

スマートグリッド対応リチウムイオン蓄電システム

Lithium-ion Battery System for Smart-Grid

二見基生* *Motoo Futami* 加納光益* *Mitsuyoshi Kanou* 田中 融* *Tooru Tanaka* 山本典雅* *Norimasa Yamamoto*
田中克佳* *Katsuyoshi Tanaka* 武田賢治** *Kenji Takeda* 清宮 繁*** *Shigeru Kiyomiya*

リチウムイオン電池を用いた蓄電システムでは、大容量化にあたり多くの単電池を組み合わせる必要があり、システムの運転継続性確保が重要である。10kWh 以上の容量の蓄電システムを対象に、75Ah リチウムイオン電池を直列接続したキュービクルを並列接続し、系統連系変換器と組み合わせたリチウムイオン蓄電システムを開発した。開発したシステムによる試験の結果、電池の許容電圧範囲内での電力制御による充放電機能、キュービクルで異常が発生した場合の運転継続性を確認した。本報告では開発システムの特性評価、運転試験結果について述べる。

It was necessary to combine many lithium-ion batteries in a large-scale battery system, and operation continuity was important. A battery system that consists of a cubicle (with a series connection of lithium ion batteries / 75 Ah) and a converter for the battery system (with a capacity of 10 kWh or more) was developed. The cubicle is protected in case it is connected in parallel with the other cubicles. The battery system was continuously operated, and its characteristics were confirmed. This paper describes the characteristics of the developed system and the test results.

〔1〕 緒 言

地球温暖化を緩和するために太陽光発電や風力発電の導入が進められており、これら再生可能エネルギーの低コスト化により、風速変化や日射変化に伴い発電電力が変動する電源の電力系統に占める割合が増加しつつある。これに対して蓄電システムにより、これらの変動する電源の発電出力の安定化が期待されている¹⁾。また、電力の有効利用を目指したスマートグリッド構想などでは、需要地内での電力を一括管理するための電力貯蔵用として蓄電システムの重要度が高まっている。

一方で2011年3月11日の東日本大震災を契機に、需要地でのエネルギー確保の重要性が再認識され、エネル

ギーの地産地消・緊急時の電源確保の重要性が増している。このような背景の中で、10kWh 以上の大容量蓄電システムを対象に、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」制度²⁾も導入され、蓄電システム普及の後押しとなっている。

当社では、これらに対して大容量のリチウムイオン電池をベースとしたリチウムイオン蓄電システムを上市しており、工場の省エネ用途として導入を進めている³⁾。スマートグリッド等に用いる大容量蓄電システムでは、電力の安定な供給のために運転継続性が重要であり、リチウムイオン電池キュービクル単位で保護機能を備えた蓄電システムを開発した。本報告では開発した大容量リチウムイオン蓄電システム、監視機能及び試験結果について報告する。

*産業用蓄電システム事業本部 SE 事業統括部 ** (株)日立製作所日立研究所 *** (株)日立産機システム

〔2〕大容量蓄電システム

図1に示すように、大容量蓄電システムは様々な用途への導入が期待されている。例えば、風力発電や太陽光発電の発電出力の安定化、工場、需要地内などのピーク電力抑制及び夜間電力の有効利用などである。また、緊急時の電源確保のための蓄電システム利用の要望も高まっている。蓄電デバイスにも様々な種類がある。サイクル用制御弁式鉛蓄電池は3～4時間以上の長時間で充放電する場合に適している。30分から3時間程度の時間で充放電する場合には、大きな電流で充放電が可能なりチウムイオン電池がある。このように短時間で充放電する場合には、リチウムイオン電池は鉛電池に比べ重量・設置面積などの面で有利であり、目的に応じた蓄電デバイスを選定することができる。また、場合によっては図2に示すように、これらを組み合わせたシステムが有利となる場合もある。

