

蓄電池一体型の風車出力安定化システムの開発

DEVELOPMENT OF WIND TURBINE MULTI-CONVERTER WITH BUILT-IN BATTERY AND ITS POWER STABILIZATION

岩井 憲一* 岩永 直己* 細見 雅生*
Kenichi Iwai Naoki Iwanaga Masao Hosomi

風力発電システムは風の変動に応じて出力が変動するシステムであるが、系統電力の電源として再生可能エネルギーの割合が増えてくると、この出力変動を受け取る系統側で周波数を一定に維持できなくなるため、電力会社からの出力抑制要請により、風まかせの発電ができないケースが増えている。本稿では風力発電機にバッテリーを組込むことで、安定した系統出力を行う風力発電システムを開発し実証運転を行った内容について報告する。

キーワード：風力発電、コンバータ、バッテリー、運転試験

1. まえがき

従来の風力発電における出力安定化システムにおいて、風力発電機と安定化のための蓄電池設備はそれぞれ別のコンバータを必要とし、制御も別々に行われた¹⁾²⁾³⁾。本研究では、風車発電機用コンバータと蓄電池コンバータを一体化したマルチドライブコンバータを使用して、設備やシステムの重複を省いた効率的な風車出力安定化システムを開発し、その実証試験を行った。これにより、出力安定化設備のサイト毎の設計費用や蓄電池容量の低減と同時に、風車と蓄電池の一制御による効率化によって系統制約による出力抑制を回避し、発電量を向上させることが可能か検討する。また、蓄電池は風車の電力安定化のみに使用する場合、および系統の安定化⁴⁾⁵⁾に対して使用する場合について制御開発を行い、蓄電池のより効率的な活用を目指した。



写真-1 風車 2号機

2. システム概要

実証運転には、写真-1に示す駒井ハルテック富津工場で運転中の風車 2号機を使用した。写真-2に示すように既設の風車 2号機と変圧器の間にマルチコンバータと蓄電池を収めたバッテリー局舎を設置した。



写真-2 風車とバッテリー局舎の配置

2.1 出力安定化システムの設計

従来の風力発電設備の AC-DC-AC コンバータの DC BUS に DC-DC コンバータを組み込んだマルチドライブコンバータを導入して、蓄電池システムと一体化した能動的な出力安定化システム技術の開発を行った。

