

bZ4X向け6.6kW車載充電器・DC-DCコンバーター一体ユニットの開発 Development of Integrated Unit with 6.6kW On-board Charger and DC-DC Converter for bZ4X

中村 太^{*1} 中坪 勇人^{*1}

Futoshi Nakamura Hayato Nakatsubo

*1 エレクトロニクス事業部 技術部

要旨

トヨタ自動車(株)は環境対応車としてBEV(電気自動車)専用プラットフォームを採用した電気自動車bZ4Xを発表した。

今回bZ4X向けに車載充電器とDC-DCコンバーターを一体化した小型軽量化ユニットを開発したので、概要について紹介する。

キーワード:bZ4X、一体化ユニット、BEV専用ユニット、車載充電器、小型、軽量

Abstract

Toyota Motor Corporation announced the electric vehicle bZ4X that uses the BEV(Battery Electric Vehicle)-dedicated platform as an environmentally friendly vehicle. This time, we have developed a downsizing and lightweight unit for bZ4X that integrates on-board charger with DC-DC converter, so introduce an overview.

Keywords: bZ4X, integrated unit, BEV-dedicated unit, on-board charger, downsizing, lightweight

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2021年末に2030年までに30車種のBEV(Battery Electric Vehicle)を展開し、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%を目指すを発表。また、BEV専用プラットフォームを採用したbZシリーズの第一弾としてbZ4Xを発表した。

従来のHEV(Hybrid Electric Vehicle)、PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)に対し、BEVでは長距離の電動走行を実現するため走行用高圧バッテリー容量が飛躍的に大きくなり、それに伴う搭載空間が必要となる。広々とした車室内空間を確保するために、小型軽量化された車載部品の開発が求められる。

今回、bZ4Xに採用された車載充電器^{*1}とDC-DCコンバーター^{*2}を一体化した小型軽量化ユニットを開発したので紹介する。本製品はESU(Electricity Supply Unit)^{*3}に搭載された基幹ユニットである。

*1 家庭用の交流電源を直流電圧に変換し、走行用高圧バッテリーを充電するユニット

*2 走行用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するユニット

*3 充電機能と電力分配機能を集約した機器



写真1 bZ4X^[1]
Photo1 bZ4X



参考文献^[1]

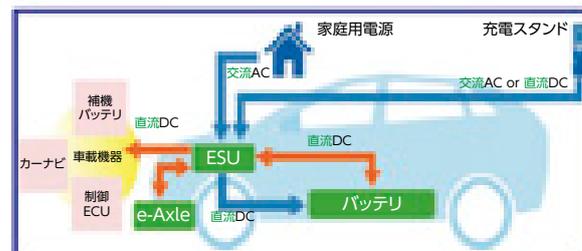


図1 充電システム概要
Fig.1 system overview

2 製品の特長

本製品では車載充電器の小型化を実現するとともにDC-DCコンバーターを一体化することにより、従来と比べて体積で23%、重量で17%の小型軽量化を実現している。

車載充電器の特徴としては各国のインフラ(日米欧中及びその他地域)に適合させるため、AC100V~240Vの入力電圧に対応可能な設計としている。

表1 車載充電器仕様
Table1 On-board charger specification

入力電圧	86~264Vrms
出力電圧	170~416V
最大入力電流	32.9Arms
最大電力	6.6kW
冷却方法	水冷
性能保証温度範囲	-40~73℃

また、充電効率を向上するためSub-DC-DCコンバーターを採用している。充電中に補機用バッテリーから電力を供給する必要があるが、補機用バッテリーをDC-DCコンバーターで充電すると、充電に関係がない機器などが動作し充電効率が低下する。Sub-DC-DCコンバーターに補機用バッテリーを充電させることにより、これらの機器を停止させた状態で充電し、高効率を実現している。

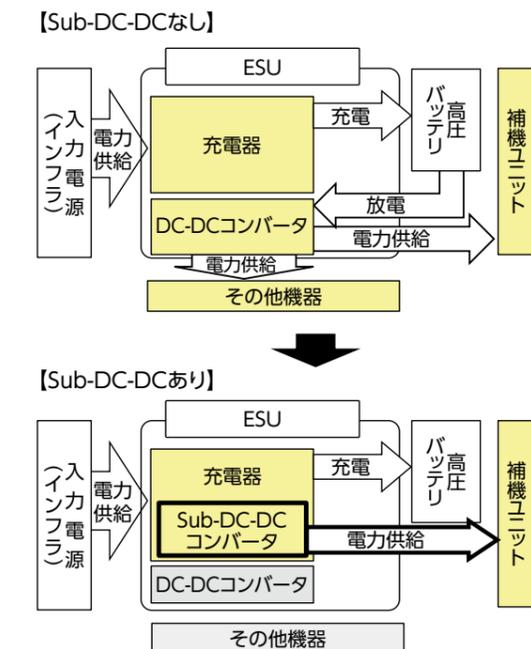


図2 充電時のシステム効率向上
Fig.2 Improved system efficiency during charging

3 小型化

フロントコンパートメント(従来のエンジンルームに相当)の空間に搭載するため、以下5つの手法を用い小型化を図った。

1) ケース内部水路の採用による構成部品の立体配置

従来の車載充電器及び、DC-DCコンバーターでは電子部品を冷却するため、個別に冷却水路を形成していた。本製品では、ケース内部に水路を形成することで水路両面に部品を配置することを可能にした。これにより冷却水路及び、水路用部品を削減した。

