

BEV向け5in1_ESUの開発

Development of 5-in-1 ESU for BEV

津田 晋佑^{*1} 古野間 高顕^{*1} 田中 優^{*1} 爲永 陽樹^{*1}
 Shinsuke Tsuda Takaaki Konomi Suguru Tanaka Haruki Tamenaga

*1 エレクトロニクス事業部 技術部

要旨

近年の環境対応や燃料高騰による省エネルギー要求の高まりから、BEV(電気自動車)/HEV(ハイブリッド車)/PHEV(プラグインハイブリッド車)分野の市場拡大は著しいものがある。当社は電動車両に必要な、電圧変換機能を担う製品の開発を通じて、低炭素社会への貢献を目指している。

今回、トヨタ自動車(株)のBEV展開車種拡大に対応する、統合電源ユニット(ESU)を開発したので、その概要について紹介する。

キーワード: 一体化ユニット、BEV専用ユニット、車載充電器、DCDCコンバータ

Abstract

In recent years, the market for BEV, HEV, and PHEV has seen significant growth due to increasing demands for energy efficiency in response to environmental considerations and rising fuel costs. Our company aims to contribute to a low-carbon society through the development of products responsible for voltage conversion functions, which are essential for electric vehicles.

This time, we have developed an integrated power unit (ESU) to support Toyota Motor Corporation's expansion of BEV models. Here, we introduce an overview of this development.

Keywords: Integrated Unit, BEV Dedicated Unit, Onboard Charger, DC-DC Converter

1 はじめに

2050年のカーボンニュートラル実現のため、電動車の急速な拡充が自動車メーカーに求められている。

トヨタ自動車(株)は2025年からBEV(電気自動車)販売を本格化し、2030年までに30車種のBEVを展開、グローバル販売で年間350万台、レクサスブランドも同年までに、欧州、北米、中国でBEV100%を目指すと発表している。

グローバル展開には、電力事情の異なる幅広い国・地域における複数の送電方式への対応や、北米で標準化されている充電規格NACS(North American Charging Standard)への対応が必要となる。また、昨今では充電時間短縮のための高出力化のニーズも高まっており、製品にはこれらの多様な要求への対応が求められている。

今回、各種充電機能、給電機能、電力分配機能を一体化した基幹ユニット「Electricity Supply Unit」(ESU)を開発した。また、本製品は上記グローバル対応や高出力ニーズに対応するため全6バリエーションを同時開発している。本製品の概要と特長について紹介する。

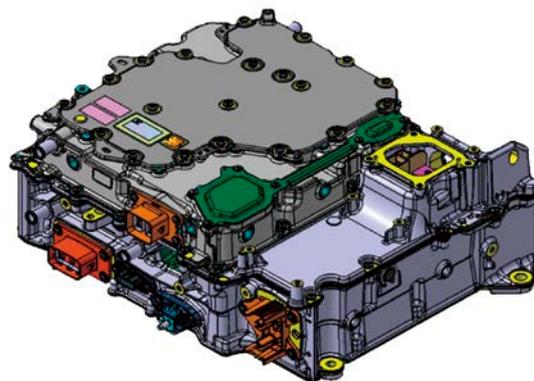


図1 ESU_22kW外観
 Fig.1 The external appearance of ESU_22kW

2 製品の特長

製品の主要な特長は、下記3点である。

- ①1ユニットに5機能を集約
- ②全6バリエーションの同時開発
- ③設計共通化による省工数・同一ラインによる混流生産

2.1 1ユニットに5機能を集約

下記5機能を実装しており、従来機種と比較してほぼ同体格で各機能のスペックアップを実現している。

AC充電機能は、従来同等の7kW出力と約1.5倍の11kW出力を設定している。また、Add-ON充電器を追加搭載することにより22kW出力が可

能となる。DC充電機能については、お客様の繰り返し急速充電のニーズに対して、水冷部を適切に配置し、DCリレーを冷却することにより対応した。AC給電機能については、新規回路方式の採用によりAC充電器を双方向化し、素子数同等での機能追加を実現している(3.1参照)。

