

加西グリーンエナジーパークにおけるスマートエナジーシステム

Smart Energy System at Kasai Green Energy Park

奥田 泰生 本郷 仁志 中島 武
Yasuo Okuda Hitoshi Hongo Takeshi Nakashima

池部 早人 萩原 龍蔵 内橋 健二
Hayato Ikebe Ryuzo Hagihara Kenji Uchihashi

要 旨

25万本のリチウムイオン円筒セルを用いた1.3 MWh大規模蓄電システム、太陽光発電と蓄電池を組み合わせたDC配電システムなどを開発し、加西グリーンエナジーパーク（加西GEP）に設置した。18650型円筒セルを312個内蔵した蓄電用標準電池システムのセル電圧、電流、温度などの情報を個別に監視する、安全かつ最適に充放電制御を行うバッテリーマネジメントシステム（BMS: Battery Management System）を開発したことにより、800台のLiBパックを5直列×160並列に配置した大型蓄電システムを実現した。また、DC配電システムでは太陽電池で発電した電力を蓄電池に蓄えながら、LED（Light Emitting Diode）照明などの直流機器に直流のまま配電することで電力の変換ロスを低減し、電気料金やCO₂の削減を実現した。

Abstract

We have established a 1.3 MWh large-scale battery system using 250 000 pieces of 18650-type cells and a DC power distribution system consisted of photovoltaic modules and Li-Ion batteries as a Smart Energy System at Kasai Green Energy Park in Hyogo Prefecture. We have developed a new Battery Management System (BMS) that can monitor voltage, current, and temperature of all cells to ensure the safety of the system. By using BMSs, the large-scale battery system can control 800 standard batteries that are connected in a grid of 5 in series × 160 in parallel. In addition, in order to reduce power conversion losses, the DC power distribution system powers DC equipment such as LED lighting directly using direct-current power while charging the Li-Ion batteries from the photovoltaic modules.

1. はじめに

近年、CO₂排出による地球温暖化や、原子力発電の安全性への不安などから、太陽光など再生可能エネルギーへの期待が高まっている。一方で、再生可能エネルギーは天候に左右されるなど、安定利用に課題があり、大量の電力を貯蔵できる蓄電システムとの併用が注目を集めている。

そのような中、当社は低炭素社会の実現に向けた環境配慮型工場として、2010年10月に加西グリーンエナジーパーク（以下、加西GEPと記す）を兵庫県加西事業所に開設した。加西GEPでは、「創エネ」として単結晶シリコン基板とアモルファスシリコン薄膜を用いて形成したハイブリッド型のHIT^(注)（Heterojunction with Intrinsic Thin-layer）太陽電池による1 MWメガソーラーシステムを設置した。「蓄エネ」として1.3 MWh大規模蓄電システムやDC配電システムなどから構成される、総容量1.5 MWhの蓄電システムを構築した。リチウムイオン電池を用いた蓄電システムとしては世界最大規模である（開設時、当社調べ）。「省エネ」としては不要な空調稼働・

照明点灯を削減する空調統合監視システムをはじめ、LED照明、生産に伴う排熱再利用などの省エネシステムを導入した。そしてそれらを最適に統合し制御するスマートエナジーシステム（SES: Smart Energy System）を構築した。加西GEPは、高効率な充放電、快適性を損なわない省エネなど、各種のエネルギーマネジメント技術の実証実験場として活用され、効率的なエネルギー利用により、年間2480 tのCO₂排出量削減を目指している。

当社は、多様な蓄電池規模に対応できる拡張性を備え、高効率で安全な充放電が可能なバッテリーマネジメントシステム（BMS）を開発した。BMSは、電力量1.6 kWhの蓄電用標準電池システム（LiBパック）を多直列多並列に接続し、効率よく充放電することができる。さらに幅広い用途への拡張性を検証するため、太陽電池と蓄電池を併用したシステムを構築している。

本稿では、加西GEPで構築したSES、および各システムの基幹部となるBMSについて紹介する。さらに、大規模蓄電システム、およびDC配電システムにおける充放電制御の特性、効率について報告する。

