

## 2. 風力発電関連産業の構造分析

本項では、風力発電関連設備および浮体がどのような部品から構成され、それぞれの部品がどのような機能を持つかを整理する。続いて、風力発電関連設備および浮体を構成する部品について、風力発電機メーカーや部品メーカーの納入先や仕入先の状況等を明らかにする。これらの整理結果を風力発電産業の集積および福島県内企業のサプライチェーンへの参入を検討する際の基礎情報とすることを目的とする。

### 2.1 風力発電の構成

風力発電機は、「ローター」・「ナセル」・「タワー」・「基礎」・「系統連系装置」・「その他付帯設備」の大きく6つの構成要素から成る。

各構成要素は複数の「部品」から構成されるが、その「部品」はそれぞれさらに細かい「部品群」から構成される。

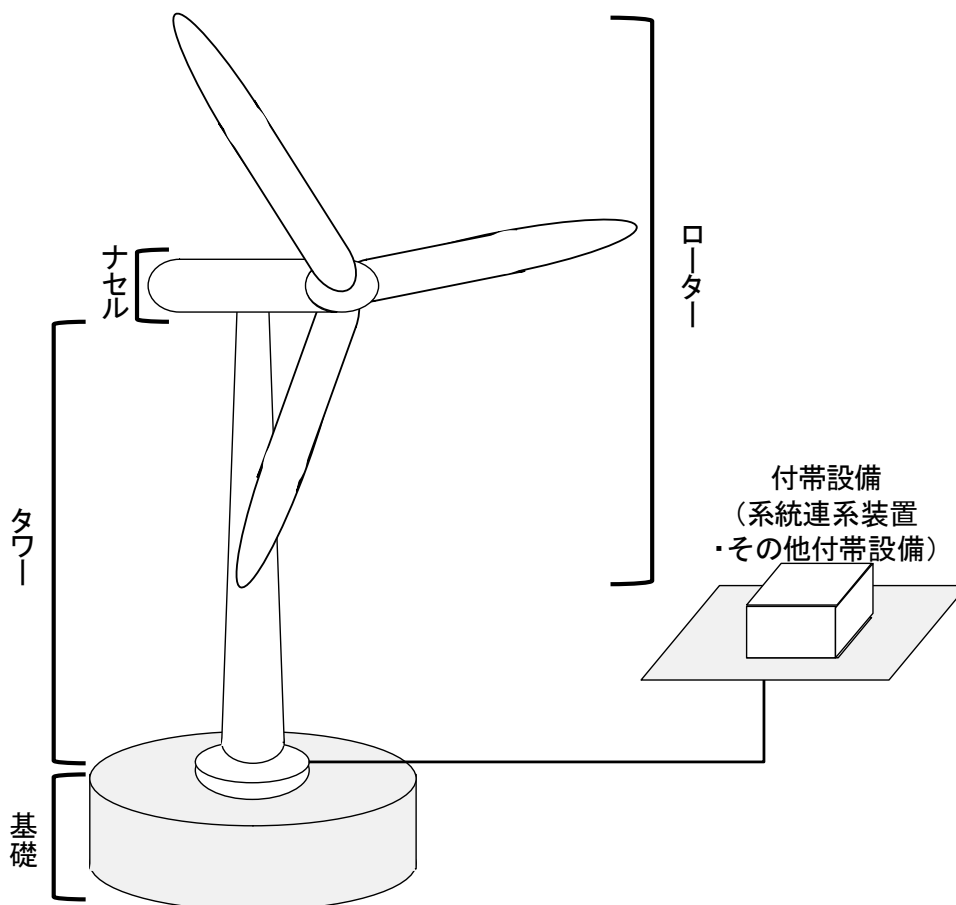


図 2.1-1 風力発電機の構成

表 2.1-1 風力発電機部品構成（その1）

構成要素	部品	二次部品（素材）	
ローター	ブレード	繊維強化プラスチック（FRP）	
		塗料	
		桁	
		ボルト等（金具）	
		レセプター	
	ハブ	ローターヘッド	
		ハブカバー	
	ピッチ制御装置 （電気式を例示）	ピッチ旋回ベアリング	
		ピッチ旋回モーター	
		減速機	
		制御盤	
		バッテリー	
		スリップリング	
		位置検出器	
ナセル	主軸	主軸	
		主軸ベアリング	
	増速機	増速機ハウジング	
		キャリア	
		ギア（歯車）	
		ベアリング	
		軸	
		ディスクブレーキ	
		ロックピン	
		潤滑装置	
	発電機	フレーム（カバー）	
		回転子（ロータ）	
		固定子（ステータ）	
		界磁	
		シャフト	
		スリップリング	
		ブラシ	
		ブラケット	
		冷却ファン	
		カップリング	
	ヨー駆動装置	ヨー旋回ベアリング	
		ヨー旋回モータ	
		減速機	
		ヨーブレーキ	
	制御盤		
	ナセル制御盤	—	
	ナセル台板	鋼板	
	ナセルハウジング	繊維強化プラスチック（FRP）	
	タワー	タワー	鋼板
		フランジ	—
		昇降機	—

表 2.1-2 風力発電機部品構成（その2）

構成要素	部品	二次部品（素材）
基礎	アンカー	アンカーリング
		アンカーボルト・プレート
		タワー取付ボルト
	ペDESTAL	コンクリート
	フーチング (杭)	鉄筋コンクリート 地盤が軟らかい場合のみ使用
系統連系装置	コンバーター インバーター	筐体
		IGBT 素子
		VCB
		制御回路盤
		コンデンサー
		スイッチ類
		冷却装置
	変圧器（トランス）	ケーシング
		コイル
		ケイ素鋼板
		放熱器
		絶縁油、樹脂
	連系用スイッチギア	筐体
		遮断器
		ヒューズ
		リレー
		UPS
		表示灯
	制御盤	—
	送電ケーブル	—
その他付帯設備	遠隔監視装置	サーバー
		モニタ
		UPS
		クライアント PC
	冷却装置	—
	その他付属品	避雷針
		風向・風速計
		避雷導体
		カーボンブラシ
		サージ保護デバイス
		シールドケーブル/光ファイバ
氷結センサー		

## 2.1.1 風力発電機本体の構成

### (1) ローター

ローターは風を受けて回転する部位を指す。主要な部品は「ブレード」・「ハブ」・「ピッチ制御装置」である。ただし、ピッチ制御装置はハブの中に取り付けられているため、ハブの一部品としてカウントされるケースもある。この2つはそれぞれ異なる機能を持つため、ここでは

