

# 風力発電機用軸受および軸受用鋼

小林 一博\*

Bearings and Bearing Steels for Wind Turbine.  
Kazuhiro Kobayashi

## 1. はじめに

風力エネルギーは古来風車などによって小規模に利用されてきたが、エネルギー需要の増大と石油エネルギー等による地球環境汚染を防止するために、CO<sub>2</sub>や環境汚染物質の排出の無い、再生可能な無尽蔵のクリーンエネルギー源の一つとして期待されている。風力発電は風のエネルギーを電気エネルギーに変えて活用するもので、これまで主としてヨーロッパで開発・実用化が進められてきたが、21世紀に入り、世界的規模へ普及に拍車がかかってきた。

風力発電機では、風の力による羽の回転運動を発電機の動力源とするため、軸受が重要な構成部品となっている。地上高く、ゆったりと回転している風車の心臓部で、当社の軸受用鋼もエネルギー創出と環境保全のために日夜働き続けている。当社の高信頼性軸受用鋼材の用途の一つとして、最近注目されている風力発電機と風力発電機用軸受の現状について紹介する。

## 2. 風力発電機の現状と今後の動向

2005年に世界中で導入された中型～大型風力発電機の設備容量は11.5GW、設備費用は140億\$に達し、累積設備容量は59.1GWに達した。設備容量としてはこの5年で年率28%の伸びを示している。

また、今後5年間も18%の成長が見込まれている<sup>1)</sup>。

2005年現在、各国別にみた普及率ではドイツが18,428MW、31.2%で1位、以下スペイン10,027MWで17.0%、米国9,149MWで15.5%、インド、デンマークの順で日本はオランダについて1,078MWで10位、前年10位であった中国は昨年一年で65%の急激な伸びを示し日本を抜き1,219MWで8位になった。図1に主要国および全世界の設備容量の推移を示す。地域で見ると、欧州が全容量の69.2%を保有し、北米16.6%、アジアの11.8%と欧州がまだ優勢であるが、インド、中国、北米、豪州の伸びが著しくなっている<sup>1)</sup>。風力発電の普及に対しては国土が広いこと、安定した風が吹いていること電力の

需要地にも比較的近いこと等が有利であり、欧州先進地域では飽和しつつあり、アジア、北南米、豪州等はまだまだ相当開拓の余地が有るといえる。

風力発電機の製造メーカーは欧米のメーカーが主体であり、上位10社には表1に示すようにそれ以外ではインド Suzlon社と三菱重工業の2社のみである<sup>2)</sup>。国内へは海外で製造した発電機本体を提携企業にて組立て、据付ける形態を取るものが多い。

風力発電機は風車部の面積に比例して発電量が増し発電コストが安くなるため、大型化が進んでおり、図2に示すように最近では国内においても1～2MW機クラスが主力となっている。2MW機クラスでは最大高さが100mを越し、欧州では5MW機、最大高さが200m近くに達するものも実用化されている<sup>3)</sup>。

