

# 高電圧DCバス連携創蓄パワーコンディショナの開発

Development of Power Conditioner with Solar and Storage Battery

寺澤 章  
Akira Terasawa

菊池 彰洋  
Akihiro Kikuchi

吉武 晃  
Akira Yoshitake

井平 靖久  
Yasuhisa Ihira

## 要 旨

太陽電池による創エネと蓄電池による蓄エネを320 V程度のDC電圧（以下、高電圧DC）に変換して接続する創蓄パワーコンディショナ（以下、創蓄パワコン）を開発した。蓄電池の充放電制御は業界として初めてとなるシームレスな充放電制御であり、太陽電池の発電変動を蓄電池の充放電によって吸収し出力電力を安定させるとともに、系統停電時にも太陽光発電の発電電力を蓄電池に蓄えることを可能とした。さらに、2013年6月に新制定されたJET（（一財）電気安全環境研究所）認証規格を業界で初めて取得し、創蓄パワコン導入時の電力会社との連携協議を大幅に簡略可能とした。

## Abstract

A power conditioner with a cooperative high voltage (approximately 320 V) bus system which connects photovoltaic solar-energy converters and an electric storage system has been developed. The presented electric storage system functions well to transit charging and discharging smoothly. This smooth charge/discharge transition of the storage system can minimize fluctuations in solar energy and stabilize the power output by this power conditioner. This power conditioner makes it possible to charge photovoltaic solar energy to electric storage devices even in case of a power outage.

This power conditioner was the first such product in the world to receive certification of the new standard released by Japan Electrical Safety & Environment Technology Laboratories (JET) in June 2013. It is much easier to install this power conditioner in a grid than other conditioners because of this certification.

## 1. はじめに

近年、太陽光発電システムや蓄電池システムなどの「創蓄」エネルギー関連商品は、システム価格の低下、余剰電力買取制度や補助金の効果により拡大している。太陽光発電システムの特長は、太陽光の日射があれば、系統の平常／停電にかかわらず発電が可能であることであり、蓄電池システムの特長は太陽電池の余剰電力や安価な深夜電力を蓄電することが可能であることである。

一方で太陽光発電システムは、日射の変動により発電量が変動するため、安定的に電力供給できないという課題がある。特に停電時には、日射変動により発電電力が低下した場合、自立出力に接続された機器に必要な電力を供給できなくなるといった課題がある。

また、蓄電池システムは充電状態から放電状態へ移行するときに停止動作を経由するのが一般的であり、シームレスな充放電制御が実現できていないという課題がある。さらに、太陽光発電システムと蓄電池システムを併用する場合、停電時の昼間には、太陽光発電システムの自立出力電力を宅内機器動作と蓄電池への充電の両方に利用する。そのため、昼間に蓄電池への充電が十分にできない可能性があり、夜間も含めた緊急時の安心を担保するためには、蓄電池容量を確保しておく必要がある。また、ACで接続する場合、太陽光パワコンと蓄電パワコ

ンの構成となり、システム価格が高価になる課題がある。

これらの課題を解決するために太陽電池による創エネと蓄電池による蓄エネを高電圧DCバスで接続する創蓄パワコンを開発した。顧客提供価値は、以下の4点である。

- ① 系統の平常／停電にかかわらず太陽光の発電を蓄電池に蓄電することができ、緊急時の安心を提供
- ② お客様の屋根形状に合わせた太陽電池パネルの枚数を自由に選択可能
- ③ 太陽電池の発電量の変動を検出して瞬時に蓄電池から放電することにより、特に停電時の自立運転動作の出力電力を安定化させ、電力変動により自立出力に接続された機器の電源が切れる課題を低減
- ④ 系統連系の新JET（（一財）電気安全環境研究所）認証規格[1]への適合により、パワコン導入時の電力会社との連携協議の手続きを大幅に簡略化（業界初）

本稿では、創蓄パワコンのシステム構成を説明し、顧客提供価値を実現する5つの技術について述べる。

- (1) 太陽光マルチストリングMPPT（Maximum Power Point Tracking）技術
- (2) 蓄電池シームレス充放電制御技術
- (3) 双方向インバータ技術
- (4) 各コンバータの連携制御技術
- (5) 新JET認証適合技術

