

三菱重工の風力発電装置の新機種と新技術

New Products and Technologies of Mitsubishi Wind Turbines



黒岩 隆夫*¹
Takao Kuroiwa

刈 込 界*²
Kai Karikomi

林 義 之*³
Yoshiyuki Hayashi

柴 田 昌 明*⁴
Masaaki Shibata

上 田 悦 紀*⁵
Yoshinori Ueda

CO₂による地球温暖化防止のために、再生可能エネルギーが注目され、その利用が拡大している。当社では1980年から風力発電装置を開発提供しており、最近では低風速域用の新1000 kW風車（MWT-1000A）及び同期型2000 kW風車（MWT-S2000）を開発した。さらに、風力発電装置の性能向上のための新しい翼型や、荷重低減のための新コンセプトを開発している。

1. はじめに

CO₂による地球温暖化防止のために、再生可能エネルギーが注目され、その利用が拡大している。図1⁽¹⁾に発電システム別のCO₂排出量を示す。風力を含む再生可能エネルギーを用いた発電システムでは、設備を製造する際に化石エネルギーを消費するだけで、完成後は化石エネルギーの消費はほとんどなく、CO₂の削減に有効である。

風力発電の利用状況は、世界で2002年末には33400 MWの設備が建設済みで、電気需要全体の約0.5%を発電している⁽²⁾。日本においては2003年10月末で553 MWの設備が建設済みである⁽³⁾。

今後はさらに風力発電の利用が進むと予想され、欧州風力エネルギー協会が提案したウィンドフォース12⁽²⁾では、図2に示すように2020年までに世界で1260000 MWの設備を建設し、電気需要全体の12%

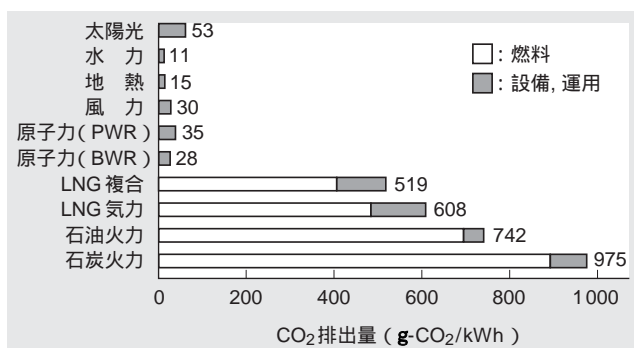


図1 発電システム別CO₂排出量 風力を含む再生可能エネルギーは燃料からのCO₂排出がなく、CO₂削減に有効である。

を風力発電で賄うことを提案している。

2. 三菱重工の風車

2.1 開発の歴史⁽⁴⁾

当社は早くから、省エネルギー源/クリーンエネルギー源としての風力発電に注目し、1980年に試験用の40 kW小型風力発電装置を長崎造船所香焼工場内に建設して以来、図3に示すように順を追って大型機を開発してきた。

また、当社は2000年から、永久磁石式同期発電機を用いた可変速ギアレス風力発電装置を三菱電機(株)と共同開発している。同期発電機と、AC-DC-AC変換装置を用いることにより、風力発電装置を風の変動に対して可変速で運転することが可能となり、風の変動による出力の変動を緩和し、電力システムへの負担を少

