

[シリーズ：どこまで行くのか、風力?] ⑬

# 風力発電量予測技術

梶原史洋\*<sup>1</sup> 中尾 徹\*<sup>1</sup> 石原 孟\*<sup>2</sup>

## 1. はじめに

我が国では、エネルギー源の多様化によるエネルギー安定供給の確保や地球温暖化対策に資する重要なエネルギーとして、風力発電をはじめとする新エネルギーの導入促進が積極的に図られている。平成13年6月に取りまとめられた新エネルギー部会報告書<sup>(1)</sup>では、平成22年度における新エネルギー導入目標量が示され、うち風力発電の導入目標は300万kWとされた。

風力発電は、風況の変動に伴いその出力が大きく変動する。近年、風力発電の導入の進展に伴い電力系統への連系が増大するにしたがって、電力需給のインバランスが発生し電力系統全体に波及する周波数の乱れの問題が懸念されている。我が国の風力発電導入量は現在世界8位であり<sup>(2)</sup>、地域によっては欧州と同じ導入レベルに達している。平成17年度中に北海道電力管内では風力発電導入量が系統容量の約5%に達する見込みであり、電力品質維持が困難となる可能性が出てきたため、当該地域において風力発電の導入に対して制限が設けられている。

経済産業省がまとめた風力発電系統連系対策小委員会の平成16年度中間報告書<sup>(3)</sup>によれば、電力系統安定化対策として7つのオプションが

挙げられており、その7番目のオプションとして気象予測に基づく風力発電量予測システムの導入が検討され始めた。一方、風力発電の導入が多い国であるデンマーク、ドイツ、スペインなどでは既に電力系統の安定運用のために風力発電量の短期予測が行われてきている。

本稿では現在国内外における風力発電予測の現状を紹介し、今後日本において風力発電量予測を行う際の技術課題とその将来展望について述べる。

## 2. 海外の風力発電量予測開発および導入背景

海外における風力発電量予測システムの開発および導入の背景は、「系統運用上の課題」と「電力市場経済上の課題」に関する影響が顕在化していることが主な理由である。

風力発電の変動は、長周期変動に起因する軽負荷時における経済負荷配分制 (Economic Dispatching Control : EDC) 領域での調整力不足と短周期変動に起因する負荷周波数制御 (Load Frequency Control : LFC) 領域での調整力不足が問題となる。風力発電出力の予測性問題は需給予測の精度が低下し、結果的にEDC領域とLFC領域での調整力不足を引き起こすという問題である。風力発電設備容量が過剰状態となっているデンマークやドイツ北部などでは、実際に風力発電量が想定から逸脱し、電力の需給バランスが脅かされる事態が発生したことがある。他

\* 1 イー・アンド・イーソリューションズ(株)

E-mail : f-kajihara@eesol.co.jp

\* 2 東京大学 大学院 工学系研究科

原稿受付日 平成17年7月20日

の国でも、風力発電の設備容量が増加すれば自国における系統運用に支障をきたす事態が起り得ることを問題視している。

一方、電力市場が自由化された国々では主に発電事業者、系統運用者および配電事業者の3者が電力の安定供給の役割を分担する構造となっており、これら3者間の電力の調達は一般的に電力受渡し前日の取引市場での契約で決定されている。取引市場において電力の需給予測を見誤ると、結果的には売り手と買い手ともに経済的に大きな負担を強いられる可能性を生じることになるため、風力発電量の予測は不可欠となった。

### 3. 風力発電量予測システムの概要

現在、海外で運用されている風力発電量予測システムのほとんどが数値気象予報(NWP: Numerical Weather Prediction)を入力データとして使用している。NWPは広域を対象としたものであるため単位水平解像度が比較的 low、特定サイトの状況を正確に再現することは困難である。

