



iea wind

Task
25 変動性電源
大量導入時の
エネルギーシステムの
設計と運用

風力発電大量導入時の変動性と予測可能性

風力発電は、絶えず変化する風によって発電されます。このため、出力は常に変動しています。風力発電の変動は、多くの風力発電所が電力系統で集合化されることで平滑化されます。風力発電所を集合化することで、出力予測の精度も向上します。予測精度は数時間先までは妥当ですが、数日先になるとその精度は低下します。予測システムは、不確実性についての情報を提供することができます。

風力発電にはどのくらいの変動性があるか？

風車1基であれば、定格運転から数秒で停止したり、強風時に迅速に起動したりします。しかし、電力系統のエリア内にある数百基、数千基の風車の**集合化**(アグリゲーション)された出力では、より滑らかに変動します(図1)。秒単位や分単位の変動は、風車の数が増えるほど平滑化されます。また、複数の風車が数百km離れた場所に分散している場合には、1時間毎の変動も小さくなります。

風力発電が大量導入された際の変動は、風資源の変動の大きさや、風力発電所がエリア内にどれだけ分散して配置されているかに依存します。一般的に風力発電が大量導入された際の1時間あたりの出力変化速度は、設置容量の±10%以内、大規模なエリアでは±5%以内となっています。つまり、10,000 MWの風力発電では、1時間に500 MWや1,000 MWを超える変化はほとんどないということです。これは、需要の変化と比較すべきでしょう。ピーク需要が43,000 MWの電力系統(スペイン)の場合、需要は1時間に3,000 MW以上、通常は1日に1回変化します。風力発電の5~15分の変化は、1時間の変化よりも少なくなります。

風力発電の出力変化速度はどの程度か？

極端な状況では、1時間の出力変化が風力発電の設備容量の20%以上になることもあります。最も極端なケースは暴風雨で、風速が20~25 m/sを超え、風車は自身を保護するため定格出力から強制停止します。

しかし、暴風雨の前線は通常、数百kmの地域を通過するのに数時間かかります。風力発電大量導入時では、これは総出力の減少が2~6時間持続することになるでしょう。このような激しい暴風雨がすべての国で毎年発生するわけではありませんが、暴風雨の多い地域では年に数回発生することもあります。

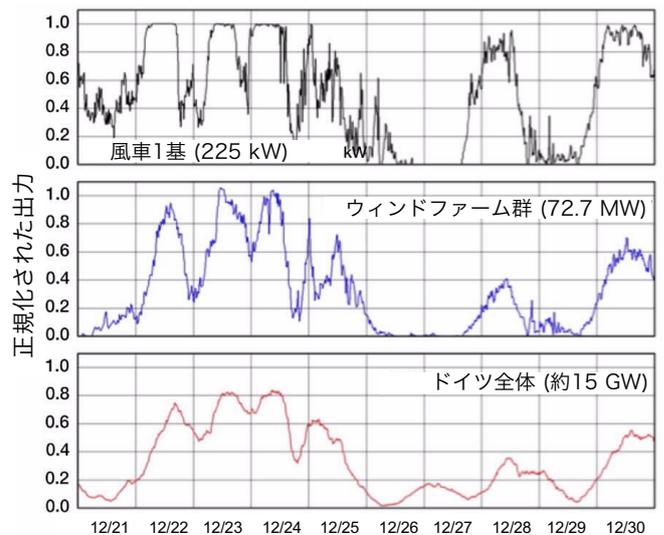


図1. 風力発電所のあるグループ(中央)を集合化すると、単一の風車(上)の短期の出力変動が平滑化される。ドイツ全体(下)のすべての風車からの出力を集合化すると、変動が更に滑らかになる。中央のグラフに見られるように、狭いエリアで集合化すると、定格容量を超える場合がある。
(出典: Task 25 第1期最終報告書, 2009)

風力発電はどのくらいの精度で予測できるか？

数時間以上先の風力発電の出力予測の際は、気象予測モデルによる風速予測が用いられます。風力発電の出力予測は1990年代から進化を続けており、現在も進化しています。風力発電の出力の日曲線の全体的な形状は1日前に予測することが可能です(図2)。しかし、例えば昼過ぎだけに生じる強風を午前10時に予測するといった場合に、出力や強風の発生時刻の両者に大きな誤差が生じることがあります。風力発電の出力予測の精度は、実

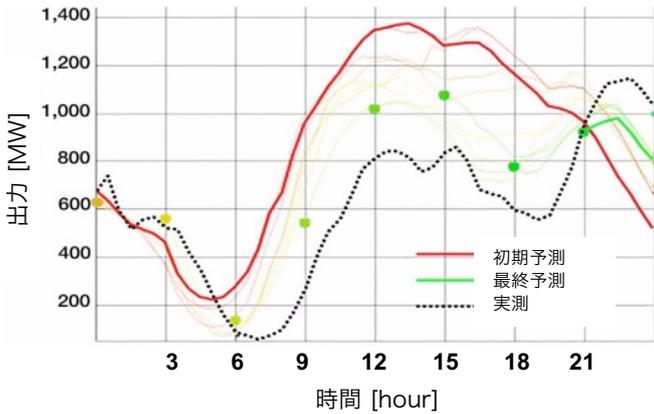


図2. 風力発電の短期予測。予測から実時間までの時間が短いほど予測精度が向上する例。初期予測(赤線)は24~48時間先の予測、最終予測(緑線)は6~30時間先の予測、黒線は実測値。(出典: Hydro Quebec)

