

風力発電系統連系可能量拡大策

— 既設風力発電設備の発電電力と20分間変動電力の解析結果に基づく —

日本風力発電協会 系統連系WGグループ 齊藤 哲夫
電源開発株式会社

はじめに

この度、風力発電事業者殿および東北電力(株)殿の、ご協力により提供戴いた既設風力発電設備の発電電力と20分間変動電力の解析結果に基づく「風力発電系統連系可能量の拡大策」を報告する事ができました。

ご協力戴いた、関係各社に感謝を申し上げると共に、今後とも風力発電導入量拡大策の検討に際して、種々のご指導・ご協力を戴けると幸いです。

経緯

日本風力発電協会と風力発電事業者懇話会とは、風力発電導入量の拡大を目的として、2006年度より合同で、「風力発電系統連系対策に係る勉強会」を開催し、種々の問題点とその対策などを両会員の共通認識とすべく、毎回30名から60名の参加を得て、合計5回の講演会・勉強会を開催してきた。

また勉強会終了後は、実際の数値に基づき具体的な検討を進めるべく、日本風力発電協会技術部会 系統連系WGを中心に計11回の活動を行ってきた。

この内容は、合同勉強会の幹事会でも審議を行うと共に、名称を合同勉強会から合同検討会に変更した。

風力発電と電力品質維持

風力の連系容量が増大すると、特に軽負荷時間帯の領域でランダムに変動する風力の発電電力と需要変動との合計値に対する、電力会社所有の発電設備による調整力が不足する可能性が高まり、周波数変動を生じる可能性がある

- 短周期変動対策=LFC容量不足対策

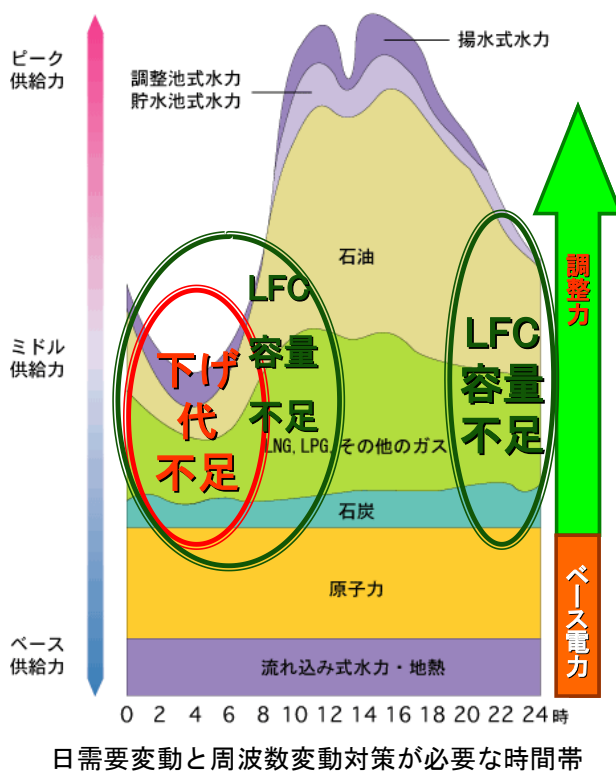
深夜帯においては、上記に加えて電力会社所有発電設備には、運転可能最低出力による制約があるので、風力発電による発電電力が増大すると、周波数変動を生じる可能性がある

- 長周期変動対策=下げ代不足対策

従って、風力発電導入量拡大を図るには、風力発電設備の発電電力および20分間変動電力の特性と、電力会社所有発電設備の特性および年間・月間・日間(曜日)・時間帯の需用電力などとの協調を十分に図る必要がある

20分間変動電力公表値の例

東北電力殿：23% (47万kW 連系時の推定値)
九州電力殿：16% (15万kW 連系時の測定値)