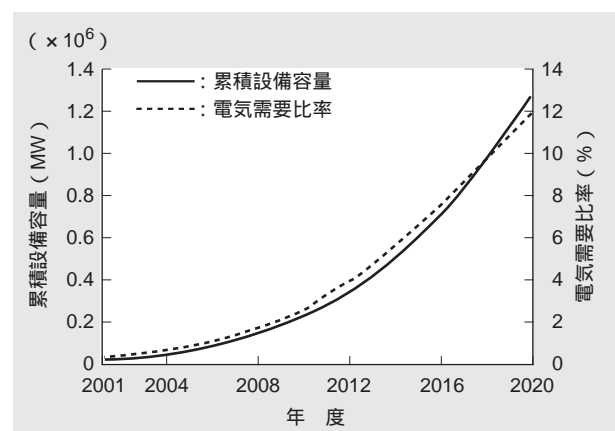


図2 ウィンドフォース12による風力発電の累積設備容量、電気需要の比率 2020年に世界の電気需要の12%を風力発電で賄うことを提案している。

*¹ 技術本部長崎研究所強度研究室主席 工博

*² 技術本部長崎研究所流体研究室 工博

*³ 技術本部長崎研究所振動研究室

*⁴ 長崎造船所風力発電事業グループ主席

*⁵ 原動機事業本部タービン技術部タービン技術開発課主席

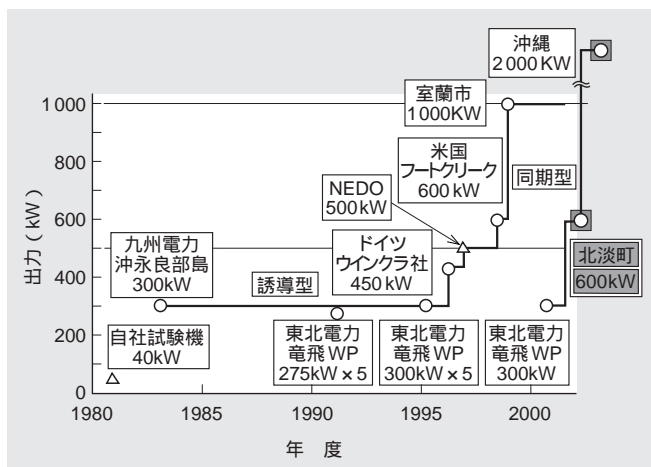


図3 三菱重工の風力発電装置の開発経緯 1980年の試験機以来開発を進め、現在までに誘導型 1000 kW，同期型 2000 kW を開発済みである。

表1 最新機種と従来風車の比較

機種	MWT-S2000 (大型風車)	MWT-1000 A (低風速域用風車)	MWT-1000 (従来風車)
定格出力 (kW)	2000	1000	1000
発電機形式	永久磁石式 多極同期発電機	誘導発電機 (4極/6極)	誘導発電機 (4極/6極)
推定年間発電量 (年平均風速6m/sの場合)	約2倍	22%増	基準
ロータ径 (翼長) (m)	75 (36)	61.4 (29.5)	57 (26.8)
タワー高さ (m)	60	60/68	60
回転数 (rpm)	8~24	19.8/13.2	21.0/14.0
定格風速 (m/s)	13.0	12.5	13.5
カットイン風速 (m/s)	2.5	2.5	3.5
Wind Class 参照平均風速 (m/s)	Class I 10.0	Class II 8.5	Class I 10.0

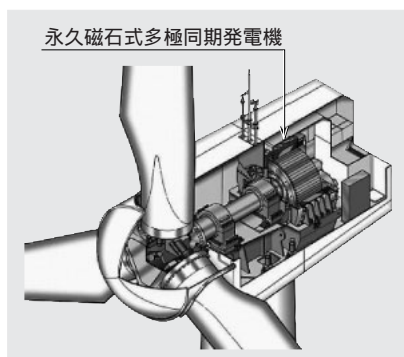


図4 MWT-S2000の構造 同期発電機を用いている。増速機が不要であり、可変速運転により電力系統への影響が小さい。

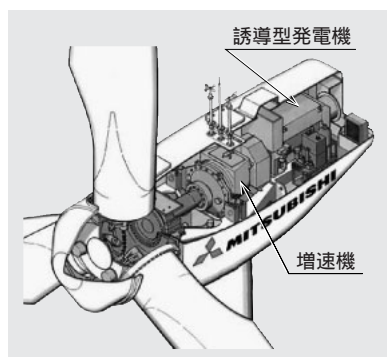


図5 MWT-1000Aの構造 誘導型発電機を用いている。翼の回転は増速機で増速されて、発電機に伝えられる。

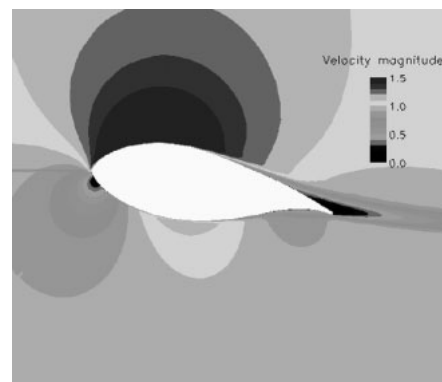


図6 翼周り流れ 翼型の空力性能評価のための数値流体解析結果。図は無次元化した速度分布を示す。

なくすることができる。さらに、同期発電機を用いると、風車の回転を増速機を用いずにそのまま発電機に伝えることができ(図4)、増速機の騒音がなくなり、増速機のメンテナンスの手間も省くことができる。

