

# 蓄電池併設型太陽光発電用パワーコンディショナ 「ラインバックマイスター」の開発

## Development of Power Conditioner with Batteries for Photovoltaic Generation System “LINEBACK MEISTER”

栗坂昌克\* 横山昌央\* 吉岡佑介\*  
上野勉\* 長野友幸\* 遠藤浩輝\*

Masakatsu Kurisaka Masao Yokoyama Yusuke Yoshioka  
Tsutomu Ueno Tomoyuki Nagano Hiroaki Endo

### Abstract

“LINEBACK MEISTER” is a single phase grid-connected power conditioner that can be connected to both batteries and a photovoltaic output. Two types of output capacities, 10 kVA and 20 kVA are prepared. It can be used back-up, peak-cut and load-leveling applications. Furthermore, it is also equipped with a network card that enables comprehensive control of photovoltaic output, battery and load, so it can be applied to Energy Management Systems and Virtual Power Plant applications. “LINEBACK MEISTER” has a compact structure, various charge modes and battery capacity line-up making it possible to meet the various customer configurations.

*Key words*: Peak-cut operation; Load-leveling operation; Energy management system

## 1 まえがき

東日本大震災以降、原子力に代わるエネルギー源の一つとして太陽光発電に代表される再生可能エネルギーが注目されている。2012年の固定価格買取制度の開始に伴い、太陽光発電システムの普及は飛躍的に進んだ。同時に、災害時にも利用可能なエネルギーとしても認識されるようになり、太陽電池と蓄電池とを組み合わせることで系統停電発生時にも安定な電力を供給できることから、防災拠点への導入も広まった。

\* 産業電池電源事業部 電源システム生産本部 開発部

しかしながら、再生可能エネルギーは天候や気候などの外部環境に発電電力量が左右される不安定なエネルギーである。また、固定価格買取制度の買取価格の引き下げが進んだこともあり<sup>1,2</sup>、近年では、エネルギーマネジメントシステム（以下、EMS）による再生可能エネルギーの自家消費システムや、分散型電源を統合的に制御することで一つの発電所のように利用するバーチャルパワープラント（以下、VPP）といった、次世代の電力マネジメント技術が注目を集めている。これらを実現するには、電力貯蔵の技術が不可欠であり、蓄電池併設システムの必要性が高まっている。

当社はこれまでに、蓄電池を搭載した太陽光発電用

パワーコンディショナ（以下、PCS）として、「ラインバックΣシリーズ」や「パワーソーラーシステムシリーズ」を開発してきた<sup>34</sup>。今回新たに、自家消費システムや分散型電源の導入が見込まれる単相連系中容量帯向けの高機能製品として、蓄電池併設型太陽光発電用 PCS「ラインバックマイスター（以下、LB マイスター）」を開発した。本報告では、「LB マイスター」の製品概要について述べる。

## 2 外観および仕様

「LB マイスター」は、太陽電池と蓄電池との停電時の自立運転機能だけでなく、節電対策に利用可能なピークカット機能やロードレベリング機能を備えている。細かな充放電設定や EMS 機能を用いることで、より高度な自家消費システムや VPP 用途としても活用することができる。出力容量は 10 kVA と 20 kVA の 2 機種、蓄電池容量は 16.8 kWh, 33.7 kWh, 50.6 kWh の 3 種類のシステムをラインアップしており、蓄電池種類はリチウムイオン電池と鉛蓄電池に対応している（鉛蓄電池は開発中）。

「LB マイスター」の外観、寸法および仕様をそれぞれ Fig. 1, Table 1 および Table 2 に示す。

太陽電池の最大入力電圧は、既存製品の DC600 V から DC650 V に拡大し、太陽電池の直列枚数の選択



図1 「ラインバックマイスター」の外観  
Fig.1 Exterior of "LINEBACK MEISTER".

表1 外形寸法

Table 1 External dimensions of "LINBACK MEISTER".

パワーコンディショナ盤			
寸法 (mm)			
出力容量	幅 (W)	奥行 (D)	高さ (H)
10 kVA および 20 kVA	600	800	1900

蓄電池盤（リチウムイオン電池搭載、直列セル数 96）				
寸法 (mm)				
並列数	参考容量 (kWh)	幅 (W)	奥行 (D)	高さ (H)※
1	16.8	400	800	1900
2	33.7	800	800	1900
3	50.6	1000	800	1900

※ チャンネルベースは含まず

表2 パワーコンディショナの仕様

Table 2 Specifications of power conditioner.

