

次世代車載充電器 & DC-DCコンバータ

大宮佑貴*
Yuki Omiya

加藤正幸*
Masayuki Kato

青木浩一*
Koichi Aoki

勝元秀和*
Hidekazu Katsumoto

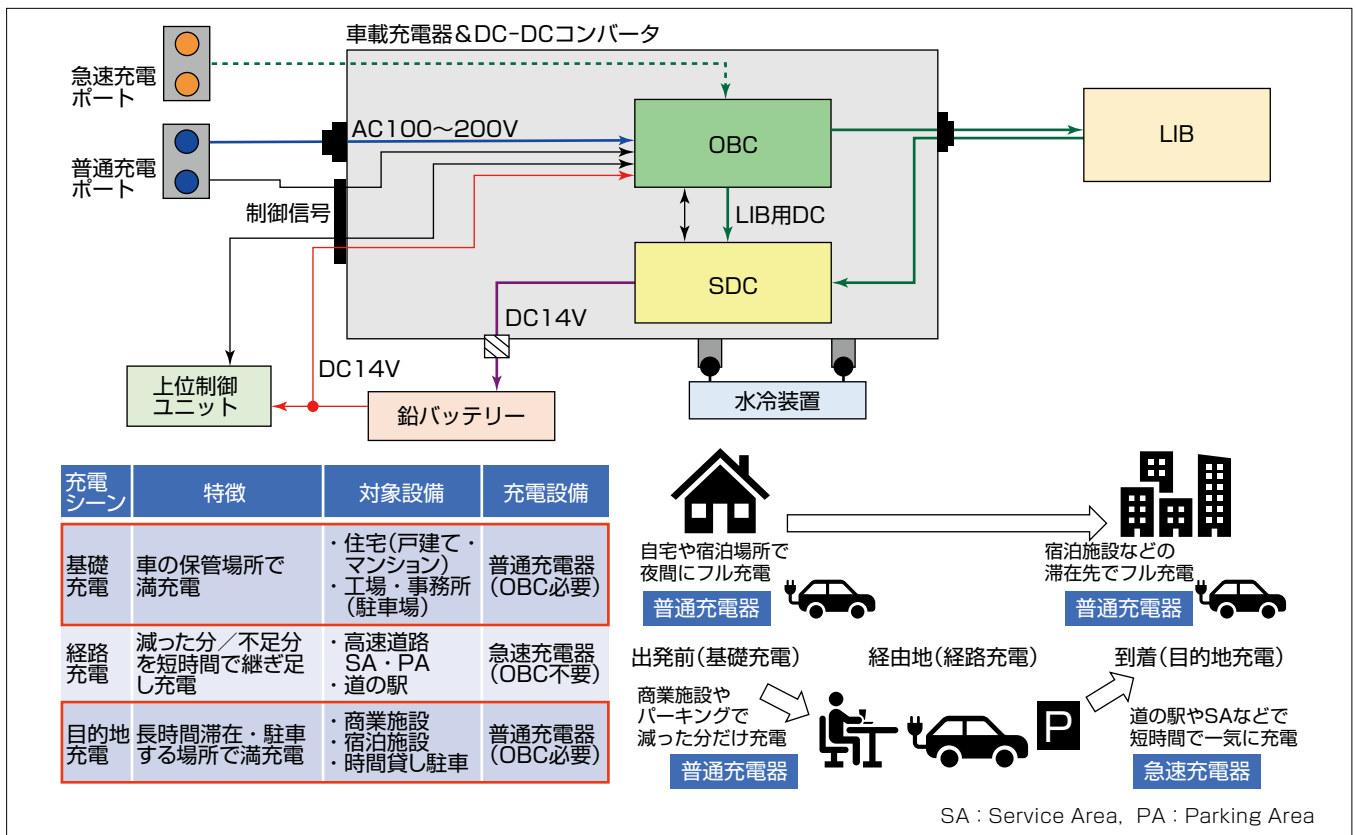
Next-generation Charger and DC-DC Converter Unit for Vehicles

要旨

現在普及が進んでいる電気自動車(EV: Electric Vehicle)やPHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)には、充電器、インバータ、バッテリーなど複数の補機が搭載されている。三菱電機では、2013年にPHEV向けに商用電源(AC)をDCに変換してLi-ion(リチウムイオン)バッテリー(LIB)の充電を行うOBC(On Board Charger)と、OBC又はLIBから供給されるDCを鉛バッテリーに電圧調整して充電を行う降圧DC-DCコンバータ(SDC: Step Down Converter)を一体化した車載充電器&DC-DCコンバータ(以下“充電器”という。)を量産化し、EV/PHEVの普及を通じて、温室効果ガスの排出量削減といった環境問題の解決に貢献してきた。