2.2 最新機種

(1) 低風速域用新 1000 kW 風車 MWT-1000A

従来の風力発電装置は年平均風速 8 ~ 10 m/s の強風地域に設置することを想定していたが、年平均風速 6 ~ 8 m/s の比較的風の弱い地域でも十分な発電量が得られ採算が成り立つように、低風速域用の風車を開発した⁶⁾。その主な要目を表1に、構造を図5に示す。ロータ径 61.4 m，タワー高さ 60 ないし 68 m で、誘導型発電機を用いている。

これまでの実績によって高い信頼性が確認されている従来の 1000 kW 風車をベースにして、翼の長さを 26.8 m から 29.5 m に伸ばしてロータ径を 57 m から 61.4 m に拡大し、低風速域での出力を約 25 % 向上させた。これにより年平均風速 6 m/s の

場合、年間発電量は約 23 % 向上する。

MWT-1000A の初号機は、2002 年 12 月に米国テキサス州の White Deer Site にて運転を開始した。さらに、2003 年 10 月愛媛県の瀬戸ウィンドヒルで、国内初号機が運転している。高い性能を認められ、これまでに 300 基以上の受注をいただいている。

MWT-1000A は、その優れた経済性で CO₂ 削減に大きく貢献しつつある。これが評価されて、平成 15 年度の日経優秀製品、サービス賞の優秀賞(日経産業新聞賞 環境分野)、さらに(社)日本機械工業連合会の優秀省エネルギー機器表彰の会長賞を受賞している。

(2) 同期型 2000 kW 風車 MWT-S2000

MWT-S2000 は、同期発電機を用いた風力発電装置(Sシリーズ)の最新型である。その主な要目を表1に、構造を図4に示す。ロータ径 75 m，タワー高さ 60 m である。

この風車は、欧州以外の風車メーカーが開発した初めての 2000 kW 以上の大型風車であるとともに、

永久磁石式多極同期発電機を用いた世界最大の商用風車である。沖縄新エネ開発（株）向けに沖縄県具志川市に建設したMWT-S2000は、2003年2月から実証試験を開始しており、さらに2004年4月に兵庫県南淡町で2号機が運転を開始した。

MWT-S2000を含む同期型風車（Sシリーズ）は、永久磁石を用いるなどの技術的独創性と電力系統への負担が少ない利点が高く評価され、2003年2月に（財）新エネルギー財団から第7回新エネ大賞の“経済産業大臣賞”を受賞した。

3. 新しい技術

3.1 最適翼型

当社の風力発電装置には、当社が開発した様々な技術を適用している。ここでは、翼型の開発⁶⁾について紹介する。

前述の最新機種MWT-1000A、MWT-S2000の翼には、翼の肉厚が大きい翼根側において、当社が独自に開発した翼型（MHI翼型）を使用している。数値流体解析（二次元非圧縮Navier-Stokesソルバー）によって翼型の空力性能を評価し、最適化手法によって最適な翼型を探索した。最適化手法としては、遺伝的アルゴリズム手法を利用した。

図6に得られた最適翼型に対する、翼周りの流れ場の解析結果を示す。図は無次元での流速により無次元化した速度分布を示したものである。

得られた最適翼型の空力性能は、風洞試験によって検証した。翼弦長930mm、翼長さ2700mmの模型翼を用いた。図7に、従来翼型と最適翼型の、揚坑比（CL/CD）を比較した結果を示す。最適翼型では、風車の運転範囲を含む迎角2～14の範囲で改善され、迎角8°では従来の14から約2倍の26に大幅に改善された。