冷却面を2面にしたことで、水路上面にはDC-DCコンバーターを配置、水路下面には車載充電器を配置した。また、電力が小さいSub-DC-DCコンバーターは水路が形成できないDC-DCコンバーター横のスペースに配置することで主要構成部品を無駄なく立体配置し、小型化を実現した。



図3 車載充電器・DC-DCコンバーター一体ユニット
Fig.3 Integrated unit with on-board charger and DC-DC converter

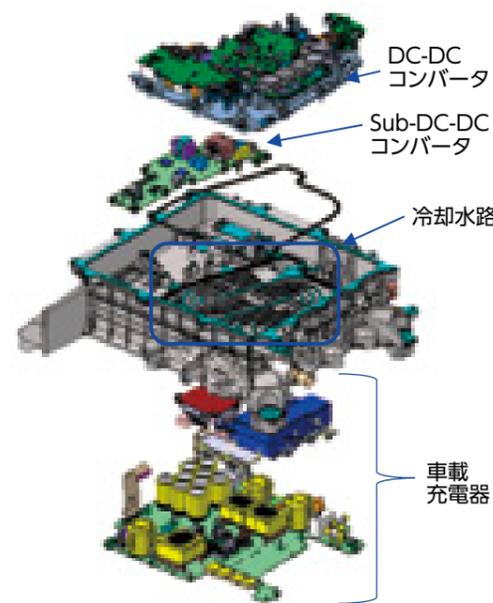


図4 展開図
Fig.4 deal drawing

一方で車載充電器とDC-DCコンバーターの水路を共通化することで、水路内上下に冷却フィンを形成することになり流路が複雑化する。これにより圧力損失が増大し、水路内にエア溜まりが発生しやすくなる。エア溜まりの発生は冷却性能を低下させるため望ましくない。また、ウォーターポンプにエアを巻き込む可能性があり、車両冷却水路系への影響が大きい。本開発では水路モデルを作成し、解析によりエア溜まりの発生箇所を把握することで、設計段階において水路及びフィン形状の作り込みを実現した。

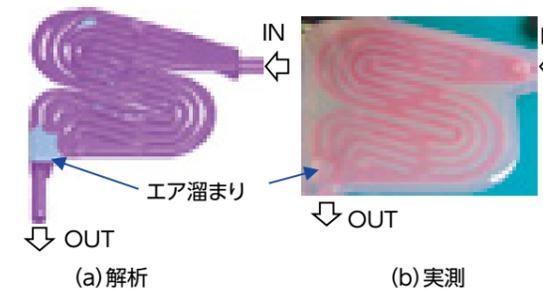


図5 冷却水路エア溜まり解析
Fig.5 Air pocket analysis of water passage

2) パワー回路シングル化による電子部品の削減

従来の車載充電器では3.3kWのパワー回路を平行接続し、出力を6.6kWに拡大している。本製品では小型化のためパワー回路をシングル化し、電子部品を削減した。

シングル化することにより、パワー回路部品は従来の2倍の電流を通電することになる。これにより電子部品に発生するサージ電圧と部品発熱が大きくなるのが課題となる。

サージ電圧に関しては、特に影響が大きい二次側の電力変換回路に使用されているSi(シリコン)ダイオードを高耐圧高速なSiC(シリコンカーバイド)ダイオードで置き換えることで対策した。

SiCダイオードは従来のSiダイオードと比較し、スイッチング時の逆電流が小さく、サージ電圧を抑えることができる。また、同じ理由で発生する損失も小さくなり発熱量を小さくすることができる。

部品発熱に関しては従来の放熱シートからギャップフィラに変更することで対策した。ギャップフィラとはペースト状の放熱材で、磁気部品のような巻線を使用する部品においては放熱面が拡大でき、非常に有効である。