項目	標準仕様
出力容量	10 kVA または 20 kVA
方式	インバータ
電力制御	電圧型電流制御（連系時） / 電圧型電圧制御（自立時）
絶縁	最大電力追従制御（太陽電池）、逆潮流防止制御（蓄電池放電時）、定電流定電圧定電力制御（蓄電池充電時）
冷却	非絶縁（トランスレス） 強制風冷
直流入力	定格電圧 400 V 直流電圧範囲 0 V ~ 650 V 最大電力追従範囲 200 V ~ 550 V
交流出力	相数 単相 3 線（O 相接地） 定格電圧 101 V, 202 V 定格周波数 50 Hz または 60 Hz 電力変換効率 95.0% 出力基本波力率 95% 以上 電流歪率 5% 以下（総合）、3% 以下（各次）
連系保護機能	過電圧 (OV), 不足電圧 (UV), 過周波数 (OF), 不足周波数 (UF)
単独運転検出	受動的方式 周波数変化率方式 能動的方式 ステップ注入付周波数フィードバック方式
自立運転出力	出力容量 10 kVA または 20 kVA（負荷合計は出力容量以下） 定格周波数 50 Hz または 60 Hz 相数 単相 3 線 定格電圧 101 V, 202 V 定電圧精度 ±6 V 以内（定格出力 101 V 時）、±12 V 以内（定格出力 202 V 時） 周波数精度 ±0.1 Hz 以内 電圧波形歪率 総合 5% 以内
蓄電池	モジュール形式 LIM50EN シリーズ 蓄電池容量 16.8 kWh（1 並列時） 33.7 kWh（2 並列時） 50.6 kWh（3 並列時）
使用環境	周囲温度 -10°C ~ 40°C 相対湿度 10 ~ 90% 高度 海拔 0 ~ 1000 m 設置場所 屋内（有毒ガス・ほこりの少ない所、塩分のない所、居住空間を除く）

幅を広げて、顧客ニーズに幅広く対応可能とした。主回路変換素子は、これまで一般的に使用されていたSiチップのIGBTから、スイッチング損失の少ないSiCチップを用いたFETを採用し、定格運転時の電力変換効率は業界最高効率となる95.0%を実現している。正面の液晶タッチパネルを用いた表示器では、太陽電池発電電力や蓄電池充電量などの状態確認をはじめ、設定確認や設定変更、異常履歴確認などを簡単に操作可能な設計としている。

PCS盤は、系統停電時の主回路切替機能と単相三線出力用オートトランスとを内蔵している。PCS盤は構造を新規設計し、最適な部材配置をおこなうことで、幅600mm（PCS盤のみ）のスリムな構造を実現した。これにより、PCS盤に別盤を追加して切替回路やオートトランスを設置する場合と比べて、設置床面積を約40%削減した（蓄電池盤寸法を含まず）。また、機器のメンテナンスはすべて前面からアクセス可能な構造（特許出願中）としたことにより、側面および背面の設置保有距離を不要とし、柔軟な配置設計を可能とした。

なお、蓄電池は、当社製リチウムイオン電池

「LIM50EN」シリーズに対応しており、今後、鉛蓄電池や他のリチウムイオン電池にも対応する予定である。

### 3 回路構成とシステム概要

「LB マイスター」の回路構成を Fig. 2 に示す。太陽電池用と蓄電池用とに独立したコンバータを搭載しており、太陽電池の最大電力追従制御をおこないながら、蓄電池の充放電を制御することができる。搭載された系統保護機能により、安全な系統連系をおこなうとともに、系統停電時には自動的に回路が切り替わり、非常用特定負荷（AC200V および AC100V）を利用することが可能である。回路構成および構造は、10kVA仕様と20kVA仕様の共通化やメンテナンス等の作業性を意識して設計し、部材共用化や電力変換部や電解コンデンサ部のユニット化を実現している。主要部材であるSiC-FETは先に開発した「ラインバックαIV」<sup>5</sup>と同一品を用いることで、納期短縮やコストダウンに寄与している。