NWPデータを局所データに変換する主な手法として「統計モデル(統計モデル型)」と「物理モデルと統計モデルの組み合わせ(物理モデル型)」がある。

基本的に統計モデル型は、気象パラメータの組み合わせによる重回帰分析であり、NWPデータと局所における発電量等の過去および実測データを元に予測発電量誤差を減少させる。物理モデル型は、NWPモデルの水平解像度を物理的手法により高め、その予測した風況情報と過去および実測データから求めた回帰式により予測値の補正を図る方法(Model Output Statistics: MOS)や他の統計モデルを用いて予測発電量誤差を減少させる。図1は、水平解像度が20kmである気象庁提供のRSM数値気象予報データを用い、メソスケール気象モデルによって8km、2km、1kmと3段階にネスティングする計算領域を示した例である。

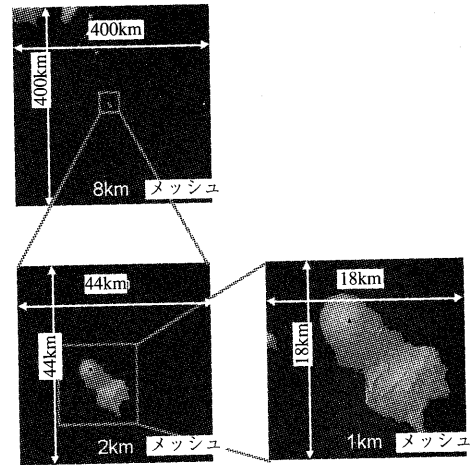


図1 メソスケール気象モデルの計算領域

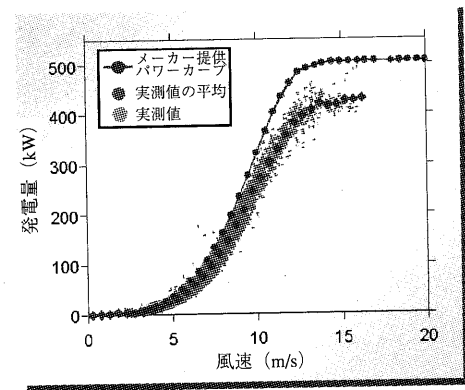


図2 実測とメーカー提供パワーカーブとの比較

ここで注意すべき点は、実際に設置された風車はメーカーが提供しているパワーカーブとおりには発電しないということである。図2は観測された風速と発電量の関係を示しているが、メーカーが提供しているパワーカーブと実際に観測された風速では大きな乖離が見られ、実測値によるパワーカーブの作成は、予測精度を向上させるのに不可欠である。

なお、予測対象領域周辺の大気の流れを詳細にとらえるためには、物理モデル型で予測することが有効である。風力発電量予測システムの模式を図3に示す。

現在、風力発電量予測は主に2つの時間スケールに対して行われている。一つは翌日予測であり、系統運用者が翌日需給運用計画を策定す

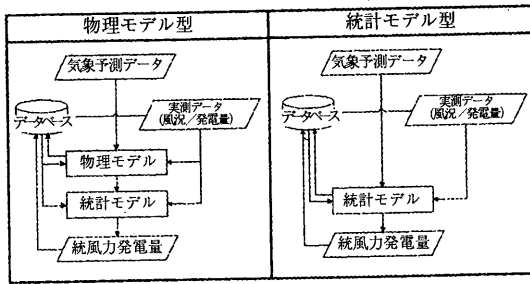


図3 風力発電量予測システムの模式図

るため、あるいは発電事業者が電力市場に電気を売るために、指定された時間までに、翌日1日の1時間ごとの発電量を予測するものである。二つ目は当日予測であり、系統運用者または発電事業者が電力系統の当日運用を支援するために数十分～1時間毎に十数時間先、例えば、18時間先までの30分ごとの発電量を予測するものである。

