

特集 CO₂電動ヒートポンプシステムの開発 (FCHV) *

Development of Electrically-driven Heat Pump System with CO₂-refrigerant

黒田 泰孝

Yasutaka KURODA

伊藤 誠司

Satoshi ITOU

北村 圭一

Keiichi KITAMURA

乾 究

Kiwamu INUI

We adopted carbon dioxide (CO₂) as a refrigerant, because it is a natural refrigerant and it doesn't affect global warming. To make the most of the features of CO₂-refrigerant and to get sufficient heating performance, this system is automatic, and has a cooler mode, heater mode and dehumidifier mode, and is well capable of corresponding to the target temperature. In this paper, the whole system is detailed as well as its controlling part and its effects.

Key words : Air conditioning, CO₂, Heat pump

1. まえがき

近年、オゾン層破壊をはじめとした地球環境問題に対する関心が高まると共に、フロン規制が強まりつつある。カーエアコンに使用されている冷媒は既にCFC12から代替フロンHFC134aへ切り替えられているが、代替フロンは地球温暖化への寄与率が高いことから、温暖化防止会議において規制対象物質に指定され、将来的にその使用は制限されるものと予想される。このため、温室効果が小さく環境に優しい自然冷媒化が求められている。一方、エンジンの直噴化やハイブリッド車の登場等、近年の車両燃費向上技術の発展に伴い、暖房用の熱源を確保することが困難となり、これをいかに補うかが重要な課題の一つになっている。

これらのニーズに対応するため、二酸化炭素（以下CO₂）を冷媒としたヒートポンプシステムを開発したので、システム概要、制御及び効果について報告する。

2. CO₂冷媒の特徴

Table 1にCO₂とHFC134aの冷媒特性値を示す。

CO₂の特徴としては、以下の項目がある。

Table 1 Refrigerant attributes

	HFC134a	CO ₂
Molecular mass (kg/kmol)	102.03	44.01
Boiling temperature (°C)	-26.2	-78.5
Critical temperature (°C)	101.2	31.1
Critical pressure (MPa)	4.07	7.38
Pressure at 0°C (MPa)	0.293	3.485
Latent heat of vaporization at 0°C (kJ/kg)	198.4	231.6
Vol. refrigeration capacity at 0°C (kJ/m ³)	2860	22600
Coefficient of performance (COP) (0°C/50°C)	4.1	3.2
Global warming potential (GWP)	1300	1

- (1) 分子量が小さい
- (2) 圧力が高い
- (3) 理論成績係数が劣る
- (4) 地球温暖化係数が小さい

3. CO₂ヒートポンプシステム

3.1 システム構成

CO₂は臨界温度が低く、高圧側ではガス状態で凝縮しないため低圧側に気液分離器（アキュムレータ）を設置する構成となる。また、熱負荷が高くなったときに性能低下が顕著になるため、高温側冷媒と低温側冷媒を熱交換する内部熱交換器を追加した。更にFig. 1にあるCO₂特徴を生かすため、ヒートポンプシステムとした。