- ・AC充電:家庭用の交流電圧を直流電圧に変換し、高圧バッテリーを充電
- ・DC充電:急速充電器の直流電圧で、高圧バッテリーを充電
- ・補機充電:高圧バッテリーの直流電圧を降圧し、補機用バッテリーを充電
- ・AC給電:高圧バッテリーの直流電圧を交流電圧に変換し、家庭用電子機器類へ供給
- ・PDU:高圧電力を分配

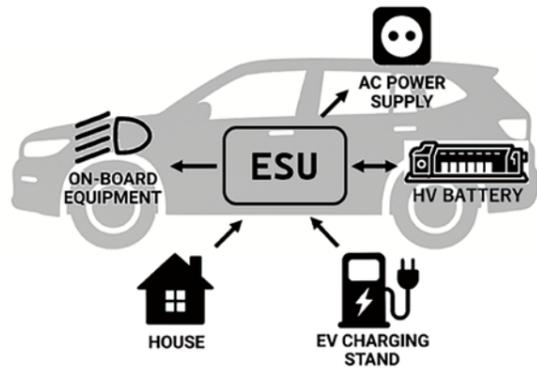


図2 システム図
Fig.2 System Diagram

2.2 全6バリエーションの同時開発

BEV展開車種の拡大に対応するため、各国のインフラに適合するバリエーションを同時開発した(図3)。

また、新充電規格のNACSにも対応、電力分岐部分をASSY内に取り込むことにより、車両側での配線を不要としている。

さらに、お客様の高出力ニーズに対応するためAdd-ON設定、最大出力22kWまでの対応を可能としている。

項目	従来品	開発品					
		1	2	3	4	5	6
体格	300×325×200	358×419×130				358×419×196	
AC充電	単相 7kW	単相 11kW	単相 11kW	単相 11kW	3相 11kW	3相 22kW	開発中
充電規格	CCS	CHA deMO	CCS	NACS	CCS	CCS	CCS
DC充電	415A	415A※繰り返し充電可能					
AC給電	無し	室内コンセント:~1.5kW級 外部給電:~7.2kW級					
補機充電	150A	210A					

図3 仕様一覧
Fig.3 Specifications List

2.3 設計共通化による省工数・同一ラインによる混流生産

単相および三相交流に対応可能な共通回路構成を開発(3.2参照)。また、車両搭載時の占有面積、車両締結部の配置、コネクタや冷却配管といったインターフェース類の配置も共通として設計している。高出力に対応するバリエーションについては、充電器部分をAdd-ONし並列動作させることにより対応(3.3参照)。

これらの設計共通化により、全バリエーションを同一ラインで生産可能とし、フレキシブルな生産体制を実現、BEV台数変動への対応を可能とした。

3 新規技術の概要

3.1 次世代充電器回路方式

BEVへの大容量AC電源標準搭載のニーズの高まりを受け、交流電圧(系統電圧、室内コンセント電圧)と直流電圧(高圧バッテリー)を双方向で電力変換可能とする双方向充電器を採用した。当社従来BEV向け充電器は、単方向仕様であるため、開発品では主回路構成を大きく見直した。

充電器主回路は、AC入力フィルタ、PFC(力率改善回路)、DCDC、DC出力フィルタから構成される(図4)。従来品のDCDC主回路方式は、低損失動作を特徴とするフェーズシフト方式を採用している。同方式は、逆変換動作の際、過渡動作時高いサージ電圧が発生する特徴をもち、DCDC2次側素子の高耐圧化が必要となり、体格面・コスト面に課題が残る。

上記課題を解決する回路方式として、CLLLC共振方式が知られているが、次世代BEV高圧バッテリーの広い電圧範囲に対しては、素子スイッチング損失が大きくなる電圧(ZVS(ゼロボルトスイッチング)不可)領域が存在し、充電効率性能に課題があった(図5)。

これらの課題を解決すべく、開発品では、DAB(Dual Active Bridge)方式を採用した。同方式は、フェーズシフト方式で必要となるサージ抑制用還流ダイオード、2次側平滑コイルを削減することができ、トランス・共振コイルを一体化可能。同方式は、動作原理的に低サージが特徴であり、2次側素子高耐圧化を必要としない。体格・コスト面

で有利であるとともに、広い高圧バッテリー電圧範囲で、ゼロボルトスイッチング、すなわち低損失動作(高効率)を特徴としており、開発品仕様にも最適な回路方式と判断し、採用に至った(図6)。

