

## パッケージ型蓄電システムの開発

## Development of Packaged Battery Energy Storage System

可知純夫\*  
Sumio Kachi渡邊博史\*<sup>2</sup>  
Hiroshi Watanabe有馬康弘\*  
Yasuhiro Arima渡部大介\*  
Daisuke Watanabe高際清彦\*<sup>2</sup>  
Kiyohiko Takahashi

**概要** 電力有効利用を実現するための必要最低限の機能をコンテナにワンパッケージで収容した「パッケージ型蓄電システム」を試作し、当社の横浜事業所にて運用試験を開始した。この装置は基本的な機能を一括で収容しているため、出荷時に基本的なシステム試験を実施することで品質を確保できると同時に現地工事の負担を軽減できる。安価な海上コンテナを用いた筐体を用いて日本国内の通常の温度環境で運用可能との見通しを得た。「パッケージ型蓄電システム」は多機能であり、停電時には最低限の電力設備の運用を維持する緊急電源として動作し、平常時には電力ピークの削減や夜間電力の貯蔵が可能で、太陽光発電パネルと直流で連携してその変動の吸収及び余剰電力を蓄電池に充電する機能をワンパッケージで組み込んでいる。

## 1. はじめに

エネルギー問題は安全保障及び地球環境の維持の観点から人類の重要な課題として注目されてきた。特にスマートグリッドというコンセプトが2009年に米国で提起されたことをきっかけに、電気エネルギーを効率的に使用することに対する関心が世界的に高まっている。スマートグリッドとは何かという点に関して、米国電力研究所 (EPRI: Electric Power Research Institute) では「大規模集中型発電・分散型発電から、高圧送電網、配電システムを通して産業顧客やビルの自動化システム・電力貯蔵装置・最終消費者とその家屋内のサーモスタット・電気自動車・電気器具、家電機器まで、相互接続された構成要素を監視・保護し、運用の自動最適化を行うもの」と定義している<sup>1)</sup>。しかし実際には国、企業によってその定義は異なっている。筆者らは、これをICTの技術を利用して①電力の有効利用と適切な節電を推進し②太陽光や風力など不安定な自然エネルギーの導入や電気自動車 (EV) など新たな電力負荷の導入を推進しその結果としての電力系統の不安定化の解決を目指すものであると考え、これを実現する要素技術として蓄電システムの開発に取り組んでいる。

蓄電池はスマートグリッドの中で重要なデバイスのひとつである。2010年に経済産業省が掲げたスマートグリッドの標準化における26の重要アイテム<sup>2)</sup>のうち、実に7項目が蓄電池に関するものである。系統側に設置する蓄電池と需要家側に設置する蓄電池、およびそのインターフェースが重要なアイテムと

して認識されている。

筆者らは国内外で実施されている大規模なスマートコミュニティ実証プロジェクトに参加しユニークな蓄電池の状態監視技術を用いた蓄電池管理システムの実証を担い技術蓄積を行ってきた<sup>3)</sup>。今回、この技術蓄積を元に蓄電池を効率的に充放電制御する「パッケージ型蓄電池システム」を開発し、当社の横浜事業所にて運用試験を開始した。本稿ではその設計コンセプトと実証結果の一部を紹介する。なお、当社では従来蓄電池の監視モニタリングに注力してきたが、「パッケージ型蓄電システム」ではこれを一歩進め、蓄電池の充放電制御もその機能に取り込んだ。本システムは事業所の実際の電力効率利用に資するだけでなく、蓄電池のより効率的な運用・制御方式を実証検討するためのテストベッドとして運用する予定である。

## 2. 開発コンセプト

## 2.1 パッケージ型蓄電システムの特長

今回開発したパッケージ型蓄電システムの特長を以下の4項目に分けて説明する。

## 2.1.1 海上コンテナを用いたワンパッケージ蓄電システム

今回開発したシステムは、①安価な海上コンテナを筐体に採用することの技術的実証・施工性向上の実証を行うこと、②蓄電池、PCS (Power Conditioning System)、及び蓄電池の充放電制御装置など、蓄電池運用のために最低限必要な機器をコンテナ内にワンパッケージで収容するコンセプトの実証を行うこと、という二つの目的を持つ。図1に海上コンテナを用いたパッケージ型蓄電システムの外観写真を示す。

\* パワー&システム研究所スマートエナジー開発部蓄電グループ

<sup>2</sup> エネルギー事業部EBCチーム



図1 海上コンテナを用いたパッケージ型蓄電システムの外観  
Overview of the Packaged Battery Energy Storage System using a marine container.

筆者らが参加してきたスマートグリッド実証試験では、多くの場合、電気室に蓄電池を設置するスペースがないため屋外に蓄電池室やキュービクルを設置する必要があった。これらの屋外キュービクル、電気室は案件ごとに設計され受注生産されているため高価であった。海上コンテナは大量に流通しているため屋外キュービクルにこれを採用することでコストダウンが期待できる。なお、蓄電システムにコンテナを使用した製品は既に国内外のメーカから発表されているが、コンテナ内部の熱設計上の問題があり、エアコンを内蔵する必要があった。今回、筆者らは換気ファンのみで内部温度を蓄電池の許容温度以下に保つ可能性をシミュレーション及び実運用により実証し、日本国内の一般的な気象条件下であれば適用可能との見通しを得た。第4章にその結果を示す。

また、筆者らが注目したもう一つの側面は、出荷試験・設置・施工の効率化である。蓄電池システムの施工にあたっては、PCSなど電気設備を搬入する電気工事業者、蓄電池を搬入する電池工事業者、及びこれらを運用制御するシステム業者など多くの業者が関わって案件毎に設計・施工・現地試験をしている。これらはコストアップの要因となるだけでなく、品質確保の観点からも課題であると考えた。そこで今回、蓄電池システム運用のために必要となる最低限の機器をコンテナ内に収容し、工場出荷時にシステム試験まで実施することで、これらの問題を解決するというコンセプトで開発を行った。実証の結果、理由は後述するが残念ながら蓄電池セルはコンテナ内部に組み込んで輸送することはできなかったが、PCS、制御システム、蓄電池の試験を工場出荷時に実施した。また、現地での設置作業を大幅に短縮できた。以上について第5章に示す。

### 2.1.2 多用途

2.2節に記載するとおり、蓄電池システムの用途・目的は多岐にわたる。蓄電システムそのものの機能は基本的には充電し放電するという単純なものであるが、蓄電池性能への要求項目やPCSの動作原理は使用方法によって全く異なる。

蓄電池は、停電時の電源バックアップ用途の場合、常に満充電に近い状態で維持され数年に1回あるかないかの緊急時に確実に放電することが求められる。一方、ピークカット用の蓄電

池として使用する場合は、数千サイクルの深いDOD (Depth of Discharge) での運用が期待され、PSOC (Partial State of Charge) 状態での性能が蓄電池に求められる。2.1.3節で述べるように、筆者らは古河電池㈱の長寿命サイクル蓄電池 (FCPシリーズ) を採用することでこの問題に対応した。

なお、この二つの機能の一つの種類蓄電池で実現しようとした場合、全容量の何%を平時のピークカットに使用し、災害時の電源バックアップ用にどの程度を残しておくかは設計上の一つの課題である。図2に今回使用した長寿命サイクル蓄電池のサイクル寿命とDOD (放電深度) の関係を示す<sup>4)</sup>。放電回数はDODによって変化し充放電の大きさを小さくした方が蓄電池寿命は長くなる。このため、蓄電池の寿命の観点からはサイクル用途に使用する容量は全体の30～50%程度の値に設定すべきである。一方、バックアップ用途に使用する電池容量分は、常時は使用されないものであるため設備投資効率の観点からは、この部分があまりに大きいことはマイナスである。BCPや災害時のリスク低減にどこまで価値を見出すかによりこの配分割合は変化し、ユーザ毎の設計項目と考えている。図3は蓄電池容量の配分例である。

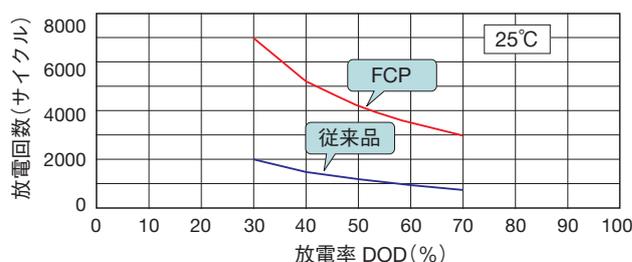


図2 長寿命サイクル蓄電池のサイクル寿命とDODの関係  
Relation between the cycle life of long life cycle storage battery and DOD.

### 蓄電池容量のイメージ



図3 蓄電池容量の配分(例)  
Storage battery capacity allocation.

