

# 長寿命制御弁式鉛蓄電池の開発と 風力併設蓄電システムへの適用

## Development of Long-Life VRLA Battery and Application to Battery Energy Storage System for Wind Power Generator

手塚 渉<sup>\*1</sup>      吉田 英明<sup>\*1</sup>      三浦 優<sup>\*1</sup>      菊地 大介<sup>\*2</sup>  
Wataru Tezuka      Hideaki Yoshida      Masaru Miura      Daisuke Kikuchi

野口 博正<sup>\*1</sup>      萬ヶ原 徹<sup>\*3</sup>      古川 淳<sup>\*1</sup>  
Hiromasa Noguchi      Tohru Mangahara      Jun Furukawa

### Abstract

The developed VRLA into which various improvements are introduced achieved cycle life of 7,000 cycles or more under the deep discharge cycle test condition of charge / discharge and 70% DOD. The Battery energy storage system for wind power generator was constructed by the developed batteries of 160 units and the high efficiency bi-directional inverter. The output fluctuation of the wind power generator was controlled by parallel operation of this system.

## 1. はじめに

近年、CO<sub>2</sub> 排出による地球温暖化や原油価格の高騰が深刻化するなかで、中国、東南アジアなどの新興国の経済発展、人口増加にともなうエネルギー需要の増加が予想されている。これは世界規模での資源の節約、省エネを必要とするとともにエネルギーの安定供給が大きな課題となっている。このような背景から、化石燃料に依存しない自然エネルギーなどの代替エネルギー利用への期待が高まっている。自然エネルギーは太陽光や風力などを利用するために温室効果ガスである CO<sub>2</sub> の排出が少なくクリーンであることから、国の援助によって導入が促進されている。その中でも、風力発電は初期投資が比較的安価、1 日中発電が可能、メンテナンスが比較的容易などの理由から、欧米を中心に急速に導入が進み、全世界で 9,388 万 kW の発電量に至っている。一方、発電量は風速に大きく依存するために、商用系統での周波数変動の問題が懸念されている。発電量を平

滑化し、影響を緩和させる目的で、蓄電システムの併設が有効である。蓄電池には制御弁式鉛蓄電池、ニッケル水素電池（以下、Ni-MH 電池）、NAS 電池、レドックスフロー電池の採用が検討されている。それぞれの蓄電池特性の比較を表 1 に示す。

表 1 蓄電池特性の比較<sup>1)</sup>  
Table 1 Comparison of Battery Performance

	価格	寿命	保守性	安全性
制御弁式鉛蓄電池	○	△	○	○
Ni-MH 電池	△	○	○	○
NAS 電池	△	○	△	△
レドックスフロー電池	△	○	△	○

制御弁式鉛蓄電池は価格、安全性において有利であるが、他の蓄電池と比べて寿命に課題がある。風力発電システムでは風車寿命と同等の 17 年の蓄電池寿命が求められているために、制御弁式鉛蓄電池の導入のハードルを高くしている。この問題を解決するために、正極、負極、セパレータ、充電方法及び設置方法を最適化した 12V - 50Ah の制御弁式鉛蓄電池は DOD (Depth of Discharge : 放電深度) 70 % のサイクル寿命試験において 4,000 サイクルの長寿命を有することを、前回までに報告している<sup>2),3)</sup>。本報では開発品を用いたサイクル寿命試験が 7,000

\*1 技術開発本部

\*2 今市生産技術部

\*3 産業電池技術部

サイクルまで進展したので、その結果を報告する。また、この電池を使用して日立産機システム殿及び日立製作所殿と共同で風力発電における出力変動の平滑化を目的として、風力併設蓄電システムを運用しているため、その状況についても併せて報告する。

## 2. 制御弁式鉛蓄電池の劣化要因と改善策<sup>3)</sup>

制御弁式鉛蓄電池の構成要素の劣化要因と改善策を表2に示す。

表2 制御弁式鉛蓄電池の劣化要因と改善策  
Table 2 VRLA Failure Modes and Measures for Improvement

要素	劣化要因	改善策
正極	活物質の軟化	活物質粒子間の結合力向上
	格子腐食	高耐食性合金
負極	サルフェーション	充電受入性の向上
		PbSO <sub>4</sub> 粗大化抑制
セパレータ	へたり	追従性向上
充電方法	減液	多段充電
設置方法	成層化	水平置き

