

特 集 論 文**離島グリッドにおける再生エネルギー
導入比率拡大に向けた系統安定化技術**System Stabilization Technologies for Renewable Energy
Introduction Ratio Expansion in Isolated Island Grid村 井 正 樹* 井 筒 達 也*
M. Murai T. Izutsu
後 藤 則 泰* 黒 田 和 宏**
N. Goto K. Kuroda**概要**

近年、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーが離島の発電所へ連系されるケースが増えている。発電所の燃料消費量やCO₂排出量削減などには有効であるが、一方では、島内電力系統の周波数変動や電圧変動など電力品質面での課題が顕在化している。このような課題を解決するための当社の系統安定化技術ならびに取り組み事例を紹介する。

Synopsis

Recent years, the case is increasing that renewable energy such as solar power generation and wind-power generation is interconnected with power plant in isolated island. It is effective for reducing fuel consumption and CO₂ emission, on the other hand, it causes problems in power quality as frequency fluctuation and voltage fluctuation of power system in island. In this paper, to solve these problems we introduce engineering method for power system stabilization and a practical example.

1. まえがき

日本国内には、多くの有人離島が存在しているが、大規模電力系統から遠く、島内に小規模発電機を用いた独立した発電所を構築し電力供給を行っている場合がある。そのような独立した離島の発電所では、燃料の輸送や燃料価格の高騰により、発電単価が高価であることやCO₂排出原単位が高いといった問題を抱えている。

そのため、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー（以下、再エネ）を離島内電力系統に連系し発電出力を有効に活用することにより、発電所の燃料消費量低減を図ると共に、CO₂排出量を削減することが期待される。

一方、再エネは出力変動を伴うため、その導入に当たっては電力系統の品質に影響を与えないように適切な対策をとることが必要不可欠である。

本稿では、離島内電力系統において再エネを導入する

場合に懸念される周波数変動対策や電圧変動対策といった課題を解決するための、当社の系統安定化技術、並びに実規模での取組事例について紹介する。

2. 離島グリッドにおける系統安定化対策の必要性**2. 1 離島グリッドにおける再エネ連系とその影響**

離島内電力系統の構成イメージを図1に示す。離島内の独立した発電所より島内へ電力供給が行われているが、一般に小規模の電源系統であり、この系統に太陽光発電や風力発電といった再エネが接続されている。

この状況下では、従来の負荷変動に加え、再エネの出力変動を含めた変動に対して発電機が追従する必要があるため、既設の発電機特性によっては以下のような点に留意する必要がある。

*新エネルギー・環境事業本部
**研究開発本部

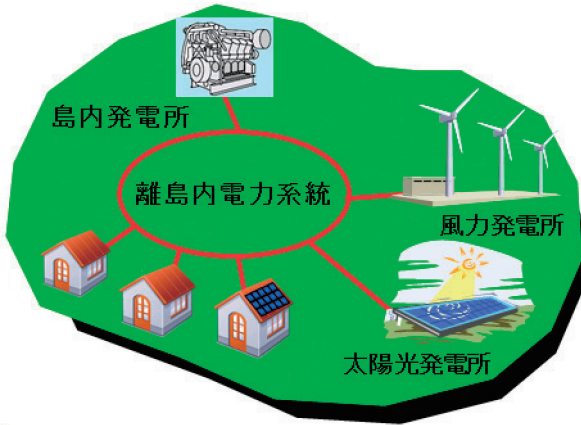


図1 離島内の電力システムのイメージ

- ・再エネ導入前は「発電機出力=負荷電力」であるが、再エネの連系により「発電機出力=負荷電力-再エネ出力」となり、電源容量が比較的小さい離島の発電所の場合、再エネの出力変動等に対する調整力が不足し、電圧や周波数などが乱れることが懸念される。
 - ・再エネ出力の系統への併入比率が増えると発電所の発電機が軽負荷となることから、発電効率の低下や燃焼温度の低下によるスラッジ（煤）の発生など懸念される。
 - ・再エネ併入比率が高い状態から急減した場合に備えて、発電機の過負荷や予備力として発電機の待機運転が必要となる。
- このような課題があるため、発電機の運用面での考慮が必要である。

