

一般論文

大型ニッケル水素電池を用いた電力貯蔵装置の開発と検証

Development and Verification of Battery Energy Storage Systems (BESSs) using Large Nickel-Metal Hydride Batteries

栗尾 信 広* 秦野 秀 稔*
N. Kurio H. Hatano
坪田 慎 二** 綾部 宏 規**
S. Tsubota K. Ayabe

概要

当社と関西電力株式会社殿、川崎重工業株式会社殿は電力用大型ニッケル水素電池を用いた、機能の異なる二種類の電力貯蔵装置を共同で開発し、それぞれ機能検証および実証試験を行っている。一方は多機能電力貯蔵装置であり、当社本社構内にシステムを設置、電力ピークシフトや瞬低・停電補償などの機能検証を実施している。他方は電力需給制御装置であり、将来の再生可能エネルギー大量導入時における電力系統の課題への取り組みとして、関西電力株式会社殿の石津川変電所構内に試作機を設置し、実証試験を行っている。本論文ではこれらについて紹介する。

Synopsis

Nissin Electric Co., Ltd., The Kansai Electric Power Co., Inc. and Kawasaki Heavy Industries, Ltd., has jointly developed two different kinds of battery energy storage systems (BESSs) using large Nickel-Metal Hydride battery. A multifunctional BESS has been installed in the Nissin's main factory, and the functional verification to demonstrate load leveling and backup power supply. Moreover, a supply and demand control system has placed in Ishizugawa substation of Kansai Electric Power Co., Inc., to research to manage output fluctuations in the large installing of renewable energy in the future.

1. まえがき

低炭素社会の実現に向けた太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入拡大や、東日本大震災以降の電力供給形態の変化に対応するため、リチウムイオン電池やニッケル水素電池などの蓄電池（二次電池）が注目を集めている。技術開発や量産に伴い、これら蓄電池は今後更なる高性能化・低価格化が見込まれているため、それらを利用した電力貯蔵装置の研究・開発が進められている。

最初に述べる多機能電力貯蔵装置は電力ピークシフト機能、瞬低・停電補償機能を持ち、中小規模のビル、工場需要家側における設備投資や契約電力の抑制、電力品質の向上への寄与を目的としている。本論文では最初に、共同研究において当社本社構内にて実施されている太陽

光発電システムと工場負荷、多機能電力貯蔵装置を組み合わせた構内検証試験について紹介する。

続いて、関西電力株式会社殿の堺太陽光発電所が連系する石津川変電所構内にて実施している蓄電池を用いた電力需給制御システムの研究を紹介する。これは、将来再生可能エネルギーが大量に普及した場合に、天候変化による出力変動が周波数、電圧等の電力品質に影響を及ぼす可能性があることに備えたものである。

蓄電池には両研究共に川崎重工業株式会社殿開発の大型ニッケル水素電池を用い、蓄電池の充電状態を適切に管理しながら、高速かつ高出力の電池充放電特性を生かした制御・運用方式の研究・開発を行なっている。

* 研究開発本部

** 新エネルギー・環境事業本部

2. 多機能電力貯蔵装置の開発^{(1), (2)}

従来、電力ピークシフト機能、瞬低・停電補償機能を持つ電池電力貯蔵装置は、レドックスフロー電池やナトリウム硫黄電池を用いた大容量のものであった。そこで、図2.1に示すような、上記機能を有する中小規模のビル、工場向けの多機能電力貯蔵装置を開発し、その機能検証を行っている。