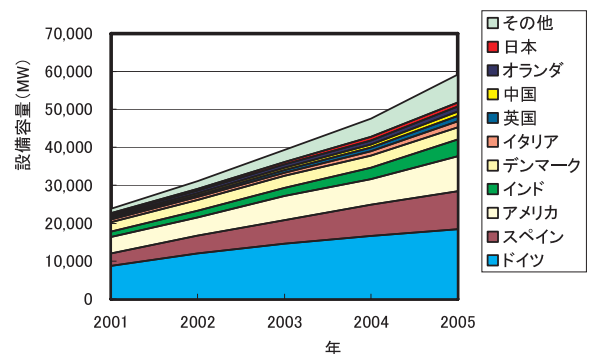


図1 主要国の風力発電容量の推移

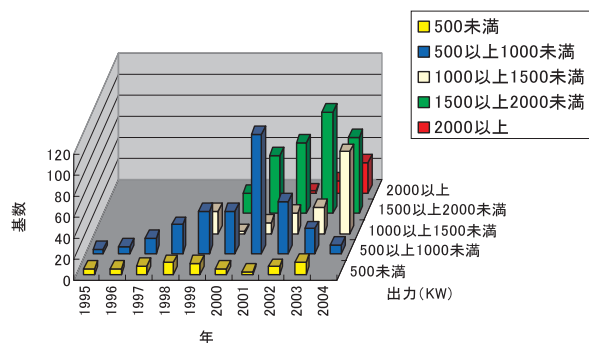


図2 出力階層別風力発電機導入基数推移

\* 研究・開発センター

表1 風力発電機の主要メーカーと市場シェア

(BTM Consult ApS: World Market Update 2005 を元に作成、総発電量=11,407MW)

メーカー名	国	'05年 発電容量 シェア (%)*	累積発電容 量(MW)**	累積発電容 量シェア(%)**	国内輸入総代理店、提携企業	'03年日本 でのシェア(%)	最大機 (MW)	備考
1 Vestas	デンマーク	27.9	17,580	34.4	ベステックJapan(川崎重工資本参加)	40	4.5	03.12. 第二位メーカーのNEG Micon社を買収
2 GE Energy	米国	17.7	5,346	10.6	日本製鋼所、西島製作所、日本風力開発	7	3.6	旧独Tacke社をGEが買収
3 Enercon	ドイツ	13.2	7,045	14.1	日立エンジニアリングサービス	4	2.0	
4 Gamesa	スペイン	12.9	6,438	13.3	JFE エンジニアリング、東芝プラントシステム	—	2.0	スペインの需要拡大に伴い急成長
5 Suzlon	インド	6.1	785	1.8		—	2.0	アジア最大のメーカー
6 PG Siemens	ドイツ	5.5	3,874	7.4	トーマン	19	3.6	旧デンマークBonus社を'05独Siemens社が買収
7 Repower	ドイツ	3.1	1,169	2.4	明電舎	—	5.0	
8 Nordex	ドイツ	2.6	2,406	4.4	石川島播磨重工	5	2.5	
9 Ecotecnia	スペイン	2.1	744	1.6	日立造船	—	5.0	売上はグループ企業全体
10 三菱重工業	日本	2.0	1,019	2.1		5	2.4	国内最大の大型機メーカー
その他		5.0	4,359	7.9		20		
合計		98.1	50,766	100.0				

(注\* 提示されているシェアの数字は合計で100%となっていない、注\*\* 推定値)

### 3. 風力発電機の構造と風力発電機用軸受

#### 3.1 風力発電機の基本構造

風力発電機は、ブレード（羽根）、タワー（支柱）、ナセル（発電を起す本体）からなり、風によって回転するブレードのトルクがナセル内に伝えられ、増速機によって発電効率の高い速度にまで増速され、発電機により電気エネルギーに変換される。主要部のローター部（回転部）およびナセル周辺部の代表的な構造を図3に示す<sup>4)</sup>。

#### 3.2 風力発電機に使用されている軸受

風力発電機にはタワー先端のナセル回転用の旋廻輪のほか、図4に示すナセル本体内の主軸、増速ギアボックス内各回転軸および発電機の軸部等に各種軸受が使用されており<sup>5)</sup>、風力発電機一機には合計100個以上の軸受が使用されているといわれている。その主なものを以下で紹介する<sup>6-8)</sup>。

##### (1) 旋廻輪用軸受および駆動装置用軸受

旋廻輪用軸受としては、風力発電機全体で最大の外径を持つタワー先端のナセル回転用のものと、各ブレードの取り付け部分（ハブ）にあつて風力に合わせて最適角度にブレードを調整するものがある。

常に変化する風の方向に合わせてナセルやブレードの向きを駆動装置により最適方向に調整し発電効率を向上させ、また突風による損傷を防ぐ役割を持っている。内外輪側のいずれかが歯車構造となっており、風況に応じて駆動装置の駆動歯車により回転運動を伝えられ、方向の最適化が図られる。常時回転運動を行うものではない。

