

開 発

日本型風車 KWT300 の開発

木場 和義* 細見 雅生**

国内における風力発電の導入実績は、2010年で300万kWの目標に対して2006年3月時点で約108万kWであり¹⁾、着実に伸びている。また近年では、定格出力2MW以上の大型風車の開発・実用化も進んでいる。一方、稼働中の風力発電設備では、その稼働率が当初の計画に比べて低く、事業性が悪いといった不満も聞かれる。これは、日本特有の風の特徴などによる要因による部品の故障や、落雷による損傷によって風車が停止した場合、海外からの輸入部品が多いために原因の特定、修理、運転再開に時間がかかることが大きな要因と言われている。

駒井鉄工では、風力発電に関する日本における問題点や、風車導入をさらに発展させるための課題を検討し、日本の気象および地形的な条件に適した風車として300kW風車の実現を模索していた。そして、約2年前に設計に着手し、製作、組立を行って昨年9月に富津工場内にプロトタイプを建設した。ここでは、このKWT300を紹介する。

キーワード：風力発電システム，日本型風車

まえがき

風力発電では、風のエネルギーを安全に且つ効率よく引き出すために、発電機の性能を制約条件として、作用する風に応じた荷重条件を設定して設計を行っている。従来のヨーロッパからの輸入風車は、その地域の風の特徴に合わせて比較的乱れの少ない風を対象として開発されている。日本におけるこれまでの風力発電の設置場所は、風の乱れが小さく、年間を通じて安定した風が作用する海岸部や高原地が選定されてきた。しかし、わが国は国土のほとんどが山間部であり、今後の風力開発は山間部での開発が増えると予測される。山間部では、起伏の激しい地形条件から風の乱れが強くなり、従来の設計条件では風車主要部品の疲労損傷等の問題があると指摘されている。

以上のような日本における風車建設状況の検討から、日本における風力発電事業を更に活発にするためには、山間部において風力発電の導入を促進することのできる、厳しい気象条件および輸送・建設の条件に適合した風車が必要と考えられる。また、このような仕様の風車は、輸送条件や



図-1 開発風車のイメージ図

気象条件が同様に厳しい離島においても適するものと考えられる。

* 環境事業部課長 ** 環境事業部長

1. 開発風車の仕様

開発した KWT300 は、「乱れの強い風況、狭い道路、電力事情を最大限に考慮した日本型仕様」を目標としている。主な仕様と特徴を表-1 と図-2 に示す。

表-1 KWT300 の仕様

定格出力	:	300kW
ロータ直径	:	33m
定格風速	:	11.5m/s
定格回転数	:	40.5rpm
回転数範囲	:	(可変速) 12~47.6rpm
カットイン風速	:	3.0m/s
カットアウト風速	:	25m/s
耐風速	:	70m/s

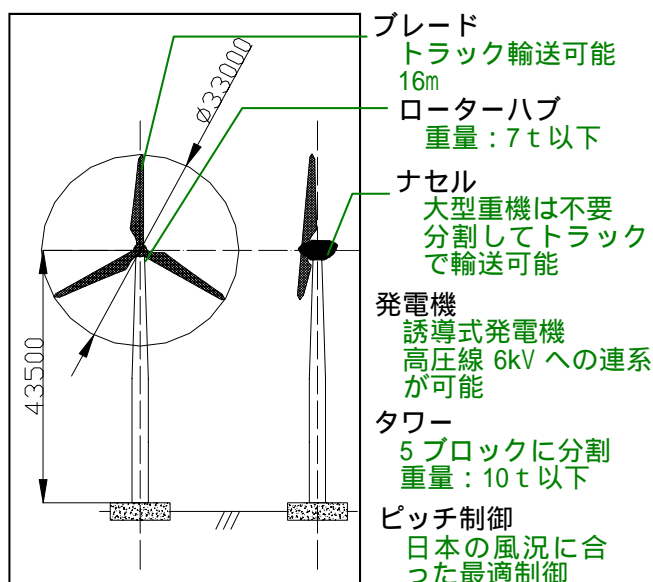


図-2 KWT300 の特徴

2. 設計条件

2.1 風の条件

(1) WTGS クラス

設計条件として、世界的な設計基準である IEC

の条件²⁾を満足すると共に、日本特有の風の特性も考慮して、WTGS(Wind Turbine Generator System) クラスの条件を設定して設計している。風の条件を決めるパラメータは、国内の地理的(起伏の多い地形)、気象的(台風の通過)条件を考慮して、年平均風速をクラスとしながら基準風速と乱れ特性を大きく設定している(表-2参照)。

