

リチウム二次電池を用いた系統連系円滑化蓄電システムの開発

Development of Power Grid Stabilization System with Lithium Ion Secondary Battery



玄後 義 Tadashi Gengo	小林 由則 Yoshinori Kobayashi
橋本 勉 Tsutomu Hashimoto	南 正明 Masaaki Minami
重水 哲郎 Tetsuro Shigemizu	小林 克明 Katsuaki Kobayashi

当社は九州電力(株)と共同で大型リチウム二次電池を開発中である。従来の大型リチウム二次電池は大容量で長寿命という特長があったが、大電流での充放電では内部抵抗により電池温度が上昇するため、自然エネルギー(風力発電や太陽光発電)の系統連系円滑化蓄電システムに用いる場合は、充放電レートが制約されるという問題があった。そこで、電池材料及び設計を適正化して、電池の内部抵抗を下げることで、2C の充放電が可能な電池となった。さらにこれらの電池を直並列に接続し、100kW の定格運転が可能な 100kWh 級系統連系円滑化蓄電ユニットを開発した。

1. はじめに

現在、世界中で風力発電や太陽光発電、バイオマス燃料発電などの再生可能エネルギーの導入拡大が活発化している。米国ではグリーンニューディール政策により、総額 400 億ドル以上の投資を行うと発表しており、クリーンで再生可能なエネルギーへの開発に力を入れている。日本でも家庭用の太陽光発電の電力買取価格を2倍に上げるなどの方針が発表され、発電電力中に占める自然エネルギーの割合が徐々に高まっていくと予想される。

再生可能エネルギーのうち、風力発電や太陽光発電などの自然エネルギーは天候による出力変動が起こりやすい。最新の大容量風車では種々の技術導入により出力変動を減少させているが、電力の受け入れ能力が弱い系統に対して、自然エネルギー発電の容量が大きい場合は、出力変動を抑制するシステムが必要となり、大型二次電池で自然エネルギーを蓄えて平滑化する技術が有望視されている。国内・海外でも各種電池を用いた自然エネルギーの系統連系円滑化システムを検討しているが、電池性能やコストなどについての課題が残っている。

ここでは、九州電力(株)と共同で実施中の(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)事業である系統連系円滑化蓄電システム技術開発研究で開発したリチウム二次電池と系統連系円滑化蓄電ユニットについて紹介する。

2. リチウム二次電池の開発

2.1 当社のリチウム二次電池の特長

一般的にリチウム二次電池は以下の特長がある。

- ・ 電圧が高い(公称電圧は 3.6~3.8V)
- ・ エネルギー密度が高い
- ・ メモリー効果がない
- ・ 使用可能な温度範囲が広い
- ・ メンテナンスフリー
- ・ 高効率で急速充放電可能
- ・ 保存特性が良い

高電圧で大容量の系統連系円滑化蓄電装置を構築するに当たり、上記のような特長を有するリチウム二次電池は有望と考えられている。反面、鉛電池などに比べると材料コストが高い点や安全性を保つための制御回路や構造に工夫が必要という課題もある。当社では、これらの課題を克服するため、大型で安全性の高いリチウム二次電池の開発を行っている⁽¹⁾。

図1に電池反応原理及び電池構造図を示す。一般にノートパソコンなどで使用されるリチウム二次電池は電極を巻き取った円筒スパイラル型が主流であるが、当社の電池は、集電材である金属箔の両面に電極活物質を成膜した後、角型に裁断し、カソードとアノードの電極板を交互に積層する構造である。電極板は、充放電で発生した熱は集電箔を伝わりやすく、電極面に平行方向の熱伝導速度は垂直方向の数十倍になるため、角型積層電池は放熱しやすいという長所がある。また、正極活物質の主成分には、低コストで安全性が高いマンガン酸リチウムを使用している。