太陽電池と蓄電池の電力制御機能は、すでに商品化

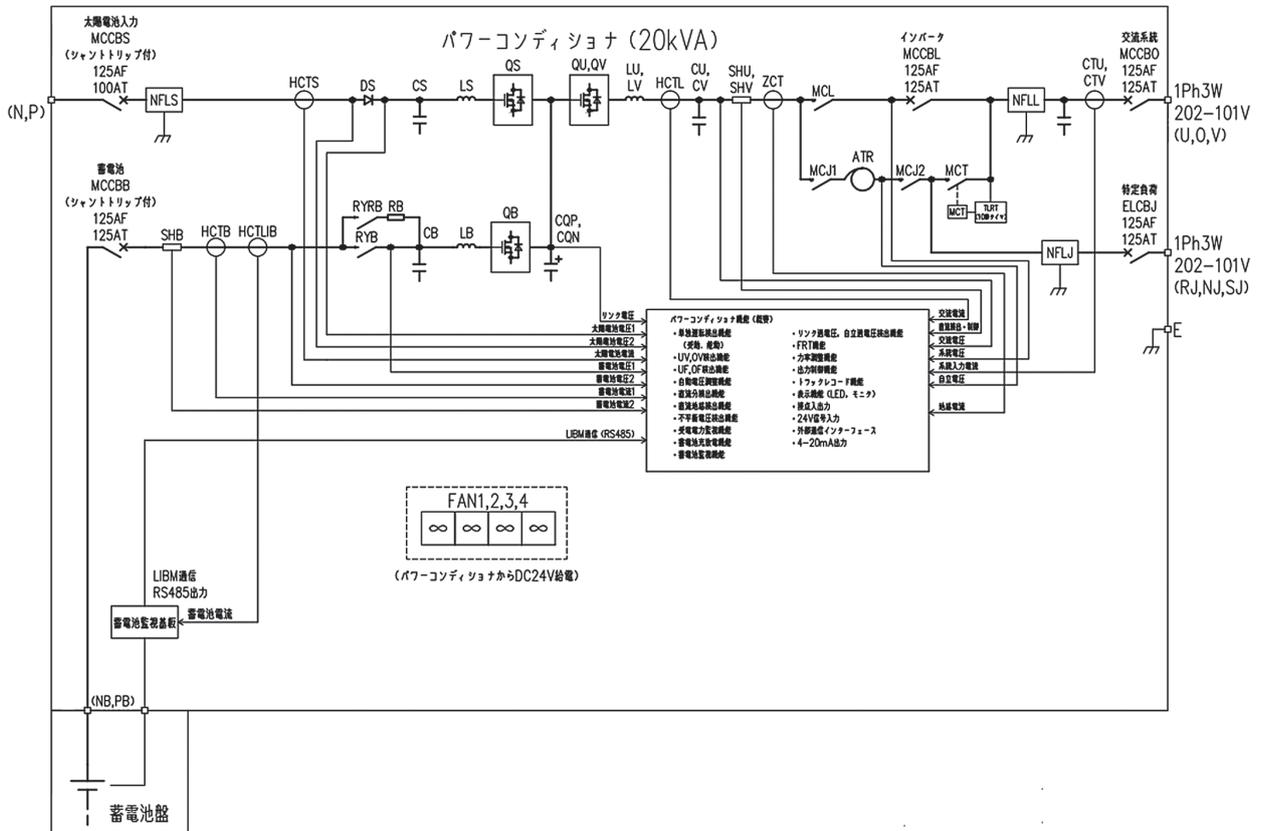


図2 ラインバックマイスター回路構成  
Fig.2 Circuit configuration of "LINEBACK MEISTER".

している「ラインバックΣⅢ」と「パワーソーラーシステムⅢ」双方の機能を備えており、内臓している受電電流検出センサで検出した受電電力をもとに、設定された動作モードに応じて蓄電池を最適に充放電する制御と、外部機器からの指令値通りに動作する制御とを選択することができる。設定により、「停電対応システム」、「ピークカットシステム」および「ロードレベリングシステム」の3種類のシステム用途に対応することができ、蓄電池の充放電運転は、内部タイマーや外部入力を用いることで、予め設定された時間や任意のタイミングで開始することができる。また、新たに搭載した「系統解列充電機能」により、蓄電池の充電を太陽電池電力のみでおこなうことも可能となった。

