

■ウィンドウズ オブ Wind (風の窓) 日本における風力発電の現状と課題

日本風力発電協会 情報技術局長 中尾 徹
tel (03)5733-2288 nakao-toru@jwpa.jp

1. はじめに

今年、平成 22 年 6 月 18 日に閣議決定された「エネルギー基本計画」において、2030 年に向けた目標の一つにエネルギー自給率(現状 18%)と化石燃料の自主開発比率(現状 26%)の倍増、それらを踏まえ自主エネルギー比率を現状の 38%から 70%程度まで向上させることが謳われている。自給率の低いわが国にあって、近年、石油価格の高騰が高止まりにあること、今年 4 月 20 日にメキシコ湾沖で発生した BP 原油流出事故による石油開発機運の停滞等、エネルギーを取り巻く環境は厳しいものとなっている。このようなエネルギーセキュリティに係る問題に加えて、地球温暖化対策の面からも石油、石炭等の化石燃料の依存度を低減する必要があることから、新エネルギーの導入はますます重要となっている。さらに新エネルギーの導入は新たな産業を創出し、地域経済・雇用創出にも貢献し得ることから、3つのE(エネルギー、環境、経済成長)の解決策として期待されている。

新エネルギーの中でも風力発電は、経済性(発電コストが比較的安価)、効率性(設備利用率が大きい)及び環境性(エネルギーペイバックタイムが短い)に優れていることから、世界的に注目されている新エネルギー発電である。

ここでは、主としてわが国における風力発電の導入状況と技術開発動向を概観するとともに、導入に係る主な課題について取りまとめることとした。

2. 風力発電導入量の推移

世界の風力発電の累積導入量は、図-1 に示すように 1990 年代の後半には地球温暖化防止の世界的な気運の高まりとともに急激に増加して 2009 年末現在で 146,094MW に達した(データの出典によって約 14.6 万 MW から約 15.9 万 MW まで 1.3 万 MW 程度の差がある)。これは、大凡 150 基分の原子力発電所の規模に相当する。なお欧州では 2000 年頃から洋上風力発電(水域に風車を設置して発電する方式)の商用運転が始

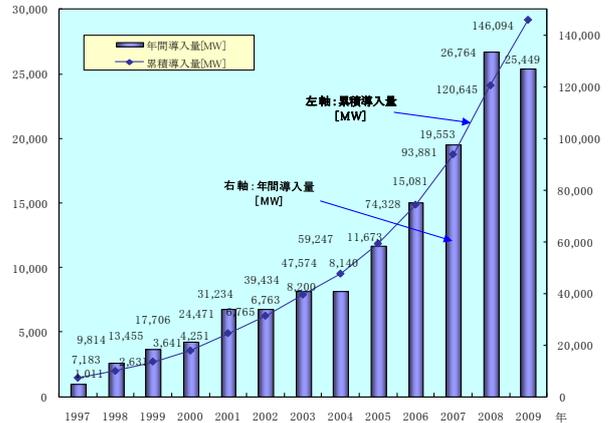


図-1 世界の風力発電導入量の推移
(データ: Windpower Monthly, 1998-2010)

まっており、今後、世界的な規模で洋上風力発電の導入が進展するものと考えられる。2009 年末時点における風力発電累積導入量の上位 6 カ国は、アメリカ、ドイツ、中国、スペイン、インド、イタリアの順で、2007 年以降、アメリカ、中国の躍進が著しい(図-2)。なお日本の風力発電導入量は 13 位で、世界全体の約 1.4%を占めているに過ぎない。以下に日本の導入量の推移を取り上げて概観する。