開発した制御弁式鉛蓄電池は長寿命化を図るために、以下の改善策を採用している。

- 1) 正極 正極活物質の軟化対策として添加剤 A を採用し、更に活物質を高密度化した。また、格子の腐食と伸びによる格子の導電性低下と活物質との密着性低下を抑制するために、高耐食性合金を採用した。
- 2) 負極 充電不足によって生じるサルフェーションの改善策として、導電カーボンの種類と添加量を最適化し、更に PbSO<sub>4</sub> の結晶成長を抑制するために硫酸バリウム量を最適化した。また、充放電中における活物質の収縮を抑制する目的で、防縮剤であるリグニンの種類と添加量も最適化した。
- 3) セパレータ 充放電による活物質の収縮と膨張にセパレータが追従できなくなるへたりの問題を改善するために、反復復元性のよいセパレータを採用した。
- 4) 充電方法と設置方法 鉛蓄電池への過充電による硫酸の減液と濃縮を防止し充電効率を向上させるために、電池電圧を制御する多段充電法を採用した。また、水平置きにすることで、セパレータ中の硫酸に濃度分布が生じる成層化の問題を防止した。

## 3. サイクル寿命試験結果

### 3.1 サイクル寿命試験の進展

開発した制御弁式鉛蓄電池を用いて、サイクル寿命試験を継続している。サイクル寿命試験の条件は、室温において放電電流 0.25CA で SOC (State of Charge : 充電状態) 100% から DOD70% まで放電し、充電は放電量に対して 104% の 3 段階電流充電を行った。また、100 サイクル毎に 10 時間率容量を測定した。試験条件を表3に、サイクル寿命試験結果として、10 時間率容量の対定格容量比を図1にそれぞれ示す。

表3 サイクル試験条件  
Table 3 Cycle Life Test Condition

電池電圧	[V]	12
定格容量*	[Ah]	50
放電率	[C <sub>10</sub> ]	0.25
DOD	[%]	70
充電方法	[-]	3 段階電流
充電量	[%]	104
温度	[°C]	25

\*10 時間率 at 25°C

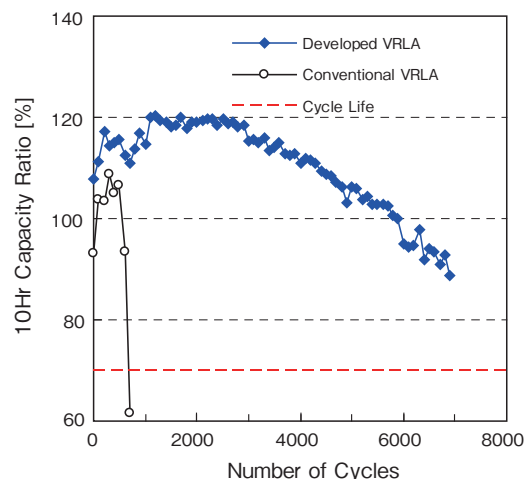


図1 サイクル寿命試験結果  
Fig.1 Update Result of Cycle Life Test

図1から、従来品は約800サイクルで寿命に達しているのに対して、開発した制御弁式鉛蓄電池は7,000サイクル以上の寿命を有することが分かった。また、

開発品は7,000サイクルを経過しても急激な容量低下は見られず、良好な性能を維持している。これは、劣化要因である正極、負極を含む各構成要素を最適化させたことによって、正極の軟化と格子腐食や負極のサルフェーションが抑制されたためと考えられる。

3.2 PSOC サイクル寿命試験

実際の風力蓄電システムにおいて、制御弁式鉛蓄電池はPSOC（Partial State of Charge：部分充電状態）で運用される。そこで、PSOC条件でサイクル寿命試験を行い、従来の寿命試験におけるサイクル寿命と比較した。それぞれの寿命試験条件を以下に示す。従来パターンはSOC100%からSOC20%まで放電電流 1.0CA で放電し、その後放電容量に対して103%の3段定電流充電を行う。一方、PSOCパターンでは、SOC90%からSOC10%まで放電し、放電容量に対して100%充電し、このサイクルを5回繰り返す。その後、同様の放電を行い、放電容量に対して118%の3段定電流充電を行う。計6サイクルの充電量の平均は従来パターンと同じ103%になるように設定した。100サイクル毎にそれぞれ10時間率の容量試験を行った。従来パターンとPSOCパターンの試験条件を表4に、サイクル寿命試験結果を図2にそれぞれ示す。

