



その5

# 洋上風力発電は再エネのトップランナー

京都大学大学院経済学研究科特任教授・東京大学名誉教授

荒川忠一

欧州で昨秋、WindEuropeという世界最大の風力発電の産業界および学術団体から、洋上風力発電のロードマップが発表された（文献1）。2050年に電力の30%を洋上風力発電で賄い、その設備容量は450GW（ギガワット100万キロワット）に達するというものである。陸上風力発電は既に15%の電力を賄っているのと、風力発電全体でおよそ50%をカバーしようとの挑戦的な目標である。地球温暖化の抑制を目指したパリ協定を実現するために、欧州委員会はこの30%の目標を歓迎し、最終的には再生可能エネルギー（以下、再エネ）100%を目指して、各国政府の具体的な対応や計画を待つ段階となっている。

日本では、2018年のエネルギー基本計画に基づく政府の目標は、2030年に風力発電はわずか1.7%を担当するという目標であり、欧州をはじめとする世界に比べて、あまりに小さな目標となっている。これは、他のエネルギーに配慮していて、再エネは22%の目標であるが、その中には伝統的な大型水力発電が10%程度を占めていて、さらに残りのほとんどを太陽光発電が占める形になるためである。世界では、経済性を有する風力発電が太陽光発電を凌いで

いるものの、国内ではその普及が大幅に遅れている現状がある。本稿では、風力発電の内外の最新情報を紹介し、日本においていかに普及させていくかを述べていくことにする。

## 風力発電の概要

現在、風力発電において商業的に利用される風車は、水平軸プロペラ3枚翼風車と呼ばれるものがほとんどである。歴史的には、世界遺産となっているオランダ風車などの流れをくみつつ、流体力学的に完成度を高めて3枚翼のプロペラ型となった。回転翼の断面は、航空機の翼と同様な流線形をしていて、流入する風に対して垂直に発生する大きな揚力を利用し、風車として回転力を得ている。流入する風の方向に働く抗力を利用した特殊な風車も存在するが、大型であることや経済性を考慮すると、当分の間は、水平軸プロペラ風車が普及し続けるものと判断している。なお、回転する翼の枚数がなぜ3枚かという質問が出るが、流体力学的には数は何枚でも良いものの、経済性を考えると枚数の少ない方が良く、さらに視覚的に受け入れやすい3枚翼という判断となっている。

現在、最も大きい風車は、発電容量が12MW

（メガワット1000キロワット）機で、回転翼の直径は220<sup>1)</sup>、トッブの高さは260<sup>2)</sup>に達し、さらに大型化を目指している。つまり、高さは東京タワーの333<sup>3)</sup>に近く、毎分10回転程度のゆっくりとした回転速度となっている。風速などによっても異なるが、1機当たりおよそ1万世帯の電力を賄える発電量となっている。欧州の最近計画されている洋上風力発電所の単位は100機単位であり、出力は1GWを超え、原子力発電や大型火力発電の1機に相当する大きさとなっている。ちなみに、現在の風力発電の世界の設備容量は600GWを上回り、原子力発電所の400GWを超えていることはあまり知られていない。太陽光発電も成長が続き、その設備容量はおよそ500GWに達し、良い競争相手となっている。

## 風力発電の長所と短所

語るまでもなく、風力発電は風を「燃料」とした再エネであり、1<sup>4)</sup>キロワット当たりの発電価格は、欧米では陸上風力で5円、洋上でも10円を切っている。つまり、最も経済性の優れた再エネとして、世界で普及を続けている。現在、一般的には10円を切ると、補助金などの援助を受けず、

商業電源として広く受け入れられると理解されている。

短所としては、「風任せ」とも揶揄されるように、変動するエネルギーだということである。特に、狭い地域での電力系統に限ったとき、その影響は強く現れる。欧州は、国境を越えて大きな地域として系統を運用することにより、規模効果を利用して出力変動を小さくしている。あるいは、北欧の大規模な水力発電などの組み合わせで、バックアップを行っている。もちろん、最新技術や代替技術として、蓄電池、揚水発電所の活用などがあり、変動を実質的に補うことができつつある。さらに、風力発電の発電量の予測技術も性能が高まってきており、出力変動の予測のもとに他電源の活用を容易にすることができるようになった。これらの方法を総合的に活用することにより、風力発電の大幅な導入が欧州などでは可能になってきている。

また、電力系統の問題で、風力発電を期待できる地域の系統の細さがあり、新しい発電所を受け入れる空き容量はないとの問題が過去には指摘されていた。政府も「コネクト&マネージ」という新しい方針を打ち出し、系統の初期設計での積み上げによる既存発電所への割り当てのみではなく、その運用によって乗り越えることができる問題との認識が広がってきた。洋上風力発電を想定した東北電力による新たな系統利用者の募集プログラム、あるいは東京電力の銚子沖洋上風力発電を想定した部分的な解列を含む運用により、従来は空き容量はないとしていた系統も、大規模な再エネを受け入れられる方