DAB方式採用の結果、部品コストでAC充電器部分として、従来製品比30%低減、体格で18%低減に成功した(図7)。また、充電効率目標94.5%を達成し車両充電システム目標を達成した。

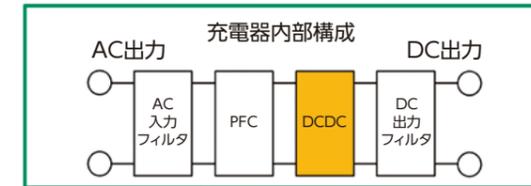


図4 充電器内部構成
Fig.4 Internal Configuration of the Charger

	フェーズシフト方式 (従来方式)	CLLLC共振方式	DAB方式
回路方式			
サージ	-	○ 2次側 高耐圧不要	○ 2次側 高耐圧不要
リップル	-	△ 出力コンデンサUp	△ 出力コンデンサUp
効率(ZVS領域)	-	△ 一部範囲でZVS不可	○ 全領域ZVS可能
C 部品点数	(双方向:リレー、MOS追加)	△ 共振コイル:トランス一体化 共振コンデンサ必要	○ 共振コイル:トランス一体化

図5 回路方式比較
Fig.5 Circuit Method Comparison

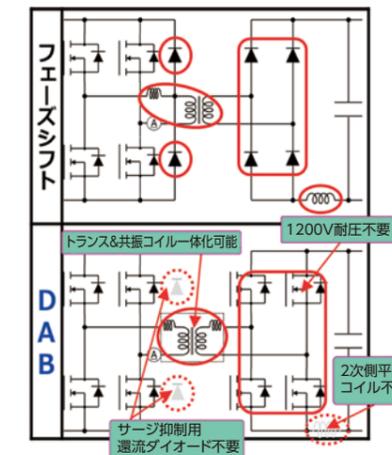


図6 DAB回路特長
Fig.6 DAB Circuit Features

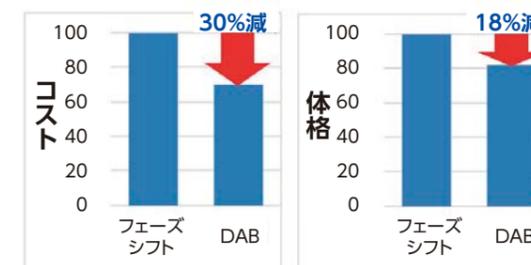


図7 コスト・体格低減効果
Fig.7 Cost and Size Reduction Effect

3.2 単相および三相交流に対応した共通回路構成

開発品は、従来品の単相7kW仕様、北米仕向単相大電力仕様、欧州仕向三相仕様(最大22kW出力)が加わり、充電仕様のバリエーションが大幅に増えた。そのため、従来品1品番に対して、開発品は全6品番での対応が必要となった。

開発品は、入力電圧センサにより入力電圧が単相か三相かを識別し、リレー操作を通じて動作モードを切り替えることにより、回路構成の統一を可能としている。また、単相、三相仕様の両方に対応できる部品仕様を検討し、性能面の許す限り部品共通化を推進した。その結果、開発品は部品共有化率を90%以上に高めることに成功した。

図8に単相モード時の回路図、図9に三相モード時の回路図を示す。単相入力時には、トータムポール型インターリーブ回路方式となり、単相入力下での高効率なPFC動作を可能にする。三相入力時には、2レベル電圧形三相インバータ回路方式となり、三相入力下でのPFC動作を実現している。制御方式はモータ制御分野でも広く使用されるベクトル制御をベースとした電流制御法を新たに開発した。