## 2. システム構成

今回開発した創蓄パワコンのシステム構成を第1図に示す。

太陽電池パネル接続部は、マルチistring方式を採用しており、5回路の非絶縁型DC/DCコンバータから構成される。マルチistring方式は、各stringの太陽電池パネルの枚数をそろえる必要がなく、外付けの昇圧器や集線用接続箱の設置が不要である。

蓄電池ユニット接続部は、絶縁型双方向DC/DCコンバータから構成される。蓄電池ユニットは、現在発売中の4.65 kWhリチウム電池ユニットを接続する。蓄電池ユニットの充電電力は最大1.5 kW、放電電力は最大2.0 kWである。

双方向インバータ部は、双方向DC/ACコンバータから構成される。太陽電池パネルが発電しているときと蓄電池が放電しているときは、系統側へ電力を供給し、蓄電池に系統から充電するときは、系統側から電力を供給されるように動作する。双方向インバータの定格出力は、5.5 kWである。

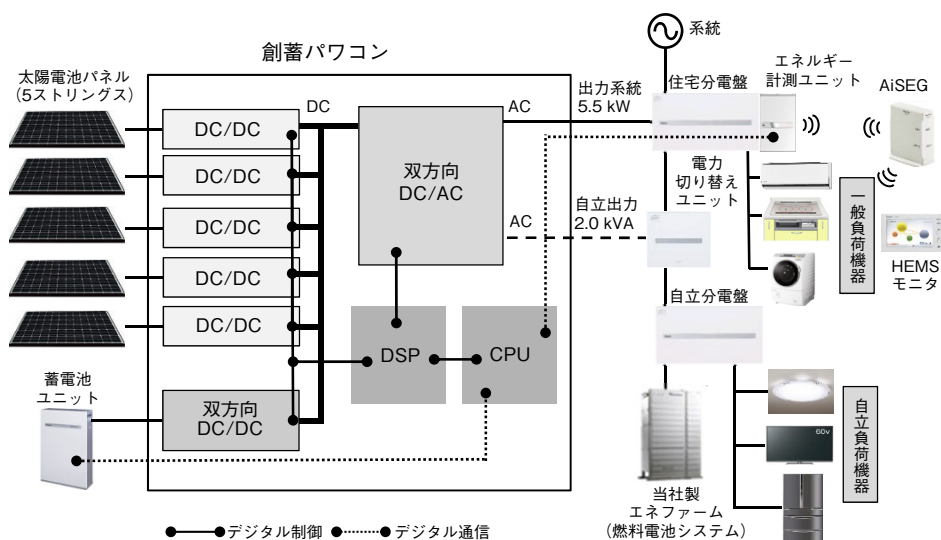
DSP (Digital Signal Processor) 部とCPU (Central Processing Unit) 部は、太陽光接続部のDC/DCコンバータ、蓄電池接続部の双方向DC/DCコンバータ、双方向インバータ部の双方向DC/ACコンバータを発電状況、蓄電状況、系統の状況 (平常/停電) に応じてリアルタイムにパル

ス幅のデューティサイクルの比を変更するPWM (Pulse Width Modulation) 制御により太陽光接続部のDC/DCコンバータ、蓄電池接続部の双方向DC/DCコンバータ、系統接続部の双方向インバータを連携して制御する。

また、太陽光発電情報、蓄電池の充放電量情報、エラー情報、時刻情報をエネルギー計測ユニットからスマートHEMS (Home Energy Management System) の中核となるAiSEG (注1) へ情報を提供し、HEMSモニタなどでの電力見える化を実現する。

このシステムが系統へ電力を供給するときは、創蓄パワコンの電力出力が住宅分電盤内蔵の連系ブレーカを介して系統に接続し、宅内の機器に電力を供給するとともに売電を行う。このとき、住宅分電盤に接続される一般負荷機器に電力が供給されるとともに系統接続されている電力切り替えユニットを介して自立分電盤から自立負荷機器に電力が供給される。停電発生時は、電力出力を系統から自立運転出力に切り替え、自立出力から最大2 kVAの電力を出力する。

停電時の自立運転への運転切り替えは、ユーザー設定により手動切り替えか自動切り替えを選択できる。この自立運転出力により、停電時においても自立分電盤を介して接続される自立負荷機器に電力が供給され、停電時の電力供給を実現できる。また、自立分電盤に当社製エネファーム (注2) (燃料電池システム) を接続し、かつ停電時の運転切り替えを自動切り替えにした場合、停電発