PCSに関してもシステムの導入目的によって異なる機能が要求される。ピークカット用途や太陽光発電など自然エネルギーの変動吸収を目的とした場合では、PCSは商用系統と連系され、商用周波数、電圧に追従して交流出力の電圧波形を制御する必

要がある(系統連系モード)。一方、停電時の電源バックアップの場合、PCSは商用系統から基準となる電圧波形を受信できないため、自分の基準電圧・周波数で交流出力の電圧波形を制御する(自立運転モード)。このように、系統連系時と自立運転時にはPCSは異なった動作原理で運用制御される。更に太陽光発電など自然エネルギーを利用した発電設備と連携する場合、太陽光パネル用のPCSも別途用意する場合が多い。(図4a参照)。近年、直流配線によりインバータの数を集約し1台のインバータで交流回線と接続することで変換損失を軽減し、同時に構成要素を少なくすることでコストダウンの効果が期待できることが指摘されている<sup>5)</sup>。そこで本開発では、図4bのように、PVパネルのDC出力と電池のDC出力を一つのPCSに入力する構成とし、部品点数の削減を図った。この構成により主要部品である半導体パワーデバイスの必要個数を約1割、削減することができる。なお、自立運転モードと系統連系運転モードを1台のPCSで実現する手法については既にいくつかの先行する報告があるが<sup>6)</sup>、本システムのように、太陽光発電システムと連携した全体システムとして実際の系統で実証した報告は少なく、本システムの特徴の一つとなっている。このシステム構成については第3章で説明する。

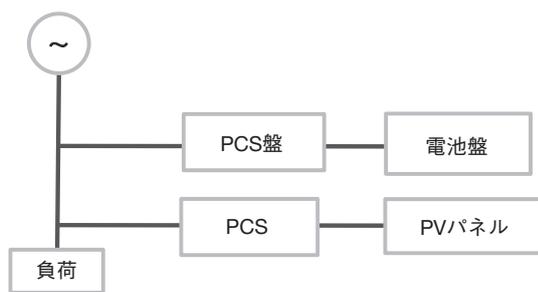


図4a 従来の構成  
Configuration of a conventional system.

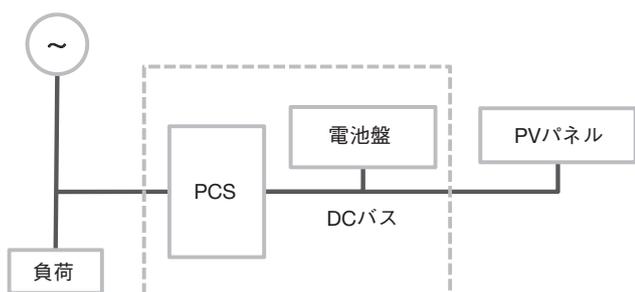


図4b 本システムの構成  
Configuration of the developed system.

### 2.1.3 長寿命サイクル蓄電池

前節で述べたように、本システムでは古河電池(株)製の長寿命サイクル鉛蓄電池を用いた<sup>4)</sup>。表1に使用した蓄電池の仕様を示す。今回の実証では制御弁式据置鉛蓄電池を使用した。広く普及している自動車の液式鉛蓄電池と異なり制御弁式であるため電解液の補水などのメンテナンスが不要、液漏れしにくいという長所を有する。また、今回使用した長寿命サイクル鉛蓄

電池は、図2に示した通り、DODが30%程度であれば7000回程度と、従来のサイクル型蓄電池の3倍のサイクル寿命がある。これは1日に1回の充放電(ピークシフト)を実施したと仮定すると19年間使用できる計算となる。実際にはこのサイクル運用によるダメージ以外の別の蓄電池劣化要因により蓄電池の寿命が決まるケースもあるため、この年数が単純には保証されない。それでもサイクル寿命としては十分大きい値が確保できると言える。

表1 長寿命サイクル蓄電池の仕様  
Specification of the long life cycle storage battery.

項目	仕様	備考	
蓄電池セル仕様	型式	FCP-1000 古河電池(株)	長寿命形制御弁式据置鉛蓄電池
	電圧	2 V/セル	
	単セル容量	2 kWh/セル	10時間率
	寸法	508 mm (H) [max.] × 303 (W) × 172 (D)	
	重量	約 75 kg/セル	

なお、深いDODでのサイクル利用でも長寿命が期待できる蓄電池としては、これ以外にもリチウムイオン電池やNaS電池が知られている。しかし鉛蓄電池はリチウムイオン電池に比べエネルギー密度では劣るものの低コストであり少なくともシステム構築時点では4倍の差があったこと、NaS電池やリチウムイオン電池に比べ反応性の高い原料を使用していないため、また自動車産業での長い実績により安全性の面で有利であること、更にリサイクルの仕組みが事業として成立していることから、今回の実証システムでは鉛蓄電池を採用した。

#### 2.1.4 独自の蓄電池管理システム

本システムのもう一つの特長として、独自の蓄電池管理システムを使用している点を挙げるができる。この蓄電池管理システムは国内外のスマートグリッド実証試験で検証を通じて蓄積された技術に基づいたものであり<sup>3)</sup>以下の長所を有する。

- 1) 蓄電池の状態を常時監視しこれを運用制御条件に反映できるため蓄電池へのダメージを抑え蓄電池寿命を延ばすことができる。
- 2) 従来は蓄電池の充電状態は測定誤差の累積により正しく推定できなかったが、これを自動的に補正する機能を有する。

#### 2.2 スマートグリッドにおける蓄電池の役割

蓄電池がスマートグリッドにおいて注目される理由はこれが充電と放電によってエネルギーの貯蔵と消費のタイミングを時間的にずらすことの可能な数少ないデバイスだからである。電力エネルギーは原則として発電量と消費量を常にバランスしておく必要があり、電力会社の発電機で発電したエネルギーは、数十kmから場合によっては数百km離れた需要地で瞬時に消費される。しかし電力エネルギーを有効に利用するためには、下記のようにこの発電と消費のタイミングをずらすことが求められる場合がある。

### 2.2.1 停電時の電源バックアップ

2011年3月の東日本大震災とそれに引き続く原子力発電所の停止によって、日本国内でも停電対策が必要であることが認識され、その結果蓄電池システムの重要性が再認識された。具体的には被災地における長期の停電による社会生活への影響だけでなく、震災直後の不安解消、情報確保のために避難所での電力バックアップは重要であり、これを実現する設備の一つとして蓄電池が見直されている。また発電量不足に対応するための計画停電が東日本を中心に実際に実施され、電気炉など一旦停止すると稼働するまでに時間が掛る設備のBCP (Business Continuity Plan) 対策としても蓄電池が使用される可能性がある。なお、従来からもこのような電力バックアップ設備としては蓄電池以外にも重油を用いた自家発電設備がある。初期投資の面では自家発電装置が有利であるが、静音性、燃料確保が不要である点、及び平時にも負荷平準化や電力系統安定化にも適用できることから蓄電池システムに期待が掛けられている。

### 2.2.2 負荷平準化(ピークカット、ボトムアップ)<sup>7)</sup>

負荷平準化とは、電力負荷を需要の多い時期から需要の少ない時期に移行(ピークシフト)、需要の多い時期の電力需要を削減し(ピークカット)、需要が少ない時期の電力需要を創出(ボトムアップ)することで、電力系統全体の負荷カーブを平坦化することを言う。これにより、供給力不足リスクの軽減と、ピーク需要に対応した設備投資の軽減効果が見込まれている<sup>7)</sup>。

負荷平準化の研究開発の歴史は古くNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)では1986年から1992年に鹿児島市宇宿地区にて負荷集中制御システムの実証試験を行っており<sup>8)</sup>筆者らもその構築に参加した。この実証プロジェクトでは希望者数百世帯を対象に夜間のボトムアップとして電気温水器の計画的な投入や昼間のピークカットとしてエアコンの稼働抑制が検証され、モデルハウスでは鉛蓄電池を用いて夜間電力による充電と昼間ピーク時の放電の試験も実施された。当時の蓄電池の技術水準ではせいぜい数百回の充放電で電池が劣化することが確認された。近年蓄電池の性能向上により数千サイクルの充放電サイクル寿命を有する蓄電池が開発されてきたため負荷平準化を実現するデバイスとして蓄電池への期待が高まっている。

### 2.2.3 分散電源が大量に導入された場合の系統安定化

この目的では、具体的には3つの課題があることが知られている<sup>9)</sup>。

#### (1) 余剰電力の発生

太陽光発電など、自然エネルギーの出力は日射量や風量などに依存しており、需要のピーク時刻とは必ずしも一致しない。1日の周期で考えた場合、夏季のエアコン需要が旺盛な時期を除き、日射量の最大となる正午前後が必ずしも需要のピークになるとは限らない。また1年の周期で考えた場合、例えば5月のゴールデンウィーク中のように工場が停止し需要が落ち込んでいる時期にも晴天時には旺盛な発電電力が生じ、発電電力が発生する可能性がある。そこで発電電力が過剰な時期に蓄電システムに充電し不足する時期に放電するという蓄電池の利用形態が想定される。

