

電力土木 No.314 別刷

我が国の風力開発における技術課題と将来展望

石 原 孟*

我が国の風力開発における技術課題と将来展望

石原 孟*

概要 2001年は政府の2010年における風力電力の導入目標が従来の30万kWから300万kWに上方修正され、その実現のために多くの方策が講じられている。本報では我が国の風力開発における技術課題を示すと共に、その解決のための取込みを紹介する。複雑地形における風況予測、天気予報技術を利用した風力発電量のリアルタイム予測、風力発電設備の耐風安全性向上など、従来の学問分野を超えた技術課題は解決されつつある。一方、2020年までに電力需要の12%を風力発電で賄うという「Wind Force 12」に掲げられている壮大な目標を実現するために、電力消費量の多い都市域の沖合における洋上風力開発が不可欠であり、そのための洋上風力発電賦存量の調査、経済的社会的な制約条件の抽出、浮体式基礎構造の提案によりその将来展望を明らかにする。

キーワード：風況予測、天気予報技術、耐風安全性、洋上風力発電賦存量、浮体式基礎構造

1. はじめに

今年7月に世界の風力発電設備容量は4053万kWに達し、5600万の人々に電力を供給している¹⁾。また昨年デンマーク・ローラン島の沖に建設された世界最大の洋上ウインドファーム(2300kWの風車72基)に代表されるようにヨーロッパの風力開発はすでに陸上から洋上へと本格的に移行しはじめている。

一方、我が国の風力開発は1997年以後急速に拡大し始め、風力発電システムの導入は2003年度末で68万kWに達し、全国各地に738基の大型風車が建設されている²⁾。現在日本における風力発電導入量が世界第8位、2003年設備増加率が46.2%と大きく、国内における風力発電産業も形成されつつある。新エネルギー財団の発表によると、自然公園を除き、陸上においては地上高さ60mの年平均風速が5 m/s以上の風力開発可能な地域の賦存量は約2300万kWがあり、更に自然公園内の賦存量はその約10倍に達している³⁾。



石原 孟

欧州風力エネルギー協会とグリーンピース・インターナショナルが2002年に発表した「Wind Force 12」⁴⁾にも述べられているように、エネルギーは現代の生活に欠かせないものであり、また発展途上国のニーズを満たすためには今後より多くのエネルギーを必要としている。現在人類が直面している問題は、気候変動という差し迫った脅威に取り組むと同時に、増大するエネルギー需要をどうまかなうかへの挑戦であり、風力エネルギーはこの人類の挑戦に果たすべく役割は大きいであろうと強調されている。

風力発電は現在世界の最も急成長しているエネルギー源として注目されている。2003年の1年間で新規に設置された風力発電設備の容量は820万kWに達しており、過去5年間の年平均成長率は40%に達している。かつての大型水力や原子力のように、風力発電はいま世界中に急速に普及しはじめている。2002年時点で風力産業に従事している人の数は70,000人前後と推定されている。風力エネルギーが急速に成長している背景には環境、資源、経済の観点から見た場合に、そのいくつかの優れた点が挙げられる。

まず風力エネルギーは主な温室効果ガスであるCO₂や化石燃料や原子力発電による汚染物質を一切排出しない。そして、風力エネルギーは無尽蔵であり、ほぼ全ての地域や国にうまく分配されている。技術的に利用可能な風力エネルギー資源は、年間53,000TWhになると見積もられており、これは2020年において推定された全世界の電力需要の2倍以上に当たる。また風力エネルギーは再生可能なエネルギー源であり、化石燃料のように枯渇する心配がない。更に風力エネルギー産業の形成は新たな雇用を創出し、投

*東京大学 大学院 工学系研究科 総合研究機構 助教授

資の拡大を促進する。風力エネルギーの1キロワット時の生産コストは20年前の5分の1までに低下し、コストの面において他の再生可能エネルギーより優れている。

2020年までに世界の電力需要の12%を風力発電で賄うという「Wind Force 12」が掲げられている目標はこのような背景に生まれ、その達成のために、世界各国はいろいろな政策が打ち出されている。昨年4月に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」、いわゆるRPS法はその1つの例であり、電気事業者に対して、一定量以上の新エネルギー等を利用して得られる電気の利用を義務付けることにより、新エネルギー等の利用を推進している。しかし、風力発電導入量の急速な拡大に伴い、我が国の風力開発における技術課題も顕在化しつつある。2002年末時点で導入された風車は、国内メーカーのシェアが6%、残りの94%は外国メーカーが占めており、そのほとんどは欧州からの輸入品である。