独立した別個の部品として取り扱う。

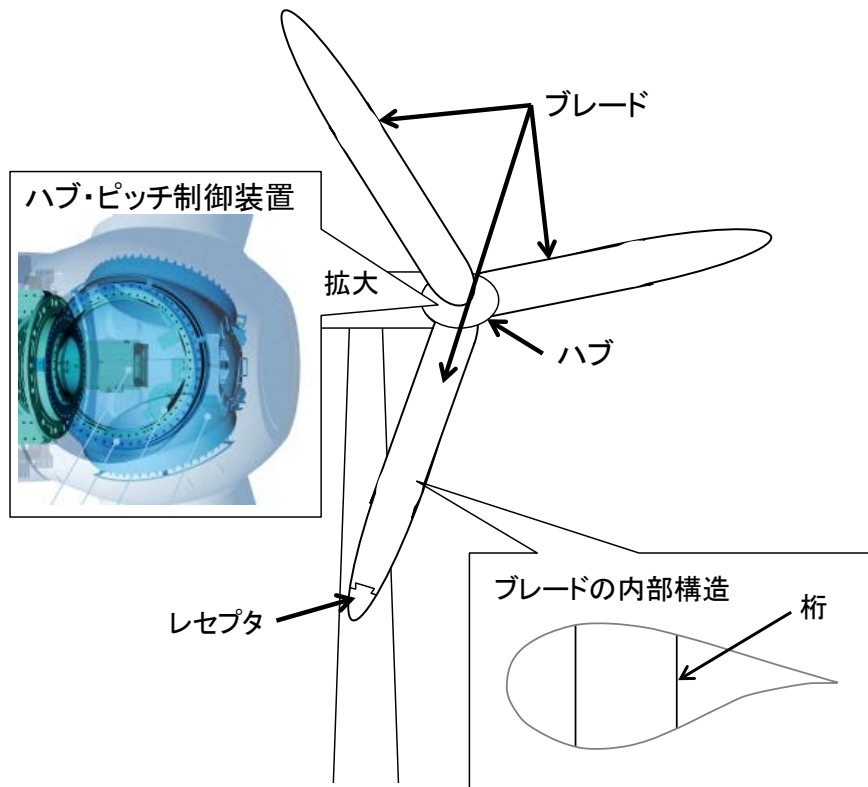


図 2.1-2 ローターの構成

(出典) 日立製作所ウェブサイトの一部用いて作成

### ①ブレード

ブレードの重量の大半は繊維強化プラスチック（FRP）であるが、その他にも重量比にすると小さいが重要な部品が含まれている。それらの二次部品の概要について以下に示す。

表 2.1-3 ブレードの二次部品構成

二次部品	構成	材料	備考（役割等）	重量比
繊維強化プラスチック（FRP）	繊維	ガラス繊維（GFRP）	主流の材料	55%
		炭素繊維（CFRP）	桁など特に強化したい部位に使用	
	レジン（繊維を固める樹脂）	ポリエステルポリマー	加工性が良い	35%
		エポキシポリマー	強度が高い	
塗装	ゲルコート	ポリエステルを主とする樹脂	雨や紫外線から内部を保護	10%
桁	桁フランジ 桁ウェブ	不明	ブレードの内部構造を支える（フランジ：曲げ荷重を支える、ウェブ：剪断力を支える）	
ボルト等の金具	—	金属	ブレードとハブを結合する	
レセプター	—	ステンレス	ブレード先端付近の受雷部	

ブレードの製造工程は、繊維とレジンを重ねてブレードの形状に FRP を固める作業から始まる。このとき、ブレードの前面と背面で分けて固める。製造方法の改良が重ねられてはいるものの、この工程には非常に人手がかかる。FRP が固まるとそれぞれの面に桁を接着し、その後二つの面を合わせて一枚のブレードにする。ボルト等の付属品を取り付けたのち、最後に表面を磨き、塗装をして、製品として完成する。

## ②ハブ

ハブは、3本のブレード取付面、主軸取付面、作業用の人が出入りするアクセス穴の合計5つ以上の大きな面や穴を持つ、非常に複雑な形状の部品である。ハブ本体は鋳造品であり、日本では大型部品の鋳造ができるメーカーが減っているため、海外からの調達も増えていると考えられる。

表 2.1-4 ハブの二次部品構成

二次部品	構成	材料・サイズ	備考（役割等）
ローターヘッド（ハブ本体）	—	鋳鋼 2m×2m×2m 以上	ローターの回転中心
ハブカバー	—	繊維強化プラスチック (FRP) ハブ本体を覆えるだけのサイズ	ハブの保護 点検整備をする作業員の作業性・安全性確保

ハブ本体とハブカバーはそれぞれ材料が異なるため、別々のメーカーから調達することも考えられる。ハブカバーは材料が FRP なので、ブレード製造企業と同じ企業が担うことができる。

## ③ピッチ制御装置

ピッチ制御装置は、動力源によって電気式と油圧式の2つのタイプに分かれる。電気式の場合にはベアリングが必要となる。電気式のピッチ制御装置はハブの中に取り付けられている。一方、油圧式のピッチ制御装置は、油圧シリンダーの収縮によってブレードの角度を変える。なお、油圧式においても元々の動力が電気であることには変わりがない。

電気式と油圧式ではその部品構成に大きな違いがある。日本では現在、日立製作所と日本製鋼所が電気式、三菱重工業が油圧式を採用している。

なお、減速機は電気式のピッチ制御装置のみに含まれており、主に単純遊星歯車減速機、内接嚙合形遊星歯車減速機に分類される。前者は比較的安価で、欧州の風力発電機で比較的良好に用いられるが、日本の苛酷な環境に適用するには耐久性が足りず故障頻度が高いとも言われている。日本のメーカーは後者の研究開発を進めており、高度で耐久性に優れた製品の提供が可能である。

表 2.1-5 ピッチ制御装置の二次部品構成

二次部品	構成	特徴	電気/ 油圧式
ピッチ旋回ベアリング	外輪	2MW 級の風力発電機で直径 2m ブレードとハブを接続する	電気式
	内輪	ブレードの角度を変える	
	ベアリングボール	軌道輪間の過重を伝達する	
	ピッチ旋回小歯車（ピニオン）	小歯車が回転することで旋回ベアリングに回転を与える	
ピッチ旋回モータ	モータ本体	ブレードの角度を変える動力を供給する ブレードにつき 1 つ設置	電気式
	ピッチブレーキ	風で旋回しないように固定する	
減速機 （同軸式）	ハウジング	減速機のカバー	電気式
	キャリア	遊星歯車等の支持部材	
	ギア	遊星歯車等	
	ベアリング	軸を支える軸受	
	軸	モータから回転を受け取る	
制御盤	主制御盤	ナセル制御盤からのピッチ角指令を受けて各軸の制御盤に指令を出す	電気式
	制御盤（1~3 軸）	主制御盤からの指令を受けてピッチ角を変える	
バッテリー	鉛蓄電池	停電時に電力を供給する	電気式
スリップリング	—	ナセルからハブ内へ動力と制御信号を伝えるための回転式コネクタ 貴金属製	共通
位置検出器	—	モータ部についており、ピッチ角を検出する	共通
油圧シリンダー（アクチュエーター）	電気式のベアリングと小歯車に相当	ブレードの角度を変える	油圧式
油圧ポンプ	電気式のピッチ旋回モータに相当	ブレードの角度を変えるための動力を供給する	油圧式
制御バルブ	電気式の制御盤に相当	ナセル制御盤からの指令を受けてピッチ角を変える	油圧式
蓄圧器	電気式のバッテリーに相当	停電時に油圧による動力を供給する	油圧式