なお、連系される再エネについては、連系変圧器への励磁突入電流等付帯装置の影響も含めて、有効電力・無効電力双方の変動の影響を考慮する必要がある。

2. 2 電力品質面の影響と対策

前項で示したように、再エネの連系により、電力系統内の有効電力・無効電力の変動が増大するため、系統安定化のため以下の対策が望まれる。

2. 2. 1 系統周波数への影響と対策

電力系統では、発電量と負荷量のバランスを常に保つことで系統周波数を維持している。例えば、発電量よりも負荷量が大きくなると、発電機の回転数が低下して、周波数は低下する。

再エネには、太陽光発電や風力発電といった出力変動が大きいものがあり、特に系統規模が小さい離島グリッドでは、周波数への影響が顕著に現われることがある。

上記のような周波数変動が管理値を逸脱することを避けるための対策として、蓄電池等の電力貯蔵機能を持つ系統安定装置による再エネの有効電力変動抑制が有効である。移動平均法などにより再エネ出力の平滑化出力目標値の演算処理を行い、目標値と再エネ出力の差を蓄電池の充放電により補完することで再エネ出力の安定化を行うことが可能である。

系統安定装置による出力変動抑制の概念図を図2に示す。

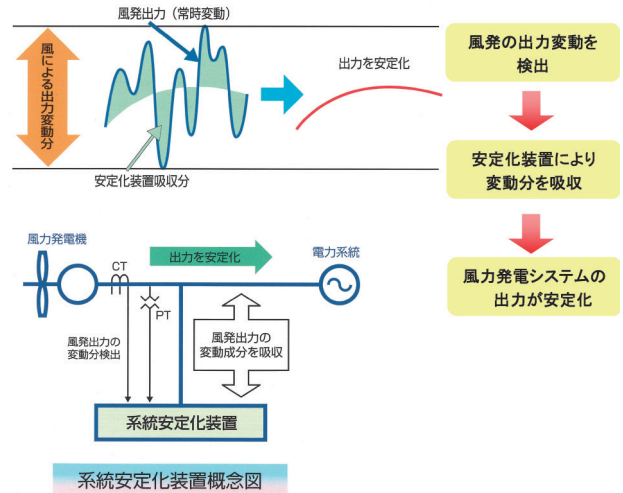


図2 系統安定化装置による出力変動抑制

系統安定装置により、風力発電の出力変動によって発生する周波数変動を抑制した効果の事例を図3に示す。

対策前は、系統周波数偏差の基準値（本ケースでは0.3Hzと設定）を逸脱しており、大きな周波数変動が発生している。

系統安定装置の導入後、風力発電機の出力変動を平滑化することにより、系統周波数の偏差は基準値内に抑制されていることがわかる。

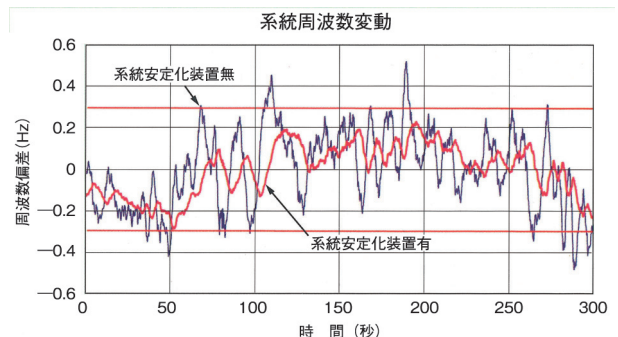


図3 系統安定化装置による周波数変動抑制

2. 2. 2 系統電圧への影響と対策

系統電圧の変動は、簡易的に $\Delta V=r \cdot \Delta P+x \cdot \Delta Q$ としてあらわされ、その大きさは、再エネなどの無効電力・有効電力の変動と系統インピーダンスにより決まる。

電力系統の配線長が長い場合や離島のように系統規模が小さく配電線が細い場合には、系統の末端などで影響が顕著に現われやすい。

上記のような電圧変動が管理値を逸脱することを避けるための対策としては、無効電力補償装置が有効である。なお、前項の蓄電池設備用の電力変換器に無効電力補償機能を具備することが可能であり、その場合、有効電力変動・無効電力変動双方の対策が可能となる。

