

特集 ホットガスヒータシステム*

Hot Gas Heater System

高野 義昭

Yoshiaki TAKANO

堀田 照之

Teruyuki HOTTA

山中 康司

Yasushi YAMANAKA

庄司 昌弘

Masahiro SHOJI

As a result of recent improvements in engine efficiency, vehicle heater performance has decreased and the demand for auxiliary heat sources is increasing. To help meet this need, we have developed an auxiliary heat system known as the “Hot Gas Heater”. The Hot Gas Heater uses components common to the vehicle air-conditioning system that are not used during winter. However, there are some concerns with this system. In this paper we describe our solutions to these problems. We reduced gas flow noise through multi-stage pressure reduction, and prevented fogging by adding “Anti-Fogging Algorithm” and “evaporator outlet air temperature control” functions to the system. As a further benefit, we developed a New Accumulator Cycle that transfers the cooling cycle accumulator tank to the high-pressure side.

Key words : Hot Gas Heater, Noise reduction, Fogging, New Accumulator Cycle

1. まえがき

近年エンジン効率の急速な向上に伴い、冬場の暖房性能は著しく低下してきており、特にディーゼルエンジン比率が高いヨーロッパ中心に補助熱源のニーズが増えてきている。こうしたニーズに対し、従来は「電気ヒータ」や燃料を燃やして冷却水を加熱する「燃焼式ヒータ」などの補助暖房を専用に設けていた。それに対し、我々は新たな補助暖房システムとして、冬場用いていないエアコン部品を流用するシステム（以下ホットガスヒータ）を開発した。

今回そのシステム概要及びガス流動に伴う音やクーラとの切替えによる窓曇りなどの課題の解決手法とホットガスヒータを車載するにあたりクーラとホットガスヒータの構成をシンプルに両立させる新しいサイクル（アキュムレータを高圧側に配置させたエアコンサイクル：高圧アキュムレータサイクル）も同時に開発したので、それについても記述する。

2. ホットガスヒータの概要

従来のエアコンによる暖房は、ヒートポンプと呼ばれ、Fig. 1に示すようにコンプレッサの仕事とエバポレータの吸熱により生み出された熱量をコンデンサにて放熱するサイクルで、その間に冷媒は、ガス冷媒→液冷媒→ガス冷媒と相変化を伴っている。一方、ホットガスヒータのサイクルは、Fig. 1に示すようにコンプレッサの仕事量のみを放熱するサイクルで、コンプレッサより吐出した冷媒をコンデンサに通さず、絞りで減圧後、熱交換器で放熱し、コンプレッサに吸入す

るサイクルであり、冷媒はガス状態のままである。

この原理の違いのため、ヒートポンプは外気温が低下（HFC-134aの場合、-10度以下）するとエバポレータで吸熱のための圧力低下により負圧に至り、冷媒流量が急激に減少し、作動できなくなる。一方、ホットガスヒータは、コンプレッサの仕事分を放熱するだけのサイクルであるため極低温（-40℃）でも作動できるサイクルである。

そして、通常のカーエアコンで空気を冷却するエバポレータとして用いている車室内の熱交換器を放熱器としてヒータに用いる。本システムに必要な部品は、コンプレッサ、熱交換器に加え、吐出ガスを減圧する絞りとコンプレッサ吸入冷媒状態を一定に保つ（飽和ガスの吸入）のためのアキュムレータが必要である。

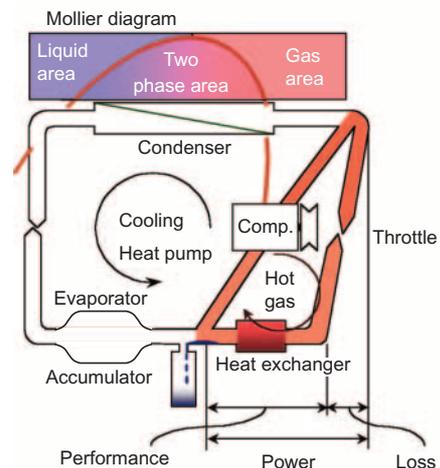


Fig. 1 Hot Gas Heater layout

*Translated and reprinted with permission from SAE paper 2003-01-0737 © 2003 SAE International

