

# 特集 地球温暖化対応カーエアコンの開発\*

## Development of Mobile Air Conditioning System from Point of Global Warming Problems

平田 敏夫  
Toshio HIRATA

藤原 健一  
Kenichi FUJIWARA

山中 康司  
Yasushi YAMANAKA

According to today's technical knowledge, two kinds of refrigerants can be taken into consideration: carbon dioxide and hydrocarbon refrigerant (propane). Both materials have advantages and disadvantages, but due to their flammability hydrocarbon refrigerants are losing the priority in technical discussions.

Carbon dioxide has a smaller warming potential and is environment-friendly. However, its use will put a restriction on the reduction of power consumption due to its less theoretical performance. It should be required to improve the heat exchanger performance and perhaps to use an additional heat exchanger to get a performance equivalent to that of an HFC-134a system. For this reason, increased cost and weight must be accepted by the market.

The hydrocarbon refrigerant propane was proved to have a good potential as a refrigerant because of a very small pressure loss, although its theoretical performance, as shown by the Mollier chart, is inferior to that of HFC-134a. In addition, from its smaller warming potential one can say that it is superior in both refrigeration cycle performance and environment-friendliness. However, measures should be taken to control its flammability before it is put on market. Especially, the prevention of refrigerant leakage into the passenger compartment is considered essential.

**Key Words** : Environment, Global Warming, TEWI, Carbon dioxide, Hydrocarbon, HFC-134a

### 1. まえがき

COP3(気象変動枠組み条約第三回締約国会議, 1997年12月 京都)で, 6種類のガス(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)が温暖化ガスとして規制対象となった。この中には, 主にカーエアコン用途として使われているHFC-134aも含まれている。このため, カーエアコン業界は当面の課題として, エネルギー効率の改善ために機器の改良や温暖化ガスの放出を防ぐために冷媒回収・再使用などに取組むとともに, 将来的にはHFC-134aの代替冷媒を見出す必要がある。さまざまな代替冷媒の中で, HFC等のフロン冷媒よりも小さな地球温暖化係数を持った二酸化炭素や炭化水素などの自然冷媒が有力な代替物として考えられている。

二酸化炭素をカーエアコンに使用した過去の研究では, TEWI(Total Equivalent Warming Impact, 全等価地球温暖化係数)といった環境指標が二酸化炭素システムはHFC-134aシステムよりも優れていると報告されている<sup>1)</sup>。しかし, 市場に出ている最新のHFC-134aシステムとの性能比較については不明な点が多く残されている。HFC-134aシステムについてはまだ多くの

改善の余地が残されていることを考えると, きちんとした性能比較が必要でなろう。

一方, カーエアコン用途に炭化水素を使用した研究例が幾つか報告されているが, ほとんどのものが現状のシステムには何の変更も加えずに冷媒だけを入れ替えたシステムドロップイン冷媒としての研究例である<sup>2,3)</sup>。炭化水素の実用化のためには, その可燃性対策が不可欠であるが, この点についてはほとんど報告されていない。

代替物の選定に際しては, 自動車業界とカーエアコン業界との間での合意が必要であり, このためにも代替冷媒に対しての問題点がきちんと明確になっていることが必要である。

### 2. 二酸化炭素

#### 2.1 従来システムとの比較

Fig.1は二酸化炭素とHFC-134aの冷凍サイクル性能のモリエール線図上での比較をまとめたものである。二酸化炭素冷凍サイクルは, 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良く知られているが, 最も重要

Int. Institute of Refrigerationの了解を得て, Proceedings of Natural Working Fluids'98より加筆転載

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。なお、ここで成績係数は冷房能力/コンプレッサ消費動力のことであり、COP(Coefficient of Performance)で表わされる。