しかし、日本の気象条件は欧州と大きく異なり、山岳地帯における複雑な気流に起因する風況予測精度の低下や台風襲来に伴う風力発電設備の被害が発生し、大きな問題となっている。従って、我が国特有の風土に合った(複雑な気流、台風の襲来など)風況予測手法の開発や風力発電設備の耐風設計基準の策定が望まれている。

また風力エネルギーの特徴である出力変動はその普及に伴い、電力系統に与える影響が懸念され、更に風力エネルギーの地域偏在性は風力開発の適地不足問題を引き起こしている。その解決策の一つとして有望視されているのは電力消費量の多い都市域の沖合における洋上風力開発である。そのために、各電力会社管内における洋上風力エネルギー賦存量や技術的社会的な制約条件を考慮した開発可能量の正確な算定が必要である。

本稿では、我が国の風力開発における技術課題をいくつか挙げ、その解決のための取込みを紹介すると共に、風力開発における将来展望を概説する。

2. 我が国の風力開発における技術課題とその取込み

2.1 非線形風況予測モデルの開発

風力発電量は風速の3乗に比例することから、小さな風速の予測誤差が大きな風力発電量の予測誤差につながる。そのため風力発電機設置位置における正確な風況予測が重要である。

風力発電に適した地域を調べる手法として、欧米では線形風況予測モデルWAsP⁵⁾が広く利用されている。このWAsPの特長は、対象としている地域のある一箇所で風況

観測を行えば、周辺の風況予測が行えること、また、PC上で実行可能で計算時間がそれほどかからないことなどが挙げられる。しかしながら、WAsPは欧米の比較的平坦な地形上の風況予測を想定しているため、わが国のような急峻で複雑な地形ではその予測精度は著しく低下する。

この問題を解決するために、最近著者の研究グループが急峻な地形上における複雑な流れ場を予測できる非線形風況予測モデルMASCOT (Microclimate Analysis System for Complex Terrain)^{6),7)}を開発し、複雑地形上に位置する実際のウインドファームに適用したときの予測精度を調べると共に、線形モデルWAsPの適用限界を明らかにした。非線形風況予測モデルMASCOTは既に実用化され、現在風力開発の現場で使用されている⁸⁾⁻¹⁰⁾。非線形風況予測モデルMASCOTは従来の線形モデルに比べ、以下の特徴を持っている。

- 1) 本モデルは一般座標系を採用し、任意傾斜角度をもつ地形に対応でき、また鉛直方向に不等間隔格子、水平方向にズームング格子を採用することにより、必要な領域に格子を集中させることができる。離散化手法としては質量及び運動量の保存則を満足する有限体積法を用い、数値解法には安定性の高い半陰解法SIMPLE法を採用している。
 - 2) 乱流モデルとしては $k-\epsilon$ モデルを用いることにより、平均風速場のみならず、剝離を含む複雑流れ場の変動風速の標準偏差を精度よく予測することが可能である。
 - 3) また複雑地形における局所風況を予測するため、新しい境界処理手法を開発し、境界処理が内部領域に与える影響を最小限にした。大規模線形連立方程式を高速かつ安定に解くための手法を提案し、100万格子を用いた10km四方の風況予測は1台のコンピュータで1時間以内に解析することが可能である。
 - 4) 本プログラムは標高(50m分解能)と地表面粗度(100m分解能)に関するデータ・ベースを備えており、任意地点における緯度、経度を入力すれば、風況解析が可能となる。
 - 5) 更にグラフィック・ユーザー・インターフェイスと流れ場の可視化ツールが備えており、解析開始する前に、対象地点の標高、地表面粗度、また解析に使用される格子、観測地点や風車の位置を確認できる。解析結果は等値線、風速ベクトルなどの可視化ツールにより見ることも可能である。
- 以下、複雑地形上に位置する竜飛ウインドパークを対象に実施した風況予測の例を紹介し、予測結果と実測結果とを比較することにより、非線形風況予測モデルの有用性を示す。

