

中型風車の展望

三重大学 教授 博士(工学) **前田 太佳夫**



1. 風車の歴史

風車は古くから利用されてきた。紀元前 1700 年頃にはハムラビ王がメソポタミア平原の灌漑に風車を利用したと言われている。風車を記述した最古の記録としては、ペルシャの地質学者イスタクリによるもので、それによれば 950 年頃に垂直軸風車によって井戸の水汲みが行われたとある。これらの「風車の回転力を機械動力としてそのまま利用する」という歴史は 1800 年代まで続き、風車は灌漑、揚水、穀物製粉などの動力として利用されてきた。

1887 年に英国の J.ブライスが垂直軸風車を用いて発電機を駆動し、ほぼ同時期の 1891 年にデンマークの P.ラクールが水平軸風車で発電機を駆動した。このときから風車は「風力発電」に進化したと言える。この頃の風車は直径 10~20m、出力も高々 200kW 程度であり、このサイズの時代が 1970 年代まで続いた。

1976 年にデンマークで大規模な風力発電プロジェクトが開始され、この時から風車の大型化の歴史は始まった。これ以来、風車は年々大型化してきたが、1995 年頃に 750kW 級から 1MW 級への移行について欧州で大議論があった。当時は 750kW 級が kW 当たりのコストが最小であり、あまりにも急激な風車大型化に対する異論が噴出し、より洗練された 750kW 級を開発するべきであるという主張と、1MW 級へステップアップすることにより世界から追従されない欧州製風車の技術開発を進めるべきであるという主張が真っ向から衝突した。最終的には EU による政治判

断により 1MW 級の開発が決定され、それ以来、風車の大型化はさらに顕著となった。現在では世界最大の風車として、直径 160m 超級、出力 8MW の風車が運転されている。

2. 中型風車の位置付け

国際電気標準 (IEC) では、受風面積 200m² 未満の風車を小型風車と定めている。したがって、回転直径 16m 程度、出力 100kW 程度までが小型風車に分類される。一方、IEC 規格上は 200m² 以上の風車は全て大型風車に分類され、大型風車の要件で設計される。しかし、現在の大型風車の主流は直径 80m 以上、出力 2MW 以上であり、数百 kW 級の風車は大型風車の中でも小さな部類に入る。

風車の大型化が急速に進められたため、数百 kW 級の中型風車の技術開発は十分に検討されず空白の技術となっている。そのため、数百 kW 級の中型風車は世界市場には存在するものの古い技術を使っており、決して性能が良いとは言えない。その点、駒井ハルテックの KWT300 は最新技術で開発された中型風車として注目に値する。

中型風車の市場としては、大型風車が発電するほどの大容量の電気は必要なく、比較的小容量の電力需要の地域等である。国土が広大な米国では、地方に存在する発電所から電力需要地まで送電線を引くコストが高くなるため、地域に必要な電力量だけをオンサイトで発電すればよいという考え方もあり、中小規模の風車が活躍している。国内でも離島等では中型風車に対する期待が大

きい。このような地域では、大型風車では建設や輸送が困難であるという物理的制約のほか、本土からの系統が遮断された時のエネルギーセキュリティとして中型風車に対する期待が大きい。

以上のように、中型風車は大型風車を設置することが困難な山岳地や離島等の地域での電源供給が可能である。また、近年の発電事業の多様化に対応して、工場などの自家消費や、レジャー施設等の自家発電設備代替電源としての利用など、これまで風力発電が十分活用されていなかった場所や用途へ展開していくことが可能である。

中型風車は、電気が必要な地域で、必要なだけの発電を行う分散型電源本来の使い方ができるため、コストとしても成り立つ地域が多い。とくに、最近の大型風車は事業のスケールメリットによって事業費を低減しているため、離島等では基

礎工事や重機調達などの費用が巨額になり大型機導入のメリットが得られない。また、最近の大型風車事業は複数基の大量導入が前提となっているため、風車メーカーが1～2基の導入に対応する可能性が低い。また、離島は自然環境を重視しているところが多く、景観上、大型風車は威圧感があり、問題視されるおそれがあり、これらの地域には中型風車の導入が適している。

3. 中型風車の活用事例

中型風車の活用事例として、三重大学の低炭素キャンパス事業を紹介する(図-1)。三重大学は環境先進大学を目指しており、革新的な技術による創エネ・蓄エネ・省エネの実現を目指している。この事業は、エネルギーの効率的な運用を図るとともに、再生可能エネルギー等を活用したCO₂



図-1 三重大学低炭素キャンパス(スマートキャンパス)事業

排出量を削減することを目的としている。学内には中型風車 KWT300 (300kW) が設置されており、学内系統に連系している。また、太陽光発電 (60kW) は直流給電によりコンビニの LED 照明の電源として利用している。石油よりも CO₂ 排出量が少ないガスコージェネレーション (2000kW) も設置され、学内系統に連系して電力供給するとともに、排熱は附属病院で利用している。さらに、電力ピーク低減のため蓄電池 (432kWh) が設置されている。中央監視室のエネルギーマネージメントシステムが、各建物に設置されたスマートメータから送られてくる電力使用量を常時監視し、電力の需要と供給の予測を行うとともに、空調の最適化制御を行っている。

