

V2X 双方向充電器の開発

Development of Vehicle-to-X Bidirectional Charger

佐藤大輔* 栗坂昌克* 水川雄太* 林健太郎*
瀬戸康太* 西山泰義* 吉岡佑介* 長野友幸*
山下健史* 遠藤浩輝* 竹原俊之* 山下貴士*

Daisuke Sato Masakatsu Kurisaka Yuta Mizukawa Kentaro Hayashi
Kota Seto Yasuyoshi Nishiyama Yusuke Yoshioka Tomoyuki Nagano
Takeshi Yamashita Hiroaki Endo Toshiyuki Takehara Takashi Yamashita

Abstract

To respond to charging infrastructure development for EV/PHEV and request of business continuity planning for disaster prevention, it was developed a bidirectional EV charger using the Vehicle to Home (V2H) protocol for public use. By adopting the 3 converter method, a high efficiency bidirectional power transmission at wide voltage range was realized.

Key words: Bidirectional Chager, Vehicle-to-X, Vehicle-to-Home

1 まえがき

近年世界的な環境規制強化とCO₂排出量削減の観点から、車両の電動化が急速に進んでおり、EV/PHEV^{*1)}の本格普及に向け、さらなる充電インフラの整備が急務とされている。

一方、先の東日本大震災や北海道胆振東部地震の影響もあり、防災に対する意識が高まっている。なかでも、BCP^{*2)}への関心が強く、災害時に停電が発生した場合でも重要負荷に対して電力を供給できるシステムが求められている。

これら双方の要求に応えるために、充放電可能な双方向充電器“VOXSTAR”を開発した。EV/PHEVの車載蓄電池を活用するV2X^{*3)}システム用の双方向充

電器であり、通常の充電器同様に車両を充電するほか、上位コントロールユニットからの指令に従い、車両からの放電が可能となる。定置蓄電池PCSと非常時に系統から重要負荷を遮断する自動切換盤を組み合わせた「V2Xシステム」に本双方向充電器を組込むことで、BCP対応のみならず、EMS^{*4)}対応への調整力として、車両の蓄電池をアクティブに活用することが可能となる。本稿では、V2Xシステム概要と“VOXSTAR”の製品概要について述べる。

*1) EV : Electric Vehicle

PHEV : Plug-in Hybrid Electric Vehicle

*2) BCP : Business Continuity Planning

*3) V2X : V2L (Vehicle to Load), V2H (Vehicle to Home), V2G (Vehicle to Grid) などの総称

*4) EMS : Energy Management System

* 産業電池電源事業部 電源システム生産本部
開発部

2 V2X システム概要

図1に本双方向充電器が組込まれるV2Xシステムの構成を示す。50 kW 定置蓄電池 PCS と商用系統とを自動切換盤を介して接続し、同切換盤に双方向充電器（10 kW）を最大5台まで接続可能な構成となっている。自動切換盤内に、受電電力および系統電圧を監視可能な上位コントロールユニットが内蔵されており、定置蓄電池 PCS および双方向充電器へ負荷に応じた運転指令が送信される。双方向充電器と定置蓄電池 PCS の指令値に対する重み付けをカスタマイズすることで、EV 充電優先や受電電力ピークカット優先などの様々な要求に応じた EMS 運用を可能にしている。

停電発生時は、自動切換盤にて重要負荷を商用系統から切り離し、定置蓄電池 PCS の自立出力に双方向充電器を連系させ、重要負荷に電力を供給する。系統復旧時は、PCS で系統位相へ同期させた状態で重要負荷を商用系統へ接続し、PCS および双方向充電器を再起動させることで定常運転へ復旧させる。

また、災害時のような長時間停電時においては、EV / PHEV を電力輸送体と考え、電力供給可能なエリアから満充電された EV / PHEV を災害地へ派遣することで、継続的に電力を供給することができる。さらには、PHEV を用いることでガソリン発電によって

蓄えた電力を負荷へ供給することも可能となり、車両を発電機のように取り扱うことが可能になる。これら EV / PHEV を組み合わせて使用することで、電力の輸送が可能になり、長時間停電時の定置蓄電池の枯渇を防止することができる。