ホットガスヒータの補助暖房能力は二つの効果からなる。一つはFig. 2に示すようにコンプレッサの動力を車室内熱交換器（エアコン運転時のエバポレータ）で放熱させ車室外から導入される冷風を暖めるホットガスサイクルの効果である。この放熱能力は、理想的にはコンプレッサの動力と等しいが、実際は吐出配管等からの熱ロスがあるためCOP（成績係数：放熱量/コンプレッサ動力）は約0.7である。もう一つは、ホットガスヒータの作動によるコンプレッサ動力でエンジンの負荷が増大し、その結果エンジン水温が上昇、ヒータコアでの放熱量が増加する効果である。そして、ホットガスヒータの暖房能力は、Fig. 3に示すように外気温度やコンプレッサ回転数によって異なり、外気温度が高い程、コンプレッサ回転数が高い程、大きな性能を発揮する。例えば外気-20℃、1500r/minでの暖房能力は約2kWある。

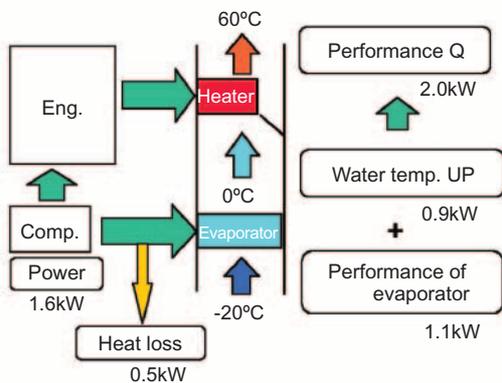


Fig. 2 Hot Gas Heater performance

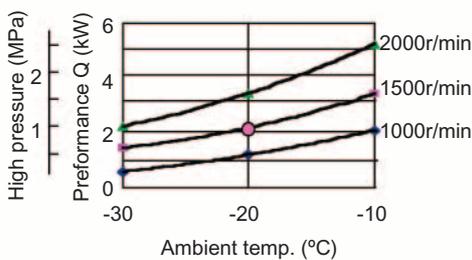


Fig. 3 Performance characteristic

しかし、このシステムには次に示す主要課題がある。一つは、ホットガスヒータは、ガスが流動するサイクルであるため冷媒通過音が非常に大きくなること。もう一つは、エアコン運転時に冷房に使う熱交換器をホットガスヒータでは暖房に使うため、例えばエアコン運転時に熱交換器表面に凝縮した水分がホット

ガスヒータ運転により蒸発し、窓ガラスの曇りを発生させる可能性がある。

3. 冷媒通過音の低減

ホットガスヒータは、前述したようにガス冷媒が循環するサイクルであるため絞り部にて6~8kHz域の騒音が発生しやすく、そこで発生した騒音は車室内熱交換器（エアコン時のエバポレータ）で放射される。この騒音レベルは、車室内にてブロワがミディアムレベルの場合でも確認できる程の大きさである。そのため、以下に記述する“多段減圧化”と“熱交換器内の気液2相流化”を採用することで低騒音化を実現した。

“多段減圧化”とは、騒音の原因となる絞り部での急拡大損失を低減するための手法であり、Fig. 4に示すように減圧過程を固定絞り部分と配管部分に分けて徐々に減圧する構成としている。車両への搭載では、メインの絞りとなる固定絞りはエアコンのコンデンサ付近に設置、そこから熱交換器までを配管で接続（1~2m）する。