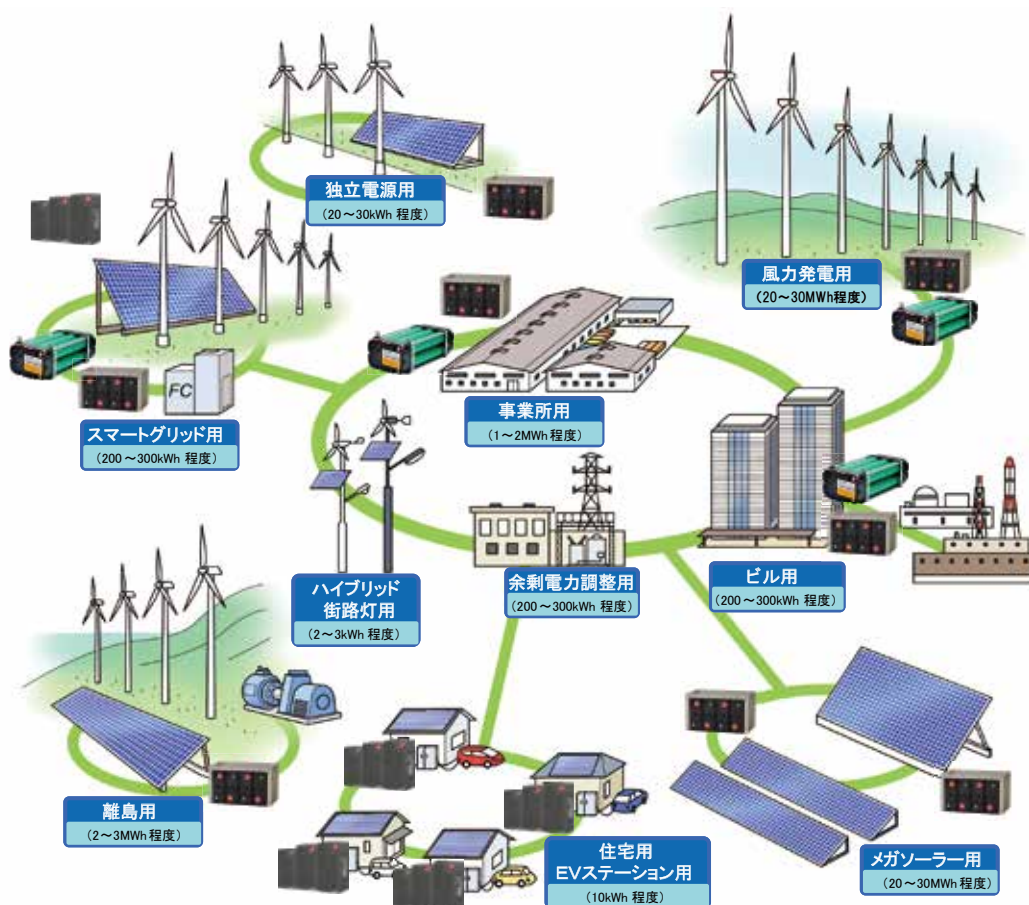
〔3〕大容量リチウムイオン蓄電システム

3.1 リチウムイオン電池キュービクル

図3に本リチウムイオン蓄電システムに用いたリチウムイオン電池パック（CH75-6）を、表1にその仕様を示す。CH75-6は75Ahの単電池を6個直列接続した組電池と、これらを監視するセルコントローラを備えている。セルコントローラは、電池の電圧、温度や異常検知情報を上位コントローラに通信にて伝達する機能を持っている。

図1 大容量蓄電システム適用例

Fig.1 Example of large-scale battery system



このCH75-6を更に直列接続し、電池全体の管理機能と保護機能を有する電池コントローラで制御するリチウムイオン電池キュービクルの概略構成を図4、仕様を表2に示す。CH75-6の直列接続数は、交流200V連系PCS（Power Conditioning System、系統連系電力変換システム）との接続を考慮し22直列とした。電池コントローラでは電池電圧監視用コントローラの情報や電池コントローラで直接検出する電圧及び電流を監視して電池の状態を検知する。検出した電池の電圧や電流の状態に応じてキュービクル外部の+ /