第1図 創蓄パワコンのシステム構成

Fig.1 Power conditioner with photovoltaic solar-energy and electric storage

(注1) 当社の登録商標

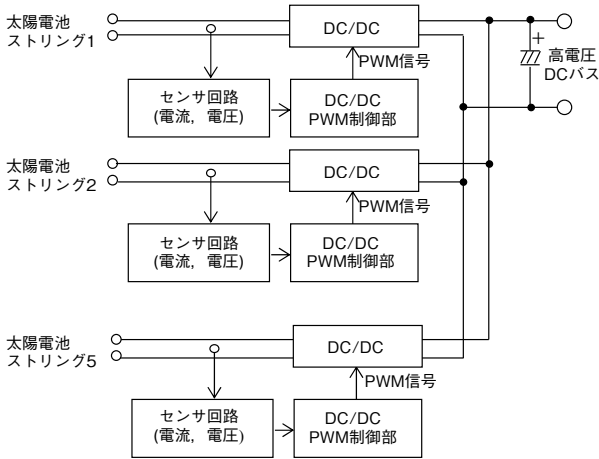
(注2) 大阪瓦斯(株), 東京瓦斯(株), 新日本石油(株)の日本国内における登録商標

生から8秒以内に自立電力出力に切り替わり、エネファームの運転動作を継続できる。

### 3. 創蓄パワコンの特長技術

#### 3.1 太陽光マルチストリングMPPT技術

太陽電池パネルの出力特性は、日射により時々刻々と変化する。今回採用したストリング方式は、集中方式と比較し、太陽電池パネルの接続枚数をそろえる必要がないメリットがあるが、入力回路ごとにMPPT制御する必要がある。第2図に太陽光DC/DCコンバータのブロック構成を示す。



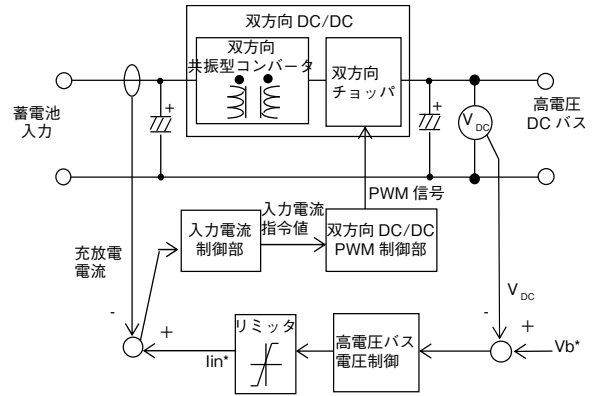
第2図 太陽光DC/DCコンバータ  
Fig. 2 Solar energy DC/DC converters

第2図に示すように、太陽電池と昇圧チョップ回路間に配置した電圧、電流センサから算出した電力量を監視し、ストリングごとの太陽電池パネルの発電電力が最大電力点を維持するように昇圧チョップ回路のデューティ比を変更する。

#### 3.2 蓄電池シームレス充放電技術

太陽電池の発電電力は日射の変動により発電電力の変動が発生するため、発電電力を平滑化するためには、蓄電池に対する高い充放電追従性が要求されると同時に、充放電切り替えをシームレスに行う必要がある。また、創エネと蓄エネを高電圧DCバスで接続したときに、蓄電池を非絶縁型の双方向DC/DCコンバータで接続した場合、蓄電池ユニット出力端子の対地電圧が150Vを超える可能性があり、「住宅の屋内電路の対地電圧の制限150V以下」という内線規程[2]に準拠するため、双方向共振型コンバータと双方向チョップの直列接続による絶縁の双