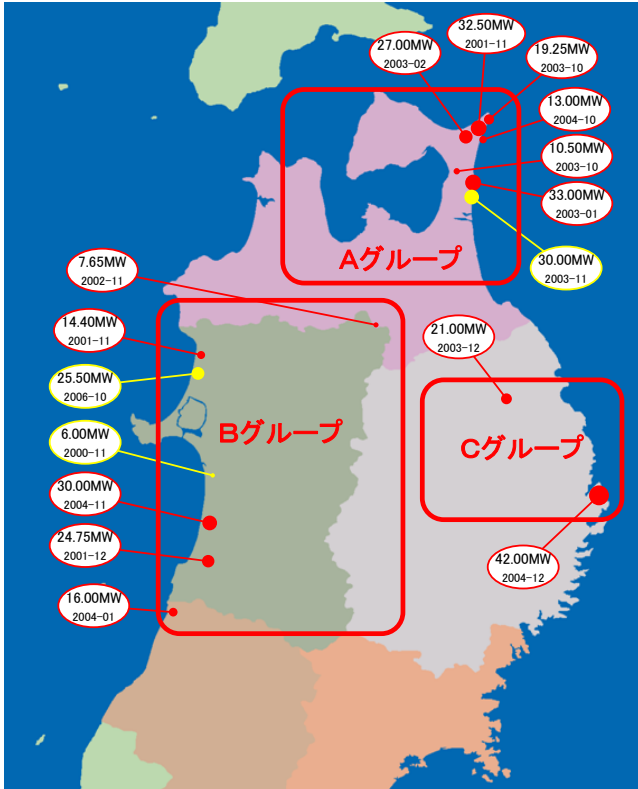
周波数管理目標値

各電力会社の周波数管理目標値は、以下の通りである。

地域	最大偏差[Hz]
北海道(50Hz)	±0.3
東地域(50Hz)	±0.2
中西地域(60Hz)	±0.1 時間滞在率95%以上
沖縄地域(60Hz)	±0.3

解析内容と解析条件

2007年3月末現在、東北電力管内には337台、398,155kWの風力発電設備が稼働中であるが、今回の解析は、1年間の運転実績データが揃っている事などの条件から、13ウインドファーム、291,950kWを対象とした。



ウインドファーム位置

蓄電システム無しの場合と、有の場合において、以下のケース毎に発電電力および20分間変動電力および最大電力をサンプリング周期毎に算出した。

- 東北電力管内一括制御（一括制御）
- 県別を基本とした制御（グループ制御）
- ウインドファーム別制御（個別制御）

蓄電池システム仕様

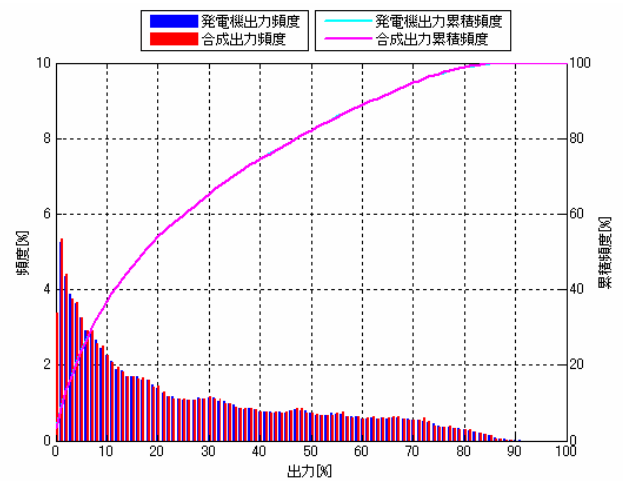
蓄電システムの所要kW容量および所要kWh容量は、これまで検討されてきた「風力発電系統連系対策小委員会中間報告書（案）：平成17年6月23日」、「風力発電導入拡大のための周波数変動対策としての蓄電池システムの導入に関する調査：平成18年6月」、「平成17年度に日本風力発電協会会員が実施した2ウインドファームの解析結果」、および現状の諸条件をふまえ、**風力発電事業が成立する限度と考えられる設備投資額**から次の値とした。

- 所要kW容量
=ウインドファーム定格の20%kW
- 所要kWh容量
=ウインドファーム定格の20%kWh
(20%kW 1時間)