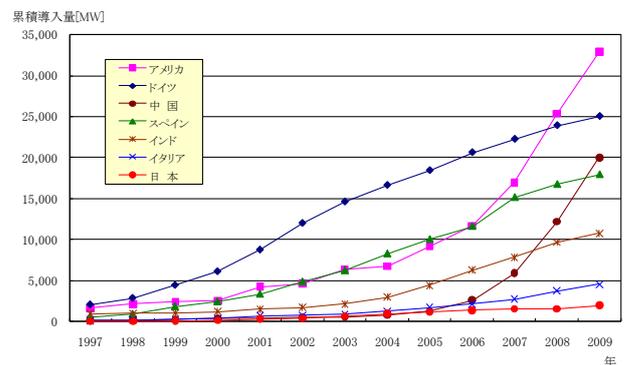


図-2 世界の主要国の風力発電導入量の推移
(データ: Windpower Monthly, 1998-2010)

わが国における風力発電累積導入量の推移をみると(図-3)、1990 年代の後半から急速な伸張が認められ、導入量は 1999 年度から 2009 年

度までの 10 年間で約 25 倍以上の 2,186MW(1,683 基)に増加した。導入量の増加は、1997 年に施行された地域新エネルギー導入促進事業・新エネルギー事業者支援事業の他、電力会社による買電制度等の支援制度が充実したことや、風車の大型化や風力発電施設の大規模化(ウィンドファーム;以後、WF と称す)によるコスト低下等に起因している。ただ、2007 年度以降、年間の導入量の伸びに陰りがみられるのは世界的な風車供給量不足による風車価格の上昇、鋼材等材料費の高騰、為替変動の他、建築基準法改正等が影響しているものと推察されるが、現在、政府で検討されている風力発電の全量買取制度の固定価格によっては一層の導入促進が期待される。

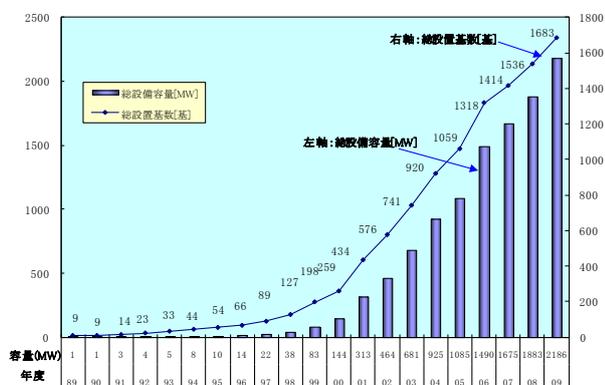


図-3 日本の風力発電導入量の推移
(データ:日本風力発電協会調べ)

3. 風力発電の技術開発動向

欧米では、19 世紀には揚水用風車、粉引き用風車が数多くみられていた。20 世紀初頭から半ば位までには発電用の小型風車が農家等の一般家庭用の独立電源として利用されていたが、今日、広く見られる近代的な 3 枚羽根の発電用風車は 1970 年になってからである。それ以降、開発の黎明期を経て、特に欧州において 1990 年半ば頃から風力発電技術の躍進期を向え、定格出力 1MW を超える風車が開発され現在に至っている。

わが国において風車の技術開発がスタートしたのは 1973 年の第一次オイルショック後に設立されたサンシャイン計画(2003 年にニューサンシャイン計画と改称)によっている。本計画の下で、三菱重工業の 500kW 級風車(1985-1988 年)、富士重工業の離島用 100kW 風車(1999-2002 年)等の風車の技術開発の他、数多くの実証試験・調査が行われている。しかし

日本における風車の開発は、国家プロジェクトに依るよりもメーカーの自主開発が進んでおり、現時点で中型風車以上の出力を有する商用風車を販売しているメーカーは 5 社存在する(表-1)。風車の制御方法、発電機型式等は時代の先端技術が取り入れられており、日本の風力発電機メーカーの技術力は決して海外メーカーに劣るものではない。近年、三菱重工業が米国市場において受注数を伸ばしている他、国内市場に占める国産機のシェアも上昇している(2009 年の国産機の導入割合は 40%超)。ものづくりにおける日本メーカーの技術力は世界が認めるところであり、今後の技術開発、実績の積み上げによる信頼の獲得、販売網の強化等を図ることにより、市場シェアを拡大させることは可能である。また風力発電に係るコンポーネントの軸受では、現在、ジェイテクト、日本精工、NTN が世界的にも大きなシェアを有している。

