

小型 HEMS 向けリチウムイオン電池システム

Small Lithium-ion Battery System for Home Energy Management System

廣田昇一* *Shoichi Hirota* 濱荻昌弘** *Masahiro Hamaogi*
高橋芳秀** *Yoshihide Takahashi* 高橋史一** *Fumikazu Takahashi* 谷口輝三彰** *Kimiaki Taniguchi*

HEMS (Home Energy Management System) 向け電池システムを実現するため、10kWh 級のリチウムイオン電池システムを開発した。太陽光発電用のパワーコンディショナとの連携を容易にするため、接続先の DC バス電圧を安定化させる双方向絶縁型 DC/DC コンバータを備えている。5 ~ 10kWh の容量帯において容量拡張性を高めるため、リチウムイオン電池パック (搭載容量 650Wh) の並列接続数を可変にして容量を調整する方式を採用した。

A 10-kWh class lithium-ion battery system was developed and used as the battery system for HEMS. It is equipped with a bi-directional isolated DC-DC converter, which stabilizes the DC bus voltage of a connection point to facilitate cooperation with the power conditioner for photovoltaic systems. To improve capacity extendibility in the 5-10 kWh range, the system, which can adjust the number of parallel connections of the lithium-ion battery packs (battery capacity 650 Wh) in accordance with the required capacity, was adopted.

[1] 緒言

地球温暖化を緩和するため、低炭素社会の実現が求められている。低炭素社会の実現に向けた方策の中でも、エネルギー転換分野は重要な項目である。再生可能エネルギーの普及や、その地産地消の促進が謳われている¹⁾。再生可能エネルギーの導入期においては、固定価格買取制度のような政策的な支援が普及を促進する。一方再生可能エネルギーによる発電量が総電力需要量の 15 ~ 20% を占めるようになる普及期においては、系統安定化が大きな課題となる。そのため、2015 年から 2020 年と想定される普及期においては、系統安定化のために、住宅・建物・地域におけるエネルギーマネジメントシステムの導入が始まり、そのキーコンポーネントである電池システムの部分的な導入が始まると

予測されていた²⁾。

上記のシナリオに大きな変化を生じさせたのが、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災である。これを契機に、非常時のライフライン確保の重要性の認識の高まりや、夏場の電力不足時期における計画停電への備え等から、電池システムへの関心が高まった。また、経済産業省の定置用リチウムイオン蓄電池導入促進対策事業費補助金³⁾も、住宅向け電池システムの普及の後押しとなっている。

当社は、住宅・建物・地域におけるエネルギーマネジメントシステムのキーコンポーネントとなる大容量電池システムに最適なりチウムイオン電池を事業化している。住宅向けでは、鉛蓄電池を用いた電池システムを開発している^{4) 5)}。本報では、住宅・建物向けを意識して開発した中小容量リチウムイオン電池システムの内容について報告する。

*産業用蓄電システム事業本部 SE 事業統括部 **日立コンピュータ機器(株)

[2] HEMS 向け電池システム

住宅における省エネルギー化のキー技術として、住宅向けエネルギーマネジメントシステム (HEMS : Home Energy Management System) が提唱されている。HEMS によって、太陽光発電を含めた住宅内におけるエネルギー需給を総合的に把握し、住宅内の家電機器や蓄電池を効率的に運転して、省エネルギーを実現することが期待されている。

HEMS における蓄電池の役割は、以下の三つである。

- (1) 電力料金が安い夜間電力を充電し、雨天や曇天時、あるいは夕方等の太陽光発電電力で住宅における消費電力が賄いきれない時間帯に放電して電力消費を抑える。
- (2) 災害発生時等における長時間の停電時に、ライフラインを確保するために必要最低限の機器に電力を供給する。
- (3) 将来的には、太陽光発電電力を蓄電し、夜間等に消費することによりエネルギーの地産地消を実現する。