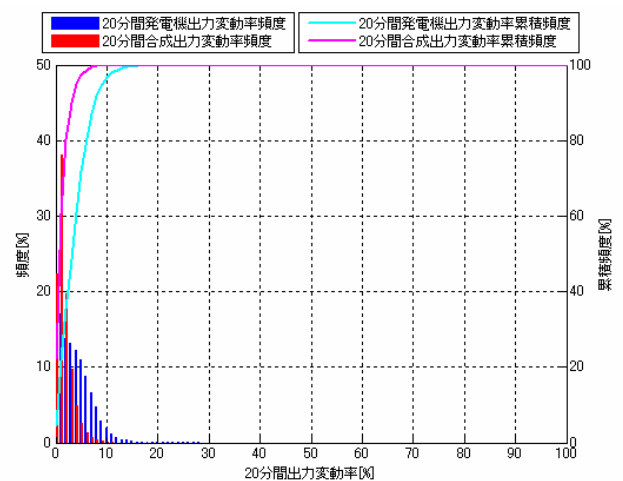
管内一括制御

蓄電池システムは、全ウインドファームの発電電力データ合計値に対して、一括で制御する方式である。

2005年4月から2006年3月までの1年間における、発電電力と20分間変動電力の出現頻度分布および累積出現頻度を以下に示す。



一括制御：年間発電電力と出現頻度分布

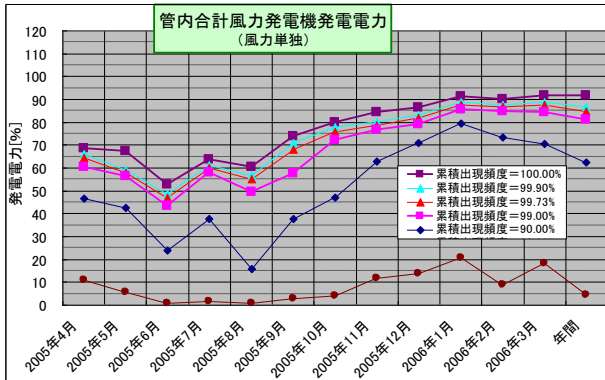


一括制御：20分間変動電力と出現頻度分布

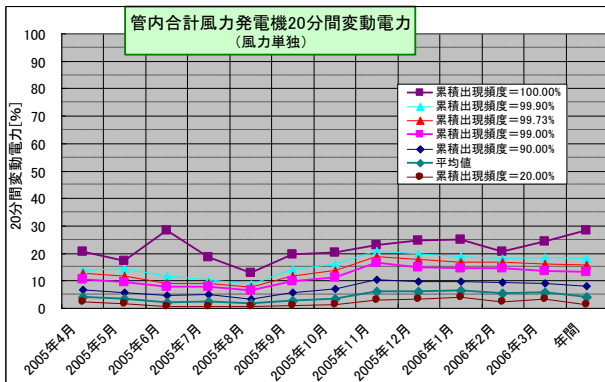
- ウインドファーム間の平滑化効果により、風車単独でも20分間変動電力の最大値(最大出力変動率)は、28.22%と小さい。(累積出現頻度が99.90%の場合は、18.05%)

- 蓄電システムを設置した場合の 20 分間変動電力の最大値は、10.61%となる。
(累積出現頻度が 99.90%の場合は、9.35%で風車単独時の約 1/2 となる)
- 最大値縮小率および平均値縮小率共に、60%を超過し、20%kW 容量および 20%kWh 容量の蓄電池システムで、十分な効果を得ている。
- 蓄電システムの有無による発電電力の最大値および最小値の差は、僅かである。