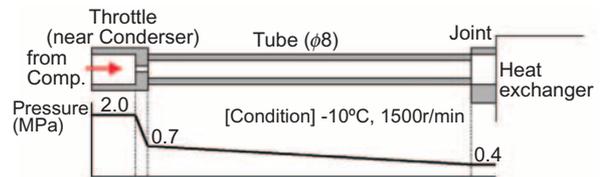


Fig. 4 Multi-stage pressure reduction

“熱交換器内気液2相流化”とは、熱交換器（エバポレータ）内をガス単相の冷媒が流動することで発生している音に対する対策手法であり、ホットガスヒータ運転時もエアコン作動中と同じように気液2相冷媒が流れるようにする方法である。Fig. 5に示すように通常液冷媒とガス冷媒を気液分離し、ガス冷媒のみをコンプレッサへ戻すアキュムレータタンクにおいて、タンク内にあるオイル戻し穴径を大きくすることで、アキュムレータ出口（コンプレッサ吸入）の冷媒状態を気液2相流状態とし、その結果として熱交換器出口部の気液2相流化を達成し、熱交換器内部振動を抑制している。

上記低騒音化対策により、Fig. 6に示すような低騒音効果が得られた。対策前は、熱交換器位置で68dBと非常に大きな騒音レベルで、通常のインシュレータ等の防振対策では14dBの低減しか達成できない騒音が、この“多段減圧化”により19.5dB低減、さらに熱

交換器内気液 2 相流化” を合わせて23dBの低減を達成した。その結果、Fig. 7に示すように実車においてもほとんど聞こえない騒音レベルを達成した。

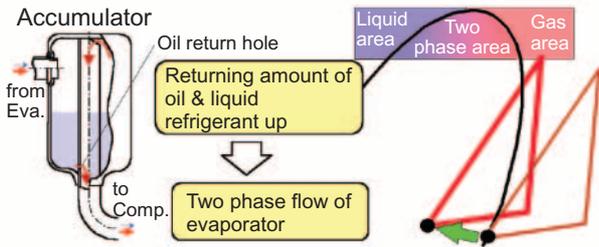


Fig. 5 Two phase flow

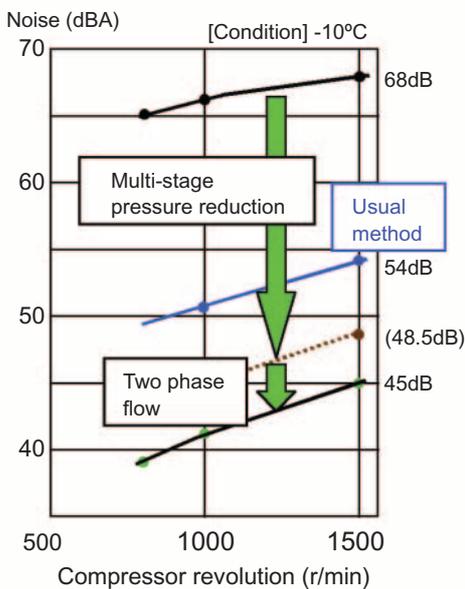


Fig. 6 Gas flow noise (bench evaluation)

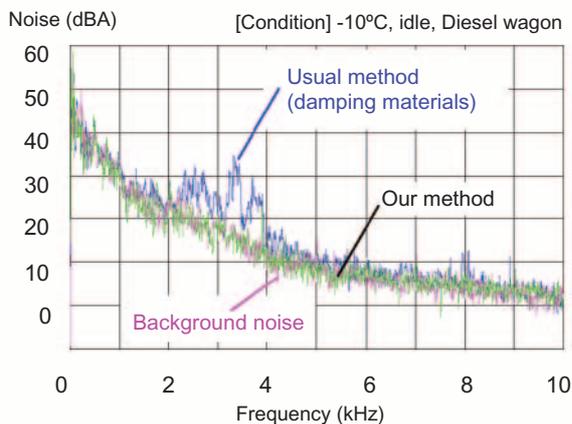


Fig. 7 Gas flow noise (vehicle)

