

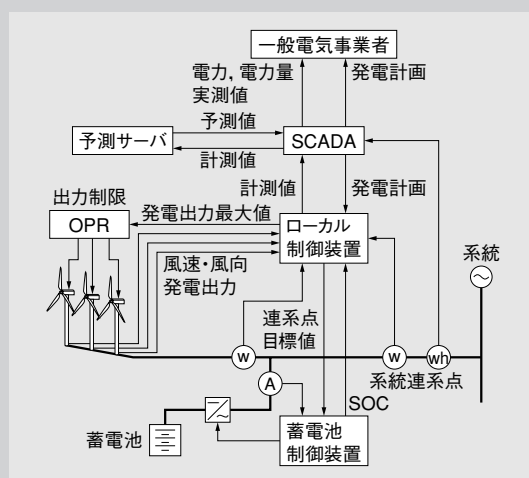
蓄電池併設風力発電システム — 出力一定制御型システムの開発に向けた取り組み —

🔊 風力発電, 蓄電池, 発電出力予測, 出力一定制御

* 谷川亮一 Ryoichi Tanikawa * 青木 功 Isao Aoki ** 田邊隆之 Takayuki Tanabe

概要

低炭素社会の実現に向けて自然エネルギー電源の普及拡大が求められる一方で、発電出力の変動が電力システムの安定度維持に影響を与えるとして懸念が示されている。このような背景の下、東北電力(株)から、2006年度より新たに連系する2MW以上の風力発電に対して、蓄電池などにより系統安定化対策を施すため、2種類の技術要件（出力変動緩和制御型と出力一定制御型）が示された。当社は、蓄電池容量をできる限り抑制して本技術要件を満足することを目標として、シミュレーションによる制御・運用手法の検証と評価を進めてきた。技術要件の内、特に付加価値向上が期待できる出力一定制御型に着目し、風力発電の予測技術を活用した制御運用手法の検討と評価を行った。



システム構成図

1. ま え が き

低炭素社会の実現に向けて、再生可能エネルギー電源の普及拡大に向けた議論が盛んである。これまで我が国ではRPS（Renewable Portfolio Standard）法を中心とした取り組みが中心であり、風力発電については2010年度に300万kWの導入目標が掲げられてきた。昨年度には洞爺湖サミットが開催され、これを契機として大きな自然エネルギー電源の導入目標が掲げられた。2008年に公表された総合資源エネルギー調査会・需給部会による「長期エネルギー需給見通し」¹⁾の中で示された自然エネルギー電源の最大導入ケースにおける累積導入量を第1表に示す。

一方、間欠性電源である自然エネルギー電源は、その発電出力の変動が電力システムの周波数維持や電圧維持に影響を与えると懸念されており、何らか

の対策が必要であることが指摘されている。風力発電が電力システムに与える影響と対策技術について、2004～2005年度にかけ総合資源エネルギー調査会・風力発電系統連系対策小委員会において議論がなされた。これを受け、2006年度には東北電力(株)から、新たに電力システムに連系する2MW以上のWF（Wind Farm）に対して、蓄電池などによる系統安定化対策が求められることとなった。また2008年度から（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による風力発電に併設する蓄電池システムに対する補助金制度も開始されている。こ

第1表 自然エネルギー電源の最大導入ケース

2008年に公表された総合資源エネルギー調査会・需給部会による「長期エネルギー需給見通し」の中で示された自然エネルギー電源の最大導入ケースにおける累積導入量を示す。

発電の種類	2005年度	2020年度	2030年度
太陽光発電	142万kW	1432万kW	5321万kW
風力発電	108万kW	491万kW	661万kW