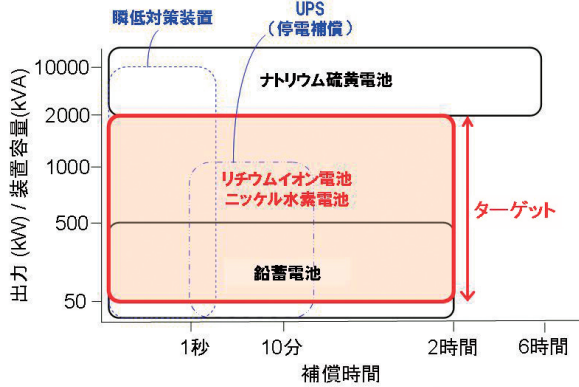


図2.1 市場ターゲット

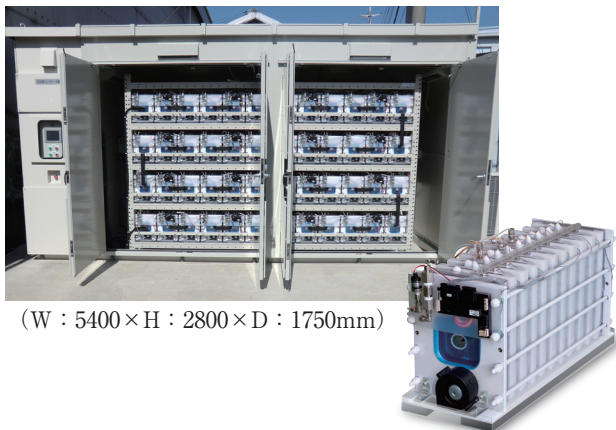
2. 1 多機能電力貯蔵装置

多機能電力貯蔵装置は電力変換装置（当社製）と電池盤から構成される。

2. 1. 1 電池盤

図2.1.1.1に川崎重工業殿製作の電池盤とニッケル水素電池ギガセル[®]のスタックを示す。ギガセルは水溶液系電解液を用いているため発火の心配がなく安全性に優れ、高レートの充放電が可能で高効率といった特徴がある。

本装置では電池スタック（10セル）が48直列接続されており、電池容量は102 kWhである。



(W : 5400 × H : 2800 × D : 1750mm)

図2.1.1.1 電池盤とギガセル[®]

2. 1. 2 電力変換装置

図2.1.2.1に示す電力変換装置はインバータや変圧器、LCフィルタ、サイリスタスイッチなどで構成されている。瞬低・停電補償対象の負荷は補償時間によって最重要負荷と需要負荷に分けて接続されている。

図2.1.2.2に装置の構成と系統健全時の動作を示す。電力系統からサイリスタスイッチを介して最重要負荷や重要負荷に電力を供給する。

充電には夜間電力を有効活用する夜間充電と、多機能電力貯蔵装置で設定した契約電力に対して負荷電力に余裕がある場合に、その余裕分だけを充電する昼間充電がある。放電には定電力を出力する平準化と、負荷電力が契約電力から超過した分を放電するピークカットのモードがある。

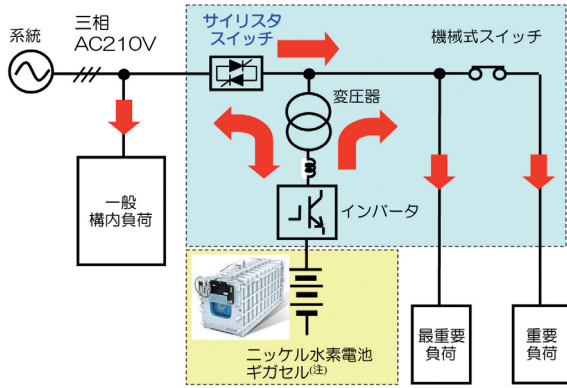
装置の定格出力は充放電ともに50 kWで、定格出力で概ね1.5時間のピークシフトが可能である。電池運用範囲は、SOC（State of Charge：充電状態）により任意に設定できる。

図2.1.2.3に系統瞬低停電時の動作を示す。電力系統で電圧低下が発生した場合、サイリスタスイッチがOFFとなり、電力変換装置を電力系統から切り離して蓄電池から最重要負荷と重要負荷に交流電力供給を行う。瞬低補償後も1秒以上電圧低下が継続していると停電補償に移行する。停電補償時は機械式スイッチがOFFとなり、最重要負荷にのみに交流電力を供給する。瞬低補償は最大100 kVAで1秒間、停電補償は最大62.5 kVAで10分間の補償が可能である。



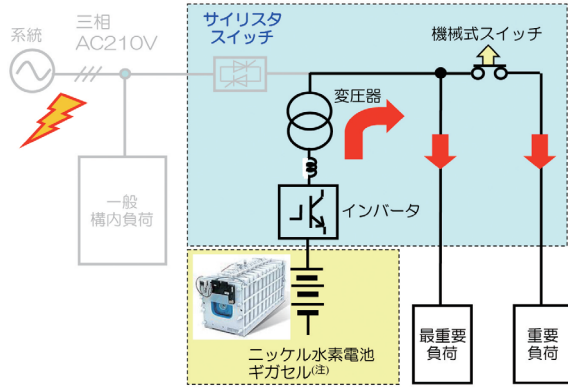
(W : 1300 × H : 1800 × D : 1600 mm)