#### (2) 出力の急激な変動に伴う周波数調整力の不足

例えば太陽光発電の場合、雲による日射の遮蔽の影響により数秒単位で出力が急激に減少するため、配電系統の周波数安定

性が損なわれる問題が指摘されている。詳細な解説は他の解説書<sup>10)</sup>に譲るが、消費電力が急増した時に商用周波数は低下し逆に電力需要が急減した時には増加する力が働くが、発電機タービンの慣性力と制御系により所定の周波数範囲に維持されている。しかし許容範囲以上の電力の急変があり周波数を維持できなくなった場合、その発電機は電力系統から自らを切り離す(脱調による解列)。太陽光発電の急減によりこのようにして1台の発電機が解列されると更に発電電力が不足し、連鎖的に発電機が解列して大停電に至るシナリオがあり得る。現在は全発電源における太陽光発電の占める割合が小さいために問題になっていないが、文献9によると、太陽光発電の割合が30%を超えるとこの危険性が出てくるとしている。既に国内では、風力発電設備に付随して何らかのエネルギー貯蔵設備によって単位時間内の電力変動と変化率を所定の範囲内に収めることができる場合、優先的に系統に連系するというケースがある。

#### (3) 配電系統における電圧上昇など

太陽光発電のように一般需要家毎に分散電源として設置される場合の問題として、配電系統の末端における電圧上昇の問題が指摘されている。配電系統の電圧は電力ケーブルの抵抗による電圧降下を考慮し、需要家末端で所定の電圧範囲(日本の場合、101 V ± 6 V)に収まるように制御されている。従来、電力潮流は変電所から配電線末端に向けて一方向に流れると仮定できたため、ケーブル恒長と導体径(すなわち導体抵抗)と需要想定(すなわち電流)、変電所の送り出し電圧の調整により制御できた。しかし太陽光発電が普及し、逆潮流(需要家から電源側への潮流)が発生した場合には、逆に末端の方が高電圧になる可能性がある。逆潮流の量は電力会社側では制御できないため、電力品質の一つである電圧の維持が分散電源の普及により阻害されるという課題が文献9では指摘されている。

文献9ではこれらの問題を回避するために太陽光パネルの出力を停止するか、あるいは蓄電設備で需要の発生する時間帯まで太陽光パネルの発電電力をずらす必要があることが示唆されている。

以上まとめると、蓄電池には下記のような機能を実現することが期待されている。

#### ① 停電時の電力バックアップ

#### ② 夜間の充電と昼間の放電による電力消費の日変化の平準化(負荷平準化)

#### ③ 太陽光発電など、不安定な自然エネルギー導入時の系統安定化

### 2.3 システム容量とシステム機能概要

以上の社会的なニーズに対応するため、筆者らは、①災害時には最低限の電力設備の運用を維持する緊急電源として動作し、②平常時には電力ピークの削減や夜間電力の利用など負荷平準化の目的で使用され、かつ、③太陽光発電など自然エネルギーの変動を補償する機能を有する蓄電システムを試作した。本システムはシステム機能の実証と施工・運用・保守上の課題の抽出を目的として、当社の事業所に設置し、実際に電力系統と接続し現在も運用されている。

なお、蓄電池容量(kWh)と電源出力(kW)に関しては、小は家庭用の数kWhクラスのものから大は変電所に設置する数十MWhクラスのものまでである。今回の開発では、その中間の数百kWhのシステムをターゲットとした。この容量は数十kW

で数時間の間、電源のバックアップやピークカット、ボトムアップが可能となる。例えば数十kWの設備を計画停電時にも運用することを検討している工場(BCP対策)や災害時に避難所となる公民館、学校などへの適用が想定される。またピークカットの目的では500 kW前後の工場・ビルのピーク電力を10%程度、数時間にわたって削減することができる。自然エネルギーの変動吸収としては、ビルの屋上などで数十kW程度の太陽光パネルを設置するケースが適用分野として想定される。表2に今回の開発で想定した用途、ユーザを示す。

表2 本開発で想定したユーザ，用途  
Applications assumed in the development.

規模	ユーザー	用途	備考
小(数kW)	住宅	停電対策	開発 ターゲット
	中小工場 ビル・マンション	BCP対策 (数十kW×数時間) ピークカット (最大契約電力低減) 太陽光発電などの 変動吸収	
大(数MW)	風力発電など 電力会社	出力変動吸収, 負荷平準化	

今回実装したシステム機能の概要を表3に示す。停電時には重要設備への電力供給を自動的に開始する機能を設けた。経済性の観点から事業所全体の電力を賄うだけの容量の設備は設置せず、例えば電気炉のように一旦火を落とすと再起動まで長時間を要する設備など、BCP上重要な設備のみをバックアップするものとした。また平時にはピークカット、負荷平準化、太陽光発電との連携の各機能を実現する制御を実装するものとした。

表3 システム機能の概要  
Overview of the system features.

項目	内容
停電時 バックアップ	停電及び単独運転を検出し重要設備への電力供給を自動的に開始する
ピークカット	30分デマンド(30分間の消費電力)が規定値を超える場合に超過電力に相当する電力の放電を自動的に開始しピーク電力を削減する
ピークシフト	太陽光発電の余剰電力を蓄電池に充電する また、割安な夜間電力時間帯に配電系統から充電する
太陽光発電 との連携	配電系統に連系した状態で、太陽光発電と蓄電池からの出力を合わせて構内の設備の消費電力の一部を供給する

### 3. システム構成とシステム動作

#### 3.1 システム構成

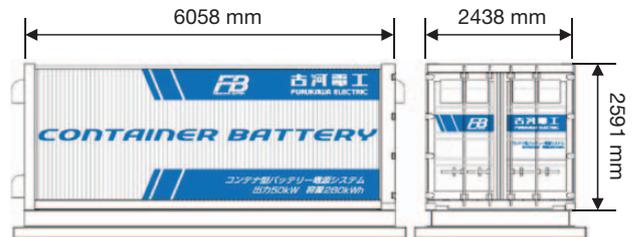
表4に今回開発した「パッケージ型蓄電システム」の概略仕様を示す。PCSの出力定格は50 kW、蓄電池のエネルギー容量は288 kWhである。PCSの変換効率の仕様値は90%以上であ

るが、実測では95%であった。(測定条件:40 kW 交流出力、バッテリーから放電した場合)。蓄電池容量は、全容量の30%をピークシフトに使用し70%を停電対応に使用した場合、平常時は50 kWで約1時間半のピークシフトを行い、非常時には50 kWの設備を3時間稼働させることが期待できる。なお、三相3線式50 kWの出力以外に、災害時にテレビやパソコン、照明など最低限の機器に電源を供給することを想定し単相2線式の補助出力を設けた。こちらは出力が小さいため50時間(約2日間)連続で4 kWの負荷を使用可能である。

表4 パッケージ型蓄電システムの仕様  
Specification of the Packaged Battery Energy Storage System.

項目	仕様	備考	
組電池	セル数	144セル	
	容量	288 kWh (10時間率)	
太陽光 パネル	公称 最大出力	10 kW	日射強度1000 W/m <sup>2</sup> 太陽電池温度25℃
PCS	電気方式	三相三線, AC 200 V, 50/60 Hz	単相2線式 (AC100 V, 4 kW) 補助出力あり
	定格入出力	50 kW	
	充電方式	定電圧定電流	
	変換効率	90%以上	

図5に「パッケージ型蓄電システム」の外形・重量を示す。「パッケージ型蓄電システム」は屋外の駐車場に設置され、内部には蓄電池、PCS、及びこれらを監視制御するためのコントローラが内蔵されている。図6に実証システムの全体構成を示す。ここでBMU (Battery Management Unit) とは蓄電池の充電状態SOC、劣化状態SOHを監視し、また蓄電池の過熱などの警報やメンテナンス充電の必要性を通知する装置であり、本装置の開発は国内外でのスマートグリッド実証試験での成果<sup>3)</sup>を反映している。



重量：16 t (蓄電池搭載時)

図5 「パッケージ型蓄電システム」の外形・重量  
Outer shape and weight of the Packaged Battery Energy Storage System.