方向DC/DCコンバータを採用した。第3図に双方向DC/DCコンバータのブロック構成を示す。



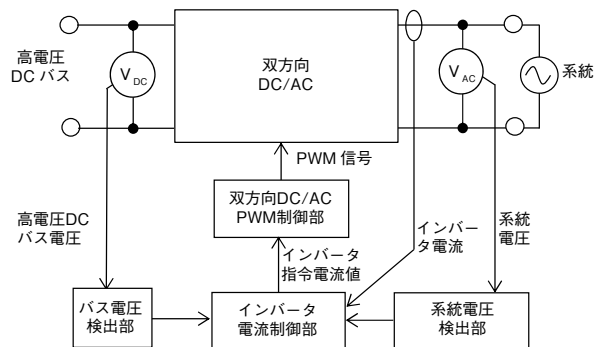
第3図 蓄電池双方向DC/DCコンバータ  
Fig. 3 Bi-directional DC/DC converter for an electric storage

第3図に示すように、双方向DC/DCコンバータでは、双方向共振型コンバータを25 kHzで動作させるとともに、相補同期で駆動する双方向チョップのデューティ比を所望の電流量になるように制御することにより、放電から充電の全領域においてシームレスに充放電を実現した。また、絶縁回路を大電流が導通する蓄電池側に配置し、低電圧である1次側回路にオン抵抗の低い低耐圧FET (Field Effect Transistor) を採用して変換効率の低下を防止した。

#### 3.3 双方向インバータ技術

インバータは、太陽電池パネルが発電しているときと蓄電池が放電しているときは系統側へ電力を供給し、蓄電池を系統から充電するときは、系統側から電力を供給する。

第4図に双方向DC/ACコンバータのブロック図を示す。



第4図 双方向DC/ACコンバータ  
Fig. 4 Bi-Directional DC/AC converter

第4図に示すように高電圧DCバスと系統電圧を監視してインバータの出力電流の大きさと方向に応じたPWM信号により双方向DC/ACコンバータを制御する。

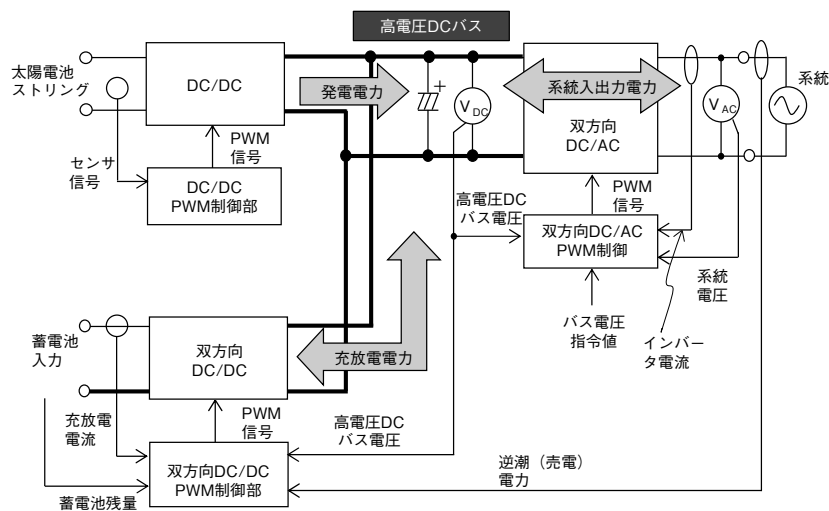
3.4 各コンバータの連携制御技術

3.1節から3.3節に示した各コンバータは、高電圧DCバスを介して接続しており、高電圧DCバスの入出力電力の平衡状態を保つようにコンバータを制御する必要がある。このとき、太陽電池による発電電力は日射による変動が大きく、変動予測ができないため、平衡状態を維持することは難しい。そのため、蓄電池に接続する双方向DC/DCコンバータを高電圧DCバスの電圧変動を抑えるようにPWM制御する。第5図に各コンバータの連携制御のブロック図を示す。

第5図を用いて、平常時と停電時の各コンバータの連携制御の動作を説明する。

平常時においては、太陽光マルチストリングMPPT制御は太陽電池が発電する最大電力を得るように動作する。蓄電池充放電制御は、放電モードでは逆潮流が発生しないように放電電流を制御し、充電モードでは蓄電池残量に応じて充電電流を制御する。双方向インバータは、太陽光の発電電力と蓄電池の充放電電力による高電圧DCバス電圧の変動を抑えるため、系統入出力電力量を制御する。

停電時においては、太陽光マルチストリングMPPT制御は平常時と同様に太陽電池が発電する最大電力を得るように動作する。双方向インバータは、自立負荷に応じて負荷電流を制御する。太陽光の発電電力と自立負荷消費電力による高電圧DCバスの変動を抑えるため、蓄電池の充放電電力量を制御する。