この翼型を適用することにより、MWT-1000A、MWT-S2000では従来より高い性能を実現することが

できた。

3.2 強風時の荷重低減の新しいコンセプト

風力発電装置は、通常発電状態や台風等の強風状態など、様々な状態における荷重を考慮して、設計されている。特に台風等の強風状態では、翼やタワーに大きな荷重が作用するため、それらの寸法・強度を定めるための主要な状態の一つである。

一般に、風力発電装置は強風状態において、風による荷重を低減するために、発電を停止し風上を向いた状態で、翼を風を受け流す角度（フェザリング位置）にして待機する。

さらに近年の設計では安全を確保するために、強風に加えて同時に停電が発生することを想定するようになってきている。この場合、非常用電源を備えない限りヨー制御の駆動モータが動かないので、風車は風上を向くことができず、風車はあらゆる方向から風を受けて、想定以上の大きな風荷重を受ける可能性がある。

当社はこれを解決するために、強風時の荷重低減のための、新しいコンセプトであるSmart-Yawコンセ

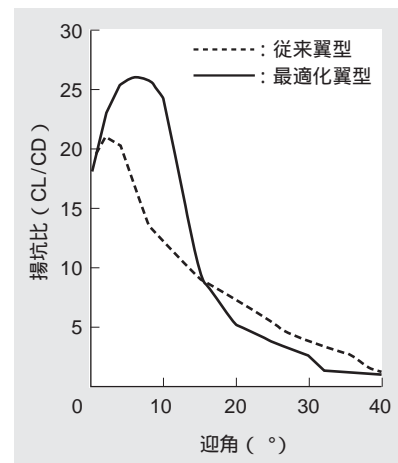


図7 従来翼型と最適化翼型の空力特性測定値。最適化翼型の揚坑比（CL/CD）は、風車の運転範囲を含む迎角2～14の範囲で改善された。

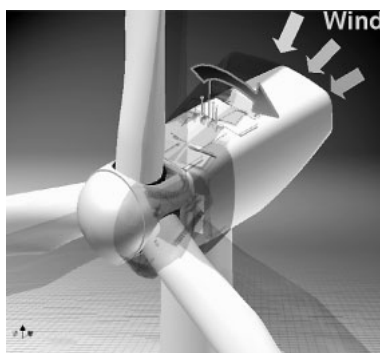


図8 風車の風下指向性。一般的な風車は風を受けると風下を向く特性を有する。

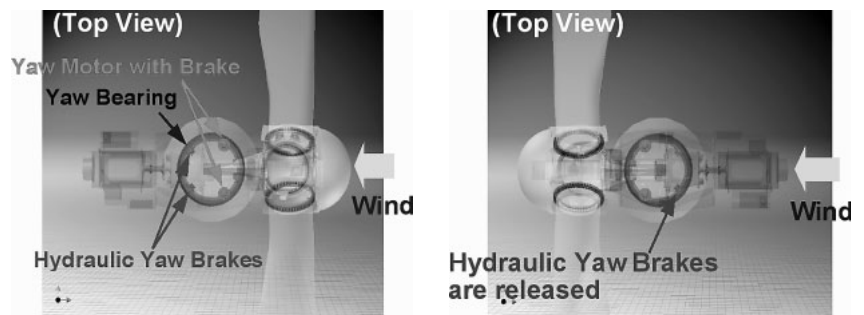


図9 Smart-Yaw動作時の概念。(a)は通常発電時でヨーモータと油圧ヨーブレーキを用いて、風車を風上を向けて運転する。(b)は強風時で油圧ヨーブレーキを開放して、風車が自然と風下を向くようにする。