図10に示す通り、交流電源電圧ベクトルを基準に、最適制御された電圧ベクトルを三相インバータ部で生成することで充電電力伝送かつ高効率動作を可能としている。

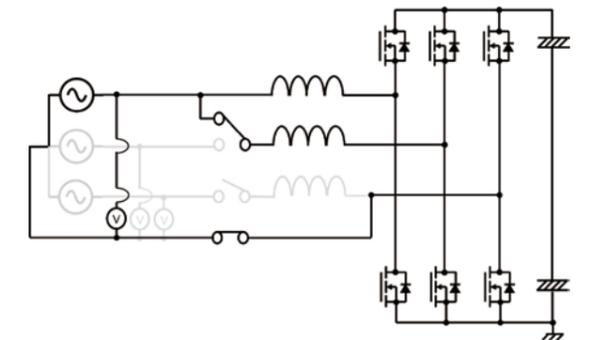


図8 トータムポール型インターリーブ回路方式
Fig.8 Totem-Pole Interleaved Circuit Method

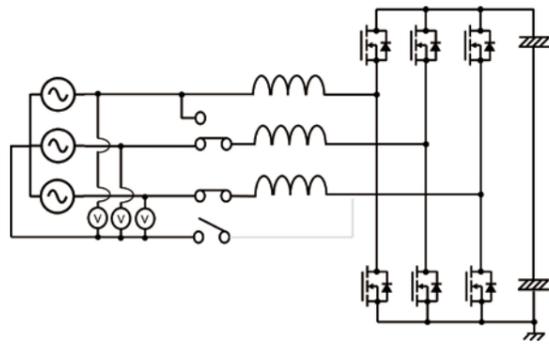


図9 2レベル電圧形三相インバータ回路方式
Fig.9 Two-Level Voltage-Type Three-Phase Inverter Circuit Method

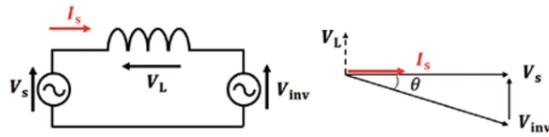


図10 三相回路の1相あたりの等価回路とベクトル図
Fig.10 Equivalent Circuit and Vector Diagram per Phase of Three-Phase Circuit

3.3 体格共通化

ESUは充電仕様の单相7kWと单相11kWの2バリエーションをベース設計のStandard充電器とし、車両搭載時の占有面積を同等、車両締結部の配置、コネクタや冷却配管といったインターフェース類の配置を共通として設計した。内部構成は全バリエーション共通で、1階部分に「AC充電フィルタ部」「DCDC」「DCリレー駆動」の3枚の基板を配置、2階部分にAC充電のメイン部、DCリレー、PDUを配置している。各部の発熱は、1階と2階の間に配置した冷却水路へ放熱する。

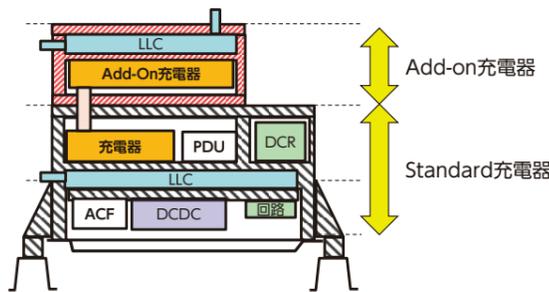


図11 内部構成
Fig.11 Internal Configuration

体格共通のため11kW仕様は7kWよりも発熱密度が大きくなり、必然的に冷却の課題が生じることに加え、本開発では、低コスト化をねらい従来の充電器で用いてきたパワーモジュール(無駄な

配線スペースを削減可能で小型化に寄与)の採用を見送り、ディスクリートのパワー素子を用いることを方針としたため、必要な放熱面積が増え、パワー素子の配置と放熱は設計上の大きな課題となった。

この課題を解決するため、11kW仕様ではPFC回路の素子冷却用として「素子縦置き構造」を採用した。アルミ押し出しで製作するヒートシンクの側面にパワー素子を配置し、ヒートシンクを経由してケースへ放熱する構造である。部品同士の接触面にシリコングリスを介在させ熱抵抗を改善し、高密度の素子実装と放熱を両立させている。