表4 サイクル寿命試験条件  
Table 4 Cycle Life Test Condition

放電率	[CA]	1.0
DOD	[%]	80
充電方法	[-]	3段低電流
従来パターン	開始 SOC	100
	充電量	103
PSOC パターン	開始 SOC	90
	充電量	100 × 5cyc 118 × 1cyc

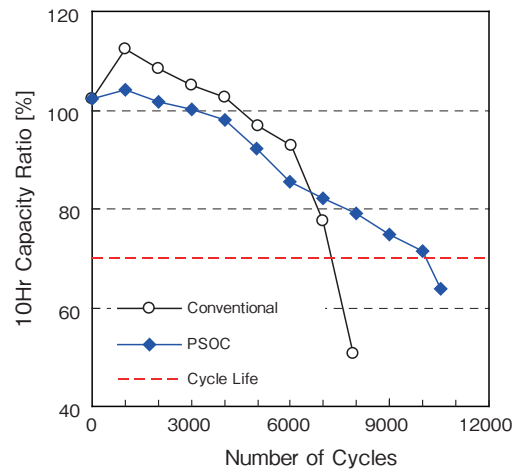


図2 開発品のサイクル寿命試験結果  
Fig.2 Results of Cycle Life Test

図2から、従来パターンよりもPSOCパターンでの試験では容量の低下が緩やかであることが分かる。これは、導電剤であるカーボンや硫酸バリウムを最適化したことによって、PSOCで負極に生成したPbSO<sub>4</sub>結晶の粗大化を防ぎ、充電受入性が向上したことによるものと考えられる。

3.3 DODとサイクル寿命の関係

制御弁式鉛蓄電池と、Ni-MH電池における、DODとサイクル寿命の関係を図3に示す<sup>4)</sup>。

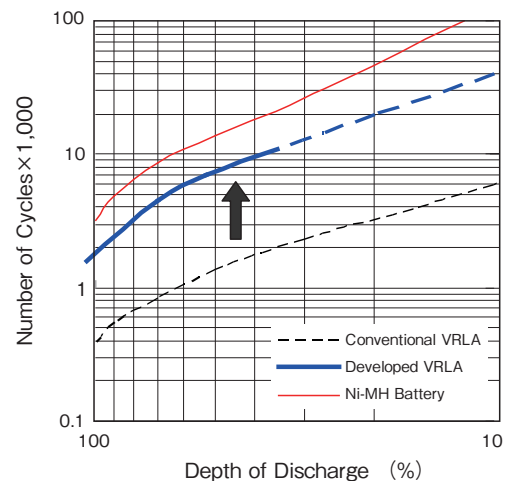


図3 DODとサイクル寿命の関係  
Fig.3 Relationship between Depth of Discharge and Cycle Life

図3から、開発した制御弁式鉛蓄電池は従来品と比べて大幅に寿命特性が向上し、Ni-MH電池に迫る優れた寿命特性を有することが分かる。

## 4. 風力併設蓄電システム

### 4.1 風車概要

風力併設蓄電システムに使用している、風車外観を図4に示す。

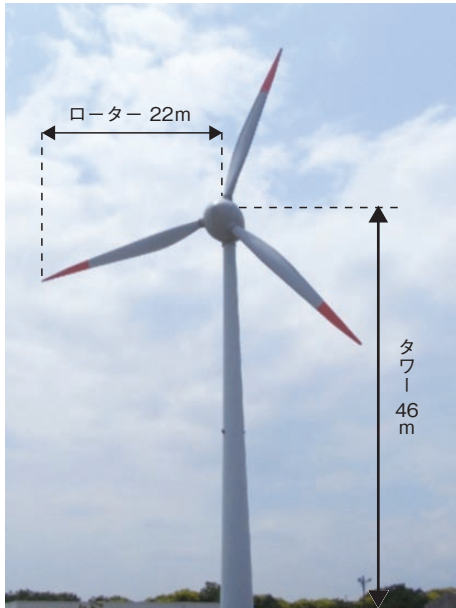


図4 風車外観  
Fig.4 Appearance of Wind Turbine

図4に示したエネルコン社製（定格600kW）の風車は、実証試験と売電事業のために設置された。風車の特徴として、低風速での発電が可能、耐落雷性能が高く低騒音などが挙げられ、台風や雷が頻繁に発生する日本の風土に比較的適している。