4. 中型風車技術と国際基準

風車は国際電気標準により設計要件が定められている。表-1 に示すように、陸上大型風車規格 IEC61400-1 には、風車設置場所によって風の性質が異なることを踏まえて、風速の強い順にクラス I, II, III の仕様があり、それぞれの風速クラスに対して風の乱れが大きい順に乱流カテゴリー A, B, C の仕様が設けられている。したがって、風車の設計は、風速クラス 3 階級 × 乱流カテゴリー 3 階級 = 9 種類に分けられる。これ以外に、クラス I を超える風速やカテゴリー A を超える乱流の地点に対しては、地点ごとに設計者が風条件を設定する特殊クラス S がある。これらの規格は年々進歩する風車技術に対応するために数年毎

に見直しが行われており、そのたびに新しいデータや知見が盛り込まれる。

欧州では、大型風車を設置し易い場所、つまり平坦で好風況の場所には風車が飽和状態にあり、設置が難しい山岳部や洋上への風車設置が進められている。

山岳部などの複雑地形に風車を設置するときの課題は、風速と風向の乱れによって風車に発生する疲労が大きくなり、乱れの大きな風の中での発電量や寿命を如何に確保するかが重要となる。複雑地形上に風車を設置することは日本の特殊事情であろうという認識もあったが、実際には環太平洋地域や欧州の地中海沿岸部でも同様の風特性であることが世界的な共通認識となっている。また、台風などの非常に風速が高い気象条件における風車トラブルも日本固有の問題と考えられてきたが、トルネード、サイクロンなど他国でも同様な問題が顕在化していることもあり、世界共通の問題となりつつある。

そこで、従来の風車設計要件には、台風のような特殊な風の規定や非常に乱れの高い風に対する規定がなかったが、近々発行される IEC61400-1 の第 4 版には、日本からの提案により、台風による強風にも耐えられるトロピカルサイクロン風クラスや山岳地等の複雑地形上の乱れの大きな風にも耐えられる乱流カテゴリー A+ が採用される予定である。

前述のように、数百 kW 級の中型風車は、規格

表-1 大型風車設計要件 IEC61400-1 による風車クラス

風車クラス		I	II	III	S	KWT300
年平均風速 V_{ave} [m/s]		10	8.5	7.5	設計者が定め る数値	8.5
10 分間基準風速 V_{ref} [m/s]	標準的な地域 [m/s]	50	42.5	37.5		50
	トロピカルストーム地域 [m/s] *	57	57	57	0.18	検討中
乱流カテゴリーの 乱流強度	A+ : 著しい高乱流地域 *	0.18				
	A : 高乱流地域	0.16				
I_{ref} [-]	B : 中乱流地域	0.14				
	C : 低乱流地域	0.12				

(*は第 4 版で追加予定の風特性)

上、大型風車の設計要件にしたがって設計されてきた。しかし、近年、中型風車の市場が世界的に拡大し始め、中型風車が設置される環境は大型風車とは異なることもあるため、現在改訂作業中にある大型風車設計要件 IEC61400-1 第4版には新たに中型風車に関する要件が追加される予定である。

この改訂では、中型風車は大型風車よりも複雑な地形や工業地域等に設置される可能性が高いため、これらの環境に設置する場合には乱流カテゴリーAまたはA+の適用が推奨されている。また、地上から上空への風速変化（ウインドシア）を与える指数法則において、陸上大型風車では一般に指数を0.2に設定するが、中型風車が設置される高乱流地域ではウインドシアが大きいため0.3が推奨されている。ウインドシアが大きいうことは、風車が回転中に、ブレードが上方に位置する時と下方に位置する時とではブレードに作用する風荷重の変化が大きくなるということであり、中型風車は大型風車よりも高度な荷重解析が要求されることになる。

中型風車は、大型風車を小さくしただけのものではない。中型風車は大型風車にはない独自の技術がある。風車は翼の空力性能を維持するためには、小型化するほど回転数を高くする必要がある。そのため、大型風車ではブレードの回転による荷重は風荷重と自重が支配的であることに対して、中型風車のブレードはこれらに加えて遠心力の影響を加味しなくてはならない。また、大型風車と異なり、中型風車のハブやナセルは小さいため、収納できる部品の数や大きさも限られ、コンパクトかつ高性能な部品が要求される。

5. まとめ

私自身も10年ほど前に、大学主導で300kW級風車の開発を試みたことがある。当時は国内に導入された海外風車のトラブル多発や利用率の低さが問題となっており、また、建築基準による高さ制限の問題もあり、日本の過酷な気象条件や建築ルールに対応でき、さらに利用率向上のために

メンテナンスが容易な風車を開発すべく、機械メーカー、メンテナンスメーカー、発電事業者と議論を重ねて開発を進めた。しかし、国産にこだわるあまり、風車を構成する全ての部品を内製しようとしたため、コストが合わず、残念ながら開発を断念した苦い思い出がある。

駒井ハルテックの中型風車KWT300はIECが改訂作業に着手するよりも前に、乱流、台風、落雷といった日本の3大悪条件を克服するように設計されており、これだけの性能を備えた中型風車は世界に例をみない。また、風車を構成するコンポーネントも内製品と購入品をバランス良く配分し、コストを抑えていることが優れている。2012年から始まった固定価格買取制度により風力発電の電力単価が高いため、海外の風車メーカーが日本に押し寄せている。中型風車という新しい分野で国内への導入はもちろんであるが、海外にも日本製KWT300が多数導入されることを期待している。

参考文献

- 1) Maeda, T. and Kamada, Y. : A Review of Wind Energy Activities in Japan, Wind Energy, Vol.12, pp.621-639, 2009.2
- 2) 細見雅生:日本の風土に適した中型ハイスpek風車 KWT300, 風力エネルギー, Vol.32, No.3, pp.22-25, 2008.11