3 QC プロトコルと V2H プロトコル

当社が「EVC シリーズ」を開発していた当時は、CHAdeMO 協議会が制定する QC^{*5)} プロトコルが主流となっていた。同プロトコルは放電には対応しておらず、なおかつ EV からの指令通りに充電電流を出力する規定であるため、充電器側から電流値を制御することができなかった。その後、2014年に車両から家庭に電力を供給する V2H^{*6)} プロトコルが規格化された。本プロトコルでは、車両から充電電流上限値および放電電流上限値を受信し、その範囲内で双方向充電器側が電流値を自由に変更可能としたものである（図2）。本プロトコルの登場により、V2H 対応車両は、放電はもちろん充電電流の低減も可能になった。

“VOXSTAR” は、この V2H プロトコルを当社初採用することで、先述のさまざまな EMS 要求への対応

*5) QC : Quick Charger

*6) V2H : Vehicle to Home

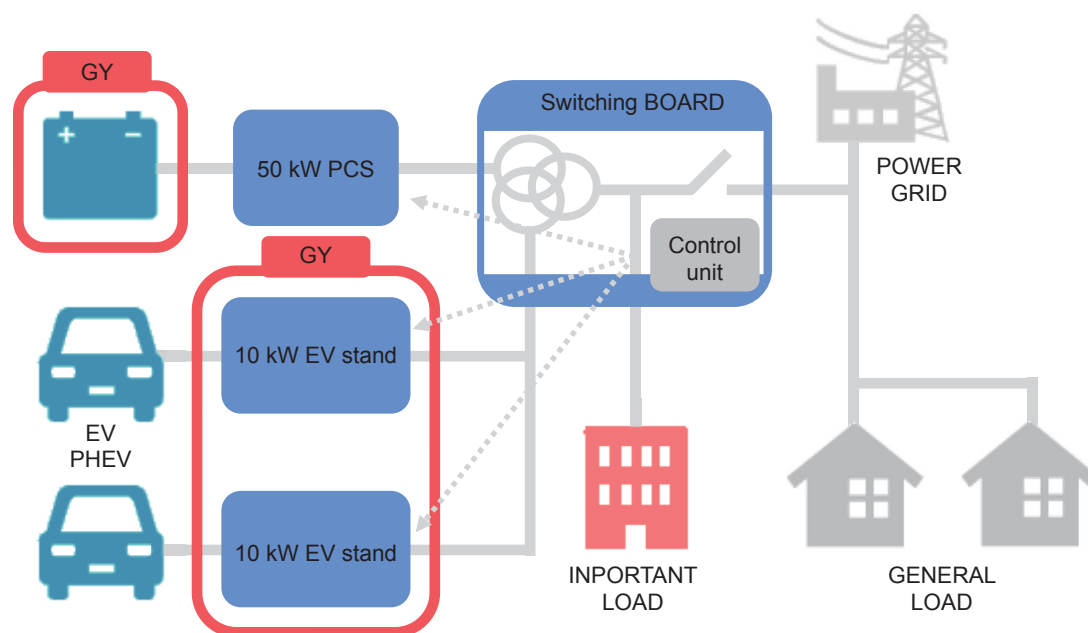


図1 V2X システムの構成

Fig. 1 Configuration diagram of V2X System.

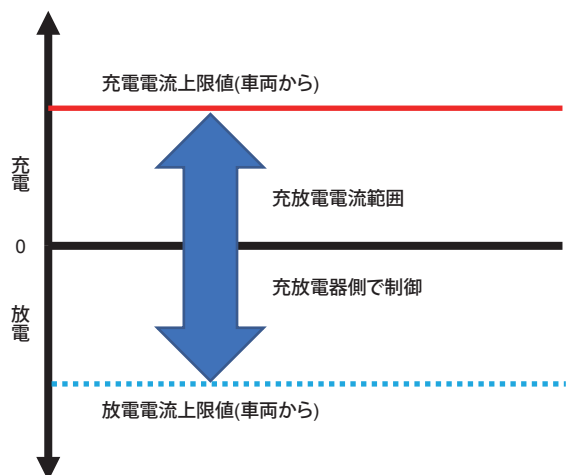


図2 V2H電流制御イメージ

Fig.2 Conceptual diagram of V2H current control.

