Topographic distribution of Alpha Waves

2.2.2 新鮮さを感じる

人間感覚の中で嗅覚は快適性にとって大きな影響を持つ．このため，エアコンからの臭いを出さないための取組み(個別論文参照)やエアコンシステムに防塵・防臭フィルタを装着するなどの取組みを進めているが，これらはあくまで不快感の除去である．新鮮さを感じるエアコンへの取組みの第1歩はオート内外気システム(Fig.10)である．これは，排気ガスの車室内への侵入防止に加え，排気ガスがない時は新鮮な空気を自動で取り込むことができる．

今後，ますます健康指向が強くなることから，車室内の空気の質を良くする技術はエアコンにとって不可欠であり，青葉を通り抜けて，また薫風を感じる理想の空調を目指したい．

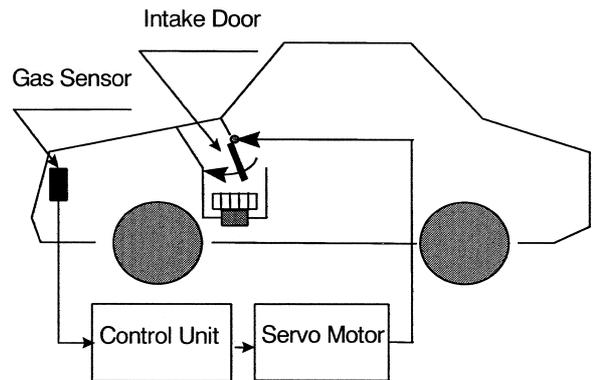


Fig.10 Automatic Intake system

3. 環境への対応

もう25年以上前になるオイルショック以来，カーエアコンの省動力化には，たゆまぬ努力を重ねてきている．しかし，これは，あくまでランニングコストを抑えるというニーズに主眼をおくものだった．今日はそれに加え，人類・地球が将来にわたって繁栄してい

くため、地球の温暖化を防止する声が高まっており、TEWI(Total Equivalent Warming Impact, 全等価温暖化係数)という新しい指標の議論がスタートしている。このTEWIとは、製品の一生のうちに放出するCO₂の放出量をいい、カーエアコンが使用している冷媒が温室効果の高い(赤外線吸収率が高い)ガス(Fig.11)であるため、その放出によるCO₂換算放出量とエアコンを駆動するためのエンジン燃料消費量増加によるCO₂放出量との和として求められる。

現在のカーエアコンは、Fig.12に示すように、日本において車の平均車令11年間に約3トン弱のCO₂換算での量を放出していることになる。これは、車両総台数から試算すると全産業の中で2%を占め、決して小さな値ではない。これからは「エアコン動力の低減」と「冷媒影響の改善」の両面よりトータルのTEWI値を下げていく必要がある。

一方、この環境問題は、超低燃費車、次世代エネルギー車など車両自体も大きく変えようとしている。アイドル時、エンジンが止まればコンプレッサは回らないのでアイドル時には「エンジンに頼らないエアコン」が必要となる。また、エンジンの効率が良くなればエンジン排熱を利用している暖房用の熱源が不足してくるため「少ない熱で暖めるエアコン」が必要になる。このように車両の変革に合わせてエアコンも大きく変えていく必要がある。

GWP	CFC12	7300
	HFC134a	1300
	HC	8
	CO2	1

Fig.11 GWP : Global warming potential of refrigerant

TEWI = Engine CO₂ emissions due to A/C weight & Power requirements + global warming potential x refrigerant emissions

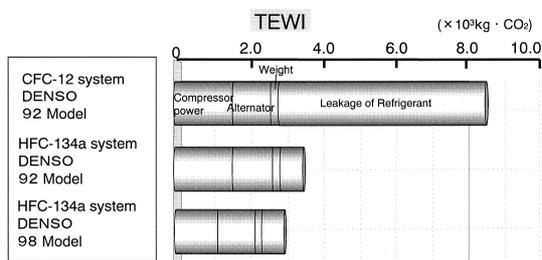


Fig.12 TEWI for Car A/C

3.1 動力をくわないエアコン

エアコンを回す動力を下げるため、冷凍サイクルの効率である成績係数COP(Coefficient of Performance)の向上を図ってきた(Fig.13)。しかし、無限大の熱交換を使いコンプレッサの損失も皆無とすれば、理論上のCOPは6.5まではいける。この理想に向って、今後とも「COP向上技術」を中心に開発を進めるが、更なる動力低減には「エネルギー回収」及び、冷房能力を必要最小限まで下げる「省能力化」にも取り組んでいく必要がある。