### 4.2 制御弁式鉛蓄電池の仕様

風力併設蓄電システムには開発した長寿命制御弁式鉛蓄電池 FC50-12（50Ah-12V）を使用したこの電池の仕様を表5に、外観を図5にそれぞれ示す。

表5 制御弁式鉛蓄電池仕様  
Table 5 Specification of FC50-12

型式		FC50-12	
公称電圧	[V]	12	
定格容量*	[Ah]	50	
自己放電率	[%/day]	< 0.1	
質量	[kg]	26	
外形寸法	総高さ	[mm]	220
	高さ	[mm]	190
	長さ	[mm]	363
	幅	[mm]	128

\* 10時間率 at 25°C



図5 FC50-12 外観  
Fig.5 Appearance of FC50-12

### 4.3 システム構成

制御弁式鉛蓄電池は32個収納（8列×4段）用の架台5台に対し、32個×5並列の合計160個を収納し、蓄電池定格出力を38kWとした。5並列の蓄電ユニットにはそれぞれ日立産機システム殿製のインバータが接続されており、風車発電量を監視しているコントローラから指令を受けて充放電を行い、風車出力量と蓄電入出力量との合計がシステム出力として商用系統に供給される。蓄電池の充放電は、日立製作所殿が開発した並列運転制御技術<sup>5)</sup>により行っている。また、各架台に当社製品の蓄電池監視装置（MD-1000）を取り付け、架台毎のSOC、電圧、電流、温度の計測を行っている。風力併設蓄電システムの構成を図6に、蓄電池及びインバータのシステム仕様を表6に示す。

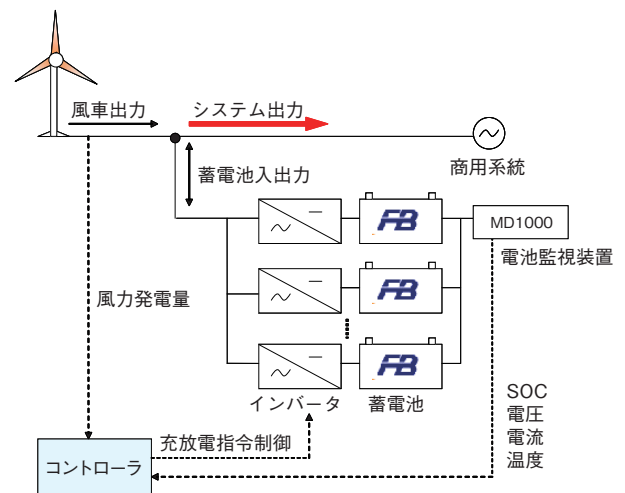


図6 風力併設蓄電システム構成  
Fig.6 Configuration of Battery Energy Storage System for Wind Power Generator

表6 システム仕様  
Table 6 Battery Strings and Inverter Specification

制御弁式蓄電池	
メーカー	古河電池
型式	FC50-12
数量	160個 (32直列×5並列)
定格電圧	DC384V (32直列×12V)
定格電流	DC20A (0.4C <sub>A</sub> 放電)
インバータ	
メーカー	日立産機システム
型式	HS900A-220HFJ
主回路方式	自励式 PWM 方式
定格電流	137A
定格容量	50kVA (10kVA × 5並列)

### 4.4 システム出力の平滑化

システム出力を商用系統に供給する際は、任意の時刻から始まる20分間において、システム出力の最大値と最小値の差を、風車最大出力の10%以内に収まるように蓄電池を用いて制御する必要がある<sup>6)</sup>。この制御によって電力品質が向上し、更に売電価格は電気部分に環境貢献分が付加され高値で売電できる可能性がある。システム出力平滑化の概念図を図7に示す。