を実現した。また、QCプロトコル同様、車両とのインターフェースはCHAdeMO協議会により定義化されており、V2Hプロトコルに準拠する車両との充放電が可能となる。ただし、V2H規定が後追いで出た規格であるため、V2H対応車はQCにも対応しているが、QCプロトコルしか対応していないV2H非対応車も存在する。V2Hを規格の想定通り、家庭内で使用する場合は、V2H機器購入者が自身の所有車両がV2H対応車であることを確認したうえで購入・利用するため問題にはならないが、不特定多数の人が利用するパブリック用途にV2Hを転用する場合、V2H非対応車両が接続されるケースも想定しておく必要がある。「VOXSTAR」が組み込まれる「V2Xシステム」もその電力規模から、パブリック用途であるといえるため、同事象の対策としてQC派生プロトコルを追加実装し、V2H車両 or QC車両いずれが接続されたかを検知し、V2H・QC双方の車両に対するシーケンスを用意することで、双方に対応した汎用性の高い双方向充電器を実現した(図3)。

また、これまで市販されているV2H機器は家庭用を想定したものであるため、その電力消費規模から、6kWを上限とした単相機器しか製品化されていなかったが、当社はパブリック用途へ転用するため、V2H認証機器では業界初となる三相10kWへの大容量化を実現した。一般的なV2H機器が、普通充電器に対して2倍の速度で充電可能な「倍速充電」を謳っているのに対し、「VOXSTAR」は3倍速充電が可能になり、より短時間で充電することができる。また、放

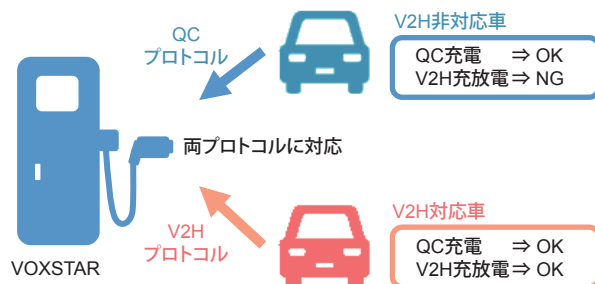


図3 パブリック用途での接続パターン

Fig.3 Connection pattern in Public use.

電能力も他社製単相V2H機器の1.5倍以上の放電能力を有し、大容量化が進むEV蓄電池のパワーを最大限^{*7)}引き出せる仕様となっている。

4 内部構成と筐体構造

今回開発した「VOXSTAR」の内部構成を図4に、外観を図5に、仕様を表1に示す。

内部構成は、従来機を踏襲したユニット構造を採用し、10kWの双方向変換ユニットを最大2本まで挿入可能な構造とすることで、同一筐体で10kW/20kWの出力容量への対応を可能にした^{*8)}。加えて、その他の本体部品群もユニット化して取外しを容易にすることで、万が一一部分故障が発生した場合も、当該ユニットの交換のみで早急に復旧させることができ、メンテナンス性を改善している。

また、設置スペース縮小を目的に、変換ユニットの配置を縦置とし、床面積を低減させる代わりに、高さ方向を増やすことで内部体積を確保した。変換ユニットの冷却FANの風向を筐体下から上方向へ送風する構造とすることで、発熱体による自然対流を積極的に利用し、より排熱しやすい構造とした。それに伴い筐体上部にできる熱だまりを、本体排気FANにより背面方向へ排出する仕組である。排気口に多重ルーバーを設けることで、水滴の進入を防止し、IP44の性能

*7) 電気設備の技術基準(電技)第199条の2において、電気自動車等から一般電気工作物に電気を供給する場合の電気自動車等の出力は10kW未満であることが義務付けられている。

