

奥田達也\* 泉 喜久夫\*  
 檜垣優介\* 土本直秀\*\*  
 嘉藤貴洋\*

# EV用パワーコンディショナの制御技術

Control Technology of Power Conditioning System for Electric Vehicle

Tatsuya Okuda, Yusuke Higaki, Takahiro Kato, Kikuo Izumi, Naohide Tsuchimoto

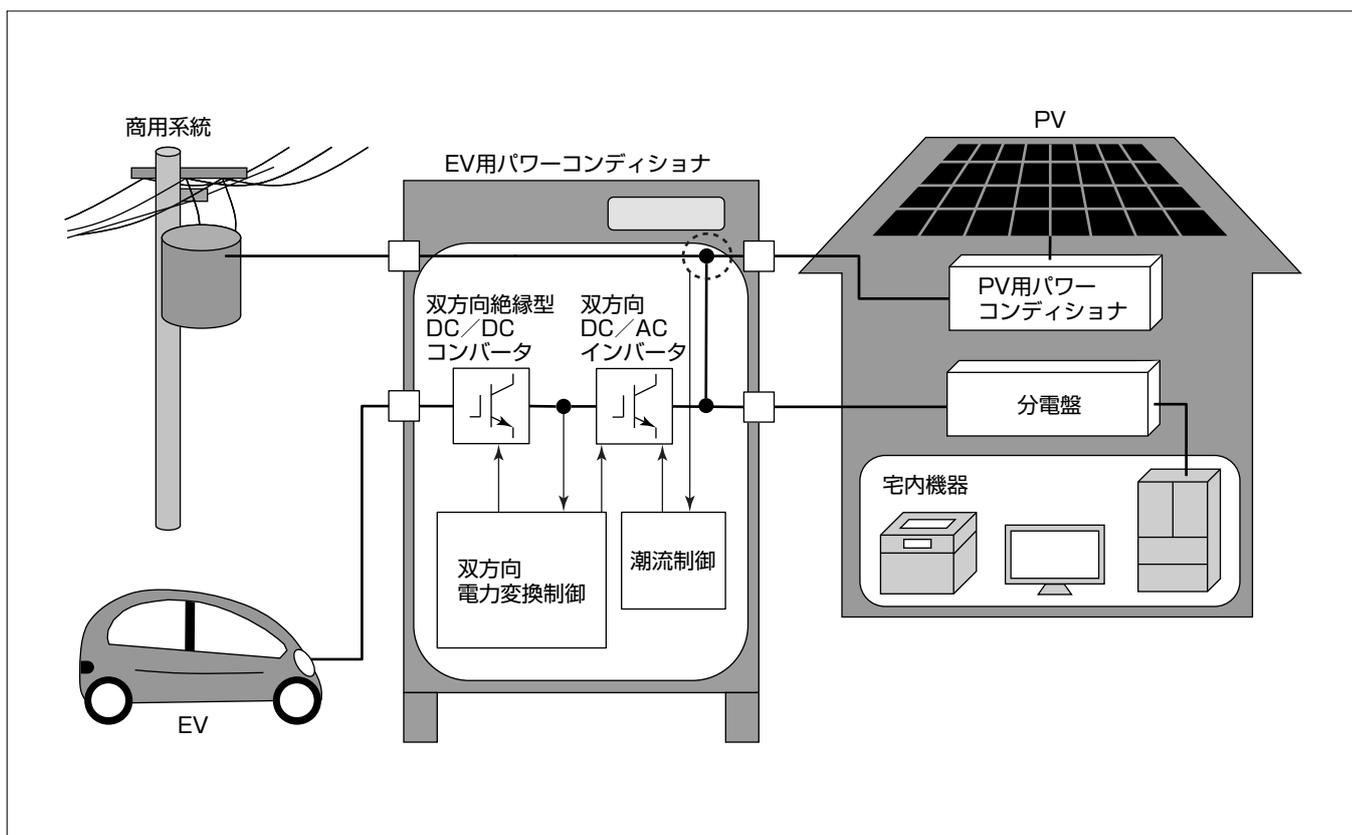
## 要 旨

東日本大震災以降、災害等の停電時の非常用電源として、また、夏場・冬場などの電力消費のピーク時の電力供給不足を補うシステムとして、太陽光発電システム(PV)と蓄電池を併用するシステムが注目されている。PVと蓄電池を併用するシステムでは、蓄電池コストが高い、蓄電池容量が少ないといった課題があった。