車両レイアウト性向上のための小型化と高出力化の両立

が求められている中、現在量産中の2G充電器に替わる次世代の製品として、出力電力を維持したまま製品サイズの低背化を実現し、機能安全ASIL(Automotive Safety Integrity Level) Cに対応した2.7G充電器を開発して2021年末から量産する。複数の自動車メーカーへ同時展開するために、充電器内のAC系統部と高電圧部を共通設計、車両とのインタフェース部をカスタム設計にして、開発工数の削減と共通部品の数量規模増による原価低減を図った。OBC部とSDC部を個別の筐体(きょうたい)で構成して結合する構造を取ることで、顧客ニーズに応じた形状変更を可能にした。また、急速充電に対応し、製品の付加価値を向上させた。機能安全面では、出力監視機能を実装することでASIL Cを担保する製品を実現した。



車載充電器&DC-DCコンバータの構成イメージと必要になるシチュエーション

車載充電器は、EV/PHEVに欠かすことのできない重要な補機の一つであり、自宅や外出先での充電に必要となる。当社では商用電源をDCに変換してLIBに充電するOBCと、OBC又はLIBから供給されるDCを鉛バッテリーに電圧調整して充電を行うSDCを一体化した製品を開発し、量産している。現行の2G充電器に対して低背化を実現し、機能安全ASIL Cに対応した2.7G充電器を開発して2021年末から量産する。

1. ま え が き

当社は、2013年PHEV向けに、商用電源からLIBの充電を行うOBCとLIBから供給されるDCを降圧変換して鉛バッテリーに充電を行うSDCを一体化した充電器を製品化して以来、**図1**に示すように3.3kW出力充電器の開発を進めて、EV/PHEVの普及に貢献してきた。

近年、充電器には車両レイアウト性向上のための小型化と高出力化が求められており、これらのニーズに対応した製品として2.7G充電器を開発した。

本稿では、2.7G充電器の特長や構造と適用した技術について述べる。

2. 充電器の構成と2.7G充電器の特長

2.7G充電器は、量産中の2G充電器と比較して製品サイズを約26%低背化し、質量を約20%削減した。また、性能面でもOBCの出力電圧範囲の拡大とSDCの出力電流向上を図っている。

2.1 充電器の構成

当社で量産している充電器は、**図2**に示すようにOBC部とSDC部で構成されている。OBC部では、AC-DCコンバータと絶縁型DC-DCコンバータによって商用電源をDCへ変換し、LIBとSDC部へ供給する。SDC部では、OBC部又はLIBから供給されるDCを降圧し、鉛バッテリーへ供給する。AC-DCコンバータやDC-DCコンバータには大型の磁性部品を使用しており、2G充電器では筐体内部に立体的に部品を配置する構造を取っている。

2.2 次世代の充電器に求められるニーズ

EV/PHEVは、OBC、SDC、バッテリー、インバータ、

電動コンプレッサなど複数の補機が搭載されている。各補機間は車両ハーネスで接続されており、冷却用の不凍液を流すパイプが張り巡らされていることから、車両を構成する補機の数が増えると、車両ハーネス及び冷却水パイプの接続が複雑化するとともに、コストが増加する。そのため、複数の補機が一体化した製品や、補機と接続インタフェース、水路パイプなどが一体化した製品の需要が大きい。車両レイアウト性の観点から小型・軽量化も求められている。また、車両に搭載されるLIBによってOBCに要求される出力電圧範囲が異なることや、鉛バッテリーに接続される補機の駆動電流によって供給必要な電流が異なるため、OBC出力電圧範囲が広くてSDC最大出力電流が大きい製品が求められる一方、機能安全面ではASIL Cが要求されている。

2.3 2.7G充電器の特長

2.2節で述べたニーズに対応するために開発した2.7G充電器は次の特長を持つ。

- (1) 2G充電器と同様にOBCとSDCを一体化し、冷却水路を挟み込む構造
- (2) 出力電力を維持したまま製品サイズを低背・軽量化
- (3) 主機能は共通設計、車両とのインタフェース部をカスタム設計
- (4) OBC出力上限を約14%拡大
- (5) SDCの最大出力電流を約50%向上
- (6) 急速充電に対応
- (7) 機能安全ASIL Cに対応