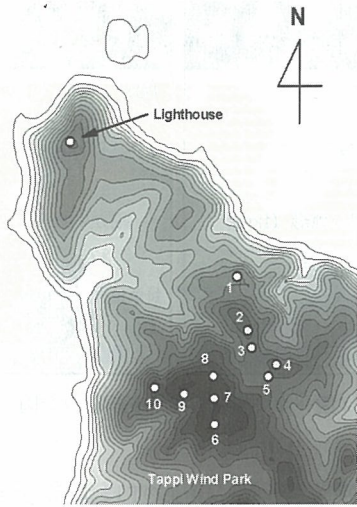
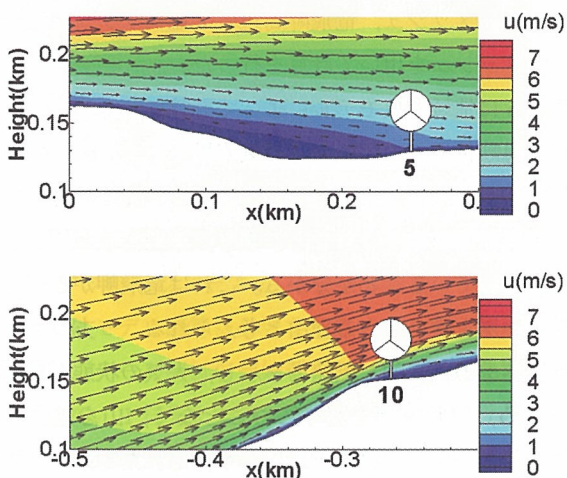


図-1 竜飛ウインドパーク内の風車の配置図

青森県の竜飛岬は日本有数の風況のよい場所として知られ、竜飛灯台における年平均風速は10m/sに達している。竜飛岬には東北電力㈱の「集合型風力発電基地」があり、11台の風車が設置されている。図-1には竜飛ウインドパーク内の風車の配置を示す。風車1～10号機のナセルの上に風車型風向風速計が設置されており、風速・風向の10分平均値が観測されている。しかし、1997年の観測データによると、海拔100m以上の地点に設置された10機の風車の設備利用率は大きな差があり、設備利用率が最も高い10号機は最も低い5号機の2.6倍である。この違いを明らかにするために、竜飛ウインドパークから1 km離れた灯台で得られた風向・風速データを基にウインドファーム内の各風車周辺の気流分布性状並びに年平均風速を求めた。

図-2には、設備利用率が最も低い5号機と最も高い10号機の位置におけるE-W断面内の平均風速ベクトルを示す。5号機は山頂の窪んだ地点に位置しているため、風車

図-2 E-W断面内の平均風速ベクトル
(上: 5号機 下: 10号機)

高さでの風速が大きく減少している。一方10号機は上り斜面の増速場所に位置しているため、風車高さにおける平均風速が大きくなっている。竜飛岬の卓越風向は西風であるため、図-2に示すような平均風速分布の違いは年平均風速に大きな影響を与える。

図-3には年平均風速の予測結果を示す。図中の黒四角は非線形風況予測モデルによる予測結果、黒三角は従来の線形モデルの予測結果を表す。非線形風況予測モデルMASCOTによる予測値が観測値とよく一致しているのに対して、線形モデルWASPは2～5号機の年平均風速を過大に評価している。2～5号機では山頂のやや低い場所に位置するため、主風向Wに対して上流側の地形の影響を受け、風速が減少している。従来の線形モデルではこのような風速の減少を再現できない。10機平均では線形モデルWASPの予測誤差が14.2%であるのに対して、非線形モデルであるMASCOTは4.9%となる。非線形モデルによる予測精度は格段に向上していることが分かる。

