

## 風力発電設備の種類とその特徴

三菱重工業(株) 原動機事業本部 風車事業ユニット 主席  
上田 悦紀 (うえだ よしのり)

### 1 風力発電の状況

風力発電の歴史は、約 120 年前の 1887 年に英国の James Blyth が 4 枚翼の垂直軸風車 (今の風杯式風速計と同じ) で 3kW の発電を始めたのが開祖です<sup>1)</sup>。続いて、1891 年にデンマークの Poul la Cour がより高性能な水平軸・揚力式の風車を開発。1941 年には米国の Grandpa's Knob 風車 (1,250kW) が、交流発電機で送電系統に連系されるという、現代と同じ使い方を始めました。

1973 年と 1978 年の二度のオイルショックを契機に石油代替電源として開発が進み、1980 年代末には、鋼製で中空のモノポールタワーの上に発電機の入ったナセルを置き、その風上側で 3 枚の羽根が回る現在では大型風車の定番とも言える設計 (水平軸プロペラ式 3 枚翼風車) が固まりました (写真 1)。



写真 1 典型的な発電用大型風車

(三菱重工の「MWT92/2.4」、定格出力 2400kW、ロータ径 92m)<sup>2)</sup>

今では世界で約 15 万台・約 1 億 6 千万kW（日本の総発電設備容量の約 2/3）の風車が回り、約 3 千億kWh/年（世界の電力需要の約 2%）の電気を生み出しています<sup>3)</sup>。風車は 2009 年の世界の新設電源の 10%以上（欧米では約 40%）を占めており、年率 30%以上（5年で2～3倍）のペースで増え続けています（図 1）。日本には約 1,700 台・約 200 万kWの風車があり、電力需要の 0.4%を供給しています。

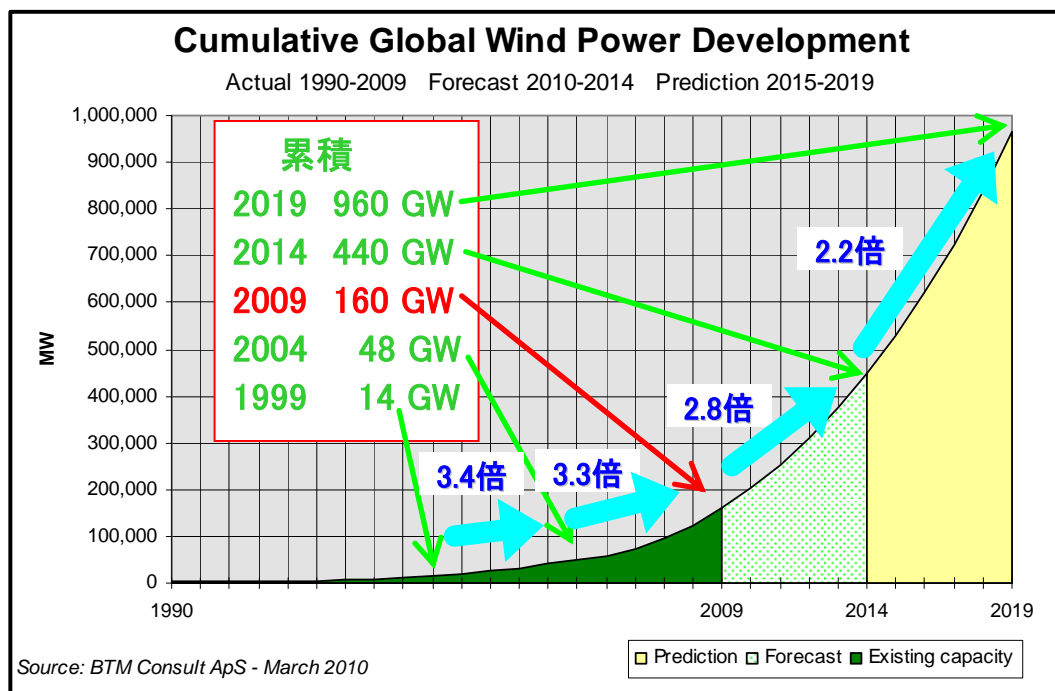


図 1 世界の風力発電の累積導入量<sup>3)</sup> 注：1GW=百万kW

## 2 小型風車

風車の種類で、まず考えないといけないのが「風車の大きさ」です。風車の出力は寸法の 2 乗（羽根の回転する円の面積）、重量・機器コスト・荷重は寸法の 3 乗（立体）に比例するので、比例設計で大型化すると出力の 0.5 乗に比例して、機器コストや強度は厳しくなります（2 乗 3 乗則）。体操選手が小柄な方が有利なのと同じ理屈です。このため、大型風車（系統連系する発電事業用。2009 年新規導入の平均サイズは 1,686kW、ロータ径だと約 75m）では強度とコストの面から、写真 1 のような水平軸プロペラ式 3 枚翼風車に設計が収斂しています。一方、小型風車（20kW 以下の家庭用）では強度上の制約が緩いので、アイデアを凝らした様々な設計のものがあ



写真2 ゼファーの「エアドルフィンGTO」<sup>4)</sup>  
(定格出力 1.1kW、ロータ径 1.8m、ギアレス PMSG)