以下、「停電対応システム」、「ピークカットシステム」、「ロードレベリングシステム」および「系統解列充電機能」について詳しく述べる。

### 3.1 停電対応システム

「LBマイスター」は、停電時に特定の負荷へ電力を供給することができる自立運転機能を搭載している。蓄電池の搭載により、雨天や夜間など、太陽電池が十分に発電できない状況で停電した場合においても、PCSの定格容量まで電力を安定に供給することができる。

Fig. 3 および Fig. 4 に、停電対応システムにおける電力系統健全時と停電発生時の電力フローイメージをそれぞれ示す。Fig. 3 に示すように、電力系統が健全な場合は、昼間は一般的な太陽光発電システムとして動作し、任意の設定時間（Fig. 3 では夜間）に充電することで自己放電を補い蓄電池の充電状態を維持して停電に備える。Fig. 4 に示すように、系統が停電した場合は、自立運転をおこない、太陽電池発電電力に対して負荷の使用電力が小さい場合は余剰電力を蓄電池に充電し、大きい場合は不足電力を蓄電池から放電する。



図3 停電対応システムの電力フローイメージ（電力系統健全時）  
Fig. 3 Power flow image of back-up application system (during normal grid operation).

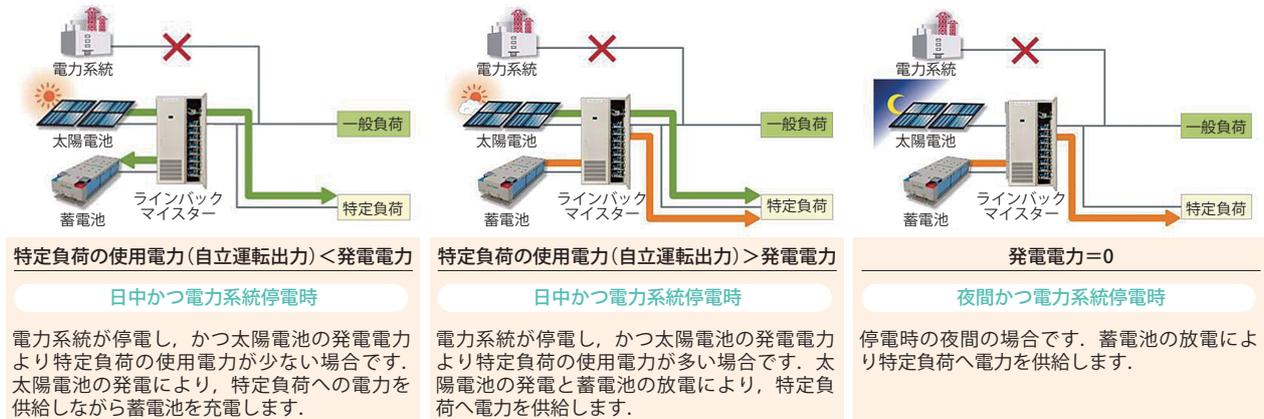


図4 停電対応システムの電力フローイメージ（停電発生時）  
Fig. 4 Power flow image of back-up application system (during grid power failure).

自立運転中に系統が復電した場合は、自立運転を停止し、安全に連系運転に移行する。また、復電後、次の停電に備えてすぐに蓄電池を充電する機能も有している。

### 3.2 ピークカットシステム、ロードレベリングシステム

「LBマイスター」は、内部タイマーまたは電力を監視している外部機器からの接点信号を用いて、あらかじめ設定された時間や任意のタイミングにて設定電力で交流出力を開始するピークカット運転機能と、通信信号（RS-485）やアナログ入力（4-20 mA）などの外部信号を用いて電力指令を与えることで、より柔軟な電力供給に対応できるロードレベリング運転機能を搭載している。Fig. 5にこれらの機能を用いたピークカットシステムおよびロードレベリングシステムにおける電力フローイメージを示す。

ピークカット運転時は、蓄電池の放電電力を制御して、太陽電池の発電電力に関わらず設定電力を安定に出力する。設定電力に対して太陽電池電力の発電量の方が大きい場合は、放電動作から充電動作に運転を停止することなく移行し、発電電力の余剰分を有効に利用することができる。Fig. 6にピークカットシステムによる受電電力抑制のイメージを示す。図のように、電力デマンド逼迫時にピークカット運転をおこなうことで負荷へ電力を供給し、受電電力のピーク抑制が可能となる。

ロードレベリング運転時は、電力指令に基づいて蓄電池の充放電を制御することで、電力の出し入れを途切れなく任意の値に制御することができる。電力指令に対して太陽電池電力に余剰が発生する場合は、ピーク