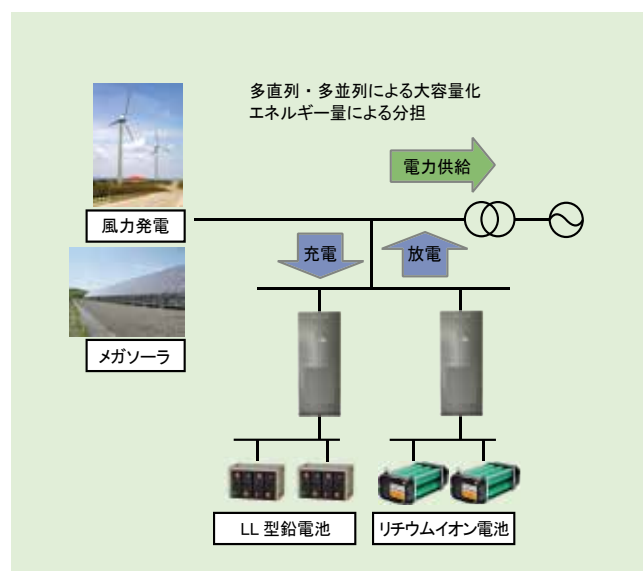


図2 鉛・リチウムイオン電池ハイブリッド構成
Fig.2 Li-ion battery and lead battery hybrid use



図3 CH75-6 リチウムイオン電池パック

Fig.3 CH75-6 Li-ion battery pack

表1 CH75-6 リチウムイオン電池パック仕様

Table 1 Specifications of CH75-6 Li-ion battery pack

項目	内容
公称容量	75 Ah/0.2 CA
公称電圧	22.2 V (3.7V /セル × 6 セル直列)
使用電圧範囲	16.2 ~ 25.2 V (2.7 ~ 4.2 V /セル)
最大充放電電流	放電 : 225A (3 CA), 充電 : 225 A (3 CA)
許容温度範囲	充放電可能温度範囲 : -10 ~ 50 °C*
質量	約 23 kg
寸法	(W) 228 × (D) 475 × (H) 151 mm
期待寿命	5000 サイクル (温度 : 25°C, 放電深度 : 70%)

※: 但し, -20 ~ 0 °C の低温領域では容量 (出力) が低下します。

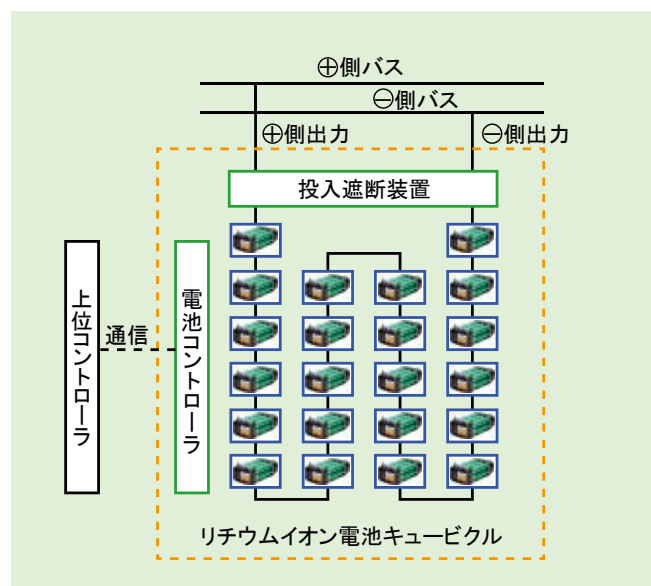


図4 リチウムイオン電池キュービクル概略構成

Fig.4 Block diagram of Li-ion battery cubicle

表2 リチウムイオン電池キュービクル仕様

Table 2 Specifications of Li-ion battery cubicle

項目	内容
公称容量	36.6 kWh (7.3 kW 充放電時)
公称電圧	488.4 V (22.2 V / パック × 22 直列)
使用電圧範囲	356 ~ 554 V
最大充放電電力	放電 : 100 kW, 充電 : 100 kW
主な機能	電池状態監視, 保護, 自動投入