* 環境インフラ本部 環境インフラ部

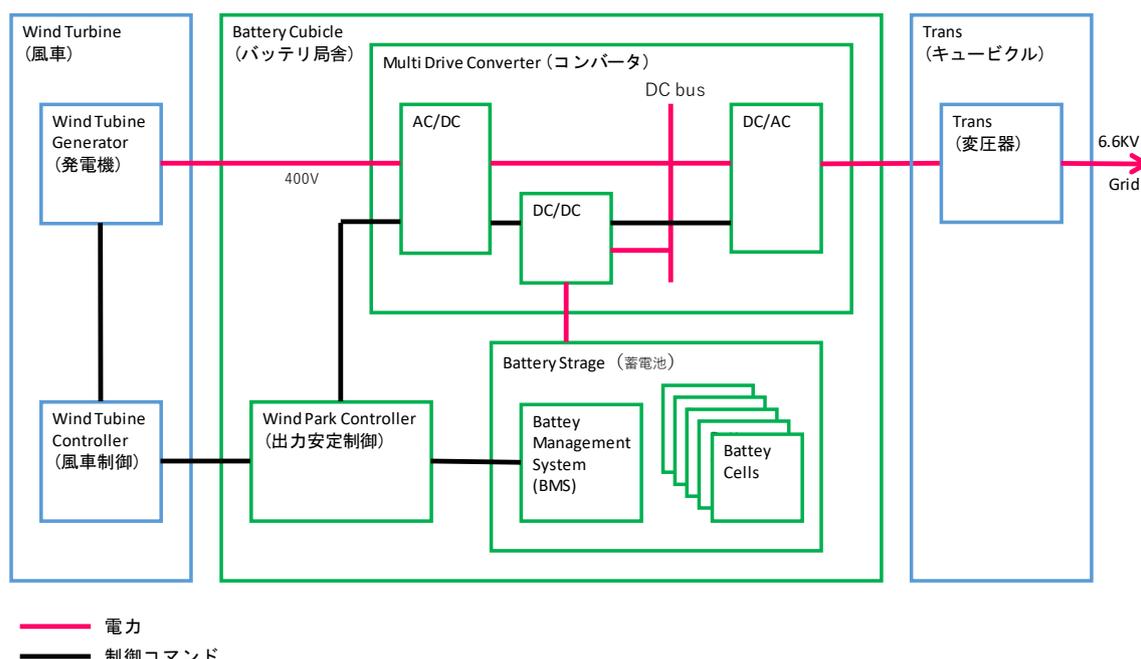


図-1 出力安定化システム構成

図-1 に出力安定化システムの構成図を示す。バッテリー局舎で囲まれた部分が今回追加された設備であり、マルチコンバータ、蓄電池、出力安定化制御コントローラで構成されている。

出力安定化制御コントローラは、風車制御コントローラと協調しながらコンバータと蓄電池の制御を行う。マルチコンバータは、風力発電出力を交流（AC）から直流（DC）に変換するユニットと、風力発電出力（DC）と蓄電池入出力（DC）を合成するユニット、および合成出力（DC）を系統に合わせて交流（AC）に変換するユニットで構成される。蓄電池はバッテリーの充放電速度（C レート）が高いリチウム電池を選択した⁶⁷⁾。また、風力発電機の定格出力（300kW）の2%（300kW×2%=6kW）を維持できるようにするため、最大出力 300kW を喪失したケースを想定し、本研究で設置する蓄電容量を125kWhとした。

2.2 出力安定化アルゴリズムの開発

出力安定化制御コントローラには、出力安定化アルゴリズムを実装する。アルゴリズムの開発⁸⁾は、三重大学および産業技術総合研究所と共同で行った。アルゴリズムに必要なパラメータを表-1 に示す。

これらのパラメータを用いて、図-2 に示すアルゴリズムを実行する。アルゴリズムの実行サイクルは20msとし、風力発電機出力の平均化時間、バッテリー状態（State of Charge：以下、SOC）出力変換テーブル、および系統出力変化率は制御プログラムの内部でパラメータ化しており、プログラムを書き換えることなく、値を変更できるようにしている。

平均化時間は、移動平均する範囲を10秒から10分の間で設定可能としている。出力変換テーブルは、図-3 に示すように、

表-1 出力安定化アルゴリズム・パラメータ

パラメータ	入出力	説明
風力発電機出力	風車から入力	発電機の回転数とトルクにより決定する
平均化時間	内部パラメータ	風力発電機出力を平均化する時間
バッテリー状態	蓄電池から入力	バッテリーの充電率（SOC）を百分率で示す
出力変換テーブル	内部パラメータ	バッテリーの蓄電状態に応じて、充放電の優先度を定める
系統出力変化率	内部パラメータ	系統に出力している電力を急激に変化させないようにする
系統出力	コンバータへ出力	系統に出力する電力を指示する

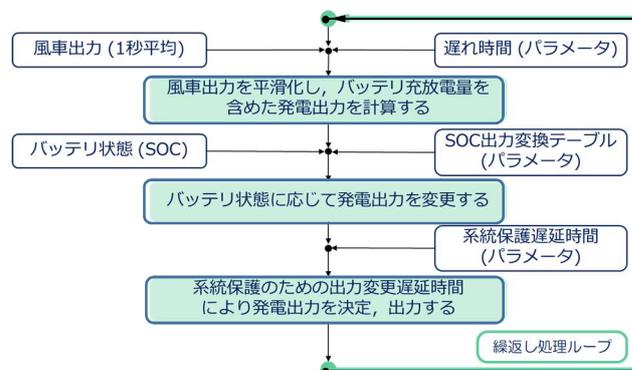


図-2 出力安定化アルゴリズム

バッテリーのSOC値に対応して、風力発電出力に加算するバッテリー電力を計算するテーブルである。SOC値が50%以下の場合には負の値となり、風力発電出力はバッテリーに充電され、系統にはその余剰分が出力される。逆に、SOC値が50%より大きい場合は正の値となり、風力発電出力にバッテリー電力を加算して系統出力される（図-4参照）。