4. 窓ガラス曇りの防止

冬場にフロントガラスが曇ったときにその曇りを晴らす（除湿する）ためにエアコンを動作させることがある。その際、車室内熱交換器（エバポレータ）の表面に空気中の水分が凝縮する。そして、この状態のままホットガスヒータ運転がされた場合、車室内熱交換器はヒータとして作動し、その水が蒸発し、窓ガラスを曇らせる可能性がある。そこで、この曇り発生を防ぐためにFig. 8に示すように“車室内熱交換器（エバポレータ）の付着水量の推定”と“ホットガスヒータ運転時の車室内熱交換器の吹出空気温度の制御”を追加している。まず、“車室内熱交換器（エバポレータ）の付着水量の推定”ではエアコン制御用アンプで常に

- ① エアコン（冷房）運転時の室内熱交換器（エバポレータ）表面の凝縮水量
- ② 車両放置時や走行中ブロワのみ作動している（エアコンやホットガスヒータのサイクルが作動していない）時の排水量
- ③ ホットガスヒータ運転時の蒸発量

を常に計算（推定）させる。

次に、車室内熱交換器（エバポレータ）に付着水があると推定している時にホットガスヒータを運転する場合には、“ホットガスヒータ運転時の車室内熱交換器の吹出空気温度の制御”を実施する。具体的に、窓曇りが発生する条件は窓ガラス周辺が露点に達する場合、最悪湿度100%の時には車室内熱交換器（エバポレータ）の吹出し空気温度が窓ガラス表面の温度より高くなる場合に限られる。そのため、車室内熱交換器

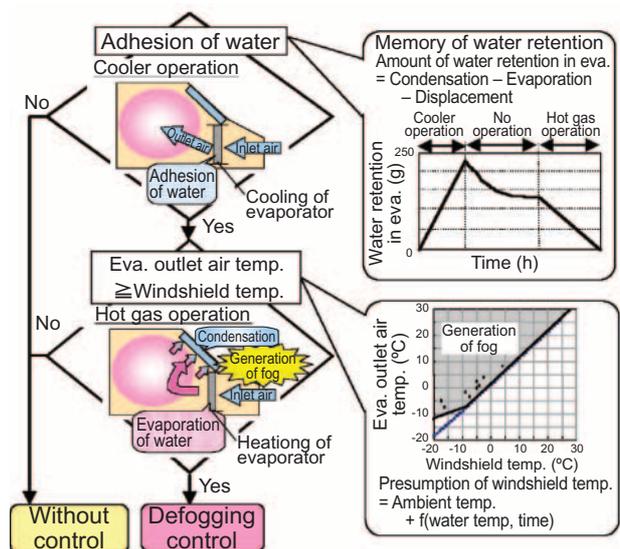


Fig. 8 Cause and countermeasure of fogging

(エバポレータ)の吹出し空気温度を窓ガラス表面温度以下に抑えることで、車室内熱交換器(エバポレータ)に付着水がある場合でも窓ガラスの曇りの発生を防止できる。

窓ガラス表面温度“ T_{ws} ”については、Fig. 9に示すように運転席側の視界が確保できる位置(ガラス最上部)での温度を下記の式(1)より推定することとした。

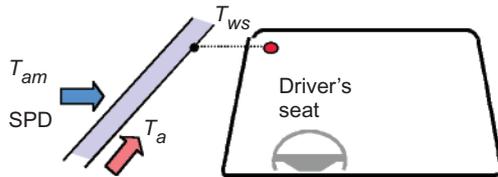


Fig. 9 Concept of estimating the windshield temperature

$$T_{ws} = \frac{\left(\alpha_1 \cdot \frac{t}{\lambda} \cdot T_a + \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \cdot T_a + T_{am} - \alpha_1 \cdot \frac{t}{\lambda} \cdot T_{am} \right)}{\left(1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_0} + \frac{t}{\lambda} \cdot \alpha_i \right)} \quad (1)$$

