

洋上風力発電の最新動向と将来展望について

風力発電，特に洋上風力発電は，広大な海に立地できることから多くの風車を設置することが可能だ。かつて2000～3000kWで大型といわれた風車も，ここ数年はさらなる大型化が進み，洋上風力発電では単機8000kWの風車が採用される時代になった。将来的には100万kWの発電所建設は可能であり，実際にその規模でのプロジェクトも動き始めている。最近，特に注目されている洋上風力発電を中心に解説していただいた。

(編集部)

東京大学大学院 教授 石原 孟

洋上風力発電の開発促進が不可欠

第5次エネルギー基本計画で掲げられている再生可能エネルギーの主力電源化を目指すには，これまで以上に風力発電の導入を加速させる必要がある。世界の風力発電設備容量は2017年末に5億3912万kW，新規導入量は5249万kW（前年比11%増）に達したが，日本の風力発電設備容量は350万kWに過ぎず，世界の総設備容量の1%にも届いていない。今後も風力発電の導入を拡大していくためには，洋上風力発電の開発促進が不可欠だ。

洋上風力発電の最大の利点は，大規模な出力を確保できるという点にある。広大な海に立地する洋上風力発電は，陸上の風力発電よりも多くの風車を設置することが可能だ。かつて2000～3000kWで大型といわれた風車も，ここ数年はさらなる大型化が進み，洋上風力発電では単機8000kWの風車が採用される時代になった。日本の電力会社は100万kWを一人前の電源としてカウントしていたが，洋上風力発電であれば100万kWの発電所建設は可能であり，実際にその規模でのプロジェクトも動き始めている。

現在，日本における洋上風力発電の導入量は2万kW程度だが，環境アセスメントの手続きをしている案件は約540万kWに上る。秋田県由利本荘市沖，青森県つがる市沖では100万kW規模の発電所をつくる計画も進行中だ。洋上風力発電プロジェクトは11の海域で進められており，そのうち4つの海域では漁業関係者との交渉が完了するなど，着実な進展をみせている（図-1参照）。

イギリスでは121万8000kWの発電所が2020年の運転開始を目指している

洋上風力発電の導入機運は高まりつつあるが，風力発電全体の導入量からみればまだまだといった状態だ。洋上風力発電に限れば，世界の設備容量は2300万kWで，2018年は450万kWが導入されている。洋上風力発電の新規導入量は，今や風力発電全体の新規導入量の8.8%を占めるようになった。新規導入量で最も多いのは欧州の265万kWだが，中国も180万kWと猛追している。2023年には，世界における洋上風力発電の導入量が1000万kWに達すると見込まれているが，中国単体でも，近い将来に年間導入量が1000万kWに届くという予測もある（図-2参照）。

世界で最も出力の大きい洋上風力発電所は，イギリスのウォルニー・エクステンション（65万9000kW）で，2018年に運転を開始した。現在はそれを超える規模のものが，イギリスで2カ所，オランダで1カ所計画されている。イギリスでは，世界で初めて100万kWを超える121万8000kWのホーンジー・ワン発電所が2020年の運転開始を目指して建設が進められている。

現状で世界最大の市場である欧州では，メーカーも当然，欧州勢が強い。風車メーカーはシーメンスガメサがシェアトップで62%，基礎メーカーはドイツのE E Wがシェアトップの49%を占める。日本のメーカーでは，三菱重工業がデンマークのヴェスタスとM H I ヴェスタス・オフショアウインドという合併会社を設立し，風車のシェアを33%握っているが，日本勢の参入はこの先も厳しいという見方が一般的だ。

● 現在、我が国における導入状況と、環境アセスメント手続中（※一部完了したものを含む）の計画は以下のとおり。（導入量は約2万kW、環境アセス手続中の案件は約540万kW）