(注) 三洋電機（株）の登録商標

2. スマートエナジーシステム (SES) の概要

加西GEPには、メガソーラーシステムをはじめ、大規模蓄電システム、DC配電システムなど、さまざまなタイプのシステムを構築している[1]。各システムを構築するにあたり、充放電制御の安全性、システムの拡張性、およびエネルギー利用の効率化に重点を置きシステム設計を行った。本章では、システム設計の特徴、各システムの基幹部となるBMS、およびSESによる消費電力、CO₂の削減効果について示す。

2.1 加西GEPのシステム設計

蓄電池を備えたシステムには、大規模蓄電システム、DC配電システム、ソーラー駐輪場、ソーラーチャージングステーション（電気自動車用充電装置）などがあり、それぞれBMSが組み込まれている。BMSは、LiBパックの充放電制御だけでなく、異常検知、通信機能を備えており、システムの安全面も担っている。システム設計の特徴を以下に示す。

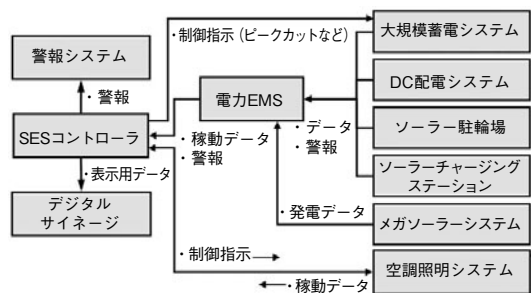
〔1〕システムの安全性

第1図は、加西GEPで構築した主なシステムの接続図である。全システムを統括的に管理するため、各システムのセル電圧、電流、温度などすべてのデータを記録する電力EMS（Energy Management System）、システムの稼働状況を監視し、異常を検知すると警報システムに通報するSESコントローラを配置し、社内LANとは独立したネットワークに接続して常時監視を行っている。

〔2〕システムの拡張性

BMSをネットワーク接続することで複数のBMSを制御することができる。大規模蓄電システムでは、40台のBMSを用いて800個のLiBパックを同時に制御することで、総容量1.3 MWhの蓄電池をあたかも1つの電池のように制御することができる。

さらに、BMSは太陽電池（PV: PhotoVoltaic）とLiBパッ



第1図 加西GEPのシステム構成

Fig. 1 Constitution of SES at Kasai GEP

クを接続し、太陽電池・蓄電池一体型システムを構築することができる。太陽電池・蓄電池一体型のDC配電システムでは、PVで発電した電力を直流のまま蓄電池に充電し、直流のままLEDやPCに配電することができる。電力の変換ロスを低減し、電気料金やCO₂の削減を実現している。ソーラー駐輪場は、駐輪場の屋根に取り付けたPVで発電した電力を蓄え、電動ハイブリッド自転車へ充電することができる。ソーラーチャージングステーションは、両面発電型PVとLiBパックを備え、電気自動車に充電することができる。

〔3〕エネルギー利用の効率化

SESコントローラで集計したPV発電量、蓄電容量、消費電力量、省エネ電力量、CO₂削減量などをディスプレイ表示する、デジタルサイネージ機能を構築している。加西GEP内に設置したPVは構内スマートグリッドに接続し、発電した電力を構内で使用している。エネルギーの使用状況を「見える化」することで、工場やオフィスにおけるエネルギー使用の無駄やムラを抽出し、現場環境の改善に取り組んでいる。また、常時ログデータを記録しているので、エネルギーの変換効率、長期運転による耐久性や劣化などの分析、評価に役立てることができる。

2.2 バッテリーマネジメントシステム (BMS)

各システムにおける充放電制御は、今回新規に開発したBMSが行う。BMSの構成図およびLiBパックの外観を、第2図に示す。BMSは、主にバッテリースイッチングユニット（BSU: Battery Switching Unit）、バッテリーマネジメントユニット（BMU: Battery Management Unit）で構成される。各ユニットの共通化を図り、ソフトウェアのパラメータ設定で多様な要望に柔軟に対応できるように設計している。