カット運転と同様、放電動作から充電動作に途切れなく移行し、余剰電力が蓄電池に充電される。Fig. 7にロードレベリングシステムによる電力シフトのイメージを示す。図は受電電力を一定にする電力指令を与えた場合を示すが、EMS等でシステム電力を監視しながら電力指令信号を与えることで、発電電力が不安定な再生エネルギーを利用したシステムの電力変動抑制や、分散型電源の統合管理によるVPPなど、幅広い分野に応用できる。

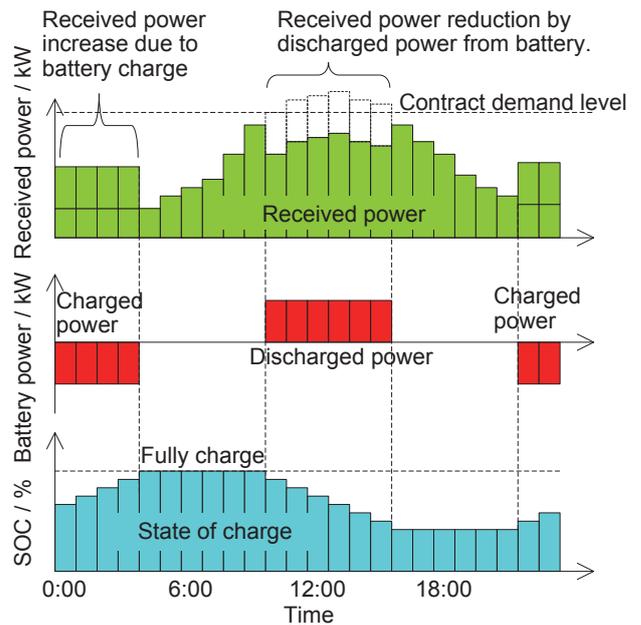


図6 ピークカットシステムにおける消費電力のカットおよびシフトイメージ  
Fig. 6 Cutting and shifting image of power consumption in peak-cut system.

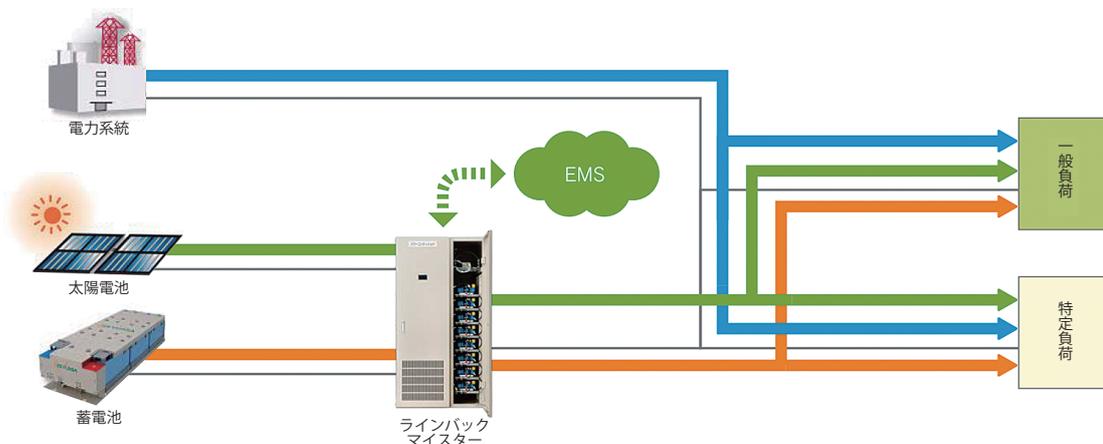


図5 ピークカットシステムおよびロードレベリングシステムの電力フローイメージ  
Fig. 5 Power flow image of peak-cut and load leveling system.