3.1.1 世界トップのCOP - プリウス用エアコン

98に発売されたプリウスのエアコンのCOPは世界トップであり、エアコン省動力の面でも、時代を先取りしている(Fig.13)。

COPを向上させる方策は、Fig.14に示すごとく機能部品の改良では

- ・コンプレッサの効率化
 - ・コンデンサを高性能化して高圧圧力を下げる
- システムの改良では
- ・コンデンサ出口冷媒の過冷却(サブクール)化。
 - ・サイクルを循環するオイルの低減。

の4つの方策に限られる。

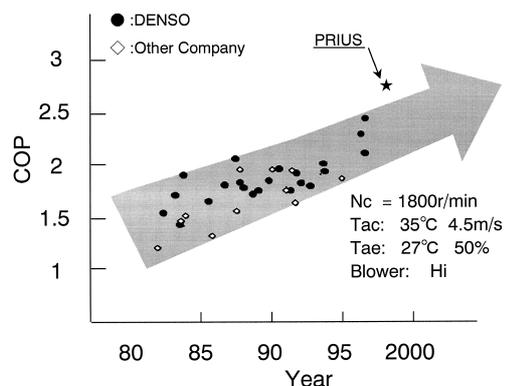


Fig.13 COP transition of Car A/C

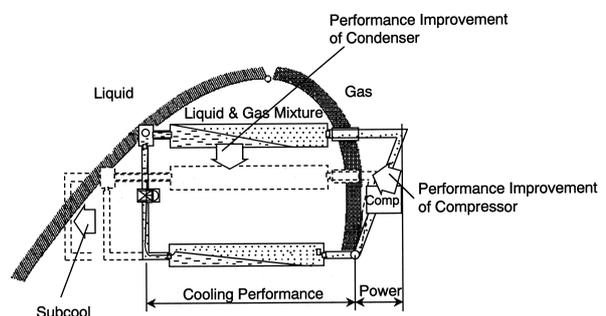


Fig.14 Methods of improvement in cycle efficiency

プリウスは、コンプレッサとして高効率のスクロール(Fig.15)、コンデンサとして高性能なマルチフローを採用したのに加え、レシーバ(モジュレータ)をコンデンサと一体にしてサブクールサイクル(Fig.16)⁵⁾を実現した。また、オイルセパレータをコンプレッサに内蔵させ、搭載性の悪化を招くことなく低オイル循環サイクルを実現し、高効率を達成している⁶⁾。