また、**図3**に示すように、2Gと比較して37.5mm低背化することで製品の小型・軽量化を実現した。2G充電器と2.7G充電器の仕様変更項目の比較を表1に示す。

OBC出力電圧の上限とSDC最大出力電流を拡大し、LIBや車両補機の構成の異なる様々な車両に対応できる仕様にした。また、主機能を共通設計、車両とのインタ

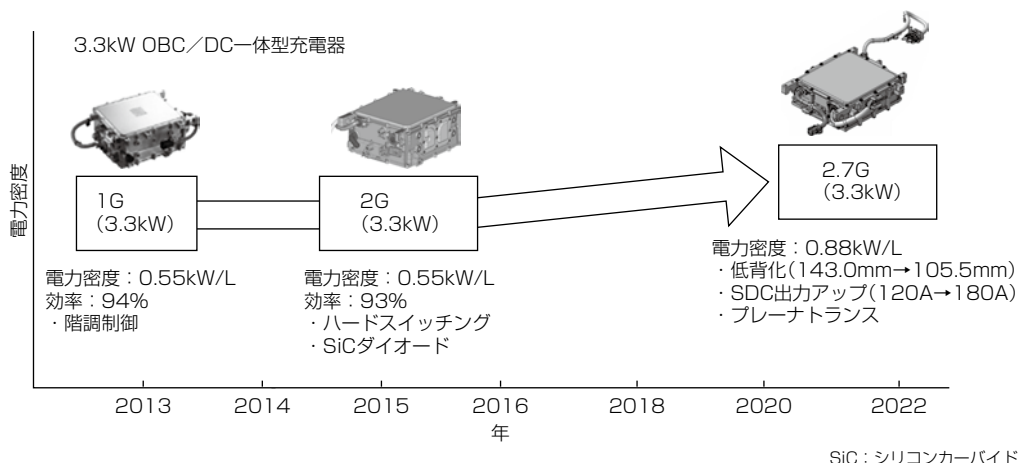


図1. 充電器開発ロードマップ

フェースに関連する部分をカスタム設計にして、複数の車両に展開するための工数を最小化した。自動車メーカーの要求に応じて急速充電に対応可能にすることで、製品とし

ての付加価値を向上させた。機能安全面では、ハードウェアでの出力監視機能を実装することでASIL Cを担保した。

3. 2.7G充電器での開発取組み

2章で述べた特長を実現するため、2.7G充電器では磁性部品を始めとする構成部品の小型化、内部構造の見直しによる冷却性能の向上などの様々な改良を行っている。次に、2.7G充電器の開発で検討・適用した技術の中からOBC部の小型化や共通設計と機能安全に焦点を当てて述べる。

3.1 磁性部品の小型化

製品の低背化実現に当たって、筐体サイズの小型化と同時に電力変換用の磁性部品も小型化する必要があった。小型化の対象になる部品には、OBC内部のAC-DCコンバータ内の力率改善回路や絶縁型DC-DCコンバータに使用されている入出力用共通モードチョークコイル、力率改善回路用コイル、メイントランス、平滑用コイル等があるが、特にメイントランスの高さ低減が大きな課題であった。従来の巻線型のままではトランスを所望のサイズまで低背化することが困難であったため、図4のようにトランスの構造を基板で巻線を構成するプレーナ構造にすることで0.41倍に低背化した。

