

特集 ハイブリッド自動車用製品の開発*

Development of Hybrid Vehicle Components

森川 正美

Masami MORIKAWA

小川 新一

Shinichi OGAWA

細田 剛

Tsuyoshi HOSODA

清水 工

Takumi SHIMIZU

金子 高久

Takahisa KANEKO

Recently, the automotive industry, on a global scale, has been actively working on developing and producing an ecological vehicle, which has low fuel consumption and low emissions. In 1997, TOYOTA MOTOR CORPORATION launched the PRIUS - the first production line hybrid vehicle in the world. Since then, other automotive manufacturers have also made hybrid vehicles the center of their attention. DENSO CORPORATION has developed and produced a variety of hybrid vehicle components based on this marketing stream. We have launched a new DC-DC converter, a battery monitoring unit, an inverter integrated with an electric compressor, a motor for an electric compressor and so on. The key features of these products are that they are small, light-weight, highly efficient and consist of low cost components. We are keen to try and improve these components as well as to try to produce other components, such as traction inverters and motor generators, in order to contribute to the huge potential for hybrid vehicle marketing growth.

Key words : Hybrid vehicle, DC-DC converter, Battery monitoring unit, Inverter, Motor, Electric compressor, Ecological vehicle, Low fuel consumption, Low emission

1. はじめに

近年自動車業界においては、地球環境問題の観点より低燃費化・低排出ガス化が責務とされ、1997年にトヨタ自動車から発売された世界初の量産HV（ハイブリッド自動車）プリウスを筆頭に、各車両メーカーともHVの市場投入に力を注いでいる。本稿では、HV用に開発した主な製品について概説する。

2. DC-DCコンバータ

Fig. 1にハイブリッドシステムの概要を示す。DC-DCコンバータは、高電圧バッテリーの直流高電圧を直流低電圧に変換し12V電源ラインに電力を供給するコンポーネントであり、ガソリン車におけるオルタネータに相当する。走行状態によりエンジンを停止させるHVにおいては、エンジン状態に関係なく電力供給できるDC-DCコンバータは必要不可欠なコンポーネントである。

我々は、初代プリウスより水冷式DC-DCコンバータを開発しているが、今回トヨタ自動車のHVとしては初となる空冷式DC-DCコンバータを製品化した。

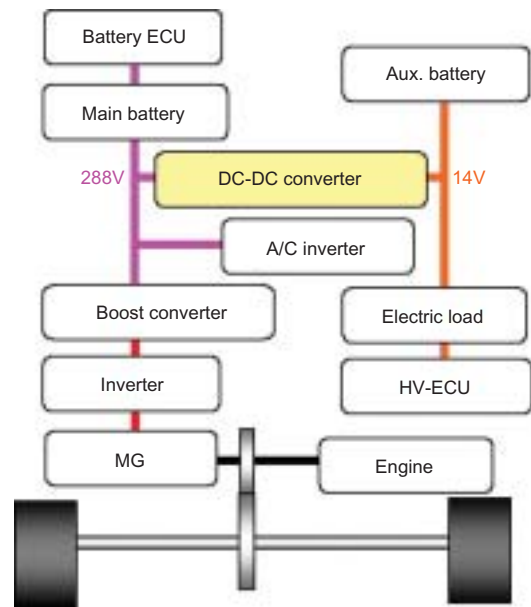


Fig. 1 Hybrid system

*2006年2月27日 原稿受理

2.1 冷却機構

冷却機構はFig. 2に示すように、専用ブローア、放熱フィン、フィンシールカバーにより構成される。ブローアへの電源供給と回転数指令は、DC-DCコンバータの内部回路より行う。ブローアの回転数は、所定の冷却風温度に応じてLow, Middle, Highの三段階に可変する。