第5図 各コンバータの連携制御

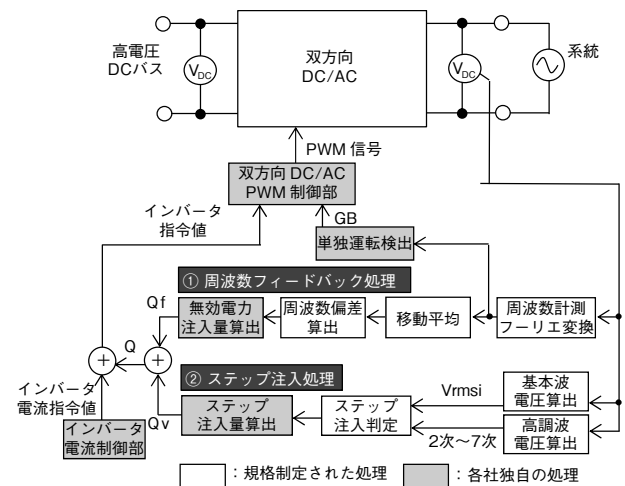
Fig. 5 Cooperative control technology in multiple converters

3.5 新JET認証適合技術（新型単独運転検出）

多数のDC入出力機能（例えば太陽光、蓄電池）を有するパワコンのJET認証規格として「複数直流入力システム用系統連系保護装置等の個別試験方法」が2013年6月に制定された。この試験規格では、2012年8月に（一社）日本電機工業会が制定した「ステップ注入付周波数フィードバック方式（太陽光発電用パワーコンディショナの標準形能動的単独運転検出方式）」[3]（以下、新型単独運転検出方式）を採用している。

第6図に新型単独運転検出方式のブロック図を示す。

第6図に示すように、新型単独運転検出方式の規格では、規格制定された処理と各社に任された処理が共存す



第6図 新型単独運転検出方式

Fig. 6 Flow diagram of the novel method for detecting isolated operation of power conditioner

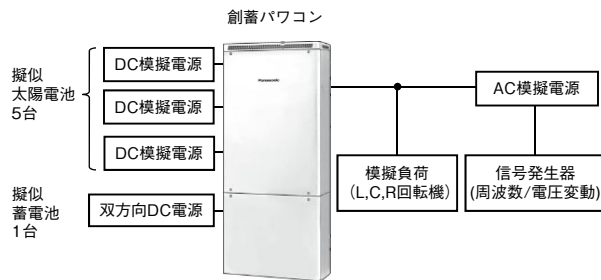
る規格値として、停電発生後200 ms以内に単独運転を検出して停止することが設定されている。

以下、独自に開発した処理部について説明する。無効電力注入量算出部では、電力システムの周波数偏差を算出し、偏差に応じて無効電力注入量 $Q_f$ を決定する。ステップ注入量算出部では、系統電力の電圧変動を検出し、変動に応じて無効電力注入量 $Q_v$ を決定する。インバータ電流制御部から出力される有効電力量と無効電力量を加算し、インバータの制御を行う。単独運転検出部は、注入された無効電力により系統周波数が変動したことにより単独運転を検出する。

## 4. 機能評価

### 4.1 評価条件の設定

開発した各技術の特性を評価するため、評価試験を実施した。試験環境は、太陽電池を模擬するDC模擬電源、蓄電池を模擬する双方向DC模擬電源、系統を模擬するAC模擬電源、宅内の負荷機器を模擬する模擬負荷(L, C, R, 回転機)から構成される。信号発生器は、AC模擬電源に接続され、系統の周波数変動、電圧変動を発生させる。第7図に創蓄パワコンの評価環境を示す。また、第1表に定格評価条件を示す。



第7図 創蓄パワコンの評価環境

Fig. 7 Evaluative environment of power conditioner with photovoltaic solar-energy and electric storage

第1表 定格評価条件

Table 1 Rated conditions

定格項目		定格条件
定格容量	太陽光発電	5.5 kW
	蓄電池放電	2.0 kW
	蓄電池充電	1.5 kW
定格電圧	太陽光接続部	DC300 V
	蓄電池接続部	DC86.4 V
	系統接続部	AC202 V