（出典）日本ムーグウェブサイト、わかりやすい風力発電（オーム社）等を参考に作成

## （2）ナセル

ナセルはタワーの上に取り付けられた機械室を指し、このナセルの先端にローターが取り付けられている。ローターの取り付け向きは風上側か風下側かで「アップウィンド型」と「ダウンウィンド型」に分かれる。主要な部品は「主軸」・「増速機」・「発電機」・「ヨー駆動装置」・「ナセル制御盤」などであり、風力発電機の発電メカニズムを支える重要部品が多く格納されている。

最も重要な機器は、動力伝達を行う「ハブ→主軸→増速機→発電機」の流れ（ドライブトレイン）である（ただし、発電機の種類によっては増速機が必要でない場合がある）。

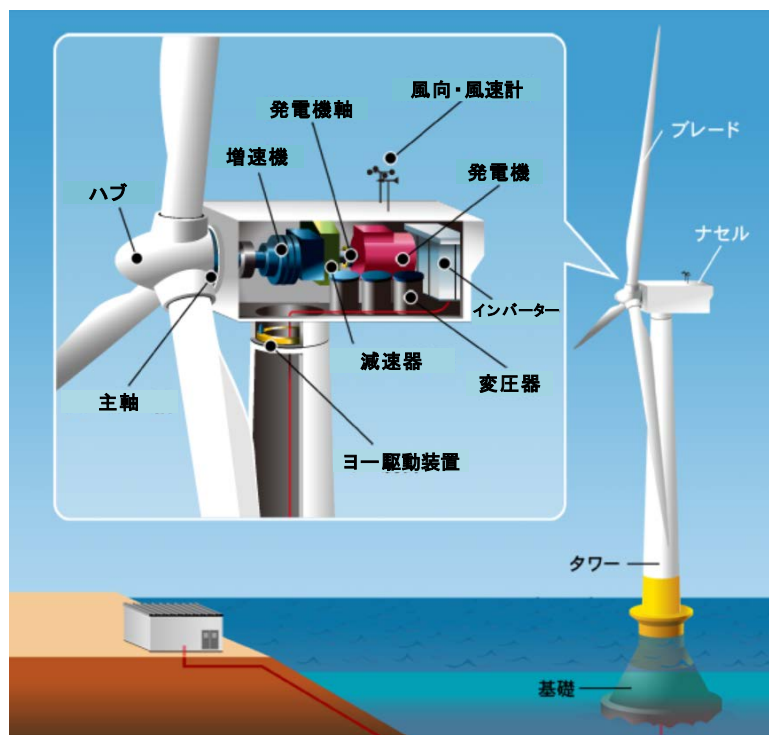


図 2.1-3 ナセルの構成

(出典) NEDO ホームページより作成

### ①主軸

主軸は、鋼材の鍛造ののち、機械加工によって表面を滑らかにする必要があり、強度とともに表面加工の精密さが求められる。主軸は、軸本体とそれを支えるベアリングから成る。ベアリングの数はレイアウトにより 1 つの場合と 2 つの場合がある。

表 2.1-6 主軸の二次部品構成

二次部品	構成	材料	備考（役割等）
主軸	—	ニッケルクロムモリブデン鋼などの強度のある鋼	ハブを支え回転を増速機に伝達する 中空になっている
主軸ベアリング	—	球状黒鉛鋳鉄などを用いて機械加工、熱処理した鍛造圧延リング	ハブと主軸を接続する 主軸を支持するための 2 つ目のハブが設置される場合もある

### ②増速機

各二次部品の材料は、主に球状黒鉛鋳鉄の鋳物（高級鋳鉄を含む）や鍛造品である。

増速機内部では、ローターからハブ、主軸へと伝わった低速・高トルクの入力を、遊星歯車を使ってまず 10 倍程度に増速する。さらに、低速軸・中間軸・高速軸と段階的に 100 倍程度にまで増速し、発電機へと伝達する。

なお最近では、増速機の代わりに油圧ポンプ・モータで増速するケースも出てきている。油圧

ポンプ・モータを用いる場合、信頼性の向上だけでなく、ポンプ・モータを制御することで回転速度も制御できるため、部品点数削減が可能というメリットがあると言われている。

このような状況を受け、風力発電機増速機の付加価値を高めるための技術開発も活発に進められている。最新の開発事例としては、ハブ軸受と発電機が内蔵されたコンパクトドライブトレインタイプやメンテナンスをしやすいような工夫をしたタイプなどがある。

増速機は、その開発過程において、実際に製造した機器について設計上の全負荷での試運転を行い、騒音・振動や遊星歯車の等配率の検証や潤滑油清浄度、寒冷地用試験など様々な試験を実施する必要がある。これらの試験には大掛かりな設備が必要となり、新規参入の障壁になっていると言われている。

表 2.1-7 増速機の二次部品構成

二次部品	構成	備考
増速機ハウジング	—	増速機構を覆う鋳造品
キャリア	—	遊星歯車を覆い支える
歯車（ギア）	遊星歯車	歯面の傾いたハス歯の歯車を使用
	リングギア	
	低速軸ピニオン	低速軸とそのベアリングに隣接する小歯車
	中間軸ピニオン	中間軸とそのベアリングに隣接する小歯車
	高速軸ピニオン	高速軸とそのベアリングに隣接する小歯車
ベアリング	低速用	最大接触応力：1,300MPa 要求寿命：30,000h
	中間用	最大接触応力：1,650MPa 要求寿命：40,000h
	高速用	最大接触応力：1,650MPa 要求寿命：80,000h
	遊星ギア用	最大接触応力：1,450MPa 要求寿命：100,000h
	キャリア用	最大接触応力：指定なし 要求寿命：100,000h
軸	低速軸	—
	中間軸	—
	高速軸	—
ディスクブレーク	—	高速機と発電機の間にある、保守作業時の回転系停止装置。油圧作動式。
ロックピン	—	低速軸の回転止め装置
潤滑装置	清浄度フィルター等	海外企業の方が品質が高いものが多いとの意見がある。

### ③発電機

大型風力発電システムに使用される発電機には複数の種類がある。主なものを以下にまとめ



た。ここでは、発電機の特徴として、「定速型」か「可変速型」の区別と、発電方式に注目して分類した。また、出力制御の方法として制御方法にも注目し、「ストール制御」か「ピッチ制御」かを整理した。ただし、実際には定格風速以下でストール制御、定格風速以上でピッチ制御を行う「アクティブストール制御」という出力制御方法も開発されている。また、現在主流となっているのは二次巻線型誘導発電機を用いたピッチ制御による出力制御であり、国内外の多くの風力発電メーカーがこの形式を採用している。したがって、ここでは二次巻線型誘導発電機（出力制御方法はピッチ制御）の部品を中心にとりまとめる。