第2図 バッテリーマネジメントシステムとLiBパック

Fig. 2 Battery management system and LiB pack

開発したBMSの特徴を下記に示す。

- LiBパックの動作状態を監視し、電池の性能を最大限に引き出すバッテリー制御技術
- セル間／蓄電ユニット間の電圧バランスをとるための充放電バラランシング技術
- セル／蓄電ユニット／システム／筐体（きょうたい）の各レベルにおける高度な安全設計
- 住宅向けから大規模用途まで目的に合わせて容量の組み合わせが可能な高い汎用性

以上のように、システムの基幹部を共通化することで、システムの品質、安全基準の一元化を図ることができる。

また、蓄電池の寿命特性は、蓄電池の充電状態SOC (State Of Charge) に基づいて充放電を制御することで、劣化につながる過充電、過放電を回避できる。

2.3 総発電量・CO₂削減量

加西GEPがオープンしてから6ヶ月間の実績として、PV発電量、消費電力削減量、CO₂削減量を示す。PVの発電量は、地域や季節、設置方法などの条件により異なるが、関西エリアでの平均的な発電量が得られている。消費電力削減量は、省エネシステムとして導入した空調統合監視システムやLED照明などで消費電力を削減した合計量である。工場系設備は、排気熱再利用など工場に導入した設備によるCO₂削減量である。CO₂削減量の合計は428 tとなった。CO₂換算式を括弧内に示す。

太陽光発電	:187 t-CO ₂ , 580 MWh (0.3145 kg-CO ₂ /kWh)
消費電力削減	:13 t-CO ₂ , 35 MWh (0.366 kg-CO ₂ /kWh)
工場系設備	:228 t-CO ₂
CO ₂ 削減量総計	:428 t-CO ₂

3. 大規模蓄電システム

蓄電池棟に設置した大規模蓄電システムは、18650型円筒セル約25万個を用い、総容量約1.3 MWhのリチウムイオン蓄電池の充放電を行う。本システムの外観およびLiBパックを、第3図に示す。主に、深夜電力や休日の余剰電力を蓄電し、平日昼間のピーク時に放電することで電力ピークカットを行う。さらに、新規開発のシステムや蓄電池の性能、充放電の高効率化、蓄電池の長寿命化などの検証にも活用している。

3.1 システム構成

本システムは主に以下の各機器により構成されている。



第3図 大規模蓄電システムの全景
Fig. 3 View of mega battery system

[1] 蓄電用標準電池システム (LiBパック) 800台

ノートPCなどに用いられ安価で信頼性の高い民生用18650型円筒セル（直径18 mm、高さ65 mm）を312本内蔵している。定格48.3 V、容量1.6 kWh、各セルの電圧・電流・温度を常時監視し、監視データを定期的にBMUに送信する。

[2] バッテリースイッチングユニット (BSU) 40台

1台のBSUには20台のLiBパックが5直列4並列で接続される。BSUは、LiBパックの充放電に応じて直列ごとにメインバスとの接続／切断制御を行う。異常発生時には、メインバスとの接続を遮断し、蓄電池に過電流や異常電圧がかからないように制御する。

[3] バッテリーマネジメントユニット (BMU) 40台

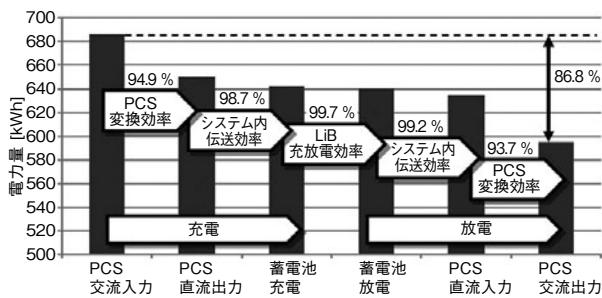
充放電指令に基づいて、LiBパックへの充電および放電を行う。BMSの基幹部となり、周辺機器の制御および監視を行う。LiBパックの電流、電圧、温度などのデータを監視する。監視データから異常を検知したときは充放電を中断し、即座に警報を送信するとともに、必要に応じて異常箇所を遮断する。