*伊藤忠テクノソリューションズ(株) **電力ソリューション技術部

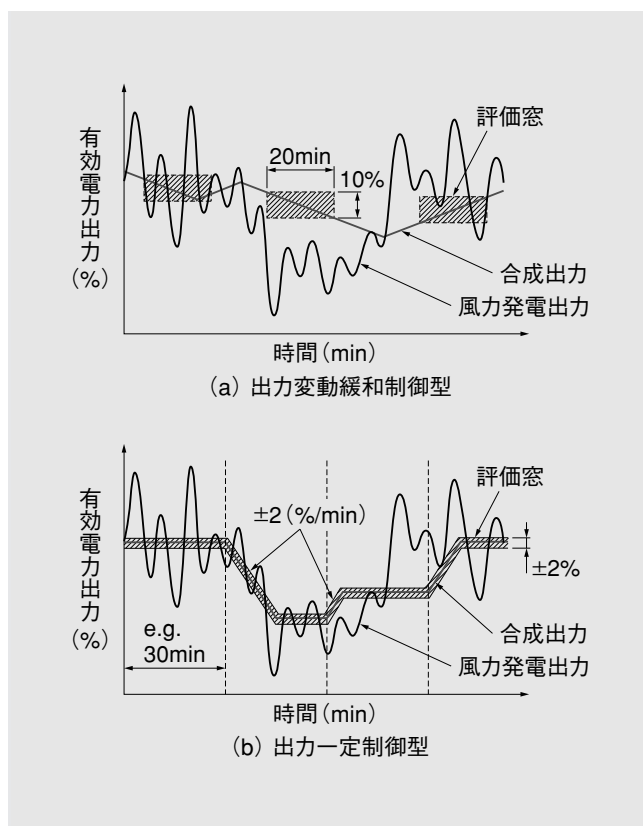


のような背景の下、我々は風力発電の予測技術を活用し、できる限り小容量の蓄電池で技術要件に適合するための制御・運用手法について検討し、実データを用いたシミュレーションにより制御性や運用性について評価を行ってきた⁽²⁾。本稿では、蓄電池併設風力発電システムの制御・運用手法の概要と評価結果について紹介する。

2. 蓄電池併設風力発電の技術要件

2.1 技術要件の概要

2006年度に東北電力(株)から提示された周波数変動対策に関する技術要件には、出力変動緩和制御型と出力一定制御型の2種類があり、それぞれ、第1図(a)、(b)に示す条件を満足することが求められることとなった。出力変動緩和制御型では任意の時刻から始まる20分間の出力変動をWF定格出力の10%以内に抑制することが求められている。一方の出力一定制御型では発電出力を $\pm 2\%$ 以内で一定とし、その電力目標値(kW)と電力量目標値(kWh)を事前に通告することが求められている。



第1図 蓄電池併設風力技術要件概要

東北電力(株)から2006年度に公表された蓄電池併設風力発電の技術要件の特長を示す。周波数変動対策のため、大幅に出力変動を抑制することが求められている。

2.2 技術要件が解決しようとする課題についての考察

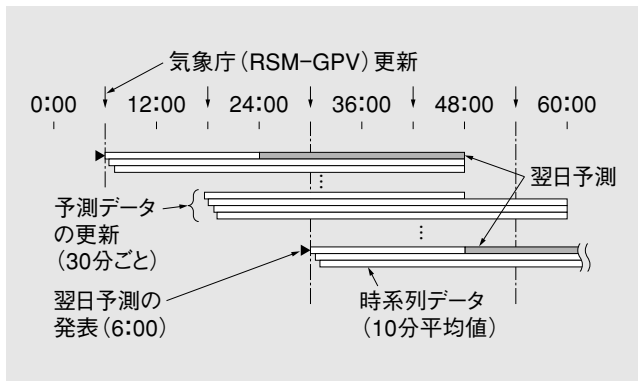
電力システムの電源設備にはそれぞれ役割があり、系統周波数を維持するLFC (Load Frequency Control: 負荷周波数制御) 電源とEDC (Economic Dispatching Control: 経済負荷運用) 電源の2種類に大別される。LFC電源は数分~数十分程度の需給バランスを維持するように運転され、EDC電源は発電出力を一定時間、一定出力とした運用がされる。現時点で風力発電の出力変動はLFC電源の容量不足の原因となることが指摘されており、いずれの技術要件もLFC電源への影響軽減が主たる目的である。出力変動緩和制御型は、発電出力の数分~数十分の変動抑制に主眼を置いており、LFC電源への影響を軽減することが目的である。