表 2.1-8 発電機の種類

発電機の分類	発電方式	発電機形式	増速機有無	出力制御方法	長所	短所
定速	誘導発電機	かご型誘導	あり	ストール制御/ピッチ制御	安価 単純な構造で信頼性高い	出力変動大 機械的変動荷重大 ブレード騒音大
可変速	誘導発電機	巻線型誘導	あり	ピッチ制御	出力変動小 発電量大 インバーター容量が小さく比較的安価 ブレード音小	可変速範囲が限定 コンバーターサイズ大
可変速	交流励磁同期発電機	二次巻線型誘導	あり	ピッチ制御	出力変動小 コンバーターがコンパクト	速度範囲の制限 高価
可変速	同期発電機	巻線界磁型同期（多極同期）	なし	ピッチ制御	発電量大 出力変動小 増速機音無 ブレード音小	高価 インバーター容量大 発電機のサイズや重量が大きく輸送や建設に制約有
可変速	永久磁石発電機	永久磁石同期（多極同期）	なし/あり	ピッチ制御	発電量大 出力変動小 増速機音無 ブレード音小	高価 インバーター容量大 発電機のサイズや重量が大きく輸送や建設に制約有

発電機の種類によって二次部品の構成にも違いが出てくる点には留意が必要である。

表 2.1-9 発電機の二次部品構成

二次部品	構成	備考
フレーム（カバー）	—	アルミ合金等を用いた鋼板（溶接構造）
回転子（ロータ）	回転子	—
固定子（ステータ）	固定子心	低合金鋼（鍛造品）
	固定子巻線	銅線と周縁を覆う絶縁体
界磁	界磁鉄心	低合金鋼（鍛造品） かご型誘導発電機や永久磁石同期発電機にはない部品
	界磁巻線	銅線と周縁を覆う絶縁体 かご型誘導発電機や永久磁石同期発電機にはない部品
シャフト	—	増速機から回転を受け取る
スリップリング	—	貴金属製 かご型誘導発電機や永久磁石同期発電機にはない部品
ブラシ	—	カーボン製 かご型誘導発電機や永久磁石同期発電機にはない部品
ブラケット	—	軸受箱 鋼板溶接構造
冷却ファン	—	発電機内部の熱を放散し冷却する（空冷式の場合）
カップリング	—	増速機と発電機を接続

④ヨ一駆動装置

ヨ一駆動装置の二次部品を以下に示す。

表 2.1-10 ヨ一駆動装置の二次部品構成

二次部品	構成	備考（サイズ・役割等）
ヨ一旋回ベアリング	外輪	2MW 級風力発電機で直径 2m 程度 ナセルとタワーを結合する
	内輪	
	ベアリングボール	軌道輪間の過重を伝達する
	ヨ一旋回小歯車（ピニオン）	小歯車が回転することで旋回ベアリングに回転を与える
ヨ一旋回モータ	モータ本体	ベアリング上に複数台設置
	減速機	同軸式（入力軸と出力軸が同じ）
ヨ一ブレーキ（油圧式）	ブレーキディスク	風でナセルが旋回しないように固定
	ブレーキシュー	
制御系	制御回路	ナセル制御盤から旋回制御指令を受ける
	旋回カウンタ	どれだけ旋回したか計測しナセル位置を認識する
	ねじれ防止リミットスイッチ	限界を超えた回転をしないように制御する

発電機で発電された電気は、ナセルからタワー内に捻回ケーブルを通して送られる。ナセルが左右いずれかに2回転以上すると、捻回ケーブルは回転を吸収しきれず電気が送られなくなる。このような状況を回避するため、ヨー駆動装置を用いて、風の弱いときを狙って逆方向に自動的に旋回し、ねじれを元に戻す機能が備わっている。

また、減速機は繰り返し荷重や台風などに耐えられる耐久性が必要であるが、単純遊星歯車減速機は日本の風力発電サイトの過酷な環境には十分に適合しておらず、内接嚙合形遊星歯車減速機の方が高い耐久性を誇るとされる。

### (3) タワー

タワーはナセルとローターを支える構造体であり、その下部は基礎に支えられている。タワーの種類には円筒タワー、ラテスタワー、張線付ポールタワーがある。国内の大型風力発電機はほぼ円筒タワーであることから、以降、円筒タワーについて述べるものとする。主な部品は「タワー本体」と「フランジ」と「昇降機」などである。

#### ①タワー本体

タワー本体の製品としての特徴を以下にまとめる。

表 2.1-11 タワーの特徴

項目	内容	備考
機能	ナセルとローターを支持する 上空の高い風のエネルギーを利用する ローターと地表との間隔を保つ 保守員がナセルへアクセスする手段を提供 風力発電に必要な機器を収容する	—
材料	鋼板の溶接構造	コンクリート製や、下部はコンクリート製、上部は鋼鉄パイプのタワーなどの事例もある
サイズ	最も太い部分で直径 4~5m 高さ 80~100m	2MW 級の風力発電機
重量	200t 程度	2MW 級の風力発電機
求められる性能	高い疲労強度	—
汎用品/特注品	受注生産	一つ一つの部材が大きいため、在庫を保管するのは困難
国内製/海外製	海外製	安価な労働力を求め海外から調達する（日本国内からは撤退）

タワーは 20m 前後の長さのブロックごとに製造・輸送されたのち、風力発電機を設置する現地で溶接される。溶接を行う際には、次項で詳述するフランジを用いて溶接部を止め、タワーを内側から補強する。

## ②フランジ

フランジの製品としての特徴は以下のとおりである。

表 2.1-12 フランジの特徴

項目	内容	備考
機能	タワーの部材の溶接部接合用の口金	実際には、タワー溶接部だけでなく、ローターと主軸の接合など、複数の部位で用いられている
材料	鍛造・圧延加工し、溶接疲労強度を高めた鋼	—
求められる性能	応力集中を避けるような設計・工作	—

## ③昇降機

昇降機の製品としての特徴は以下のとおりである。

表 2.1-13 昇降機の特徴

項目	内容	備考
機能	保守人員がナセルに昇る際に使用する	梯子タイプと簡易エレベータータイプがある
材料	鋼材等	—
サイズ	高さ 80~100m (地上~ナセル台板まで)	2MW 級の風力発電機
汎用品/特注品	汎用品	—

## (4) 基礎

基礎はタワー（とその上部に取り付けられているナセルとローター）を地盤に固定する役割を果たす。したがって、浮体式の風力発電機の場合は、この役割を浮体が果たすこととなる。基礎の二次部品の概要について以下に示す。

