

特集 ハイブリッド車向け電動コンプレッサ空調システムの製品開発*

Product Development of Air Conditioner System with Electrically-driven Compressor for Hybrid Vehicles

高橋 恒 吏
Koji TAKAHASHI

松永 健
Ken MATSUNAGA

乾 究
Kiwamu INUI

We have developed and mass-produced an electrically-driven compressor system for hybrid vehicles. Even if the engine stops, the air conditioner can be operated by the electrically-driven motor of the compressor, so that the engine running speed and fuel consumption is reduced.

This paper describes the selling points from the standpoint of fuel consumption and thermal comfort through the use of an electrically driven compressor, and also describes the system composition and the characteristics employed in accomplishing such selling points.

Key words : Air conditioning , Electrically-driven compressor

1. まえがき

世界的な地球温暖化を始めとする環境問題に対する関心が高まると共に、近年環境対応車への期待がますます膨らみを見せている。その中でもハイブリッド車(HV)はプリウスでデビュー以来一般ユーザにも認知され、今後も急速な台数増加が予測される。HVは、アイドリング時などのエンジン停止頻度を増やし燃料消費量を減らしているため、HVで従来のコンプレッサをエンジンで直接駆動させると、エンジン停止時にコンプレッサの動力源がない問題が起こる。その結果エンジン停止時の空調快適性や、快適性を少しでも向上させようとする燃費に悪影響を及ぼす。

2. エンジン停止対応空調

Fig. 1にエンジン停止対応空調技術を示す。大別すると蓄冷とコンプレッサの電気駆動に分けられ、車両側としてコンプレッサに電力消費させられる環境か否かにより本命技術は変わる。従来車に強化型スタータを追加したエコラン車ではコンプレッサを駆動する電源がないため蓄冷を利用する技術となろう。また車両として高電圧電源を有するストロングHVでは、従来コンプレッサに電動モータを追加しエンジン稼働時はエンジンで駆動、エンジン停止時はモータで駆動する2WAYコンプレッサや、より電力消費が可能であれば常にモータで駆動する(以下 FULL電動コンプレッサ)ことも可能である。

	Idle stop (12V)	Mild HV (42V)	Strong HV (202~288V)	
	Strong starter	Belt driven MG	1 motor generator	2 motor generator
	(Vitz)	(Crown)	(Estima)	(Prius)
Component				
Generation of electricity	Small	Middle		Large
A/C trend	Cold-storage	Combined use of belt drive and electrically drive (2 way compressor)		Electrically drive

Fig. 1 Air conditioner type for engine stop

3. 電動コンプレッサのうれしさ

コンプレッサを電動化するうれしさはエンジン稼働状態にかかわらずコンプレッサを自由に動かせることであり、その結果、他のエンジン停止対応空調技術に比べて快適性と燃費の両立が最も高次元で達成可能になる。

3.1 快適性の向上

Fig. 2でHVにエンジンで直接駆動するコンプレッサ(以下 エンジン駆動コンプレッサ)とFULL電動コンプレッサを搭載したときのクーラ吹出温度変動と室内湿度変動の比較を示す。エンジン駆動コンプレッサではエンジン停止のたびに吹出温度や湿度感が上昇、特に1分以上の長時間停止では温湿度変動幅が大きいため、快適性のためにエンジンON要求させざるを得ず燃費悪化につながっていた。それに対しFULL電動コンプレッサではエンジン停止時もモータによるコンプレッサ駆動が可能で温度、湿度変動はほとんどなく快

* (社)自動車技術会の了解を得て、「2004年春季大会学術講演会前刷集」No.77-04, 392より転載

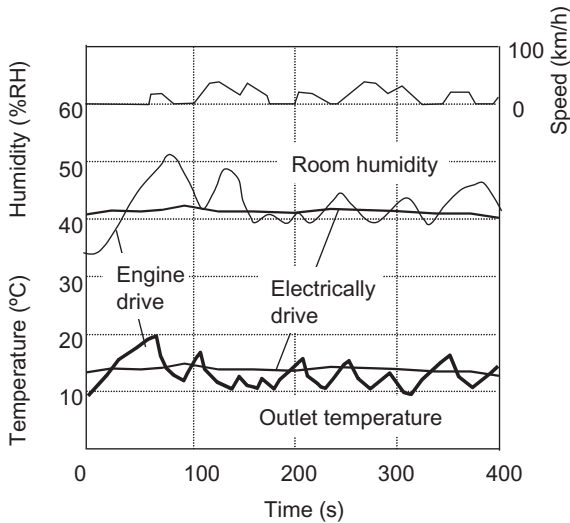


Fig. 2 Comparison of feeling of air conditioning by electrically drive and engine belt drive