また、出力一定制御型では、事前に発電計画を通告することが求められており、これが実現すれば、風力発電の発電出力の変動を考慮したEDC電源の運用が可能となる。従って出力一定制御型が実現すれば、風力発電を連系容量の制約を受けない発電設備と位置づけられる可能性がある。更に、事前に通告した通りに風力発電を運用可能となれば、発電出力の高付加価値化に結びつく効果も期待される。

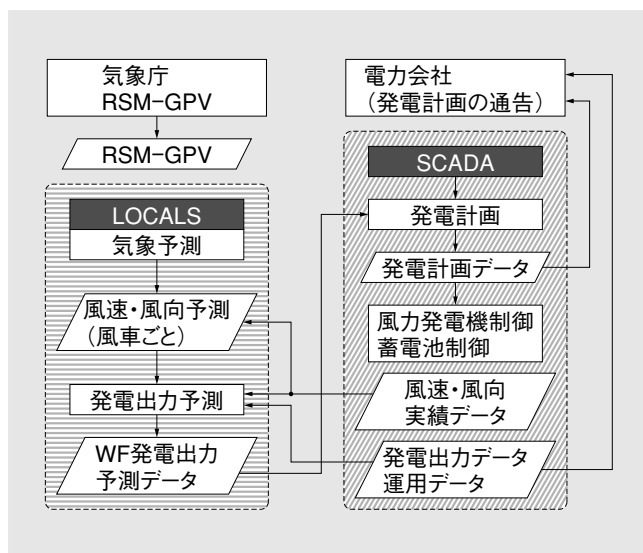
3. 風力発電の発電出力予測

3.1 概要

本検討で利用した風力発電予測手法は気象予測に基づくものである⁽³⁾⁽⁴⁾。予測システムでは、LOCALS (Local Circulation Assessment and Prediction System) により、気象庁から12時間ごとに表示される気象予測データであるRSM-GPV (Regional Spectral Model Grid Point Value) を基に予測地点における空間分解能、時間分解能を細分化して、WF内の各風車における風速・風向の予測を行う。更に予測された風速・風向データ及び風車の発電出力特性を考慮して、WF全体の発電出力の総和を予測する。予測データは10分平均値からなり、最大で48時間分の予測が可能である。本検討は2007年9月時点で行ったため、以上のような仕様であるが、2007年11月からRSM-GPVに相当するデータは日本域GSM-GPVデータへと変わり、予測時間が84時間まで伸び、1日に4回(3:00、



第2図 発電出力予測データの更新スケジュール
風力発電出力予測は、一日2回更新される気象庁のデータと逐次更新される実測値を用いて30分置きに10分データの配信を行う。



第3図 発電出力予測と運用・制御のフロー図
発電出力予測を行う予測サーバと蓄電池併設風力発電システムを管理するSCADAシステムとのデータのやり取りを示す。実測データを逐次やり取りすることで予測精度の向上を図る。

9:00, 15:00, 21:00) の発表となっている。また、21:00発表のデータは192時間先までの予測時間となっている。更にWFの風向・風速・発電出力の実績データを元に30分間隔で予測データの更新が行われる。第2図に発電出力予測の更新周期のタイムチャート図を示す。

発電予測データの更新には実運用データが必要であることから、予測システムとSCADA（監視制御装置：Supervisory Control And Data Acquisition）との間で予測データと実運用データの授受を定期的に行う。第3図に予測システムとSCADAシステム間のデータ授受のフロー図を示す。