表 2.1-14 基礎の二次部品構成

二次部品	構成	材料	備考（役割等）
ペDESTAL	—	コンクリート	タワーとの接合部
アンカー	アンカーリング/アンカーボルト・プレート	鋼	タワーと基礎を結合 アンカーリング式とアンカーボルト式がある
	タワー取付ボルト	鋼	アンカーとタワーを止める
フーチング	—	鉄筋コンクリート	地盤と接する
杭	—	コンクリート等	地盤を強化する

## 2.1.2 付帯設備

### (1) 系統連系装置

系統連系装置は、ナセル内部に設置された発電機由来の電力を、系統に接続するのに適した電流や電圧等に変換する設備や、接続の開閉を制御する設備などの全般を指す。それぞれの設備の設置場所はナセル内部、タワー下部、風力発電機外部など、メーカーや設計条件によって様々であり一概に言えないため、風車本体とは別の項で整理した。

#### ①コンバーター/インバーター

コンバーターやインバーターは、発電機で発電した電流の交流・直流変換を行うために設置される。発電機の種類や接続先の電力系統によって必要な機器は異なる。

コンバーター/インバーターは、筐体、IGBT 素子、VCB、制御回路盤、コンデンサー、スイッチ類、冷却装置などから構成される。

#### ②変圧器（トランス）

変圧器（トランス）は、発電機で発電した電圧を、接続先の電線の電圧と同等にするための設備である。変圧器（トランス）は、ケーシング、コイル、ケイ素鋼板、放熱器、絶縁油、樹脂などから構成される。

#### ③連系用スイッチギア

連系用スイッチギアは、高圧配電線を開閉したり事故時に保護したりするために必要な遮断器やヒューズ等を格納した装置。連系用スイッチギアは、筐体、遮断器、ヒューズ、リレー、UPS、表示灯などから構成される。その他、制御盤や送電ケーブルなども系統連系を行うための部品として必要である。

### (2) その他付帯設備

#### ①遠隔監視装置

風力発電機の建設地は、市街地から遠く離れた場所であることが多く、現場での監視・制御は非常に困難である。したがって、風力発電事業者が遠方で監視できるよう、遠隔監視装置が必要となる。遠隔監視装置は、サーバー、モニタ、UPS、クライアント PC および各種センサーやカメラで構成される。

#### ②冷却装置

冷却装置は大きく増速機冷却系と発電機冷却系にわかれ、それぞれ異なる仕組みで冷却が行われているため、別々の表にとりまとめた。

表 2.1-15 冷却装置の特徴（増速機冷却系）

項目	内容	備考
機能	増速機から発生する熱の冷却	増速機の熱：ベアリングの摩擦や潤滑油の循環や攪拌によるもの
仕組み	発生した熱を潤滑油が吸収し、潤滑油ポンプで熱交換器に送られ、熱交換器によってナセル外部の空気に熱放散し、再び増速機に戻る	—
求められる性能	塩分を含んだ空気を遮断する工夫	外気の導入から排気までを、ナセル内の空気とは独立した移送系統として確保

表 2.1-16 冷却装置の特徴（発電機冷却系）

項目	内容	備考
機能	発電機から発生する熱の冷却	発電機の熱：回転子、固定子に巻かれたコイルからの発熱
仕組み	空冷式：ナセル外部の空気を冷却ファンで発電機内部に導入 液冷式：発電機の外周に不凍液等の冷媒を通して熱を吸収し、熱交換器によってナセル外部に熱放散	—
求められる性能	塩分を含んだ空気を遮断する工夫	外気の導入から排気までを、ナセル内の空気とは独立した移送系統として確保

### ③その他付帯設備

その他の付属品として代表的なものを例示する。落雷対策のための部品と通信関係の部品、各種計測器やセンサーが主なものである。

表 2.1-17 その他の付属品（例）の名称と機能

項目	機能・設置場所
避雷針	風車本体への雷直撃を避けるため、ナセル上部のローターと逆側に取り付けられる
風向・風速計	ナセル上部に取り付け、風向と風速を計測し、制御装置に伝達
避雷導体	ブレード内部に埋め込まれる場合がある
カーボンブラシ	ロータおよびヨーの回転部に付属する場合がある
サージ保護デバイス	主回路、制御線、通信線に過電圧保護
シールドケーブル/光ファイバ	通信線への誘導ノイズ対策
氷結センサー	着雪・着氷状況を検知

### 2.1.3 浮体の部品構成

浮体式風力発電の浮体部分は、基本的に「浮体本体」、「係留索」、「艀装品」、「アンカー」の4つの構成要素からなる。風車と異なり、比較的新しい技術である浮体には様々な種類（形式）があり、現在それぞれの技術の実証がなされている。本項では、福島復興・浮体式ウィンドファーム実証研究事業で採用されている技術および部品を中心に概説する。

#### (1) 浮体の種類

##### ①スパー型

スパー型は、垂直方向に伸びた単一の浮力体の大部分を水没させる形式の浮体である。単純な円筒形状のため生産性が高く、コストダウンの可能性が高い。また、復元力に富み、転覆しにくい構造となっている。一方で、タワー・風車の取り付けをドック・岸壁で行うことが困難なため、組み立てに工夫を要する。福島県における実証事業の他、ノルウェーの Statoil 社が 2009 年に開始した Hywind プロジェクトでも 2.3MW のスパー型が採用されている。

##### ②セミサブ型

セミサブ型は、複数の浮力体から構成され、所定の喫水まで沈めて半潜水状態となる形式の浮体である。タワーや風車をドックまたは岸壁搭載可能で、施工性に富む。また、石油開発等でも世界的に実績のある方式である。一方、製作に広大な敷地を要し、かつ構造が複雑なため、生産性に課題がある。また、大波高時の復元性損失にも注意が要る。福島県における実証事業の他、ポルトガルの Principle Power 社と EDP 社が 2011 年に開始した Windfloat プロジェクトの 2MW 風車にて採用されている。