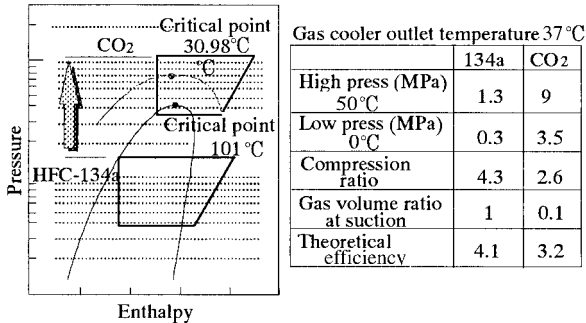


Fig.1 Theoretical performance of CO2

二酸化炭素の成績係数を最大限に発揮するために、特にガスクーラとコンプレッサに対して細心の注意を払った二酸化炭素システムを新規に開発した。放熱性能に優れたマルチフロー型のカスケードを使用し、冷媒と空気側の熱伝達性能の最適化を図り冷房性能の改善を行なった。HFC-134aサイクルでは16mmの厚さのコンデンサを使用しているところを、二酸化炭素サイクルでは実際に搭載可能な最大幅である24mm厚さのカスケードを使用している。コンプレッサでは圧縮比が小さくなるという二酸化炭素サイクルの特性を十分に活かして、HFC-134a用コンプレッサよりも約10%ほど効率が向上している。

これらの機器からなる二酸化炭素システムと最新のHFC-134aシステム(Table 1)において冷房能力とコンプレッサ消費動力の比較を行なった。

Fig.2は通常の熱負荷条件下でのベンチ試験結果のまとめである。

Table 1 System Specifications

	CO2 system
Gas cooler	heat transfer ratio compared to 134a: 1.92
Evaporator	heat transfer ratio compared to 134a: 1.08
Compressor	compressor displacement to 134a: 0.13

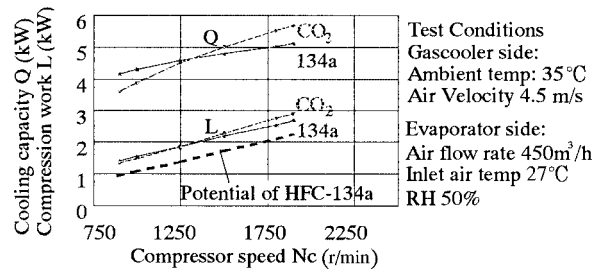


Fig.2 Bench test data of CO2

コンプレッサ高回転数時、冷房性能は良好であるが、コンプレッサ消費動力は大きくなる傾向がある。

一方、コンプレッサ低回転数時は、コンプレッサ消費動力はほとんど同等であるが、冷房性能は劣っている。実車試験におけるクールダウン試験ではほぼ同等の冷房性能であったが、高負荷アイドリング条件では、吹出し温度が約2℃高くなった。コンプレッサ低回転数時での冷房性能は、コンプレッサの容量を増加させることにより改善できるが、この場合、コンプレッサ消費動力も同様に増加してしまいサイクル効率の改善にはならない。

まず最初に冷房能力の改善について着目した。熱風のカスケードへの回り込みの減少といった冷却システムの改善により冷房性能を向上させることがまず必要となろう。但し、冷却システムの改善余地が車両条件により制限されていることを考えると、内部熱交換器(Fig.3)の採用も併せて検討されるべきである。

Fig.4は低車速時の内部熱交換器の効果を示したものである。同等のコンプレッサ消費馬力で約11%の冷房能力増加が確認された。内部熱交換器は、コストアップや重量増加、更に吐出温度の著しい上昇に伴う材料の信頼性低下といった懸念点はあるものの、冷房能力を向上させるためには明らかに有効な手段である。

