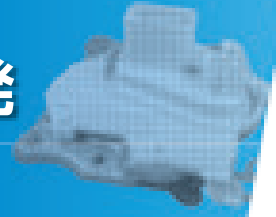


第2世代MIRAI向け 水素循環ポンプ用インバータの開発



Development of Inverter for Hydrogen Circulation Pump for Second-Generation MIRAI

小栗 孝司^{*1}
Koji Oguri

伊藤 健児^{*1}
Kenji Ito

吉田 幹雄^{*2}
Mikio Yoshida

伊藤 高幸^{*2}
Takayuki Ito

川島 隆^{*2}
Takashi Kawashima

成瀬 拓也^{*2}
Takuya Naruse

*1 コンプレッサ事業部 FCプロジェクト *2 コンプレッサ事業部 技術部

要旨

2020年末にトヨタ自動車(株)より第2世代となるFCEV(燃料電池自動車)MIRAIが発売された。世界初の量産FCEVとして登場した第1世代に対し、第2世代では環境性能プラス幅広いお客様に普及させるという役割が求められており、その中でも水素循環ポンプ用インバータを含むFCシステムは、軽量・パッケージ性など機能の正常進化に加え、大幅なコスト低減が必要となった。空調用電動コンプレッサのインバータ技術を活用し、さらにコネクタとカバーの機能統合を行うことにより低コスト化を実現した。

キーワード: FCEV、カーボンニュートラル、熱かしめ

Abstract

Toyota Motor Corporation released the second-generation FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) MIRAI at the year end of 2020. In contrast to the first generation, which first appeared as the world's first mass-produced FCEV, the Second generation is required to have environmental performance and the role of spreading it to a wide range of customers. FC systems, including inverters for Hydrogen Circulation Pump, required significant cost reductions in addition to the normal evolution of functions such as light weight and packaging. We have realized cost reduction by utilizing the inverter technology of the electric compressor for air conditioning and further integrating the functions of the connector and cover.

Keywords: FCEV, Carbon Neutral, Thermal Caulking

1. はじめに

現在、全世界的にカーボンニュートラル・脱炭素社会への転換が求められており、そのなかでもあらゆる資源から製造でき、貯蔵可能かつ使用時に排ガスやCO₂を出さないクリーンなエネルギーとして水素が注目されている。

世界初の量産FCEVとして発売された第1世代MIRAIの発売から6年が経ち、政府による水素基本戦略等の策定など社会的な機運も高まり商用水素ステーションなどインフラの整備も身近なものになりつつあるなか、トヨタ自動車(株)から本格的な普及を狙った第2世代のMIRAIが発売されることになった。第2世代MIRAIでは基幹となるFCシステム(水素と酸素を反応させ発電するシステム)の大幅なコスト低減を狙って開発が進められ、システムの一角を担う水素循環ポンプ(Hydrogen Pump:以下H/P)用インバータについても同様であった。そのため、開発初期の段階からコストについて以下の2つのコンセプトを掲げて設計を進めることとした。

- ①他ユニットの筐体(ケース)にインバータを統合することにより、インバータ単体では筐体を廃止する
 - ②既存する電動コンプレッサ用インバータをベースとし部品共有率と組立ラインの混流率をあげる
- 特に、①については上位システムの設計担当であるトヨタ自動車(株)のご協力により車両搭載検討の段階からインバータの統合を始め、配策や構造について連絡会などを繰り返すことで後戻りすることなく進めることができた。本稿ではそのコンセプトと方策・課題について紹介する(図1)。

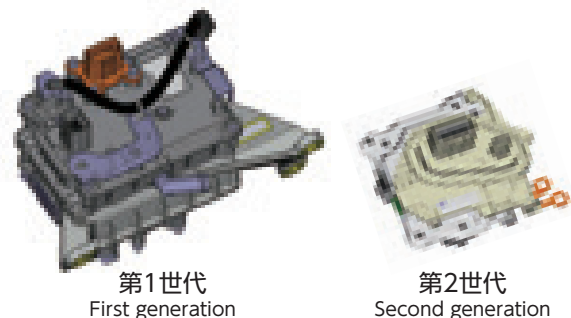


図1 H/Pインバータ新旧外観
Fig.1 Comparison of old and new appearance

2. 水素循環ポンプ用インバータの役割

FCシステムでは、燃料電池内で水素と酸素を反応させ電気エネルギーを取り出すが、その際に未反応であった水素ガスを再度燃料電池内へ循環するのがH/Pであり、そのポンプを回すモータを駆動するのがインバータである。