(2) 風の乱れ

風車ハブ高さにおける乱れ強さは、風車の設計基準(表-2)では乱れが大きい条件であるカテゴリ-A の場合で $I_{15} = 0.18$ とされているが、山地の風を対象として更に大きな乱れを想定し、次式のように設定する。

$$I_{15} = 15 / \bar{V} = 0.20$$

この乱れ強さの値は、IEC の乱れモデルに準じて風速 15m/s における風速変動の標準偏差から設定した。

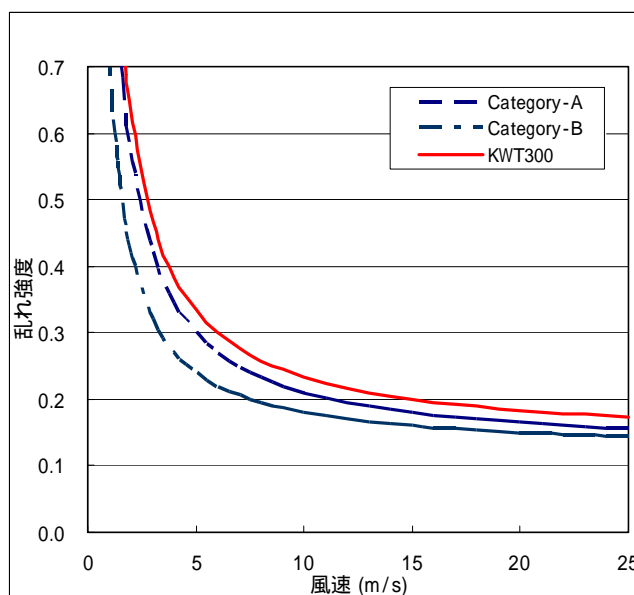


図-3 風速と乱れ強さの関係

表-2 WTGS クラスの設計基礎パラメータ

WTGS クラス						駒井 KWT300A: A+	
基準風速	V_{ref} (m/s)	50	42.5	37.5	30	50	
年平均風速	V_{ave} (m/s)	10	8.5	7.5	6	8.5	
乱れ特性	A	I_{15}	0.18	0.18	0.18	0.18	0.20
		a	2	2	2	2	1.5
	B	I_{15}	0.16	0.16	0.16	0.16	
		a	3	3	3	3	

表-3 設計地震動の標準応答加速度 (S₀) の比較 (固有周期 T=1.12sec)

	土木構造物 (橋)			建築構造物 (建築基準法)	
	レベル1	レベル2 (タイプ)	レベル2 (タイプ)	地震荷重	保有水平耐力
種地盤	220/T =196gal	700gal	1.104/T ^(5/3) =914gal	標準せん断力係数 0.2 以上 (200gal 相当)	1.0 以上 (1000gal 相当)
種地盤	250gal	850gal	1750gal		
種地盤	300gal	1000gal	1500gal	0.3 以上 (300gal 相当)	

2.2 耐震設計

国内の建築と土木の設計基準^{3),4)}に準拠して、地震に対しても安全な設計を行っている。地震動として、比較的発生確率が高いレベル1地震動(200~400gal程度)とさらに大きな強度のレベル2地震動(700~1000gal程度)の2段階のレベルを考慮している。土木構造物および建築構造物に対する設計地震動(応答加速度)の比較を表-3に示す。

2.3 落雷対策

落雷対策については、国内ではJIS規格による

建築物に対する雷保護を中心に規定されているが、風力発電設備を対象とした雷対策については具体的な基準が設けられていない。そこでKWT300の雷対策は、一般的な構造物に対する国内規定であるJISA4201:2003と、国際的な風力発電設備の避雷規定であるIEC61400-24:2002(Wind turbine generator systems-Part24:Lightning protection)に従って設計を行っている。雷パラメータを表-4に、風車各部の雷対策を表-5に示す。雷対策の設計レベルとしては、IECの保護レベルを設定し、落雷に対しても十分に安全な設計を行っている。