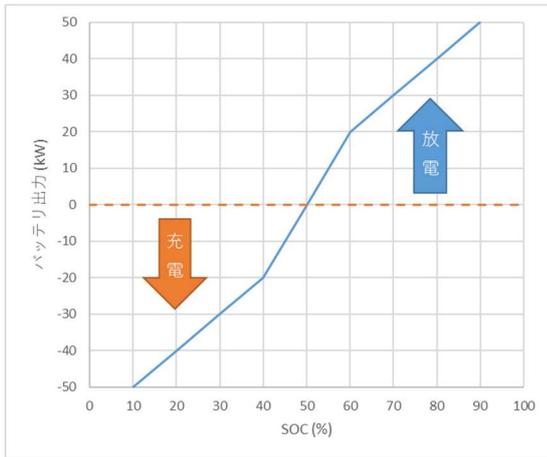


図-3 出力変換テーブル

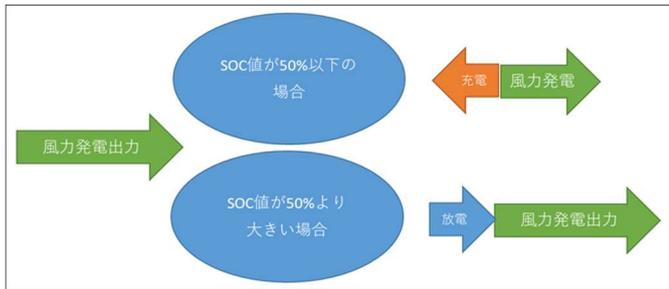


図-4 SOC値による出力計算イメージ

系統出力変化率は、風力発電出力とバッテリーの充放電によって決定された系統出力値が、現在の系統出力値に対して単位時間変化率を越えないように調整する機能である。要求出力が現在出力を下回る場合も考え方は同じである（図-5参照）。

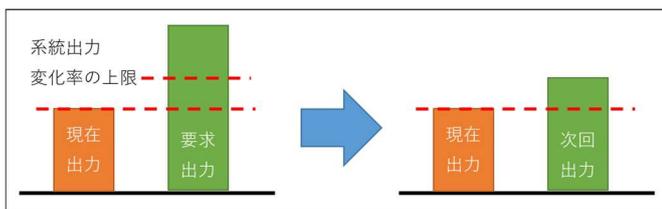


図-5 系統出力変化率の考え方

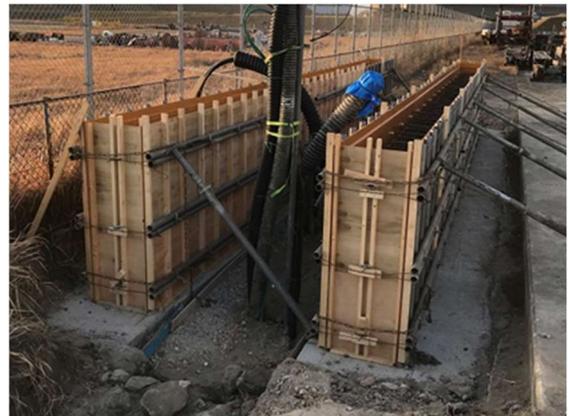
2.3 実証運転設備の建設

2022年3月から5月にかけて、富津工場風車2号機の横にバッテリー局舎を建設し、電気配線工事を行った。写真-3に、掘削工事、基礎工事、建設工事の様子を示す。

バッテリー局舎には、既に出力安定化制御盤、マルチコンバータと蓄電池本体を除く蓄電池制御盤などが組み込まれてお



(a) 掘削工事



(b) 基礎工事



(c) 建設工事

写真-3 バッテリー局舎建設の様子

り、続いて電気関係の配線工事が行われた。さらに、通信工事が行われ、最後に蓄電池本体の設置工事が行われ、バッテリー局舎が完成した。

3. 実証運転

2022年6月から2023年3月にかけて、バッテリー局舎の試運転および実証運転を実施した。

3.1 試運転調整

2022年6月から7月にかけて、バッテリー局舎内に設置された蓄電池とマルチコンバータの試運転調整を行った。写真-4および写真-5にバッテリー局舎内の蓄電池およびマルチコンバータの制御パネルを示す。出力安定化制御盤は遠隔制御を行うため、制御パネルを設けていない。