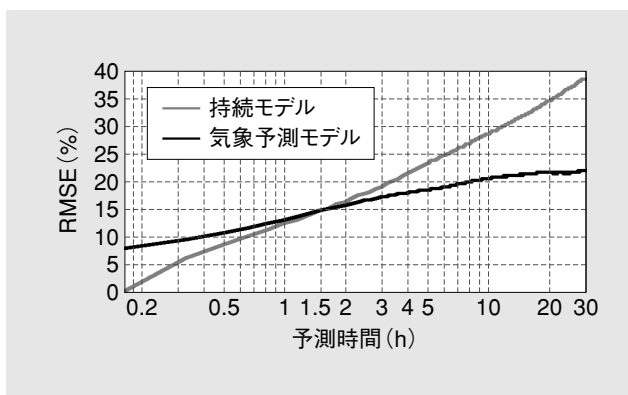
3.2 発電出力予測の精度検証

某WFの2006年11月～2007年8月における実運用データを基に、風力発電出力の予測精度の検証を

第2表 予測精度検証に用いたWFの諸元

予測精度の検証に用いた実測値を計測したWFの諸元とデータの諸元を示す。

WF定格出力	25.5MW
風力発電機定格出力	1500kW
ハブ高さ	63.6m
ロータ直径	77m
予測期間	2007年1月1日～2007年8月31日
学習期間	2006年11月1日～2006年12月31日
予測データ時間分解能	10min



第4図 予測時間と予測精度の評価結果

気象予測に基づく本予測手法は、持続モデル（現在の値が未来永劫続くと仮定）と比較して1.5h程度以上の予測時間でメリットが得られる。

行った。第2表にWFの諸元と予測に用いたデータの諸元を示す。“学習期間”は、風速の予測データからWFの発電出力を推定する際に用いる確率的予測手法の学習のために利用した期間であり、予測精度の検証は、“予測期間”に示した8か月間の実運用データである。

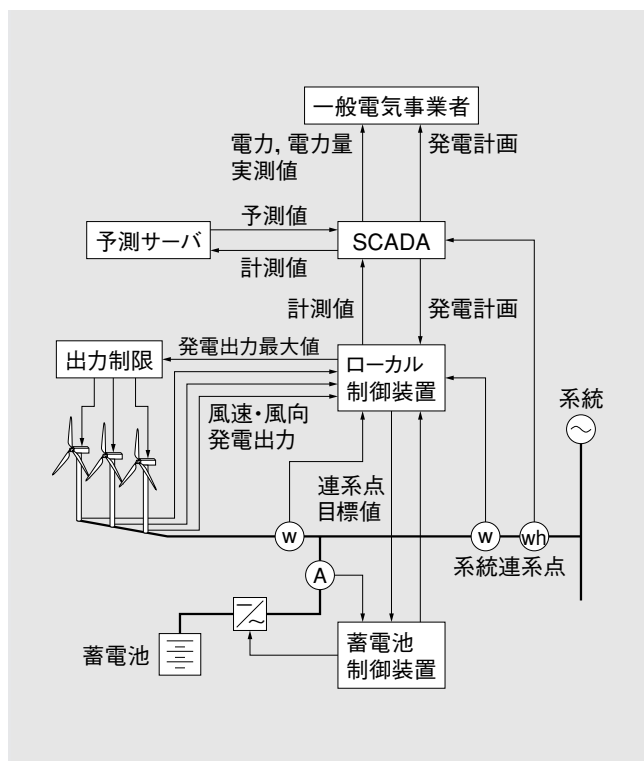
第4図に発電出力予測の精度を分析した結果を示す。持続モデルは、現在の発電出力が未来も変化せず一定であると仮定した予測モデルである。気象予測モデルの採用により、予測時間約1.5時間以上で発電出力の予測精度が向上しており、24時間後のRMSE値が15%程度改善される。但し、本検証結果は検証に用いたWF固有のものであり、条件が変われば予測精度も変わる。対象としたWFは風力発電機が1列に並んだ配置であり、風速・風向の変化に対する平滑化効果が低いため、高い予測精度が得難い設置条件である。条件の良いWFであれば、より高い予測精度が期待できる。