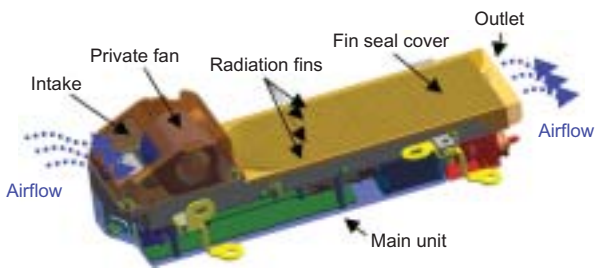


Fig. 2 Cooling system

2.2 主回路方式

主回路方式には、Fig. 3に示すような我社独自開発の2トランス方式を採用し、従来トランスとチョークコイルで構成していた磁気部品を、Fig. 4に示すように一体化し小型化を実現している。また、従来ダイオード整流としていた二次側整流回路に同期整流を採用し、高効率化を実現した。

2.3 主要諸元

Table 1に従来品と開発品の主要諸元比較を、Fig. 5に効率比較を示す。

Table 1 Main properties

Items	Current product	New development
Cooling system	Water cooling	Air cooling
Input voltage range	240V to 400V	<-
Output voltage	13.5V, 14V, 14.5V (3 state variations)	13V to 15V (Linear variations)
Output current	120A	<-
Volume	1,540cm ³	1,440cm ³ (Without cooling unit)