三菱電機は、商用系統やPVと連携しながら電気自動車(EV)に搭載された大容量蓄電池の充放電が可能、EV用パワーコンディショナ“SMART V2H”を商品化した<sup>(1)</sup>。EV用パワーコンディショナは、PVの発電電力とEVの蓄電池電力、商用電力を同時に制御することができるため、生活スタイルに合わせた電力の最適利用が可能となる。また、停

電時は、PVの発電電力を優先的に使用しつつ、EVから宅内機器に給電するため、宅内の通常コンセントから長時間の電力使用が可能となる。

今回、①宅内機器の消費電力やPVの発電電力が急変した場合でも電力供給が停止することなくEVの充放電の切替えが可能なシームレス充放電技術、②EVから商用系統への逆潮流を防止しつつ売買電力を制御可能な電力需給制御技術、③停電時でも宅内機器に安定的に給電する自立運転時PV連携技術を開発した。これによって、EVとPVを活用した商用電力消費のピークシフトや電力の自給自足などの電力最適利用や、停電時の宅内機器への電力安定供給を可能とした。



## EV用パワーコンディショナ“SMART V2H”のシステム構成

EV用パワーコンディショナは、双方向絶縁型DC/DCコンバータと双方向DC/ACインバータを搭載している。EV・PV・商用の3種類の電力をモニターして自動で最適制御することで、EVの倍速充電機能に加え、商用電力消費のピークシフトや電力の自給自足など、電力の有効利用を可能とした。また、停電時でも、EVとPVを連携動作させることで、PVの発電電力の有効利用が可能となり、宅内機器の長時間使用を可能とした。

## 1. ま え が き

東日本大震災以降、災害等の停電時の非常用電源として、また、夏場・冬場などの電力消費のピーク時の電力供給不足を補うシステムとして、PVと蓄電池を併用するシステムが注目されている。PVと蓄電池を併用するシステムでは、蓄電池コストが高い、蓄電池容量が少ないといった課題があった。

そこで当社は、EVに搭載された大容量の蓄電池を有効利用するため、平常時のEV・PV・商用電力の同時使用と、停電時の宅内機器への電力安定供給が可能なEV用パワーコンディショナ“SMART V2H”を商品化した。

EV用パワーコンディショナに必要となる基本機能は次のとおりである。

- (1) EVと商用系統との電氣的絶縁
- (2) EVの充電動作と放電動作のシームレスな切替
- (3) EVから商用系統への電力流出(逆潮流)防止
- (4) 停電時の宅内機器への長期間の電力安定供給

本稿では、EV用パワーコンディショナのシステム構成と、基本機能を実現するための制御技術について述べる。

## 2. EV用パワーコンディショナ

### 2.1 システム構成

図1に、EV用パワーコンディショナ(EV-PCS)のシステム構成を示す。EV-PCSには、出力6kWの双方向絶縁型DC/DCコンバータと双方向DC/ACインバータが搭載されている。EVとは、CHAdeMO<sup>(注1)</sup>とV2H DC版に準拠した専用コネクタ付きケーブルによって接続される。太陽電池とは、PV用パワーコンディショナ(PV-PCS)を介して、EV-PCSの交流電圧出力部に接続される。電力会社の商用系統とは、主幹漏電ブレーカ経由で、宅内機器とは住宅用分電盤経由で、交流電圧出力部にそれぞれ接続される。

システム操作は、宅内に設置されるリモコンで行う。商用系統が正常な場合、EVとPVは系統連系運転を行い、EV・PV・商用の3つの電力を同時に制御する。停電など商用系統が異常な場合、自立運転切替開閉器によって商用系統から宅内機器を切り離し、EVとPVを連携動作さ