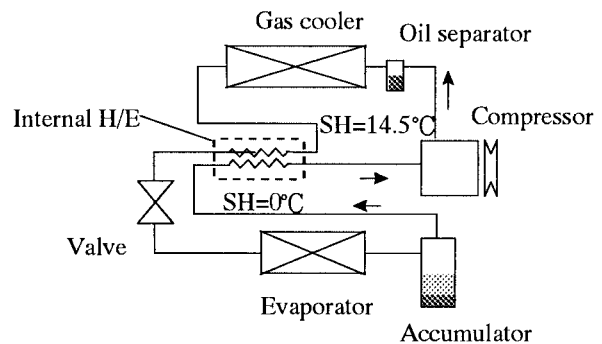


Fig.3 Internal heat exchanger

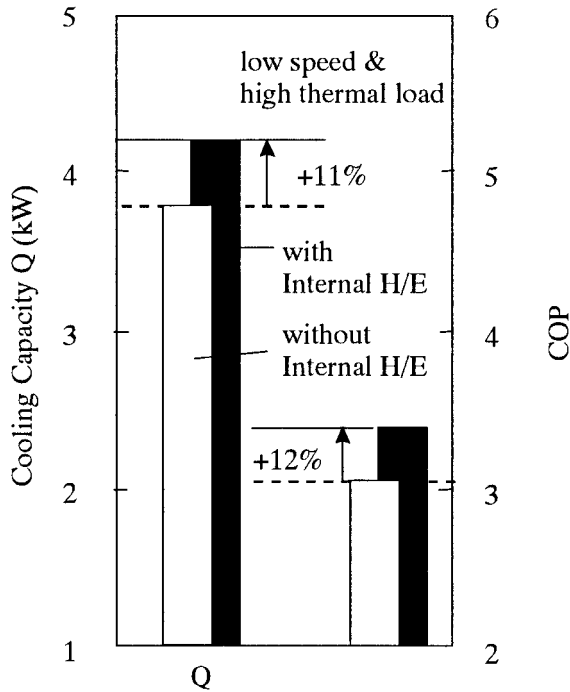


Fig.4 Internal heat exchanger performance

といえる。

次の課題はコンプレッサ消費動力の改善であろう。今回、HFC-134aシステムで使用したコンデンサは16mmの厚さであり、二酸化炭素システムのガスクーラは現在の開発段階のものでは24mmの厚さである。しかし、HFC-134aシステムで、コンデンサ厚さを二酸化炭素システム並みの24mmとし、更にチューブの穴径を最大限小さくしてやれば、15%のコンプレッサ消費動力の減少が可能である。また、コンプレッサに関しても同様なことがいえる。HFC-134aコンプレッサの圧縮効率は代表条件では65%程度だが、二酸化炭素コンプレッサでは75%である。HFC-134aコンプレッサは、今後の技術改善により、まだ大きな効率改善の余地が残されているといえる。これらを考えると、HFC-134aシステムでは、まだ30%のコンプレッサ動力の減少が可能であると予想される。ところが、二酸化炭素システムではコンプレッサ消費動力の更なる改善の余地は、HFC-134aシステムと比べてかなり制限されている。

## 2.2 HFC-134aと二酸化炭素システムのTEWIの比較

二酸化炭素システムとHFC-134aシステムのTEWIの比較は、例えば、国連環境計画(UNEP)などで報告されている<sup>4)</sup>。このTEWIは冷媒放出に伴う直接効果とエアコン作動に伴う間接効果相当分に分けられ

る。

日本(名古屋)での環境・走行条件(Table 1)で計算されたTEWI値をFig.5に示す。二酸化炭素システムは最新のHFC-134aシステムの間接効果とほぼ等しいTEWI値を持つことが確認された。HFC-134aシステムでは冷媒の漏れに伴う直接効果があることを考えると、二酸化炭素システムは明らかにHFC-134aシステムよりも優れている。ところが、HFC-134aシステムではコンプレッサ消費動力で更なる改善の余地がある。従って、将来、機器の改善が進めば、TEWIの差は確実に小さくなるであろう。一方、二酸化炭素システムの改善の余地は1.1項で示したようになりに制限されている。このためにも内部熱交換器の追加や熱交換器性能の更なる改善が必要となる。