なお、蓄電池からの電力系統への逆潮流は禁止されているため、必要に応じて逆電力継電器などの設置が必要となる。

### 3.3 系統解列充電機能

「LBマイスター」では、内部タイマーまたは外部機器からの接点信号を用い、系統とパワーコンディショナの交流出力を物理的に切り離れた状態で、太陽電池の発電電力のみで蓄電池を充電する系統解列充電機能を搭載している。Fig. 8に系統解列充電の電力フローイメージを示す。図のように、系統解列充電中は太陽電池の発電電力はすべて蓄電池に充電され、電力系統から蓄電池へ充電されることはない。この機能を用い

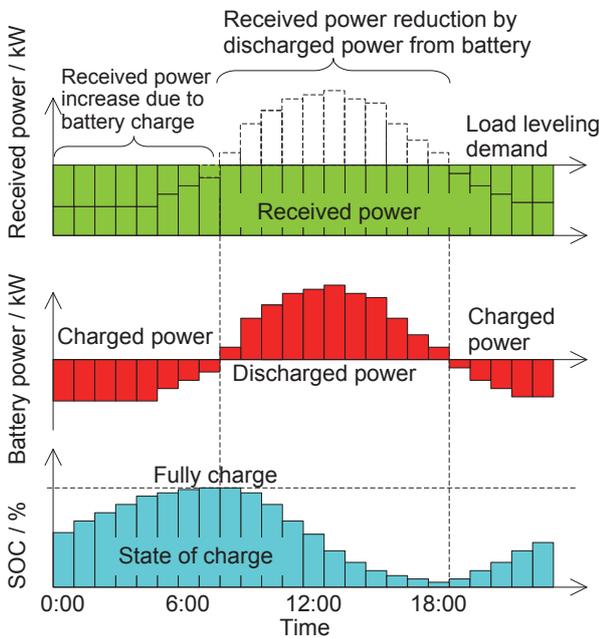


図7 電池貯蔵電力によるロードレベリングシステムの電力シフトイメージ  
Fig. 7 Power-shifting image of load-leveling system by battery storage power.

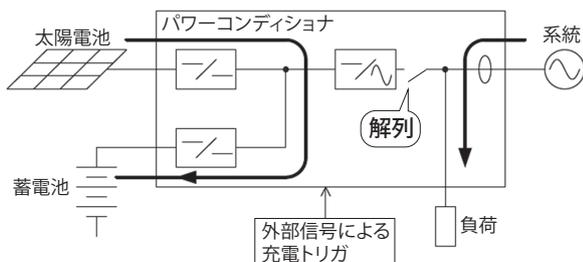


図8 系統解列充電の電力フローイメージ  
Fig. 8 Power flow image of charge operation disconnected from grid.

ることで、蓄電池の充電を太陽電池電力のみでおこなうシステムなど、より多様な自家消費システムへの対応が可能である。

## 4 動作特性と実証試験結果

「LBマイスター」の定格入出力条件（20 kVA仕様）における、太陽電池の発電電力を交流電力に変換した場合の出力力率および電力変換効率の特性をFig. 9に示す。図より、出力容量の100%出力時に電力変換効率95.0%を達成しており、50%～100%出力の範囲で最大効率が得られる特性であることがわかる。蓄電池充放電においても同程度の変換効率を実現しており、各電力変換時に発生する損失を抑えていることを示す結果である。

つぎに、ピークカット運転機能の検証結果を示す。太陽電池入力10 kW（交流換算値）、ピークカット運転中の出力電力設定20 kWの状態では、外部機器よりピークカット運転信号を受信した場合の動作特性をFig. 10に示す。図より、ピークカット運転信号を受信後、出力設定電力20 kWに対する不足分の10 kWを蓄電池からの放電で補っていることがわかる。このとき、太陽電池電力と蓄電池電力を制御する上で重要となるリンク電圧は安定に制御されており、系統電圧や交流出力電流への悪影響も見られない。

ピークカット機能および系統解列充電機能を用いた実証試験として、「LBマイスター」を当社の社内設備

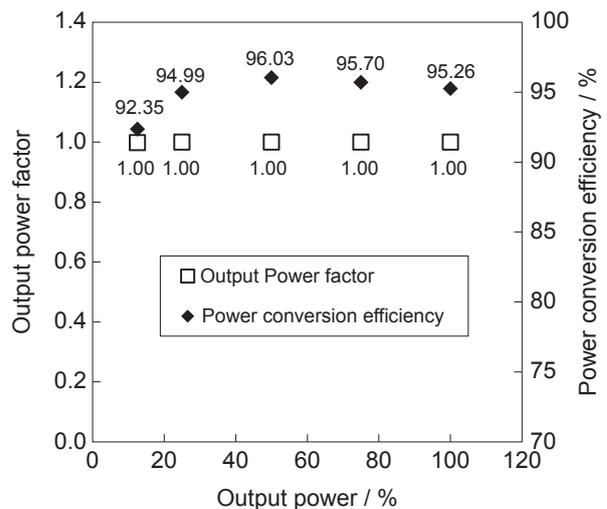


図9 出力に対する効率および力率  
Fig. 9 Output power factor and power conversion efficiency for output power.