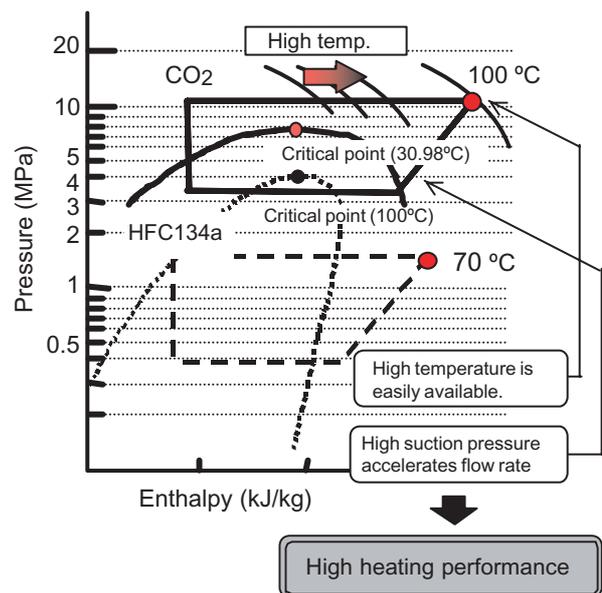


Fig. 1 Advantages of CO₂ refrigerant air-conditioner

* (社)自動車技術会の了解を得て、「2003年春季大会学術講演会前刷集」No.37-03, 175より転載

Fig. 2にシステム構成を示す。冷房・暖房・除湿運転の切り替えは二つの電磁弁で行う。コンプレッサはインバータで回転数制御を行うモータ駆動方式で、圧力を二つの電気式膨張弁（以下電動弁）で制御している。ここで、冷媒の流れを説明する。冷房運転時は、コンプレッサから出た高温高压の冷媒は室内ガススクーラを通るが、エアミックスダンパを閉じ空気を加熱しないようにしている。その後冷媒は開かれた冷房用電動弁を通り室外ガススクーラで外気により、更に内部熱交換器で低压冷媒により冷やされ、冷房用電動弁で断熱膨張し（暖房用電動弁は閉）、エバポレータで必要な温度に空気を冷却し、アキュムレータで気液分離され、ガス冷媒のみコンプレッサへ戻る。

暖房運転時は、室内ガススクーラで空気を加熱した後、暖房用電動弁で断熱膨張し（冷房用電動弁は閉）、室外ガススクーラで吸熱し、開かれた暖房用電動弁を通過してアキュムレータ、コンプレッサへ戻る。

除湿運転時は、二つの電磁弁を閉じ、冷房用電動弁と暖房用電動弁で高压、中間圧を制御してエバポレータでの除湿量と室内ガススクーラでの加熱量を調整している（Fig. 3参照）。

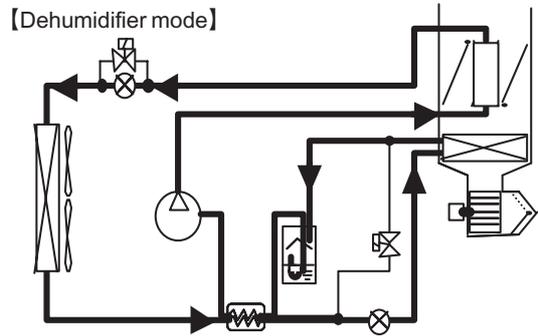


Fig. 2 System composition

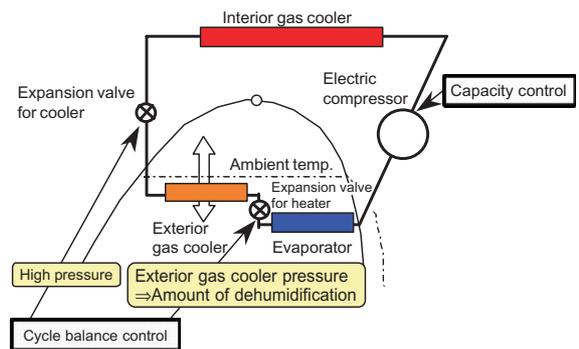
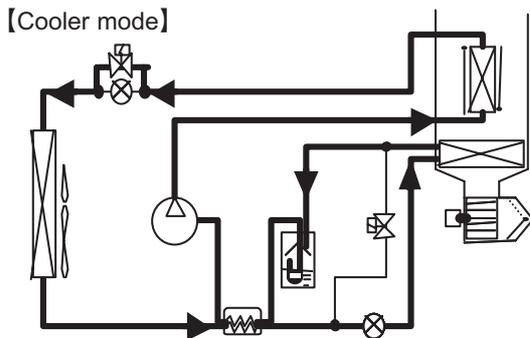
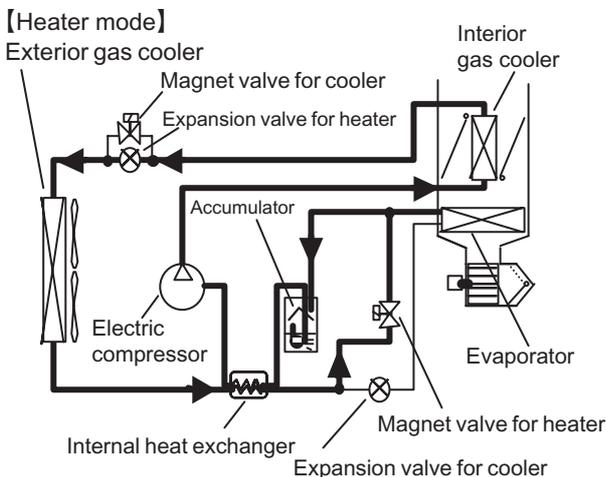