表-4 雷パラメータの最大値(IEC61400-24:2002)

保護レベル	ピーク電流 (kA)	比エネルギー (kJ/)	平均電流上昇率 (kA/μs)	全電荷 (C)	回転球体法 (m)
	200	10,000	200	300	20
	150	5,600	150	225	30
	100	2,500	100	150	45
					60

表-5 風車各部の雷対策

サージの種類	部 位	対策方法
直撃雷	受雷部	・ナセル上部の突針と、ブレード先端部のレセプターを取り付けている。回転球体法により、受雷箇所を特定し、ナセル内の機器の保護を行っている。
	ブレード	・直撃雷の雷電流を大地に放流するルート構築することで、ブレードの損傷、ナセル内機器への進入を防止する。 ・放流経路は、ブレード ローターハブ シャフト マシンフレーム タワー 大地とする。
	ナセル	・直撃雷の雷電流を大地に放流するルート構築することで、直撃雷の雷電流が、ナセル内の機器に進入することを防止する。 ・放流経路は、ナセル突針 マシンフレーム タワー 大地とする。
	高圧設備	・系統からの高圧ケーブルに、サージアレスターを設置し、雷電流の進入を防止している。
誘導雷	制御装置	・制御装置へ雷電流の進入経路を特定し、その各経路にSPDを設置している。 ・制御装置のためのSPDは、遠隔監視システムで、正常/故障の状態を把握できる。
	通信ケーブル	・ナセルとタワーの2つの制御装置の間の通信は、光ファイバーケーブルを使用することで、サージの発生を防止している。 ・センサーや油圧制御のケーブルは、シールド付きを使用し、サージの発生を抑制している。
共 通	接地極	・環状埋設接地線を基礎の外周に地中埋設する。 ・選定場所により大地伝導率が異なるが、接地抵抗の目標値としては、1以下を設定している。 ・雷電流を効率的に放流するため、接地極として、放電極付き電極を使用している。

2.4 輸送条件

輸送条件を表-6に示す。国内の山地での建設を想定して、林道程度の輸送路を想定して、大型トレーラーを使用せずに輸送できるよう、輸送重量と寸法の条件を設定している。

表-6 輸送条件

	数	重量	寸法(長さ)
ブレード	3	1.34t	15.4m
タワー	5	11t 未満	10.8m 未満
ナセル	1	15t 未満	7.5m 未満

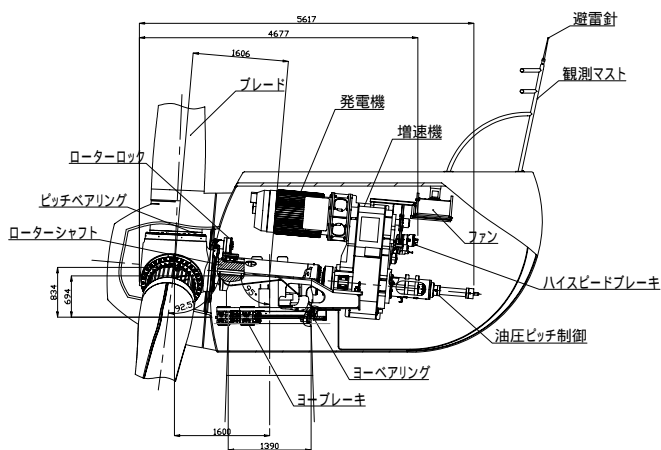


図-4 ナセル内部の構成

3. 設計・構造の特徴

設計と構造に関する特徴を表-7に示す。また、風車の主要部分であるナセル内部の構成を図-4に示す。

4. ナセルの架設方法

風車の建設では、重量物であるナセルをタワー上に設置することから、一般的には大型クレーンを使用している。一方、道路条件から大型クレーンを現地へ搬入できない場合がある。この場合、大型クレーンで架設を実施するためには搬入路の