表-1 日本の風車メーカーと販売機種種の概要

項目	三菱重工業			富士重工業		日本製鋼所		勸井数工	西島製作所
	MWT 82/1,000/000A	MWT 92/2.4	MWT 95/2.4	SUBARU 22/100	SUBARU 80/2.0	J70-2.0	J82-2.0	KWT300	TWE100
定格出力(kW)	1,000	2,400	2,400	100	2,000	2,000	2,000	300	100
制御方式	ピッチ	ピッチ	ピッチ	ピッチ	ピッチ	ピッチ	ピッチ	ピッチ	ピッチ
発電機型式	かご形誘導発電機	二次巻線型誘導発電機	二次巻線型誘導発電機	永久磁石多極同期	二次巻線型誘導発電機	永久磁石多極同期	永久磁石多極同期	かご形誘導発電機	永久磁石多極同期
ロータ直径(m)	61	92	95	22	80	71	83	33	21
ブレード枚数	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ハブ高(m)	68	70/75	80	24	60/80	65	65/75/77/80	41.5	25
特徴		現時点で日本最大の風車	現時点で日本最大の風車		ダウンウィンド型風車				

注) ダウンウィンド型風車:ロータが風下側(向いて稼働する風車)
参考) 中型風車:150-500kW、大型風車:2500-1000kW、超大型風車:1000kW以上

ここで風力発電の技術開発に係る研究目標を掲げるとすれば、次の 4 項目に集約される。

- ① 大型化、② 低コスト化、③ 高性能化、④ 出力変動対策

以下に風力発電に係る具体的な技術開発項目として、上記①大型化に関連するブレード、パワートレイン(ロータ主軸、主軸ベアリング、ギアボックス、発電機、コンバータの構成要素からなる動力伝達形式)及び④出力変動対策を取り上げて概観する。

(1) ブレード

商用風力発電機の出力は、図-4 に示すように年々大型化している。これは大型風車の方が発電量が多く、相対的に建設コストが安価なことから発電コストを最小化することができる等の理由による。2010 年の第一四半期の時点で最大の風車は、洋上用実証機として開発中の 6MW 級の風車(Vestas, Enercon, REpower の各社)で、三菱重工業、Clipper 社(アメリカ)も 7MW 級を超える風車の研究開発に着手している。このような風車の大型化に伴いブレードの長翼化/軽量化技術が重要で、これには構造・翼型、材料

(繊維はポリエステルからガラスクロスやカーボンに推移)、製造方法、落雷対策等に関する技術開発が必要である。またブレードの軽量化に有効な炭素繊維については、世界的にも東レ、東邦テナックス、三菱レイヨン等が競争力を有していることから期待がもてる。

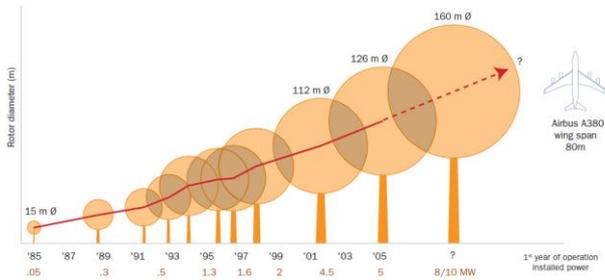


図-4 商用風車の定格出力及びブロータ直径の変遷 (van Kuik *et al.*, 2006/EWEA, 2005)

(2) パワートレイン

パワートレインの形式は風車の運転・制御方法の発達とともに変化してきた。つまり自然風による機械的変動出力を発電機及びコンバータを介して出来る限り安定した電力を送ることが系統側から風車側に要求されるケースが多くなったからである。現在の風車は、「二次巻線型誘導発電機 (DFIG) の可変速風車」あるいは「同期発電機 (FC) の可変速風車: 巻線型と永久磁石型がある」が主流となっている (近年、FC と 1 段の増速機を組み合わせたハイブリッドタイプが実用化されている)。系統側からは瞬時停止解列の対応に優れた形式が求められており、それには FC 形式が理論的には有望であるが、コストの面からは DFIG 形式が望ましい。また WF による発電出力平滑化効果や WF 内の各種形式のベストミックスを探りコストダウンを目指すことが短・中期的の技術課題と考えられる。なお洋上風力発電用風車は、陸上と異なり海象条件によってはアプローチが困難であることから、ギアボックスに由来する故障を回避するため FC 形式のパワートレインが漸増する傾向にある。