[4] マスター BMU (MBMU) 1台

充放電を制御する各BMUの統括制御を行う。SESコントローラからの充放電指令に基づいて、8台の双方向パワーコンディショナ (PCS: Power Conditioning System) を制御する。また、BMUから異常を受信すると、即座にPCSの充放電を停止させる。

[5] 双方向パワーコンディショナ (PCS) 8台

3相交流200 Vと直流240 Vを相互に変換できる。系統連携双方向インバータである。出力は充電放電とも1台当たり最大60 kW、合計480 kWである。1台ごとに独立して充放電することが可能である。



第4図 充放電効率

Fig. 4 Conversion efficiency

3.2 充放電効率

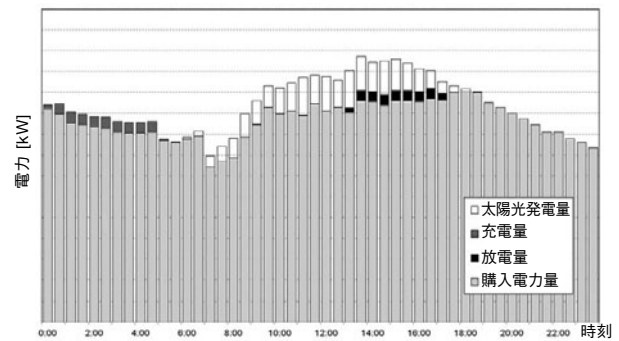
蓄電池システムにおいて、充放電効率の向上は重要な課題の1つである。大規模になればなるほど、損失するエネルギー量は大きくなり、充放電効率はシステムを評価する重要な要因となる。リチウムイオン蓄電池は、体積・重量当たりのエネルギー密度が高く、内部抵抗が小さいため、充放電時のロスが少なく、充放電効率が高い特長がある。そこで、ピークカット利用を想定した運転を行った場合の充放電効率を計測した。

本システムではPCS交流端で出力が一定になるよう定電力制御を行っているが、直流端では充放電の状況により、電流・電圧・損失が異なる。また、システム待機中でも、蓄電池の安定化作用、自己放電などにより、蓄電量は変化する。そこで、SOC 25%の状態まで放電した状態から計測を開始し、75%まで充電した後、再び25%まで放電し、開始時と同じ蓄電量にすることで、充電時に投入した電力量に対する放電時に出力された電力量の比を充放電効率として求めた。充放電電力は300 kWとした。

システムの各ポイントで計測した充放電時の総電力量から算出した機器別の効率を、第4図に示す。LiBパック自体の充放電効率は99.7%と非常に高く、充電した電力の大半を放電できることが確認できた。PCSの直流交流変換効率は充電時94.9%、放電時93.7%であった。また、直流送電経路でも、ケーブルやBSUのFET (Field Effect Transistor) の内部抵抗が原因と思われる若干の損失が見られた。システム全体の充放電効率は86.8%となり、NAS電池や鉛蓄電池を用いた蓄電システムの充放電効率77% [2]よりも高い充放電効率を確認した。

3.3 電力ピークカット

本システムを用いて、深夜の電力料金が安い時間帯に電力を充電し、電力負荷が高い昼間の時間帯に出力するピークカット実験を行っている。ピークカットを実現す



第5図 ピークカットした充放電電力の推移

Fig. 5 Electric power by peak cut

ることで、深夜と昼間の料金差を利用した電力購入コスト削減、契約電力低減による電力基本料金の削減、ピーク時間帯の需給緩和に向けた節電協力などが可能となる。

第5図に電力ピークカットを実施したときの電力量の推移の一例を示す。現状では、加西GEPの電力消費に対する本システムの蓄電容量が小さいため、太陽光発電による削減量より効果は小さいが、負荷が低い深夜の時間帯に充電し、負荷が高い時間帯に大規模蓄電システムから放電している。今後の課題として、負荷変動予測技術の導入によるピークカット効果向上の検証を進め、年間を通じてデータを蓄積し、より高いピークカット効果を実現できるよう、改良を進めていく。