適である。

3.2 燃費の向上

空調によるHVの燃費への影響因子として「エンジン稼働状態」と「エアコン消費動力」を整理することで電動化による燃費効果を試算する。

一般的に従来のエンジン駆動コンプレッサでは冷房性能不足時直接コンプレッサを駆動するために、またFULL電動コンプレッサではモータ駆動による放電を補う充電のためにエンジン稼働率が上昇する。Fig. 3に二つのモータジェネレータを持つストロングHVにエンジン駆動コンプレッサとFULL電動コンプレッサを搭載した時のエンジン稼働率を比較する。その結果、

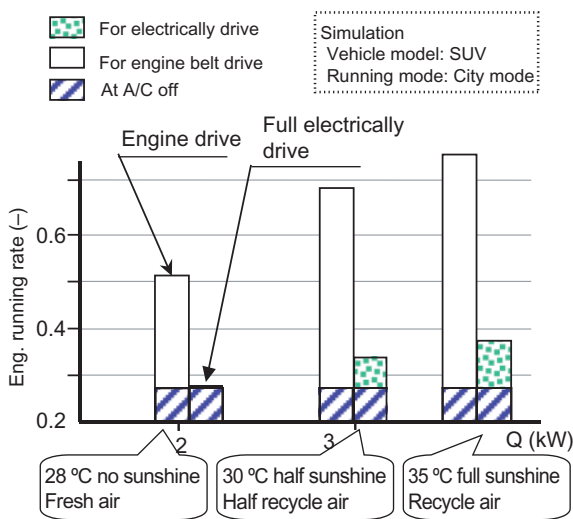


Fig. 3 Comparison of engine running rate

従来のエンジン駆動コンプレッサでは冷房性能不足時直接コンプレッサを駆動するために中～高負荷領域でのエンジン稼働率が大幅増加するが、それに対しFULL電動コンプレッサでは車両側の発電能力を最大限駆使することで、充電によるエンジン稼働率上昇を最小限にすることが可能である。

またコンプレッサの消費動力は、FULL電動コンプレッサはエンジン駆動コンプレッサにはないモータやインバータさらに発電時のロスがある一方で、高効率のスクロールコンプレッサを常に最適な回転数で冷凍サイクルも安定して運転できるため、エンジン駆動コンプレッサとの差は少ない (Fig. 4)。

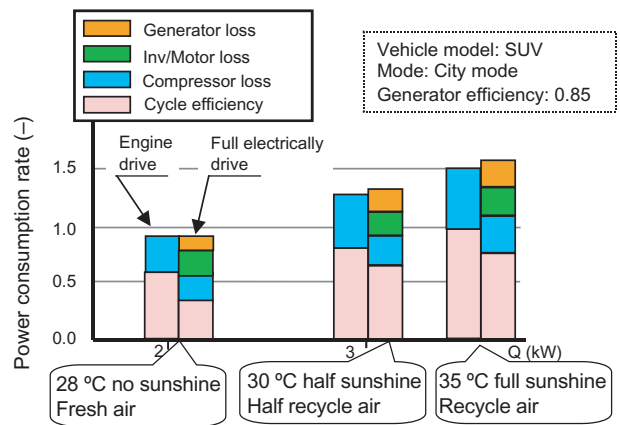


Fig. 4 Comparison of power consumption rate

上記結果をもとに、Fig. 5に方式別の燃費試算を示すが、どの熱負荷領域でもエンジン稼働率を下げるFULL電動コンプレッサは夏場では10%以上の燃費効果が得られる。よって車両としてコンプレッサへの必