図2.1.2.1 電力変換装置



(注)「ギガセル」は、川崎重工業株式会社登録商標です。

図 2.1.2.2 装置構成と系統健全時の動作



(注)「ギガセル」は、川崎重工業株式会社登録商標です。

図 2.1.2.3 系統瞬低停電時の動作

3. 多機能電力貯蔵装置の構内機能検証

当社工場に設置されている太陽光発電システムと多機能電力貯蔵装置を組み合わせ、当社工場あるいは事務棟を対象とした負荷平準化の構内検証試験を2010年より開始した。次に、そのピークシフト運用について紹介する。

3.1 太陽光発電システム

太陽光発電システムを図3.1.1に示す。太陽電池はシリコン多結晶100kWとシリコン単結晶10kWで構成され、それぞれ100kWと10kWのパワーコンディショナに接続されて構内負荷に電力を供給している。

なお、太陽光発電電力や日射強度などのデータは、計測・表示システムに取り込まれ、構内LANに接続されている。

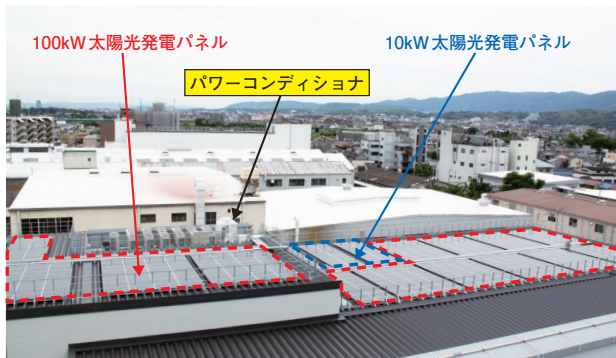


図 3.1.1 太陽光発電システム

3.2 工場負荷

ピークシフト対象の負荷電力として、以下の3つから選択することが可能である。

- (1) 多機能電力貯蔵装置に直接接続された最重要負荷・重要負荷
- (2) 当社工場のオンライン負荷データ
- (3) 任意のオフライン負荷データ

直接接続された負荷での検証のほか、構内LANを利用して負荷データを多機能電力貯蔵装置に送信するこ

とで、当社工場の多様な構内負荷に対するピークシフト運用を検証できる。また、本装置の設置を希望する工場のデータ（オフライン負荷データ）を用い、装置の導入効果を検証することも可能である。

3.3 仮想デマンド制御

当社工場のオンライン負荷データをピークカット対象にした、仮想デマンド制御を検証した。

オンライン負荷を動力1～3、電灯1～3の6つに分類して多機能電力貯蔵装置に送信し、装置がピークカットを実施しても仮想受電点の電力が契約電力を超過する場合は、仮想デマンド制御が起動する。装置内のデータ上で各負荷のデマンド起動/復帰の演算を行うことで、仮想での負荷制御を実施している。

3.4 構内検証試験構成

図3.4.1に構内機能検証試験の構成を示す。負荷電力として当社工場のオンライン負荷データ（動力1～3、電灯1～3）を用い、構内LANを介して太陽光発電電力データと負荷電力データを多機能電力貯蔵装置に取り込む構内ネットワークを構築している。

ここでは、太陽光発電電力は優先的に負荷に供給されるものとしている。太陽光発電電力と負荷電力を合成した電力が多機能電力貯蔵装置に設定した契約電力を超過すると、多機能電力貯蔵装置が超過分を放電す

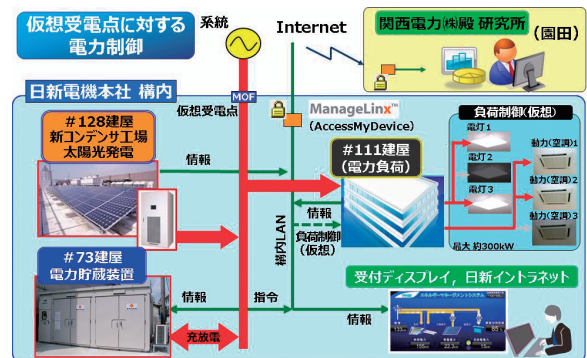


図 3.4.1 構内検証試験の構成

ることで、仮想受電点の電力を契約電力以下に抑制するピークカットを行なっている。

また、多機能電力貯蔵装置の充放電電力も構内LANを介して計測・表示システムに送られており、当社受付のディスプレイや構内LANに接続されたパソコンから各計測値を確認できる。さらに、関西電力株式会社殿の研究所（尼崎市園田）に設置した端末からも状態を監視することが可能である。