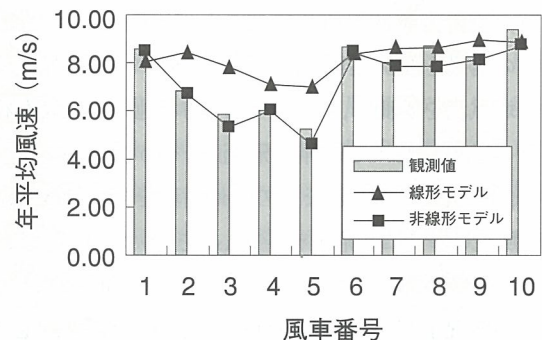


図-3 年平均風速の予測結果と観測値との比較

2.2 気象モデルを利用した風況予測手法の開発

風力開発を行う際には、建設地点の風況を事前に把握することが重要である。しかし、現在全国をカバーする風況マップは500mの分解能しかないため、局所地形の影響が十分に反映されていない。そのため、実際風力開発を行う際には風観測による風況精査が必要であり、最低1年間の時間がかかる。風力開発の迅速化の観点から、風観測によらない風況精査手法の確立が望まれている。更に風力発電の出力が風速に応じて変動するために、風力発電導入量は電力システムの安定性と電源の経済運用の観点から大きな制約を受けている。数分先から1日先の風力発電量を精度よく予測することができれば、風力発電が電力システムに与える影響が低減され、また電源としての経済価値が向上される。その結果、風力発電量の導入拡大に繋がると期待されている。

風観測を行わずに、風を予測する手法は気象学分野で古くから行われ、天気予報技術として知られている。しか

し、一般に気象学の分野で行われている風の予測はその空間分解能(10km程度)は工学的に必要とされる空間分解能(10m程度)により著しく低いため、直接使用することが出来ない。天気予報技術を工学的に使用するために、局所化(Downscaling)と呼ばれる技術が必要となる。従来提案されている局所化手法としては、ネスティング(Nesting method)と、統計力学的局所化(Statistical Dynamical Downscaling)と呼ばれている手法がある。

ネスティング手法では、天気予報の結果を境界条件として、順次高解像度の小さな領域をネスティングさせることにより、局所風況を予測する。NEDOが開発した風況予測モデルは地域気象モデルと工学モデルを用いて最小格子間隔10mのグリッドまで5段にネスティングさせることによって局所風況予測を行う。この方法ではネスティングされた全領域に対し、最低1年分の時系列計算を行う必要があり、計算時間が膨大となるため、6日おき、1日4回の計算のみを行っている。しかし、この近似により予測された風況は実際の風況と異なる恐れがある。

一方、統計力学的局所化手法として、Frank et al. は天気予報の結果を統計処理し、それぞれのケースに対し力学的に地域風況を予測し、さらに局所的な地形、地表面粗度の影響を考慮に入れた局所風況予測を行う。しかし、この手法は、海陸風や山谷風などの局地循環を再現できず、また局所風況の予測に線形モデルWAsPを用いているため、急峻な地形が多い日本には適用できないという問題点がある。

従来の風況予測手法の問題点を解決するために、地域気象モデルRAMSと非線形風況予測モデルMASCOTを利用した力学統計的局所化と呼ばれる風況予測手法が提案された⁶⁾。新しい局所化手法では、まず力学的に風速場の時系列データを求める。次に統計解析により地域風況を求め、最後に局所風況への変換を行う。従って、この手法は力学統計的局所化手法(DSD: Dynamical Statistical Downscaling)と呼ぶことができる。

この手法では、天気予報の結果を初期条件ならびに境界条件として地域気象モデルをその内側に順次ネスティングさせ、1年分の地域風況に関する時系列計算を行う。最も内側の計算グリッドは格子間隔を1~2km程度とする。地域風況には大地形や局地循環の効果は含まれているが、1~2kmの格子で解像できない小地形の効果は考慮されていない。小地形の影響を考慮するために非線形風況予測モデルMASCOTを用い、地域風況を局所風況への変換を行う。