#### (2) 浮体本体

各構成要素は複数の部品および素材（二次部品）から構成されている。

表 2.1-18 浮体の部品構成

構成要素	部品	二次部品（素材）
浮体本体	コラム	鋼鉄
	ロワーハル	鋼鉄
	ブレース	鋼鉄
	バランスウェイト	コンクリート等
	ヒープレート	鋼鉄

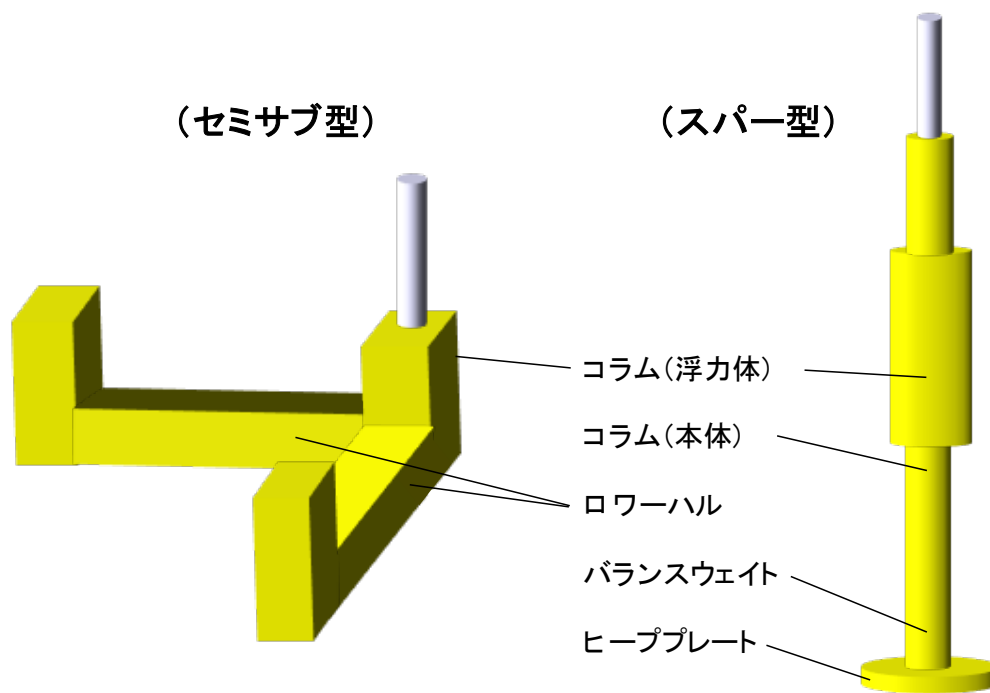


図 2.1-4 浮体本体の代表的な部品構成

浮体本体を構成する主要な部品に関する概要は以下の通りである。

①コラム

コラムは浮力を生み出すための筒状の部品。基本的に鋼鉄の部材で作られ、内部は空洞となっている。スパー型は1つ、セミサブ型は一般的に3~4つのコラムを有する。

②ロワーハル

セミサブ型において、複数のコラムを連結する長尺状の部品。完全没水が基本で、この浮力によって構造全体を支持している。

③ブレース

セミサブ型において、コラム間を連結する筋違構造の部品。

④バランスウェイト

浮体の重量のバランスをとり、安定を保つためにコラムの底部に積む重量物。多くの場合バラストタンク内に注入された海水やコンクリートが用いられる。

⑤ヒーププレート

スパー型のコラムの最下部に設置される平面上の部品。浮体の上下方向の動揺を低減させる効果がある。



### (3) 係留索（係留チェーン）

浮体は波や風、潮流により漂流力を受けるため、係留索により設置された位置に留める必要がある。浮体の係留方法は、緩係留と緊張係留に分けられる。

緩係留は浮体の運動を拘束しない方法で、波による周期の短い浮体運動を抑えることは主たる目的にしていない。緩係留の代表的なものに、カタナリー係留が挙げられる。これは、係留チェーンの自重によって復元力を得る方式で、福島県沖のプロジェクトおよび、Hywind プロジェクトにおいて採用されている。

緊張係留は、鋼管や剛性の高い係留部材を用いて浮体を海底に設置した基礎に繋ぐ方法であるが、現時点でフルスケールでの実証はなされていない。

浮体式洋上風力発電に適用する係留システムでは、船舶用チェーンに比べて使用条件が厳しいため、より高い耐久性が求められる。福島県沖の浮体風車では、 $\phi 125\text{mm}$  スタッド付チェーンが使用されている。1つの鎖の重量は 250kg となっている。基本的にチェーンは太くするほど全体の長さを短くすることができるが、鎖が大きすぎると操作性が損なわれる。また、海洋構造物用のチェーンは一本鎖である必要があり、製造には高度な技術力およびライセンスが要求される。

チェーンの製造方法は次の通りである。まず、製鉄所で作られたチェーン丸棒を所定の長さに切断する。次に、材料を  $650\sim 750^{\circ}\text{C}$  に加熱し、環状に曲げる。さらに、通電時の電氣的な熱を使用して鉄を溶接するフラッシュバット溶接という方法により接合する。その上で、「バリ取り」と呼ばれる溶接部に突出した部分を削る作業を行う。最後に、鍛造品のスタッドを圧着し、整形する。



図 2.1-5 福島沖の浮体式洋上風力発電における係留チェーン

(出典) 福島洋上風力コンソーシアム

#### (4) 艀装品

艀装品は、浮体に取り付ける器具および物品のことである。具体的には、階段・手すり・タンク・鋼製扉、ハッチ、パイプ、梯子等多岐にわたる。ここでは、船舶・浮体特有の艀装品の例としてチェーンストッパとフェアリーダーについて記述する。

表 2.1-19 浮体の部品構成

構成要素	部品
艀装品	チェーンストッパ
	フェアリーダー
	その他

##### ①チェーンストッパ

チェーンストッパは、係留チェーンを根止めし、浮体本体に直結するための部品である。

##### ②フェアリーダー

フェアリーダーは、係留チェーンを導くための部品であり、突起型もしくは、ローラーによって構成される。三井造船製の 2MW 風車の浮体では、直径 4m、高さ 1m の円柱型で、総重量 20t のフェアリーダーが設置されている。

#### (5) アンカー

アンカーは浮体に取り付けられた係留索を海底に固定するための部品である。海洋の浮体構造物で使用されるアンカーは国際的なライセンスが必要であり、福島県沖のプロジェクトでは、浮体メーカーはいずれも欧州企業のアンカーを採用している。

シンカーは、アンカーと同じく係留索の先端に取り付けられる重量物で、係留索が絡まないようにアンカーを海底に沈めるための部品である。

表 2.1-20 浮体の部品構成

構成要素	部品
アンカー	アンカー
	シンカー



図 2.1-6 福島沖の浮体式洋上風力発電におけるアンカー  
(出典) 福島洋上風力コンソーシアム

## 2.2 風力発電機の国内サプライチェーン

### 2.2.1 風力発電機器の国内サプライチェーン

#### (1) 風力発電機の製造と部品調達

##### ①主要大型風力発電機メーカーと工場立地

国内で2MWクラスの風力発電機を製造できるのは三菱重工業、日立製作所、日本製鋼所の3社のみである。日立製作所は、これまで富士重工業の製造した風力発電機の販売代理店であったが、2013年に同社の風力発電部門を吸収合併し、自ら製造するようになった。これを受けて、富士重工業の宇都宮工場から撤退し、現在は日立工場で製造している。

表 2.2-1 大型風力発電機メーカーと工場立地

主要風力発電機メーカー (業種)	工場立地
三菱重工業 (重機メーカー)	横浜工場 (神奈川県) 長崎工場 (長崎県)
日立製作所 (重電メーカー)	日立工場 (茨城県)
日本製鋼所 (鉄鋼メーカー)	室蘭工場 (北海道)