また風力発電量予測システムはマイクロスケールレベル(例：ウィンドファームに対して行うもの)と、メソスケールレベル(例：電力系統制御エリアに対して行うもの)に大別される。発電事業者が電力市場において売電するためには、自分が所有するウィンドファームに対してのみ発電量予測を行えばよいが、電力系統運用者が需給計画策定あるいは当日運用を行うためには、電力系統エリア全体における発電量の予測が必要となる。

図4はウィンドファーム発電量予測システムの構成要素を示す。左から順番に入力、予測モデル、出力を示す。入力部では気象予測機関が提供する数値気象予測値およびウィンドファームから収集された風向・風速、発電量などのデータを受信し、モデルの部分に送る。次に予測モデル部ではこれらのデータを用いて、物理モデルによるダウンスケーリングや統計モデルによる予測値の補正を行い、各風車そしてウィンドファーム全体の発電量を求める。更に信頼性範囲を評価する。最後に、予測された発電量は出

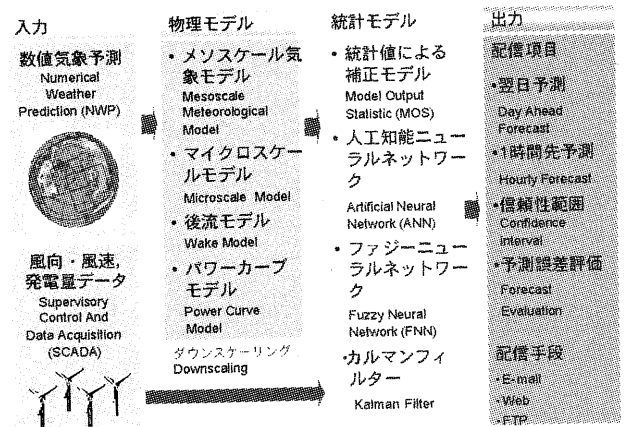


図4 ウィンドファーム発電量予測システム

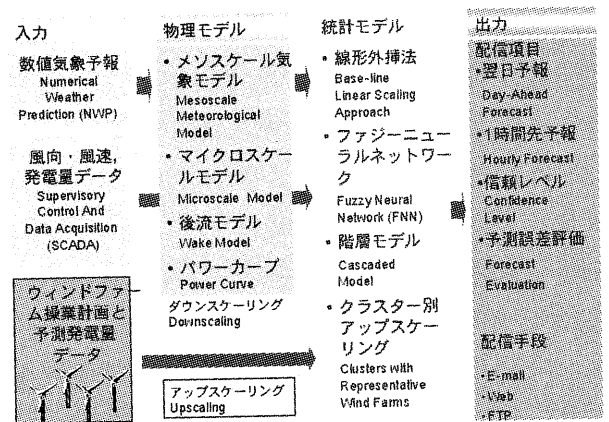


図5 電力系統制御エリア発電量予測システム

力部において翌日予測、当日予測の形で整理され、E-mail, Web, FTPなどを用いて配信される。

図5には電力系統制御エリア内の総発電量予測システムの構成要素を示す。電力系統内の全てのウィンドファームにおいて発電量予測が行われることが望ましいが、現実には小規模のウィンドファームにおいて発電量予測を行うことは難しいため、代表的なウィンドファームについて発電量予測を行い、アップスケーリングと呼ばれる作業を通じて電力系統制御エリア内の総発電量予測を行う。

以上のように、風力発電量予測システムは、予測精度を向上させるため、様々な物理モデルと統計モデルの組み合わせにより構成されることがわかる。さらに、予測はリアルタイム

表1 欧州における風力発電予測システムの研究開発

| 時期    | 国     | 予測システム名           | 開発機関                                    |
|-------|-------|-------------------|---|
| 1990～ | デンマーク | WPPT<br>Predictor | デンマーク工科大学<br>IMM研究所<br>RISOE研究所         |
| 1992～ | ドイツ   | WMEP              | カッセル大学の<br>ISET研究所                      |
| 2000～ | スペイン  | Sipreolico        | カルロスIII世大学他                             |
| 1999～ | EU    | MORE-CARE         | アテネ工科大学他                                |
| 2002～ | EU    | ANEMOS            | EU各国の大学、<br>研究機関、系統運<br>用会社、風力発電<br>事業者 |