4. 出力一定制御型の制御・運用手法

周波数変動対策に関する技術要件の中で、出力

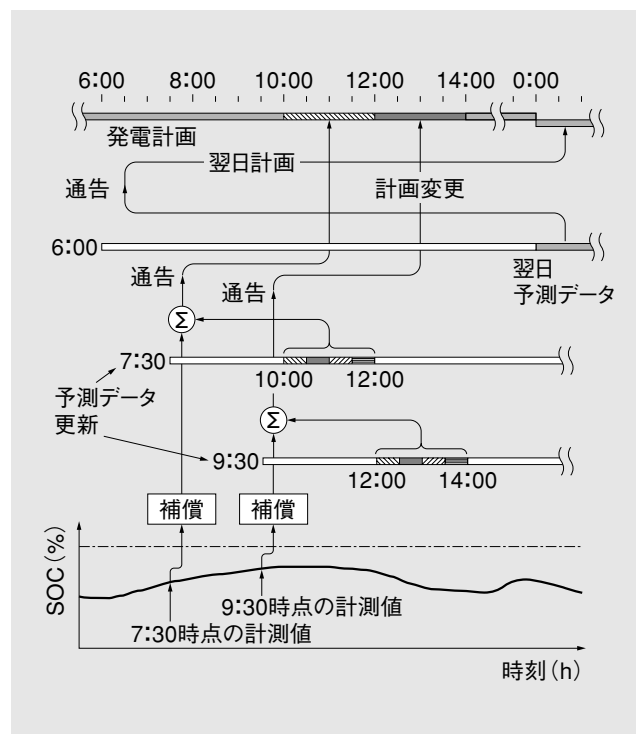
一定制御型では一般電気事業者への事前の発電計画（電力及び電力量）の通告が求められている。WFに蓄電池を併設して発電計画に基づいた運用を行うためには、発電出力予測の活用が重要である。発電計画が決定されれば、これに基づいて蓄電池の充放電量を制御して系統連系点の潮流を計画値に一致するよう制御すればよい。一方、風力発電機については入力エネルギー以上の発電出力を得ることは不可能であるが、発電出力を制限することはできる。風力発電機出力制限機能を用いれば、発電出力予測値よりも実際の発電出力が大きい場合に、発電出力を制限することで、蓄電池への充電量を抑えて目標値を維持する運転が可能となる。系統連系点の潮流を目標値に沿って運用する制御機能はローカル制御装置に実装し、蓄電池の充放電電力と風力発電機の発電出力最大値を決定する。第5図にこれらの制御機能を実現するためのシステム構成図を示す。

出力一定制御型の技術要件において、発電計画の通告時間や発電計画の変更の可否については明示されていない。但し、EDC電源の運用への反映を考慮すれば、前日の通告と必要に応じた1~2時間前での通告変更が最低限求められる機能である



第5図 出力一定制御型システム構成図
 出力一定制御型を実現するためには、予測機能、監視・計画機能、機器制御などの機能分担を図ったシステムが必要である。

と想定される。蓄電池については充放電可能な容量も限りがあり、予測精度が悪ければ蓄電池のSOC（充電状態）の管理が困難となり、蓄電池が充電末期や放電末期に到達し、発電出力を制御できない状態に陥る可能性を有している。従って蓄電池のSOCに応じて逐次発電計画を変更できれば、蓄電池の運用性も向上する。実際には、1時間ごとに発電計画を変更すれば1日の間に絶え間なく24回の通告変更が発生することとなり、現状では一般電気事業者のEDC電源の運用への反映は困難であると思われる。このような運用が受け入れられるか否かは定かではない。しかし一定周期での通告変更が可能であれば、予測精度が向上するだけでなく、必要な蓄電池容量を低く抑える効果が期待できることから、本検討では発電計画が一定時間間隔で変更可能であることを前提として、運用方法を検討することとした。発電計画は通信系の遅延を考慮して、30分前に行うことを想定する。また、計画変更を行う段階では蓄電池のSOCを考慮して発電計画値を補正する。第6図に通告変更の時間間隔を2時間、通告時間を2時間とした場合の発電計画のタイムチャートを示す。