表-7 設計と構造に関する特徴

荷重計算	風車の設計計算は、IEC および GL 基準に準拠して設計条件を設定。構造解析には FLEX5 を使用し、設定した荷重ケースの風車モデルの動的シミュレーションを行って、静的設計荷重および疲労照査荷重を求めた。風の条件には大きな乱れを設定しており、山間部での建設に対しても十分に安全な設計を実施した。
回転伝達機構 ローターシャフト～ 発電機	構造部分には、U タイプ支持形を採用している。ローターシャフトは、メインフレームの前後に固定したベアリングで支持している。増速機(ギアボックス)にはスパーギアを採用している。この構造の採用により、ギアボックスとベアリングの信頼性を高めている。
風向(ヨー)制御方法	アクティブヨー制御: 電動モーターでナセルの向きを風向に合わせて制御。
出力制御方法	アクティブピッチ制御: ブレードのピッチ角を油圧で制御して、ローター回転を制御。
SCS (安全制御システム)	常に発電状態を監視すると共に、各種センサーで最適な発電のための制御と安全保護を実施。
発電機・系統連系	誘導発電機に AC-DC-AC リンク方式で可変速運転を実現した。

整備工事が必要となり、風車建設費を増大させる要因の一つとなっている。

以上から、山間部の風車導入を進め、風力発電の普及を促進することを目的として、大型クレーンを使用しない建設工法「ナセル回転架設工法」を開発した。工法の概要を図-5に示す。

風車タワー頂部に、回転式架設装置を中型クレーン(60tクラス)を使用して設置する。

この架設装置は鋼製フレームで構成され、中心の回転軸をタワーに接続した架台上に固定する。

装置の姿勢制御は、装置の四方に滑車を介して接続された制御ワイヤを、地上のウィンチ操作で動かして行う。

ナセルの吊上げは、架設装置の中心部を通る吊上げワイヤを使用して地上のウィンチの操作で行う。

ナセル吊上げ後、ナセルのタワー上への横移動は制御ワイヤによる装置の回転で行い、タワー上の所定の位置にナセルを据え付ける。

この架設工法は、重量のあるウィンチを地上に設置することで、タワー上に設置する装置を単純な構造で軽量とすることができ、タワー上での組立が中型のクレーンで可能となっている。



写真-1 ナセルの架設状況(1)



写真-2 ナセルの架設状況(2)