向に進んでいる。

陸上風力発電では、低周波による騒音を含む騒音問題が話題となり、その導入が遅れてきたこともある。最近の風車は、回転翼の先端および後縁形状の工夫、また大型化に伴う回転数の減少により、騒音は減少している。さらに、低回転のプロペラ翼と高回転の発電機を結ぶ増速機と呼ばれる歯車を廃止し、直結式と呼ばれる低回転の発電機による新しい方式での発電が可能となり、著しく騒音は減少している。

これらの技術の進歩と工夫により、風力発電導入の障害は一段と小さくなってきた。

### 欧州の具体的な洋上風力発電ロードマップ

風力発電で世界の先頭を走っている欧州は、ほぼ陸上風力発電の適地は開発し尽くしたこともあり、洋上風力発電の大規模な普及を狙っている。2000年頃の普及当初は海岸近くで10機程度の規模であったものが、現在の開発規模は100機単位と拡大を続けている。欧州の北海は幸いにも遠浅であり、水深50m以内の浅い海域が広がっている。前述のように、2050年に30%の電力を洋上風力発電で賄うロードマップでは、北海の面積のわずか3%を利用することで450GWの設置が可能となり、現実的な選択肢であることを訴えている。

一般的には風力発電のコストは高い、さらに海上に建設する洋上風力発電はもっと高くなり、経済性が成立しないだろうとの憶測がはびこっている。しかし、欧州では既に入札制度が

導入され、およそ6円/キロワット時という低価格で落札された実績を持つ。今回のロードマップでも、450GWを目指しつつも、価格はおよそ10円/キロワット時までに抑えられると予測している。陸上の風力発電の欧州の価格もおよそ5円/キロワット時と見られることから、風力発電は最も廉価な大規模エネルギー源の一つであると評価できる。

また、このようなロードマップを作成する背景には、継続的な事業を育成する狙いもある。つまり、一度に多くの風車を設置してしまうと、産業として一時的なものになり、継続的な事業は望めない。特に、風車の寿命は一般的に20年として設計されているため、20年ごとに「リパワリング」と呼ばれる新しい風車や設備へ更新することが望まれる。従って、寿命20年で年間20GWの設置とすると、およそ400GWの洋上風力発電が継続的に運転できることになる。建設費をおよそ50万円/キロワットと想定すると、一年当たり10兆円という大規模な産業規模となる。なお、陸上風力発電では現在、世界の総設備容量が既に600GWを超えており、今回の欧州の洋上風力発電の将来計画の一步先を進んでいることになる。

現在計画されている洋上風力発電所は、1GWを超える大きな規模となっている。つまり、10MWの風車を100台配置することになるため、一方では、景観問題を観光業者から提起される可能性がある。当初は、海外線間近に配置されていたものの、多数の風車が配置された現在、海岸のホテルなどからの距離を大きく取る



コペンハーゲン沖に2000年に設置された2MW機20台のウィンドファーム

ことを求められることが多くなった。しかし、コペンハーゲン沖の海外線近くに建設され20台の風車からなる洋上風車群(ウィンドファーム)は、アーティストの幾つかの提案から、円弧上に配置されたデザインを採用し、その美しい姿が話題となっている(左写真)。また、その一部が市民ファンドによって運営されている市民風車となっているため、市民からは「我々の風車」との意識が強く、景観問題などは話題にはならない。このように、風力発電の大型施設の導入において、さまざまな配慮がなされている。

現在、このロードマップの大きな発電量について、欧州委員会はバリ協定の実施に向けて同意していて、各国政府にその実現のための政策

立案を要請していると聞いている。もちろん、各国の諸事情があるので単純に計画が進むとは限らないが、これまで欧州は陸上風力発電を10年で10倍に成長させてきた実績を有するため、現在の30GWを、2050年に450GWまで成長させることは可能であると判断している。

### 日本における風力発電導入促進への提案

日本では風車設備容量は現在わずか4GWで、電力換算でおよそ0.6%の電力を賄っているに過ぎず、欧州の15%に比較すると、桁違いに遅れていることが分かる。これは、政府や産業界が、従前、自然エネルギーの役割を著しく低く評価していたこと、また、未曾有の震災・原子力災害の後も、風力発電に対して環境影響評価などの厳しい条件を課し、太陽光発電に対して立ち遅れてしまったことである。

筆者が2000年に風力発電の研究を開始した頃、初めて参加した国内の風力発電の学会で、基調講演として招待された政府関係者の「イソップ物語の北風と太陽」を引用した講演に驚いたことを思い出す。この物語では、旅人のマントを脱がせるため、北風と太陽が力比べし、強風で吹き飛ばそうとした北風ではなく、燦爛と光を照りつけた太陽の勝ちとなる。この物語を引用し、「国は太陽光を応援する。その心は、風力発電は円熟化した機械産業であり、太陽光発電はこれから成長する半導体技術であり広い応用を期待できる……」と発言したことを記憶している。風力発電の学会の冒頭のこの講演は、初心者であった筆者を非常に驚かせると共に、

当時、政府は自然エネルギーの開発に対して熱意がないこと、さらに風力発電には興味もないことを痛感した。一方、欧州では風力発電のさまざまなロードマップが提案され、現在の風力発電の大規模普及の基礎を構築していた時代であった。