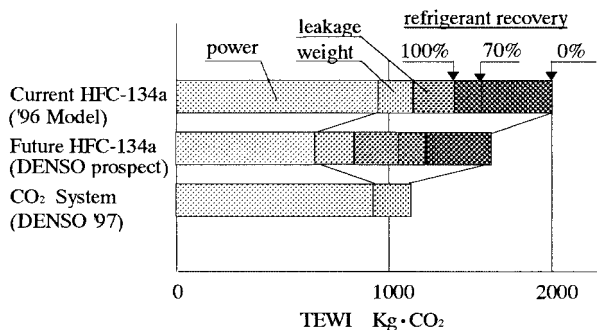


Fig.5 TEWI comparison with HFC-134a system

## 2.3 二酸化炭素システムの他の問題点など

二酸化炭素は分子量やエラストマーと冷凍機油との相性を決める分子極性といった特性値がHFC-134aとは大きく異なっている。従って、従来HFC-134aに使用されていたエラストマーや冷凍機油は二酸化炭素システムに使用することはできない。中でも、今まで、冷媒透過を防ぐためにホースの最内層に使用してきたナイロン層を通じてのガス透過量が二酸化炭素だとHFC-134aの約40倍となってしまうことから、ガス漏れを低減できる材料開発は重要な課題となる。

車室内へ漏れたときの人体への影響も二酸化炭素の新たな心配点となる。車室内での漏れ濃度を定量化し、安全対策を取ることが必要となる。

このように二酸化炭素システムは、基本性能の確保とともに材料と安全性の面からの取り組みも必要となる。

### 3. 炭化水素冷媒

#### 3.1 従来システムとの比較

Fig.6は、HFC-134aとプロパンやブタンなどの炭化水素冷媒との理論成績係数の比較である。

プロパンはイソブタンよりも成績係数は劣るが、低圧側の圧力が高いこと、圧縮比が小さいことやガス密度が大きいことから同一冷媒能力時の体積流量が小さくなり、熱交換器や配管などを通じての冷媒圧力損失が小さくなるため、実機においてはHFC-134aよりも性能が向上することが期待される。

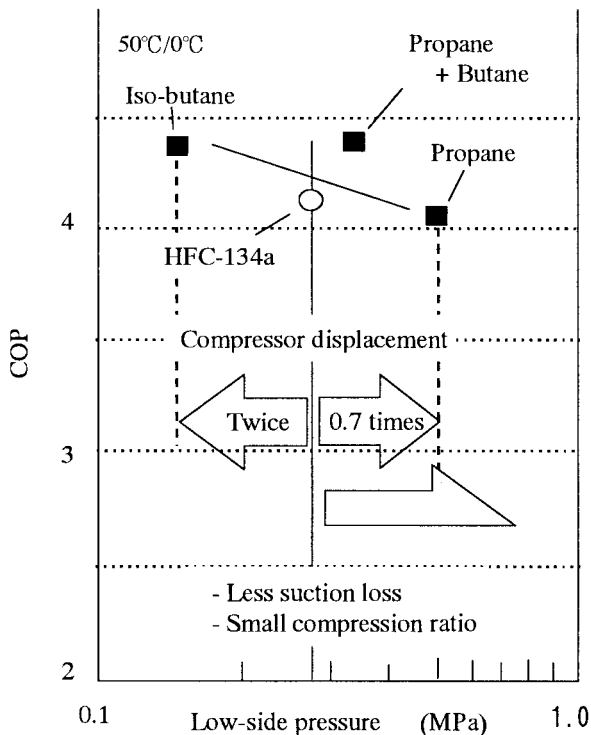


Fig.6 Theoretical performance of HFC

Fig.7は、HFC-134aとプロパンのベンチテスト性能の比較である。プロパンは、冷房能力とコンプレッサ消費動力のいずれにおいてもHFC-134aよりも優れている。冷房性能をHFC-134aと同等とさせたとき、22%のコンプレッサ消費動力の低減ができることがわかる。