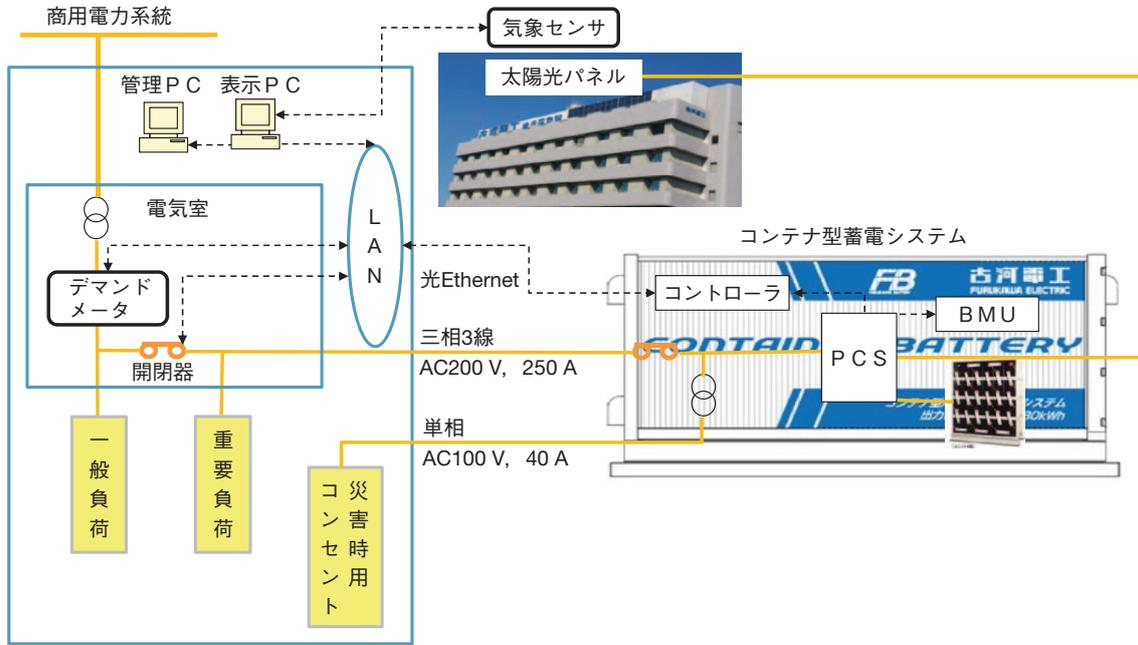


図6 システム全体構成  
The entire system configuration.

システム全体としては「パッケージ型蓄電システム」以外に、以下の機器を設置した。

- ①太陽光パネル：既存建屋の屋上に設置した。公称出力は10 kW，パネル面積は23 m × 3 mである。
- ②系統切り離し開閉器：既存建屋の地下電気室に設置した。停電検出時にはこれを開とし，商用電力系統から蓄電システムと重要負荷を切り離す。
- ③デマンドメータ：既存建屋の地下電気室に設置した。既存の取引用メータから出ている計量パルスを計測し所全体の消費電力を監視する装置である。
- ④管理PC：PCSや蓄電池の状態監視及び警報信号の表示，充放電スケジュールの入力を目的として既設ビル内のオフィスに設置した。
- ⑤表示PC：電力の使用状況の見える化を目的として，蓄電池の充放電状況，残容量，太陽光パネルの発電量，日射量など気象情報を表示する端末を既存建屋のロビーに設置した。

3.2 システム動作

本システムは2012年9月に現地に設置し，約1カ月の調整期間を経て，10月から試験運用を開始し現在も運用データを取得中である。出荷に先立ち工場にて電力事業者様との系統連系協議のための試験データを実機を用いて取得した。これらのデータの一部と現在までに取得できた実証結果について報告する。

3.2.1 停電時バックアップ

図7に停電時の動作シーケンスを示す。停電発生時には，PCSは内蔵の単独運転検出機能により停電を検出するとインバータをゲートブロックにより停止し，同時に事業所の電気室にある開閉器をオープンにする接点信号を送信する。これにより商用電力系統と蓄電システムが切り離される。コントローラは開閉器が動作したことを確認した後，PCSを自立運転モード，

すなわち自身の基準で制御した周波数，電圧，位相の交流電力の放電を開始する。この時負荷抵抗と電圧で決まる電流値で電力供給される。商用電源から蓄電池電源に切り替える時間は短いほど望ましいが，本システムでは上記の通り，一旦PCSをゲートブロックして停止させ，系統から確実に切り離されたことを確認した後に自立運転を開始する運用とした。同様の構成で無瞬断で切り替える試みも報告されており<sup>5)</sup>，今後実証実績を積み重ね停電時間の短縮を目指す。

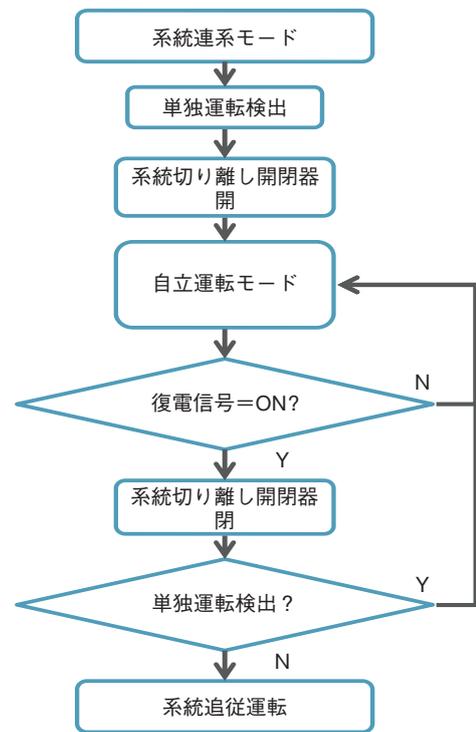


図7 停電時のシステム動作シーケンス  
The system operation sequence in case of power outage.

なお単独運転検出機能とは商用電力系統が停電したことを検出する機能である。停電時に商用電力系統に対して電圧を課電し続けることは作業員の安全確保を妨げる大きな問題となるため、単独運転検出は系統連系協議における重要な課題の一つとなっている。分散電源出力と負荷がバランスしている場合などでは分散電源が発生する電圧が停電後も維持されてしまい、単純に電圧や周波数を監視しても停電を検出できないケースがある。そこで系統連系規定<sup>11)</sup>では、交流電圧、周波数の監視(受動型単独運転検出機能)だけでなく、能動型の単独運転検出機能を設けることを規定している。この能動型の単独運転検出機能とは交流出力側に周波数や高調波などの揺動を与えその変動が大きい場合には停電であると判断するものである。今回採用したPCSでは能動型検出方法として最も一般的な、周波数シフト方式により検出している。図8に評価結果を示す。系統連

系規定では、停電発生後0.5秒以内に停止することが規定されているが、グラフに示すとおり、110 msec以内に停止し、十分な機能があることが確認された。なお現行10 kW以上の蓄電池用PCSに関しては認証制度が存在しないため、系統連系協議の度の実機でのデータ取得を求められる。今回は現地に設置する前に工場にて蓄電池、PCSなど一式を実機で組上げこのデータを取得した後に出荷した。

また、停電時の蓄電システム自身の電力及び地下電気室に設置した通信機器の電力は蓄電池及び太陽光パネルから供給される。蓄電池システムの消費電力はファンを全て駆動した場合で約600 Wであった。これはPCSの定格出力の1.2%に相当し、既に十分小さい値ではあるが更に低減する余地はあると考えている。

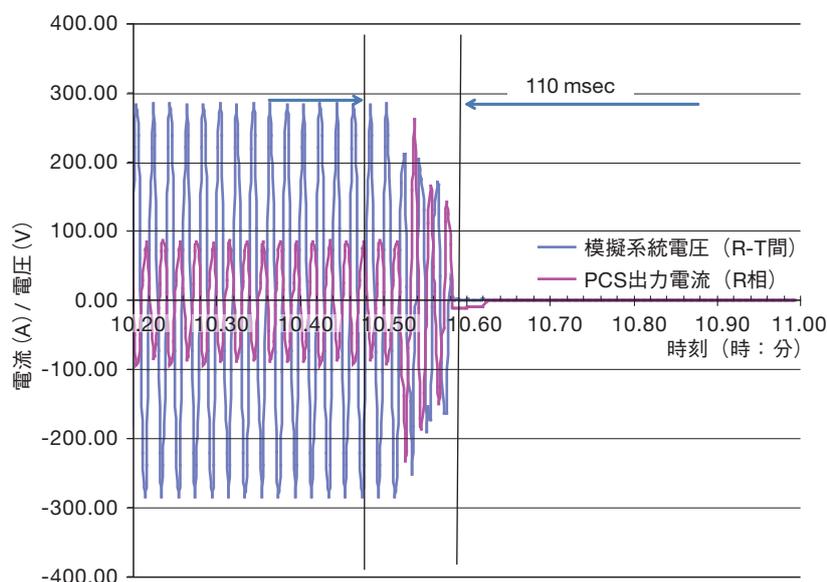


図8 単独運転検出機能の評価；所要時間の測定  
Evaluation of passive single operation detection.  
(Measurement of the required time, shipping test)

### 3.2.2 負荷平準化・ピークカット

需要家が蓄電池システムを導入する際の直接のインセンティブは契約電力の基本料金の削減と昼夜間電力価格差によって与えられている。基本料金は多くの場合、前年度の最大電力ピークを参考として決定される。図9に負荷平準化・ピークカット運用のタイムスケジュールを示す。深夜時間帯料金の開始される平日夜間23時から翌朝6時までの間に充電しそれ以外の時間帯に放電することで、ボトムアップ、ピークカットの負荷平準化を行う。また目標とする電力デマンド値(一般的には契約電力)を超えそうになった場合に放電することでピーク電力を削減しピーク時間帯を終了した16時以降に残存容量を放電するものとした。