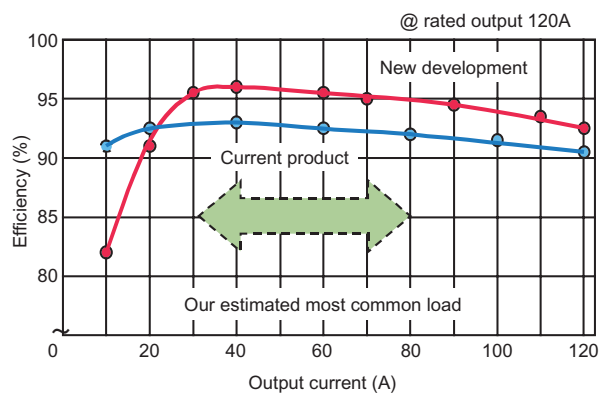


Fig. 5 Conversion efficiency curve

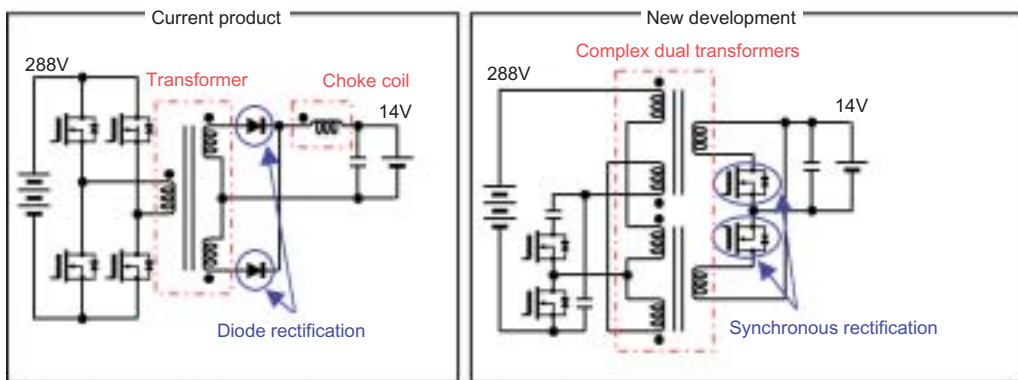


Fig. 3 Power conversion method

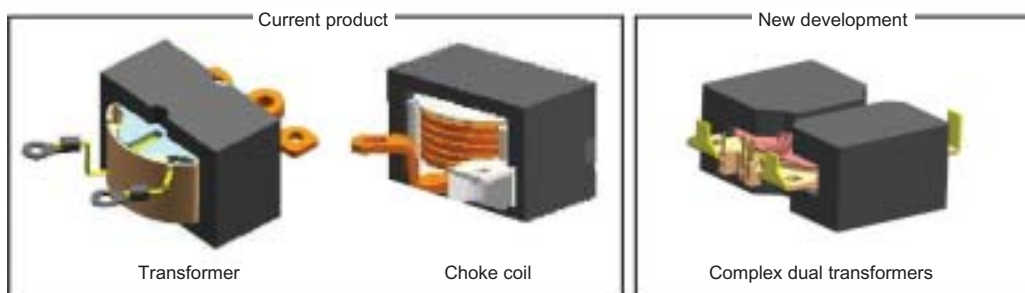


Fig. 4 Magnetic component

2.4 まとめ

弊社独自の主回路方式と二次側同期整流の採用により損失を半減し、HVとしては初となる効率96%の空冷式DC-DCコンバータを製品化した。

3. 電池監視ユニット

世界初の量産HVである初代プリウスでは、高電圧バッテリーの充電状態を制御する電池ECUが採用されていたが、ハリアーHVからは小型・低コストの要請に応えるために、電池ECUの流れを汲む電池監視ユニットを開発した。今回これを更に小型化し、初代プリウス用の電池ECUに比べ体積・重量ともに約1/10を達成している。小型化達成のキーワードは、以下の三つである。

- (1) 高電圧バッテリーの電圧検出方式の改良（フライングキャパシタ方式の採用）
- (2) 機能最適配置（演算機能のHV-ECUへの集約）
- (3) 高電圧部品の最適配置

3.1 電圧検出方式

高電圧バッテリーの電圧検出には、広く知られている計測器の技術を応用したフライングキャパシタ方式を適用している。キャパシタを一個使用したシングルフライングキャパシタ方式（Fig. 6）に対し、弊社独自のフライングキャパシタを二個使用するダブルフライングキャパシタ方式（Fig. 7）を適用している。ダブルフライングキャパシタ方式には、以下のメリットがある。

- (1) シングルに比べて計測時間の短縮が可能
- (2) シングルに比べて回路規模の増大が少ない
- (3) 故障検知が容易

また、故障検知に関しては検出回路が二系統あることを生かし、一方の検出回路の検出値と、もう一方の検出回路の検出値との差を判断することで、検出回路の故障を検知する機能をもたせることができる。

3.2 機能最適配置

電池ECUでは、高機能マイコンを搭載しバッテリー残容量や内部抵抗値などを演算していたが、電池監視ユニットでは電圧・電流・温度等の各情報をHV-ECUに送信し、演算等はHV-ECU搭載の高機能マイコンで行うように機能の最適配置を行っている。これにより、電池監視ユニットには高機能マイコンが不要となり、電源構成も簡素化することができ小型化を達成することができた。

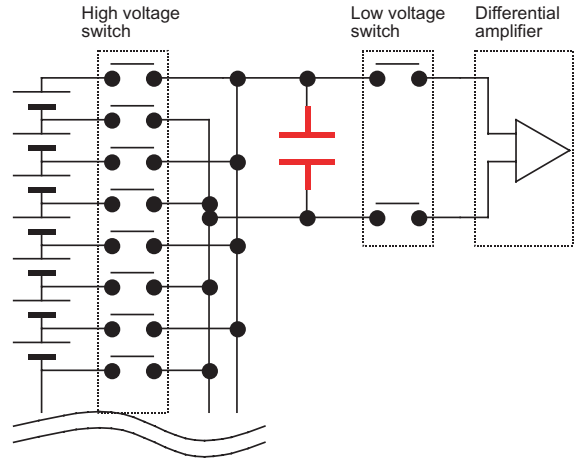


Fig. 6 Single flying capacitor method

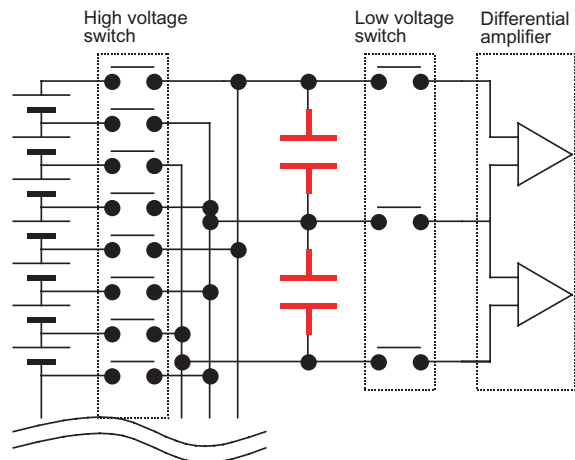


Fig. 7 Double flying capacitor method

3.3 高電圧部品の最適配置

本電池監視ユニットでは、最大20チャンネルの高電圧電池電圧を計測することができる。電池監視ユニットには最高500Vを超える電圧が入力される場合があり、電池監視ユニットの高電圧部品は、Fig. 8に示すように基板の厚み方向の絶縁を活用しながら、表裏・隣接する高電圧部品間に高電圧がかからないように配置している。このため、実際に隣り合う高電圧素子間にかかる電圧は50V程度となり、絶縁距離が少なくても済むため小型化を達成することができた。