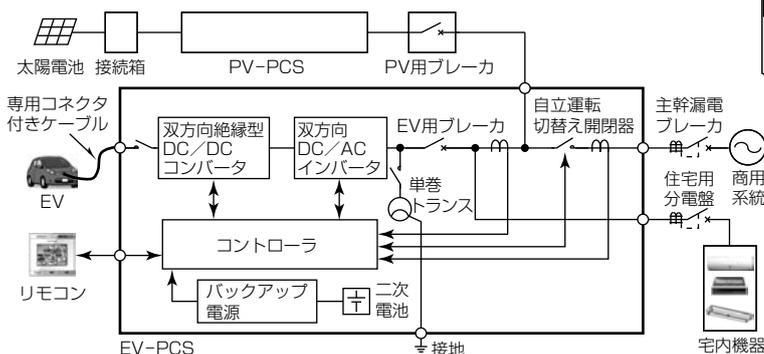


図1. EV-PCSのシステム構成

せることで、宅内機器に給電する。

(注1) CHAdeMOは、東京電力㈱の登録商標である。

### 2.2 運転モード

EV-PCSには、電力をできるだけ自給自足して環境配慮を優先するグリーンモード、電力使用料金を抑えて経済性を優先するエコノミーモード、停電時にPVとEVの電力でほぼ平常時並みの電力使用ができる自立運転モードの3つの運転モードを搭載している。グリーンモードとエコノミーモードは、商用系統と連系運転する系統連系運転モードで、EV充電、買電最小、余剰売電、売電最大のいずれかの運転を行う。

図2にEV-PCSの運転モードを示す。EV充電は、宅内機器の消費電力をPVの発電電力と商用系統からの買電電力で賄うとともにEVに充電する(図2(a))。買電最小は、宅内機器の消費電力をPVの発電電力とEVからの放電で賄い、商用系統からの買電電力を最小にする。PVの発電電力が宅内機器の消費電力を上回る場合は、PVの余剰電力をEVに充電(図2(b))。余剰売電は、宅内機器の消費電力をPVの発電電力で賄い、余った電力は全て商用系統へ売電する。PVの発電電力が宅内機器の消費電力より少ない場合は、不足電力をEVが放電する(図2(c))。売電最大は、宅内機器の消費電力はEVからの放電を優先し、PVの発電電力をなるべく多く商用系統へ売電する(図2(d))。

自立運転は、停電など商用系統に異常が発生した場合、商用系統から切り離して、宅内機器の消費電力をPVの発電電力とEVからの放電で賄う。PVの発電電力が宅内機器の消費電力を上回る場合は、PVの余剰電力をEVに充電するため、PVの発電電力を最大限に有効利用することが可能となる(図2(e))。

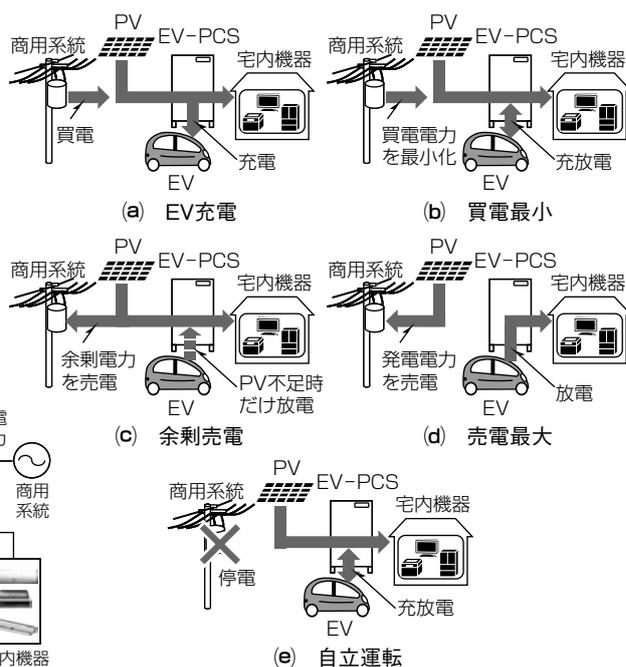


図2. EV-PCSの運転モード

### 3. シームレス充放電制御技術

EV-PCSは宅内消費電力やPVの発電電力の急峻(きゅうしゅん)な変動に対応して、EVの充電動作と放電動作をシームレスに切り替えて制御する必要がある。そこで、EVと商用系統を絶縁する双方向絶縁型DC/DCコンバータでの、当社独自のシームレス充放電制御技術を開発した<sup>(2)</sup>。