### 4.2 機能評価の結果

開発した機能を評価するために、第7図に示す評価環境において、動作試験を実施した。第2表に主な評価項目と結果を示す。

第2表 主な評価項目と結果

Table 2 Evaluation result of main items

項目	規格値	結果	
変換効率	太陽光	95.0 %以上	95.0 %
	蓄電池充電	90.0 %	90.0 %
	蓄電池放電	90.0 %	90.0 %
電源品質	系統出力	力率：0.95以上 総合歪率：5 %以下 各高調波歪率：3 %以下	力率：0.999以上 総合歪率：3 %以下 各高調波歪率：2.5 %以下
	自立出力	周波数精度：±1 %以下 総合歪率： 3 %以下(線形負荷) 7 %以下(整流負荷)	周波数精度：±0.05 %以下 総合歪率： 2.5 %以下(線形負荷) 5.0 %以下(整流負荷)
最大放電→最大充電移行時間	150 ms以内	100 ms以内	
日射変動(±25 %急変)	交流過電流：150 %以下 100 %超の時間：500 ms以内	交流過電流：110 %以下 100 %超の時間：100 ms以内	
負荷変動(±25 %急変)	交流過電流：150 %以下 100 %超の時間：500 ms以内	交流過電流：110 %以下 100 %超の時間：100 ms以内	

### 4.3 JET認証適合評価の結果

新JET規格への適合検証を認証試験基準に準拠した試験方法で試験を実施し、すべての項目で認証適合することを確認した。また、JET認証適合証明書も業界で初めて取得した。第3表に新型単独運転試験の結果を抜粋する。

第3表 新型単独運転試験の結果

Table 3 Test results of the novel method for detecting isolated operation

項目	規格値	結果	
周波数フィードバック	周波数変動： ±0.01 Hz	無効電力注入なきこと	注入なし
	周波数変動： ±1.0 Hz	最大1375 varの無効電力を注入	注入あり
ステップ注入	2~7次高調波	無効電力注入なきこと	注入あり
	2.0 V印加	200 var以下の無効電力を3サイクル以下注入	3サイクル以下の注入あり
	基本波電圧を2.5 V急増	50 var以下の無効電力を3サイクル以下注入	3サイクル以下の注入あり
単独運転	検出時間	200 ms以内	200 ms以内

## 5. まとめ

今回、太陽電池による創エネと蓄電池による蓄エネを320 V程度の高電圧DCに変換して接続する創蓄パワコンにおいて、顧客提供価値を創造する5つの技術を開発した。

- (1) 太陽光マルチストリングMPPT技術
- (2) 蓄電池シームレス充放電制御技術
- (3) 双方向インバータ技術
- (4) 各コンバータの連携制御技術
- (5) 新JET認証適合技術

これらの技術を当社パワーコンディショナ系列商品へ展開して、より付加価値の高い商品を創出していく予定である。

今後も、環境に優しい自然エネルギーの活用を図る技術開発を推進し、エネルギーマネジメント事業の発展に貢献していきたい。

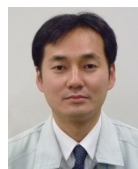
### 参考文献

- [1] 複数直流入力システム用系統連系保護装置等の個別試験方法, JETGR0003-6-1.0, 2013.
- [2] 内線規程, JEAC8001-2011, 2012.
- [3] ステップ注入付周波数フィードバック方式(太陽光発電用パワーコンディショナの標準形能動的単独運転検出方式), JEM1498, 2012.

### 執筆者紹介



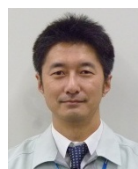
寺澤 章 Akira Terasawa  
エコソリューションズ社  
エネルギーシステム事業部  
Energy System Business Div.,  
Eco Solutions Company



菊池 彰洋 Akihiro Kikuchi  
エコソリューションズ社  
エネルギーシステム事業部  
Energy System Business Div.,  
Eco Solutions Company



吉武 晃 Akira Yoshitake  
エコソリューションズ社  
エネルギーシステム事業部  
Energy System Business Div.,  
Eco Solutions Company



井平 靖久 Yasuhisa Ihira  
エコソリューションズ社  
エネルギーシステム事業部  
Energy System Business Div.,  
Eco Solutions Company