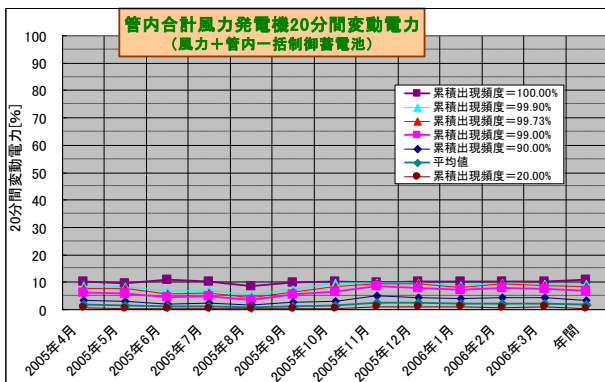
管内一括における月別の発電電力と 20 分間変動電力を以下に示す。



管内一括：月別発電電力（蓄電池なし）



管内一括：月別 20 分間変動電力（蓄電池なし）

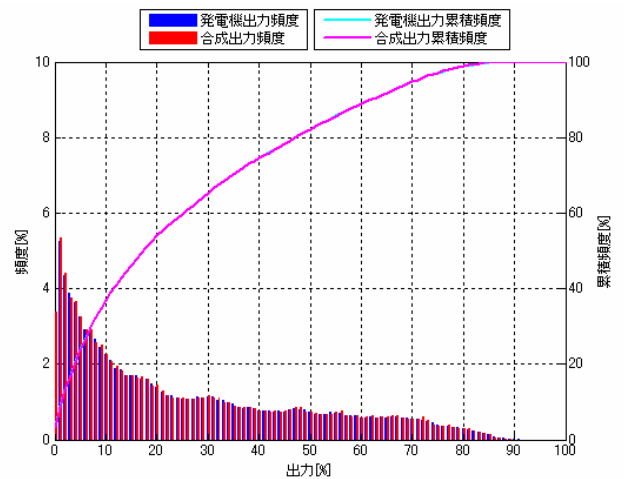


管内一括：月別 20 分間変動電力（蓄電池あり）

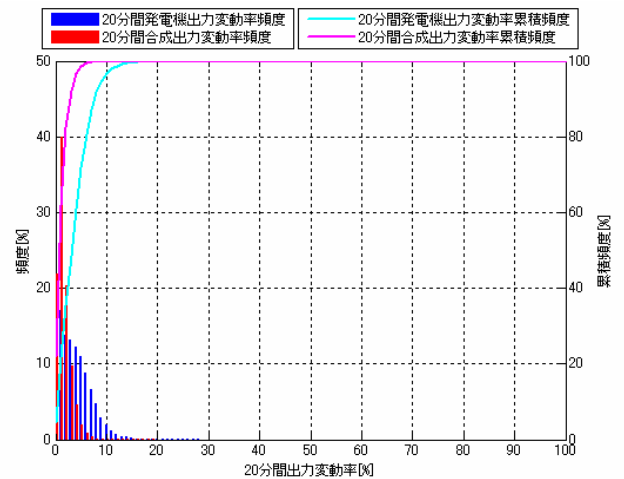
- 発電電力の最大値は、2006 年 3 月の 91.49%で、最小値は、2005 年 6 月の 52.65%である。
(累積出現頻度が 99.90%の場合は、88.78%と 48.50%)
- 風車単独の 20 分間変動電力最大値は、2005 年 6 月の 28.22%で、次は 2006 年 1 月の 24.97%である。(累積出現頻度が 99.90%の場合は、11.95%と 18.98%)
- 合成出力の 20 分間変動電力最大値は、2005 年 6 月 10.61%で、次は 2005 年 12 月の 10.09%である。(累積出現頻度が 99.90%の場合は、9.35%と 9.84%)

グループ制御

蓄電池システムは、県別を基本としたグループ内の全ウインドファーム発電電力データ合計値に対して、一括で制御する方式である。(今回は、県別を基本としているが、実際の適用に際しては、グループ化するウインドファームの数やその地域の制約は無い。3 グループ合計の発電電力、20 分間変動電力を以下に示す