図1に、HEMS 向け電池システムの例を示す。太陽光発電電力や蓄電池充放電電力は直流であるため、住宅内で効率的に給電を行う方法として、DC バスを利用した直流給電が提唱されている⁶⁾。蓄電池は放電電圧が大きく変動するため、蓄電池を一定電圧の DC バスに接続するためには、電圧を安定化させるための DC/DC コンバータが必要となる。蓄電池は充放電するため、DC バスとの電力のやり取りは双方向である。したがって、双方向 DC/DC コンバータが必要である。また、蓄電池の保守時の安全性をより高めるためには、絶縁型の DC/DC コンバータであることが望まれる。

[3] 電池システムの基本構成と動作

3.1 システム構成

図2に本開発の電池システムのブロック図を示す。

出力 1.65kW のコンバータを 2 台並列化して、出力 3.3kW の双方向絶縁型 DC/DC コンバータを構成している。電池パックは定格電圧 48.1V であり、最小 4 台から最大 16 台まで並列接続可能である。制御部 (BCU : Battery Control Unit) は、電池パック及び双方向絶縁型 DC/DC コンバー

タの監視機能及び上位システムとの通信機能を備えている。

出力 3.3kW 相当の双方向絶縁型 DC/DC コンバータを 1.65kW コンバータ 2 台で構成する狙いは低コスト化である。1.65kW コンバータを構成する部品の電流定格は、3.3kW コンバータを構成する部品に比べ半分にできる。電流定格が半分の部品コストは一般的に半分以下になるため、出力 3.3kW のコンバータを 1 台で構成するよりは、1.65kW コンバータ 2 台により構成する方が低コスト化することができる。また、電流定格が小さい部品を使用した場合、実装効率を高めることができるため、モジュール容積の縮小化にも寄与する。さらには、電流定格が小さい部品は一般に電流定格が大きな部品よりも損失比率が小さいため、電力損失の低減にも寄与する。

負荷に供給する電圧は、380V ないし 200V である。これらは、それぞれ AC200V ないし AC100V を生成するインバータへの入力電圧に対応している (図2は 380V の構成を示している)。

電池パックの定格電圧である 48.1V は、通信設備のバックアップ電源で一般的な電源電圧と同等である。本用途は従来鉛蓄電池が主として適用されている分野であるが、省スペース化や軽量化が求められる場所に設置する場合、リチウムイオン電池の方が有利な場合が存在すると考えられる。

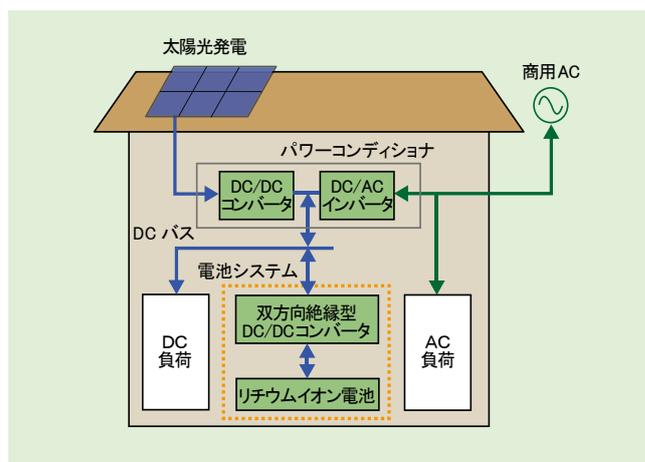
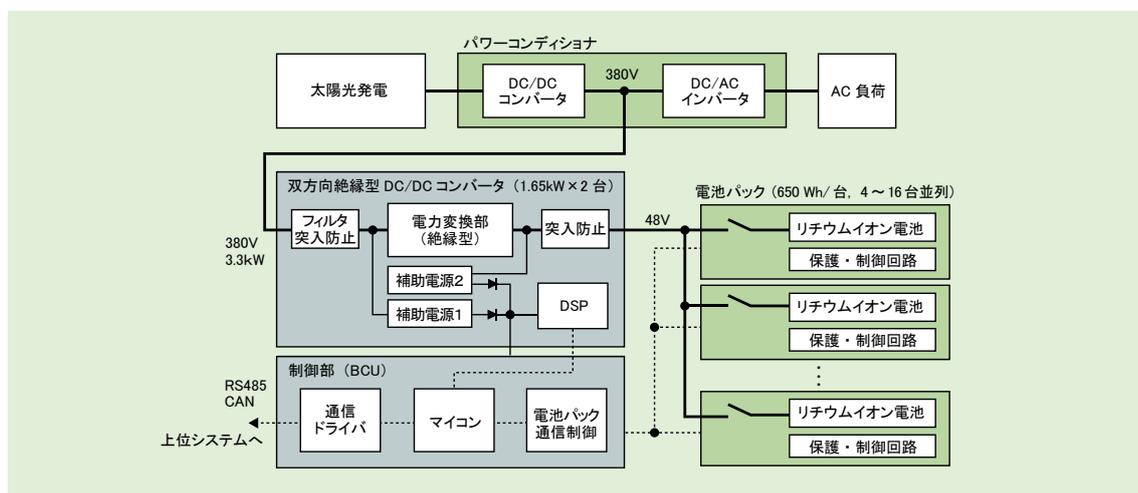