しかし、2000年代の地球温暖化現象の提起に伴って再エネが国際的な話題となり、さらに、震災・原子力災害により、再エネに正面から取り組む時代が日本にもやってきた。環境省をはじめとする調査では、風力発電のポテンシャルは国内の電力を賄うに十分なものであることが分かってきた。しかし、政府は電力の系統問題や経済性、そして発電の出力変動などの問題点を指摘し、現在でもエネルギー基本法に基づく「ベストミックス」では、風力発電は2030年に電力の1.7%、設備容量でおよそ10GWの目標にとどまっている。政府も最近では「キャップをかけていない(上限を設定していない)……」と修正の発言をするようになってきているものの、国民や産業界への明確なメッセージとはなっていない。

一方、国内でも洋上風力発電を普及させるために、発電所の適地を確保する港湾法の改正に続いて、昨年に「再エネ海域利用法」と呼ばれる新法が成立・施行された。これは、都道府県からの情報提供に基づき、一般海域における洋上風力発電の促進区域を国が決めるものであり、現在11区域の情報提供を受け、その中で4区域の促進区域候補としての協議、更にその中から長崎県五島市沖を促進区域の第1号に指定

した。新年度に向けて、さらなる情報提供が都道府県からあることを期待している。

しかしながら、国としてのロードマップがないと産業界への投資が十分ではなく、また、洋上風力発電事業へのさまざまな規制や拘束が残ってしまう。例えば、電力系統の現在の制約により、洋上風力発電の大規模展開が制限されているが、その制約を一日も早く取り除くことが必要である。

具体的にはどのようなロードマップが必要であるのか。実は、筆者らが、数年前に海洋基本計画に基づく政府の委員会で立案し、資料に記載されているものがある（文献②）。その中で、洋上風力発電の2030年の目標を電力の5%、設備容量20GWの設置を提言している。陸上風力発電の開発も同様に期待し、洋上と陸上を合わせて10%を賄うことになる。その理由は、政府の2030年の電力ベストミックスとして、太陽光7%を含めて再エネがおよそ22%、原子力発電が20%とされているものの、国民の理解として原子力発電の20%は非常に難しく、10%程度を維持するにとどまると推測していることである。その減少分の10%を、洋上風力発電を中心とした再エネで助け合おうとの提言である。このような新しいロードマップを構築し、一日も早く、風力発電の大きな目標の下に、関係者が力を合わせる機会が来ることを望んでいる。

風力発電は、一カ所に集中した発電所ではなく、国内に広く配置され、地域のエネルギー産業と呼ぶにふさわしい発展を期待できる。洋上



千葉県銚子沖の洋上風力発電設備。  
左は気象観測用のタワー（2017年、朝日新聞）

風力発電であれば、これまで海域を利用し、海を守ってきた漁業者を中心とした利害関係者との調整が必要である。これらの過程で、地域に根差し、地域の発展と結びつき、風力発電設備がその地域のシンボルとなることを期待している。

## 結び

以前、世界遺産に指定されているオランダ・キンデルダイクの美しい風車群を見る機会があった。およそ300年前から海面より低い土地の灌漑に利用され、それぞれの風車小屋には風車守の家族が生活していた。現在も週末には風車を運転し、多くの観光客を受け入れている。地域に貢献する風車群に対して、その美しさを評価することはあっても、騒音などの環境問題を指摘する人はいない。風というエネルギー密度の低い「燃料」を利用しているため、どうしても筐体が大きくなり、現代では、景観などを含めて環境問題が指摘される場合がある。しか

し、オランダでは地域の生活に大きく貢献していることを住民は承知していて、風車と共存している姿を知ることができた。

電力やエネルギーを得るための機械やシステムは、原子力発電も含めて、それぞれ長所と短所を持ち合わせている。近代の風力発電設備はまだ歴史が浅く、時々、トラブルを起こすこともあるが、幸いにも住民をけがなどに直接巻き込む事故は起きていない。原子力災害と比較すべくもないが、風力発電は、あくまで地域の方々と共存できる、持続可能かつ経済性のあるエネルギーシステムと言える。

再エネの中では、太陽光発電を抑えて、風力発電が最も経済性のあるシステムと世界では評価されている。陸上に続き、洋上風力発電が普及すると、さらに大規模となり、日本でも確実に主力電源に成長すると見込まれる。その一方、地域共存を忘れてしまうと、住民からの理解が得られず、適地の確保が極めて難しい状況になることは自明である。

世界遺産のオランダ風車を一つのお手本として、地域の活動と密着したウィンドファームの普及促進を目指して活動を続けると共に、風力発電の普及促進を目指す世界的な水準のロードマップを提案し、政府への働きかけを強めていきたい。

### 参考文献

- 文献1「Our energy, our future. WindEurope2019. <https://windenergy.org/about-wind/reports/our-energy-our-future/>
- 文献2「新海洋産業振興・創出PTの参事会議への報告」主査・湯原哲夫 pp.30、2014 [https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaifuou/sanyo/sanyo\\_iken\\_20140522.html](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaifuou/sanyo/sanyo_iken_20140522.html)