3. 5 構内検証試験結果

図3.5.1に2012年6月13日の試験結果を示す。電池寿命を考慮し、SOC 20%から90%の範囲で運用している。また、充放電動作はタイムスケジュールにより管理している。

夜間電力の有効活用のため、午前6時からSOC 90%まで夜間充電を行っている。午前8時以降は工場の稼

動に伴い負荷（工場負荷電力）が増加して太陽光発電電力と負荷電力の合計が契約電力60kWを超過した際、超過分を電池から放電することで、ピークカットを実施している。

契約電力に対して負荷電力に余裕のある場合は、契約電力を超えない範囲で昼間充電することによって、午後のピークカットのための電力を充電できる。昼間充電を行うことでピークカットできる電力量が増加するため、装置容量の低減につながる。

多機能電力貯蔵装置のピークカットと仮想デマンド制御を組み合わせることで、1日を通して契約電力を超過せずにピークシフト運用できることが確認できた。

なお、2012年度の夏期節電要請期間には、連日構内電力のピークカット運用を実施し、効果を確認した。

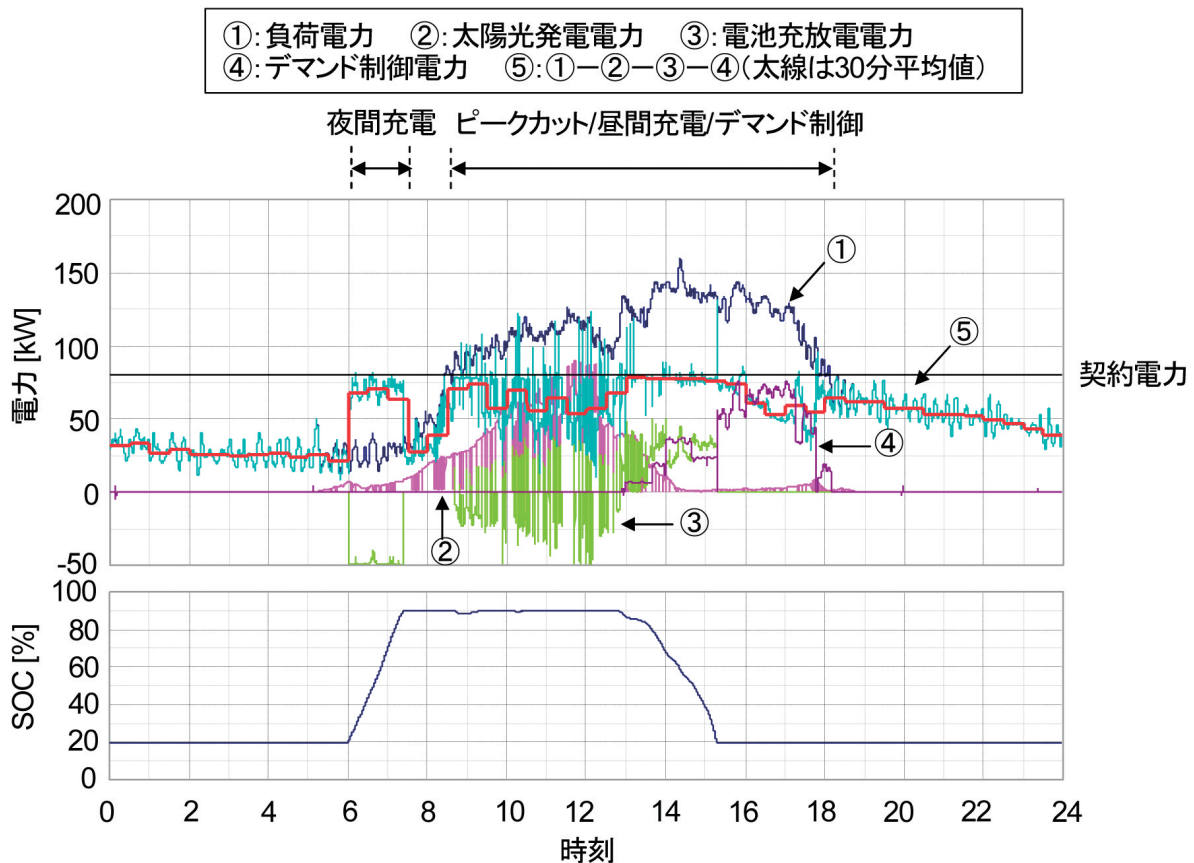


図3.5.1 構内試験結果（2012年6月13日）

3. 6 総合効率試験

多機能電力貯蔵装置のシステム効率の検証を目的とした総合効率試験について紹介する。

3. 6. 1 総合効率試験パターン

試験パターンを図3.6.1に示す。SOC 20%で試験を開始し、6時から50kWで充電してSOC 90%になったところで待機状態に移行する。13時から50kWで放電し、SOC 20%となったところで待機となる。充電開始から放電終了の期間における充電電力量と放電電力量から、システムの総合効率を算出する。なお、総合効率試験は季節ごとに実施している。

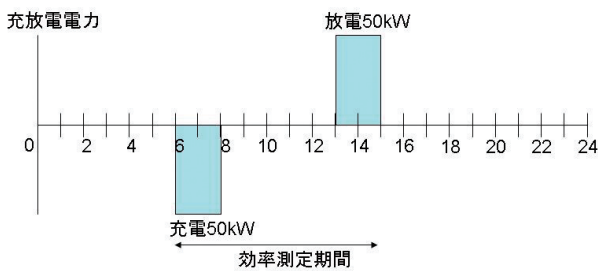


図 3. 6. 1 総合効率試験パターン

3. 6. 2 総合効率結果