写真3 シンフォニアテクノロジーの「そよ風くん」<sup>5)</sup>  
(定格出力 1.84kW、ロータ径 3.2m×翼高さ 2m、垂直軸風車)



写真4 ループウィングの「 $\mu$ 6670」(左)<sup>6)</sup>  
 (定格出力 11kW、ロータ径 6.67m、羽根がリボン状)

ゼファー社の風車(写真2)<sup>4)</sup>は、大型風車と同様の水平軸プロペラ式3枚翼風車で、ブレードの取付角は固定で風向追従は尾羽によるパッシブヨー制御となっている点が異なります。炭素繊維翼・ギアレス永久磁石式同期発電機(PMSG)を採用し、非常に軽量なのが特徴です。

シンフォニアテクノロジー社の風車(写真3)<sup>5)</sup>は垂直軸風車です。垂直軸風車には風向追従が不要、低速回転なので静穏、重い発電機を地上に置ける、等の利点がありますが、片持梁の長い回転軸を支える必要があり、MW級以上の大型化は難しいです。

ループウィング風車(写真4)<sup>6)</sup>は、羽根をリボン状にして翼端の二次流れ損失を防止したユニークな設計です。

### 3 大型風車

大型風車では写真1のタイプ(UpWind 水平軸プロペラ式3枚翼風車、増速機と二次巻線型誘導発電機を搭載、定格出力は2,000~3,000kW)が今は主流です。UpWindは「プロペラがタワーの風上側で回る」意味です。Down Wind方式では、羽根がタワーの風下側の風速の低下した乱流領域(タワーウェイク)を通過する際に、変動荷重を受けたり、騒音が生し易い懸念があります。しかしDownWind方式にも、風向安定

性や羽根軽量化（風で撓んでもタワーに当たらない）などの利点があるので、少数派ですが、採用している風車メーカーもあります。（写真5、写真6）。



写真5 富士重工業のDownWind風車「SUBARU80/2.0」<sup>7)</sup>  
(定格出力 2000kW、ロータ径 80m)



写真6 ノルウェーのSWAY社の浮体式洋上DownWind風車<sup>8)</sup>  
(まだ構想段階)

最近では 2,000～3,000kW級大型風車を何百台も並べるウィンドファームが主流ですが、一方で、離島向けや普及啓蒙・広告用に数十～数百kWの風車のニーズもあります。この出力帯には、富士重工の 40kW・100kW風車<sup>7)</sup>(注：UpWind式) や、駒井鉄工(株)の 300kW風車(写真7)<sup>9)</sup>があります。これらは小型トラックで輸送できる利点があります。



写真7 駒井鉄工の「KWT300」<sup>9)</sup>  
(定格出力 300kW、ロータ径 33m)

#### 4 系統連系と電力品質

発電した電気の使い方(送電線への連系方法)で風車を分類すると、表1のようになります。風力発電は風の強弱で発電量が増減するため、電力需要とのマッチングに工夫が要ります。家庭用では蓄電池をバッファにすることが多いです。売電事業用の大型風車は電力会社の送電線に系統連系しますが、電力会社との事前相談(連系協議)や、一部の電力会社では入札(年1回)での当選が必要です。

最近の風力発電の増加に伴って、風の強弱の応じた発電量の増減(電力品質)が送電網に及ぼす影響が懸念されてきました。そこで電力品質を向上させる要求に応えやすい定格容量の電力変換装置と同期発電機を備えた風車も普及を始めています(写真8)<sup>10)</sup>。

表1 風力発電の利用方法

連系方法	サイズと台数	用途	連系電圧
単独運転	小型	一般家庭用～工場やビルの自家発電	低圧（家庭用）
蓄電池経由			
系統連系			
配電線連系	中大型（1～3台） 合計 2,00kW 未満	売電事業用 （自治体や工場）	高圧（6,00V）
特高連系	大型（10台以上）	売電事業用 （wind farm）	特別高圧（2万V以上）



写真8 日本製鋼所のギアレス同期風車「J82」<sup>10)</sup>  
 （定格出力 2000kW、ロータ径 82m、ギアレス PMSG）

参考文献・出典

- 1) 牛山泉、トコトンやさしい風力発電の本、2010年1月、日刊工業新聞社
- 2) 三菱重工業／風力発電プラント  
[http://www.mhi.co.jp/products/category/wind\\_turbine\\_plant.html](http://www.mhi.co.jp/products/category/wind_turbine_plant.html)
- 3) World Market Update 2009、2010年3月、BTM Consult ApS.
- 4) ゼファー株式会社 <http://www.zephyreco.co.jp/>
- 5) シンフォニアテクノロジー株式会社（旧社名は神鋼電機）／エコ発電／風力発電  
<http://www.sinfo-t.jp/windpower/product/index.html>
- 6) ループウィング株式会社 <http://www.loopwing.co.jp/index.html>
- 7) 富士重工業／SUBARU 風力発電システム  
<http://www.subaru-windturbine.jp/windturbine/>
- 8) SWAY社 <http://sway.no/index.php?page=164>
- 9) 駒井鉄工／風力発電システム  
<http://www.komai.co.jp/ENV/wind/index.html>
- 10) 日本製鋼所／JSW 風力発電システム  
<http://www.jsw.co.jp/product/ecology/wind/index.html>