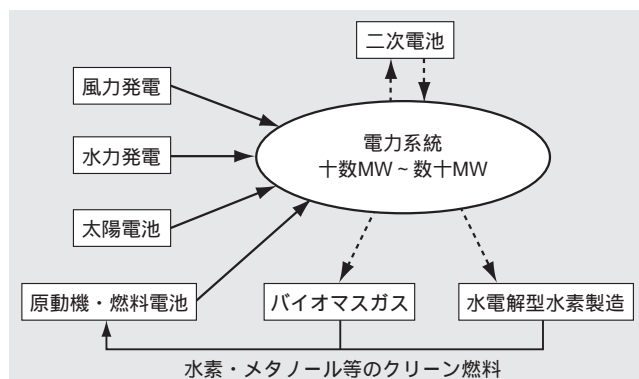


図10 再生エネルギーの複合発電システム 種々の再生エネルギーを組み合わせることで補完しながら使用する。

プト（特許出願中）を提案したの。

Yaw（ヨー）とは、風車の向きのことであり、Smart-Yaw コンセプトでは、一般的な風車が風を受けると風下を向く特性を利用している（図8参照）。風下向きは、風上向きに次いで荷重が小さくなる状態であり、強風時に風車を待機させるのに有利な向きである。

図9(a)に示すように、通常発電時はヨーモータと油圧ヨーブレーキを用いて、風車を風上に向けて運転する。強風時には、油圧ヨーブレーキを開放する。すると風見鶏の原理で、風車が自然と風下を向くようになる。ただし、ヨーモータに設置されているブレーキには適度な摩擦力を与えて、風車に過剰な回転速度が発生することを防ぐ。

さらに、風車のヨー回転を拘束しないので、風の空間的な乱れによって、3枚の翼の内のいずれかに過大な荷重が作用しても、他の翼との荷重の差によって風車がヨー回転し、その運動によって過大な荷重が消費されるために、荷重が低減すると考えられる。

荷重の解析を行って、このSmart-Yaw コンセプトを適用すると、強風時の翼に作用する荷重が25%低減、タワーに作用する荷重が30%低減する結果が得られた。これは、翼重量を15%、タワー重量を15%低減する効果がある。

今後は、このSmart-Yaw コンセプトなどの新しい技術を適用し、高い信頼性の合理的な風車を開発し、再生可能エネルギー利用の普及に貢献していきたい。

4. 今後の展望

今後は、限られた風資源を有効に利用するために、風力発電装置はより大型化すると考えられる。既に欧州では5000kW級のプロトタイプが建設されている。

また、欧州では、2002年に160MWの発電容量の洋上ウインドファームの運転を開始している。国内においても、従来は風車の設置場所は陸上主であ

ったが、港湾、洋上（着底式）への展開が始まっている。今後は陸上とともに、沿岸における風力発電が進むと考えられる。さらに将来は、浮体式の洋上風力発電装置の開発も検討されると考えられる。

再生エネルギーをより有効に利用するためには、種々の再生エネルギーを組み合わせることで補完しながら使用することが有効である。図10は、十数MW～数十MWの限られた地域に対する、再生エネルギーの複合発電システムの案である。このようなシステムは、分散型電源として離島や遠隔地の電力供給源としても、有効であると考えられる。

5. ま と め

2003年4月のRPS法施行を受けて、日本における風力開発は2010年の300万kW（3000MW）の目標に向けて、ますます加速している。

日本は、台風などの厳しい気象や、狭く険しい地形など、風力発電に厳しい自然環境を有している。当社ではこれまでに培った技術を基に、さらに新しい製品開発と技術開発を続けて、日本や世界各地に適した風力発電装置を提供していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 一之瀬利光他，三菱重工の自然エネルギー利用技術，三菱重工技報 Vol.39 No.5 (2002) p.290
- (2) European Wind Energy Association, Wind Force 12 (2003)
- (3) (社)新エネルギー財団，風力発電システム導入のための基礎研究会（平成15年度）予講集 2003年12月
- (4) 藤川卓爾他，三菱高性能大型風力発電設備，三菱重工技報 Vol.39 No.3 (2002) p.140
- (5) 上田悦紀他，三菱重工の新型風車（MWT-1000A，MWT-S2000）の開発と運転実績，三菱重工技報 Vol.40 No.4 (2003) p.238
- (6) 刈込界他，遺伝的アルゴリズム手法を用いた風車翼型の最適化，第25回風力エネルギー利用シンポジウム，2003年12月
- (7) 林義之他，設計荷重低減のための新コンセプト，第25回風力エネルギー利用シンポジウム，2003年12月



黒岩隆夫



刈込界



林義之



柴田昌明



上田悦紀