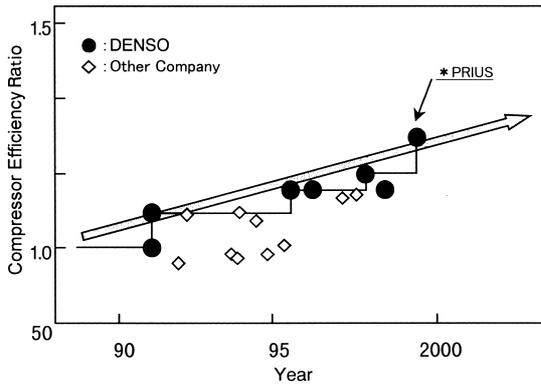


Fig.15 Compressor efficiency transition

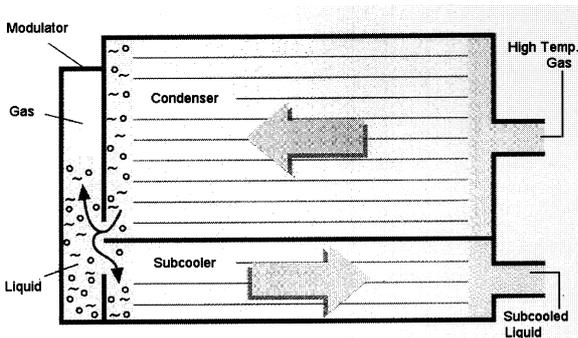
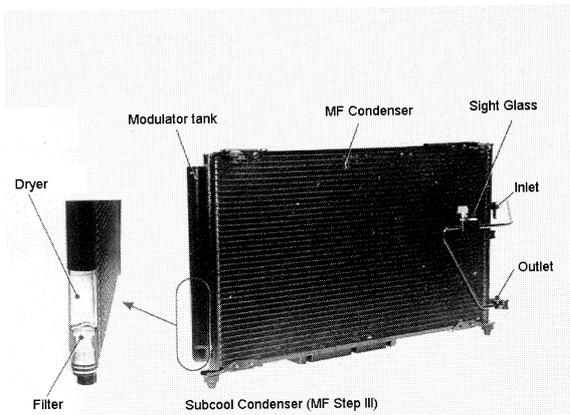


Fig.16 Subcool condenser (MF Step)

3.1.2 エネルギーを回収する

冷媒減圧エネルギーの回収：エアコンの冷凍サイクルでは高温高圧の液冷媒を膨張弁で減圧膨張させて低温液冷媒を得ている。この膨張仕事で膨張機を回し、コンプレッサ動力の一部を助けることができれば、理論上COPは20%改善できるが、システムが複雑すぎてカーエアコンでは成立しない。そこで、膨張機に変わるシンプルなエジェクタを使ったシステムの提案がある(個別論文参照)。エジェクタにて蒸発器出口冷媒を多少昇圧させてからコンプレッサに戻すことにより、その分コンプレッサの昇圧量を減らすことを狙ったものである。

エンジンからの回生：ブレーキを踏み、車両を減速させる時、そのエネルギーがもったいないと誰しも思う。エンジンブレーキがかかっている時にコンプレッサを強制的に作動させ、多少余分に冷房すればその分走行中の冷房負荷を少なくでき、コンプレッサ動力を減らせるはずである。このシステムはエンジン制御と一体となった取り組みが必要であろう。また、搭載上の課題が多いが、エンジン排熱も利用して冷房を行うことは吸収式冷凍機など原理的には可能であり、動力を全く消費しないカーエアコンとして目指す方向であろう。

3.1.3 省動力から省能力へ

必要な分のみ冷やす：冷房能力を自由に調整できれば、必要なときに必要なだけ性能を発揮し、それ以外はセーブして運転すれば、年間で30%程度もの省動力が実現できる。これは、いわゆる「エコノミ制御」として実用化されている技術であるが、これをコンプレッサをON-OFFさせることなく、滑らかなフィーリングで実現させる方法が外部可変容量コンプレッサを用いたシステムである。

Fig.17は、99クラウンに搭載したコンプレッサの構造を示す。

このコンプレッサは、電磁弁を内蔵して電氣的に吐出容量を100~5%まで連続的に変えることができる。その結果、冷房能力の最適化を図ることが可能となり、エアコンのために消費される燃料を大幅に低減させることが可能となった。

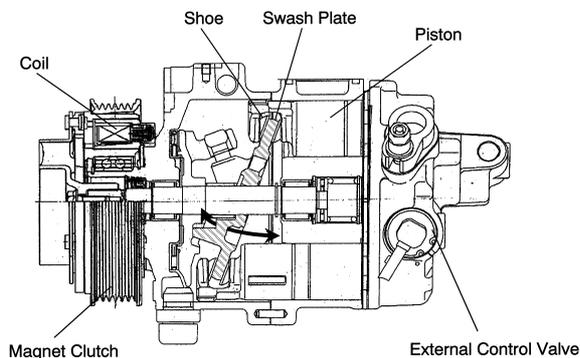


Fig.17 Variable displacement compressor

人間のみ冷やす：人間ひとりの発熱はわずかに100W程度であり、それも平均の乗車人数は2名以下であるのに、車全体を冷房するため、大きな冷房能力を必要としている。そこで、室内全体を空調せずに、乗員のみ、冷たい気流でソフトに包み込む空調を考えれば、非常に小さな冷房能力で済み省動力につながる。しかし、この方法は気流を当て続けると不快感が生じるため、いかに少ない風(ASHRAEでは0.8m/s以下を推奨)で包み込むかが課題である。