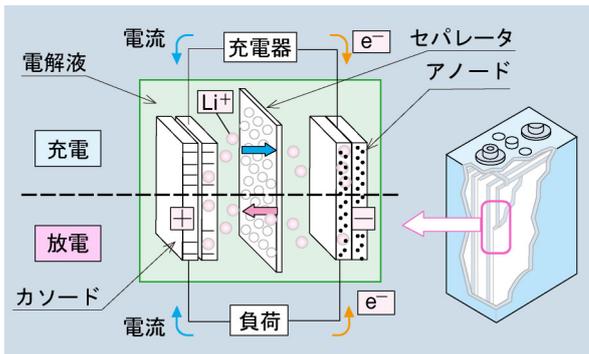


図1 リチウム二次電池原理と当社の電池の構造

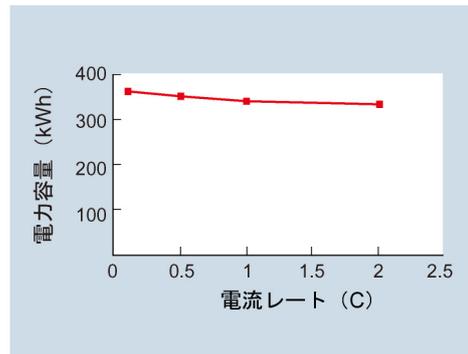


図2 各電流レートにおける容量変化

2.2 リチウム二次電池の改良

従来の当社電池は容量は大きかったが、内部抵抗が高く、1C（1時間で定格容量を充電あるいは放電できる電流値）のような大電流で充放電を行うと、温度が上昇するという問題があった。特に、充電率(以下 SOC)が低い状態まで放電した際に温度が上昇しやすいという傾向があった。

これは、正極活物質であるマンガン酸リチウムの電極反応に伴う抵抗が低電圧領域で高くなるのが原因と考えられる。系統連系円滑化蓄電システムに関しては、短時間で大きく変化する風力発電の電力に追従するため、大電流の充放電が可能であることが望まれる。電池の目標とする最大出力は、システム構成にも大きく左右されるが、本研究では1時間で全容量が入出力できる系統連系円滑化蓄電装置を構築するため、1C以上の大電流で充放電が可能な電池の開発を目指した。

表1に当社の従来及び平成20年度開発電池の性能を比較する。平成20年度開発電池は、電極設計及び電極活物質の組成を適正化することで、内部抵抗を低減した。この結果、電池容量は1個あたり344Whとなり容量が下がったが、SOC50%における内部抵抗は約1/2となり、出力特性は大幅に改善された。

図2に各電流レートにおける電力容量変化の図を示す。運用電圧範囲の全領域で内部抵抗が下がったため、大電流による充放電でも容量が取り出せるようになり、1Cで344Wh、2Cでも338Whの容量が得られた。

表1 リチウム二次電池(単セル)の性能

性能	従来型電池	H20年度開発電池
電池寸法 (mm)	W 116 X D 66.5 X H 175	
電池重量 (kg)	2.8	2.8
運用電圧範囲 (V)	3.1~4.15	2.7~4.2
平均電圧 (V)	3.8	3.7
電池容量 (Ah)	105 (C/3)	93 (1C)
電力容量 (Wh)	399 (C/3)	344 (1C)
内部抵抗 (mΩ)	1.2 (SOC50%)	0.59(SOC50%)

3. 系統連系円滑化蓄電装置の開発

3.1 系統連系円滑化蓄電装置の仕様検討

日本国内では太陽光発電や風力発電など電圧・周波数等変動の大きい分散電源を系統に連系させるものは、経済産業省が定める技術要件ガイドライン⁽²⁾を遵守する必要がある。そのガイドラインを遵守するためには、系統連系を円滑化させる機能の付加・装置の設置などが必要であり、その中で、蓄電システムによる系統円滑化がもっとも期待できる手段と考える。ただし、自然エネルギーからの発電が途絶えた時に系統連系円滑化蓄電システムが定格出力を補う必要があると想定すると、系統連系円滑化蓄電システムはwindファームやメガソーラと同程度の出力が必要となる。本研究では、系統連系円滑化蓄電システム中の基本単位の装置として、100kWh 級の系統連系円滑化蓄電ユニットの仕様を検討した。

図3に 100kWh 級ユニット電池の制御ブロック図を示し、表2に基本仕様を示す。前項の単電池を用いると、マージン 10%を含め 110kWh 以上とするために 336 個のセルが必要となる。セルを1直列で 100kWh 級ユニット構成すると、セルの上限電圧×セル数で求める 1 列の最大電圧が、充放電装置の最大入力電圧、セル監視回路(以降、CMU[Cell Monitoring Unit]と呼称)と電池監視回路(以降、BMU[Battery Management Unit]と呼称)の絶縁耐圧を超えてしまうため、1 直列 112 セル(モジュール電池 28 直列で電池ボックスに収納している)とし、これを3並列する構成とした。運用指令に対する入出力の応答速度は、データ通信速度やインバータの反応速度を考慮して 50ms とした。なお、ユニット充放電装置は今回開発した 100kWh 級ユニット電池から、自然エネルギーの円滑化のための複雑な波形の電力を入出力するための電源及び負荷である。