一の直流バスに電池を接続したり, 切り離したりすることが可能な投入遮断装置を設けた。

キュービクルの情報は, 上位コントローラに通信や外送信号にて通知することが可能である。この機能により, キュービクル内で検知した異常に対してキュービクルの制御により, 速やかに電流を遮断するとともに, 上位の制御装置に通知された情報により蓄電システムを停止することなく, 安全に運転を継続することが可能である (本機能をシステムの縮退運転と称する)。

3.2 リチウムイオン蓄電システムの構成

前節のキュービクルを2並列接続し, 系統連系用 PCS 及びシステムコントローラを組み合わせたリチウムイオン蓄電システムを図5, 仕様を表3, 外観を図6に示す。本システムは, AC200V 系統に100kW-PCS で連系する。システムコントローラは外部の電力の検出値に応じて蓄電池からの充放電を制御する。本システムに蓄えられる電力量は最大 73.2kWh (14.6kW 充放電時), 最大充放電電力は100kW である。システムコントローラは, (1) 外部に設置したメータから検出した電力に応じて, 受電電力を設定値以下とするように蓄電システムを充放電制御するピークカット運転機能, (2) あらかじめ決められた時刻に所定の電力で充放電するピークシフト運転機能をもっている。

またキュービクルの運転状態や充電量に応じて, PCS の充放電量を制限して充放電制御することで, リチウムイオン電池を所定の電圧範囲内で最大限活用することが可能となる。

3.3 遠隔監視システム

リチウムイオン電池を組み込んだ蓄電システムは, 非常に多くの電池を用いて構成しており, 電池コントローラでは蓄電システムの安全性を高めるために単電池単位での状態を監視して, キュービクルの切り離しや蓄電システム停止等の保護を行っている。この保護が動作した場合の要因調査,

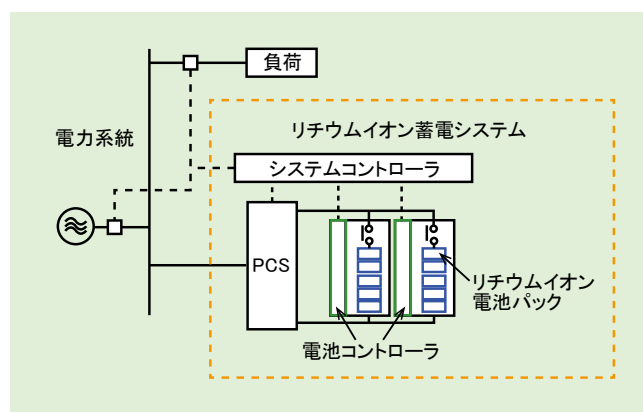


図5 リチウムイオン蓄電システム概略構成

Fig.5 Details of Li-ion battery system

表3 リチウムイオン蓄電システム仕様

Table 3 Specifications of Li-ion battery system

項目	内容
公称容量	73.2 kWh (14.6 kW 充放電時)
連系電圧	AC200 V
最大充放電電力	放電 : 100 kW, 充電 : 100 kW
主な機能	ピークシフト運転, ピークカット運転, 収退運転