2. 3 発電機の運用面への影響と対策

前述の通り、離島グリッドにおいて再生エネ併入比率が高まると、発電機の出力が最低出力を下回る懸念がある。また、再エネ出力が急減するようなケースでは、発電機の出力増によって電力供給を維持する必要がある。

従って、発電機出力・再エネ出力・負荷電力の関係において、下記を満足する必要がある。

- ・稼働中発電機の最大出力は、負荷電力より大きいこと。
- ・稼働中発電機の出力は、許容最低出力より大きいこと。

上記関係を維持するため、再エネ出力と島内発電所の発電出力を監視し、基本的には発電機の運用台数を制御する。しかし、再エネ比率が高まり発電機の運用台数制御では追従出来ない場合には、再エネ発電出力の余剰分を蓄電する、あるいは抑制するなどの対策が必要となる。

蓄電する場合、容量によっては大幅なコスト増に繋がること、抑制する場合にも抑制幅によっては設備利用率が低下することなど運用コストに影響するため、シミュレーション等を踏まえた設計検討による最適化が重要である。

3. 離島グリッドにおける太陽光発電所の出力変動緩和対策

3. 1 出力変動緩和対策の検討事例

固定価格買取制度の施行により、離島においても太陽光発電所の設置が検討されている。しかし、系統が比較的小さい一部の離島では、島内の発電所調整力不足により、系統に接続される太陽光発電所に対して、出力変動緩和対策を連系要件とされるケースがある。

このようなケースに対する当社のシミュレーション

検討事例を示す。

3. 2 出力変動緩和制御概要

太陽光発電出力の変動緩和の制御手法は、下記のような手順となる。

- (1) 太陽光発電出力を計測し、移動平均法等による平滑化演算を行い、平滑化後の出力目標値を算出する。
- (2) 系統側の電圧変動や周波数変動によるパワーコンディショナの停止や日射急変時の出力低下に対しては、上記平滑化後の出力目標値が許容変化率を逸脱するケースがある。従って、許容変化率を逸脱しないよう制限を設けるリミッタ制御を行う。
- (3) 蓄電池の充放電を繰り返すことになるため、蓄電池のSOC (Status of Charge:電残容量) の管理が重要となるため、SOC補正制御を盛り込む。

以上の制御により、出力変化率を許容値以内に抑制することが可能である。

3. 3 出力変動緩和制御によるシミュレーション検討事例

3.2節にて説明した出力変動緩和制御によるシミュレーション結果を下図に示す。

平滑化前後の太陽光発電出力を図4に、出力変化率を図5に示す。

シミュレーションの検討条件は、下記の通りである。

太陽光発電所容量：2000kW

蓄電池容量：2000KW

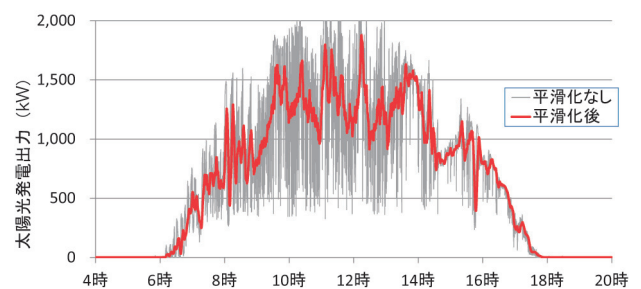


図4 シミュレーション結果：平滑化前後の太陽光発電出力

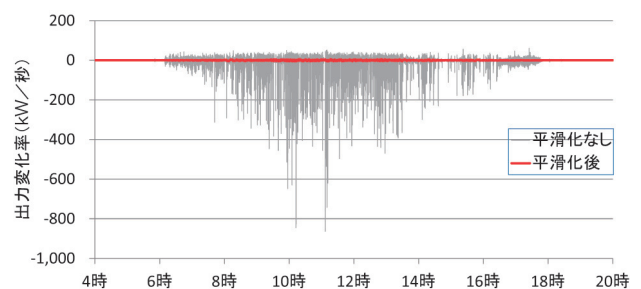


図5 シミュレーション結果：平滑化前後の出力変化率

移動平均時間：5分、
許容出力変化率：±5kW/秒
シミュレーション検討によって、

- (1) 充放電電力の最大値
(蓄電池システムのkW容量を規定)
- (2) 1日当たりの充放電電力量の最大値
(蓄電池システムのkWh容量を規定)
- (3) 1年当たりの充放電サイクル数
(蓄電池の期待寿命に関連)