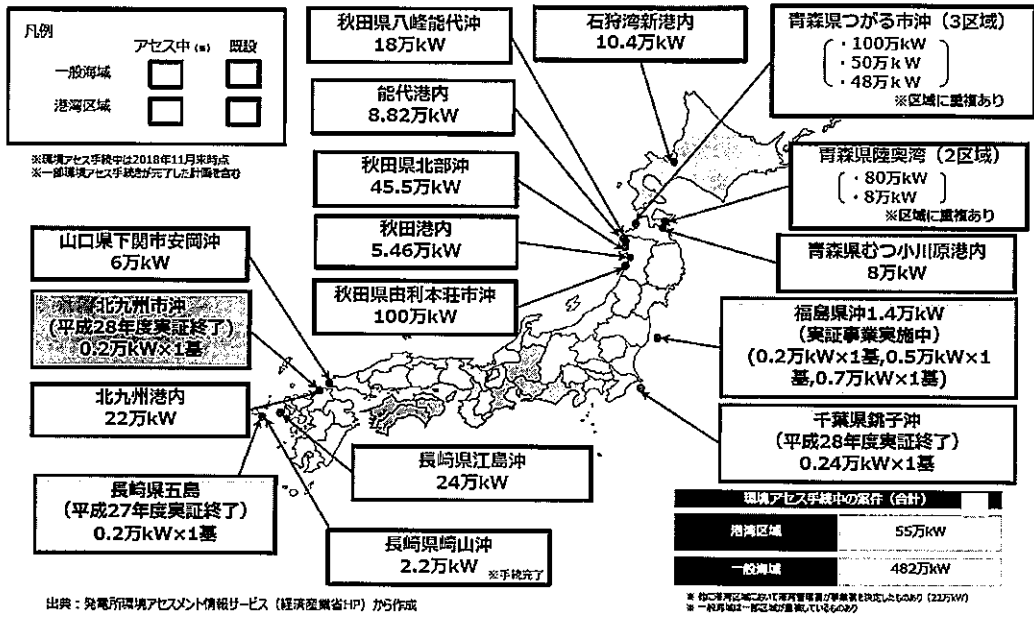
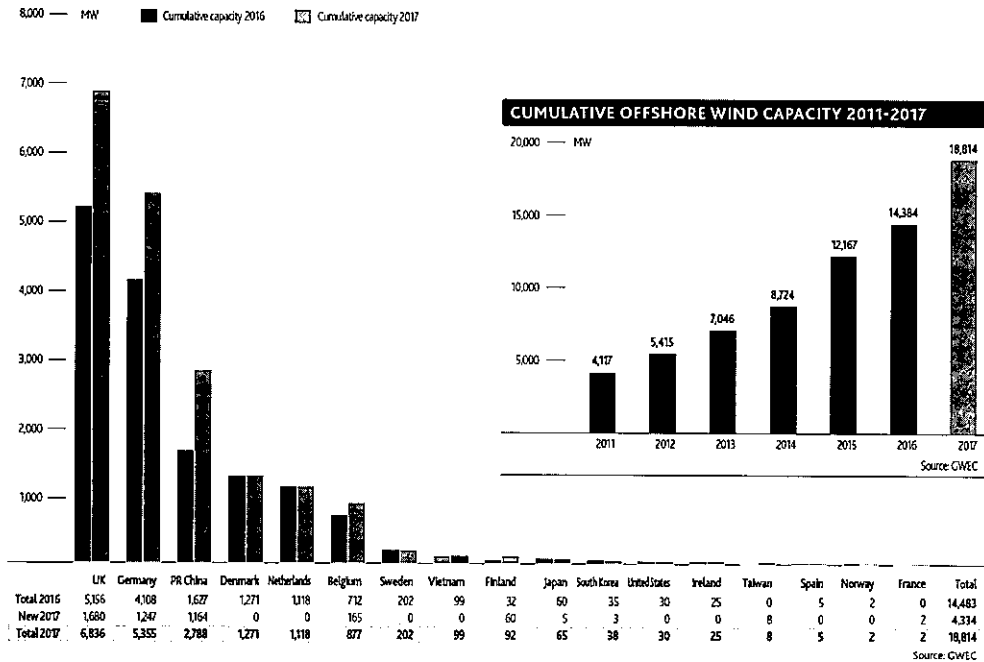


図-1 国内における洋上風力発電の導入計画



(出典)「GWEC Global Wind Report 2018」

図-2 世界における洋上風力発電導入量

ただ、日本は台風、地震、高波の影響評価や支持構造物の荷重評価に取り組んでおり、これまでに国際基準の IEC 614001 (台風、地震荷重)、IEC 61400-3-1 (波浪)、IEC 61400-6 (支持構造物) にそれぞれ知見が反映された。台

風や地震のある国・地域では、これらの基準が取り入れられるため、日本企業にとっては有利になる。洋上風力発電を500万kW以上導入する計画を持つ台湾などでも、日本の知見が役立つケースが増えてくるだろう。

日本は、研究レベルだと、世界から遅れを取っていない。現在は、海底に基盤を築いて風車を固定する着床式洋上風力発電が主流だが、やがて開発できる海域がなくなり、2030年以降は、風車を浮かせ、鎖でつないだ錨によって固定する浮体式洋上風力発電が普及していくとみている。浮体式に関しては、ノルウェーのスタトイルとアラブ首長国連邦のアブダビマスダールがスコットランド沖で3万kWの発電所「ハイウインド・スコットランド」を建設し、送電を開始しているが、まだ商業化の例は少ない。日本は世界に後れを取らないように研究開発と商業化を進めていくべきだ。日本では、2011年度から、福島県沖で浮体式洋上風力発電の実証がスタートした。3基の風車を浮かせた発電所をつくり、事業性を検証している。この浮体式洋上風力発電でも、すでに知見が国際基準に反映済みだ。