図6 リチウムイオン蓄電システム外観

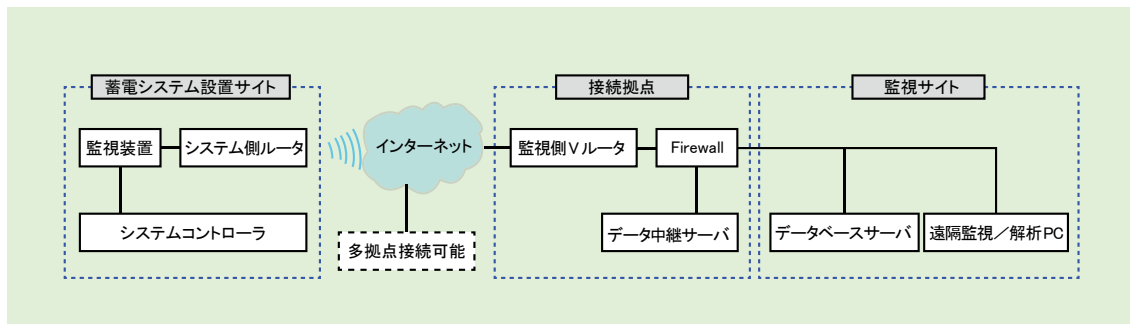
Fig.6 Over-view of Li-ion battery system

健全性確認のために、保護発生部における保護動作時の電流電圧等の運転状況を把握し、速やかに要因を取り除くために、遠隔で運転状況が確認できる遠隔監視システムを構築した。図7に遠隔監視システムの構成、表4に機能概要を示す。蓄電システム設置サイトにシステムコントローラの計測及び制御データを収集する監視装置を設置し、ルータを介してインターネット回線に接続する。蓄電システム設置サイトの監視装置と監視サイトのインターネット接続拠点に設置したルータの間でセキュリティ認証により通信回線を接続し、蓄電システム設置サイトのデータを監視サイトで取得する。専用回線を設置できる場合には、セキュリティをより高めることができる。

遠隔監視システムにより、常時蓄電システムの状況を把握することで、通常時にも電池の状況を詳細まで確認することができ、保守の効率化にも寄与できる。

図7 遠隔監視システム構成

Fig.7 Configuration of remote monitoring system



〔4〕リチウムイオン蓄電システム特性

図8にリチウムイオン蓄電システムのシステム特性を示す。本システムを一定電力で充放電した場合の交流電力を25kW、50kW、75kW、100kWと変えた場合の充放電可能な最大電力量と充放電効率を示す。図に示したのは、最大充電電圧になるまでの充電電力量と最小放電電圧になるまでの放電電力量である。充電時の交流電力が25kWと50kWでは、所定の電力で電池特性から得られる理論充電電力量(73.2kWh)の95%である70kWh以上の充電電力量が得られた。一方、充電時の交流電力が75kWと100kWの場合には、充電時の電池電圧上昇が大きくなるため、電池電圧の上昇を抑える制御が動作し、一定電力で充電できる充電電力量は若干低下する。充放電電力が大きくなると

表4 遠隔監視機能概要

Table 4 Outline of Li-ion battery remote monitoring system

項目	内容
データ量	約 1 GByte / 日
セキュリティ	拠点間通信: IPsec VPN, Firewall データ保護: SSL 暗号化
拠点接続	WiMAX: 最大 40 Mbps 回線工事不要
主な機能	状態トレンド表示: 秒, 分, 時, 日別 遠隔操作: 遮断, 投入 ソフトウェア遠隔バージョンアップ