地域風況から局所風況への変換手法として標準実風況変換法が提案されている⁶⁾。図-4にはその概念図を示す。まず、気象モデルで用いた1~2km程度の解像度を持つ粗

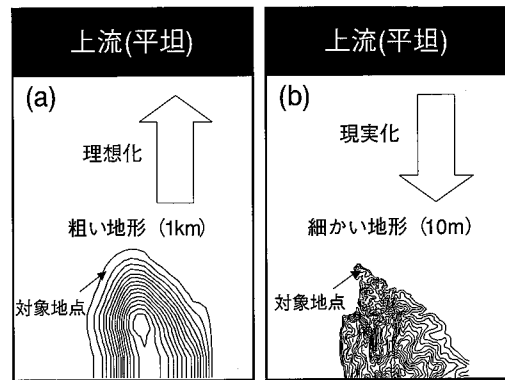


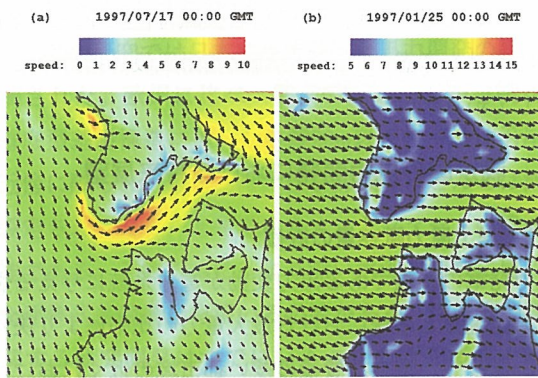
図-4 標準実風況変換の概念図

い地形と粗度を用い、MASCOTによる風況シミュレーションを行い、地域風況から仮想領域の風況への変換を行う(図-4(a))。次に、10m~50m程度の解像度を持つ細かい地形と地表面粗度を用いた風況シミュレーションを行い、仮想領域の風況から対象地点での実風況へと変換する(図-4(b))。すなわち、本手法では、まず仮想領域での標準風況を求め、そして対象地点の実風況に変換する。この手法を標準実風況変換(IRA: Idealizing and Realizing Approach)と呼ぶことができる。

このように、粗い地形の効果と実際の局所地形の効果との差を補正することにより実地形上の局所風況を再現すると共に、局地循環及び大地形の効果も反映される。

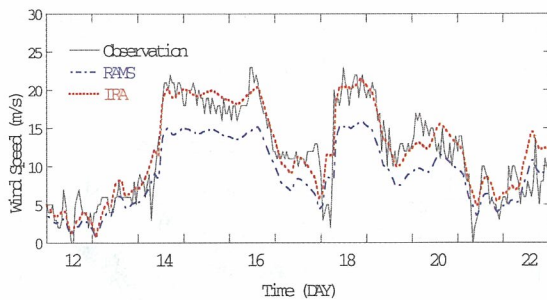
力学統計的局所化手法の有効性を示すため、青森県の竜飛岬灯台を対象に1年間の風況予測を行った。用いた気象モデルはナビエ-ストークス方程式を基本とする非静水圧大気力学モデルであり、雲・放射過程、陸面過程がモデル化されている。境界条件にはヨーロッパ中期気象予報センター(ECMWF)による客観解析値(6時間ごと)を内挿して用いた。解析は4段にネスティングされた格子を用いた。東北と北海道を含む領域に8kmメッシュ、津軽海峡を含む領域に4kmメッシュ、竜飛岬周辺に2kmメッシュ、竜飛岬に1kmメッシュを用いて計算を行った。

図-5に地域気象モデルによって計算された竜飛岬を含む津軽海峡付近での西風の時の気流場を示す。図-5(a)には夏季の代表的な風速場を示し、大気の状態が安定のため、流れが岬を回りこむことにより、津軽海峡に風が集中し強くなっていることが分かる。これは竜飛岬が1年を通じて強い風を吹いている理由と考えられる。一方、図-5(b)には冬季の代表的な風速場を示し、大気の状態がほぼ中立のため、流れが岬を回りこむことなく、山を越えている。このように、気象モデルにより得られた時系列の解析結果は風速場に大地形や大気安定度が与える影響を正しく反映していることがわかる。



図一五 地域気象モデルによって計算された風速場

図一六には竜飛岬灯台における10分平均風速の時系列の一部を示す。一点鎖線が地域気象モデルのみの予測結果、破線が標準実風況変換法を用いて局所地形の効果をとり入れた予測値、実線が観測値である。地域気象モデルのみの予測結果は全体的な傾向を捕らえているものの、風速を過小評価しており、年間の平均風速の予測誤差は25.4%に達した。これは水平スケール1 km以下的小スケールの地形が考慮されていないためであり、格子間隔1 kmの地域気象モデルのみでは実際の風況精査を行うことはできない。一方、標準実風況変換を行った場合、この過小評価は大きく改善され、年平均風速の予測誤差は3.5%に減少している。このように、地域気象モデルRAMSと非線形風況予測モデルMASCOTを利用した力学統計的局所化手法により、複雑地形上の局所風況を精度よく求めることができ、また風のリアルタイム予測も可能となる。



図一六 竜飛岬灯台での10分平均風速の時系列(1月)