に導入し、ピークカットシステムを構築した。運転条件を「ピークカット運転時間 7:00 ~ 23:00, 設定出力 6 kW, 蓄電池放電下限充電量 30%」とした1日の電力の動きを, Fig. 11 および Fig. 12 (Fig. 11 の 12:00 付近の拡大) に示す。蓄電池放電下限充電量の設定は, 系統停電時を考慮した値に任意が設定可能である。Fig. 11 より, ピークカット運転開始後, 蓄電池が放電下限充電量に達すると, 蓄電池は太陽電池からの余剰電力を充電する動作に切り替わっていることがわかる。また, 日中のは, 太陽電池電力の変動時も交流出力を一定にしながら, 設定出力に対して余剰の太陽電池電力は無駄なく蓄電池に充電できていることがわかる。一方, 日没後は, 蓄電池に充電された太

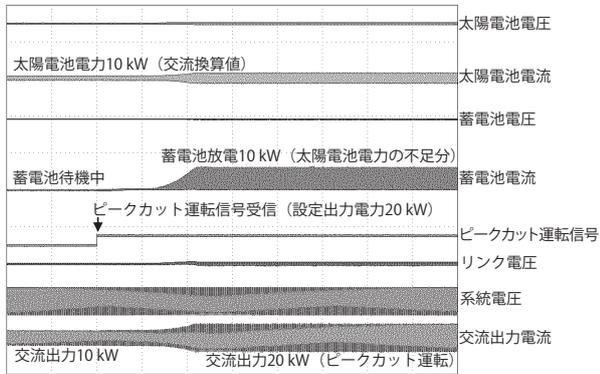


図 10 ピークカット運転の動作特性  
Fig. 10 Operating characteristics of peak-cut operation.

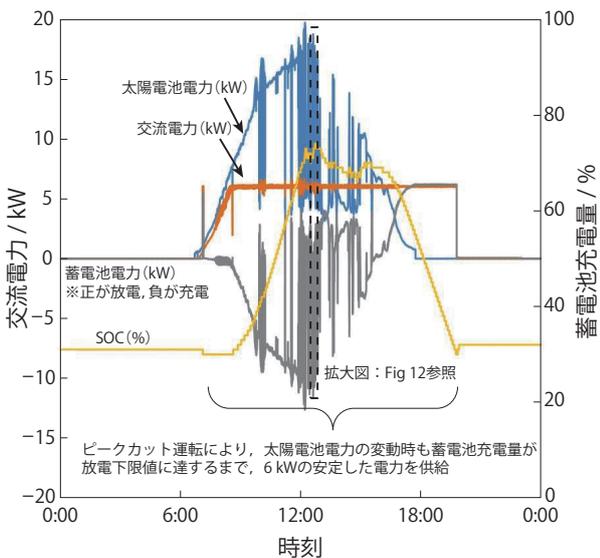


図 11 ピークカットシステムの実証試験データ  
Fig. 11 Field trial data of peak-cut system.

陽電池電力を用いて, 放電下限充電量まで一定の出力が継続されていることもわかる。つぎに, Fig. 12 より, 正午付近における太陽電池電力の変動が激しい期間 (対象期間の最大変動約 3 kW / s) でも, 蓄電池の充放電が途切れなく切り替わることで交流出力が一定に保たれていることがわかる。さらに, 運転条件を「系統解列充電時間 6:00 ~ 20:45, ピークカット運転時間 17:00 ~ 23:00, 設定出力 6 kW, 蓄電池放電下限充電量 30%」とした1日の電力の動きを, Fig. 13 に