4. DC配電システム

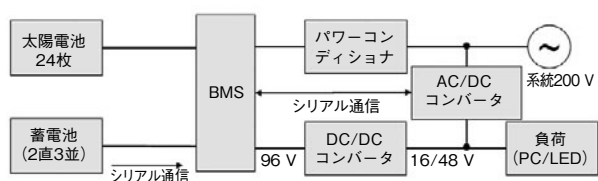
太陽光発電を有効に活用することを目的として、エネルギー損失を低減したDC配電システムを構築した。本システムでは、PVで発電され電力を直流のまま蓄電し、末端の直流機器へ配電することで、PCSにより交流変換してAC配電するより高い変換効率を目指している。本章では、DC配電システムの特徴および変換効率について述べる。

4.1 システム構成

システム構成を、第6図に示す。1システムあたり24枚のPVパネルを接続し、LiBパックを2直列3並列に計6台、9.6 kWhを装備している。管理棟には18台のシステムを設置し、管理棟内の一部の直流機器 (LED照明とPC) の電源としてDC配電している。以下、本システムに特有なユニットについて説明する。

[1] 太陽電池 (PV)

管理棟の壁面に両面発電型PVを設置している。表面



第6図 DC配電システムの構成図

Fig. 6 System configuration of DC power distribution

の直射光に加えて、裏面から散乱した太陽光を取り込むことができる。パネルの裏面を空調の余剰空気冷却することにより、高温となる夏場でも高い変換効率を維持するとともに、オフィスへの日射遮蔽効果を実現している。

[2] バッテリーマネジメントシステム (BMS)

LiBパックの充電状態に応じて、PVが発電した電力をDC負荷への出力、LiBパックへの充電、またはPCSへの出力に切り替える。PVとLiBパックを直結することで昇圧または降圧の変換ロスを抑えている。

[3] パワーコンディショナ (PCS)

5.5 kWの小型PCS (変換効率94.5%) [3]を装備し、PVの発電電力をAC 200 Vに変換し系統連系する。

[4] DC/DCコンバータ

LiBパックを2個直列に接続した蓄電池の電圧約96 Vを、出力電圧16 Vへ変換する。LEDへ配電する場合は48 Vへ変換するDC/DCコンバータを用いている。

[5] AC/DCコンバータ

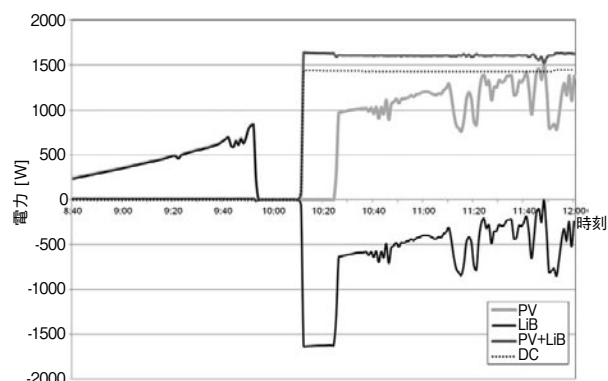
LiBパックの充電状態があらかじめ設定した容量以下に達した場合、商用電力をDCに変換してDC負荷へ供給する。

4.2 充放電制御

太陽光発電は天候に左右されるため、PV発電に応じた蓄電池の充放電制御が重要となる。特にシステム全体のエネルギーの変換損失および消費電力を抑えるために、商用電力の利用を最小限にし、PVの発電電力を有効に活用する充放電制御方法を構築した。充放電制御は以下のように行う。