図3.6.2に、多機能電力貯蔵装置の総合効率の推移を示す。

夏期は電池を冷却するエアコンやファンといった補機電力が大きくなるため、効率が低くなる傾向があるが、年間を通じて70%以上の効率を実現している。

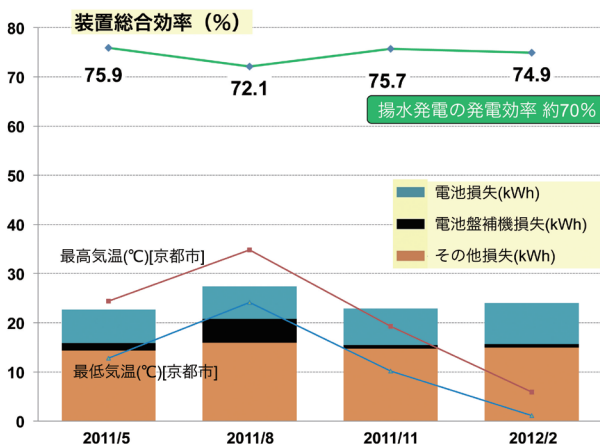


図 3. 6. 2 総合効率試験結果

4. 需給制御システムの開発

太陽光発電などの再生可能エネルギーが大量に普及した場合、既存の発電機の調整力だけではそれらの出力変動に対応できなくなる可能性があることから、新たな仕組みによる調整力確保の取り組みとして、蓄電池の充放電を利用した電力需給制御システムの開発について紹介する。

4. 1 太陽光発電大量導入による需給制御の課題

電力会社では時々刻々と変化する電力系統の負荷に対して、その変動周期に応じて火力機等を制御することで需要と供給のバランスを保ち（需給制御）、電気品質（周波数）を維持している。

通常、20秒程度以下の短周期負荷変動は系統の負荷特性にて吸収されるため、それ以上の周期の変動に対して火力や水力（揚水）発電の制御が行われる。20秒以上～数分程度の負荷変動はGF（ガバナフリー：Governor Free）と呼ばれる比較的応答性の良い制御系で対応し、GF領域～十数分程度の周期はLFC（負荷周波数制御：Load Frequency Control）と呼ばれる制御系によって対応されている。⁽³⁾

電力系統の運用ではこれらの需給制御に必要な発電機の調整量を適切に確保した運用が行われることで信頼性の高い電力が供給されている。

一方、太陽光発電は天候によって出力が左右され、短時間で大幅に出力が変動する事が知られている。太陽光発電の導入量が比較的少ない現状では、既存の火力発電機や水力発電機の調整力で対応できているが、今後、大量に普及した場合にはそれらの出力変動に対応できなくなる可能性がある。このことから、従来の調整電源に加えて新たな仕組みによる調整力の確保が課題となる。図4.1に太陽光発電の出力変動と周波数の相関を示す。