図1 HEMS 向け電池システムの例

Fig.1 Example of battery system for home energy management system

図2 電池システムのブロック図

Fig.2 Block diagram of battery system



本開発の電池パックの定格電圧を48.1Vとしたのは、前述の通信設備のような48V系バックアップ電源における鉛蓄電池との互換性を意識している。また、48.1Vは情報処理機器の国際安全規格であるIEC60950-1で規定される危険電圧(DC60V)以下であることから、電池システム設置や保守時における作業の安全性を高めている。さらに、電池システム設置時や保守時には電池パックの充放電スイッチを切っておくことによっても、作業員の安全性を高めている。

電池パックは直列接続せず、電池パックの並列数を変更することにより容量の増減を調節できる。並列接続のメリットとしては、搭載容量をきめ細かく調整できることにある。直列接続の場合、「電池パック容量×直列数」の単位での容量増減になるのに対し、開発品の電池システムにおいては電池パック単位で容量の増減を調節することができる。また、電池パックが1台故障した場合でも他の電池パックによる運転を継続する、いわゆる縮退運転が可能であることも利点である。

BCUに供給する電力は、系統が正常の場合には系統側から補助電源1を介して供給されるように構成し、電池の電力消費を極力抑制する構成を採用した。しかしながらこの場合、系統異常時にはBCUへの電力供給が途絶えてしまい、放電することができなくなる。そのため、系統異常時には補助電源2を介して電池パックからBCUに電力を供給する構成とした。

3.2 双方向絶縁型DC/DCコンバータ

図3に、双方向絶縁型DC/DCコンバータの方式比較を示す。双方向絶縁型DC/DCコンバータを実現する上で、降圧用絶縁型DC/DCコンバータと昇圧用絶縁型DC/DCコンバータの2台の単方向コンバータを1台に統合することで1回路アーキテクチャになるため、部品点数やコストの低減、形状寸法の小型化が可能になる。この双方向コンバータと2台の単方向コンバータの組み合わせによる構成とを比べると、部品点数で約40%低減、形状寸法で約40%小型化、コストで約50%の削減が可能となった。また、昇降圧動作時の高効率化制御やアナログ回路では困難だった多素子制御を、デジタルシグナルプロセッサ(DSP: Digital Signal Processor)を用いたデジタル制御により実現し、部品点数やコストの低減、形状寸法の小型化を可能にした。