旋廻輪用軸受および駆動装置用軸受は、駆動装置による大きなトルク伝達や突風などの高負荷に対する耐久性が求められる。

旋廻輪用軸受には、小径のものは炭素鋼ないしMn鋼が、サイズの大きいものではSCM440等の中炭素合金鋼が用

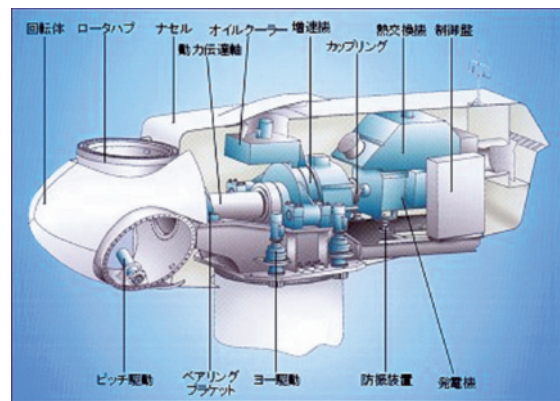


図3 風力発電機本体の基本構造  
(株式会社西島製作所殿ホームページより)

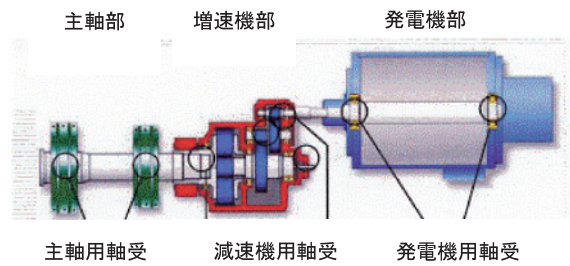


図4 ナセル内軸受使用箇所  
(クリーンテクノス社殿ホームページより)

いられ、リング鍛造、機械加工後、高周波焼入焼戻しにより回転部分および歯車部は焼入硬化して使用されている。

##### (2) 主軸用軸受

主軸用軸受は、ブレードとローターを支持して風力による回転トルクをギアボックスへ伝える主軸を支える軸受で

あり、風力発電機本体のナセル内では最大の軸受である。風力発電機の大型化に伴い、ますます大径化する傾向にあり、1.5MW機クラスでは外径1000mm程度<sup>9)</sup>の軸受例が、5MW機用軸受としては、内径1500mm、単重2700kg<sup>10)</sup>の例や、同じく外径3200mm、内径2620mm、幅485mm、単重7200kgの例<sup>11)</sup>が具体的寸法をあげて紹介されている。

常に変化する風によって荷重、モーメントや回転速度が大きく変動する。特に突風の際の過負荷による変形量や隙間管理が重要であり、ブレードやギアボックスの振動によってフレットングコロージョンが発生する危険がある。

大きく変動する使用条件下においても、ころのスキュー（倒れ）やチルト（傾き）が少ない安定したトルク性能を示すことや耐フレットング性能に優れること、長時間の使用に耐える高い信頼性が求められる。国内では通常、焼入性の良いSUJ3やSUJ5等の鋼種が使用されている。サイズが大きいため熱処理歪みの小さいことが求められることもある。

### (3) 増速機用軸受

風力発電機のブレードは風によって通常10～30rpm程度の低速で回転しているが、最適な発電効率を得るためには最終の発電機では、定格速度域の1500～2000rpmまで増速させる必要がある。最近では増速機がないダイレクト発電方式も開発実用化されているが、通常はギアボックスによる増速機方式が採用されている。ギアボックスは入力軸、遊星歯車、低速軸、中間軸、高速軸で構成され、遊星歯車、ヘリカル歯車セットと各段の入出力軸をささえる軸受機能上最も重要な部分である。

低速・低荷重から高速・重荷重まで幅広い荷重域で運転され、高剛性でかつ低荷重の際発生する滑りへの対策が必要である。また、増速機用軸受は歯車群と高粘性の潤滑油が共通化されるため、潤滑不足や歯車の摩耗粉など異物混入の潤滑条件にとなりやすい。一般に肌焼鋼や軸受鋼が使用されるが、異物混入潤滑環境下での長寿命化対策として、浸炭浸窒処理の適用や浸炭浸窒専用鋼が使用される例もある<sup>6-8)</sup>。