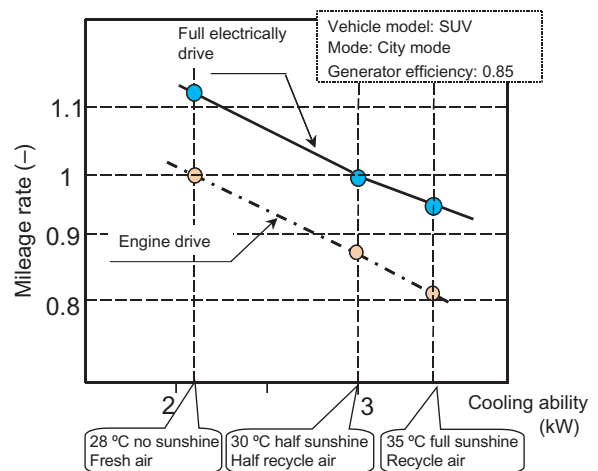


Fig. 5 Comparison of mileage rate

要電力供給が可能であれば、FULL電動コンプレッサの商品性は非常に高いといえる。

4. 電動コンプレッサシステムの概要

4.1 システム概要

今回開発した空調システムは、暖房側はエンジン廃熱を利用した従来の温水式をベースに、エンジン停止時温水供給する電動ウォータポンプと暖房時の換気損失低減可能な内外気2層エアコンユニットを採用し、冷房側は電動コンプレッサを採用したシステムである。電動コンプレッサシステムは、エンジン置きを可能とする高効率の電動小型スクロールコンプレッサと低騒音DCブラシレスモータが一体となったコンプレッサ部と、性能を回転数可変で最適制御するためのインバータ部で構成される。電動コンプレッサシステム構成をFig. 6に、主要諸元をTable 1に示す。

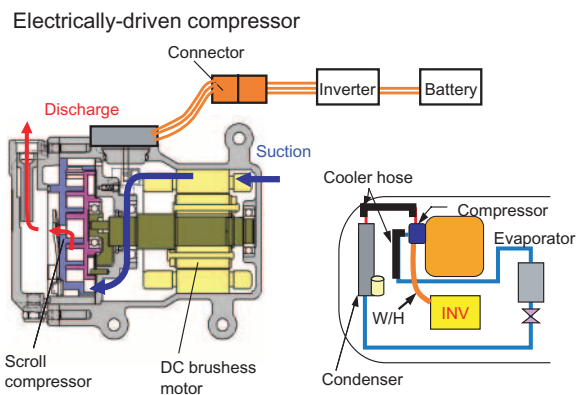


Fig. 6 System composition

Table 1 Specification of compressor

Item	Specification
Refrigerant	HFC134a
Compressor type	Scroll 18 cm ³ /rev
Max speed	7500 r/min
Motor	DC brushless motor (Rare earth metal)
Motor cooling system	Suction gas cooling system
Body size	φ109×182 mm
Weight	4.7 kg

4.2 コンプレッサ騒音低減

電動コンプレッサへの静粛性に対する要求は非常に厳しい。従来のエンジン駆動コンプレッサはエンジン作動時のみコンプレッサを駆動できるため、コンプレッサ作動音は常にエンジン作動音でマスキングされる。ところが電動コンプレッサはエンジン停止時でも

駆動するため、車両暗騒音が低いエンジン停止時の車室内外騒音低減が課題になる。

車室内外騒音結果をFig. 7に示すが、車室外音はスクロールの見直しによるトルク変動低減や、モータ選定やインバータ制御の見直しを実施することで徹底的にコンプレッサ振動を抑制し、一方車室内音はコンプレッサの吸入吐出脈動を徹底的に低減した。その結果定常のコンプレッサ運転領域では車室内は約40dB(A)、車室外は約55dB(A)まで低減させることができた。

また一方で、車両が走行している時に発生する車両暗騒音にも着目し、車両暗騒音に合わせてコンプレッサ最高回転数を制限することで、マスキング効果を期待した回転数制御を実施している。Fig. 8に制御例を示すが、低車速時はロードノイズ等車両暗騒音が低いいため、冷房性能を確保しつつコンプレッサ騒音を気にしないレベルまで下げている。