に行く必要があるため、データ収集から予測・配信までの一連の作業が全自動化される必要があります、実行速度と高い信頼性が要求される。

#### 4. 海外における風力発電出力予測

風力発電量予測に関する研究開発は、欧州を中心に1990年代初期から盛んに行われてきており、その経緯はGiebel<sup>(4)</sup>によって詳細にレビューされている。表1にヨーロッパ各国における代表的な風力発電量予測システムの一覧を示す。デンマークにおいては、デンマーク工科大学IMM研究所およびRISOE国立研究所、ドイツではカッセル大学ISET研究所、スペインではカルロスIII世大学などで政府やEUの支援を受けて発電量予測モデルの研究開発が行われてきており、その成果は現在広く電力系統運用者によって使われている。なお、近年発電事業者が予測の義務を課せられる例も増えており、風力発電事業者による導入も進んでいる。

#### 5. 国内における風力発電出力予測

日本国内における研究開発の状況は経済産業省が平成16年度に「気象予測に基づく風力発電量の予測システムに関する調査」<sup>(5)</sup>を実施している。調査内容は以下のとおりである。

##### ① 国内における風力発電量予測モデル開発

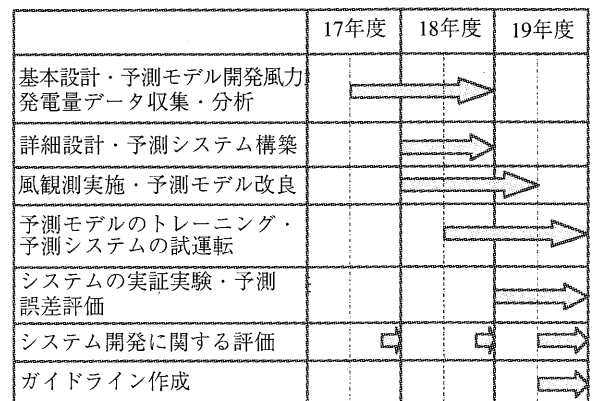


図6 風力発電量予測システムの研究・開発ステップ

状況調査。

- ② 海外における風力発電量予測システム開発状況・電力事業者における活用状況調査。
- ③ 国内における風力発電量予測システム開発の検討。

国内における風力発電量予測モデル開発状況は、2000年以後、電力会社を中心に気象サービス会社、大学などの研究機関が電力会社等と共同で、風力発電量予測システムの研究開発に取り組んできているが、これらの研究開発はまだ実用化されておらず、風力発電量予測結果を系統運用に反映させた実証試験もないのが現状である。

また、上記調査では、学識経験者、モデル開発者、電力会社、風力発電開発事業者等で組織された検討会によって、国内における風力発電量予測システム開発の検討が行われ、この検討成果を踏まえ平成17年度から平成19年度まで独立行政法人新エネルギー・産業開発機構(NEDO)において、研究開発機関が中心となって電力会社、風力発電事業者の参加を得て、風力発電量予測システムの研究・開発を実施するとされた<sup>(6)</sup>。

#### 6. 今後の展望

日本で風力発電量予測システムを開発するには以下の3つの技術課題が残されている<sup>(7)</sup>。

- ① 複雑地形の影響を再現するための高速・高解像度のダウンスケーリング手法の提案

表2 風力発電量予測技術の利用形態

| オプション<br>番号 | 対策内容            | 利用形態  |       |
|-------------|-----------------|-------|-------|
|             |                 | オフライン | オンライン |
| 1           | 風力発電連系可能量の正確な把握 | ○     | ×     |
| 2           | 調整力の拡大に向けた電源運用  | ○     | ○     |
| 3           | 風力発電機の解列・出力抑制   | ○     | ○     |
| 4           | 会社間連系線の活用       | ○     | ○     |
| 5           | 蓄電池の導入          | ○     | ○     |