#### (2) 部品調達方法概要

風力発電機メーカー各社は、主要部品の大半を外部から調達し組み立てているものの、一部の部品については自社で製造している。自ら製造している部品としては発電機やコンバータなどが挙げられる。また、細かな部品については、自ら調達する場合とEPC事業者が調達する場合がある。細かな部品の調達については、組み立て地(需要地)近辺で調達する可能性もある。

調達した部品を組み立てる場所は、工場あるいは需要地近傍が候補となるが、洋上風力発電機のように風力発電機が大型になるほど、組み立て後の輸送が困難になるため、需要地付近で組立ができる土地や建屋があることが望ましい。

#### (3) 外部調達する部品のサプライヤー選定条件

外部調達に際しては、精密さが求められる部品であるほど、認証が取得されているかどうかを判断基準にするケースがある。認証取得を基準とする理由は、技術力があることの裏づけになるためである。精密さが求められる部品(増速機、発電機、各種軸受等)は、先進国から調達する傾向にあり、特に軸受などは日本企業が強みを持つ。

また、鉄鋼品やブレード等の大型で重量のある部品は、輸送費と人件費や土地代等の兼ね合いで、どこから調達するかを考えることになるが、現状では日本で風力発電機を作る場合、中国や韓国が主要な調達先となっている。ブレードについてはこれら二国に加え、ベトナムからも調達されている。

なお、風力発電機の部品そのものではないが、一部の部材では熱処理加工という金属の強度を高めるための処理が必要となり、これは主として外注される。

## 2.2.2 主要部品の製造と部品調達

### (1) ブレード

#### ①主要ブレードメーカーと工場立地

大型風力発電機のブレードを日本国内で製造することができるのは、風力発電機メーカーのうち二社（日本製鋼所、三菱重工業）とジーエイチクラフトの計三社である。

ブレードメーカーは、ブレードと同じFRP製のハブカバーやナセルハウジングも製造可能であると推察される。

表 2.2-2 ブレードメーカーと工場立地

主要ブレードメーカー (業種)	工場立地
日本製鋼所 (鉄鋼メーカー)	室蘭工場（北海道）
三菱重工業 (重工メーカー)	横浜工場（神奈川県） 長崎工場（長崎県）
ジーエイチクラフト (重工メーカー)	御殿場工場（静岡県）

#### ②ブレード調達方法とサプライヤー選定条件

日立製作所が製造する風力発電機のブレードは中国製のものである。また、日本製鋼所は自社製のブレードを用いている。三菱重工業は、自社でブレードを製造可能だが、現在、単価を抑えるために中国製のブレードを採用している（ただし、海外の風力発電機メーカーは自社でブレードを生産しているケースも多い）。

ブレードの価格差が生じる主な要因は、人件費と土地代である。FRPを用いたブレード生産は労働集約的なので人件費の割合が高くなっており、これを抑えるためには海外の安価な労働力を必要とするケースも多い。また、2MWクラスのブレードで長さ35~45m、重さ6~8トン（いずれも一枚当たり）なので、製造には広大な土地が必要となり、土地代が安い地方や途上国での製造が望ましいとされる。

なお、FRPは化学品を使って製造する素材であるため、化学物質の規制が厳しい場所では新たに製造を開始するのは難しいと考えられる。

#### ③ブレード部品の調達方法

ブレードの主要部品であるFRPは、日本の化学メーカー・樹脂メーカーの得意分野である。ただし、日本メーカーが特に得意とするのはガラス繊維強化プラスチック（GFRP）ではなく炭素繊維強化プラスチック（CFRP）であり、より高級な素材である。この素材は、現在では、ブレードの桁に使われることが多いが、将来的には、ブレードの外側であるシェル部分に用いられるようになって見られている。GFRPや樹脂については特に、アジアのメーカーの台頭が目覚しく、CFRPについてもアジアのメーカーでの生産も始まっていることから、日本でコスト・品質優位に製造することは難しくなっている。

日本の主な炭素繊維メーカーと樹脂メーカーは次の表の通りである。

表 2.2-3 主な炭素繊維メーカーと工場立地

主要繊維メーカー (業種)	工場立地
三菱レイヨン (化学メーカー)	大竹事業所 (広島県)
東レ (化学メーカー)	石川工場 (石川県) 愛媛工場 (愛媛県)
東邦テナックス (化学メーカー)	三島事業所 (静岡県) 揖斐川事業所 (岐阜県)

表 2.2-4 主な樹脂メーカーと工場立地

主要樹脂メーカー (業種)	工場立地
東レ (化学メーカー)	石川工場 (石川県) 愛媛工場 (愛媛県)
東邦テナックス (化学メーカー)	三島事業所 (静岡県) 揖斐川事業所 (岐阜県)

## (2) 軸受 (ベアリング)

### ①軸受 (ベアリング) メーカーと工場立地

大型風車の部品には多くの軸受が使われており、それらは軸受メーカーにより供給されている。軸受はどの部位に使われるものかに拠って、一次部品になるものと二次部品になるものにわかれるため、軸受メーカーも一次部品メーカーと二次部品メーカーの両方の性格を持っている。

軸受メーカーは国内にジェイテクト、NTN、日本精工の大手三社があり、これらの企業は海外からも高い評価を受けている。

表 2.2-5 軸受メーカーと工場立地

主要軸受 (ベアリング) メーカー (業種)	工場立地
ジェイテクト (軸受メーカー)	国分工場 (大阪府)
NTN (軸受メーカー)	宝達志水工場 (石川県) 桑名工場 (三重県) 三重工場 (三重県)
日本精工 (軸受メーカー)	藤沢工場 (神奈川県)

### ②軸受調達方法とサプライヤー選定条件

一次部品としての軸受 (ベアリング) は、主軸ベアリング、ピッチ旋回ベアリング、ヨー旋回ベアリングなどである。これらは、風力発電機の中でも最も重要な、発電機能とローターやナセルの制御機能を担う軸受であるため、高品質と高い信頼性が求められる。このため、日本や欧米などの先進国の製品を用いることが基本である。

二次部品としての軸受（ベアリング）である増速機や発電機、減速機等に用いられる軸受についても同様であり、やはり日本や欧米などの先進国の製品を用いることが基本である。海外にも大手軸受メーカーが3社あり、日本の大手3社を加えた6社のシェアが非常に高いものとなっている。

### ③軸受部品の調達方法とサプライヤー選定条件

国内の軸受メーカーの部品や材料の海外調達率は非常に低く、高い品質を保持するために高品質の部品・材料を日本国内で調達している。また、部品だけでなく、金属の強度を高めるための熱処理加工も国内メーカーに外注している。

## (3) 歯車機械（増速機・減速機）

### ①主要歯車機械（増速機・減速機）メーカーと工場立地

現在の風力発電機の主流は、二次巻線型誘導発電機である。したがって、ローターの回転を、増速機を用いて増加する必要がある。また、ピッチ制御装置およびヨー駆動装置の電動式のものには減速機が含まれており、この減速機も歯車機械の一種であり、増速機と部品構成や仕組みに共通する部分がある。したがって、これらの機械は同じメーカーが製造可能な場合が多い。