このような運用では蓄電池は満充電と完全放電の間のPSOC (Partial State of Charge) 状態での運用を行うこととなり、BMUによる正確な蓄電池の状態監視が重要となる。詳細は文献3に記載されている通り、通常運転時においては蓄電池の充

電状態は充放電電流の積算値により蓄電池の充電量を監視している。しかしこの測定方法では累積誤差が積み重なり大きな誤差に繋がるのが知られている。このためBMUは蓄電池の充放電の運用状態に関する情報をコントローラから取得し、運用中にSOC値を自動的に補正する機能を有している。

なお現在国内電力会社のピーク電力の定義は、30分デマンド値で規定されている。すなわち、契約電力の基本料金は瞬間の電力(kW)ではなく30分間の累積電力量(30分デマンド値)を基準に算定される。従ってピークカットとは電力ピークの瞬間値を下げるのではなく、目標となる30分デマンド値を超えそうになった場合に30分間を終了するまでに蓄電池から放電することをいう。本システムではデマンドメータの値を10秒毎に取り込みその経緯から30分間のデマンド値を予測し、その値が目標デマンド値を超えそうになった場合にその超過予想分に対応する電力で放電するものとした。図9に超過電力の予測の概略を示す。

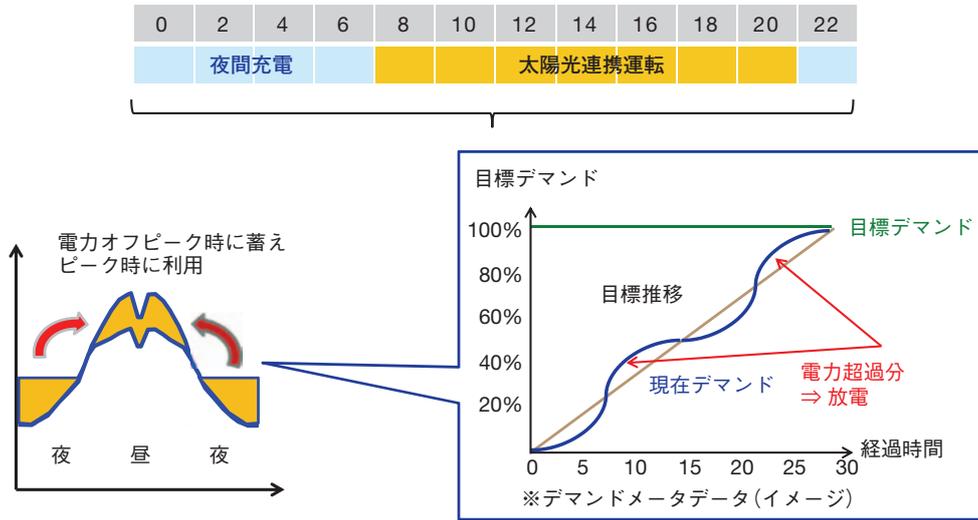


図9 負荷平準化・ピークカットの運用スケジュール  
Load leveling and peak-cut operational schedule.

このような運用は、負荷平準化の観点からは必ずしも正しくない。システム全体では、一瞬でも電力供給余力を超えることは大停電に至るリスクがあるためである。ただし個別の需要家毎の瞬時ピークを合計すると統計的には変動が均等化される効果が期待されるため、また現在の料金制度を前提とした需要家側の導入メリットを考慮しこのような運用とした。

### 3.2.3 太陽光発電システムとの連携

前項で述べた負荷平準化のための蓄電池の充放電制御に加え本システムでは太陽光発電と連携したシステム動作を実現できることを検証した。なお、実証試験では逆潮流はしないこととし、システム側へ向かう電流を測定するRPR (Reverse Power Relay) が逆潮流を検出した場合にはPCSをゲートブロックして停止させることとした。実際には事業所の負荷に対してPCSの出力は十分小さく5%程度であるため逆潮流が発生する可能性は少ない。

#### (1) 蓄電池放電時

蓄電池放電時には蓄電池からの出力と太陽光パネルからの出力を合わせて一定の交流電力 (kW) を維持できることが重要な機能となる。なぜならばピークカット用途の場合、目標デマンドを超える量の電力にバランスする交流電力出力をパッケージ型蓄電システムから送電する必要があるためである。また負荷平準化のために昼間時に放電する場合、今回は実施しなかったが、逆潮流を許容する場合には2.2.3で説明したように数秒単位で変動する太陽光パネルの出力変動幅を抑える事が望ましい。

今回のシステムでは蓄電池の出力と太陽光パネルの出力をDC・DCコンバータで所定の電圧にして合流させ一括して交流電力に変換している。太陽光パネルからの電力が変動しても交流電力出力の値が一定値を維持するように蓄電池からの放電電力を調整した。図10に実際の運用中の測定データを示すが、

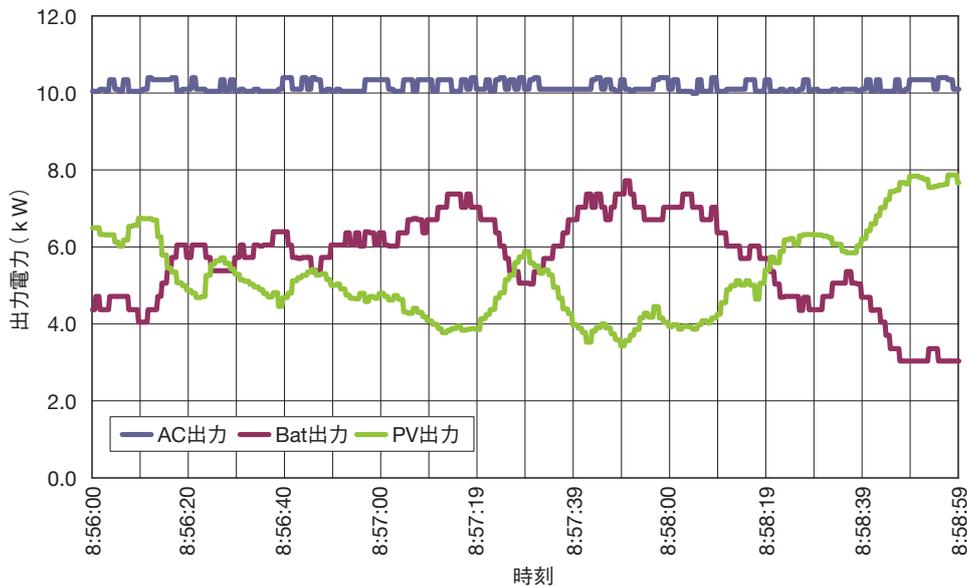


図10 太陽光パネルの出力変動の吸収(放電時)  
Absorption of fluctuations in the output of solar panels. (At the time of discharge)

太陽光パネルの出力が変動した分を蓄電池の放電電力が補っており交流出力はほぼ一定の値に制御されることを確認した。交流出力の変動幅は1.4%であった。

### (2) 蓄電池充電時

一方、充電時には太陽光パネルからの出力と系統からの充電電力の両方で一定の電流・または電圧で蓄電池に充電する機能が重要となる。なぜならば蓄電池は不適切な充電方法によってダメージを受け寿命が短くなる可能性があるためである。一般的には充電終了電圧になるまでは所定の一定電流に維持して充電し、充電終了電圧に達した後は一定電圧で充電するCCCV充電 (Constant Current / Constant Voltage charge) をすることが推奨されている。このため太陽光パネルの出力変動があった場合にも一定の電流または電圧で充電するように制御する必要がある。図11に定電流充電時の蓄電池充電電流の時間変動と太陽光パネルの出力変動、系統交流電力変動の測定例を示す。電流値は±5%の範囲に収まっている。なお、CV充電モードでの電圧変動は±0.5%以下であった。

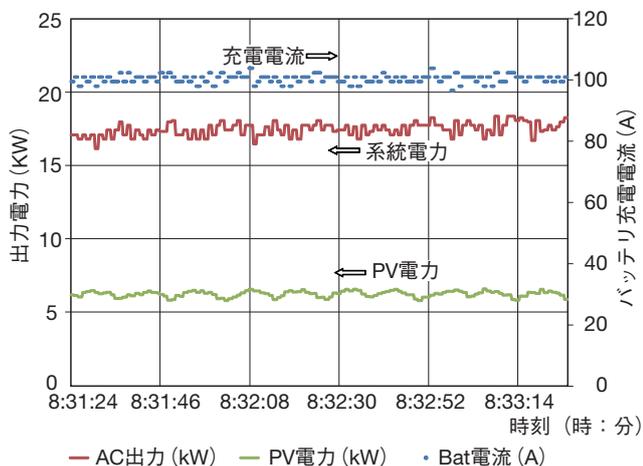


図11 定電流充電時の電流変動 (太陽光パネルと系統電力の両方で充電)  
Current fluctuation at the time of constant current charge. (Charged by both solar panels and grid power.)