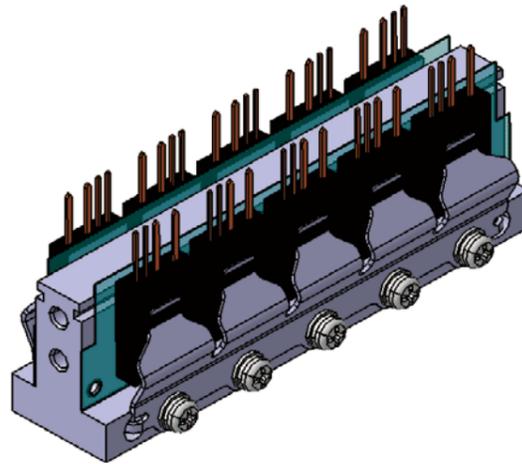


図12 縦置き構造
Fig.12 Vertical Placement Structure

充電器のメイントランスやPFCコイルといった磁気部品はパワー素子と同様に発熱が大きく、放熱を十分に考慮する必要がある。11kW仕様ではケースにバスタブ構造を設け、そのなかに磁気部品を配置し、放熱ポットングを充填して高放熱構造としている。また、この放熱ポットングは熱硬化炉による生産時のCO₂排出を抑制する目的で、常温硬化が可能な物を採用し、最小限の加熱に留めている。

高出力バリエーションは、Standard充電器の「3階部分」としてAdd-ON充電器を搭載する構造であり、ESUユニットとしての体積は増加するが、占有面積はAdd-ONを追加しても同等となるのが特徴である。Add-ON専用の冷却水路がユニット最上面に設けてあり、Standardと配管を接続することで、ESUとして連続した一つの冷却水路となる。

北米仕向のNACS仕様は、ACとDCが共通のラインで送電されるため、車両のどこかに電力を分岐させる機構が必要となる。ESUのDCリレー上

部のスペースを活用し、追加のコネクタおよび端子台を配置し、Global仕様から構成を大きく変えることなくESU ASSY内にAC分岐機構を構成した。これにより機器外の分岐機構が不要となり、車両の搭載成立性に貢献することができた。

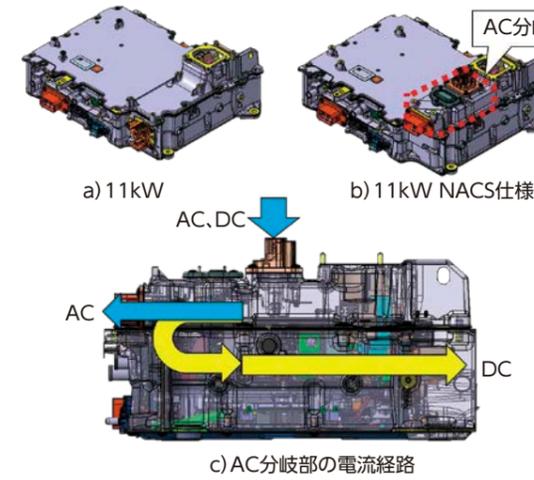


図13 AC分岐箇所
Fig.13 AC Branch Point

4 まとめ

本製品では、5機能集約という新規の開発が必要であった。また、6バリエーションを同時開発するという試みも初であった。これらの新規要素に加えて、製品の競争力強化のために、機能面強化と工程自由度の向上も追求した。

AC充電器の双方向化・单相/三相充電の回路構成の共通化、構造部品類の共通化などの各種新規技術に取り組み、従来製品と同等の体格にスペックアップした各種機能を織り込み、同一ラインによる混流生産を実現することができた。

結果、体積は26%、重量は13%の小型軽量化を実現している(单相11kWで出力密度を考慮し算出)。

最後に、本開発にあたり多大なご指導・ご協力を頂きましたトヨタ自動車(株)をはじめとする社内外の関係部署の皆様へ深く感謝いたします。

■著者紹介■



開発の経緯と開発者の思い

拡大する電動車両市場に対応するにあたり、多様なお客様のニーズに応える提案力がサプライヤーに求められる時代だと考えています。

そのようななか、今回の5in1_ESUの全6バリエーション同時開発は、非常にやりがいのある製品開発であり、挑戦的な取り組みでした。また、BEVの生産台数変動に柔軟に対応するため、混流ラインでの対応が必要不可欠であったことから、各部署を横断する強力な開発体制が重要でした。

開発初期には、関連部署との調整や仕様の整合性確保について不安を抱いていましたが、すべての関係者が目標達成に向けて協力し合い、無事に量産を迎えることができました。この成果は、エレクトロニクス事業部の総力を結集できたおかげだと感謝しています。

今後も電動車両の進化を支えるべく、付加価値の高い製品づくりを目指し、お客様に満足いただける製品開発に努めていきたいと考えています。