基本的にPVで発電した電力はDC負荷へ配電する。このとき、PVの発電量が不足する場合はLiBパックから放電する。発電量が余剰する場合はLiBパックへ充電する。また、LiBパックに十分な充電容量がある場合は、LiBパックから放電する。なお、LiBパックを充電している間は、商用電力をDCに変換してDC負荷へ供給する。

以上のように、各LiBパックの充電状態に応じて充放電を制御することで、商用電力の使用を抑えたDC配電



第7図 DC配電システムの出力挙動例

Fig. 7 Output example of DC power distribution system

が可能である。また、LiBパックへの充電とPCSによる系統連係を状況に応じて切り替えることでPVの発電を無駄にすることなく活用している。

4.3 DC配電変換効率

本システムにおけるDC配電の変換効率を調べるため、太陽光発電しているときに、電子負荷装置を用いてDC配電に一定負荷1440 Wをかけたときの各ユニットの充放電を計測した。第7図にPVの出力電力、LiBパックの充放電電力、DC/DCコンバータへの入出力電力の推移を示す。なお、縦軸のマイナスは蓄電池からの放電を意味する。

第7図より、朝9:50頃まではPVの発電電力とLiBパックの充電電力が同じように推移している。このことから、PVの発電電力がほぼすべてLiBパックに充電されたことが示唆される。10:10からDC負荷を開始しており、10:20まではLiBパックのみから放電された後、PVとLiBパックの両方から出力されている。PVの発電量が変動しているにもかかわらず、PVとLiBパックからの合計放電電力はほぼ一定の1600 Wになっていることから、PVの発電量が不足した分はLiBパックから補完されていることが確認された。このときのDC/DCコンバータの出力は1440 Wと安定しており、10:50から12:00までのDC配電システムの変換効率は89.5%となった。一方、DC配電システムにおけるAC配電の変換効率は、PCSの変換効率が94.5%、接続する直流機器(PC)のACアダプタの最大変換効率が87% (別途計測)とした場合、全体での変換効率は82%となることから、DC配電の方がAC配電より約8%高い変換効率を得られた。今後、多様な条件下での変換効率を求める計画である。

5. まとめ

本稿では、加西GEPに構築したスマートエナジーシステムについて紹介した。拡張性、および安全性を兼ね備えたBMSを開発し、さまざまなSESを構築することでエネルギーマネジメント技術の実証実験場を実現した。

今回は大規模蓄電システム、およびDC配電システムの実験概要を提示したが、引き続き加西GEPにて実証実験を行い定量的な評価を行う。特に太陽光発電と蓄電池との連携、ピークカット効果の検証などに取り組む。これと並行して、実証実験の結果を開発にフィードバックすることでSES関連機器の改善を積み重ねたいと考えている。

加西GEPで得た成果は、加西GEPやパナソニックグループだけでなく、低炭素社会を目指す全世界へ貢献したいと考えている。筆者らエネルギー技術開発者のさらなる努力で、エネルギー分野に革新的なアイデアを生み出していきたい。

参考文献

- [1] 花房寛, “再生可能エネルギーと分散型蓄電システムの活用について～加西グリーンエナジーパークでの大規模実証実験,” 2011年電気設備学会全国大会講演論文集, S-1, pp.579-583, 2011.
- [2] 建築コスト管理システム研究所新技術調査検討会, “NAS電池について,” 建築コスト研究, no.68, pp.70-73, 2010.
- [3] 萬里小路正樹 他, “5.5kW太陽光発電システム用パワーコンディショナ,” SANYO Technical Review, vol.36, no.2, pp.49-59, 2004.

執筆者紹介



奥田泰生 Yasuo Okuda
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



本郷仁志 Hitoshi Hongo
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group
博士 (工学)



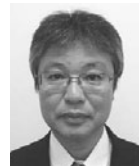
中島 武 Takeshi Nakashima
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



池部早人 Hayato Ikebe
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



萩原龍蔵 Ryuzo Hagihara
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group



内橋健二 Kenji Uchihashi
パナソニックグループ エナジー社
Energy Company of Panasonic Group