H/P用インバータは、FCEV車両の高圧バッテリー(300V系)の直流電源をスイッチング素子により交流に変換し、モータを駆動している(図2)。

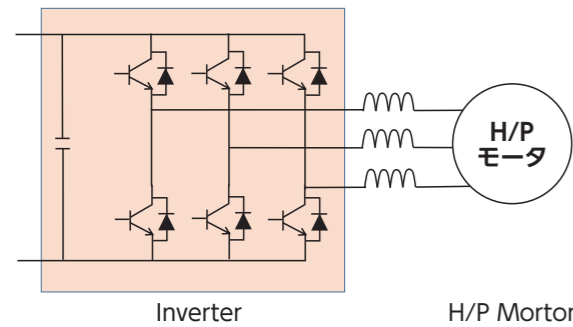


図2 インバータブロック図
Fig.2 Circuit block Diagram

3. 開発のねらい

今回の開発において、トヨタ自動車(株)の開発コンセプトによりFC関連ユニットをFCPC(FC車両のパワーユニット)ケースの中に集約し小型化を図ることが検討されたため、H/P用インバータもFCPCケース内に搭載されることで個別筐体のコスト低減が可能となった(図3)。

H/P用インバータは電圧範囲やLIN通信(車両ネットワーク通信規格)等の基本機能を含めた仕様がほぼ同じである空調用電動コンプレッサインバータをベースに開発を進めた。これは空調用電動コンプレッサインバータが既にHEV車向けで量産されており信頼性が高いことや、使用する電子部品や生産設備の共通化によるコストポテンシャルが高いと考えたからである。

さらに今回の開発ではFCEV車両特有の現象であるH/P内部の水分凍結時においても起動できる暖機制御など、機能面での新規開発要素も盛り込んでいる。

ここではコスト低減について主軸となった2つの開発コンセプトを紹介する。

- 1) 筐体レス、コネクタとカバー一体化による部品低減
- 2) 部品共用率、生産ライン共用率の向上

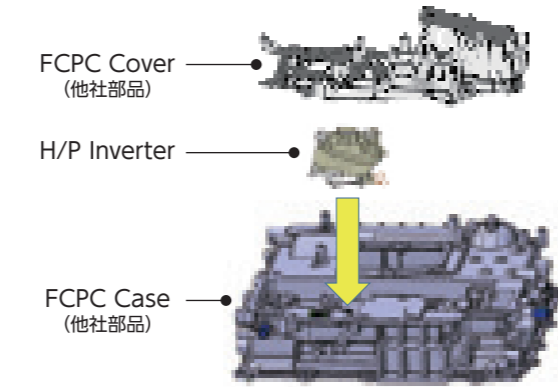


図3 FCPCケースへの搭載
Fig.3 Mount in FCPC case

4. 方策と課題

1) 筐体レス、コネクタとカバー一体化による部品低減

FCPCケースに搭載されることにより筐体(製品を収納する容器)は不要となったが、高圧バッテリーからの電源入力、H/Pモータへの出力そして上位システムとの通信線を結合するコネクタと、FCPCケースの開口部を塞ぐカバーとしての機能は必要であることから、これらを一体化・機能統合することで部品点数の削減を行うこととした。

これは空調用電動コンプレッサでコネクタとカバーを樹脂で一体化するために採用されていた技術を活用し、樹脂の成型時に複数の金属端子を組み込んだものを層状に重ね結合することによりカバーの役割を持たせ、このカバーから突出した端子を電子基板へ直接はんだ結合するというものである(図4)(図5)。

カバーの構成は、外部と結合するコネクタ形状を持つ上部カバー(Cover Upper)、電子基板へはんだ結合する端子を突出させた下部カバー(Cover Lower)、