など、蓄電池システムを規定する評価指標を算出しシステムの最適設計を行うと共に、期待寿命などを確認の上、事業性試算を行うことが重要である。

4. 離島グリッドにおける系統安定化装置事例

離島系統での系統安定化の取り組み事例として、波照間島で実施したフライホイール形系統安定化装置の事例紹介を行う。

4. 1 系統安定化装置の導入の背景

八重山諸島の南端に位置する波照間島は、人口600人弱の日本最南端の有人離島である。

波照間島の電力系統は、ディーゼル発電機を主体とする電源構成となっており、再エネ導入によるエネルギー自給が期待される。ここでは、台風等の強風時にはタワーを倒すことが可能な可倒式風力発電設備の導入が検討された。図6に可倒式風力発電設備の外観写真を示す。

風力発電の連系を行うに当たり、系統容量が小さいことに起因する周波数・電圧調整力の不足が課題となったため、系統全体の調整力を強化するためにフライホイール形系統安定化装置を納入した。



図6 波照間島に設置された可倒式風力発電設備

4. 2 波照間島離島グリッド概要

島内発電所にはディーゼル発電機が4台設置されており、負荷の消費電力予想や発電機のメンテナンス計画に応じて発電機の運用を計画されている。

この電源系統に、可倒式風力発電機245kW×2機と系統安定化装置200kVA（190kW×30秒）が設置されている。

図7にシステム概要を示す。

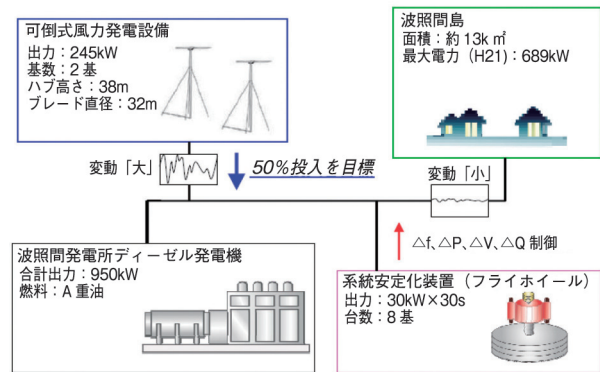


図7 波照間島でのシステム概要

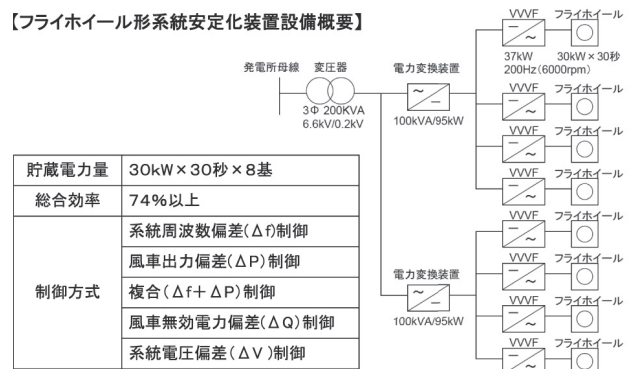
4. 2. 1 フライホイール形系統安定化装置概要

フライホイール形系統安定化装置は、系統の電力品質の変動を高速で検出し、有効電力・無効電力の系統全体での需給アンバランスを算出し、有効電力・無効電力を充放電することにより、電圧と周波数を安定化している。

フライホイール形安定化装置の概要を図8に示す。

フライホイールは、回転型のエネルギー蓄積装置であり、満充電時には定格6000rpm（200Hz）で回転している。VVVF電力変換器により高周波を直流に変換し、双方向インバータによって系統と三相60Hz200Vで系統連系を行う。充放電可能なエネルギー蓄積量は、190kW×30秒間とした。また200kVAを超過しない範囲で無効電力のやり取りを可能とした。

【フライホイール形系統安定化装置設備概要】



貯蔵電力量	30kW×30秒×8基
総合効率	74%以上
制御方式	系統周波数偏差(Δf)制御
	風車出力偏差(ΔP)制御
	複合(Δf+ΔP)制御
	風車無効電力偏差(ΔQ)制御
	系統電圧偏差(ΔV)制御