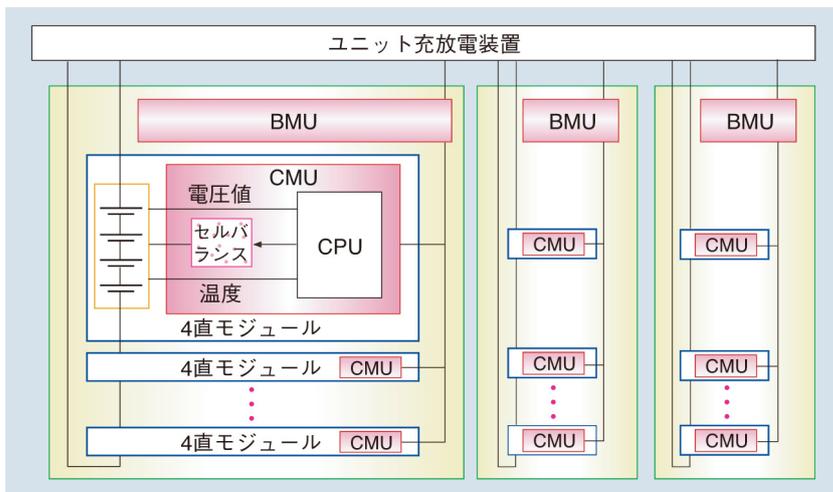


図3 100kWh級蓄電ユニットのブロック図

表2 100kWh 級ユニットの基本仕様

電池ボックス (ボックス 1 台当たり)	外形 (mm)		W1500×D800×H2000
	セル数		
盤仕様	定格電流 (A)	95 (1C)	
	許容電流 (A)	190 (2C)	
	定格容量 (kWh)	39	
ユニット充放電装置	交流仕様	定格電圧 (V)	210
		周波数 (Hz)	60
		相数	三相3線
		定格容量 (kVA)	150
		瞬時最大容量 (kVA)	225 (10 秒)
	直流部仕様	電池接続個数	336 セル (112 セル直列×3 並列)
		定格電力 (kW)	50kW 双方向チョップパ×3

3.2 100kWh 級系統連系円滑化蓄電装置の開発

リチウム二次電池では、安全性や寿命を維持するために、監視回路を用いた制御を行う必要がある。特に過充電・過放電状態にならないように、各セルの電圧を監視し、特定の電池の電圧が他の電池電圧からずれないような電圧バランス回路を搭載することが多い。本研究では、電圧バランス方式として抵抗バイパス、抵抗バイパス・充電電源併用、充電電源の3方式を検討した。その結果、バランス性能は計算上、3方式ともほぼ同等性能であったため、CMU のコスト、サイズが最小となり、移動体用と共通仕様となる抵抗バイパスを採用した。

大容量の蓄電システムの場合、複数のセルを直列及び並列に接続する必要がある。特に、内部抵抗が小さい電池を多数直並列化する電池群の中で万セルが故障して電圧が低下した場合、並列接続箇所を通して他の電池から大電流が流れ込む恐れがある。このような現象を回避するために直列電池を並列に接続する点で電流-電圧の制御を行っている。

図4に本研究で検討した多並列構成の比較結果を示す。ユニット直並列構成は将来の MW 級システムを見据えて3方式(多並列直列電池, 多並列チョッパ, 多並列インバータ)を検討した結果、各々の列電流を制御でき、系統連系保護装置数などの回路部品も削減できる多並列チョッパ方式が良いと考えた。そこで、製作するユニット充放電装置は多並列チョッパ方式を採用した。

	100 kWh級モジュール直並列構成	総合評価
① 多並列 直列電池案	<p>直列電池</p>	× 電池容量, 抵抗のバラツキが無視できない故, 単純な並列は不可
② 多並列 チョッパ案	<p>直列電池</p> <p>多並列チョッパ</p>	○ ②③共に, 電力変換機製作可能
③ 多並列 インバータ案	<p>直列電池</p> <p>系統連系チョッパ・インバータ</p>	コストを考慮すると②が第1候補

図4 各種直並列構成と評価結果

図5に試験装置全体のシステム構成図を示し、図6に 100kWh 級ユニットの外観を示す。直列電池ボックス1個にセルは112個入っており、この直列電池盤3個で1ユニットを構成している。配置スペースを小さくするため、電池ボックス内には、複数段の棚に電池を設置しており、電気室から発生する熱を考慮して、最上段が電気室となっている。

図7に充放電試験結果を示す. 電池に対して 1C(95A)にて充放電を実施した結果, 充電エネルギー容量 119.6kWh に対して放電エネルギー容量は 109.4kWh であり, 設計どおり 100kWh 級の容量が得られた. 今後, 風車からの複雑な電力波形を模擬したサイクル試験を実施することで, 寿命評価を実施する予定である.