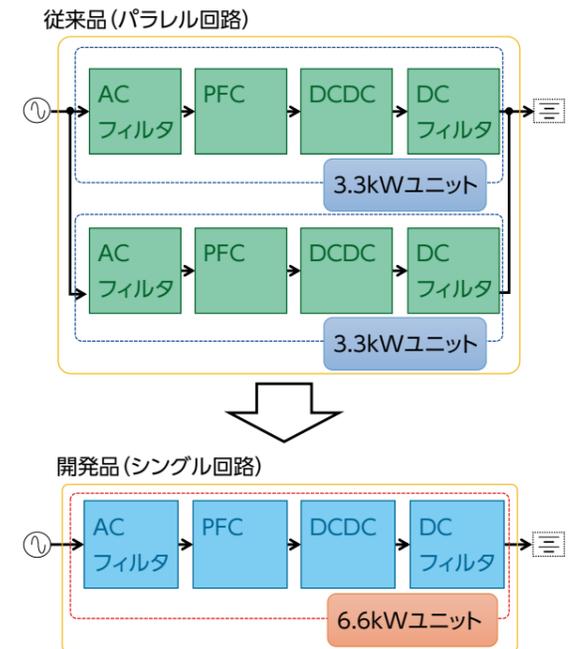


図6 充電器ユニット構成
Fig.6 On-board charger unit composition

3) トランス・共振コイル一体化構造による小型化

パワー回路の構成部品として、電力変換用のトランスとスイッチング損失低減用の共振コイルが使用されている。従来に対し、パワー回路をシングル化したことにより発熱が大きくなるため、これらの部品をバスタブ状のアルミケースに搭載し、放熱用のポッティングで充填することにより冷却性能を向上した。また、従来の開発ではトランス及び共振コイルをそれぞれ個別部品としていたのに対し、同一ケースに搭載することで不要な固定点や位置決めピン、搭載隙といったスペースを削減し、小型化している。

背反としてはトランスと共振コイルの距離が接近することにより、互いの発熱を相互に受熱するため発熱が増大する。課題の解決策としてケース底面の面積を拡大し、水路への放熱経路を改善した。拡大した面積は、近接する平滑電解コンデンサの実装方向を横置きから縦置きにすることにより確保し、ユニット全体として小型化を実現した。