コストは着実に低下している傾向にある 一番の問題は余剰電力

洋上風力発電の導入を拡大するための課題の一つが、コストの問題だろう。着床式に関しては、発電単価が1kWh当たり12円程度とされ、1kWh当たり5.5円まで安くなっている陸上の風力発電と比べるとなお割高だ。ただ、コストは着実に低下している傾向にあり、オランダの洋上風力発電の入札では1kWh当たり8.1円、スウェーデンの入札では1kWh当たり5.7円で落札されたこともあった。このように、コストの高い発電方式というイメージは払拭されつつある。浮体式洋上風力発電については、ハイウインド・スコットランドのケースで1kWh当たり20.8円と依然として高いが、今後は2030年までに1kWh当たり7.8円まで下げる目標が掲げられている。

一番の問題は、余剰電力をどう扱うかという問題だろう。洋上風力発電によって飛躍的に風力発電の導入量が増えると、今度は電気が余る可能性がある。電気のまま消費するだけでは、電力システムの制約などにまったく対応できず、九州で実施された太陽光発電の出力抑制のようなことをしなければならない。再エネの燃料は無料で無尽蔵にあり、これを単に捨てるという行為を避けたい。課題を解決するためには、再エネの電気を熱と運輸に振り向ける必要がある。エネルギー全体の使用割合でみた場合、電気は全体の20%に過ぎず、運輸は32%、熱は48%に達する。つまり、風力発電などを電気だけで利用すると、電気をすべて再エネで賄ったとしても、全エネルギーの20%しか再エネに転換することはできない(図-3参照)。

課題を解決するためには、電気を熱や燃料に変えれば良い。風力発電をはじめとする再エネの電気の余剰を議論す

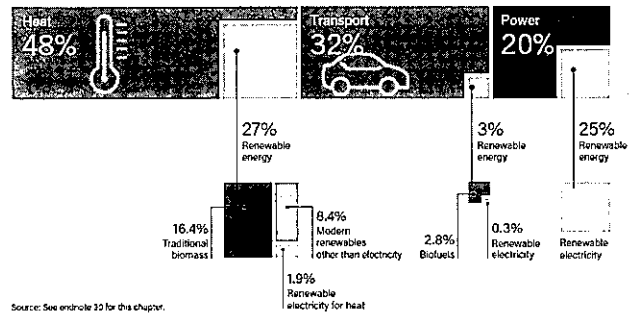


図-3 再生可能エネルギーの各分野における割合 (2016)

る際、蓄電池が有望な手段としてあげられるが、大量に貯め込むには向いていない。デンマークでは、コージェネレーションシステムが200万kW分あり、風力発電の電気があふれた場合は、コージェネを回して対処している。逆に、風力発電が稼働しない日には、バイオマスで発電を行う。スペインでも、風力発電の余剰分を揚水発電で吸収し、残りはコージェネに振り向けている。

最も効果的なのは、水素だ。水素は燃やしても、水しか出さない。蓄電池で懸念される将来の廃棄物問題も生じない。水素は危険性が指摘されることもあるが、高圧にすると危険というだけで、低圧であれば、ガスと同じように取り扱うことができる。貯めるのにもタンクやポンプを使えばよく、これは今も既存のガス事業で使われている方法だ。パイプラインやスタンドなど既存のインフラを活用できる点も良い。運輸の場合は、電気自動車がいま主流だが、水素自動車も並行して普及させていくべきだろう。石油は製品として利用するのが最も有用であり、燃やして使うのではなく、節約しながら長く使った方がいい。

風力発電を議論する際は、つくる側の話だけでなく、使う側の議論もすべきだ。つまりはエネルギー効率の話であり、これは省エネルギーの本流でもある。エネルギーを使わない、という単純なことではなく、エネルギーを合理的に使う発想を取り入れるべきだ。風力発電など単一の問題で見ると日本は海外に後れを取っているように見えてしまうかもしれないが、省エネなどの技術は格段に優れており、日本の得意とする分野だ。再エネの使い方の点で、できることはまだ山ほどあるのでないか。

再エネのベストミックスを考えるべき

エネルギーミックスという言葉は、火力、水力、原子力などの組み合わせで語られるが、私は再エネのベストミックスを考えるべきだと主張している。再エネのベストミックスとは、太陽光、風力、バイオマス、水素、蓄電池の最適な組み合わせを意味する。例えば、風力発電の場合、洋