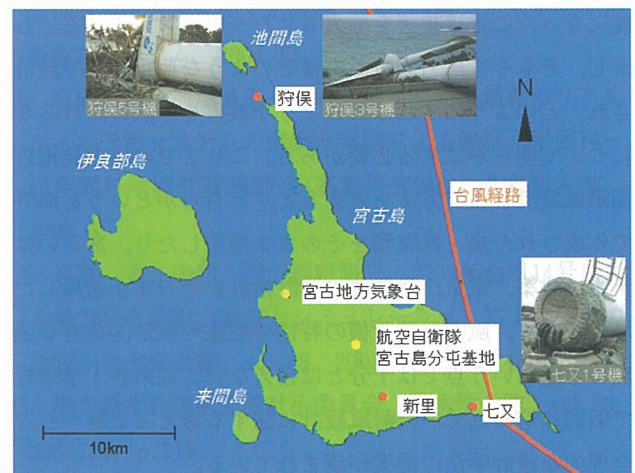
現在開発中の風力発電量のリアルタイム予測システムは以下の3つのモジュールからなっている。まずftpマネジャーではモデル計算に必要な気象データを日本気象庁から取得し、データ解析の前処理を行う。次に地域気象モデルを用いて、1日先までのシミュレーションを行う。局地風モデルは地域気象モデルのデータをオンラインで受け取り、局地風の予測を行う。最後にwebマネジャーはシミュレートされた結果をポスト処理し、画像の形でwebに掲載

し、現場で利用される。これらの一連の作業はすべて自動化し、システムの運用はオートパイロットで行うことを目指している¹¹⁾。

2.3 風力発電設備の耐風安全性の向上

風力発電設備はより多く発電するために、風況のよい海岸付近や山頂に設置されることが多い。しかし、このような風況のよい場所は台風の時にも風が強く、高い耐風性能が要求される。しかし、近年風力発電設備の増加に伴い、風力発電設備の被害も報告されている。代表的な台風被害としては、1999年台風18号による鹿児島県笠沙町での風車タワーの座屈、2002年台風16号による沖縄県宮古島での風車基礎の崩壊、2003年台風14号による沖縄県宮古島での風車タワーの座屈、基礎の崩壊、ナセルとブレードの破損、2004年台風16号による高知県梶原町の風車ナセルとブレードの破損と基礎の割裂などが挙げられる。昨年沖縄県宮古地方を直撃した台風14号により、島にある7基の風力発電用風車のうち3基が倒壊し、残る4基もブレードの折損などの破滅的な被害を受け、風力発電設備の耐風安全性問題が大きくクローズアップされた。

台風14号による災害発生後、筆者は現地に赴き、風車の被害調査並びに宮古島地域における風観測データの収集などを行った。それに平行して、最大風速の推定、風車に作用する風荷重の算定、風車の耐力の算出を行い、沖縄電力並びに電力中央研究所と一緒に被害原因の究明に努めた。



図一七 調査した風車と風観測地点の位置

図一七には調査した風車の位置を示す。被害を受けた風力発電機は島の北端の平良市狩俣に4基、南東部の城辺町七又に2基、南部の上野村新里に1基の計7基であった。これらの風車は台風14号により倒壊または損害を受け、全て運転不能の状態となった。また風力発電機の破損箇所もブレード、ナセル、タワー、基礎、ヨー制御機構、ピッチ

制御機構と多岐にわたっている。各風車の被害状況の詳細は文献12を参照されたい。なお、台風14号により被害を受けた風車のすべては欧州製の風車である。

代表的な被害としては狩俣にある3号機と5号機の座屈倒壊である。3号と5号機は本体・タワー・基礎全て同じ設計のストール制御の風車であるが、破壊形態が異なる。両者の倒壊方向はほぼ同じ(南南西)であるが、ローターの向きが異なる。3号機は倒壊後のローターが上向きになっていることから倒壊前に3号機のローターは北北東を向いていたと推定される。一方、5号機のローターは下向きになっていることから、5号機は倒壊前にローターが南南西を向いていたと思われる。当日台風接近時の風向がほぼ北であったことを考えると、ストール制御である3号と5号機のローターは東の方向を向いて、風を逃がす状態が自然である。3号～5号機のローターは北北東または南南西を向いていることから、これらの風車のヨー・ブレーキが台風時にすべった可能性が示唆されている。