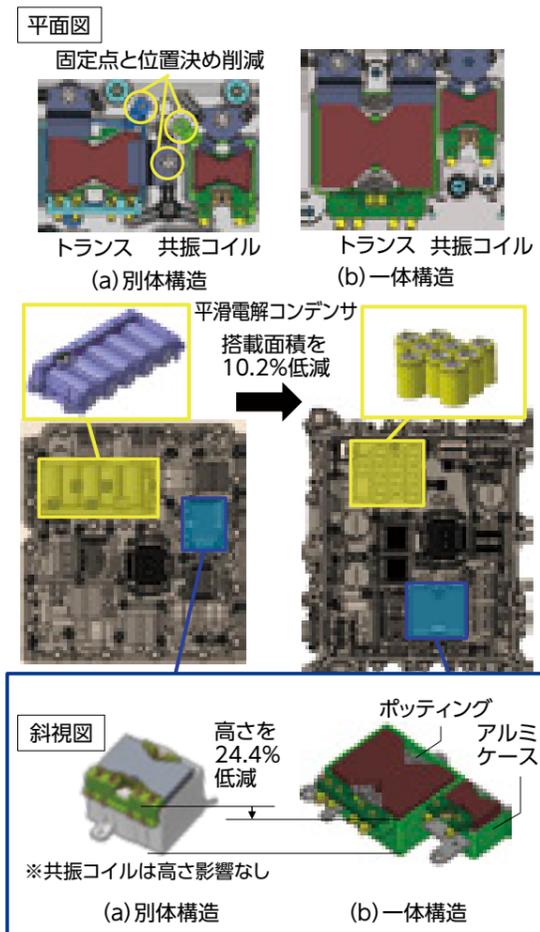


図7 トランス・共振コイル一体構造
Fig.7 Integrated Unit with Transformer and resonance coil

4) 内製制御ICの採用による部品点数の削減

従来の充電器では制御回路を面実装部品で構成している。本開発では制御回路部をIC化して小型化を実現した。

また、制御回路の中で他の充電器と共通化できる回路(停止ラッチ、Duty制御)をICに集約し、汎用的に使用できる内製制御ICを開発した。

IC化により部品点数を110点削減し、制御回路の基板面積を85%削減した。

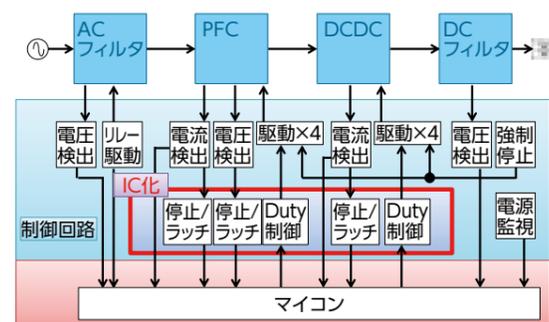


図8 制御回路ブロック図
Fig.8 Control circuit block diagram

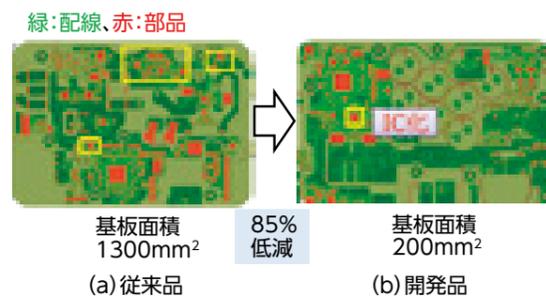


図9 内製制御IC
Fig.9 In-house production of IC

5) パワーモジュールの開発による体格低減

本開発では従来の車載充電器に引き続き内製のパワーモジュールを採用している。これにより、複数の電力変換用半導体素子を金属基板上に集積することで不要な配線スペースを削減でき、小型化することができる。半導体を集積することで、発熱密度が大きくなるが、放熱性の高い金属基板を用いることで発熱を抑制した。

パワー回路をシングル化するため、本開発では従来のパワーモジュールに対し、半導体素子上の配線を3本から4本にして許容電流を増やした。また、ワイヤボンディング^{*4}をステッチ化して素子上の接続点を1点から2点にすることで接続部に発生する接触抵抗を低減した。

配線数を増やすことで、ボンディングのスペースが圧迫される。ワイヤと部品の干渉を防ぐため、ボンディングツール^{*5}の軌跡をCAE (Computer Aided Engineering) で想定し、ワイヤ位置を見直した。これにより金属基板上のパターンを変更せずに配線数増加を実現した。

^{*4} 半導体素子と金属基板を電気的に接続する手法
^{*5} ワイヤの送り出し、部品との接続、カットを行う装置

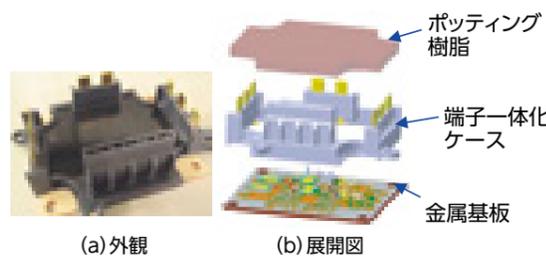


図10 モジュール外観と展開図
Fig.10 Power Module appearance, deal drawing

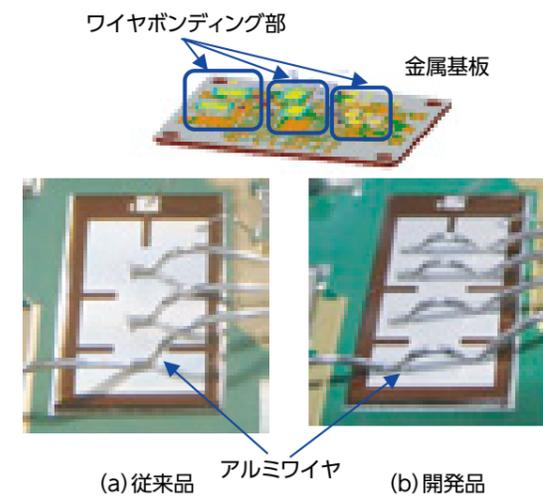


図11 ワイヤボンディング
Fig.11 Wire bonding

4 まとめ

今回はBEV専用ユニットの開発において、走行用高圧バッテリー容量確保のため小型化が必要であった。

ケース内部に水路を形成することで車載充電器とDC-DCコンバータを立体配置し、空間を効率的に活用した。また、充電器においては既存のパワー回路をシングル化することにより電子部品の削減をした。制御回路についても内製ICを開発し、面実装部品の使用点数を削減した。

小型化へ向けた開発により、従来と比べて体積で23%、重量で17%の小型軽量化を実現した。

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致します。

開発の経緯と開発者の思い

トヨタ自動車(株)からBEV専用プラットフォームを採用したbZシリーズの第一弾としてbZ4Xが発表されました。開発の初期段階では海外の競合他社を凌駕するユニットの開発をするため、連日の試行錯誤が続きました。そして最終的に辿り着いたのが、同一ケースに車載充電器とDC-DCコンバータを搭載する一体化案でした。近年、開発が短期化している中で、品質を確保しながら本案を成立させるのは非常に困難でしたが、それをやり切ることができたのは偏にエレクトロニクス事業部の総力を結集できた賜物だと感じています。

この先、電動車の発展のため、車載充電器およびDC-DCコンバータの小型化・高出力化を推進し、お客様に貢献できるように努めてまいります。

参考文献

[1]トヨタ自動車(株)ホームページ

著者紹介