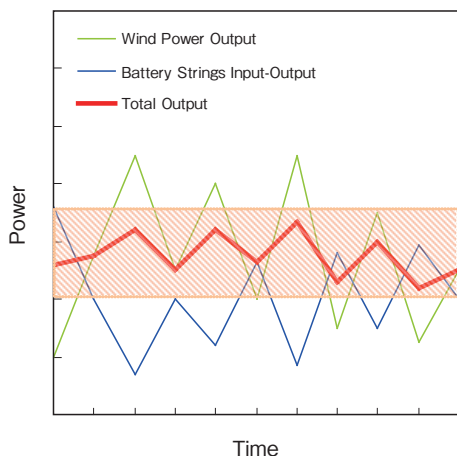


図7 システム出力平滑化の概念図  
Fig.7 Schematic of Total Output Leveling

風車出力に対して、蓄電池が充電、放電と停止を行い、斜線で囲った風車最大出力の10%以内に収まるようにシステム出力変動を制御する。

### 5. 風力併設蓄電システムでの運用状況

風車最大出力の10%以内に収まるように、2008年6月からシステム変動抑制の検討を開始した。な

お、蓄電池定格出力38kWの制約から風車最大出力を600kWから158kWに縮小して、風力併設蓄電システムを運用している。システム出力平滑化の実測データを図8に示す。

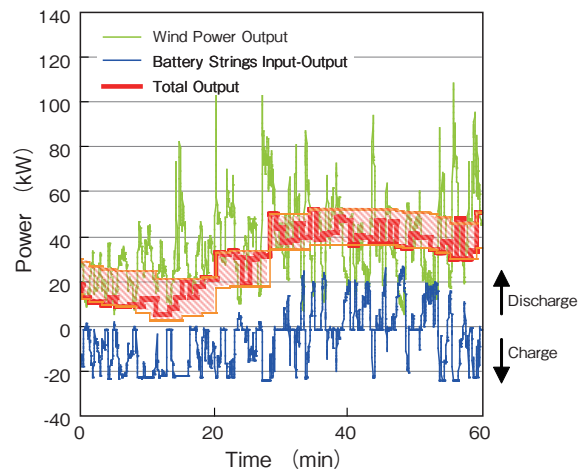


図8 システム出力平滑化の試験結果  
Fig.8 Result of Total Output Leveling

図8より、大きく変動する風車出力に対して蓄電池は遅滞なく追従して充放電を行い、システム出力は斜線で囲った制御範囲に収まっていることが確認できる。これは蓄電池及びインバータを含む風力併設蓄電システムの安定した運用が可能であることを示している。

### 6. まとめ

長寿命制御弁式鉛蓄電池の開発と風力併設蓄電システムへの適用と運用評価を行い、以下の成果を得た。

- (1) 開発した制御弁式鉛蓄電池は、DOD70%で7,000サイクル以上の長寿命を有し、現在も試験は継続中である。
- (2) 風力併設蓄電システムに上記新開発の制御弁式鉛蓄電池を適用した結果、目標とした風車最大出力の10%以内にシステム出力変動を制御できることを確認した。

## 7. 謝辞

風力併設蓄電システムの運用評価でご指導頂きました、株式会社日立産機システム 新エネルギーグループ、株式会社日立製作所 パワエレシステムユニットの各位に心から感謝申し上げます。

### (参考文献)

- 1) 野口博正, 萬ヶ原徹, 電気化学会 第 45 回電池討論会, 京都, 2D23 (2004).
- 2) 野口博正, 菊地大介, 高田利通, 松本正幸, 萬ヶ原徹, 飯塚博幸, 根兵靖之, FB テクニカルニュース, 「長寿命サイクルユース用制御弁式鉛蓄電池の開発」, No. 57, 13 - 19 (2001).
- 3) 野口博正, 菊地大介, 吉田英明, 高野秀夫, 萬ヶ原徹, FB テクニカルニュース, 「サイクルユース用長寿命 (4000 サイクル) 電池の開発」, No. 61, 7 - 12 (2005).
- 4) D. A. J. Rand, P. T. Moseley, J. Garche, C. D. Parker, Valve - Regulated Lead - Acid Batteries, 350 (2004).
- 5) 川添裕成, 二見基生, 佐藤義章, 尾嶺一義, 池田洋二, 手塚渉, 古川淳, 電気学会産業部門大会, 三重, R1 - 14 - 8 (2009).
- 6) 東北電力株式会社, 平成 19 年度 周波数変動に関する技術要件 (2007).