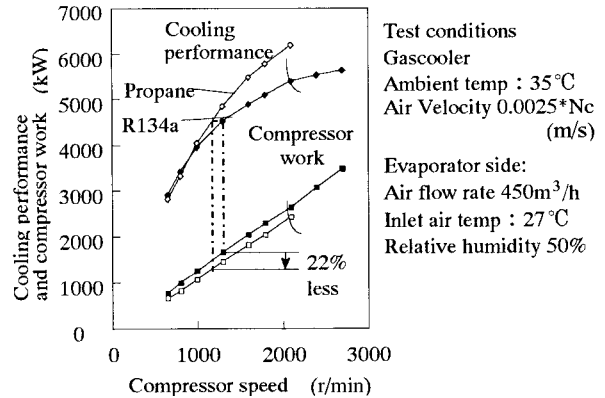


Fig.7 Bench test data of HC

#### 3.2 炭化水素冷媒の問題点；可燃性対応

炭化水素冷媒を使用する際には、その可燃性について対策を講じることが不可欠となる。ここでは、火災を回避するための対策として、冷媒充填量がどのくらいまで削減できるかということと車室内への冷媒漏れを防ぐ手段について紹介する。

##### 3.2.1 省冷媒化

冷媒充填量は、火災の危険性を最小限にするために極力削減しなければならない。プロパンは、HFC-134aよりも液密度が小さいため冷媒充填量はHFC-134aシステムの約半分となる。Fig.8は、コンデンサや配管を改良、変更することによる省冷媒化の結果をまとめたものである。同一システムだと、プロパンの

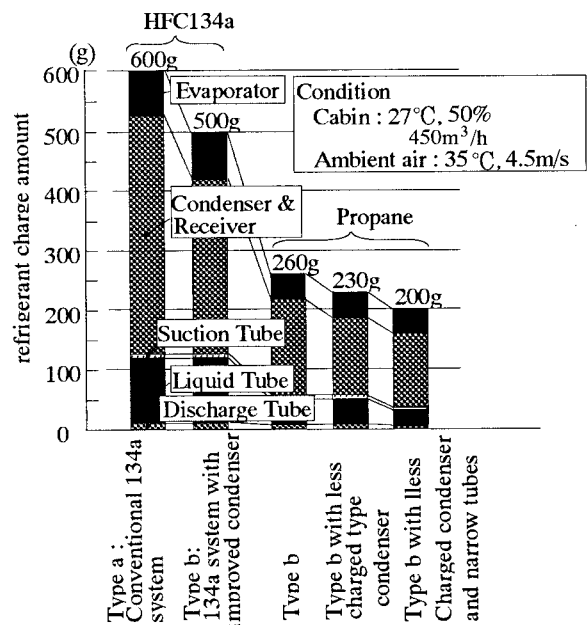


Fig.8 Reduction in HC charge amount

場合、冷媒充填量は260gとなり、更にシステムの改善により200gまで省冷媒化が可能である。しかし、冷媒を極限まで削減したとしても、漏れた冷媒は局所的に車室内に滞在するため、いずれにしても可燃性の対応は必須となる。

3.2.2 車室内への冷媒漏れを回避する対策

ここでは炭化水素冷媒を使用する際の最大の関心事である車室内への冷媒漏れ対策についての例を紹介する(Fig.9)。まず、二重管式エバポレータは熱交換器の内部腐食による冷媒漏れを回避する手段である。熱交換器の腐食部を通じて冷媒が漏れたとすると二重管内の圧力検知機が冷媒漏れを検知することによりドライバーに異常を知らせることができる。二重管式エバポレータの懸念点は、熱伝達層にガス層が追加されることにより伝熱性能が低下しクールダウン性能が低下する恐れがあることだが、性能低下は4%程度で済むことが確認された。更に、実車テストでも満足のいくクールダウン性能が得られることが確認されている。ところが、従来通り車室内にエバポレータを設置することから、衝突時の衝撃などにより破損する場合もあり、完全に車室内への冷媒漏れを防ぐことはできない。