図4に本開発の双方向絶縁型DC/DCコンバータの主回

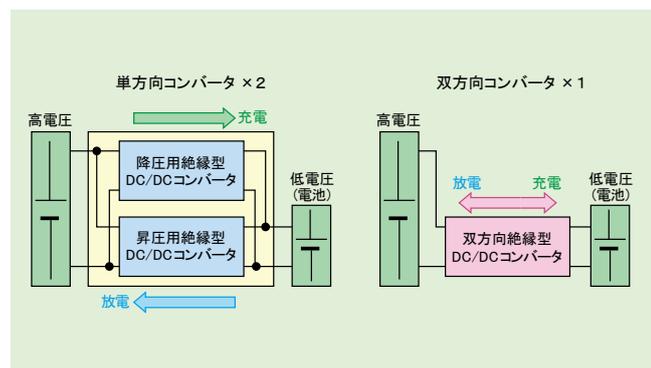


図3 双方向絶縁型DC/DCコンバータ方式比較
Fig.3 Comparing bi-directional isolated DC-DC converter systems

路を示す。また、表1に、本開発の双方向絶縁型DC/DCコンバータの主要諸元を示す。

V_1 が高電圧の負荷側であり、 V_2 が低電圧の電池パック側である。 V_1 側はフルブリッジ接続されたスイッチング素子 $H_1 \sim H_4$ からなる電圧型回路とDCリンクダイオード D_0 とスイッチ H_0 を付加したDCリンクダイオード方式回路である。 V_2 側は、スイッチング素子 $S_1 \sim S_4$ と、平滑インダクタ L からなる電流型フルブリッジ回路に、スイッチング素子 S_0 とクランプコンデンサ C_c からなるアクティブクランプ回路を付加した構成である。

電池パックへの充電に相当する降圧動作時は H_0 をオン状態に固定し、 H_1, H_4 と H_2, H_3 の各ペア主スイッチを相補動作して V_1 から V_2 側に電力を供給する。電池パックからの放電に相当する昇圧動作時には、 H_0 をオフ状態に固定し、 $S_1 \sim S_4$ をスイッチングして L に蓄積した電力を V_2 から V_1 側に供給する。その際、 $S_1 \sim S_4$ を $H_1 \sim H_4$ に同期してスイッチングすることで同期整流動作を行い、ボディダイオードの導通損失を低減して高効率化を図っている。また、共振インダクタ L_r に蓄積したエネルギーを用いることにより、降圧動作、昇圧動作共にすべてのスイッチング素子をゼロ電圧スイッチングでオンすることができ、スイッチング損失の低減や低ノイズ化を図っている⁷⁾。

共振コンデンサ C_r はトランスの偏磁を防止するために挿入している。アクティブクランプ回路は、昇降圧動作時に $S_1 \sim S_4$ のスイッチング動作に伴い発生するサージ電圧を抑制

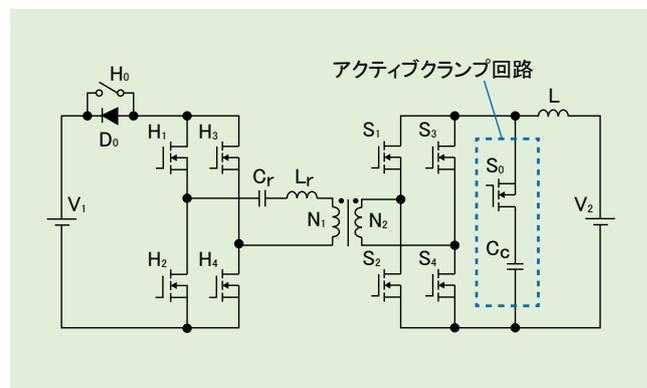


図4 双方向絶縁型DC / DCコンバータの主回路
Fig.4 Main circuit of bi-directional isolated DC-DC converter