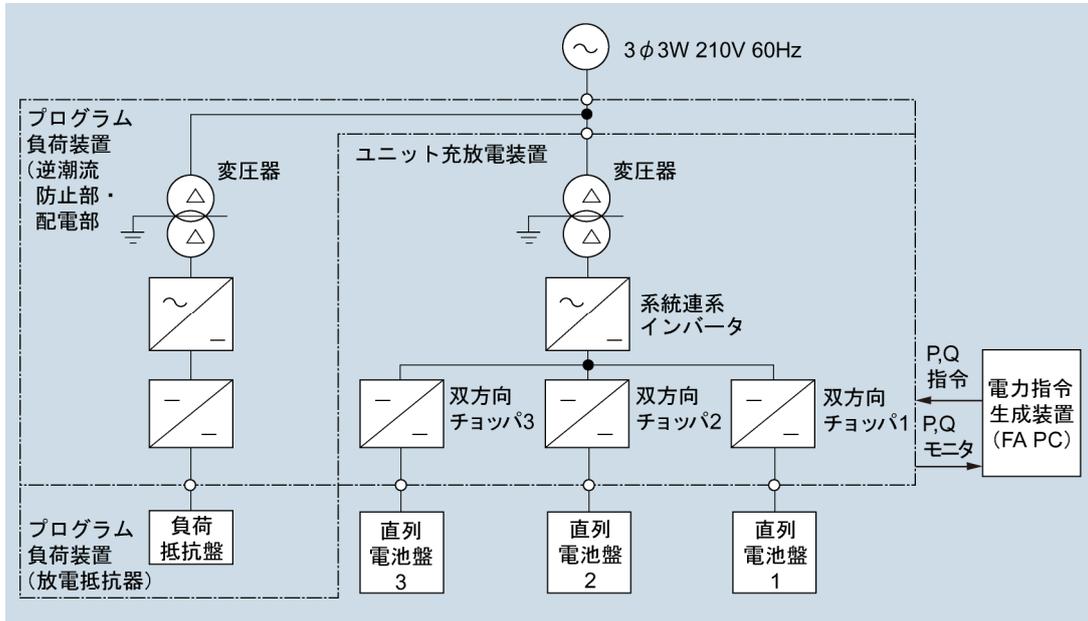


図5 100kWh 級ユニット全体の構成図



図6 100kWh 級系統連系円滑化蓄電ユニット

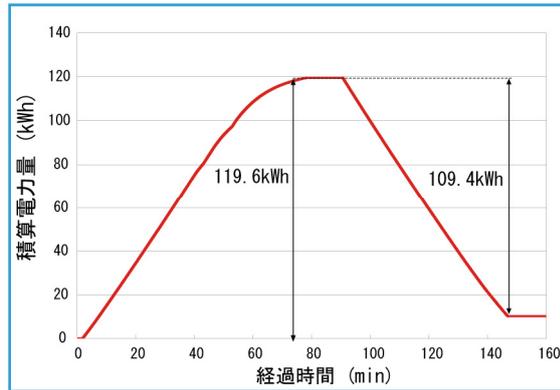


図7 100kWh 級ユニット電池の運転評価結果

4. まとめ

今後, 自然エネルギーによる発電システムが大量に導入されると, 系統連系円滑化蓄電システムの必要性が高まると予想されるが, このシステムには高性能で低コストな大型二次電池が必要である. リチウム二次電池はエネルギー密度や出力密度, 作動温度範囲, メンテナンス性など, 他の電池に比べて優れた点が多く, 今後の大型化と量産化によるコスト低減により, 系統連系円滑化蓄電システム用の電池として期待される.

当社では風力発電, 太陽光発電の両方を製品化しており, 高性能二次電池を用いた系統連系円滑化蓄電システムの開発も実施している.

本研究では将来のウィンドファームやメガソーラに対応する系統連系円滑化蓄電システムに適用するため, 350Wh 級の大型単セルとその電池を用いた 100kWh 級蓄電ユニットを開発し, 初期性能を確認することができた. 今後, 風車や太陽光発電の模擬パターンでサイクル試験を行うことで寿命を解析するとともに, 安全性や信頼性を評価して, 実用化を目指す. また, 電池や電力変換器の更なる改良及び低コスト化を進めることで, 大型システムの早期商品化を図りたいと考える.

参考文献

- (1) 橋本勉ほか, リチウム二次電池の開発と自然エネルギーの系統連系円滑化蓄電システムへの適用, 三菱重工技報 Vol. 44 No. 4 (2007)
- (2) 経済産業省 資源エネルギー庁 電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン 2004年10月

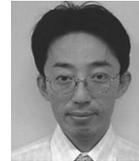
執筆者紹介



玄後義
原動機事業本部
新エネルギー事業
推進部
部長



小林由則
原動機事業本部
新エネルギー事業
推進部
技術グループ
グループ長



橋本勉
原動機事業本部
新エネルギー事業
推進部
技術グループ
主席



南正明
長崎造船所
長崎プラント技術部
計装電気課



重水哲郎
技術本部
長崎研究所
制御システム研究室
主席



小林克明
技術本部
長崎研究所
化学研究室