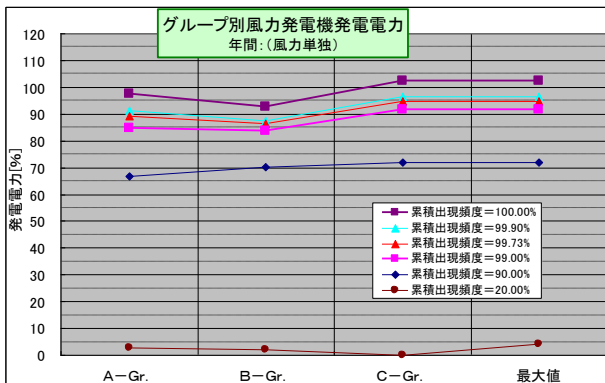
グループ制御：年間発電電力と出現頻度分布



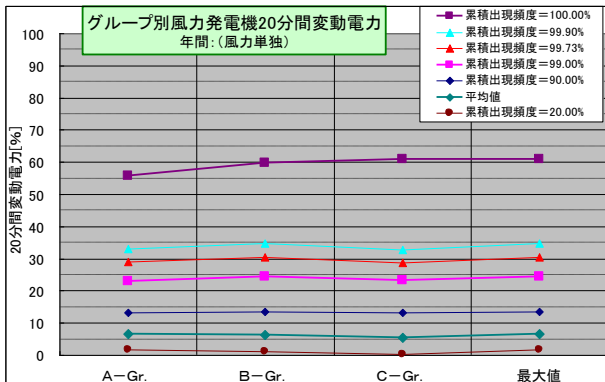
グループ制御：20 分間変動電力と出現頻度分布

- ▶ 蓄電システムを設置した場合の 20 分間変動電力の最大値は、18.95%となる。
(累積出現頻度が 99.90%の場合は、9.14%で風車単独の約 1/2 となる)
- ▶ 最大値縮小率は、32.8%と一括制御の場合に比して平滑化効果は低減しているが、累積出現頻度が 99.90%の場合は、同等以上の平滑化効果を得ている。