表1 双方向絶縁型DC/DCコンバータの主要諸元

Table 1 Specifications of bi-directional isolated DC-DC converter

項目	降圧動作 (充電)	昇圧動作 (放電)
出力電力	1.5 kW	1.5 kW
入力電圧	DC 360-400 V ^{※1} DC 190-210 V ^{※2}	DC 39-53 V
出力電圧	DC 30-60 V	DC 360-400 V ^{※1} DC 190-210 V ^{※2}
出力電流	最大 77 A	最大 9 A ^{※1} 最大 17.5 A ^{※2}
制御方式	定電流定電圧	定電流, 定電圧
質量	3.8 kg	
寸法	W 200 × D 375 × H 44 mm	
保護	過電流, 過熱, 過電圧, 低電圧	

※1: AC200V インバータ向け, ※2: AC100V インバータ向け

するためのものであり、結果として $S_1 \sim S_4$ の素子に低コストである低耐圧 MOSFET を選定することができる⁸⁾。低耐圧 MOSFET は低オン抵抗であるために、高効率化にも寄与している。

3.3 リチウムイオン電池パック

図5に本開発のリチウムイオン電池パックのブロック図を示す。また、表2に主要諸元を示す。組電池は日立マクセル株製の円筒型リチウムイオン電池を6並列13直列構成とした。BMU (Battery Management Unit) は、保護・監視 IC 及び SOC (State of Charge, 残容量) 演算 IC によって構成され、組電池に対し1直列毎に電圧検出及びバランス回路を

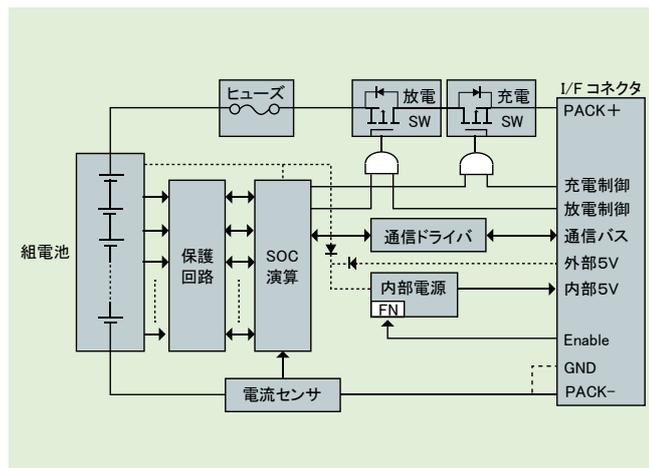


図5 リチウムイオン電池パックのブロック図
Fig.5 Block diagram of lithium-ion battery pack

表2 リチウムイオン電池パックの主要諸元
Table 2 Specifications of lithium-ion battery pack

項目	仕様
電池セル	日立マクセル株製 円筒型リチウムイオン電池
搭載容量	650 Wh
公称電圧	48.1 V
最大放電電流	13.5 A
質量	5.3 kg
寸法	W 106 × D 375 × H 82.5 mm
通信インターフェース	シリアル通信
保護機能	過電流, 過温度, 過充電, 過放電

接続している。パワー MOS スイッチとダイオードを組み合わせ、充電及び放電を独立にスイッチングできる充放電スイッチを備えている。充放電スイッチは、BMU で保護機能が働いたときに自動的に動作すると共に、上位システムからの信号によっても制御できる構成としている。電池パック外部への通信を行う通信ドライバの電源は、電池電力の消費を極力抑制するために、通常は外部電源から取得し、外部電源からの電力が途絶えた場合にのみ電池から供給する構成を採用した。

本開発の電池システムは、電池パックを並列接続している。電池パックを並列接続する場合、電池システム設置や保守時における電池パック交換時に、電池パックの電圧が不揃いの場合、接続時に電池パック間で規定値を超える電流が流れるリスクが存在する。この問題を回避するため、電池パックの充放電スイッチを切った状態で並列接続し、まずは充電スイッチのみを入れてプリチャージを行い、電池パック間の電位差が所定電位差内に収まった後に放電スイッチを入れて、電池パック間の電流を規定値以下に制御するプリチャージ制御を行っている。