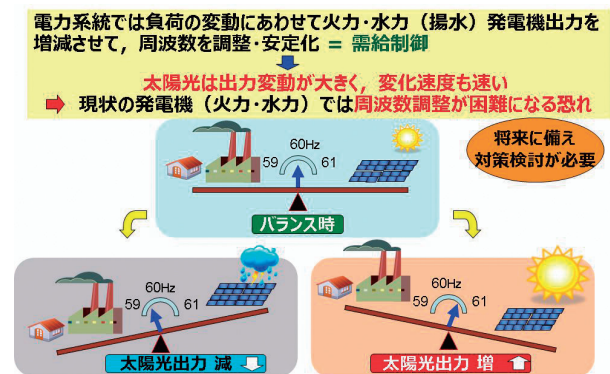


図 4. 1 需給制御と太陽光発電

4. 2 蓄電池を用いた需給制御システムの開発

これら課題に対し、電力系統への太陽光発電大量連系にとまなう周波数変動対策手法の確立を目的に、蓄

電池を用いた需給制御装置の適性と電池寿命の評価を行っている。関西電力株式会社殿、川崎重工業株式会社殿との共同開発で、堺太陽光発電所が連系する関西電力石津川変電所構内に蓄電池を用いた電力需給制御装置を設置し、その充放電により電力系統の品質維持を図るシステムの実証試験を実施している。

次にそのシステムの概要と運用状況について紹介する。

4. 2. 1 需給制御装置

交直変換装置（当社製）の出力は±250 kW、電池には多機能電力貯蔵装置と同様に川崎重工業株式会社製大型ニッケル水素電池 ギガセルを用いている。電池容量は102 kWhである。

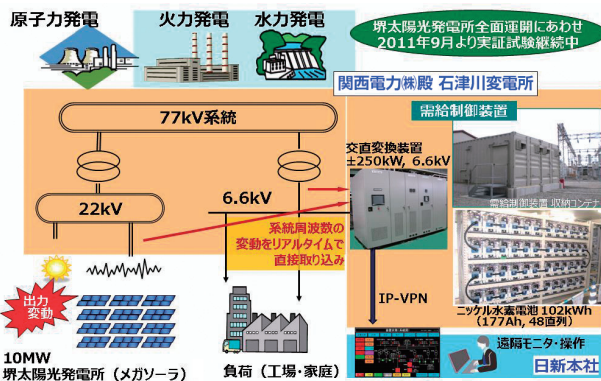


図 4. 2. 1. 1 実証試験設備の概要



図 4. 2. 1. 2 交直変換装置（外観）

実証試験設備の構成概要を図 4. 2. 1. 1 に、交直変換装置の外観を図 4. 2. 1. 2 に示す。

実証試験では、現需給制御システムの制御周期（秒オーダー）に対応させるため、制御装置は需給制御演算に必要な周波数や電力などの各種データを 1 秒周期で取り込み、演算する機能を有している。

また、一連の蓄電池制御状況を確認できるように、系統状態（周波数や潮流等の入力値）や蓄電池状態（充放電量、残量、温度）等をリアルタイムに可視化し、システム全体としての動作を表示するモニタリングシステムも構築している。このシステムには、パラメータ設定変更のほか、起動・停止指令、模擬データの外部

部入力、データ保存等ができる機能も装備している。システム画面の一例を図 4. 2. 1. 3 に示す。

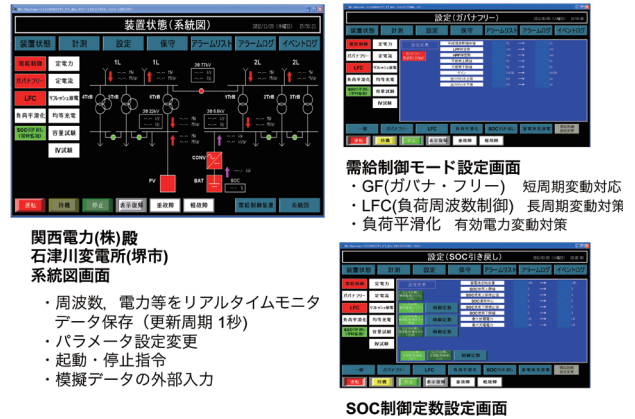


図 4. 2. 1. 3 遠隔監視制御

4. 2. 2 需給制御システムの機能

今回のシステムは、GF制御、LFC制御と負荷平滑化の三種類の制御機能を有しており、蓄電池のSOCを適切に管理しながら、高速かつ高出力の電池充放電特性を生かした系統周波数制御方式の開発を行うことを目的としている。図 4. 2. 2. 1 に需給制御ロジックの概要を示す。