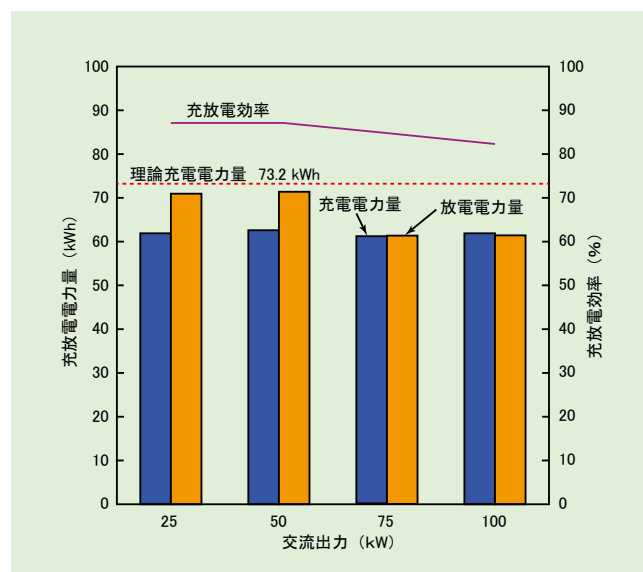


図8 リチウムイオン蓄電システム充放電電力量 (放電深度 100%)

Fig.8 Charge/discharge energy of Li-ion battery system (DOD 100%)

充放電効率は若干低下するが、100kWでの充放電において82%以上の充放電効率が得られた。

本リチウムイオン蓄電システムは、充放電容量の設定により所定の容量範囲で電池を充放電することができる。図9に設定充放電容量を50%、70%、100%と変えた場合に、交流電力75kWで充放電した場合の設定電力量と充電電力量及び放電電力量を示す。75kWで充放電する場合、電池の1時間率(1CA)程度での充放電であり、充放電容量が100%の場合を除き設定した充放電電力量が得られることを確認した。充放電容量が100%の場合は、満充電近傍での電圧上昇及び全放電近傍での電圧低下を抑制するために充放電電力を低減する制御が動作するため、75kWでの充放電電力量に制約が生じ、約82%程度の容量となる。

〔5〕リチウムイオン蓄電システム運転動作

図10に本リチウムイオン蓄電システムの特徴である縮退運転時の運転波形を示す。リチウムイオン電池キュービクル1台で100kWの充電が可能であるが、試験運転では1台当たりの最大充放電電力を50kWとした。試験波形には、システム交流出力60kW(キュービクル2台運転)の放電運転中に、1台のキュービクルで異常を検知した場合について示す。システムコントローラは、キュービクルで運転継続できない異常を検知すると、残りのキュービクルで運転可能な50kW放電に出力を絞り(図中破線で示した時刻)、その後異常を検知したキュービクルを遮断する。遮断したキュービクルは、電圧、充電量(SOC: State Of Charge)が一定になり、電流が0となっていることで遮断したのが確認できる。遮断前は2台のキュービクルに、システム直流電流のほぼ半分の電流が流れているが、遮断後は運転を継続しているキュービクルに全電流が移動しているのがわかる。異常を検知して遮断したキュービクルは異常が除去できた場合には、外部の直流バス電圧と遮断したキュービクルの電池電圧がほぼ一致した時に自動で再投入することができる。

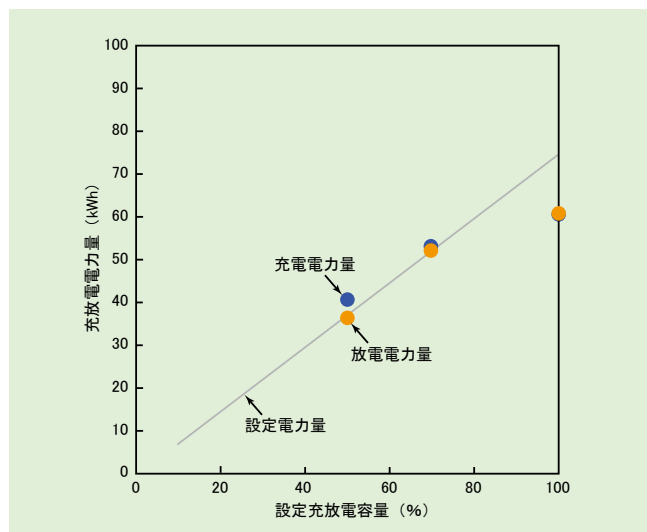


図9 リチウムイオン蓄電システム充放電電力量 (75 kW)
Fig.9 Charge/discharge energy of Li-ion battery system (75 kW)