天井に大きな吹出口を設ける(Fig.18)など車両搭載上の工夫が必要である。

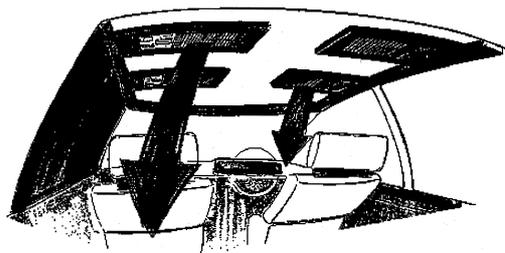


Fig.18 Partial air conditioning concept

3.2 冷媒影響の改善

冷媒HFC134aは、その温暖化係数(GWP)がCO₂の1300倍もあり97 COP₃(京都会議)では、温室効果ガスに規定されている。理想の冷媒はGWPが非常に小さい自然冷媒であるが、その実用化にはまだまだクリアすべき課題が多い。そこで、我々として、まずなすべきことは、このHFC134aをいかに上手に使っていくかである。それには、省冷媒、低漏れ、回収の徹底であり、これらについて当社はいち早く対応した。例えば、省冷媒については機器の改良により20%も削減し、現在、世界トップ水準である(Fig.19)。

自然冷媒への取り組みは、現在、注目しているのが

二酸化炭素(CO₂)やヒドロカーボン(HC)である。(個別論文参照)CO₂冷媒は臨界点がHFC134a冷凍サイクルに比べて格段に低いことから、高圧側温度は通常臨界点を超えることになり、機器の設計圧力や制御法などが大幅に異なるため、冷凍システムすべてを変える必要がある。また、HFC134aと比較して分子量が小さいこと、極性が少ないことからゴム材と冷凍機油については十分に検討する必要がある。

一方、HC冷媒は優れた冷媒特性を持つが可燃性であるためにその対応が課題となる。

それぞれハードルは高いものの、自然冷媒化は将来の目指す姿であると言える。

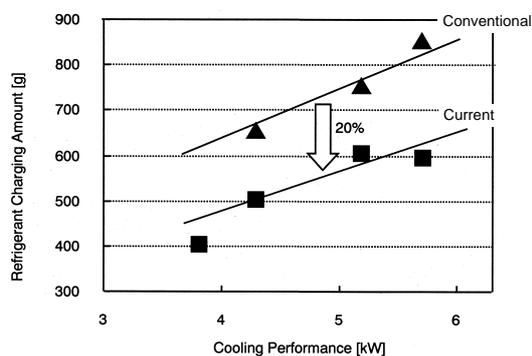


Fig.19 Refrigerant charging amount

3.3 エンジンに頼らないエアコン

省燃費をキーワードに車両自体が超低燃費車、次世代エネルギー車など大きく変わろうとしている。そのため、エンジンでコンプレッサを駆動しているカーエアコンにとっての影響は多大で、その第一にくるのがエコラン、アイドルストップに代表される停止時の空調である。これへの対応は、現実的には、走行時に冷熱が電気で作られ、停止時にそれを利用するしかないだろう。

3.3.1 蓄冷熱利用

冷房については、走行中に氷を作るなどの蓄冷が考えられる。蓄冷の実用化例として、走行中に氷を8kg作り、仮眠時のエンジンを停止時にも3時間あまり冷房できるトラック用蓄冷式ベッドクーラがある⁷⁾。しかし、これは本格的蓄冷器が必要であり、そのまま乗用車への展開はできない。乗用車は信号待ち1分程度冷房が維持できれば良く、少ない蓄冷量ですむため、クーラユニット内に蓄冷器を組み込むことが有効な方法と考えている。

一方、暖房については、エンジンという非常に大きな熱容量があるため補助の電動ウォーターポンプのみを

付加し、停止時にはバッテリーで駆動させ、ヒータコアに温水を送り暖房することが可能である。

3.3.2 電動コンプレッサの時代へ

EV(電気自動車)は、当然のことながら、電動でコンプレッサを駆動することになる(Fig.20)⁹⁾。アイドルで駆動モータが停止しても自らのモータでコンプレッサを駆動し、停車時でも空調することが可能である。

しかし、これを一般車への適用を考えると電圧、電力の問題により、実現は難しいだろう。しかし、現在、車が大きく変化しようとしている中、ハイブリッド車、高電圧化など、高電圧で電力も十分使える車両が出現しつつある。このような車両に対しては、エンジンに頼らず自らのモータでコンプレッサを駆動する時代がくると考えている。