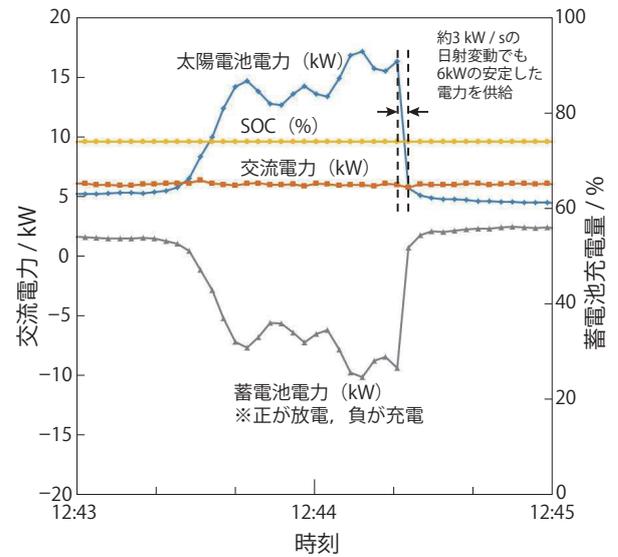


図 12 ピークカットシステムの実証試験データ (拡大図)  
Fig. 12 Field trial data of peak-cut system (enlarged view of Fig. 11.).

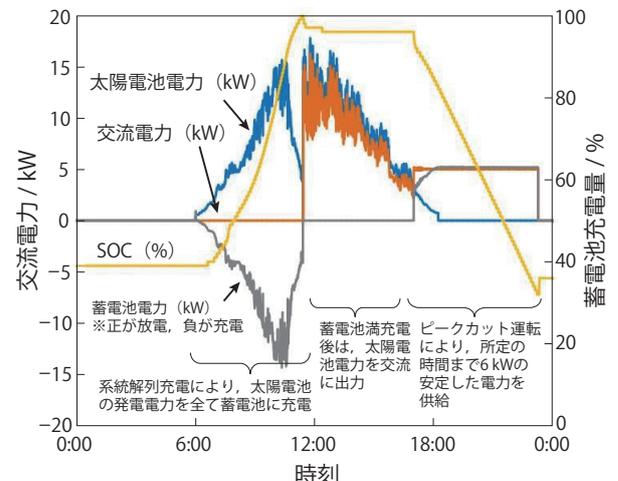


図 13 ピークカットシステムの実証試験データ  
Fig. 13 Field trial data of charge operation disconnected from grid.

示す。系統解列充電が開始されると、太陽電池の発電電力がすべて蓄電池に充電されていることがわかる。蓄電池充電量が100%に達すると、系統解列充電を終了し、太陽電池電力を交流出力している。日没付近から夜中にかけては、ピークカット運転をおこなうことで、所定の時間まで交流出力を一定に保つことができている。この運転条件では、蓄電池電力はすべて太陽電池電力からの充電で賄われているため、日中の太陽電池電力を夜間における蓄電池電力としてシフトしたことになる。

## 5 まとめ

蓄電池併設型太陽光発電用PCS「LBマイスター」を開発した。本製品では、SiC-FETを用いた高い電力変換効率と、太陽電池と蓄電池とを個別の最適制御によって、太陽電池電力の有効活用が可能となった。また、「停電対応システム」、「ピークカットシステム」および「ロードレベリングシステム」への対応に加えて、蓄電池の充電を太陽電池電力のみでおこなう「系統解列充電機能」を設けたことで、これまでの当社の製品では標準対応できなかった自家消費システムにも柔軟に対応することが可能になった。さらに、実証試験において、太陽電池電力の変動の交流出力への影響

を抑えながら、余剰電力を有効に利用するシステムへの対応についても検証をおこない、良好な結果を得ることができた。

再生可能エネルギーの普及拡大と共に、系統安定化に関する新たな取り組みや、より柔軟な自家消費システムへの対応、分散型電源を統合管理する制御といったシステム全体を考慮した製品の必要性は益々高まっているため、今後も本製品をはじめとして、市場ニーズに貢献できる製品開発をおこなっていく。

## 参考文献

1. 経済産業省 News Release  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/legal.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/legal.html)
2. 経済産業省 資源エネルギー庁ホームページ  
[http://www.meti.go.jp/press/index\\_2014.html](http://www.meti.go.jp/press/index_2014.html)
3. 横山昌央, 遠藤浩輝, 詫間隆史, 横山晋也, Yiga Allan, *GS YUASA Technical Report*, **9** (2), 24 (2012).
4. 新製品紹介「パワーソーラーシステムⅢ」, *GS YUASA Technical Report*, **12** (1), 26 (2015).
5. 遠藤浩輝, 詫間隆史, 水川雄太, 林健太郎, 篠田雄作, *GS YUASA Technical Report*, **13** (1), 19 (2016).