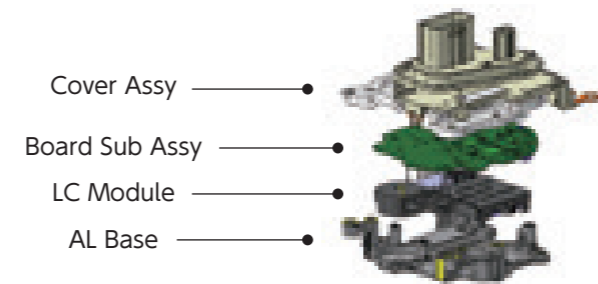


図4 H/Pインバータの部品構成
Fig.4 Structure of H/P Inverter

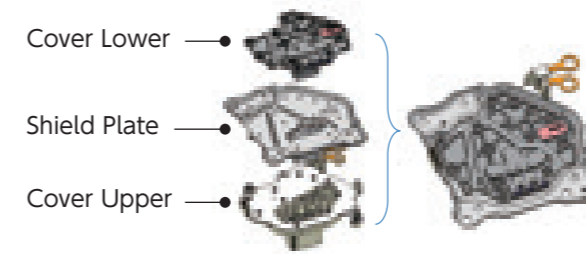


図5 カバーの構成部品
Fig.5 Structure of Cover

電波遮蔽用の鋼板(Shield Plate)の3部品で構成され、上下のカバー内には通電のための端子がインサート(樹脂の成型時に一体成型)されている(図5)。

上下のカバーは電波遮蔽用鋼板をサンドイッチ状に挟み込んだ後、貫通した樹脂のピン先端を熱かきめ結合(図6)することで一体化され、強固な剛性を得る。

熱かきめ結合はリベットやねじなどの結合部品を使わないためスペースや重量で有利であり、さらに点で固定する構造であることから、面で固定する接着剤などと比較して樹脂や金属などの異種材料同士の線膨張率の違いによる熱変形を緩和しやすいことから採用した。

技術的課題としては、カバー上面のコネクタを挿抜する際の荷重がカバー下の電子基板(図4ではBoard Sub Assy)に悪影響を与えないようカバーの上下方向の剛性を高くし、端子形状や配置により荷重を分散させること、そしてカバー内部の高電圧端子間の絶縁性を確保することである。

2) 部品共用率、生産ライン共用率の向上

電子部品の共用率を上げるため、トヨタ自動車(株)と協業で上位FCユニットを含めての熟成立性やEMC

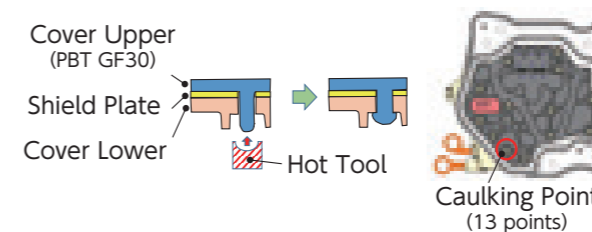
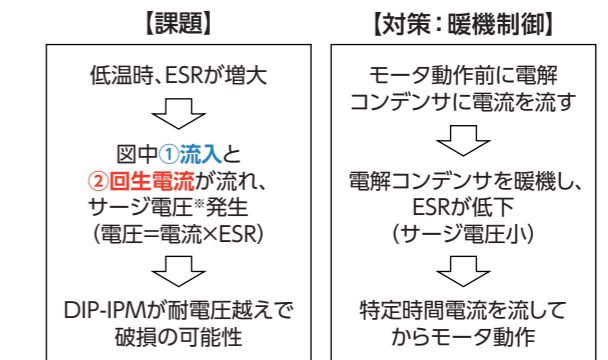


図6 熱かきめ
Fig.6 Thermal Caulking

(電磁気雑音)抑制等の課題に取り組み、シミュレーションと実測の整合性を確認、放熱構造や制御方法の精度をあげることで電子部品の種類や配置など変更箇所を最小限に抑えることができた。

例えば、低温時には電解コンデンサの内部抵抗が大きくなるが、暖機制御を行うことでこれを小さくし、スイッチング素子の耐電圧を超えないように電流制御することにより使用範囲を広げることができた(図7)。