第6図 出力一定制御型運用タイムチャート
 出力一定制御では、翌日の発電計画を行い、更に逐次発電計画を修正することでより小容量の蓄電池で技術要件を満たす効果が期待できる。



5. 出力一定制御型の評価

5.1 評価方法

風力発電事業では、電力価値やRPS価値などの売買により初期コストが回収可能であるか否かで事業採算性が判断される。従って事業採算性を確保するためには風況の善し悪しだけでなく、発電価値の向上と初期コストの低減が重要な課題である。蓄電池併設風力発電システムにおいては蓄電池設備が初期コストの増大要因であるため、できる限り小容量の蓄電池で技術要件を満たすことが求められる。このような背景から、どの程度の蓄電池容量があれば技術要件を満足できるか、どのような運用をすれば効果的であるかについて、シミュレーションにより評価を行うこととした。シミュレーションでは、前出の気象予測に基づく発電出力予測の精度検証に用いた実測データを用いた。但し、実測データは10分平均値であり、制御性を評価するには不十分であるため、風力発電出力の短周期の変動を補間して1分平均値のデータを作成して評価を行うこととした。1分平均値の補間には簡便にガウス分布に従う乱数を使用した。実機の1分平均値の実測値の特性を考慮して、風力発電機の出力量ごとに分散を変化させる特性とした。

また、蓄電池はNAS（ナトリウム-硫黄）電池の利用を想定した。NAS電池のヒータ損失は常時平均的に発生すると仮定した。電力変換装置を含む充放電効率は90%と仮定した。また、定格出力に対して常時120%の充放電が可能であると仮定した。第3表にシミュレーションに用いたNAS電池の諸元を示す。

本検討ではWFの定格容量を100%として、蓄電池kW容量を変更した場合の滞在率の評価を行うこととした。ここで、滞在率は（技術要件を満たす時間の総和/全運転時間）×100%と定義した。

第3表 NAS電池諸元

シミュレーションで使用を仮定したNAS電池の諸元とシミュレーション条件を示す。

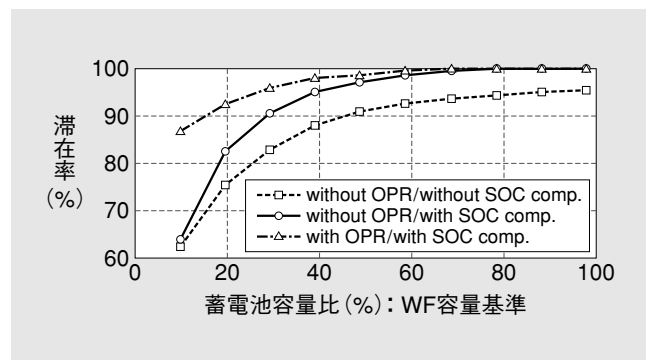
最小バンクの定格容量	500kW
連続定格	120%
総合充放電効率	90%
平均ヒータ損失	4%
定格放電時間	7.2h

現状では技術要件の中で滞在率の概念は定義されておらず、平常時には100%の滞在率を達成することが求められている。しかし、技術要件を常に100%満足することは困難であり、運用手法の優劣の評価も得難いことから、技術要件を満たさなくても良い一定量の運転時間（平常時以外を含む）が許容されると仮定して評価を行うこととした。出力一定制御型の滞在率を左右する項目として、出力制限機能の有無、蓄電池のSOC管理機能の有無、通告時間及び通告周期を変更した場合について比較評価を行うこととする。