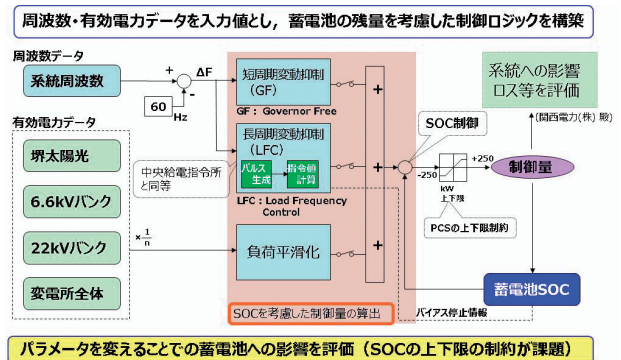


図 4. 2. 2. 1 制御制御ロジック

GF制御では、火力発電機のGF制御と同様に基準周波数(60 Hz)との偏差に応じて充放電制御を行う。また、LFC制御についても火力発電機のLFC制御と同様に出力の上げ/下げ指令によって充放電制御を行う。

なお、LFC制御では充電または放電の一方向の指令値が一定時間継続することもあるが、その場合でも蓄電池のSOCを上下限内の適正範囲内に保つ必要がある。このためLFC指令値が一定の指令判定値を超えた時点で、火力発電機と協調（タイミング、応答速度）を図りながら、その出力の一部を持ち替える制御が組み込まれている。