α_1 : プロウ風量から求める窓ガラス内側表面の熱伝達率

α_0 : 車速から求める窓ガラス車室外側表面の熱伝達率

t : 窓ガラス厚み

λ : 窓ガラスの熱伝導率

T_a : 外気温度 (T_{am}) とエンジン水温とエバポレータ吹出し空気温度から求める視界が確保できる位置の最上部での空気温度

T_{am} : 外気温度

Fig. 10に窓ガラス温度の推定例を示す。加減速走行における実測した窓ガラス表面温度と式(1)を用いて計算した窓ガラス表面温度“ T_{ws} ”を比較した結果であるが、この図より加減速走行でも窓ガラス温度をほぼ推定できることが確認できる。

5. ホットガスヒータの構成

車両用エアコン(冷房)サイクルには、レシーバ(膨張弁)サイクルとアキュムレータサイクルの2種類のサイクルが用いられている。日本では、レシーバ(膨張弁)サイクル、欧米では、レシーバ(膨張弁)サイクルとアキュムレータサイクルがほぼ半々の割

[Condition] -10°C, LA#4 mode, Me1, foot/def, Diesel wagon

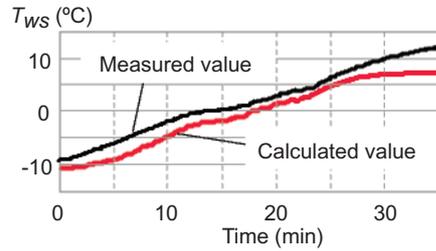


Fig. 10 Windshield temperature

合で存在しているが、本ホットガスヒータは、両方のエアコンサイクルに適用できる。Fig. 11は、レシーバ(膨張弁)サイクルに適用した例で、従来にエアコン(冷房)サイクルに対して、切替弁、バイパス配管、逆止弁内蔵バイパス合流ジョイント、ホットガスタンクが必要となる。切替弁は、エアコン(冷房)とホットガスヒータの運転を切り替える弁で、電磁弁と差圧弁で構成し、コンプレッサからの冷媒をコンデンサ側へ流す回路とバイパス配管を通り、車室内熱交換器へ流す回路の切替を行う。逆止弁は、ホットガスヒータ運転中にコンデンサへの冷媒流れを防ぐために設置している。ホットガスタンクは、ホットガスヒータ運転時にアキュムレータ(気液分離器)の役割を果たす。

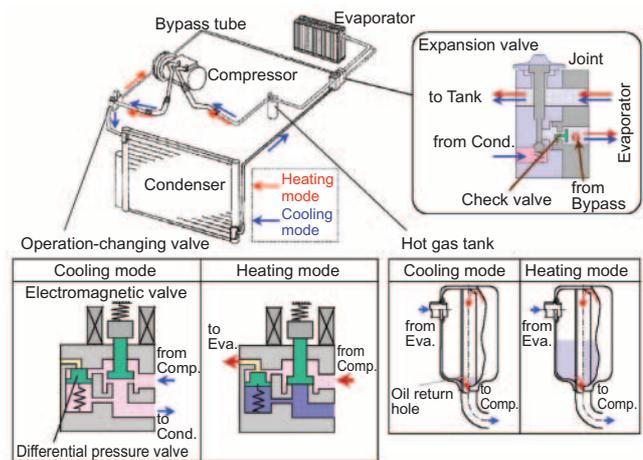


Fig. 11 Hot Gas Heater based on receiver cycle

ホットガスヒータは、電磁弁に通電することで作動可能となる。電磁弁に通電して閉弁するとコンデンサ側への冷媒の流れが遮断され、コンプレッサからの吐出ガス圧は弁上部に加わる。その結果、弁下部との間に差圧が生じ、バイパス配管につながる差圧弁が開く。そして、バイパス配管を通過し、車室内熱交換器へと