同時にOBCの力率改善回路と絶縁型DC-DCコンバータの両回路の駆動周波数を2G充電器から1.5倍に上げることで、磁性部品の小型化を実現した。

3.2 部品配置と水路構造

3.1節で述べた駆動周波数の高周波化で、スイッチング損失増加によって部品の発熱量が増加するという課題があった。さらに、筐体小型化によって部品の発熱密度が増

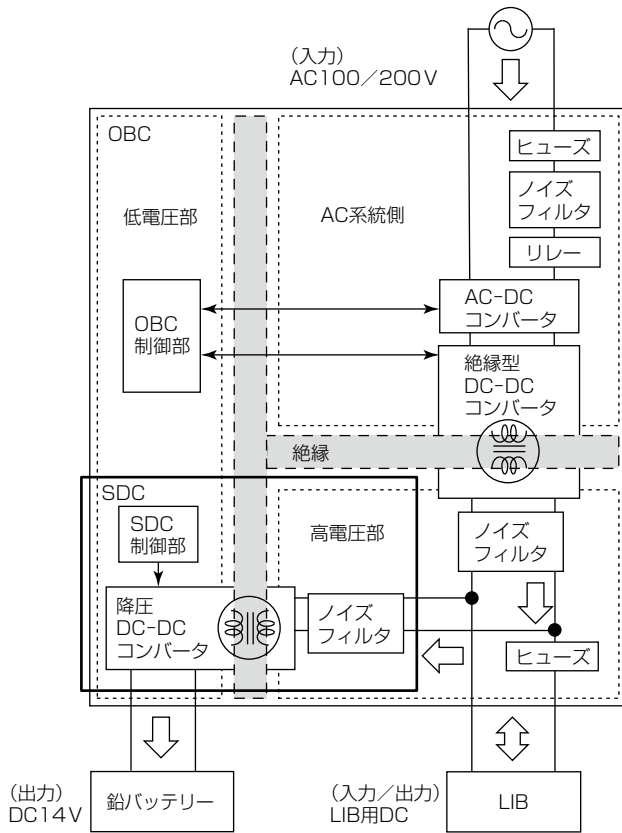
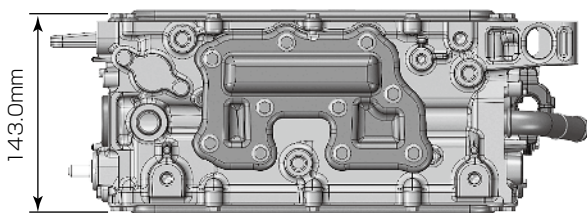
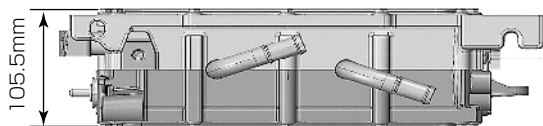


図2. 充電器の構成



(a) 2G充電器



(b) 2.7G充電器

図3. 充電器の外形比較

表1. 充電器の仕様変更項目比較

項目	2G充電器	2.7G充電器
OBC出力電圧(V)	200~370	出力上限を約14%拡大
SDC最大出力電流(A)	120	約50%向上
SDC最大出力(W)	1,764	約63%向上
外形(W×D×H)(mm)	270.0×240.0×143.0	37.5mm低背化
体積(L)	9.1	約26%低減
質量(kg)	12	約20%低減

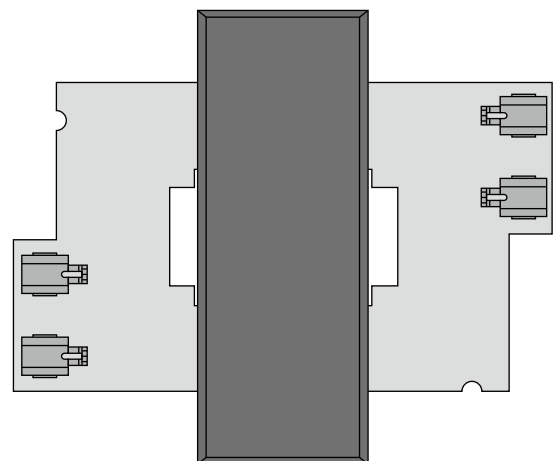


図4. プレーナトランス

大するため、2G充電器よりも構成部品に対する冷却性能の高い構造にする必要があった。

2G充電器では、図5及び図6に示すように内部部品が筐体に対して垂直及び立体配置され、OBC部、SDC部の両方の部品を冷却するために上下2段の水冷パイプが張り

巡らされている。低背化のためには水冷パイプを1段構造化した上で冷却性能を向上させる必要があった。そこで、内部部品の扁平(へんぺい)化と平面配置を行い、水冷パイプを1段構造化することで、広範囲で部品を冷却する構造にした。

3.3 一体化と共通設計化

2.7G充電器は複数の自動車メーカーから引き合いを得ることができたが、それぞれの車両システムに合わせてOBC/SDCの性能や急速充電機能の有無等の要求仕様が異なる製品を同時期に試作・量産するという課題があった。全項目を車両ごとの要求に合わせてカスタム開発を進めると、膨大な設計人工と工数が必要になる。そこで、主機能になるOBC/SDCのAC系統部と高電圧部を共通仕様とし、車両からの制御信号に応じてOBC/SDCをコントロールする制御回路及び充電器の車両取付けに関連するインタフェース部分だけを要求に応じてカスタム開発する方策を取った(図7)。これによって、最小の工数で複数のメーカー向けに製品を提供することが可能になり、開発費の低減と共通部品の数量規模増による原価低減を実現した。同時に、急速充電への対応といった特定の顧客からのニーズにも最小の工数で実現した。さらに、OBC部とSDC部を個別の筐体で構成して結合する構造を取って、顧客ニーズに応じての形状変更を可能にしたことで、カスタム性の面で海外競合他社との差別化を図った。