上風力発電は大規模な出力を出せることから大都市や産業用に向いている。地方は、地産地消の観点から、太陽光発電や陸上の風力発電を普及させる方が、効率は良い。再エネの電気を貯める場合は、水素と蓄電池の両方を考える必要がある。蓄電池は自動車との相性がいいが、一個ずつでみた場合は小さく、大量に貯蔵することはできない。水素はタンクに貯めておけば、保存や運搬が容易だ。再エネを拡大していくのであれば、欧州のように使い方も工夫しなければならない。

洋上風力発電の導入拡大に向けては、もちろん、国の促進策も欠かせない。洋上風力発電は2008年以降、国とNEDOから年間数十億円の研究開発費が投入され、2013年にはFITの導入によって1kWh当たり36円で買い取ってもらえるようになった。法整備も順次進められており、2016年には港湾法が改正され、北九州港内の22万kW、秋田港・能代港の17万kW、石狩湾新港内の10万4000kWなどの港湾風力発電計画が進展することになった。2019年4月1日には「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」が施行され、洋上風力発電の導入機運が一気に高まった。

促進策と合わせて、国は洋上風力発電の高い目標を打ち出すべきだ。欧州では、風力発電の割合が14%に達し、上位6カ国の再エネ比率をみると、デンマークが41%、アイルランドが28%、ポルトガルが24%、ドイツが21%、スペインが19%、イギリスが18%で、主力電源化がすでに実現されている。翻って、日本は2030年の風力発電の導入目標が1000万kWで、これは比率で見ると1.7%に過ぎない。

イギリスは世界中の風力発電企業の研究施設や製造拠点を集積し、国の一大産業として発展させるという国家方針のもと、2020年までに1100万～1800万kWと高い開発目標を掲げている。これが奏功し、2018年までに1975基の洋上風車が建設され、2018年にはさらに222基の洋上風車が建てられた。イギリスはこれによって世界一の洋上風力大国となったが、イギリスでもここまで来るのに10年を費やしたということをおぼえてはいけない。イギリスは参考にすべきモデルであり、日本もほかのアジアの国と地域に負けられないような高い目標を掲げる必要がある。今、1000万kWの洋上風力発電をつくると言っても、明日、すぐに発電できるわけではない。10年先を見据え、世界一を目指すと言わなければ、世界一になることなど、とてもできない。

日本風力発電協会は2050年には風力発電で電力供給の20%を担うロードマップを策定

日本が出遅れているのは、もともと、洋上風力発電の需要がなかったという側面もある。欧州は北海油田の枯渇に直面し、代替手段を考えざるを得なかった。環境に優しいという考え方だけではなく、雇用を守っていくためだった。欧州では、洋上風力発電を手掛けている企業が元は石油・ガスの会社だったりもする。産業転換を図ろうとして、結果的に成功した。

日本はそのような事情がない。ただし、温暖化問題からは、日本企業も逃げることはできない。今や、CO₂を出す企業は、国際競争力を失いかねない。ESG投資の対象先として日本企業の魅力は薄いとされ、これから国を挙げて再エネに取り組んでいかなければ、世界で日本企業が排除される危険性すらある。日本の企業もRE100などに呼応しつつあり、供給側が再エネを手掛ける必要性は加速度的に高まっていく。

欧州では、再エネが発展し、誰もが発電事業者になるような時代になった。ベースとなっているのは、陸上の小規模な再エネ電源だが、それらは地元で高く買い取られ、消費されている。これからは、巨大な電力会社が、安く再エネの電気を買い取ることも難しくなってくるのではないかと。そうなれば、洋上風力発電のように、大規模な再エネを手掛けていくニーズが高まる可能性もある。

日本風力発電協会では、2030年からその先も風力発電の導入拡大を目指しており、2050年には風力発電で電力供給の20%を担うロードマップを策定した。そのうち、半分は洋上風力発電で、着床式と浮体式で半々ずつ賄うことを想定している。今後は国主導の風力発電開発目標の作成、研究・開発の後押しを通じて、さらなる風力発電の導入拡大と産業振興につなげるとともに、風力発電の主力電源化の実現を目指してほしいと考えている。(談)



石原 孟 氏

東京工業大学理工学研究科博士課程終了。清水建設(株)技術研究所に研究員として入社。2000年4月、東京大学大学院工学系研究科助教授等を経て現職。浮体式洋上風力発電システムの開発等の研究を行っている。日本風力エネルギー学会会長。審議会委員等多数。