供給までの時間が短いほど向上します。風力発電の出力予測は集合化による便益が大きく、500 kmのエリアに点在する多数の風力発電所を集合化することで、予測誤差を約半分に減らすことができます(図3)。

今日では、出力予測の不確実性に関する追加情報を提供する予測システムもあります(図4)。この予測システムは、系統安定度に影響を与える可能性のある極端な予測誤差の可能性に対し警告することも可能です。

部分的に曇りの日の太陽光発電の変動性は、風力発電と同様の課題があり、また、変動性を平滑化し、より広いエリアで予測精度を向上させるといった同様の集合化の利点があります。晴れの日や一樣に曇った日の太陽光発電は風力発電よりも予測しやすいのですが、朝夕の出力変化は、たとえ予測が正確だったとしても、太陽光発電の比率が高い場合には、電力系統の運用が難しくなります。風力と太陽光を組み合わせることで、総出力がより平滑化されるため、系統運用にメリットがあります。

参考文献

- Dobschinski, J. (2014, Nov.). **How good is my forecast? Comparability of wind power forecast errors**, 13th Wind Integration Workshop, Berlin. Energynautics.
- Kilivuoma, J. et al. (2016). **Variability in large-scale wind power generation**. Wind Energy, 19(9), 1649–1665. <https://doi.org/10.1002/we.1942>

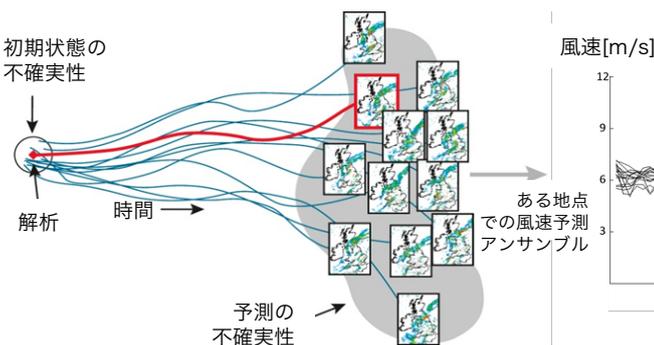


図4. さまざまな初期条件に基づくさまざまなアンサンブル気象予測の生成例 (左図はBauer et al., 2015 に基づく)

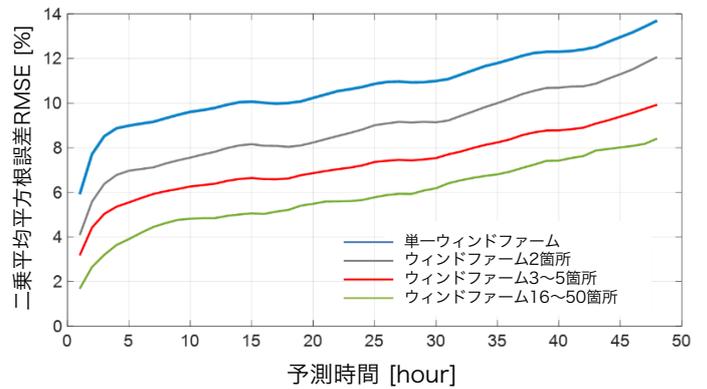


図3. 風力発電の予測誤差に対する集合化効果の例。予測から実時間までの時間が長くなるにつれて、平均誤差が増加する。より広いエリアで風力発電所が集合化されると、すべての時間軸において誤差は小さくなる。曲線は、単一の風力発電所と規模の異なる風力発電所のポートフォリオ(訳注: 金融用語と同じく、リスクヘッジのためさまざまな性質のものを組み合わせたもの)の品質を表している。(出典: Dobschinski, 2014)

- Holttinen, H. et al. (2019). **Design and operation of power systems with large amounts of wind power**. Final summary report, IEA WIND Task 25, Phase four 2015–2017. <https://community.ieawind.org/task25/ourlibrary>
- Bauer, P.; Thorpe, A.; Brunet, G. (2015). **The quiet revolution of numerical weather prediction**. Nature, 525, 47–55. <https://doi.org/10.1038/nature14956>

ファクトシートについて

このファクトシートは、18ヶ国間の共同研究であるIEA Wind Task 25 (国際エネルギー機関風力エネルギー技術協力プログラム第25部会)の取り組みを基に作成されています。この部会の発足時のビジョンは、世界中の電力系統の中で経済的に実現可能な形で風力発電のシェアを増加するための情報を提供することでした。IEA Wind Task 25はその後、風力発電や太陽光発電が電力系統・エネルギーシステムに与える影響を分析・評価するための方法論を更に進展させることに注力しています。

本翻訳書は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「風力発電等技術研究開発/風力発電高度実用化研究開発/風車運用高度化技術研究開発」事業の一環として、IEA Wind国内委員会の承認のもと作成されたものです。翻訳: 京都大学特任教授 安田 陽

以下のウェブサイト(英語)も参照下さい。
<https://community.ieawind.org/task25>

下記のファクトシートおよび文献もご覧下さい。
No.1 「風力・太陽光発電の系統連系」
No.2 「風力・太陽光発電大量導入時の需給調整」
No.3 「風力・太陽光発電の容量価値」
No.7 「風力発電と電力貯蔵」
IEA Wind Task 36 Wind Power Forecasting:
<http://www.ieawindforecasting.dk/>