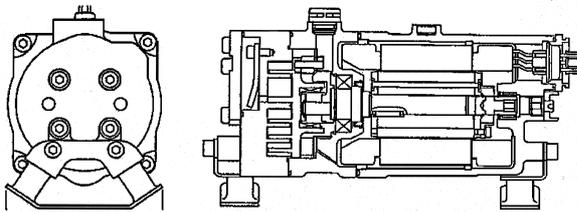


Fig.20 Hermetic electric compressor

3.4 少ない熱で暖めるエアコン

省燃費車は、言い換えれば排熱がなくなり、エアコンにとっては熱源不足ということになる。これまでは十分な熱をただでふんだんに利用してきた時代であったが、これからは限られた熱を有効に使わなければならない。

3.4.1 熱の有効利用もプリウスから

基本的な考えは無駄に暖房しない。すなわち、暖房効率を上げることである。

カーエアコンは窓ガラスが曇るのを防止するために、Fresh(外気)モードで使用することを基本としている。このモードは導入した空気と同じ量の暖かい空気を外に捨てること(換気損失)となり、これが大きな暖房能力を必要とする原因になっていた。そこでプリウスでは内外気2層ユニット(個別論文参照)を採用し、Freshモード時、外気を導入するのは車室内の上層部だけとし、足元の下層部はREC(循環)モードの2層構造にして、換気損失の半減による車室内温度確保と防曇性能の両立を図った。

しかし、防曇性確保のためプリウスでは、まだ換気損失を半分減らしたに過ぎない。究極はやはり換気損

失が生じない内気ヒータである。しかし、これは窓ガラスの曇り防止の対応が必要であり、ドライヤによる除湿などと合わせて実現を目指すことになる。

3.4.2 熱源不足を補う

上記対応しても、効率の良いディーゼルエンジンでは熱源が不足してきている。そのためやむをえず、エンジンに仕事をさせて発熱を得る必要がある。Fig.21にまとめた熱源不足対応技術の中の補助ヒータがそれに該当する。仕事を直接熱に変える分に加え、エンジンが余分に仕事する分とほぼ同じ排熱量が増加するため熱源の確保には効果的である。

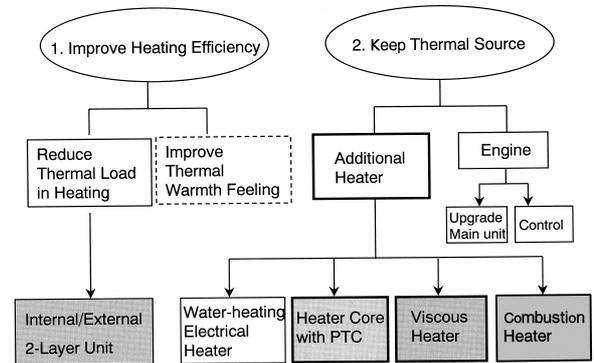
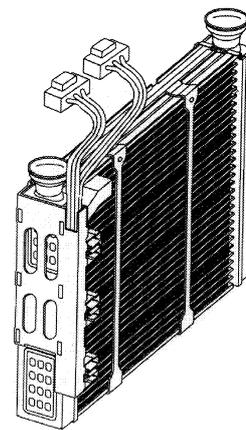


Fig.21 Technology of thermal management

電気から熱を：これまで寒冷地向けではPTCヒータを組込んだ熱交換器をユニット内の風の通路に内蔵してきたが、搭載性が大きな課題であった。これをヒータコアのチューブ内にPTCヒータを内蔵することによりこれを解決している(Fig.22)⁹⁾。