(3) 出力変動対策

風力発電の導入量拡大に伴う電力安定化対策としては、短期ではガバナフリー、中期では LFC (自動周波数制御)、長期では ELD (経済負荷配分制御) 等の制御方法があげられる。風車側からの制御方法を時間的・空間的スケールからみると、各スケールに適した制御方法、例えば

単機・小規模風力施設 (単機, 複数機) ではブレードのピッチコントロール機構、ロータの可変速運転等の他に、電気二重層キャパシタ等を併用した制御方法がある。また中・長期で WF 内あるいは WF 間等の空間スケールでは、発電量予測、モニタリングシステム、蓄電池等を用いた制御方法が必要となる。わが国では、現在、特に LFC 領域での制御が問題となっているため、鉛蓄電池、NAS 電池等による制御方法 (出力変動一定制御方式、出力変動緩和制御方式) に係る研究が行われているが、今後、風力発電の導入割合が増加した場合の影響については、制御に不可欠な風力発電出力予測モデルの精緻化を目指すとともに、実証試験による総合需給システムの確認が不可欠であると考えられる。

4. 風力発電に関する主要な課題

風力発電の導入拡大を図るためには、技術開発及び導入促進策に係る課題のそれぞれにおいて対応を講じる必要がある。ここで風力発電に関する主要な課題として、経済性 (低コスト化)、気象・海象特性及び導入促進策の 3 つに分類して取りまとめた (図-5)。なお風力発電に係る最近の国の動きとして、環境影響評価法が見直され風力発電が対象事業として組み込まれることがあげられるが、詳細はこれから検討される段階なので、本課題は導入促進策の項では取り上げなかった。

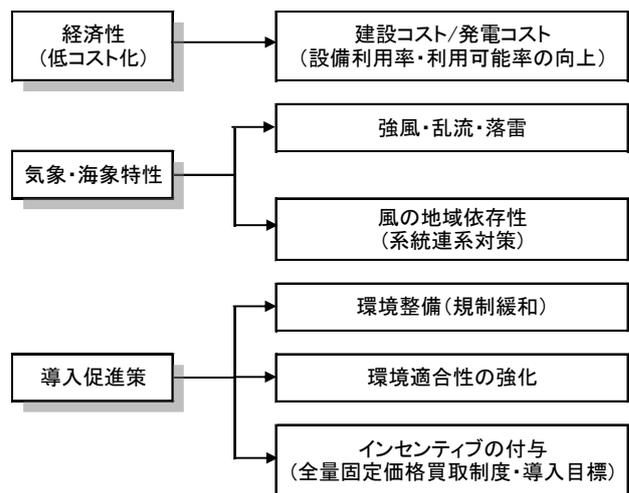


図-5 風力発電に関する主要な課題

(1) 経済性 (低コスト化)

風力発電設備は、設置しやすい平野部への導入から始まって拡大するにつれ山間部、洋上へと自然条件の厳しい設置環境に建設されるこ

とになる。しかし、こうした場所への設置はこれまで以上にコストの上昇につながる恐れがある。そのため建設コスト・発電コストの低減が重要である。経済性は、風車の大型化・WFの導入によるスケールメリット効果で向上しているものの、さらなるコスト低減が必要である。コストを下げるには、特にメンテナンス費の削減と長寿命化の果たす役割が大きく、そのため風車の故障検知や寿命予測機能を監視システムに付与することで、風力発電機器の耐久性の向上を図る。また風車の故障・事故による停止時間を短くするためにメンテナンス体制を強化するようなソフトの取り組みも重要である。