ナセル架設システム 施工ステップ図

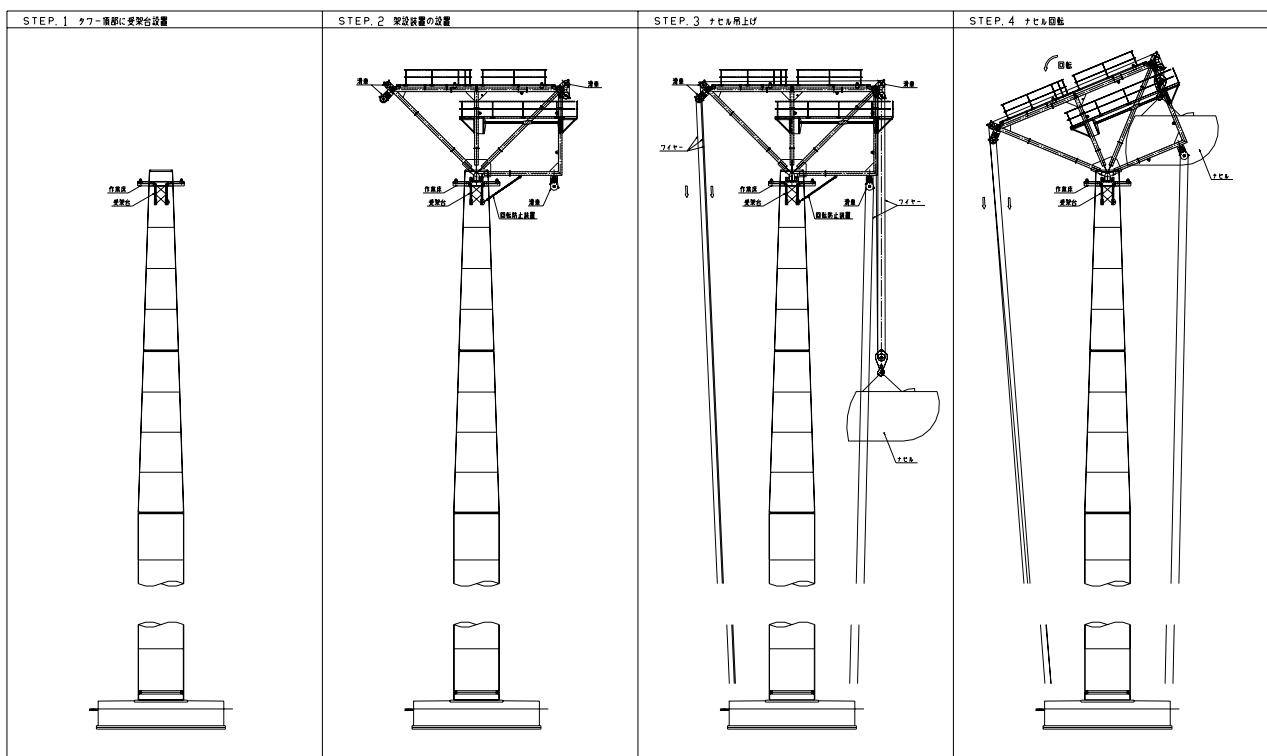


図-5 架設工法の概要

5. 性能確認

現在、運転と並行して性能確認のための各種計測を行って、性能を確認しているところである。発電出力の特性を示すパワーカーブは、発電事業の採算性にも影響する風車の重要な性能である。図-6 に、これまでに収録した運転データから得られたパワーカーブを示す。データの詳細な分析はこれからであるが、設計値を満足する値が得られている。

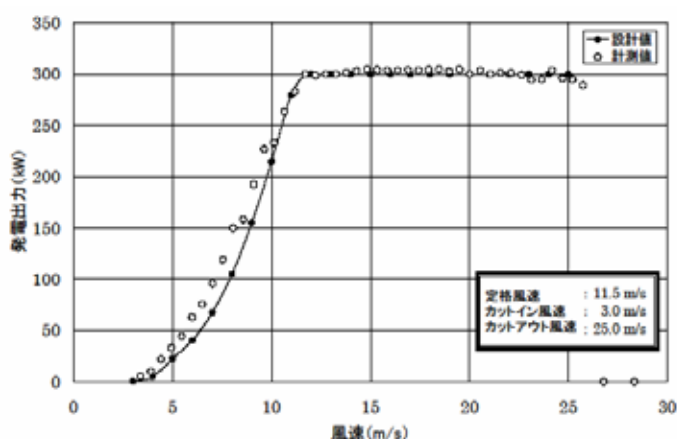


図-6 KWT-300 のパワーカーブ

あとがき

長大橋や超高層ビルなど高度な鋼構造物を設計・建設してきた当社の技術と、欧州で多数の風車を設計してきたドイツのエンジニアリング会社の協力により、日本特有の厳しい気象条件ならびに建設条件に適した日本型風車 KWT300 を開発することができた。プロトタイプは、昨年9月に当社富津工場に建設し、今日まで順調に稼働して性能・運転に関するデータを収録している。

風車の認証については、G.L.wind 社に設計認証を依頼して、C 設計認証を受けることができた。また、前文でも述べたとおり、今後は風車の稼働率を下げないためのメンテナンスを含めた運転管理が重要な課題になると思われる。これに対しても、円滑に対処できるように運転データから運転管理の内容を検討すると共に実施体制を整備しているところである。

今回開発した日本型風車 KWT300 が、今後日本の条件に適した風車として認識されるように、信頼性を高めていきたい。最後に、本開発に当たっては九州大学の松宮輝教授より終始適切なお助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献・資料

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構の HP より、日本における風力発電設備・導入実績、<http://www.nedo.go.jp/enetai/other/fuuryoku/index.html>
- 2) IEC 61400-1 Ed.2:1999 Wind turbine generator systems-Part 1:Safety requirements, 1999.2
- 3) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002.3.
- 4) 日本建築学会, 塔状鋼構造設計指針・同解説, 1980.9



写真-3 プロトタイプの完成写真