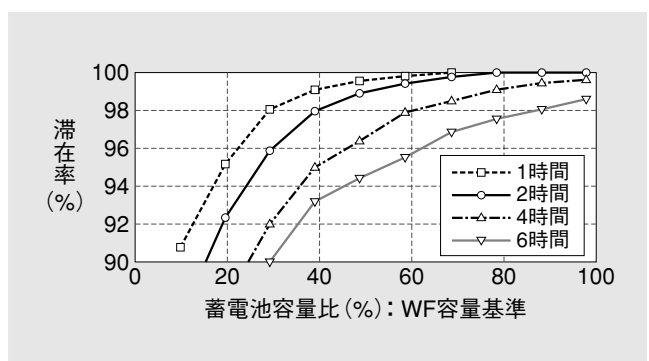
5.2 評価結果

まず、通告時間と通告周期の双方を2時間とした場合を例に取り、第7図に出力制限機能（OPR）と蓄電池のSOC管理機能の有無が滞在率に与える影響について評価した結果を示す。出力制限機能は蓄電池容量が小さい場合の滞在率改善に大きく寄与し、SOC管理機能は蓄電池容量が大きい場合の滞在率改善に大きく寄与することが分かる。

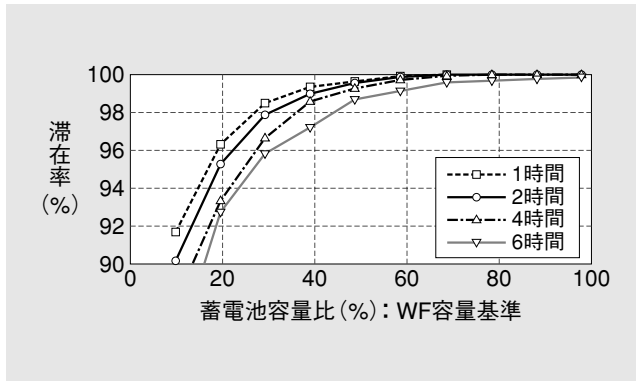
次に、第8図に通告時間及び通告周期を1, 2,



第7図 出力制限機能と蓄電池SOC管理機能の影響
風力発電の出力制限機能を活用すると蓄電池容量が小さい場合の性能を、蓄電池のSOC管理を行うと蓄電池容量が大きい場合の性能を大幅に改善可能である。



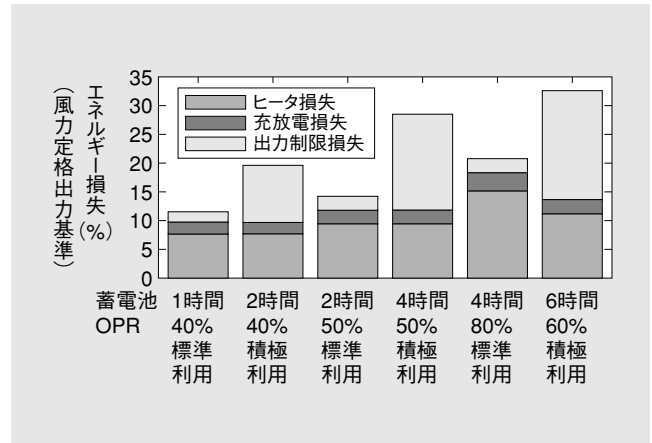
第8図 通告時間及び通告周期の影響
発電計画を逐次見直す頻度を高くすることで、より小さい蓄電池容量で技術要件を満たすことが可能である。



第9図 出力制限機能を積極的に活用した場合
出力制限機能を積極的に活用することで発電計画の修正頻度を低くしても技術要件を満たす性能を維持できる。

4, 6時間と変更した場合の評価結果を示す。6時間とした例では、6時間ごとに6~12時間先までの発電計画を確定し、発電計画確定後は通告通りの運転を行う。通告時間及び通告周期が長くなるほど滞在率は大きく低下し、滞在率99%を達成するために必要な蓄電池容量は、通告時間及び通告周期を1時間とした場合で40%程度であるのに対して、通告時間4時間では倍の80%程度の蓄電池容量が必要である。これは予測精度の低下だけでなく、蓄電池のSOC管理の時間遅れが大きいことによる制御性能の悪化の影響が大きいためである。