図11にピークカット運転を行った場合の運転波形を示す。図5に示す構成で受電電力を25kW以下とするように制御した場合のシステム充電量(充放電容量設定値を100%として規格化)、受電電力、システム交流出力、負荷電力を示している。充電モードとなる20:00～翌朝8:00までは、受電電力が破線(25kW一定)で示すピークカット電力レベル以下となるように充電を行い、翌日のピークカットモードでの運転に備える。21:30～22:30の拡大図は充電モードの運転波形で、変動する負荷が動いている間は、負荷に合わせて充電電力を調整していることが確認できる。ピークカットモードとなる8:00～20:00までは、放電しながら受電電力がピークカット電力レベルを超えないように制御する。7:30～8:30の拡大図は充電モードからピークカットモードに切り替わる時点の波形で、この例の場合はシステム充電量を100%まで充電した直後にピークカット開始時間(8:00)になったため、続けてピークカット運転を開始し、充電量が低下し始める。15:00頃、ピークカットモードでの運転中に充電量が20%まで低下したので、この時点で充電量30%までピークカットしながら補充電を行い、その後の負荷のピーク発生に備える。ピークカット運転では、充電モード、ピークカットモードを通じて受電電力がピークカットレベル以下に抑制できていることが確認できる。

〔6〕結 言

大容量リチウムイオン蓄電システムを構成するうえで自律的に投入・遮断できるキュービクルを並列構成することで、容量の拡張が容易なリチウムイオン蓄電システムを開発した。本システムで機能検証を行い、異常が発生したキュービクルを遮断して縮退モードにて運転継続できることを確認し、大容量蓄電システム構築の見通しを得た。また、開発したリチウムイオン蓄電システムによるピークカット運転試験によりピークカット機能を検証した。今後、連続運転試験等実用化に向けた検討を進める予定である。