### 3.3 データ通信ネットワーク

#### (コントローラの通信インターフェースの開発)

既設電気室と「パッケージ型蓄電システム」間の計装制御信号、及び監視PCと「パッケージ型蓄電システム」間の通信方式としてはインターネットや社内データ通信として現在最もポピュラーなEthernet上のTCP/IPプロトコル(一部UDP/IP)を採用した。なお、「パッケージ型蓄電システム」と既存建屋間はケーブル延長で230 mとメタル通信での伝送限界である200 mを超えていたため、光ファイバを用いたIEEE 802.3u (100BASE-FX) 準拠の伝送路で接続した。100BASE-FXは1300 nm帯の光信号を用いたEthernet対応の通信方式であって最大20 kmまで延長できる。図12に物理的な接続構成を示す。

なお、OSI7階層でいうところの第5層以上のアプリケーション層はPCSやデマンドメータ、BMU、DIO変換装置毎に規定

されている独自プロトコルで構築した。図13に論理的な接続構成を示す。

図でPCS、BMUは当社開発品であるため、これらとコントローラ間の通信インターフェースは筆者らが独自に開発したものである(①②)。ただし②のBMUのインターフェースについては、弊社が参加した国内のスマートグリッド実証試験で検証したインターフェースに従っており、詳細は文献3に記載されている。管理PC、表示PCとのインターフェースも独自インターフェースである(③⑤)。なお管理PCはファイルサーバとして1) PCSの測定する交流出力電流値や電圧値、太陽光や蓄電池からの直流電力の電流値、電圧値、および警報信号、2) BMUが出力する蓄電池のSOC、SOH、警報信号などのログデータを保管している。また蓄電池の運用評価を目的として、BMUが測定する生データを保管した。デマンドメータ、デジタルI/Oは既存の製品を使用したためこの製品で規定されている独自プロトコルに従った(⑥⑦)。具体的にはコントローラ側にこれらの通信インターフェースに従った通信プログラムを作り込んだ。なお今回は実装していないがBEMS (Building Energy Management System) が設置され蓄電池だけでなくビル内のその他の負荷制御、発電制御をトータルに実施する場合には、管理PCとコントローラ間(③)と同等のインターフェースで監視制御データを双方向で通信する予定である。

スマートグリッド用の屋内通信方式としてはスマートハウスなど小規模な住宅内向けにはEchonet Liteがアプリケーション層の標準として認知されつつあるが、ビルや公共施設など、中規模のシステム向けの標準化は候補が絞られていない。空調設備の監視制御で普及しているBacNetなどの規格がありこれを電力監視に拡張する試み<sup>12)</sup>もある。しかし、蓄電池や太陽光発電の監視制御については標準化が進んでいない。今回の開発ではデマンドメータ、PCS、BMUなど機器毎に通信方式を個別に開発する必要があり、これが開発期間の面や今後の保守、改良の面で足かせとなった。今後この通信インターフェースに関する標準化が進められることが望まれる。

## 4. 熱設計

海上コンテナのような簡易な筐体で蓄電池や電力変換機器、監視装置などの環境仕様を満たすことが可能であることを実証することは本開発における重要な開発課題の一つであった。屋外設置機器の環境仕様項目は一般的に、温度、湿度、振動、電気特性(絶縁耐力など)、EMI特性などが挙げられるが特に今回は高温温度特性に着目した。鉛蓄電池は高温の環境にさらされることで劣化が加速され電子デバイスや電気機器の一般的な温度環境仕様よりも低い温度(45℃以下)に維持する必要があるためである。なお鉛蓄電池本体の発熱は主に導体のジュール損失による発熱に起因しており大きくは無いが、大出力のPCSからは大きな放熱があることが予測されその対応が懸念された。そこで蓄電池の環境温度が45℃を超えないことを設計目標としシミュレーション及び実測によりその確認を行った。

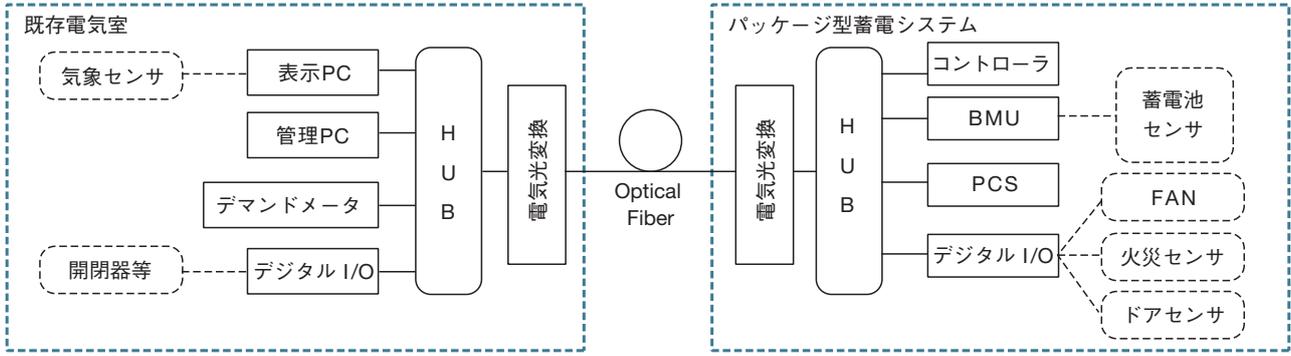


図12 監視制御データを伝送するネットワークの物理構成  
Physical configuration of the monitoring and control data transmitting network.

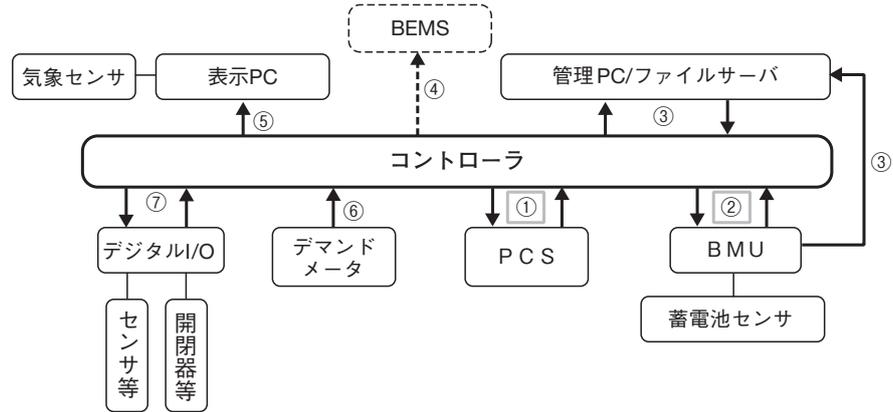


図13 監視制御ネットワークの論理的接続構成  
Logical connection configuration of the monitoring control network.

4.1 概要設計

シミュレーションに先立ち概要設計を行い、検証する設計条件を以下のように設定した。

冷却方法は換気扇による空冷のみとし冷房設備は使用しないものとした。これは停電時などにコンテナ型蓄電システムを運用するための消費電力をできるだけ抑えるためである。換気扇の容量は以下のように設計した。

$$W = \gamma C Q (\text{排気温度} - \text{吸気温度})$$

ここで、 $W$ : 排熱量 (W),  $\gamma$ : 空気の比重 [kg/m<sup>3</sup>],  $C$ : 空気の比熱 [J/kg·K],  $Q$ : 空気の風量 [m<sup>3</sup>/秒] である。外気温としては国内の通常環境として35℃とした。コンテナ内の温度を45℃以下にするため排気温度は45℃とした。 $W$ は4 kWとした。PCSの排熱は交流出力50 kWで変換効率95%であるため計算上2.5 kWである。従って設計余裕として1.6倍考慮したこととなる。

これらを代入すると $Q = 21$  (m<sup>3</sup>/min)となる。そこで、本設計では風量30 (m<sup>3</sup>/min)の換気扇を選択することとした。

機器配置を図14に示す。設計上は換気扇1台で十分な排気容量が期待されるが、実際の試作では換気扇4台を対向で計8台設置し、開口部側で吸気し背面側で排気する構成とした。排気容量としては120 (m<sup>3</sup>/min)に相当する。コンテナの内部空間は約40 m<sup>3</sup>であるため、単純計算では20秒間で内部の空気を交換できることとなる。また換気扇の風向が蓄電池に直接当たるように開口部側の換気扇の前面にダクトを設ける構成でシミュレーションした。

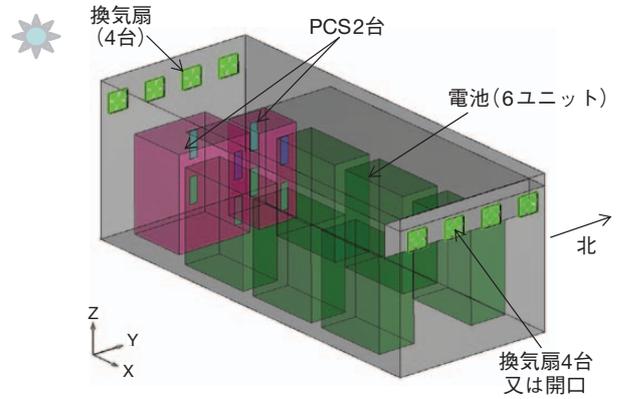


図14 コンテナ内蔵蓄電システムの機器配置案  
An equipment layout plan of the Packaged Battery Energy Storage System built in a container.