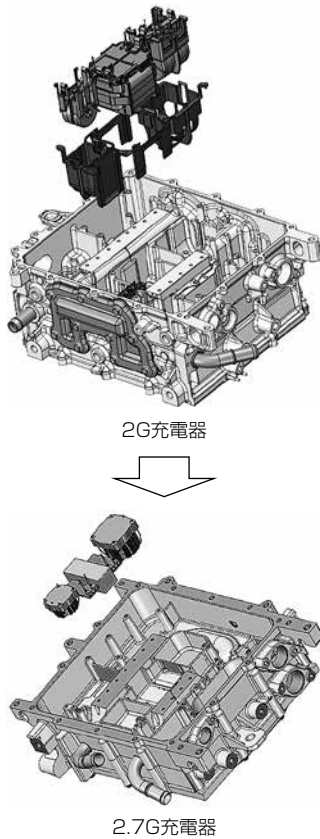


図5. OBC部品の扁平化と平面配置

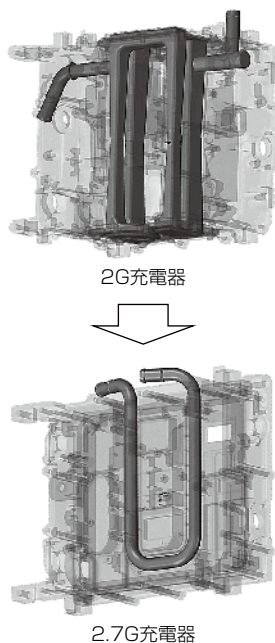
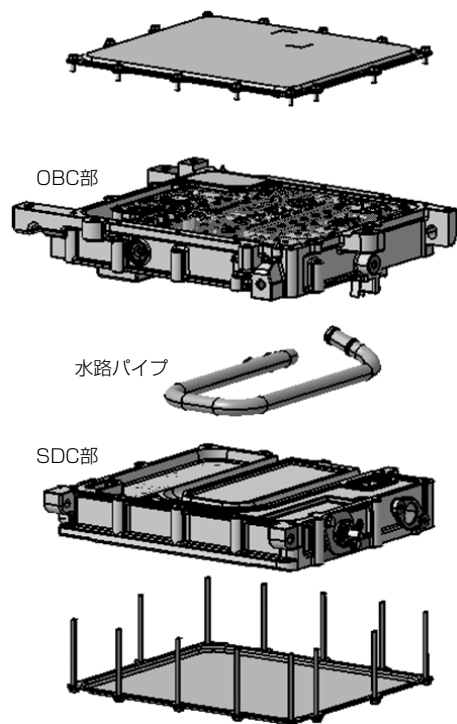
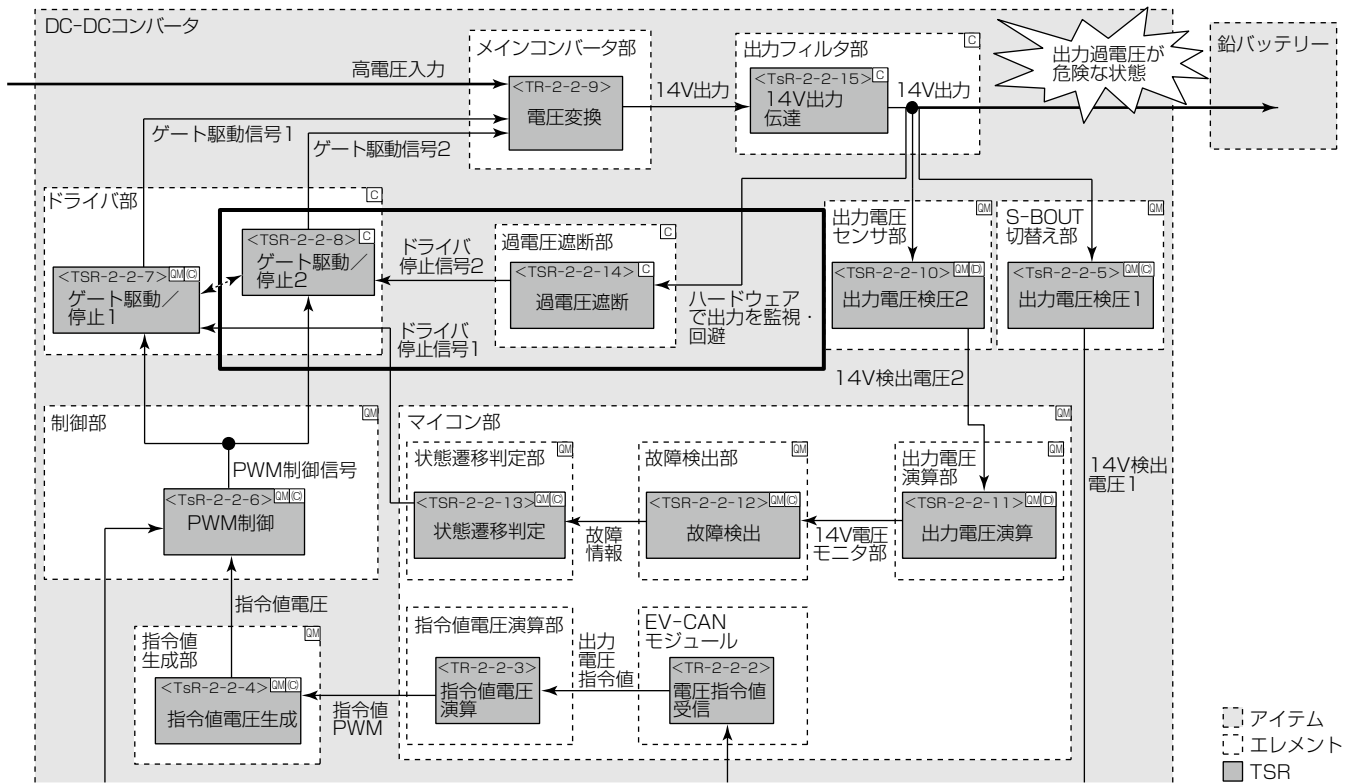