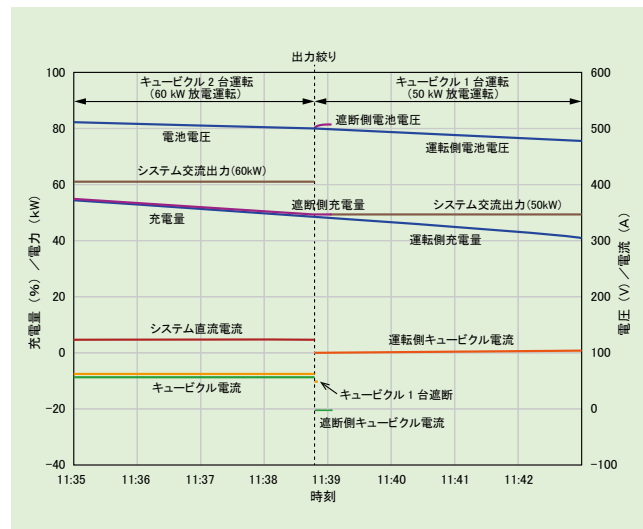


図10 縮退運転波形
Fig.10 Waveform at subset discharge

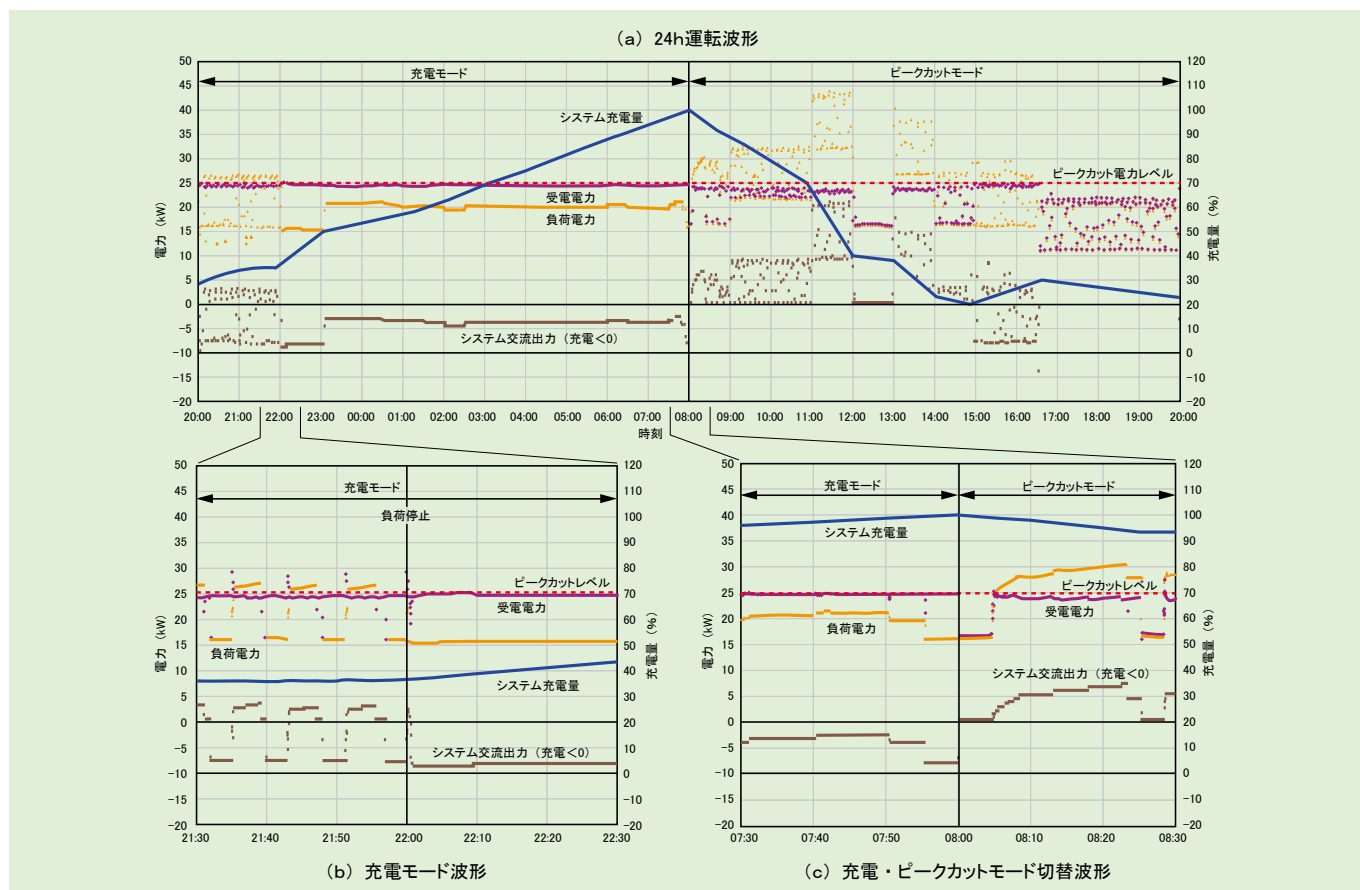


図 11 ピークカット運転波形

Fig.11 Waveform in peak power suppression mode

〔参考文献〕

- 1) 経済産業省：低炭素社会実現のための次世代送配電ネットワークの構築に向けて～次世代送配電ネットワーク研究会報告書～，2010-4，<http://www.meti.go.jp/report/data/g100426aj.html>，(参照 2013-2-13)。
- 2) 環境共創イニシアチブ：平成 23 年度定置用リチウムイオン蓄電池導入促進対策事業補助金，http://sii.or.jp/lithium_ion/，(参照 2013-2-13)。
- 3) 春名博史 他：電力貯蔵用大容量リチウムイオン二次電池，新神戸テクニカルレポート，No.21，p.11 (2011)。