*8) 現状電技により、放電電力が10kW未満に制限されているが、将来的な制限値引き上げを見越して、ユニット増設可能な構成としている。

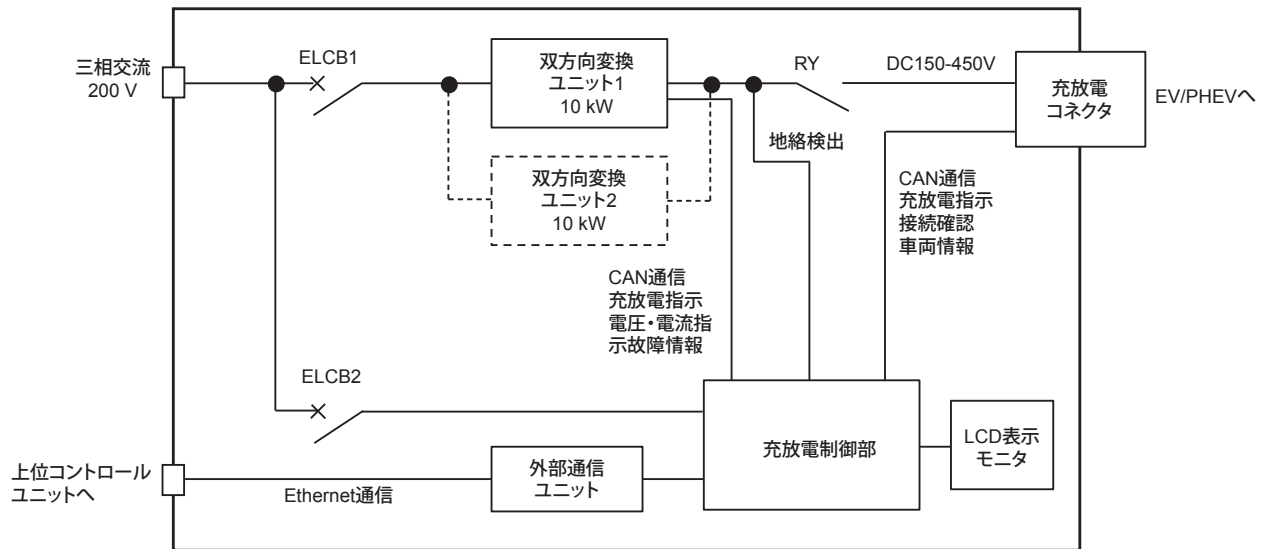


図4 VOX-10-T3-Dの構成
Fig.4 Configuration diagram of VOX-10-T3-D.



図5 VOX-10-T3-Dの外観
Fig.5 Exterior of VOX-10-T3-D.

表1 VOX-10-T3-Dの仕様
Table 1 Specifications of VOX-10-T3-D.

項目	仕様	
使用環境	設置場所	屋外
	標高	1000 m 以下
	周囲温度	-10 ~ 40°C
	周囲湿度	30 ~ 90% (結露なきこと)
	相数	三相三線式
AC 側仕様	電圧	200 V ± 15%
	周波数	50/60 Hz ± 5%
	力率	95% 以上
	電流歪率	総合 5% 以下, 各次 3% 以下
DC 側仕様	定格電圧	400 V
	定格出力電力	充電時 10 kW
	定格入力電力	放電時 9.9 kW
	電圧範囲	150 ~ 450 V
	電流範囲	充電 25 A ~ 放電 25 A
変換効率	91% 以上 (入出力定格時)	
絶縁耐圧	交流一対地間	AC2000 V / 1 分間
	直流一対地間	AC2000 V / 1 分間
絶縁抵抗	交流一対地間	DC1000 V にて 5 M Ω 以上
	直流一対地間	DC1000 V にて 5 M Ω 以上
保護等級	IP44	
運転音	65 dB 以下	
表示部	7.0 インチ カラー液晶	
寸法 (突起部除く)	507(W)×675(D)×1750(H) mm	
質量	300 kg 以下	
充電電プロトコル	V2H ver2.1	

を実現した。これらの構造改良により、従来機の「EVC および EVC-R シリーズ」の IP33 を上回る防塵・防水性能を備えながらも、十分な冷却性能を併せ持ち、なおかつ設置面積の少ない双方向充電器を実現した。加えて、オプションにて耐塩害仕様にも対応し、より劣悪な環境化への設置を可能にしている。