図6. 水冷パイプの1段構造化



OBC部やSDC部の内部回路は共通設計であり、外形の変更といった要求に対応可能である。

図7. 2.7G充電器の設計共通化



PWM : Pulse Width Modulation, CAN : Controller Area Network, TSR : Technical Safety Requirement (安全メカニズム関連), TR : Technical Requirement, TsR : Technical Safety Requirement (本来機能関連), S-BOUT : DC-DCコンバータの出力端子

図8. 機能安全の考え方

3.4 機能安全

自動車に搭載されている製品に対して、機能不全のふるまい(誤動作)による危険・リスクを回避し、安全性を向上させるために、機能安全規格“ISO26262:2011”準拠を要求する車両メーカーが増えてきており、車載充電器はASIL Cが要求される製品である。

2.7G充電器では、モデリングツール(Enterprise Architect)と機能安全コンセプト記法(Safety Concept Description Language: SCDL)を使用して機能安全の効率的な開発を行った。

充電器に配置されるASIL Cの要求に対しては次のコンセプトで設計を行った。

(1) ASIL Cの要求

SDC出力過電圧を回避することで達成可能

(2) 安全コンセプト

ハードウェアで構成したSDC電圧監視機能を実装してASIL Cを割当て

図8に示すように、電圧監視機能をハードウェアで構成することで、ソフトウェアへのASIL割当てを回避し、機能安全の対応が必要なブロックを最小限に抑えた。

4. むすび

当社では、商用電源をDCに変換しLIBの充電を行うOBCと、OBC又はLIBから供給されるDCを電圧調整して鉛バッテリーに充電を行うSDCを一体化した充電器を開発・量産している。現在量産中の2G充電器に替わる次世代の製品として開発した2.7G充電器は、構成部品の小型化と冷却性能の向上を行い、出力電力を維持したまま製品サイズの低背化を実現した。OBC出力電圧範囲を拡大し、AC系統と高電圧部を共通設計、インタフェース部をカスタム設計にしたことで、他社との差別化を図りつつ、複数のメーカーに対応できる仕様になっている。2.7G充電器の量産・市場投入によって、EV/PHEVの普及を促進し、温室効果ガスの排出量削減といった環境問題の解決に貢献していく。

参考文献

- (1) DCDCコンバータユニット内蔵の第2世代車載充電器, 三菱電機技報, 91, No.1, 62(2017)
- (2) 車載充電器, 特許公開番号WO2019/180820