バッテリー局舎建設後、最初に、これらの制御パネルを用いてマルチコンバータと蓄電池の単体試験を行った。

単体試験後、出力安定化システムとの結合試験を行い、最後に風車を含めた総合試験を実施した。



写真-4 蓄電池状態表示パネル



写真-5 マルチコンバータ制御パネル

3.2 実証運転

2022年8月から2023年3月にかけて、出力安定化システムの実証運転を行った。運転試験は、通常の運転制御の中で実施することとし、出力安定化制御パラメータは、平均化時間(1分)、出力変化率(2%/分=6kW/分)で実証確認を行った。

(1) 発電中からの運転停止

これまでは、発電中の風力発電機が、エラーなどで停止した場合、図-6に示すようにピッチ制御に従って出力を落としていくため、およそ1分で発電を停止する。一方、蓄電池出力を併用して出力安定化を図った場合、図-7に示すように指示した出力変化率(6kW/分)で出力を減少し停止することができた。この出力変化率(6kW/分)は、パラメータによる変更が可能で、風力発電機の定格出力(300kW)の2%(300kW×2%=6kW)を意味する。

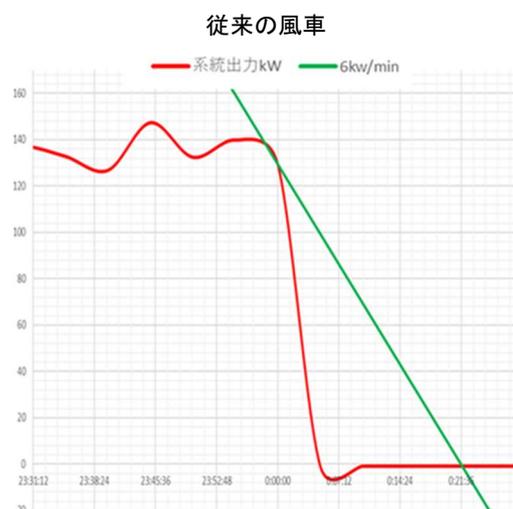


図-6 従来風車の運転停止時の出力変化

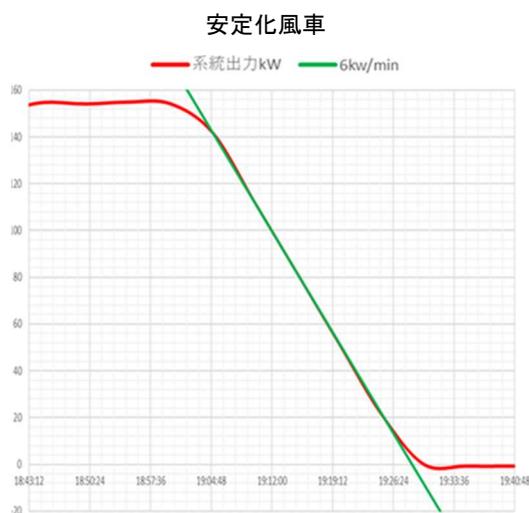


図-7 出力安定化風車の運転停止時の出力変化

図-6, 図-7 とともに緑の直線は目標の出力変化率 (6kW/分) 示している. 定格運転からの発電停止の記録ではないものの, 目標の性能を確認することができた.

(2) 風力発電中の出力安定化

これまでの風車は図-8 に示すように風速の強弱に合わせて出力を変化させていたが, 図-9 に示すように出力安定化風車では風速の急激な変化に左右されず安定した出力を行うことができる。

出力安定化風車は, 運転中も常に蓄電池の SOC 値を考慮した発電出力と出力変化率の制限を計算し, 制御しているため, 図-9 のように, 風力発電機の出力と異なった系統出力を行うことができる。