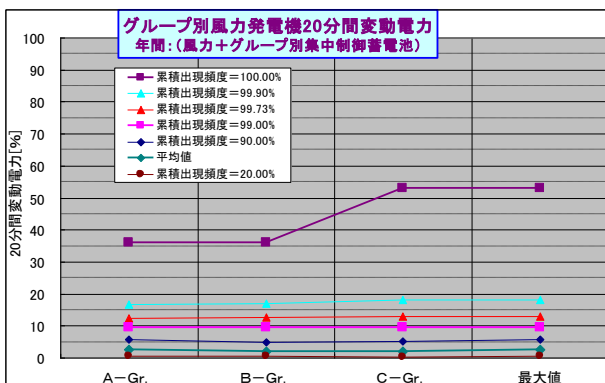
各グループ別の発電電力と 20 分間変動電力を以下に示す。



グループ制御：発電電力と出現頻度（蓄電池なし）



グループ制御：20分間変動電力と出現頻度（蓄電池なし）

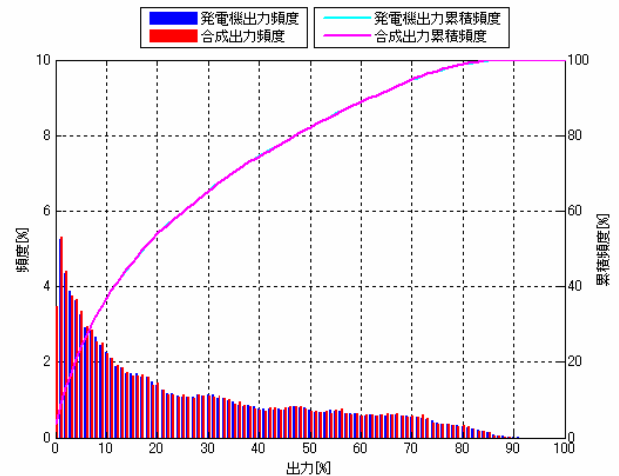


グループ制御：20分間変動電力と出現頻度（蓄電池あり）

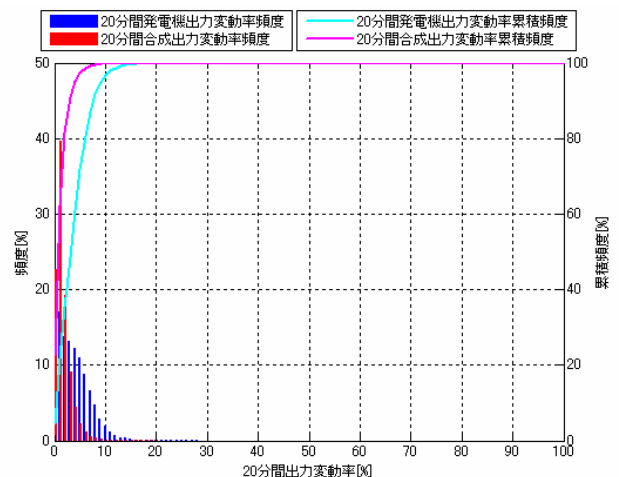
- ▶ Cグループは、他グループに比してウインドファーム数が少ないため、ウインドファーム間の平滑化効果が少ない。
- ▶ 累積出現頻度が 99.90%以下の領域では、3グループの差は少ない。

個別制御

蓄電池システムは、個別のウインドファーム発電電力データ合計値に対して、制御する方式である。個別制御合計の発電電力、20分間変動電力を以下に示す。



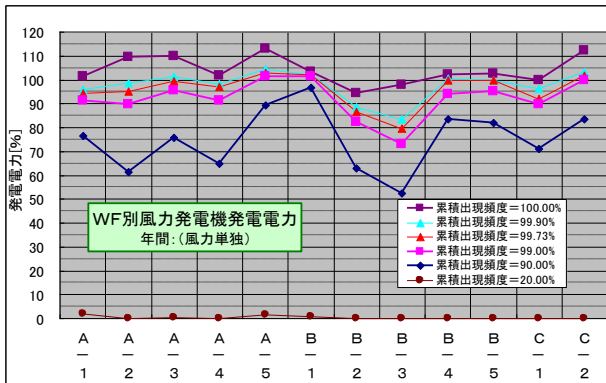
個別制御：年間発電電力と出現頻度分布



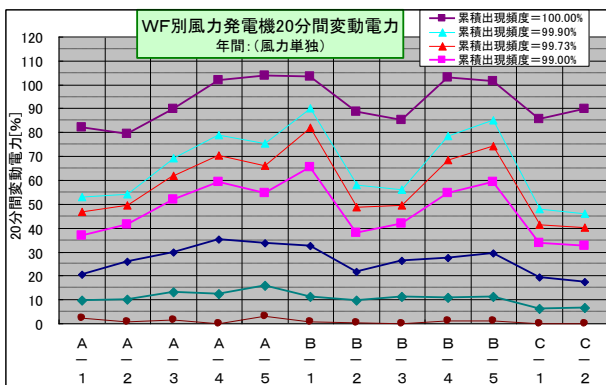
個別制御：20分間変動電力と出現頻度分布

- ▶ 蓄電システムを設置した場合の 20 分間変動電力の最大値は、20.26%となる。
(累積出現頻度が 99.90%の場合は、11.13%で風車単独の約 1/2 となる)
- ▶ 最大値縮小率は、28.2%と一括制御の場合に比して平滑化効果は低減している。また、累積出現頻度が 99.90%の場合も、平滑化効果は低減している。