これにも対応できる対策は、冷却回路をエンジンルーム内に設置するブライン方式である。但し、ブライン方式ではクールダウン性能が明らかに劣るといふこと欠点がある。

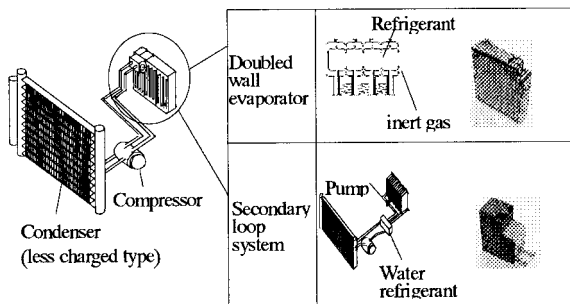


Fig.9 Countermeasure for fire risk

米国環境庁の活動である冷媒認定制度SNAP (Significant New Alternative Policy)等では、プロパン等の炭化水素冷媒を安全対策を施していないHFC-134aシステムに充填することは禁止されているが、アメリカのごく一部の地域やオーストラリア等ではレトロフィット冷媒として使用されている。炭化水素冷媒の使用による事故が具体的に報告されたことはないものの、実使用に際しては可燃性のリスクアセスメン

トが必要なことは言うまでもない。既に市場に二十万台程も出回っていると予想される炭化水素冷媒システムの事故や故障例を詳細に解析することが可能ならば、これらの解析結果をもとに危険性を回避できる設計方法を検討し、実際の製品に組み入れることが最も実践的な対策方法となろう。但し、いずれにしても、このようなことは一つの企業単独でできることではないので、産業界全体の協力が必要である。

4. 結論

HFC-134aの代替冷媒として検討されている二酸化炭素やプロパン等の炭化水素冷媒を使用する際に解決すべき問題点について紹介した。

二酸化炭素は成績係数が劣るという問題があり、これを回避するためには、ガスクーラの伝熱面積をHFC-134a以上にすること、場合によっては内部熱交換器を追加することが必要となる。二酸化炭素はTEWIではHFC-134aよりも優れているものの、間接効果分については更なる改善の余地がある。

プロパンはHFC-134aよりも優れた冷媒特性を持っているものの、その可燃性が最大の欠点である。これは、冷媒充填量を削減することや二重管エバポレータやブライン方式を採用することにより、回避することができる。使用に際しては、更なるリスクアセスメントや産業界全体の協力が今後必要となろう。

さらに環境に優しいカーエアコンを開発するためには、まずは現状のHFC-134aシステムの改善、冷媒の回収・再利用が必須である。そして、将来的には温室効果の小さい代替冷媒に置き換えていくことが必要であろう。冷媒の変更により、製造ラインや市場のインフラ設備の大幅な変更が必要となる。新冷媒にかかわる将来の決定は、世界的な判断のもとになされるべきであろう。

<参考文献>

- 1) Jostein Pettersen : " CO<sub>2</sub> as a Working Fluid-inPerspective ", IEA/IIR Workshop on CO<sub>2</sub> Technology, Trondheim, Norway, 1997
- 2) G.D.Mathur : " Performance of vapor compression refrigeration system with hydrocarbons:propane, isobutane, and 50/50 mixture of propane and isobutane ". Proceeding of the 1996 International CFC and Halon Alternatives Conference, Washington D.C., U.S.A., 1996, pp. 835-844

1) ManfredPetz :“ Performance measurement of a vehicle refrigerant compressor with R12, R134a, R290 and R600a ”, Proceeding of the DKV conference, Bonn, Germany, 1994, pp. 47-56.

4) James R. Sand, Steven K. Fischer, VanD.Baxter : “ Energy and Global Warming Impacts of HFC Refrigerants and Emerging Technologies ”, TEWIPhase 3, March, 1997, pp. 87-110



< 著 者 >



平田 敏夫  
(ひらた としお)

冷暖房開発1部  
カーエアコンシステムの企画に従事。



山中 康司  
(やまなか やすし)

冷暖房開発1部  
カーエアコンシステムの企画に従事。



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。