図8 フライホイール形安定化装置の概要

本波照間島フライホイール形系統安定化装置の特長として、

- (1) 電力品質の変動そのものを検知し、系統条件に応じた制御を行うことによりディーゼル発電機では追従できない周波数・電圧調整を行う。
- (2) 回転数の検出により、エネルギー管理が容易である。
- (3) メンテナンスが容易で、長寿命である。

などの特長を有し、小規模系統の離島電源において出力変動する再生可能エネルギーを有効活用することができる。

各機器の外観写真を図9～11に示す。



図9 電力変換器盤、フライホイール駆動装置 各2群

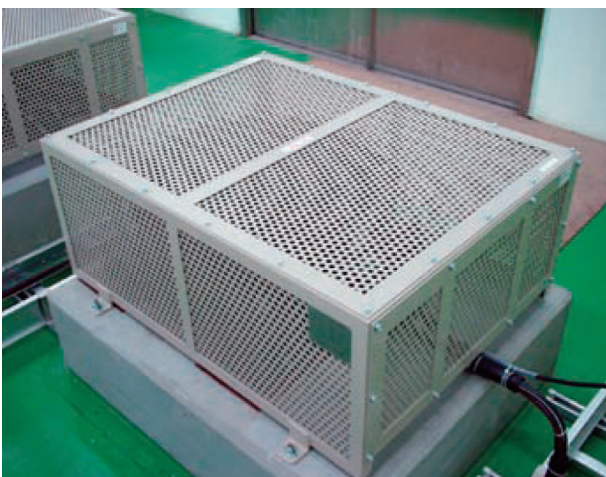


図10 フライホイール電力貯蔵装置



制御盤面
タッチパネルにて、系統条件や運用モードの設定を行う。

図11 安定化装置制御盤

4. 2. 2 系統安定化制御概要

本系統安定化装置の制御においては、系統の周波数や電圧変動抑制制御と再エネ出力の出力変動抑制制御も併用することを可能としている。

具体的には下記のような制御パターンを具備している。

- ・系統周波数偏差 (Δf) 制御
- ・風車出力偏差 (ΔP) 制御
- ・複合 ($\Delta f + \Delta P$) 制御
- ・風車無効電力偏差 (ΔQ) 制御
- ・系統電圧偏差 (ΔV) 制御

上記制御方法の選択や制御目標値の変更を行うことにより、最適な制御手法を選択することが可能となっている。

4. 3 系統安定化装置による安定化効果

フライホイール形系統安定化装置による周波数の安定化制御の効果を下記に示す。

図12は、ディーゼル発電機が3台運転しており、風力発電機が1台連系運転を行っている状態である。安定化装置なしの場合では系統周波数が、0.24Hzの幅で変動していることが分かる。

