

# 風力発電システムへの東芝の取組み

Toshiba's Approach to Deployment of Wind Turbine Generation Systems

前沢 重男

山田 敏雅

村上 裕哉

■ MAEZAWA Shigeo

■ YAMADA Toshimasa

■ MURAKAMI Yuya

東芝は、風力発電所の立地・風況調査から機器供給、建設、運転開始後の運用及び保守までの包括的バリューチェーンを提供し、国内外の風力事業を積極的に展開している。

製品ラインアップとして持っているダイレクトドライブ方式の750 kW機とギヤ付き永久磁石同期発電機 (PMSG) を使用した2 MW機は、国内への導入にあたり、耐風速性能などの改良や建築基準法への対応を行った。また、当社初の建設プロジェクトとして、ウクライナで2 MW機を2基建設し安定した運転を続けている。

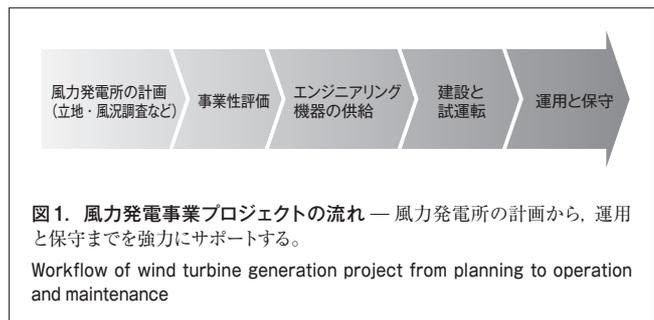
Toshiba is vigorously promoting wind power generation business activities both in Japan and overseas, and providing a comprehensive value chain in each development process from surveys of site locations and wind conditions to supply of equipment, construction, operation, and maintenance. We have developed the following wind turbine lineup: (1) 750 kW-type models equipped with a direct-drive wind turbine, and (2) 2 MW-type models equipped with a geared permanent-magnet synchronous generator (PMSG). Incorporating this lineup into our first wind turbine construction project, we have completed the construction of two 2 MW-type wind turbines in Ukraine that are now in full operation.

## 1 まえがき

近年、再生可能エネルギーを活用した発電システムの導入が世界規模で促進されているが、中でも風力発電システムは市場規模が大きく、また、建設コストが比較的低い、夜間でも発電可能といった特長から、主要なシステムとなっている。

東芝は、2011年に風力発電システムメーカーの韓国ユニスン社と業務提携し、風力事業に参入した。数多くの火力・水力発電プラントをまとめてきた実績と経験を生かして、風力発電の分野においても世界各地で積極的に事業を展開し、低炭素発電の拡大を推進している。

ここでは、風力事業への取組み、製品ラインアップの特長と国内向けの改良点、及び当社初となるウクライナでの建設プロジェクトの実績について述べる。



## 2 風力事業への取組み

### 2.1 計画から運用及び保守まで

当社は、顧客である風力発電事業者とのパートナーシップにより、そのプロジェクトに最適なソリューションを提供することを目指している。当社は、図1に示す立地及び風況の調査から建設、運用及び保守までのあらゆるステージにおいて、顧客のニーズに応じて強力にサポートする。

風力発電所の計画段階においては、候補地の選定から発電所の基本計画策定まで一貫したサポートを行う。風況の調査や解析を行って最適立地ポイントを選定するとともに、複雑な

地形では、数値流体解析技術 (CFD: Computational Fluid Dynamics) を利用したマイクロサイティング<sup>(注1)</sup>を実施し、風車設置地点の最適化を図る。また、発電量の予測と事業性の評価、輸送路の調査、系統連系の技術的検討、及び申請手続きの資料作成などのサポートも行う。

エンジニアリング及び建設においては、当社がこれまで火力及び水力発電で培ってきた技術力とプロジェクト マネジメント力を活用し、設計、法規対応、系統連系対応、機器の供給、品質管理、及びロジスティクスを含めたトータルなエンジニアリングを提供する。風力発電所建設プロジェクトの形態は、図2に示すように各種あるが、当社は、EPC (設計、調達、及び建設) でも機器供給でも、いかなる形態にも対応可能である。

運用や保守においては、安定稼働を実現するために、稼働率保証や長期保守契約を含む保守サービスメニューを用意しており、ニーズに応じて提供する。保守体制としては、当社が窓口となってユニスン社や国内の保守協力会社と連携し、定