### (4) 発電機用軸受

増速機と発電機を連結する高速軸を支える軸受であり、通常ブレーキが連結されていることが多い。落雷、帯電による軸受内部の電流通過によるスパーク現象（電触）の防止対策のため、寿命が長く信頼性の高い軸受鋼や肌焼鋼をベースにセラミック等の絶縁被膜処理を施した軸受や転動体を使用した軸受等が用いられている<sup>7,8)</sup>。

## 4. 風力発電機部品の損傷事例と軸受用鋼

風力発電機は通常寿命が20年で設計されているが<sup>8)</sup>、風力発電機そのものの歴史がまだ浅く、また大型化やそれに

伴う軽量化ニーズの増大もあり、軸受を含め従来の設計に改良が加えられている。

風力発電機の設備部品の故障に関する報告事例は多くない<sup>12)</sup>が、一例として北海道内に設置されている風力発電機192基に二年間で発生した設備故障240件の事例が報告されている<sup>13)</sup>。これによると、部位別にみた故障箇所では、制御系の67件（28%）や駆動機器系の63件（26%）が多く、次いで計測機器、ブレード、発電機の順となっている。発生原因別では、落雷によるもの43件（18%）を含む偶発故障が159件（66%）、摩耗疲労故障が54件（23%）、初期故障が21件（9%）となっている。

部品交換を要した故障156件中では、軸受が8件（増速機軸受3、遊星軸受2、主軸軸受1、不明1）、ギア類3件（増速機2、ヨーギア1）、ジョイント3件、カップリング5件、ギアオイルフィルター9件等となっており、詳細内容については報告されていないが、軸受損傷起因の設備トラブルも5%発生しており、風力発電機用軸受に対しても先に述べたような各種対策が講じられている。

風力発電機の場合、使用箇所や設置箇所等の関係で、一旦故障しても部品の取替えが容易でないため、一般の機械以上に部品に対しては高い信頼性が求められる。

今後風力発電機の普及・拡大に伴って、軸受に関してもより長寿命化、高信頼性化が図られてくるものと思われる。当社の軸受用鋼は高纯净度化による長寿命性と高纯净度化に裏付けされた高い信頼性の評価を得ており<sup>14)</sup>、風力発電機用軸受に適した鋼として推奨される。

## 5. おわりに

風力発電機が立ち並ぶウィンドファームを飛行機から見下ろすとその景観に圧倒される思いがする。地球環境の保全とエネルギー確保に立ち向かう人類の叡智、意気込みを感じることができる。風力発電は解決しなければならない技術的課題も多いといわれるが、環境保全とエネルギー創出の両立を図るものとして、今後の普及、発展が期待される。その重要部品に当社の高信頼性軸受用鋼も使用されており、今後の風力発電の発展をさらに支えていきたい。

### 【参考文献】

- 1) GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC) ホームページ。
- 2) BTM Consult ApS, International Wind Energy Development, World Market Update 2005
- 3) 「風力発電機導入ガイドブック2005年版」、NEDO（2005.5.発行）
- 4) 株式会社西島製作所ホームページ
- 5) クリーンテクノス株式会社ホームページ
- 6) 八木壮一：NTN TECHNICAL REVIEW, No.71(2003), P40
- 7) 渡邊哲雄：NSK Technical J., No. 678(2005), P2

- 8) 蔵下義一：月刊トライボロジー，2006.4，P24
- 9) 瀧井裕一：月刊トライボロジー，2004.1，P18
- 10) SKFホームページ
- 11) FAGホームページ
- 12) 松宮 輝，小垣哲也，水谷八郎，是永 敦，間野大樹：トライボロジスト，49(2004)，5，P29
- 13) 「北海道における風力発電の現状と課題」北海道経済産業局、(2005.3.15.)，P18
- 14) 川上 潔：第182・183西山記念技術講座テキスト，(2004)，P153