#### 3.1 双方向絶縁型DC/DCコンバータ回路

双方向絶縁型DC/DCコンバータの回路構成は、図3

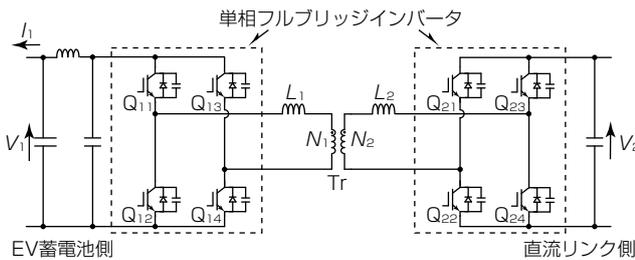


図3. 双方向絶縁型DC/DCコンバータの回路構成

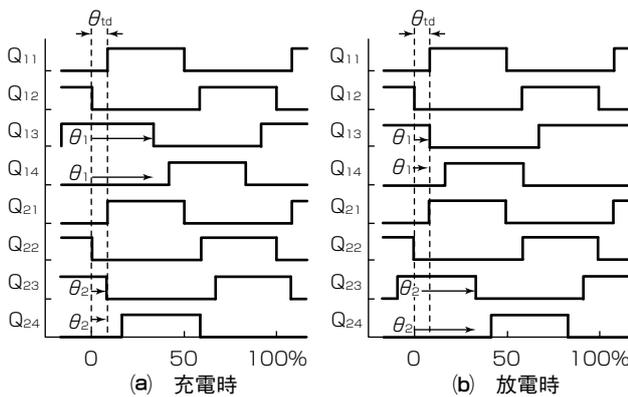


図4. ゲート駆動仕様

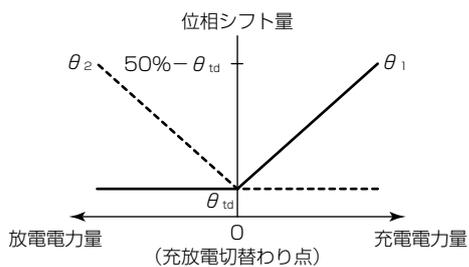


図5. 位相シフト仕様 ( $V_1 \cdot N_2 = V_2 \cdot N_1$ )

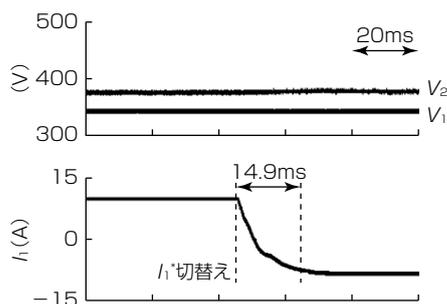


図6. 充放電切り替え動作の実機検証結果

に示すとおり、EV蓄電池側とDC/ACインバータとの直流リンク側に単相フルブリッジインバータを備えたデュアルアクティブブリッジ(DAB)回路をベースとする。各半導体 $Q_{11} \sim Q_{24}$ にはターンオフ損失を低減するために、並列にロスレススナバコンデンサを接続する。また、絶縁トランス $Tr$ の両端には高周波リアクトル $L_1$ と $L_2$ を備える。伝送側のフルブリッジインバータでは、 $L_1$ と $L_2$ はロスレススナバコンデンサとの共振リアクトルとして動作して、スイッチング損失を低減する。整流側のフルブリッジインバータでは、 $L_1$ と $L_2$ は昇圧リアクトルとして動作し、動作電圧範囲を拡大する。

#### 3.2 動作原理

図4に $Q_{11} \sim Q_{24}$ のゲート駆動仕様を示す。 $Q_{11} \sim Q_{24}$ のオンデューティは、50%からデッドタイム $\theta_{td}$ を差し引いた一定の値で駆動する。半導体 $Q_{11}$ と $Q_{12}$ 、及び $Q_{21}$ と $Q_{22}$ のゲートタイミングを同期させる。さらに、 $Q_{13}$ と $Q_{14}$ の位相を $Q_{11}$ と $Q_{12}$ を基準に $\theta_1$ だけシフトし、 $Q_{23}$ と $Q_{24}$ の位相を $Q_{21}$ と $Q_{22}$ を基準に $\theta_2$ だけシフトする。この3つのゲート駆動仕様によって、EV蓄電池側と直流リンク側で対称な位相シフト制御を実現する。