負荷平滑化機能は太陽光発電電力の変動や負荷変動の短周期成分に対して、それを相殺する方向に蓄電池の充放電を制御する。

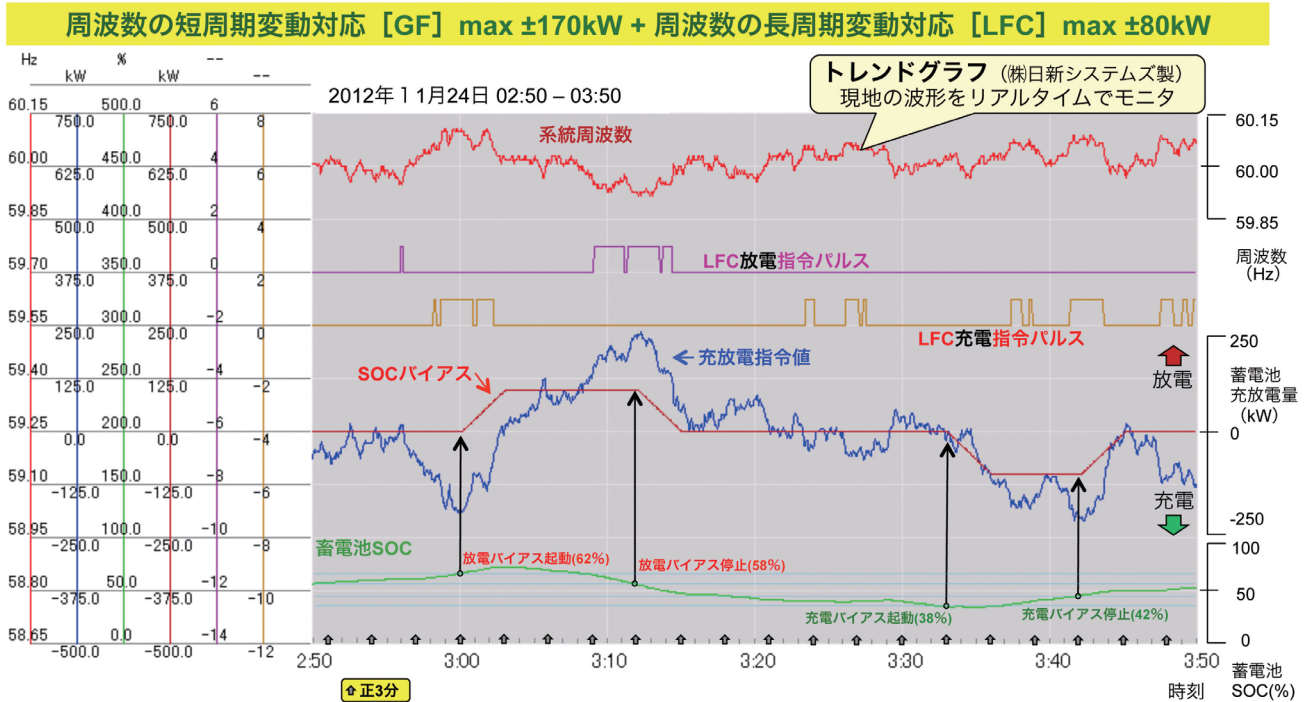


図 4.3 需給制御 実証試験結果 (2012年11月24日)

4. 3 実証試験結果

本研究は2011年9月に実証試験を開始した。以下に試験での制御ロジック検証結果の一例を紹介する。

図 4.3 はGF機能の上限を ±170 kW出力、LFC機能の上限を ±80 kW出力 (合計 ±250 kW) とし、二種類の制御を併用したケースで2012年11月24日 02:50 - 03:50 間の1時間の試験結果である。

短周期の周波数変動負荷変動についてはGF制御機能により変動を打ち消す方向の充放電が行われ、GF制御よりも長い周期の変動については、LFC制御機能による放電/充電指令パルスに応じた蓄電池充放電が行われていることが確認出来る。

さらに、SOC引き戻しのための放電/充電それぞれの補正 (バイアス) 機能により、SOC値が適切に管理されながら、GFとLFC双方の機能が実現されている様子が分かる。

4. 4 今後の検証

現在は実装した制御ロジックの動作について制御パラメータを変更、試験結果を確認しながら基礎データの収集を続けている。あわせて定期的に電池容量や内部抵抗を測定することにより電池性能の変化を確認し、ニッケル水素電池を電力需給制御に使用した場合の適性や寿命の評価を進めている。

本研究は2013年度末までの実施予定となっている。

5. まとめ

初めに、大型ニッケル水素電池を用いた多機能電力貯蔵装置の実運用を想定した当社本社構内における構内検証試験について紹介した。本装置のピークシフト機能と仮想デマンド制御を組み合わせることで、1日を通して契約電力を超過せずにピークシフト運用できることが確認出来た。また、システム効率の検証では年間を通じて70%以上の効率を実現していることが確認出来た。

次に、同様にニッケル水素電池を使用し、電力系統において既存の発電機と協調を図りながら電力需給制御を実現する新たな需給制御システムの概要と試作機による実証試験の結果を紹介した。実証試験では、SOC引き戻しのための充放電補正 (バイアス) 機能により電池のSOCを維持しながらGF制御機能、LFC制御機能に応じた充放電が適切に行われていることを確認できた。

6. 謝辞

本研究開発にあたってご支援、ご指導を頂きました関西電力株式会社殿ならびに川崎重工業株式会社殿関係各位に心より感謝申し上げます。

また、日新本社構内および石津川変電所における電池電力貯蔵装置の設置・検証試験においてご協力頂いた電力機器、新エネルギー・環境、お客様サービスの各事業本部ならびに株式会社日新システムズ関係各位にこの場をお借りしまして御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 池田敬一：「多機能電力貯蔵装置の開発」電気評論、2012年6月号No.575、pp.67-71(2012)
- (2) 栗尾信広、秦野秀稔：「ニッケル水素電池を用いた多機能電力貯蔵装置」エレクトロヒート、No.186(2012)
- (3) 谷本 宏：「関西電力における蓄電池を用いた電力需給制御システムの研究」、スマートグリッド(2012)

(注) 「ギガセル」は川崎重工業株式会社殿の登録商標です。

執筆紹介



栗尾 信広 Nobuhiro Kurio
研究開発本部 電力技術開発研究所
電力機器・システム研究部
パワエレグループ長



秦野 秀稔 Hidetoshi Hatano
研究開発本部 電力技術開発研究所
電力機器・システム研究部
パワエレグループ



坪田 慎二 Shinji Tsubota
新エネルギー・環境事業本部
新エネルギー事業部
パワーコンディショナ部 設計グループ 主任



綾部 宏規 Kouki Ayabe
新エネルギー・環境事業本部
新エネルギー事業部
パワーコンディショナ部 設計グループ