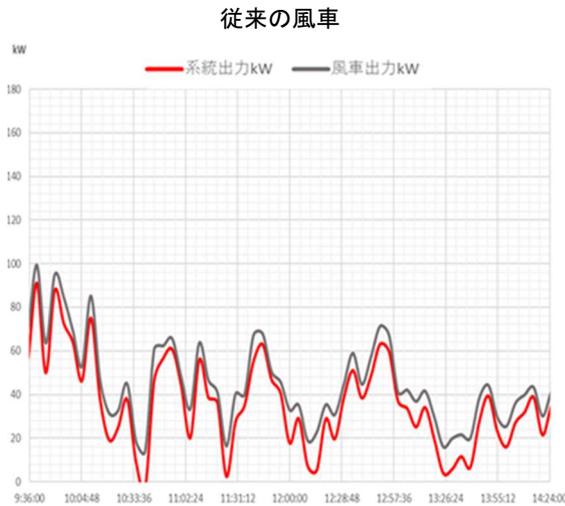


図-8 従来風車の出力と系統出力の関係



図-9 出力安定化風車の出力と系統出力の関係

(3) パラメータの変更による安定化効果の確認

これまでの結果は, 平均化時間 (1 分), 出力変化率 (2%/分) における系統出力安定化の確認であるが, この系統出力変化率や風車出力平均化時間のパラメータ変更が与える変化について調査を行った. 結果を図-10 に示す. 図中の①, ②は, 出力変化率に対して, ③, ④は平均化時間に対してのパラメータ変更の結果を示している.

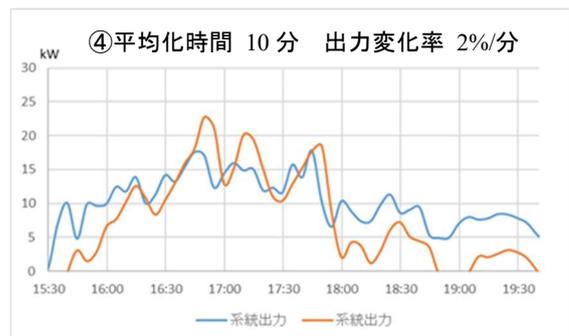
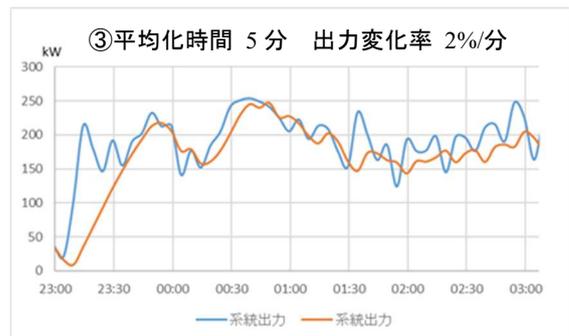
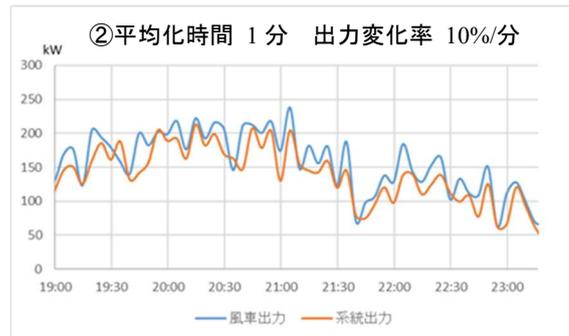
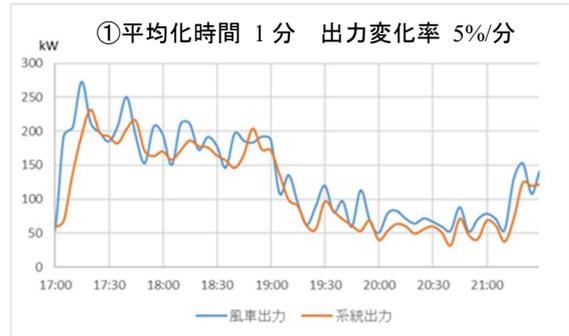


図-10 安定化制御パラメータ変更結果

図-10 の①, ②より変化率が大きいと風車出力に近づいていくため 10%/分以下が望ましいが, 変化率が大きい方が蓄電池への負担は小さくなる。③, ④からは, 平均化時間を大きくすると風車の出力からの遅れが全体的にみられ, 風車出力より変動幅が大きい個所が見られるため, 平均化時間は 5 分以下が望ましいといえる。