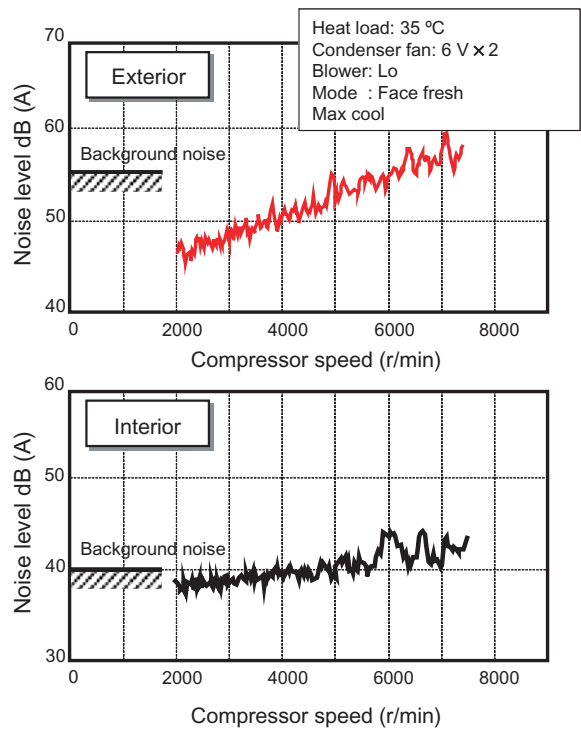


Fig. 7 Result of car noise

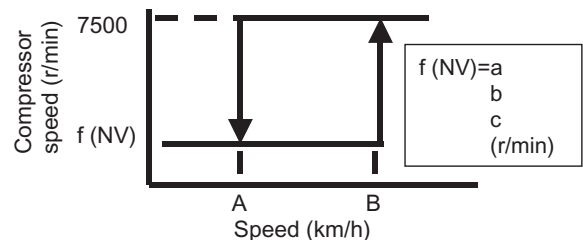


Fig. 8 Compressor speed control for noise

4.3 システム制御による燃費向上

電動コンプレッサシステムはエンジン停止時でも快適性を維持しつつ燃費向上させることが可能であるが、車両自体も日進月歩で燃費向上していることもあり、空調システムとしても更なる省動力化が求められている。

従来のオートエコノミー制御は内外気温、日射情報だけで制御を行っているため、防曇性や湿度快適性の情報が不足し、その結果として中～低負荷で除湿過ぎみの制御していることが多い。しかし本システムでは従来情報に加え、車室内湿度もセンシングする湿度センサ制御を行っている。Fig. 9に制御概要を示すが、本制御は冷房条件だけでなく湿度快適性や防曇性から算出した目標エバポレータ後温度を演算し、その中で最適な目標エバポレータ後温度を決定するきめ細かな制御を行っている。その結果中～低負荷での目標エバポレータ後温度を引き上げ、コンプレッサ回転数を落とすことが可能となり、通年で約1～2%の燃費向上を図っている。

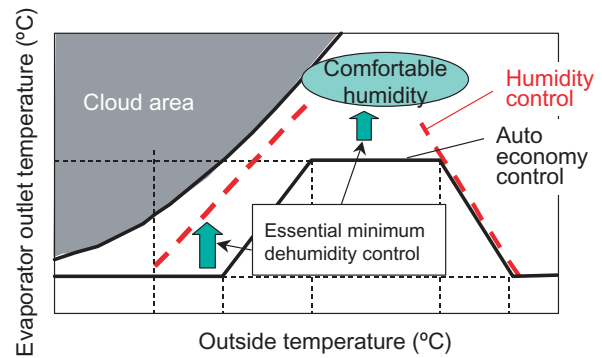


Fig. 9 Humidity control

5. まとめ

HVに電動コンプレッサシステムを採用することで、エンジン停止時にも冷房可能にしつつ、燃費向上に近づけた。

本システムは2003年9月発売の「トヨタプリウス」にて世界で初めて量産搭載された。今後増えていくであろうHVの空調は快適性と省燃費の両立可能な電動エアコンシステムが主流となっていくと考えている。

<参考文献>

- 1) 内外気2層エアコンユニットの開発
(株)デンソー: 四方他 自技会1998春季150講演)

<著 者>



高橋 恒吏
(たかはし こうじ)
熱システム開発部 (トヨタ自動車
出向中)
将来エアコンシステム開発に従事



松永 健
(まつなが けん)
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