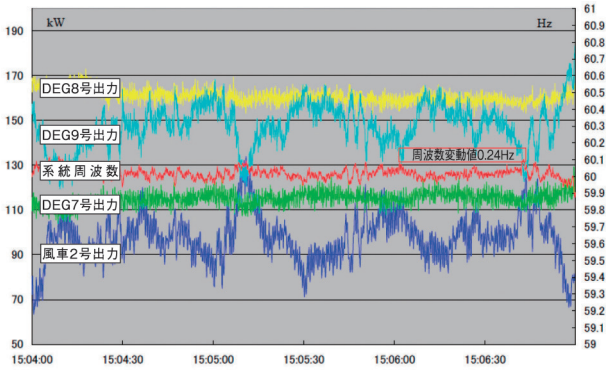


図12 風車運転時データ（系統安定化装置なし）

図13では、 Δf 制御の系統安定化装置により、系統周波数の変動が0.16Hzに抑制され、風力発電機の出力変動が抑制されていることがわかる。

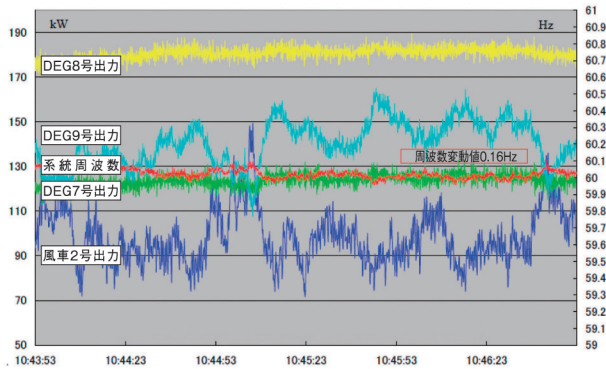


図13 風車運転時データ（系統安定化装置 Δf 制御時）

図14は、風力発電機が強風などでカットオフされたケースである。

風力発電機の出力がカットオフされたことにより出力が0kWとなっているが、フライホイールが高速な放電出力を行うことにより、系統周波数の変動を既定値以内に抑制していることが分かる。

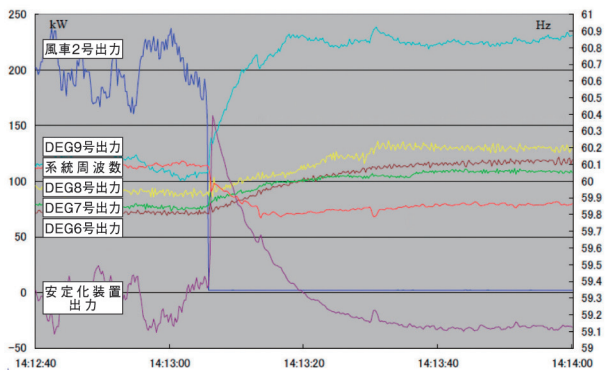


図14 風車遮断時データ（安定化装置 $\Delta f + \Delta P$ 制御）

図15では、ディーゼル発電機3台運転に対し、風力発電機2台の連系運転である。周波数変動を抑えつつ風力発電の出力を島内電力需要の約50%の電力供給を行い、再エネ併入比率を高めている。

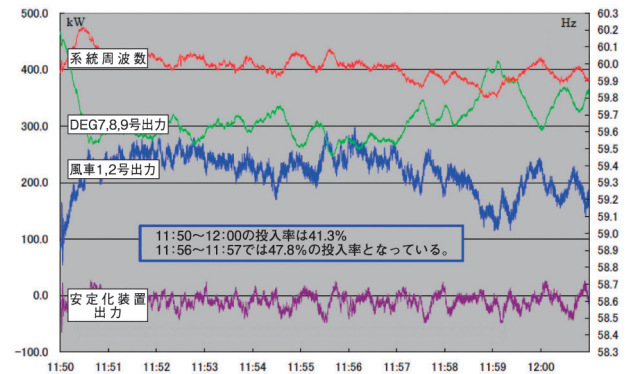


図15 風車50%投入時データ（安定化装置 $\Delta f + \Delta P$ 制御）

このように離島での独立電源系統において、系統安定化装置により周波数変動の安定性を向上させることで、再エネの有効活用を図ることが出来る。

5. あとがき

これまで離島グリッドにおける再エネ活用の促進のため、蓄電池やフライホイールなどの電力貯蔵装置を活用した系統安定化対策技術の開発に取り組んできた。

離島グリッドにおいては、燃料輸送の問題に加え、再エネ賦存量が多いことや固定価格買取制度の活用など更なる再エネ利用が期待されている。また、再エネの大量導入に伴い、離島以外の地域においても周波数変動対策や電力需給調整といった新たな課題が発生することが懸念されている。

当社は、これまで培った系統安定化対策技術により、再エネ導入拡大に伴って増大する電力品質の安定化ニーズに貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 沖縄電力、沖縄エネテック:第11回風力エネルギー利用総合セミナー、(2010年6月9日、10日)

執筆紹介



村井 正樹 Masaki Murai

新エネルギー・環境事業本部
新エネルギー事業部
エンジニアリング部
京都技術グループ長



井筒 達也 Tatsuya Izutsu

新エネルギー・環境事業本部
新エネルギー事業部
エンジニアリング部長



後藤 則泰 Noriyasu Goto

新エネルギー・環境事業本部
新エネルギー事業部
エンジニアリング部
システムグループ長



黒田 和宏 Kazuhiro Kuroda

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
系統技術グループ長