Fig. 3 Dehumidifier mode control



【Cooler mode】



【Heater mode】

3.2 運転モード切り替え制御

では、実際に冷房、除湿、暖房運転がどのように切り替えられ、どのような制御が行われているかであるが、Fig. 4に概要をまとめた。

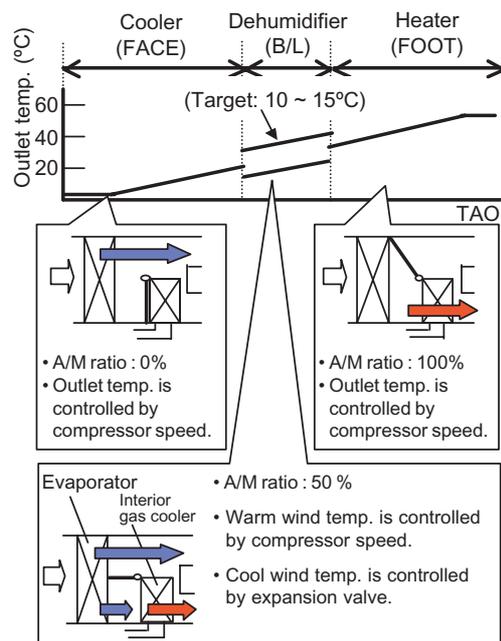


Fig. 4 Control over mode change

運転モードの切り替えは目標吹出温度（以下TAO (Temperature Air Output)）で行う。つまり、TAOが低いときは冷房が、逆に高いときは暖房が、中間のときは除湿がそれぞれ選択されるようになっている。

また、制御については各運転モードにより、以下のように行っている。まず冷房運転時は、エアミックス開度（以下A/M）を0%とし、エバ後空気温度が目標温度となるようにコンプレッサ回転数で制御している。暖房運転時は、A/Mを100%とし、室内ガスクーラ後の空気温度が目標温度となるようにコンプレッサ回転数で制御している。除湿運転時は、A/Mを50%とし、エバ後空気温度と室内ガスクーラ後空気温度両方を制御することで所望の温度を得るようにしている。

3.3 機能品一覧と概観図

Table 2に本システムの仕様とFig. 5に概観図を示す。

CO₂は作動圧力が8～10倍程度になるため、チューブやヘッドの最適化を図るなどして、機能品の耐圧設計を見直している。

Table 2 Specification of components

Component	Specification
Electric compressor	Scroll, 3.8 cm ³ /rev
Interior gas cooler	Multi flow type (MF) W213.4×H159.1×D33
Exterior gas cooler	MF W713.9×H417.2×D16
Evaporator	MF W255.9×H259.4×D38
Internal heat exchanger	Counter flow type W166.1×H60