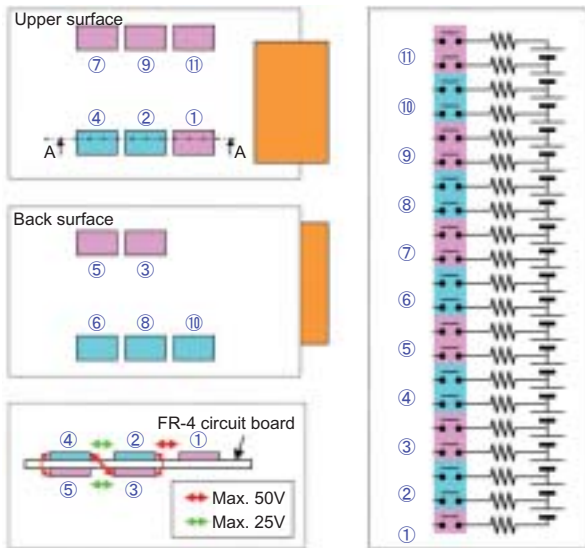


Fig. 8 Layout of high voltage components

3.4 まとめ

弊社独自のダブルライニングキャパシタ方式の採用と、機能最適配置及び高電圧部品の最適配置により、電池監視ユニットの大幅な小型化を達成し製品化した。

4. 電動コンプレッサー一体型インバータ

従来の自動車用コンプレッサは、ベルトを介してエンジンの動力を利用することで駆動されている。しかし、HVは省燃費の要求よりアイドリングストップ機能を有しているため、車両の停止時等にエンジンが頻繁に停止する。そのため、従来のコンプレッサではエンジン停止時にコンプレッサの動力源が無くなるといった問題が発生する。この課題を解決するため、エンジン停止時にも冷房能力が得られ、エアコン使用時に燃料効率が悪化しないインバータ駆動式電動コンプレッサが近年使われ始めた。当初のインバータは冷却の必要性により、他のHV機器と同様にPCU（パワーコントロールユニット）ボックスと呼ばれる冷却ユニット内に配置されていた。しかし、PCUボックス内では搭載制約が大きいため、電動コンプレッサへインバータを一体化するニーズが強まってきた。

このようなニーズを受け、吸入冷媒でインバータを冷却する構造の採用、バスバーによる三次元配線を用いた高密度実装技術の採用、センサレスベクトル制御の採用による電流検出回路の小型化や内部電源回路の小型化により、従来の1/3への小型化を実現し、Fig. 9に示すような電動コンプレッサへ一体化したインバータを製品化した。



Fig. 9 Inverter integrated with electric compressor

4.1 コンプレッサの冷媒を利用した冷却構造の採用

電動コンプレッサは、従来車両のベルト駆動コンプレッサと同様にエンジン直付け搭載となるため、電動コンプレッサにインバータを一体化することで、製品の使用温度環境が非常に厳しいものとなる。インバータ部分は最大で数百W程度の発熱を伴う上、エンジンルームの高温雰囲気さらされる。従来は冷却水を使用した専用の冷却ユニットを使用していたが、Fig. 10に示すようにインバータ部分をコンプレッサの吸入ポート付近に合体させて設置し、吸入冷媒によってインバータ冷却を行うことで冷却システムを簡略化した。また、インバータ内部回路の冷却性を更に向上するため、インバータ内部をシリコンゲルで充填した。