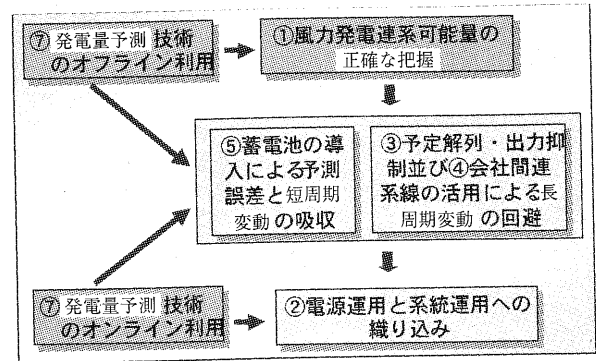


図7 風力発電量予測技術利用の将来像

(地理的要因)

- ② 台風などの極端な気象現象に対する高精度な予測手法の開発 (気象的要因)
- ③ 風力発電量モニタリングシステムの構築による短期発電量予測精度の向上

また予測システムの開発に当たって、季節、場所による発電量予測の不確実性要因の解明や予測発電量の信頼性範囲の明確化が必要である。今後、風力発電出力予測に関する研究開発を行う際には以上に述べた諸問題を克服し、日本に適した予測システムを開発されることが望まれる。

第2節にも述べたように、風力発電予測技術は風力発電出力の予測性を改善するものであり、風力発電出力の変動性を抑制するため、表2に示されている各周波数変動対策と一緒に使う必要がある。表2に示すように、風力発電量予測技術は1番の対策である「風力発電連系可能量の正確な把握」にオフラインで利用され、2番～5番の対策にオフラインとオンラインの形で利用される。

図7に風力発電量予測技術利用の将来像を示す。風力発電量予測技術のオフライン利用により、風力発電連系可能量をより正確に把握可能となり、必要な蓄電池の容量や風力発電機の解列・出力抑制の回数、会社間連系線の活用方法などの検討が可能となる。そして、風力発電量予測技術のオンライン利用により、風力発電量の予測結果を電源運用と系統運用に織り込むと共に、蓄電池による短周期変動と予測誤差の吸

収並びに風力発電機の解列・出力抑制と会社間連系線の活用による長周期変動の回避が2010年前には実現されると思われる。

10年後の計算機能力は現在と比較して格段に進歩していることからCFDやLESなどのモデルが組み込まれた風力発電量予測システムがオンラインで利用でき、より高精度な予測が可能と考えられる。洋上風力発電技術もこの頃になると具体化されていると思われ、世界最大規模の洋上風力発電所の実現に貢献すると考えられる。また、風力発電量予測技術を基礎として、太陽エネルギーなど気象変化が発電量に影響する他の新エネルギーに対する発電量予測技術の開発に貢献することになり、マイクログリッドの実現や地域新エネルギーの普及にも貢献すると考えられる。

<参考文献>

- (1) 新エネルギー部会報告書, 経済産業省, 2001.
- (2) Operating wind power capacity, Wind Power Monthly, Vol.21, No.4, p.66,2005.
- (3) 風力発電系統連系対策小委員会中間報告書, 経済産業省, 2004.
- (4) G. Giebel, The State-Of-The-Art in Short-Term Prediction of Wind Power, Project ANEMOS, 2003.
- (5) 新エネルギー等電力市場拡大促進対策基礎調査等 (気象予測に基づく風力発電量の予測システムに関する調査) 報告書, イー・アンド・イーソリューションズ(株), 2005.
- (6) 風力発電系統連系対策小委員会中間報告書, 経済産業省, 2005.
- (7) 石原孟・山口敦・梶原史洋, 風力発電の出力予測技術の現状と将来展望, 第5回風力エネルギー利用総合セミナー, 2005.