5 双方向変換ユニット

筐体内部の双方向変換ユニットの回路構成も一新し、3コンバータ方式を採用し、絶縁型 DC / DC コンバータには DAB コンバータを採用した。DAB コンバータは、2つのフルブリッジ回路をトランスおよびリアクトルを介して接続した回路構成となっており、1次側・2次側 双方のブリッジで生成する電圧波形に位相差を持たせ、その位相差を制御することで、双方向電力電送を実現している。加えて、一定負荷以上でソフトスイッチング動作が可能で、高効率に双方向電力電送可能というメリットがある。しかしながら、軽負荷時にはソフトスイッチング不成立となる領域があり、効率が低下してしまう課題がある。また、1次・2次間の電圧差が大きくなるほど、ソフトスイッチング不成立領域が広がることから、動作電圧範囲が広範囲にわたる用途には不向きといえる。

同課題を解決するには、1次2次間の電圧を揃える必要があるが、高効率 AC / DC コンバータは AC 入力波高値以下の降圧制御が難しく、CHAdEMO で要求される電圧範囲 (DC150-450 V) で動作させた場合、低電圧領域での効率が著しく低下してしまう課題があった。そこで、両者の間にもう1段コンバータを追加することにより、AC / DC コンバータでカバーしきれない降圧動作領域を補填し、広電圧範囲におい

て DC / DC コンバータのソフトスイッチング動作を最適化し、高効率動作を実現した。

また、“VOXSTAR”はV2Hガイドラインで定義されるカテゴリ3^{*9)}に対応しており、装置内部に系統保護機能^{*10)}(UVR, UFRなど)を具備し、装置外部にRPR・UPRで構成した逆充電検出機能^{*11)}を具備している。加えてFRT機能も備えており、事故時運転継続要件を満足している。

6 表示器について

本製品はパブリック用機器であるため、ユーザビリティを考慮し、直立時の人の目線の高さに7インチフルカラー液晶を配置し、図6に示すように充放電状態を一目で確認できる画面構成とした。また、銘板を設けて操作方法を明示するとともに、銘板劣化時や夜間等で印字内容が目視しづらい場面を想定し、表示画面上でも操作手順を確認できる仕様とした。加えて、表示器横の操作ボタンにて、パスコードを設定できる設計とし、特定ユーザーのみへの利用制限機能を追加している。

- *9) V2H カテゴリ 3: 住宅等に設置された電力変換器を介して電力系統と接続(系統連系)して屋内配線に電力の供給を行う(系統側への逆潮流は行わない)。
- *10) 系統保護機能: 不足電圧継電器(UVR), 過電圧継電器(OVR), 不足周波数継電器(UFR), 過周波数継電器(OFI)の系統保護機能を具備する。
- *11) 逆充電検出機能: 逆電力継電器(RPR), 不足電力継電器(UPR)をV2Xシステム内に具備する。

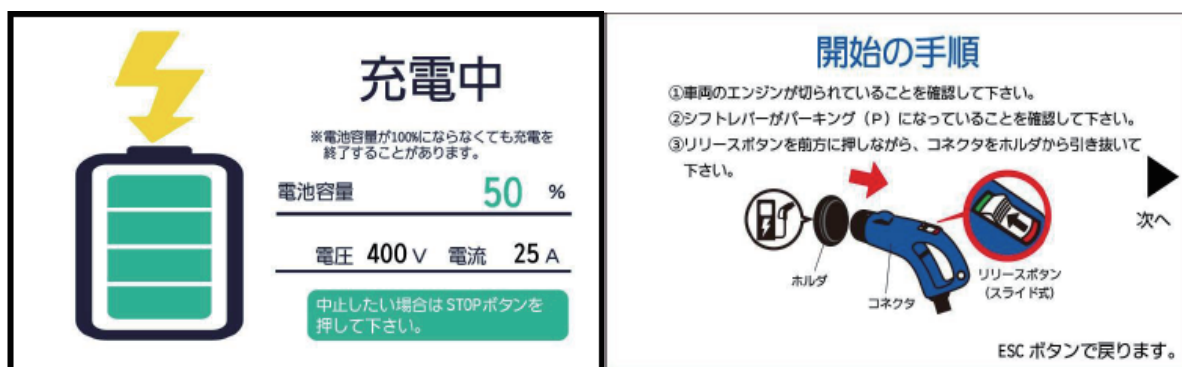


図6 VOXSTAR 表示画面
Fig.6 Display screen of “VOXSTAR”.