一方、城辺町七又にある1号機は基礎が破壊し倒壊している。タワーを基礎に固定するためのアンカー部分は丸ごと基礎から引き抜けていた。七又1号機はピッチ制御の風車であり、台風時にはブレードのピッチを変えてフェザリングの状態となり、風荷重を小さくするように設計されていたが、基礎の破壊状況からは台風の時に設計耐力以上の風荷重が作用されていたと推定される。

台風14号時には島のほぼ全域が停電し、風車の制御が不能になったことは被害を拡大させた一因と考えられる。しかし、そもそも風力発電設備はどのような荷重条件で設計され、どのようにすればこのような被害を未然に防げるかについて明らかにする必要がある。これまでの風力発電設備耐風設計の検討方法を考えると、どちらかというと海外で作成された規・基準類をそのまま適用したり、あるいは土木、建築、電気、機械等の設計指針をそのまま適用した場合が多く、風力発電設備の特性の配慮や我が国特有な強風の考慮という点では十分とは言えない。従来各工学分野で個別に培われていた耐風設計に関する考え方を統一し、合理的な設計手法の提案が望まれている。

そこで、今年9月土木学会において風力発電設備耐風設計小委員会を立ち上げ、風力発電設備における耐風設計手法の現状を分析するとともに、台風による暴風時の短期荷重の設定方法やタワー、基礎、ブレード等の風車各部位の設計方法などに関する具体的な手法の提案を行っている。本小委員会には現在電力会社、風力発電事業者、建設会社、国内メーカー、代理店、大学、研究機関から30数名の委員が参加され、風車の建設と製造の両面からその耐風安

全性について考え、我が国特有な強風特性及び風力発電設備の特殊性を考慮した風力発電設備耐風設計指針の策定を目指している¹³⁾。

3. 我が国の風力開発における将来展望

3.1 洋上風力賦存量の評価

風力発電の特徴である出力変動が電力系統に与える影響は風力発電量と系統における最大電力の比率により決定される。従って、電力消費量の多い都市域の近くにおける風力開発は、系統連系問題を解決するための鍵となっている。また風力エネルギーの地域偏在性に起因する風力開発の適地不足問題は陸上で発生しており、その解決策としては洋上風力開発が挙げられている。そのために、各電力会社管内における洋上風力発電賦存量や技術的社会的な制約条件を考慮した開発可能量の正確な算定は急務と言える。

著者の研究グループは関東地方沿岸域を対象とし、メソスケール気象モデルを用いた水平解像度2kmのシミュレーションを行い、関東地方沿岸域の風力発電賦存量を解明するとともに、地理情報システムを利用し、技術的、社会的、経済的制約条件を考慮した関東地方沿岸域の風力発電開発可能量を評価した¹⁴⁾。その結果、関東地方沿岸域には東京電力の総供給電力量の94%という高い風力発電賦存量が存在し、更に技術的社会的な制約条件を考慮した開発可能量は東京電力の総供給量の32%に相当することを明らかにした。図-8には関東地方沿岸海域における1km²あたりの年間発電可能量を示す。従来、風が弱いと言われていた関東地方は洋上に目を向ければ、35%という高い設備利用率に代表されるように、関東地域における洋上風力開発に大きな可能性を秘めていることが分かる。