流れ、そこでガス冷媒は一部凝縮し、アキュムレータであるホットガスタンクにて気液分離され、適正状態の冷媒がコンプレッサへ戻る。

一方、アキュムレータサイクルに適用する場合は、Fig. 12に示すように追加部品は切替弁のみとなる。この理由は、アキュムレータサイクルでは既にアキュムレータタンクが存在していることと、オリフィスをコンデンサ付近まで移動させることで、切替弁にバイパス配管と逆止弁も一体化できるためである。追加部品点数が少ないため、ホットガスヒータはアキュムレータサイクルへ適合しやすい。

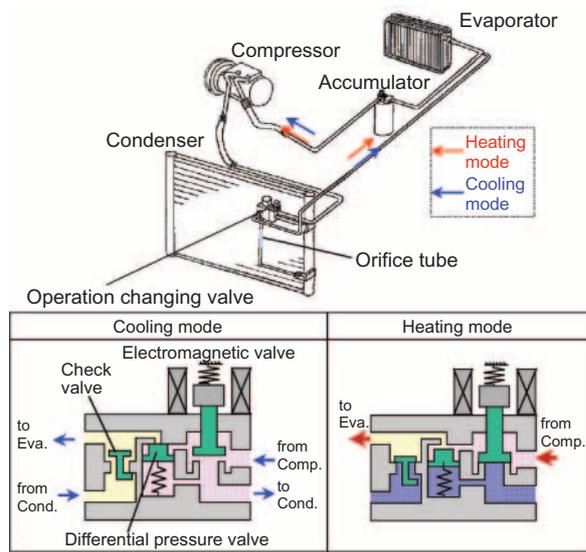


Fig. 12 Hot Gas Heater based on Accumulator Cycle

6. 高圧アキュムレータサイクル

ホットガスヒータは、アキュムレータサイクルへの適合が容易であるが、アキュムレータサイクルは低圧側に体格の大きい（1リットル程度）アキュムレータタンクが必要であるため特に小型車への搭載面で不利となっている。そのため、Fig. 13に示すように、タンクの体格を小さくする手段として高圧側にアキュムレータタンクを配置させ、コンデンサと一体化する高圧アキュムレータサイクルを考案した。

Fig. 14に示すように、従来のアキュムレータサイクルは、コンプレッサ吸入側のアキュムレータタンクに気液分離機能を持たせており、コンプレッサ吸入部でちょうど飽和ガスとなる冷媒を吸入するように制御されている。一方、高圧アキュムレータサイクルは、コンプレッサから吐出される冷媒の過熱度を一定になるように制御することで、コンプレッサ吸入の冷媒状

態を間接的に制御しているサイクルで、高圧に設置したアキュムレータタンク内にコンデンサで凝縮した液冷媒とコンプレッサから吐出される過熱度を持ったガス冷媒とを一定比率で混合させることで実現している (Fig. 13)。

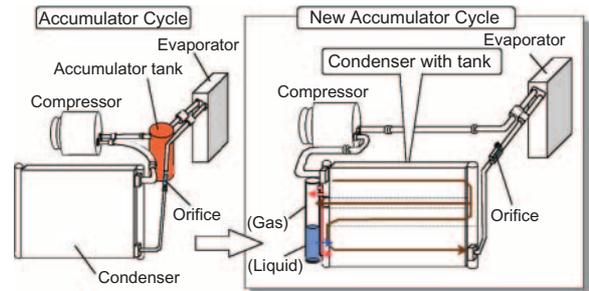


Fig. 13 New Accumulator Cycle outline

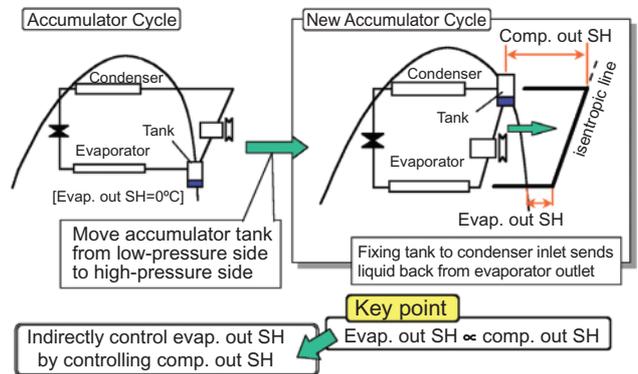


Fig. 14 New Accumulator Cycle concept

Fig. 15は、高圧アキュムレータサイクルにホットガスヒータを適合させたシステムを示している。Fig. 12のアキュムレータサイクルと比較すると、コンデンサ部にエアコン（クーラ）運転時のアキュムレータ、吸入にはホットガスヒータ運転時のアキュムレータであるホットガスタンクが必要であるが、共に小型サイズであるためさらに適合しやすいシステムとなっている。