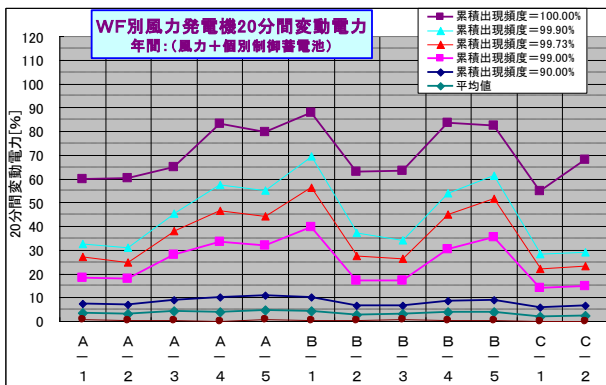
各ウインドファーム別の発電電力と20分間変動電力を以下に示す。



個別制御：発電電力と出現頻度（蓄電池なし）



個別制御：20分間変動電力と出現頻度（蓄電池なし）



個別制御：20分間変動電力と出現頻度（蓄電池あり）

各WFの差が見られるが、

- 累積出現頻度が 99.00% の場合の 20 分間変動電力の最大値は、風車単独の場合が 65.28% で、蓄電池システム付加の場合は 39.78% であった。
- 累積出現頻度が 90.00% の場合の 20 分間変動電力の最大値は、風車単独の場合が 35.24% で、蓄電池システム付加の場合は 10.98% であった。

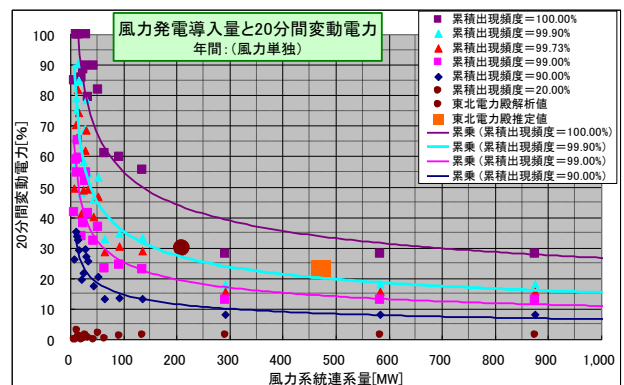
系統連系可能量の推定

ここまで記した、発電電力と20分間変動電力は、解析対象が 291,950 kW で、ウインドファーム数が 13 箇所である。また、蓄電池システム設置時とは、既設ウインドファームを対象に蓄電池システムを増設した場合の解析結果と言える。

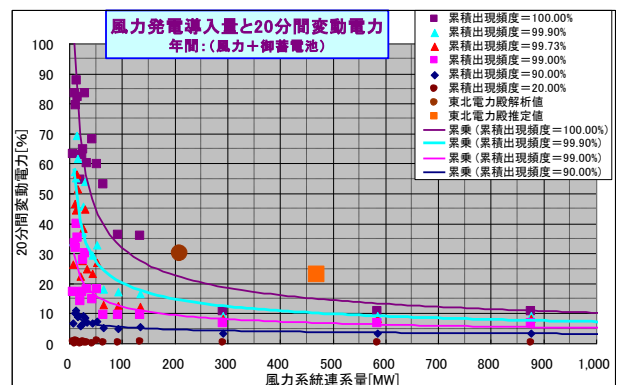
従って、今後の風力発電系統連系量拡大の手順を考慮し、既設ウインドファームの設備容量を現状の2倍とした場合の発電電力と20分間変動電力も算出し、風力発電連系可能量の拡大策の実施手順を記す。

①ウインドファーム間の平滑化効果

ウインドファーム数が増えると、それぞれの建設地点が異なることから、平滑化効果が大きくなる。今回の解析結果から得られた、平滑化効果の様相を以下に示す。



ウインドファーム間の平滑化効果による20分間変動電力（蓄電池なし）



ウインドファーム間の平滑化効果による20分間変動電力（蓄電池あり）

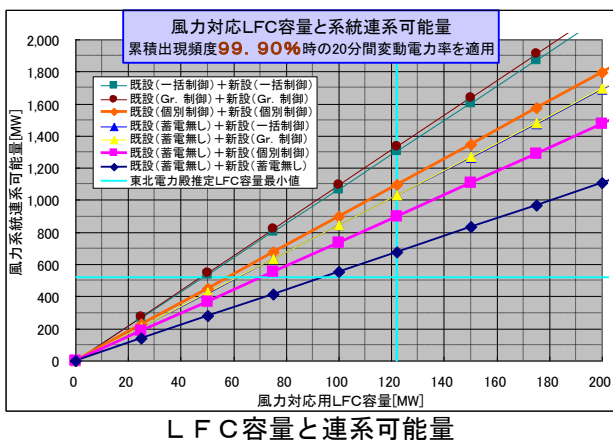
- 1 百万 kW 連系時において、累積出現頻度が 99.90% の場合の 20 分間変動電力は、蓄電池なし = 15.29%、蓄電池あり = 7.20% であった。