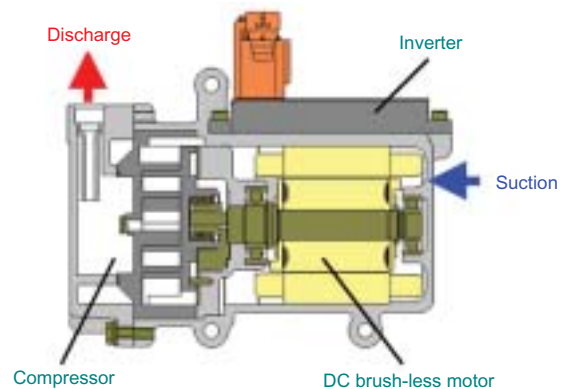


Fig. 10 Cross section of the compressor

4.2 高密度実装技術による小型化

従来のインバータは、パワー素子以外のほとんどの部品をプリント基板上に搭載し、大電流配線もプリント基板のパターンを使って形成していた。これは二次元的実装であり、モータハウジングの側面という限られた場所への搭載は困難となる。これに対し、今回はFig. 11に示すようにバスバーと呼ばれる導体配線をインサートした樹脂成型ケースを採用し、配線部分を簡略化した。また、フィルムコンデンサなどの大型・高背部品はモータハウジングの余肉部分に配置し、モータハウジング上に配置されたパワー素子などと前記樹脂成型ケースを通じて接続することで三次元的な高密度部品実装とし、小型・低背を実現した。

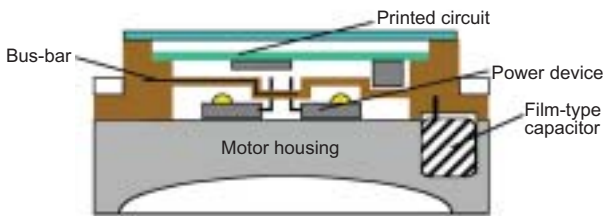


Fig. 11 Cross section of the inverter

4.3 内部回路の小型化

搭載スペースの要求を満足するため、上記の高密度実装技術に加えセンサレスベクトル制御の採用による電流検出回路の小型化、トランスレスによる内部電源回路の小型化、更にパワー回路を除いた制御回路部品をすべて表面実装化することで、内部制御回路の小型化も実現した。

4.4 主要諸元

Table 2に、従来品と開発品の主要諸元比較を示す。

Table 2 Comparison with a conventional type

	Conventional type	Development type
Inverter layout	Separate placement	Compressor-integrated type
Size	900cm ³	250cm ³
Output	3.4kW	6.0kW
Working temperature	-35 - 85°C	-35 - 100°C

4.5 まとめ

吸入冷媒でインバータを冷却する構造の採用、バスバーによる三次元配線を用いた高密度実装技術の採用および内部回路の小型化により、インバータ体積にお

いて従来の1/3への小型化を実現し、電動コンプレッサへ一体化したインバータを製品化した。これにより、従来のベルト駆動型コンプレッサの搭載スペースにそのまま電動コンプレッサを搭載することが可能となり、今後展開が期待されるHVへの導入を容易にするものである。

5. 電動コンプレッサ用モータ

電動コンプレッサのハウジングに内蔵されるモータは、インバータのコンプレッサ一体化のニーズと、車両への搭載性向上のニーズに応えるために小型化が必須である。また、小型化に加え燃費向上のニーズから高効率であることが求められている。本稿では、電動コンプレッサを駆動するモータとして我社独自のSC (セグメントコンダクタ) 巻線を採用し、IPM (磁石内蔵) 構造とすることで小型・高効率を実現した。

5.1 小型化の目標値

インバータの一体化とHVの車種展開を考慮すると、電動コンプレッサの体格は、従来のベルト駆動型コンプレッサの体格と同等とする必要がある。このうちコンプレッサ、インバータを除いた部分にモータを搭載するためには、モータ体格は径85mm×長さ90mm以下とする必要がある。Fig. 12に、インバータ一体型電動コンプレッサの断面図を示す。