また、端子の配置などは新規部品であるカバーで調整を行い、さらに既存生産ラインの装置サイズに合わせるためにSE(生産要件を初期設計段階から図面に織り込む活動)を繰り返し実施し、投影サイズの変更や



*サージ電圧…瞬間的に発生する大電圧

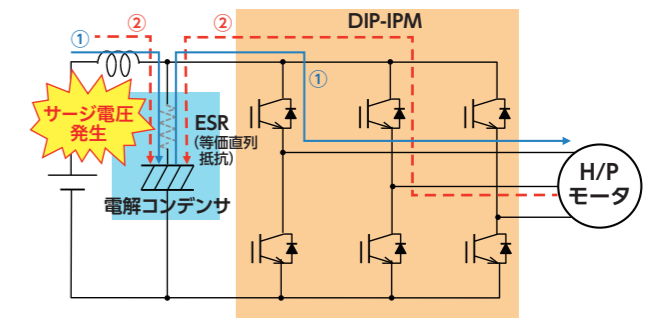


図7 H/Pインバータ 暖機制御
Fig.7 H/P inverter warm-up control

位置決め部位の形状など細部のサイズ調整を行うことで生産ラインの共用率を上げることができた。

5. まとめと結果

トヨタ自動車(株)の第2世代FCEV車MIRAI向け水素循環ポンプ用インバータを開発した。

システムとしての機能(筐体機能)の集約と、製品と

しての部品の集約(コネクタとカバーの一体化)によりコストは当初の目標を達成することができた(図8)。

(FCPCケースへ搭載することにより上位システムおよびFCPCケースでコスト増した部分を欄外点線で示している)

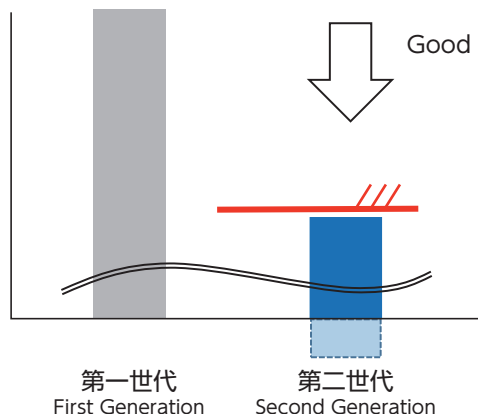


図8 H/Pインバータ コスト比較
Fig.8 Comparison of Cost

電気部品の共用率を上げたことにより、電子部品実装およびAssy生産ラインにおける設備共用率(混流率)も上げることができた。

インバータはモータを駆動するために必要な製品であり、モータと一体化する考え方や他の電源と組み合わせるなど車両のシステムによって様々な形態が考えられるが、今後も常にお客様の視点に立ってフレキシブルに開発を進めていきたい。

なお、今回のMIRAIに際してはH/P用インバータとほぼ同形状のインバータを「冷却系ウォーターポンプ用インバータ」としても採用していただいている。

最後に本開発にあたり、トヨタ自動車(株)、当社エレクトロニクス事業部をはじめとする社内外の関係部署の方々には多大なご尽力・ご協力をいただいたことを深く感謝する。

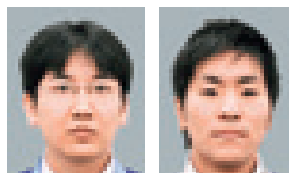
参考文献

- ・経済産業省 ニュースリリース
- ・トヨタ自動車(株) ホームページ
- ・豊田自動織機技報 No.66 2015-10

著者紹介



小栗 孝司 伊藤 健児 吉田 幹雄 伊藤 高幸



川島 隆 成瀬 拓也

開発の経緯と開発者の思い

今回の開発ではコストの大幅な低減がテーマとなりましたが、開発初期の段階から筐体を他ユニットと統合するなどの車両およびシステム全体としてのコンセプトが明確になり、迷うことなく進めることができた事例と考えています。

今後もさらなる小型化・効率化や様々なお客様のニーズに合わせた製品を開発することにより、FCEVのさらなる普及に貢献していきたいと思えます。

最後に、本製品の開発、生産にあたり多大なご指導・ご協力を頂きました社内関係者およびトヨタ自動車(株)の皆様へ深く感謝の意を表します。