次に、**第9図**に出力制限機能をより積極的に活用した場合の評価結果を示す。出力制限機能を用いれば、蓄電池を用いることなく発電出力の最大値を制御することが可能である。従って、予測誤差を考慮して発電計画を低めに設定することで、より少ない蓄電池容量で滞在率を向上することが可能となる。出力制限機能を積極的に活用することで、特に通告時間及び通告周期が長い場合の時間滞在率を大きく改善することが可能である。但し、出力制限機能を積極的に活用することで、得られる発電出力は大きく低下してしまう。そこで、出力制限機能を通常の使い方をした場合 (**第8図**) と積極的に活用した場合 (**第9図**) において、滞在率が99%程度となる場合のエネルギー損失の大きさを比較した。**第10図**に風力発電設備の利用率に換算したエネルギー損失量の比較結果を示す。蓄電池を併設することで通告時間及び通告周期を1時間、蓄電池容量40%とした場合で10%程度の利用率の低下を招く。通告時間及び通告周期を6時間とした場合では60%程度の蓄電池容量で滞在率



第10図 運用手法ごとのエネルギー損失量の評価
出力制限機能を積極的に活用すると、技術要件は満たす性能は向上できるが多くのエネルギー損失を発生し、事業性を考慮すると現実的な選択とは言えない。

99%を達成可能であるが、30%程度の利用率の低下を招く。平均的なWFの利用率が25~35%程度とすると、ほとんど売電電力量が得られないことを示している。

6. む す び

低炭素社会の実現に向けて、電力システムの安定性を損なうことなく、自然エネルギー電源を普及拡大していくことが求められている。本稿では風力発電予測技術を活用した蓄電池併設風力発電システムの出力一定制御技術の検討とシミュレーションによる評価を通して、風力発電出力の安定化だけでなく計画発電の実現可能性を示した。また、時間率として1%程度の技術要件からの逸脱が許容でき、柔軟な発電計画の変更が可能であれば、蓄電池の必要容量を低く抑えることが可能であることを示した。

蓄電池併設風力発電システムは、自然エネルギー電源の設置者側に電力システムの安定性を損なわないよう一定の責務を求めるものであり、蓄電池併設によるイニシャルコストの増大など、事業採算性の悪化が危惧される。しかし、蓄電池の利用により計画発電が可能となれば、売電単価の向上や、系統連系容量の制約を受けない発電設備ができるなど、付加価値を向上する効果も期待できる。従って、事業採算性確保のためにはイニシャルコスト低減と発電出力の付加価値向上が重要課題であり、更なる発電出力予測の精度向上や発電計画の機能向上、蓄電池の運用機能の向上など様々な

課題を解決していく必要がある。

また、本稿で示したシステムの検証結果はWFの実運用データを基にしたものであり、実運用に近い検証結果ではあるが、今後実システムを構築していく上で想定される課題にも取り組んでいく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

- (1) 総合資源エネルギー調査会需給部会，2008年
- (2) T. Tanabe, et al. : “Generation Scheduling for Wind Power Generation by Storage Battery System and Meteorological Forecast”, IEEE - PES/GM 2008, Proceeding, 2008
- (3) S. Enomoto, et al. : “Prediction of Power Output from Wind Farm Using Local Meteorological Analysis”, European Wind Energy Conference, pp. 749~752
- (4) R. Tanikawa, : “Development of the Wind Simulation Model by LOCALSTM and Examination

of Some Studies”, Fluid Dynamics Research, No. 22, 2003, pp. 405~415

(5) “Large Scale Integration of Wind Energy in the European Power Supply : analysis, issues and recommendations”, EWEA report, 2005

《執筆者紹介》



谷川亮一 Ryoichi Tanikawa

伊藤忠テクノソリューションズ(株)



青木 功 Isao Aoki

伊藤忠テクノソリューションズ(株)



田邊隆之 Takayuki Tanabe

電力系統解析業務に従事