(注1) 地形を考慮して気流の解析を行い、風車の適地を選定すること。

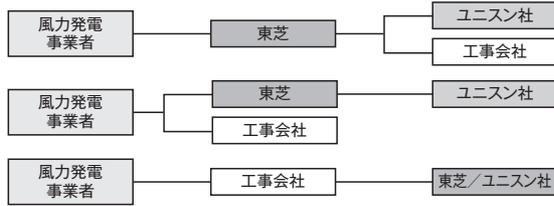


図2. 風力発電所建設プロジェクトの形態例 — 東芝がEPCとして請け負う、工事会社とコンソーシアムを組んで請け負う、及び工事会社の下請けとして機器供給だけを請け負う、の三つの形態がある。

Examples of formations for wind turbine generation project



図3. 保守サービスの拠点 — 支社点や協力会社による迅速できめ細かいアフターサービスを提供する。

Maintenance and service sites in Japan

期メンテナンス、消耗品や部品の供給、及びトラブル対応などの各種保守サービスを提供している。予備品や大型部品については国内の保守協力会社及び韓国のサチョン工場にストックし、迅速な供給を行う(図3)。予防保全としては、インターネット経由で風車の状態を遠隔監視するとともに、コンディションモニタリングシステムによる状態監視にも対応している。

## 2.2 洋上風力発電所への取組み

当社は、国内の他企業と共同で、洋上風力発電所の建設技術及び事業化に関する研究会を2012年に設立した。有力と考えられる候補地での風況観測を実施し、その結果及び建設費や運営費の試算結果に基づいて経済性の評価と検討を進め、事業化が可能と判断された場合には、特別目的会社を設立して具体的な事業の実現を目指して活動していく。数年後には7.5 MW未満のパイロットプラントを数か所に建設し、10年後には数百MW規模の洋上ウインドファームの建設を目指している。

## 3 製品ラインアップと特長

### 3.1 製品ラインアップ

当社が供給する風車は、国際的な規格に基づいてプロトタイプを検証を行い、国際認証機関による設計認証と型式認定を取得している。風車クラスは国際規格のIEC 61400-1(国際

表1. IEC 61400-1に規定される風車の規格

Wind turbine generator classes based on International Electrotechnical Commission (IEC) standard

風車クラス	I	II	III
平均風速(*1) (m/s)	10	8.5	7.5
極値風速(*2) (m/s)	70	59.5	52.5

\*1: ハブ高さにおける10分間平均風速

\*2: ハブ高さにおける3秒間平均風速の50年に一度発生する最大風速

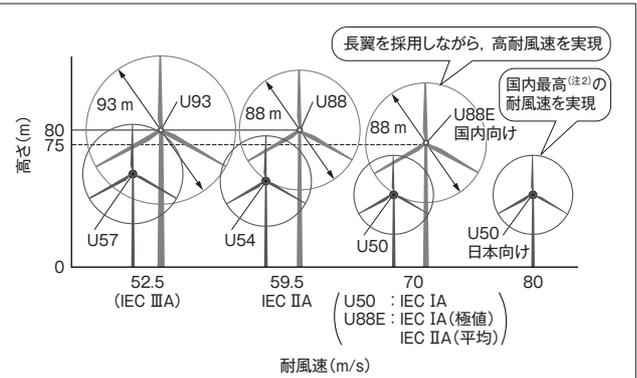


図4. ラインアップ機種種のロータ径とハブ高さ — 設置点に応じて最適機種を提供する。2 MW機、750 kW機とも高耐風速機種をラインアップしている。U93などは型式を表す。

Relationship between rotor diameter and hub height of Toshiba wind turbines

電気標準会議規格61400-1)において、表1に示すように、耐風速により三つの標準クラスに分けられる。

ラインアップした2 MW機と750 kW機の風車クラス及びロータ径とハブ高さをまとめて図4に示し、それぞれの機種の特長などについて次に述べる。

- (1) 2 MW機(図5) ロータと発電機の間一般の風車に使われるギヤよりもギヤ比を低くした中速ギヤを使用し、PMSGからフルサイズのAC(交流)/DC(直流)/AC