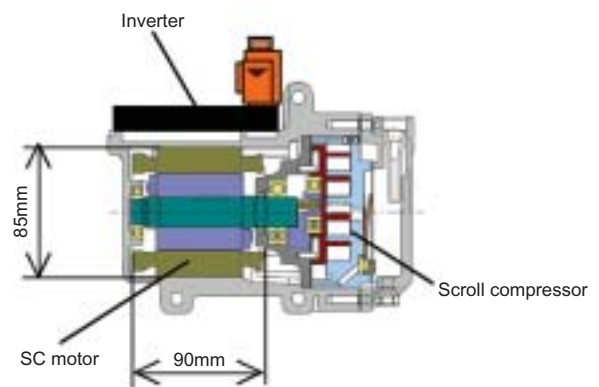


Fig. 12 Sectional view of the newly developed inverter-integrated electric compressor

5.2 小型化達成手段



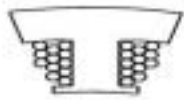
モータはステータとロータで構成され、モータを小型化するためには、コア外径・コア積厚・コイルエンドの小型化を達成する必要がある。

まず、ステータ巻線方式としてSC巻線を選定した。Table 3にステータ仕様比較を示すが、SC巻線は成形したコイルを軸方向より挿入できるため、スロット幅に合った平角線を用いることにより、従来品に比べ

占積率を40%上げることが可能である。また、事前に成形したコイルを使用することでコイル同士の干渉を防ぐことができるため、従来品に比べ40%のコイルエンド高さ低減が可能である。

次に、ロータとしてIPM構造を選定した。Table 4にロータ仕様比較を示すが、IPM構造は小型化に優位で高回転まで回転可能であり、リラクタンストルクも利用できるため効率的にも有利である。

Table 3 Stator specification comparison

	D-wound 	SC-wound** 	C-wound 
Occupation ratio*	0.5	0.7	0.6
Coil-end height	55mm	32mm	30mm
Motor size	φ 85×L57mm	φ 85×L57mm	φ 85×L65mm
Noise & Vibration	Limited torque ripple by large number of slots in stator core		(Base line: D-wound) increase 7-8dB
Motor cooling performance	- (baseline)	○ (excellent)	○ (good)




D-wound: Distributed wound

C-wound: Concentrated wound

* Occupation ratio: The ratio of the total conductor area within a segment to the total area of the segment

** SC-wound type: Winding method in which plural conductor segments, preformed from flat copper wire, are inserted into the stator core slots and connected thereafter

Table 4 Rotor specifications comparison

	IPM 	SPM 	Syn-R 
Size	○ (good)	○ (good)	× (no good)
Maximum revolutions (at 8600r/min)	○ (good)	× (no good)	○ (good)
Noise	○ (good)	○ (good)	○ (good)
Efficiency	○ (good)	○ (good)	× (no good)

IPM: Internal Permanent Magnet

SPM: Surface Permanent Magnet

Syn-R: Synchronous Reluctance

5.3 まとめ

モータのステータをSC巻線、ロータをIPM構造とすることにより、従来型に比べ大幅な小型・高効率を実現し、電動コンプレッサのインバータ一体化を容易にすることができた。これにより、従来のベルト駆動型コンプレッサの搭載スペースにそのまま電動コンプレッサを搭載することが可能となり、今後展開が期待されるHVへの導入を容易にするものである。

6. おわりに

本稿では代表的なHV用製品を紹介したが、車両全体を制御するハイブリッドコントロールコンピュータや、開放型で低騒音を実現したシステムメインリレーなども製品化している。また、車両駆動用モータやそれを駆動するインバータの開発も行っている。小型・低コストのニーズに応えHVの展開と市場拡大に貢献するため、我々はこれらの製品の更なる改良と新製品の開発に今後も取り組んでいく。



<著者>



森川 正美
(もりかわ まさみ)
EHV機器技術部
EHV機器の技術総括業務に従事



細田 剛
(ほそだ つよし)
EHV機器技術部
DC-DCコンバータの制御回路
開発・設計に従事



清水 工
(しみず たくみ)
EHV機器技術部
電池ECU・電池監視ユニットの
開発・設計に従事



金子 高久
(かねこ たかひさ)
EHV機器技術部
電動コンプレッサ用インバータの
開発・設計に従事



小川 新一
(おがわ しんいち)
EHV機器技術部
電動コンプレッサ用モータの
開発・設計に従事