図5に $V_1 \cdot N_2 = V_2 \cdot N_1$ となる場合の位相シフト量 $\theta_1$ と $\theta_2$ の仕様を示す。 $\theta_1 = \theta_2 = \theta_{td}$ の条件では両フルブリッジインバータともに同位相で対角素子がONとなり、電力は伝送されず、充電と放電の切り替わり点となる。EV蓄電池に充電する場合は、 $Q_2$ を最小値 $\theta_{td}$ に固定して $\theta_1$ の位相シフト量を増加させる。EV蓄電池から放電する場合は、 $Q_1$ を最小値 $\theta_{td}$ に固定して $\theta_2$ の位相シフト量を増加させる。このように、 $\theta_1$ 又は $\theta_2$ を連続的に変化させて、EV蓄電池の充放電電力をシームレスに制御する。

#### 3.3 実機検証

図6に双方向絶縁型DC/DCコンバータの充放電切り替え動作の実機検証結果を示す。EV蓄電池電圧を350V、直流リンク側電圧を380Vとして、EV蓄電池の充放電電流指令値 $I_1^*$ を+10A(充電)から-10A(放電)にステップに切り替えた。図6から、指令値の変更後、14.9msで充電動作から放電動作にシームレスに切り替わることを確認した。

### 4. 電力需給制御技術

#### 4.1 系統連系運転時の制御

太陽電池の発電電力は商用系統への逆潮流が認められており、余剰電力を売電することができるが、EV蓄電池から商用系統への逆潮流は認められていない。そこで、EV蓄電池の逆潮流を防止しつつ、EVの蓄電池電力とPVの発電電力、商用電力を混ぜて使用できる電力需給制御技術を開発した<sup>(3)</sup>。

図7に系統連系運転時の制御構成を示す。双方向絶縁型DC/DCコンバータは直流リンク電圧制御、双方向DC/ACインバータは商用系統の売買電力制御とEV蓄電池の逆潮流抑制制御を行う。宅内機器の消費電力が急変したと

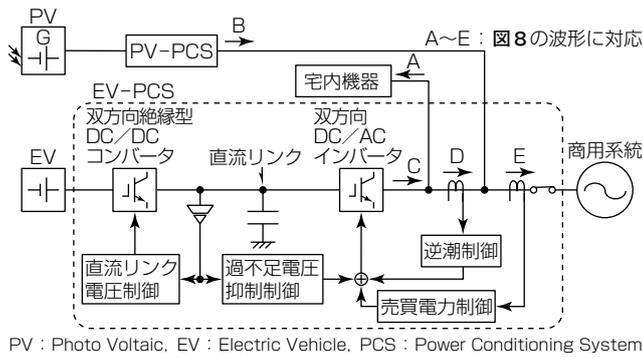


図7. 系統連系運転時の制御構成

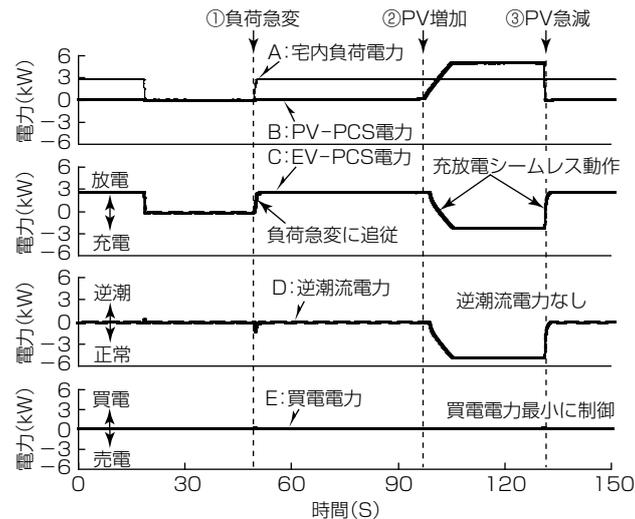


図8. 系統連系運転時の動作波形

きや、EV蓄電池の充放電電力が制限されたときでも安定動作させるため、直流リンク電圧があらかじめ設定した上下限しきい値に達するとインバータの出力電力を調節して直流リンク電圧を制御する、過不足電圧抑制制御を設けた。