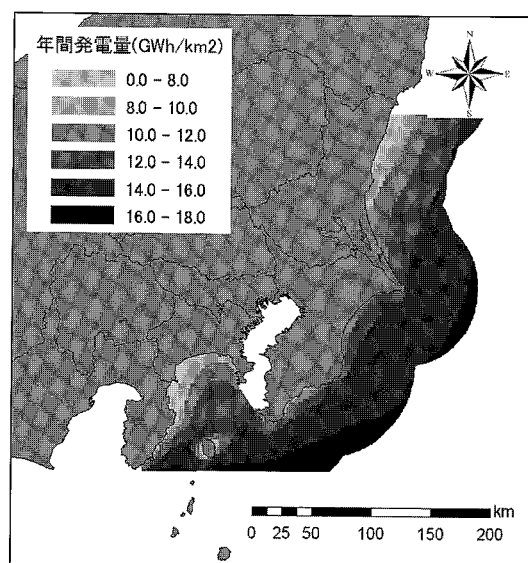


図-8 関東地方沿岸海域における1km²あたりの年間発電可能量

参 考 文 献

3.2 浮体式洋上風力の開発

一方、この研究では日本における洋上風力開発の難しさも指摘された。欧州に比べ、日本の海底地形が急峻なため、着底型基礎構造に適した水深20m以下の海域は沿岸のごく近傍に限られ、またこのような海域のほとんどは漁業権が設定されており、大規模なウインドファームの建設が不可能である。そのために、より深い水深の海域に建設が可能な浮体式基礎構造を用いる必要がある。浮体式基礎構造に関する研究開発はすでにいくつかの研究機関で行われ、複数台の風車を搭載するセミサブ浮体構造や単体の風車を搭載するスパーブイ型浮体構造が提案される。更にスパーブイ型浮体構造とセミサブ浮体構造の長所をあわせ持った複合構造を採用した浮体構造形式も提案され、実用化に向けた浮体式洋上風力発電システムの研究開発が始められつつある。

4. おわりに

本報では我が国の風力開発における技術課題を示すと共に、その解決のための取込みを紹介した。複雑地形における風況予測手法の開発、風観測によらない風の予測方法の提案、風力発電量のリアルタイム予測システムの構築、風力発電設備の耐風安全性の向上は、気象学、風工学、土木工学、情報工学など、幾つかの学問分野の融合により実現されつつある。2020年までに電力需要の12%を風力発電で賄うという「Wind Force 12」に掲げられている目標を実現するために、電力消費量の多い都市域の沖合における洋上風力開発が不可欠であり、そのための風力エネルギー賦存量の調査、経済的社会的な制約条件の抽出、浮体構造の提案を積極的に行う必要がある。

かつての大型水力、原子力開発のように、21世紀における風力開発には電力土木が果たすべく役割が大きいのと思われる。これまでの電源開発で培った高い技術力とノウハウを活かし、地球温暖化に代表される環境問題(Environment)、世界規模の経済発展(Economy)、エネルギー資源問題(Energy)、いわゆる3Eの相克(トリレンマ)の克服に力を発揮すると共に、前人未到の浮体式洋上風力の開発に挑戦していくことを期待したい。

- 1) Operating Wind Power Capacity. Wind Power Monthly. 2004.7.
- 2) 資源エネルギー庁. 新エネルギー産業ビジョン. 2004.6. <http://www.meti.go.jp/>.
- 3) 第4回風力エネルギー利用総合セミナーテキスト. 2004. 6.
- 4) Wind Force 12. <http://www.ewea.org/>
- 5) N. G. Mortensen ; L. Landberg ; I. Troen ; E. L. Petersen. Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP), Riso National Laboratory. 1993.
- 6) 石原 孟. 非線形風況予測モデルMASCOTの開発とその実用化. 日本流体力学会誌. 第22巻, 第2号, 2003, p.387-396.
- 7) 石原 孟; 山口 敦; 藤野陽三. 複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証. 土木学会論文集. no.731/I-63, 2003, p.195-221.
- 8) 嶋田健司; 石原 孟; 中田武男; 日比一喜. 複雑地形下での風力発電量予測に及ぼす風況予測モデルの影響. 第25回風力エネルギー利用シンポジウム. 2003, p.149-152.
- 9) 磯 修; 大江直樹; 石原 孟; 他. 複雑地形上の風況予測に関する一考察. 第26回風力エネルギー利用シンポジウム. 2004.11.
- 10) 福本幸成; 村口英之; 石原 孟. 八丈島風力発電所における風況予測に関する検討. 第26回風力エネルギー利用シンポジウム. 2004.11.
- 11) 石原 孟. 地域気象モデルを利用した局地風のリアルタイム予測システムの構築と実測による検証. 平成14~15年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))研究報告書. 2004.5.
- 12) 石原 孟; 山口 敦; 藤野陽三. 2003年台風14号による風力発電設備の被害とシミュレーションによる強風の推定. 土木学会誌. vol.88, 2003.12, p.45-48.
- 13) 風力発電設備耐風設計小委員会. 土木学会誌. vol.89, 2004.10, p.119.
- 14) 石原 孟; 山口 敦; 佐々木庸平; 藤野陽三. 気象モデルと地理情報システムを利用した洋上風力賦存量の評価. 第26回風力エネルギー利用シンポジウム. 2004.11.