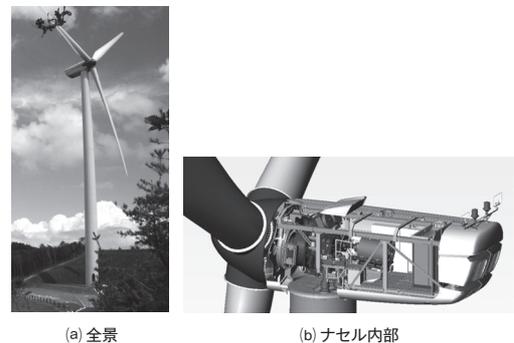


図5. 2 MW機 — ギヤ付きPMSGとフルサイズのコンバータを使用している。

2 MW-type wind turbine

(注2) 2013年5月現在、750 kW機において、当社調べ。



コンバータを介して系統に接続する構成である。長期信頼性と耐久性を確保した先進のドライブトレイン、高効率で保守が容易な発電機、及びフルサイズのAC/DC/ACコンバータによる高効率運転と高い系統親和性、などの特長がある。

わが国の広い範囲では、平均風速は10 m/s以下であるものの、台風の襲来を受けることもあって極値風速は大きく、70 m/sの耐風速性能が必要となる。国内向けには、U88風車に対し、平均風速はIEC II Aのまま極値風速をIEC IA (70 m/s) 相当に向上させる設計を検討した。主要な構成機器の一つである翼は、IEC 61400-1に規定される荷重条件の解析で更に安全裕度を確保するために、翼根を中心に積層するGFRP (ガラス繊維強化プラスチック) の繊維を多方向にするなど強度の向上を図り、新機種U88Eを製品化した。70 m/sの極値風速に対応する他社の同出力の風車に比べてロータ径が6～8 m程度大きく、高い年間発電量を見込めるという特長がある。現在、国際認証機関からの設計認証の取得を進めている。

(2) 750 kW機 (図6) 小規模又は輸送制限の厳しいサイトや経年風車のリプレースに適している。ロータと発電機の間増速ギヤを設けないダイレクトドライブ方式で、PMSGからフルサイズのAC/DC/ACコンバータを介して系統に接続する構成で、2 MW機と同様の特長がある。国内向けとしては、沖縄や九州南部など台風が襲来する地域の離島などへの設置も想定して極値風速80 m/sの条件で、荷重解析を行って機器の安全裕度を確保できることを確認済みである。

### 3.2 その他の特長と国内向けの対応

(1) 国内への導入にあたり建築基準法に対応

(a) タワー製造工場の認定取得 溶接構造物を製造し組立てを行う工場として、ユニスン社の工場が国土交通省の大臣認定を2012年8月に取得した。溶接物

の製造に関して、技量及び検査や品質管理の体制が十分に高いレベルであることが証明された。

(b) タワー用鍛造品の認定取得 タワーで必要となるフランジについて、試験片の製造と試験を実施し、2012年6月に国土交通省の大臣認定を取得した。

(c) タワーと基礎の強度評価 タワー及び基礎については、風車建設サイトごとに地盤強度及び風荷重と地震荷重を与えた、強度評価が必要である。当社は、個々のサイトでの設計変更が極力発生しないように、風荷重が大きいと想定されるサイトを選定し、一連の解析を実施して、国内導入の準備を完了した。

(2) 高効率で保守が容易なPMSGを採用 ブラシレスでシンプルな構造のため保守が容易であり、外部からの励磁が不要なため誘導機に比べエネルギーロスも少ない。また、全閉水冷方式のため耐湿性、耐塵(じん)性、及び耐塩性に優れている (図7)。

(3) AC/DC/ACフルコンバータを採用 系統要求に合わせた無効電力と力率の制御が可能、低風速からの可変速運転で高効率の発電が可能、及び系統の電圧変動でも運転を継続できるFRT (Fault Ride Through) 機能を備えているといった特長がある。コンバータは故障頻度が比較的高いとされるが、国内向けには東芝グループの東芝三菱電機産業システム(株)製を採用し、信頼性と保守性を向上させている。変圧器も東芝グループ会社を含む国産メーカーの製品を採用している。