図8に、買電最小運転モードで、宅内機器の消費電力とPV発電電力を急変させたときの動作波形を示す。EV-PCSが停止することなく、シームレスな充放電動作ができることを確認した。また、EV蓄電池から商用系統への逆潮流を防止しつつ、商用電力を制御できることを確認した。

#### 4.2 自立運転時の制御

商用系統から切り離れた状態で、宅内機器を長時間使用するためには、PVの発電電力を最大限に有効利用しつつ、宅内機器に電力を安定供給する必要がある。そこで、EV-PCSは電圧源として商用系統と同じ周波数の電圧を出力し、PV-PCSは最大電力追従制御を行う構成とした。

図9に自立運転時の制御構成を示す。双方向絶縁型DC/DCコンバータは直流リンク電圧制御を、双方向DC/ACインバータは交流電圧制御を行う。電力変動発生時の安定動作のため、交流出力電流の過電流抑制制御と直流リンク電圧の不足電圧抑制制御を設けた。

図10に、自立運転時に6kWの宅内機器を投入したとき

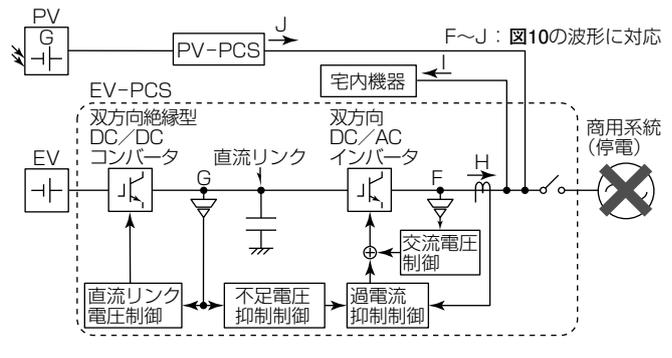


図9. 自立運転時の制御構成

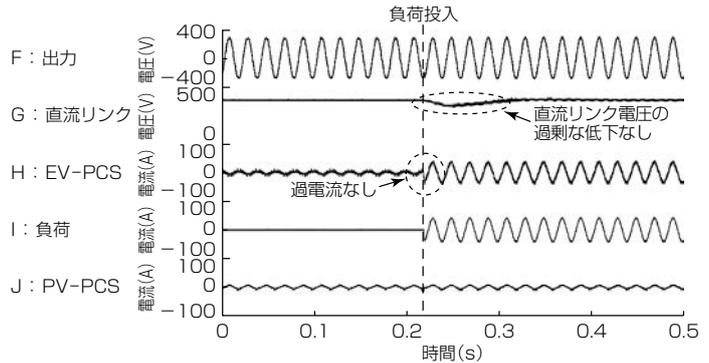


図10. 自立運転時の動作波形

の動作波形を示す。PVの発電電力は1kWとした。消費電力が急増しても、EV-PCSは過電流や直流リンク電圧の過剰な低下が生じることなく、充電動作から放電動作にシームレスに切り替わり、宅内機器への電力安定供給が可能であることを確認した。

### 5. む す び

EV用パワーコンディショナは、PVの発電電力とEVの蓄電池電力、商用電力を同時に制御することができるため、生活スタイルに合わせた電力の最適利用が可能となる。また、停電時はPVの発電電力を優先的に使用しつつ、EVから宅内機器に給電するため、宅内の通常コンセントから長時間の電力使用が可能となる。今後、接続対応車種の拡大や系統連系の型式認証取得、設置性向上を行うことで、再生可能エネルギーやエコカーの更なる普及拡大を促進し、低炭素社会の実現に貢献していく。

#### 参 考 文 献

- (1) 土本直秀, ほか: PV・EV連携パワーコンディショナ, 三菱電機技報, **87**, No.9, 525~528 (2013)
- (2) 近藤亮太, ほか: 電気自動車充放電用双方向絶縁型DC/DCコンバータの提案と動作検証, 電気学会論文誌(D), **136**, No.1, 61~70 (2016)
- (3) 嘉藤貴洋, ほか: EV用パワーコンディショナの開発, 平成27年電気学会全国大会予稿集, **4**, 240~241 (2015)