4. まとめ

4.1 実証運転の成果

実証運転の結果, 富津工場風車 2 号機の出力安定化システムは, 系統出力変化率が 2%/分~10%/分, 風車出力平均化時間は 1 分~5 分に設定すると効率が良いことが分かった。蓄電池容量については, 今回は研究目的で設計したため 125kWh としたが, これは 300kW の定格出力で風力発電した時, 発電停止した場合に必要な電力量であるため実運用に適した容量とはいえない。実際に, 実証運転中に, SOC 値が 50%程度の蓄電量で運転停止が発生し, 蓄電池が空になってしまった事象が 2 度起こった。これらの経験を踏まえて, 系統出力変化率が 2%/分の場合の適切な蓄電池容量は 250kWh と考えられ, 逆に 125kWh の蓄電容量に適した系統出力変化率は 4%/分となる。

4.2 安定化システムの課題

今回の実証運転では風車の運転停止の検証を行ったが, 風車が運転を開始するときの系統出力の変化率の制御も検討する必要がある。この場合, 風車によって生成された電力の多くが蓄電池に充電される必要がある。したがって, 強風下で風車が運転を開始する場合, あらかじめ蓄電池の容量を充電用に空けておく必要がある。同様に, 定格出力近くで運転している場合は, エラーによる運転停止に備えて, 蓄電池の容量を放電用に蓄えておく必要がある。このように, 出力安定化アルゴリズムはさらに改良を重ねる余地が残されている。

4.3 安定化システムの活用と展開

この出力安定化システムを利用して, 別の目的を持ったシステムの構築も可能となる。

一例として, 工場の使用電力のピークカットが挙げられる。工場における電力需要の傾向を把握し, 通常時は蓄電池に充電を行い, 需要電力のピーク時を狙って, 放電を行うシステムである。ピークカットを行うには蓄電池容量が多いほど有利だが, 放電時間を短くするように調整することによって, 蓄電池容量を節約することが可能と考える。

さらに, 非常用の独立電源設備としての応用も考えられる。ただし, 蓄電池を独立電源として利用できるようにするには, 工場内の電源系統の改修が必要で, 主幹の電力会社での承認が必要となる。独立電源として実証試験を行うにはかなりの費用と時間がかかるが, 災害時に安定化システムが非常用電

源として運用できる可能性を示唆している。

風力発電機の出力安定化は, 風力エネルギーにおいて避けて通ることができない課題¹⁰⁾¹¹⁾であり, 蓄電池の効果的な利用方法を示すことができたと考えている。今後は, この成果を国内外に普及すべく事業計画を実現・展開していきたい。

謝辞

本研究は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(略称:NEDO)による課題設定型産業技術開発費助成金事業として実施された。また, 共同研究として協力いただいた国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 川端浩和様と国立大学法人三重大学 大学院工学研究科 鎌田泰成先生および学生諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 古塩正展・小島康弘, 再生可能エネルギー導入を支える蓄電池制御技術, 三菱電機技報, Vol89, No.11, 2015
- 2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 再生可能エネルギー技術白書, 第9章 系統サポート技術, 2014
- 3) 環境省, 電力需給調整システムについての検討, 系統影響について(補足資料), 2012
- 4) 北海道電力, 電力系統への再生可能エネルギー導入拡大に伴う出力変動対策について, 電気学会, 2016
- 5) 中部電力 工務技術センター 技術 G, 太陽光発電設備大量導入時の電圧変動を抑制する蓄電システム, 技術開発ニュース, No.148, 2013
- 6) 有馬 理仁, リチウムイオン蓄電池の効率劣化診断の研究, 立命館大学, p9, 2021
- 7) 長谷川正, リチウムイオンバッテリーの自己(自然)放電とは, 株式会社 長谷川製作所, 2022
- 8) 足立修一・丸田一郎・長村謙介, カルマンフィルタを用いた二次電池の充電率推定, 計測と制御第 56 巻第 9 号, 2017
- 9) 徳田憲昭・雪田和人・風力発電の出力変動特性と蓄電池による平滑化, 第 34 回風力エネルギー利用シンポジウム要旨集, pp.247-250, 2012
- 10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 風力発電導入ガイドブック(改訂第 9 版), 2008
- 11) 経済産業省 資源エネルギー庁, グリッドコード(系統連系に係る技術要件)について, 2020