〔4〕電池システム特性

図6に AC100V インバータ向け DC200V 出力の双方向絶縁型 DC/DC コンバータのロードレギュレーションの測定結果を示す。

コンバータ無しの場合には、セルの内部抵抗に起因した負荷率依存性による出力電圧変動と、電池の SOC が異なった場合に出力電圧領域が変化するという、二つの要因により出力電圧が大きく変動している。これに対し、コンバータを備えている場合には、負荷率及び電池の SOC の違いによる出力電圧の変動が抑えられており、目標範囲として設定した 200V ± 10V の範囲内に制御されていることがわかる。

図7に双方向絶縁型 DC/DC コンバータの変換効率の測定データを示す。幅広い負荷率において、絶縁型としては世界トップレベルの 90% 以上の変換効率を実現している。

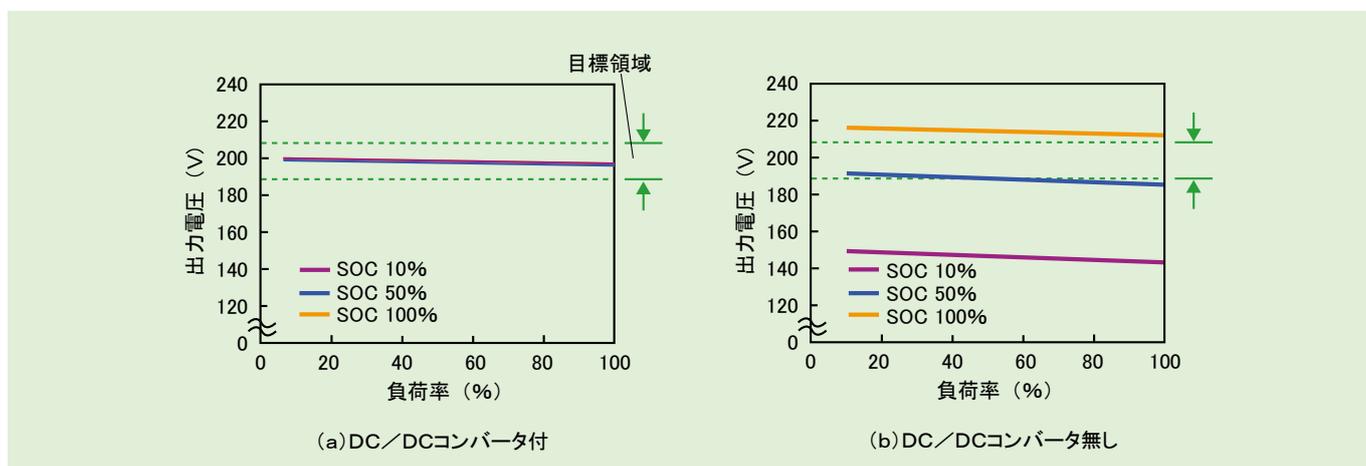


図6 双方向絶縁型 DC/DC コンバータのロードレギュレーション特性
Fig.6 Characteristics of load regulation of bi-directional isolated DC-DC converter