(4) 保守性に配慮した設計 例えば2 MW機は発電機を含むナセル内部品(ギヤボックスを除く)の交換が、外

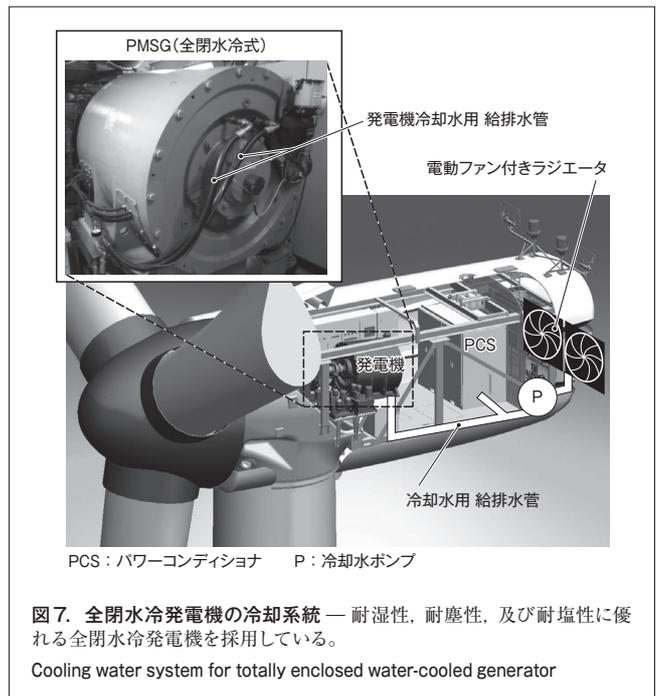




図8. ナセルクレーンを用いた部品交換 — 2 MW機は、外部の大型クレーンを用いることなく、発電機を含むナセル内部品の交換が可能である。  
Parts replacement using nacelle crane

部大型クレーンを用いることなくナセルクレーンで交換可能である(図8)。

- (5) 高い耐雷性能 IEC 61400-24のレベルIで規定されている放電電荷300 C、放電エネルギー 10 MJ/Ωに対して、2倍となる600 C及び20 MJ/Ωに耐える性能を備えている。

#### 4 ウクライナでの風車建設プロジェクト

ウクライナのクリミア半島西部に位置するタクルハントウ地区の既設ウインドファームに、定格出力2 MWの風車2基を建設した。

このプロジェクトにおいて当社は、ユニスン社製風車2基(U88とU93)を供給するとともに、現地に設立した特別目的会社のUPSC(Ukrainian Power Services Company)を通じてプロジェクトの取りまとめを行った。土木・据付工事及び許認可手続きは、ウクライナの現地企業UNR-28社が担当した。また、ウクライナの法規に従った土木設計と電気設計を行うために、UPSCが現地企業であるTBP社へそれらの設計業務を発注し、ウクライナ当局の検査と承認を取得した。2012年4月に基礎工事に着工し、7月に風車の据付け、9月に試運転、10月に信頼性試験を完了した。ロータ据付けのようすを図9に示す。

商業運転では、完成した風車設備の所有権をUPSCが保有し、UNR-28社にリースすることによって運転及び保守と売電事業を行う。今回風車を建設したクリミア半島西部を含む黒海沿岸地域は、年間を通して良い風況に恵まれ、風力発電に適した地域であり、高い年間発電量が見込まれている。本格的に運転を開始した2013年2月からの1か月間の稼働率は97%、設備利用率は50%をそれぞれ超えており、安定した運用を達成し継続している。運転中の風車の全景を図10に示す。

このプロジェクトは、2011年の当社とユニスン社の業務提携後において初の共同成果になるとともに、風力発電市場の拡大が見込まれる東欧のウクライナで実績を作ったことの意義は大きいと考えられる。



図9. ローターの据付け — ウクライナ建設プロジェクトにおいてロータを据え付けているときのようすである。  
Rotor installation at existing wind farm, Ukraine



図10. 運転中の風車の全景 — 手前がU88、奥がU93である。  
Wind turbine systems in operation, Ukraine

#### 5 あとがき

ここでは、風力事業への取組み、ラインアップした製品の特長、及びウクライナでの風車建設について述べた。今後、今回の風車建設の経験を生かし、国内外へ風力事業を積極的に展開していく。



前沢 重男 MAEZAWA Shigeo

電力システム社 火力・水力事業部 風力・エネルギーサービス部  
グループ長。風力発電システムのエンジニアリング業務に従事。  
電気学会会員。

Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



山田 敏雅 YAMADA Toshimasa

電力システム社 火力・水力事業部 風力・エネルギーサービス部  
主務。風力発電システムのエンジニアリング業務に従事。

Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



村上 裕哉 MURAKAMI Yuya

電力システム社 火力・水力事業部 風力・エネルギーサービス部。  
風力発電システムのエンジニアリング業務に従事。

Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.