4.2 シミュレーション結果

以上の条件で、定格出力時のコンテナ内の温度分布のシミュレーションを実施した。シミュレーションにはCradle社の流体・熱解析ソフトSTREAMを用いた。

シミュレーションにあたっては、日射による鋼板の温度上昇の影響を考慮し以下の値で計算した。

日射量：8月1日正午の東京を想定

日射吸収率：0.5

また、その他の条件は以下の通りとした。

発熱量：電池 384 W/Unit (体積発熱) × 6  
 PCS：3500 W (排気加熱。風量 23.2 m<sup>3</sup>/min)  
 風量：換気扇… 30 m<sup>3</sup>/min × 4組  
 コンテナ：厚さ 1 mm の鋼板 (熱伝導率 43 W/mK, 放射率 0.5)

図 15 にシミュレーション結果を示す。セル最高温度は約 45℃ であった。また、換気扇の前面のダクトの効果で、開口部側の蓄電池と奥側の蓄電池で温度差がでてしまうことが判明した。蓄電池の運用上は蓄電池のセル温度がばらつくことは望ましくない。そこで実際の試作検証においては換気扇のダクトの実装はしないこととした。

4.3 実測結果

次に実際に試作したパッケージ型蓄電システムの蓄電池表面付近の実測結果を説明する。

まず、測定手法であるが、全セルの表面に設置した蓄電池センサーで表面近傍温度を連続で測定し、測定期間中で外気温が最も高く、かつ、連続充電中の時のデータを抜き出して分析した。データは1分間の平均値である。

この時の環境条件は以下の通りであった。

- 測定時刻：2012年9月11日 13:02
- 外気温：33℃，風速：微風，天候：晴れ
- 蓄電池システム設置方位：長辺を西向きに設置
- 運転状況：120 A (約 30 kW) で7時から18時まで連続充電
- 測定対象：最も温度が上昇すると予測された図15のラック①、及びラック②の温度

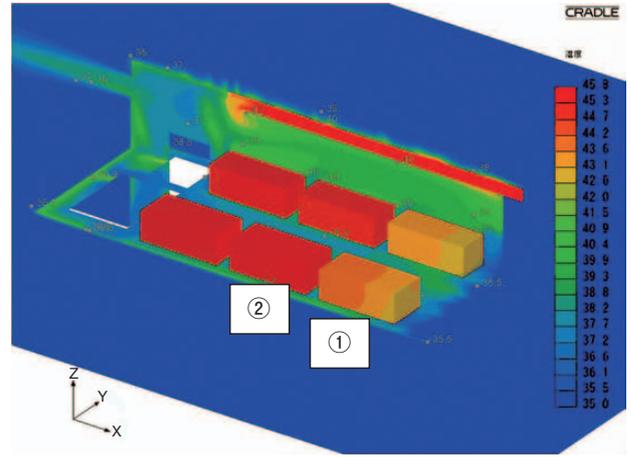


図 15 コンテナ内部温度分布のシミュレーション結果  
 Simulation result for temperature distribution inside the container.

図 16 に測定結果を示す。蓄電池セル表面の最高温度は 33.5℃，最低温度は 32.3℃ であった。なお蓄電池ラックは横 6 列、縦 4 段の 24 セルをパッケージ化したものである。ラックの中心部と周辺部での温度差は 1.7℃ と小さく抑えられていることが確認できた。

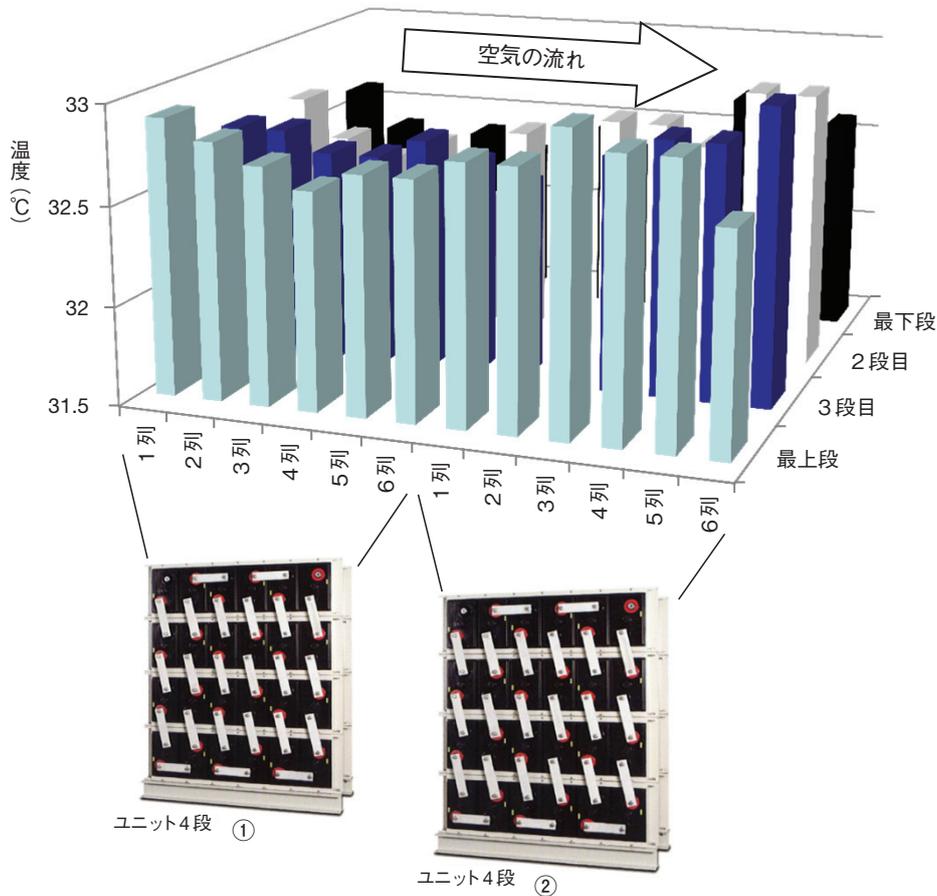


図 16 蓄電池表面温度の分布 (実測値)  
 Distribution of the storage battery surface temperature. (Measured value)

4.4 考察

シミュレーション結果では外気温と蓄電池の温度差は10℃程度あるものと考えられていたが、実測ではほとんど外気温と同程度であった。この原因として、蓄電池センサーが換気の風に直接さらされていたため電池表面温度測定値が空気の温度に影響されたことが考えられる。全体的に開口部の吸気用換気扇から離れた奥側(①よりも②)の方が高い温度であるのはシミュレーション結果と傾向が一致しているが、換気扇の直下の①1列目の温度が高くなるのは、この位置では換気扇の風が当たりづらいためであるとして説明できる。なお、蓄電池の許容最高温度は雰囲気温度で規定されているが、通常は無風の恒温槽内で寿命と環境温度の関係を評価しているため、このような外気温程度の空気の流れの中でのデータは無い。実際に蓄電池内部の温度がどのように上昇し、それが最終的に寿命にどのように影響するかについては更に評価が必要である。

また、PCS出力が定格の60%と小さかったこと、及び、設置向きが南で無く西向きであったことなどが、シミュレーション結果と実測の差の原因となっている可能性がある。それでも試算によるとこれらの効果だけで測定温度が外気温とほとんど差が無いことは説明できず前述の要因が支配的であると推測できる。

以上、少なくとも環境温度としては蓄電池の許容温度である45℃を大きく下回る温度が維持できており日本国内の一般的な気象条件であれば適用可能との見通しを得たと考える。

コンテナを改造した簡易なキュービクルでも所定の温度環境を得ることができた。空冷環境下での表面温度と電池寿命の関係については今後更にデータを積み重ねる必要がある。

5. システム構築の検証

本開発のもう一つの課題は、ワンパッケージでの工場試験と出荷、現地施工の効率化であった。以下、その実証結果について説明する。

5.1 工場試験

出荷に先立ち、工場にてコンテナ型蓄電池システムを組上げた。工場ではシステム機能の確認を行うシステム試験と、商用電力系統に接続するための系統連系基準に適合することを確認するための系統連系試験の2種類の試験を実施した。表5、表6に各試験の実施項目を示す。

10 kW以上の蓄電池用PCSについては系統連系試験の内容、判定基準に関する標準規格が現在のところまだ無いため、案件毎に電力事業者との個別協議を実施することとなる。今回は、既に標準化の整備されている10 kW以下のPCSの規格である「小型分散型発電システム用系統連系保護装置などの試験方法通則(JETGR0002-1-2.0(2011))」に準拠して試験を実施した。

システム試験においては、太陽光パネルは定電流源で模擬し、商用電力系統はCVCF電源で模擬した。また負荷にはダミーロードを使用した。図17に試験構成を示す。

管理PC、表示PC、デマンドメータ、RPRなど既設電気室に設置する機器は現地施工である。このため工場においてはこれらの機器との接続試験に関しては計装信号の確認のみを行った。

表5 システム試験項目  
System test items.