②各制御方式による系統連系可能量の推定

風力発電系統連系可能量の推定には、「下げ代対策（長周期変動対策）」として「発電電力」が、また「LFC容量対策（短周期変動対策）」として「20分間変動電力」の値と、年間・月間・日間（曜日）・時間における、需用電力値とこれに対応した電力会社発電設備の運用状況とを、合わせて検討を行う必要があるが、**累積出現頻度が何パーセントの値における発電電力および20分間変動電力値を適用するかも、重要な問題である。**

従来は最大値変動率算出に、累積出現頻度が100.00%の値を適用してきたが、この場合、本解析結果で最大値を示した2005年6月11日深夜におけるケースの様に、1年間で30分程度の事象も含まれるので、要求仕様に対する設置システムのコストが大幅に増加する事になる。

「発電電力」と「20分間変動電力」の解析結果から、現在公表されている「風力対応LFC容量（122MW）」と「許容下げ代（250MW）」による「系統連系可能量」を以下に示す。



累積出現頻度 99.90%を基準とし、風力対応LFC最低容量が122MWの場合における系統連系可能量は以下となる。

- 風車単独（蓄電池なし）：676MW
- 個別制御蓄電池システム摘要時：
 - ・ 増設中 = 899MW
 - ・ 全WF設置時 = 1,096MW
- グループ制御蓄電池システム摘要時：
 - ・ 増設中 = 1,030MW
 - ・ 全WF設置時 = 1,305MW
- 一括制御蓄電池システム摘要時：
 - ・ 増設中 = 1,034MW
 - ・ 全WF設置時 = 1,335MW

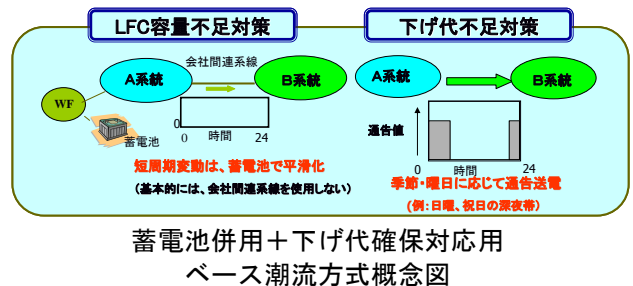
- 実際には、「①ウインドファーム間の平滑化効果」により、上記数値は更に増加する事が期待できる。

系統連係可能量の拡大策（会社間連系線活用）

風力発電機単独での制限値以上の系統連系を望む場合、「LFC容量対策（短周期変動対策）」に関しては、蓄電池システムを併設することで、対策可能である。

しかしながら、風力発電機単独、蓄電池システム併設のいずれの場合も「下げ代対策（長周期変動対策）」が必要となる。

この下げ代対策として、「会社間連系線の活用」がある。風力発電系統連系対策小委員会においても、会社間連系線の活用に関して検討を行ってきたが、それぞれの対策を分離して考えると、小委では「理論上組み合わせが可能であるが、より親和性の高い案」としての選択がなされず、詳細検討を行わなかった「**案ⅢB：蓄電池併用+下げ代確保対応用ベース潮流**」の適用が効果的と言える。



- ベース潮流送電は、下げ代確保対応用（広域的運営）に限定
（ベース潮流送電に伴う、LFC調整力増加は、付帯効果）
- 蓄電池システムは、20分間変動電力抑制用（周波数維持努力義務）に限定
（同時同量かつ整形した通告送電は、別枠）
- 深夜帯でも、連系線の空き容量がない場合は、風車の出力制限または解列を実施

おわりに

日本風力発電協会と風力発電事業者懇話会との合同で、風力発電導入量の拡大を目的とし勉強会・検討会を開催してきました。

報告書全文は122ページ、パワーポイント64スライドであり、CDで販売しております。ご希望の方は、事務局へ連絡願います。