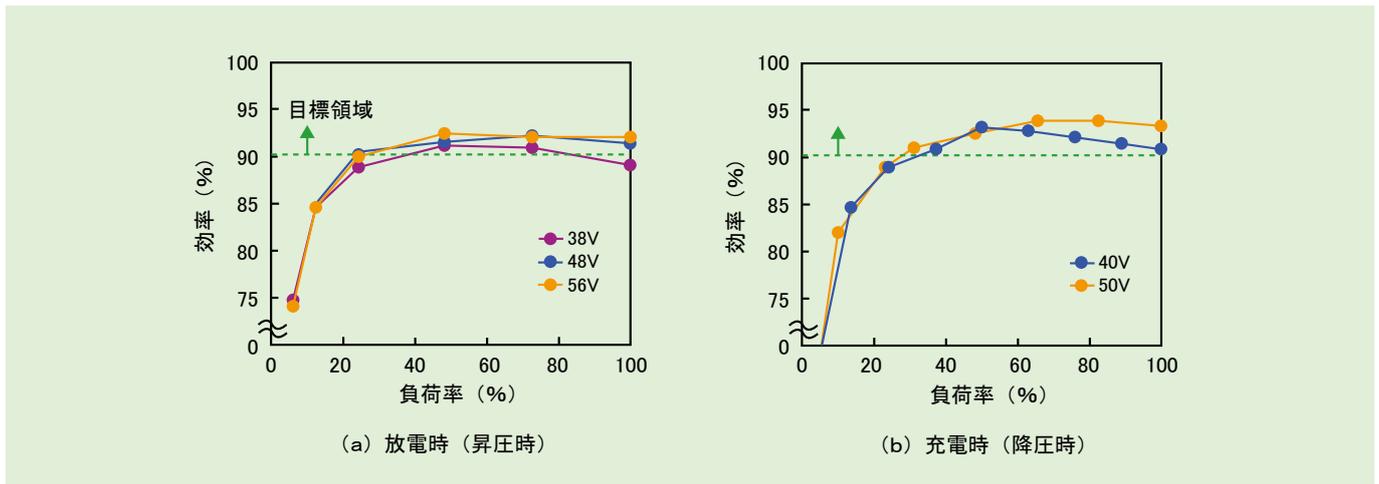


図7 双方向絶縁型 DC/DC コンバータ変換効率
Fig.7 Converting efficiency of bi-directional isolated DC-DC converter

〔5〕 外観, 構造及び実装例

図8に本開発の電池システムの実装形態, 図9に試作品の外観写真を示す。

電池パック, BCU, 双方向絶縁型 DC/DC コンバータを標準モジュールとして, 顧客の用途に応じてユニット実装以降をカスタム設計することを想定している。これにより, 共通部品であるモジュールの標準化による低コスト化と, 付加価値であるカスタムシステム対応との両立が図れる。

電池システムの実装形態としては, 標準的な 19 インチラックへの実装の他, 薄型筐体への実装も可能である。特に住宅向け電池システムの場合, 住宅の北側の狭いスペースに設置されることが想定される。保守スペースの確保も考慮すると, 奥行 300 ~ 400mm 程度の薄型筐体への実装が求められる。各モジュールの幅は 200mm 以下とし, モジュールの長手方向が横向きになるように実装することにより, 奥行 300 ~ 400mm 程度の薄型筐体への実装を可能とした。