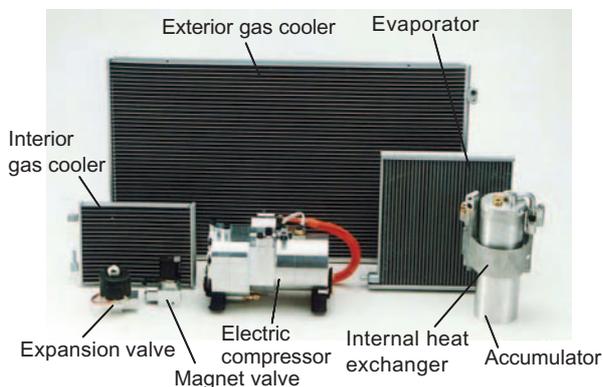


Fig. 5 Appearance components

4. ベンチ評価結果

4.1 暖房性能ポテンシャル

Fig. 6にベンチでの暖房性能ポテンシャル評価結果を示す。

CO₂は物性上の特徴からHFC134aよりはるかに優れた暖房性能を発揮できることが分かる。

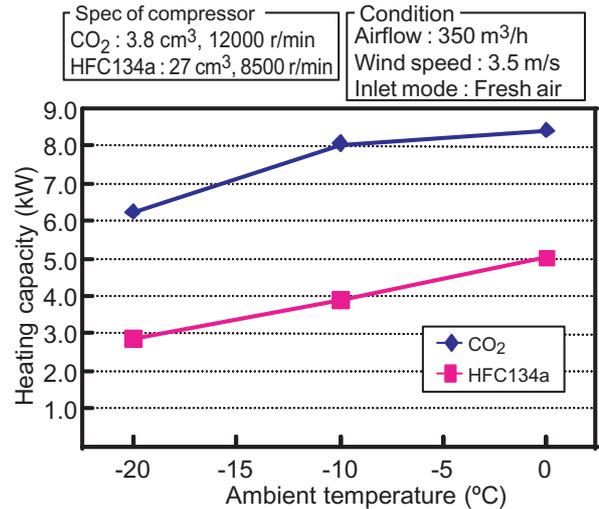


Fig. 6 Result of heating capacity

4.2 温度コントロール特性

Fig. 7に温度コントロール特性を示す。

目標吹出温度に対する追従性は良く、各吹出しモードの温度バラツキも5°C以内と小さく、実用上問題ないと言える。

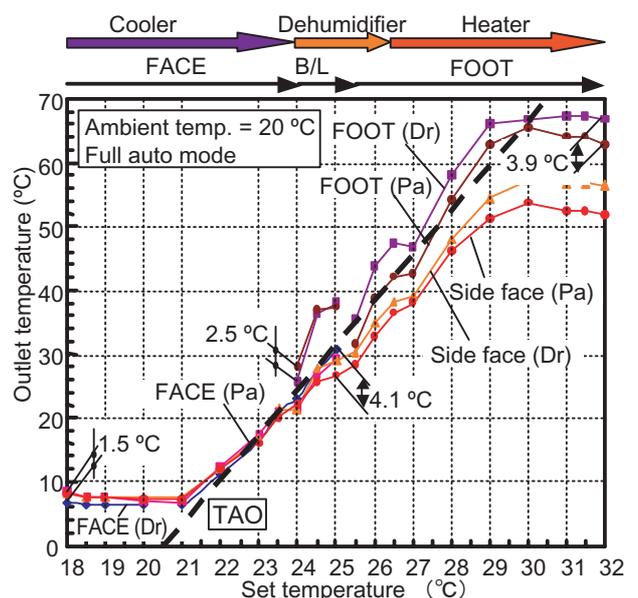


Fig. 7 Result of temperature control

5. 実車評価結果

5.1 ウォームアップ性能

Fig. 8に実車でウォームアップ性能を示す。

車両始動直後より、本システムの効果が見られ、吹出温度40℃到達時間が125s早く、即効性に有利であることが確認できた。

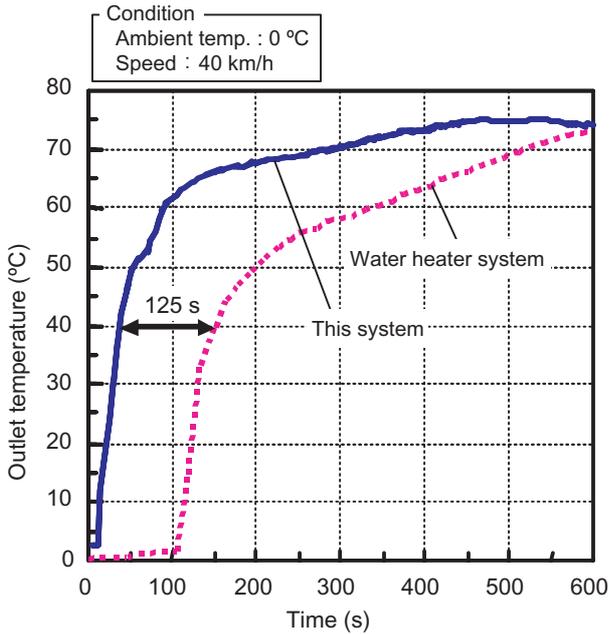


Fig. 8 Result of warm-up test on vehicle

6. まとめ

地球温暖化の軽減という観点から、自然冷媒である二酸化炭素 (CO₂) を使用すると共に、CO₂の特徴を生かし、廃熱量の小さい車両においても十分な暖房性能を発揮できるヒートポンプシステムを構築した。

本システムは、2002年発売の「トヨタFCHV」にて世界で初めて搭載した。

<参考文献>

- 1) オイルせん断発熱式補助ヒータシステムの開発
((株)デンソー:森川他 自技会98秋季95講演)

<著者>



黒田 泰孝
(くろだ やすたか)
熱システム開発部
将来エアコンシステム開発に従事



伊藤 誠司
(いとう さとし)
熱システム開発部
将来エアコンシステム開発に従事



北村 圭一
(きたむら けいいち)
熱システム開発部
将来エアコンシステム開発に従事



乾 究
(いぬい きわむ)
トヨタ自動車(株)
第1車両技術部 熱・流体 所属
エアコンシステムの先行技術開発
に従事