一方、発電量を増加させるアプローチも重要で、風車の大型化・高性能風車はその大きな流れの一つである。その他の対策として、可変ピッチ制御やヨー制御といった制御システムの高度化、WFの発電量の最大化を図る最適運用技術の開発等がある。

(2) 気象・海象特性

わが国の気象特性として、台風による強風、特に複雑地形を有する山間部では風の乱れ、また日本海側の雷撃エネルギーの大きい冬季雷等をあげることができる。また四方を海に囲まれているわが国にとって海洋の領海面積は世界6位で風力ポテンシャルの膨大な場が確保されているが、海域は厳しい気象・海象特性を有している。

このような自然条件の厳しい場においては、設計基準の構築とそれを踏まえた日本型風車の開発が重要である。また基礎技術としてリモートセンシング技術による風況観測の高度化、複雑地形風モデル、落雷保護対策技術、気象・海象予測モデル、風と波の連成解析技術、疲労照査技術の他、山間部の風況変動に対応する出力制御システム等、種々の技術開発要素があげられる。なお国内の風力発電建設適地は北海道・東北・九州の3地域に偏在する傾向があり系統連系上問題が多いことから、既存系統の強化・弾力的運用等が必要とされている。

(3) 導入促進策

わが国は、山岳地帯が多く平野部が少ない反面、四方を海で囲まれた自然環境にあって、風力ポテンシャルの大きい山岳地帯や海に面する沿岸部ではその大半が自然公園、保安林等の立地規制があること、また海洋では沿岸域の漁業権漁業、沖合域の指定漁業による漁場が存在すること、その他、前述のように改正建築基準法が適用されていること等に対して法令の弾

力的運用、ある程度の規制緩和等の対応が必要とされる。

また近年、マスコミでも報道されているように、風車音、バードストライク等に代表される環境問題がある。風力発電設備に隣接する地域の住民から風車音に対する苦情あるいはバードストライクによる鳥類被害に対して、実態を把握し技術的対策を施すことにより影響の解消あるいは緩和を図ることが必要である。

さらに風力発電のインセンティブを高め積極的な導入を図るには、風力発電の全量買取制度の固定価格を少なくとも20円/kWh以上とする仕組みを構築すること、風力発電に関する政策として中長期に亘る実現性のある高い導入目標を掲げること等が重要で、これらは風力発電産業界の発展に繋がるものである。

5. おわりに

わが国の累積風力発電導入量は、前述したように2009年度末で約2,200MWで、これは2010年度の風力発電の導入目標3,000MWを約800MW下回り、現状では目標を達成できる見込みは少ない。しかし上述の風力発電に係る課題について技術開発、導入促進策等により解決し、国内における風力発電の普及拡大とグローバルマーケットへの展開に結びつけていくことが重要である。上田(2009)が指摘しているように、風車は、自動車と同じ機械製品であり、その生産にはブレード、タワー、発電機、主軸、鋳物、電機部品等の約1万点の部品から組み立てられている。このように関連産業の裾野は広いことから、風力発電の導入拡大は新たな風力発電産業の振興、ひいては我が国の経済成長を高めることが期待される。

参考文献

- EWEA(2005): Prioritizing Wind Energy Research Strategic Research Agenda of the Wind Energy Sector, 55pp.
- NEDO 技術開発機構ら(2007): 平成19年度成果報告書 風力発電に関する次世代技術課題の調査. 146pp.
- NEDO 技術開発機構(2010): 再生可能エネルギー技術白書～新たなエネルギー社会の実現に向けて～. 87-160.
- 上田悦紀(2009): 風車工業による産業振興と雇用創生について. 第9回風力エネルギー利用総合セミナーテキスト. 30-42.
- van Kuik, G., Ummels, B. and Hendriks, R. (2006): Advances in New and Sustainable Energy Conversion and Storage Technologies, Perspectives of Wind Energy, Invited Paper at the IUC Conf., Dubrovnik, 19pp.