7. 実車暖房性能

Fig. 16は、ディーゼルエンジン車にホットガスヒータを搭載した時の外気-20℃、40km/h走行での暖房性能である。補助暖房システムがない場合、乗員が暖かいと感じ始める吹出温度である40℃に到達するまでの時間は、エンジン始動後20分もかかるのに対し、ホットガスヒータを作動させることで9分と半減させる

ことができる。そして、エンジン始動30分後には、吹出温度18℃、車室内温9℃上昇させる効果がある。

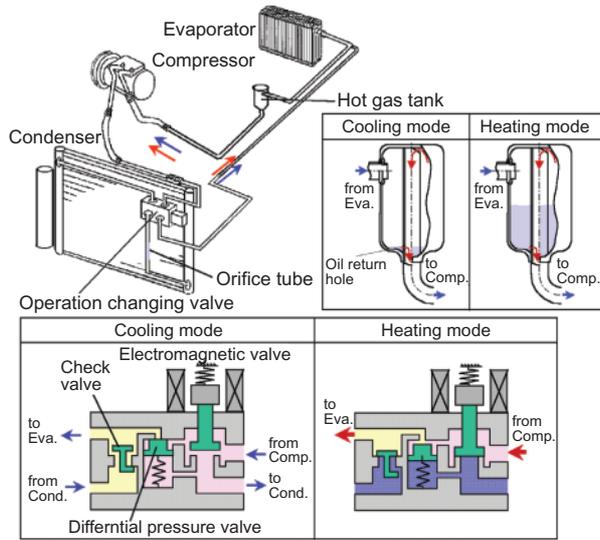


Fig. 15 Hot Gas Heater based on New Accumulator Cycle

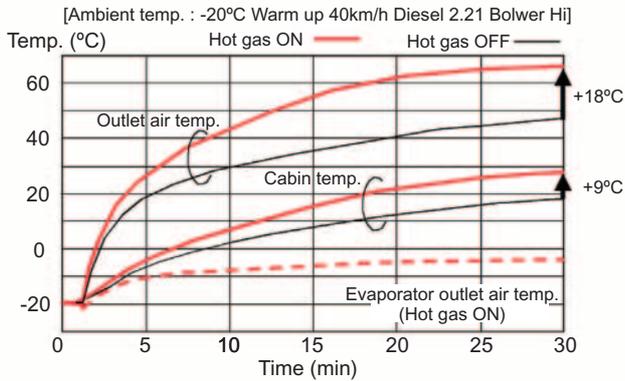


Fig. 16 Heater performance

8. まとめ

- (1) 補助暖房システムとして、エアコンシステムを流用し、極低温でも作動できるホットガスヒータを世界で初めて製品化した。
- (2) ホットガスヒータシステムは、レシーバ（膨張弁）サイクル、アキュムレータサイクル共に適合させることができる。
- (3) さらに車両への搭載面を向上させるため、新たに高圧にアキュムレータタンクのあるサイクルを開発した。

<参考文献>

- 1) 日本機械学会，伝熱工学資料



<著 者>



高野 義昭
(たかの よしあき)
熱システム開発部
カーエアコンの開発に従事



堀田 照之
(ほった てるゆき)
冷暖房技術1部
カーエアコンの設計に従事



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



庄司 昌弘
(しょうじ まさひろ)
トヨタ自動車(株)
第2車両性能開発部
車両空調の開発に従事