図9 電池ユニットおよび制御ユニットの外観写真
Fig.9 Appearance of battery unit and control unit

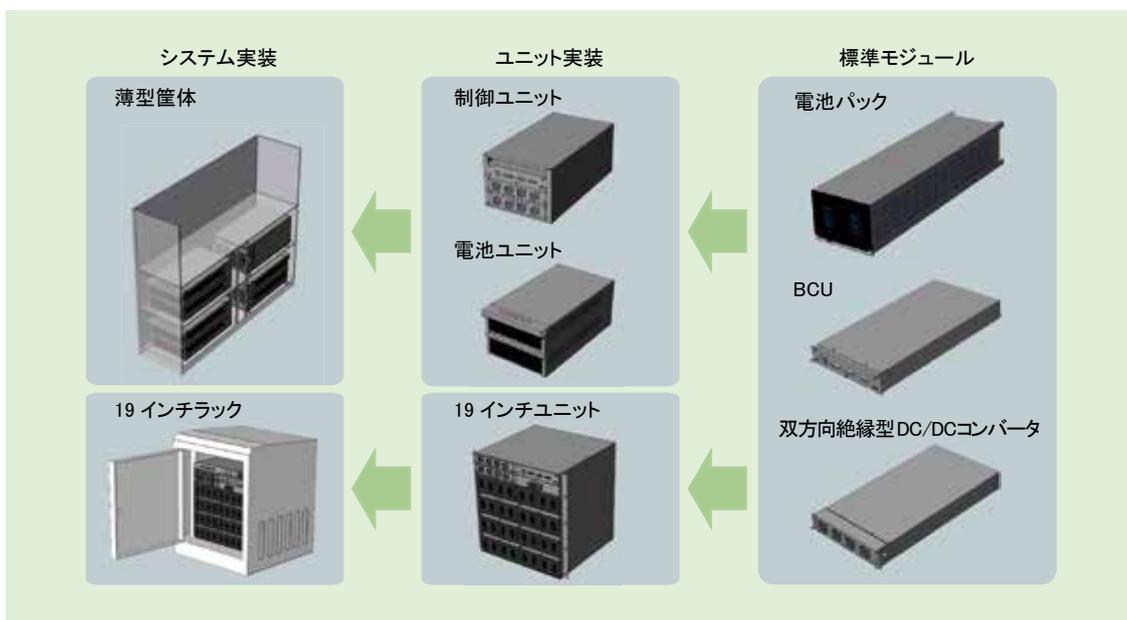


図8 電池システムの実装形態
Fig.8 Mount assembly of battery system

各モジュール（電池パック、BCU、双方向絶縁型 DC/DC コンバータ）のユニットへの実装は、コネクタ接続を採用した。ユニットの背面に配置したバックボード上に実装したコネクタと、各モジュールのコネクタを嵌合することにより、電力配線及び信号配線を接続する。コネクタ実装のメリットは、省配線化による組立作業工数の削減、配線接続時の締め付け不良や接続ミスの防止等が挙げられる。薄型筐体向けの実装の場合、ユニット間はコネクタ付配線で結合する。

〔6〕 結 言

太陽光発電用のパワーコンディショナとの連携が容易な、双方向絶縁型 DC/DC コンバータを備えた 10kWh 級小形 HEMS 向け電池システムを開発した。電池パック、BCU、双方向絶縁型 DC/DC コンバータを標準モジュールとし、顧客の用途に応じたカスタム実装が可能である。電池パックの並列接続数を可変としたことにより、5～10kWh の容量帯において、電池システムに要求される様々な容量にきめ細かく対応することが可能である。また、双方向絶縁型 DC/DC コンバータを省いた構成である、BCU と 48V 出力の電池パックとの組み合わせは、通信設備のバックアップ電源への適用も可能である。

〔参考文献〕

- 1) チームマイナス6%ホームページ：http://www.team-6.jp/teitanso/ (2012/12/10 参照)。
- 2) 低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化検討会（地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会・エネルギー供給 WG）：低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化に向けた提言：http://www.env.go.jp/earth/report/h22-05/00_gaiyo.pdf (2012/12/10 参照)。
- 3) 環境共創イニシアチブ：経済産業省・定置用リチウムイオン蓄電池導入促進対策事業、補助金制度のご案内、http://sii.or.jp/lithium_ion/file/post.pdf (2012/12/10 参照)。
- 4) 原亨 他：住宅向け蓄電池併設型太陽光発電システムの開発，新神戸テクニカルレポート，No. 15，p.39 (2005)。
- 5) 伊藤俊輔 他：住宅用蓄電システムの太陽光発電組合せ実証運用，新神戸テクニカルレポート，No. 19，p.29 (2009)。
- 6) 狩集浩志 他：特集 直流給電，省エネの切り札に，日経エレクトロニクス，2008 年 12 月 29 日号，No. 994，pp.35-55 (2008)。
- 7) 嶋田尊衛 他：双方向絶縁型 DC-DC コンバータの昇圧動作範囲を拡大するターボ加速制御方式，【D】平成 23 年電気学会産業応用部門大会講演論文集，1-51，pp.293-296 (2011)。
- 8) 大久保敏一 他：クランプ回路付きプッシュプル方式双方向絶縁型 DC-DC コンバータ，【D】平成 21 年電気学会産業応用部門大会講演論文集，1-141，pp.679-680 (2009)。