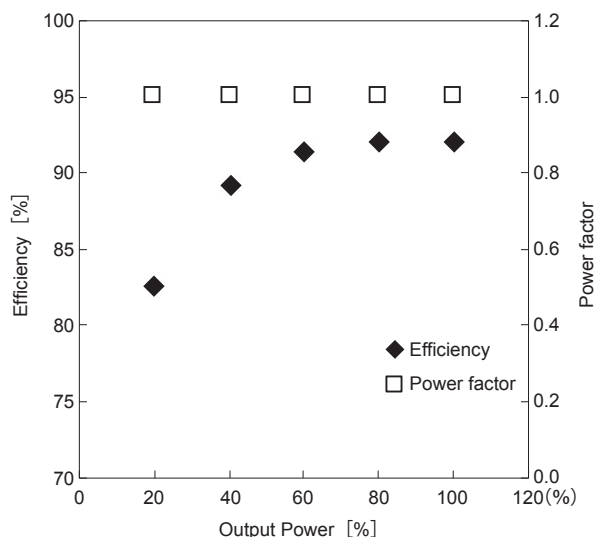


図7 VOX-10-T3-Dの効率・力率特性
Fig.7 Conversion efficiency and power.

7 特性

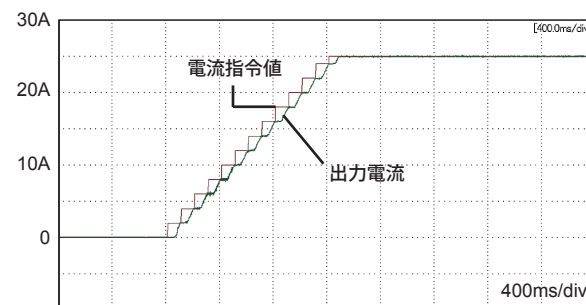
今回開発した VOX-10-T3-D の効率特性を図7に示す。効率は定格出力時において92.0%となっており、弊社既存品である30 kW EV急速充電器 EVC-R-30KA の定格効率90.9%から約1.1%の効率アップを実現している。先述の3コンバータ方式を用いて、DABコンバータの1次・2次電圧を最適化して動作させることで、高効率動作を実現している。

図8はVOX-10-T3-Dの直流電流追従特性である。電流指令値に対して、充電・放電ともにすみやかに実電流が追従できていることがわかる。また、定格充電・定格放電ともに、オーバーシュートも見られず、V2H規定で定められる追従特性を十分満足した特性を実現できていることがわかる。この電流指令値を上位コントロールユニットの指令に基づいて、増減させることで充電電流制限や、EV/PHEVからの電力補填によるEMS対応を実現することが可能になる。

8 まとめ

本稿では、V2Xシステム用の双方向充電器“VOX-

(a) 直流電流追従特性(充電時)



(b) 直流電流追従特性(放電時)

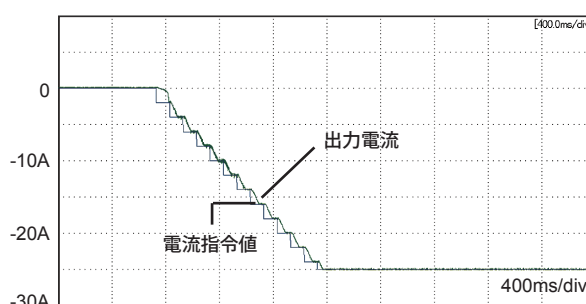


図8 (a) 直流電流追従特性(充電時) (b) 直流電流追従特性(放電時)

Fig.8 DC Current Tracking characteristics factor for VOX-10-T3-D output. (a).Charging (b).Discharging

STAR”について紹介した。V2Hプロトコルを採用し、従来の充電器に放電機能を加えることで、EMSおよびBCP用途へEV/PHEVの蓄電池を活用する術を実現した。また、内部構造ユニット化によるメンテナンス性改善や、筐体構造の改良によるIP性能改善など、基本性能の向上も実現した。

今後は、EV蓄電池の大容量化に伴うV2H機器の大容量化に対応できるよう、ユニットの並列動作の検証など、大容量化に向けて改良・改善に取り組む予定である。

参考文献

- 堀恵輔, 道長勝久, 大芝正嗣, 伊藤孝典, 小山博康, 芦田有治, 山口雅英, *GS News Technical Report*, 第8巻第1号, 60, (2011).