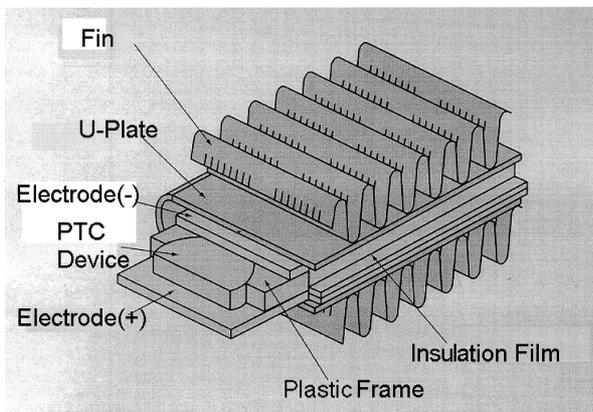


Fig.22 Heater core with PTC

機械仕事から摩擦熱を：電気ヒータでは、オルタネータの発電能力から限界があるため、オルタネータを介さず直接エンジン仕事を熱に変換させたのがピスカスヒータである (Fig.23)⁹⁾。高粘度オイルを封入し、オイル中の円板を回して摩擦熱を得ている。

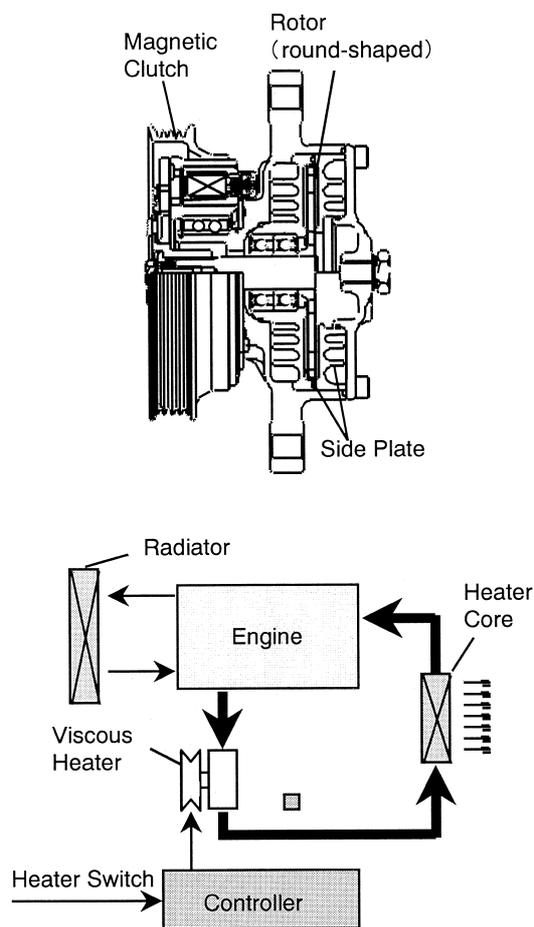


Fig.23 Viscous heater

直接燃料を燃やす：寒冷地向けなどで、大幅に熱源が不足する場合には、大能力が可能な燃焼ヒータでの対応となる。コスト、搭載性が課題である。

これら補助ヒータは、いずれも燃料の熱量100に対して暖房に有効利用できる熱量は40～60程度であり100を超えることはない。100を超すにはエアコンサイクルを利用したヒートポンプシステムしかないが、システムが複雑化するため、全く排熱が得られないEV用エアコンにて先行して実用化している。

4. おわりに

21世紀初頭のカーエアコンの変革方向について述べてきた。

最も大きな変化は地球環境への対応であるが、その他にも、部品のモジュール化など車の求める変化を先取りしてカーエアコンも形を変えていかなければならないと思う。

技術者にとって地球規模の新しい視点で物を見、考え、作りだすことができるやりがいのある時代といえよう。

<参考文献>

- (1) 田中他, '91春 空気調和・冷凍連合講演会論文集No.9
- (2) 義則他,自動車技術会 '92秋季学術講演会No.87
- (3) 本田他,自動車技術会 '97秋季学術講演会No.108
- (4) 久永他,自技会 '97春季講演会 前刷集No.214
- (5) Yamanaka, SAE PAPER 970110
- (6) 秋山他 自技会 '98 No.151
- (7) 松尾他 自技会 '99秋季講演会 前刷集No.117
- (8) Suzuki, SAE PAPER 960688
- (9) 福岡他 自技会 '99春季講演会 前刷集No.11
- (10) 森川他 自技会 '98秋季講演会 前刷集No.95



< 著 者 >



渡辺 敏
(わたなべ さとし)
取締役 冷暖房事業部担当



藤原 健一
(ふじわら けんいち)
冷暖房開発1部
カーエアコンシステムの開発・設
計に従事。