No.	カテゴリー	試験内容
1	系統放電	模擬系統電源と接続した状態で、模擬太陽光パネルからダミーロードに対し放電する
2		模擬系統電源と接続した状態で、蓄電池からダミーロードに対し放電する
3		模擬系統電源と接続した状態で、模擬太陽光パネルと蓄電池からダミーロードに放電する
4	自立放電	模擬系統電源を落とした状態で、模擬太陽光パネルから負荷に対し放電する
5		模擬系統電源を落とした状態で、蓄電池から負荷に対し放電する
6		模擬系統電源を落とした状態で、蓄電池と模擬太陽光パネルから負荷に対し放電する
7	系統充電	模擬系統電源と接続した状態で、模擬系統電源から蓄電池に一定電流で充電する
8		模擬系統電源と接続した状態で、模擬太陽光パネルから蓄電池に一定電流で充電する
9		模擬系統電源と接続した状態で、模擬太陽光パネルと模擬系統電源から蓄電池に一定電流で充電する
10	緊急停止	緊急停止信号をコントローラからPCSに送信し、PCSが停止することを確認する

表6 系統連系試験項目  
Grid linkage test items.

No.	カテゴリー	試験内容
1	保護機能試験	単独運転防止試験、交流過電圧・不足電圧試験など
2	定常特性試験	交流電圧追従試験・力率・高調波など
3	外部事故試験	瞬時電圧低下、交流短絡など
4	耐電気環境試験	系統電圧ひずみ耐量、系統電圧不平衡など

5.2 運搬

図18に出荷時の写真を示す。工場での試験後電力ケーブルなどはずし、コンテナのままクレーンで積載荷重10トンのトラックに積み込み出荷した。蓄電池セルに関してはラックに実装したままでの運搬中の振動に対する耐震性が未検証であったため全てラックから撤去し別送した。設計上は蓄電池を実装したままでも搬送することも考慮した。すなわち16トンクレーンより重量の大きい車両は道路使用許可が必要となるなど制約が増えるためコンテナの荷重は蓄電池を含んで16トン以下とした。

5.3 現地設置

図19に現地設置の際の工事写真を示す。あらかじめ設置しておいたコンクリート基礎の上にH型鋼を2本渡した基礎の上に、クレーンでパッケージ型蓄電システムを降ろしコンテナ四隅の固定部をアンカボルトで固定した。設置据え付け工事そのものは30分程度で完了した。その後別送の蓄電池を搬入しセル端子をブスバで固定し蓄電池セルセンサをセル毎に繋ぎこんだ。この搬入接続工事には1日費やした。最後に蓄電池からの

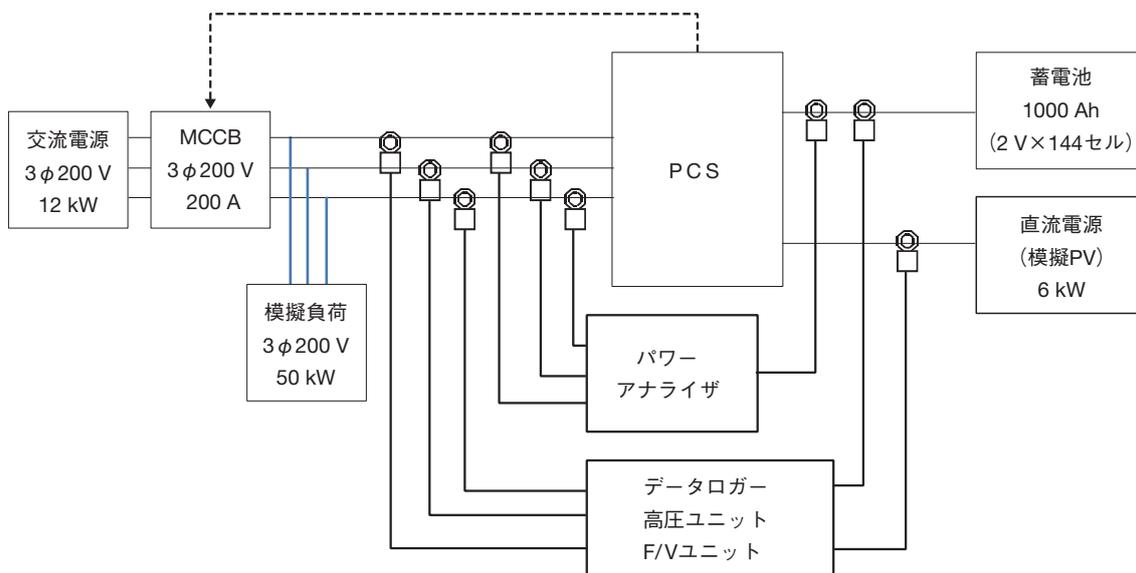


図17 系統連系試験構成(工場出荷時)  
Grid linkage test configuration. (Before shipping)



図18 パッケージ型蓄電システムの出荷  
Shipping of the Packaged Battery Energy Storage System.

直流ケーブルのPCSへの繋ぎこみ及び交流電源ケーブルや光ファイバの接続工事を実施した。ケーブル敷設工事を除くと半日で接続できた。

従来筆者らの経験では7日間を要していた設置工事を正味2日に短縮する事ができた。

系統連系協議のための試験は工場で既に終了させておいたためシステム設置後すぐに実際の系統に接続して試験運用を開始することができた。現在も試験運用を継続し、実運用上を通じて運用上の課題、品質上の問題点の洗い出しを行っている。

## 6. おわりに

安価な海上コンテナを屋外筐体としシステム構築のために必要となる主要構成機器、蓄電池、BMU、PCS、制御装置をワンパッケージでこの筐体内に作り込んだ「パッケージ型蓄電システム」を試作し、当社の横浜事業所にて運用試験を開始した。「パッケージ型蓄電システム」の試作により筐体のコストダウ

ンだけでなくシステム試験を出荷前に実施できるため試験評価の効率化や製品としての標準化により大量生産の可能性が開かれたものと期待している。現地据え付け施工や発送の簡略化により機器設置工期を半分にできることを実証した。コンテナ内に収容したコントローラは停電時には最低限の電力設備の運用を維持する緊急電源として動作し平常時には電力ピークの削減や夜間電力の利用など電力有効利用を実現するためのシステム制御機能を有している。また今回使用したPCSは太陽光発電パネル用のPCS機能も有しておりBEMSなど上位の運用管理システムが無い場合でも自然エネルギーの利用時間帯の調整や余剰発電電力を充電するといった運用ができる。

試験運用を開始して日が浅いが運用上の課題や品質上の問題点が新たに発見されており更に実績を積み重ね、開発成果を製品設計に反映させていく予定である。本開発の目指す製品は学校や公民館など災害時に避難所となる可能性のある施設やBCP対策を検討中の中小工場、あるいは可搬性を生かした用途に適用できると考えている。



図19 現地設置工事写真  
Photograph of site installation work.

## 参考文献

- 1) EPRI: Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid  
EPRI 1022519 Final Report, March (2011)
- 2) 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会；  
次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて(2010年1  
月), 17
- 3) 中村秀人 等：“蓄電池状態監視装置(BMU)の開発” 電工時報  
131 (2013)
- 4) FB テクニカルニュース 65 (2009. 11), 22
- 5) 久保田雅之 等：“統合型スマートグリッド評価システム(4)-宅  
内直流給電システムにおける宅内電力制御検証” 電気学会電力・  
エネルギー部門大会論文集2011 (2011), 210
- 6) 石隈悟 等, サンケン技報42 (2010), 42
- 7) 低炭素電力供給システムに関する研究会：低炭素電力供給シ  
ステムに関する研究会報告書(2009年7月)87
- 8) 中村義昭：“負荷集中制御システム確立実証試験の結果につい  
て” 電気協会雑誌 886 (1997), 14
- 9) 次世代送配電ネットワーク研究会：“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”(2010年4月)11
- 10) 電気事業講座編集幹事会；電気事業事典(2010) 電気事業講座  
2008 別巻(2008年6月)
- 11) 日本電気技術規格委員会系統連系専門部会；“系統連系規程”  
JEAC 9701-2010
- 12) Maeeda Masahiro, Yamamoto Masayuki: FUJITSU ACCESS  
REVIEW 13 (2004)

最後に建築確認申請・系統連系協議において生産技術部環境  
技術開発グループ及び横浜事業所工務グループの皆様にご指  
導・ご協力頂きました。熱解析シミュレーションは自動車電装  
技術研究所放熱・実装技術開発部のご協力で実施いたしました。  
BMU (Battery Management Unit) はMETIによる「スマート  
コミュニティ実証実験事業」で検証された成果により開発さ  
れました。ここに感謝の意を表します。