日本の主要な歯車機械メーカーは現在3社程度であり、中でも石橋製作所は最も風力発電機向け増速機の実績が多い。

表 2.2-6 歯車機械メーカーと工場立地

主要増速機メーカー (業種)	工場立地
石橋製作所 (歯車メーカー)	直方工場 (福岡県)
住友重機械工業・セイサ (重機メーカー・歯車メーカー)	横須賀製造所 (神奈川県) ※現在製造停止中
三井三池製作所 (重機メーカー) [今後本格生産を目指す]	神奈川事業所 (神奈川県) 九州事業所 (福岡県)
コマツ (重機メーカー) [すでに事業を売却]	小松工場 (石川県)

### ②増速機調達方法とサプライヤー選定条件

石橋製作所は、国内企業で最も納入実績が多く、国内外の主要風車メーカーから声がかかる。GEも、一部、石橋製作所から増速機を調達している。増速機は基本的に精密さが要求される部品であるため、先進国のメーカーで実績を多く保有している会社に声がかかることが多い。減速機も同様に、先進国のメーカーで実績を多く有する会社に声がかかる。

### ③増速機部品の調達方法とサプライヤー選定条件

外部調達する主な部品は軸、軸受、ケーシング（鋳造品）である。増速機メーカーは規格への適合や大量生産への対応、コストなどを部品メーカーに要求しており、この要求についてく

ることができる部品メーカーが発注先となる。各部品は種類ごとに異なる会社が発注し、同じ部品を複数社に発注することは少ない。増速機用軸受は大きさ 30cm-50cm のものが複数種類、数十個必要であり、表面に特殊コーティングが必要とされる。

また、部材加工の一部も外注しているケースが多い。たとえば、熱処理加工業者であるオーネックスやネツレンなどへの外注などが挙げられる。主要金属製品の強度を上げるための熱処理加工を担っているのがこれらの企業である。

なお、増速機の主軸ディスク、潤滑システム内の清浄度フィルター、一部のベアリングは海外製が主流であるが、その他の部品は国内製が主流である。

#### (4) 発電機

##### ①主要発電機メーカーと工場立地

国内の主要な発電機メーカーは以下の通りである。

表 2.2-7 主要発電機メーカーと工場立地

主要発電機メーカー (業種)	工場立地
日立製作所 (重電メーカー)	日立工場 (茨城県)
三菱重工業 (重工メーカー)	長崎工場 (長崎県)
明電舎 (電機メーカー)	太田工場 (群馬県)
東芝三菱電機産業システム株式会社 (TMEIC) (電機メーカー)	府中事業所 (東京都) 京浜工場 (神奈川県) 長崎事業所 (長崎県) など
安川電機 (電機メーカー)	行橋事業所 (福岡県)

##### ②発電機調達方法とサプライヤー選定条件

信頼性を要する部品のため、日本・欧米や韓国などの先進国で製造する。ただし、一部の欧米メーカーは中国にも拠点や現地法人を持ち始めており、その場合、中国からの調達でも一定の品質が保証されていると捉える風力発電機メーカーもあり、競争環境は激化している。

##### ③発電機部品の調達方法とサプライヤー選定条件

発電機部品は、発電機メーカーが鋼材を購入し自社で加工するケースと、完成した部品を外注先から購入するケースがある。某発電機メーカーでは、70%程度の部品を外注先から調達している。風力用発電機専業ではない発電機メーカーの場合、外注先の選定については、過去に自社の他製品で取引があったところが優先される傾向にある。風力発電機の市場が活況ではない現状では、風力発電機用部品のために新たに取引先を探すのはコストが大きい。コスト低減の方向に動いていることは確かなので、市場の拡大が見え始めれば、一定の品質を満たした企業は、コストと納期の対応能力によって新たに取引をする余地があると思われる。

具体的な部品の調達状況としては、たとえば、発電機用軸受は大きさ 50cm 程度のものが 2



個必要であり、いずれも高い精度が求められる。さらに、絶縁するためにセラミックコーティングされている場合も多い。これらの軸受も主軸受同様に日本を含む先進国の大手 6 社から調達される場合が多い。

## (5) 電気機器

### ①主要電気機器メーカーと工場の立地

コンバーター、インバーター、スイッチギア、変圧器などの電気機器の主要国内メーカーは以下の通りである。会社によって扱っている製品が異なることに留意が必要である。工場は様々な場所に立地しており、必ずしも風力発電機メーカーの近傍には立地しているわけではない。

表 2.2-8 主要な電気機器メーカーと工場立地

主要電気機器メーカー (風車関連の主要製品)	工場立地
日立製作所 (コンバーター、インバーター)	日立工場 (茨城県)
明電舎 (コンバーター、インバーター等)	太田工場 (群馬県)
TMEIC (周波数変換装置、無効電力保証装置)	府中事業所 (東京都)、京浜工場 (神奈川県)、長崎事業所 (長崎県) など
安川電機 (コンバーター)	行橋事業所 (福岡県)
富士電機 (スイッチギア、変圧器等)	神戸工場 (兵庫県) 千葉工場 (千葉県) など
利昌工業 (変圧器のみ) (スイッチギア、変圧器等)	尼崎工場 (兵庫県) 滋賀工場 (滋賀県)

### ②電気機器調達方法とサプライヤー選定条件

これらの電気機器は、いずれも精密さと信頼性を要する機器のため、日本・欧米や韓国などの先進国で製造されたものを用いることが多い。ただし、一部の欧米メーカーは中国にも拠点や現地法人を持ち始めており、その場合、中国からの調達でも一定の品質が保証されていると捉える風力発電機メーカーもあり、競争環境は激化している。

## (6) 機械装置・油圧装置

ピッチ制御装置やヨー駆動装置、ディスクブレーキなどを作る、機械装置・油圧装置メーカーのうち主要な企業を以下に示す。それぞれの企業に得意な製品・部品があり、ピッチ制御装置、ヨー駆動装置、ディスクブレーキのすべてを製造できる企業はあまり見られない。風力発電機のタイプによって必要となる部品が異なるのもこの装置に関する特徴である。

表 2.2-9 主要な機械装置・油圧装置メーカーと工場立地

主要機械装置メーカー (風車関連の主要製品)	工場立地
ナブテスコ (機械装置・油圧装置等)	垂井工場 (岐阜県) 津工場 (三重県) 等
豊興工業 (油圧装置)	岡崎工場 (愛知県)
日本ロバロ (旋回輪)	羽咋工場 (石川県)
曙ブレーキ (ブレーキ)	山形県、福島県、埼玉県、岡山県に事業所 (子会社) を保有
日本ムーグ (ピッチ制御装置 (電機式・油圧式))	平塚工場 (神奈川県)

素材、鍛造、歯車工作技術、熱処理など様々な技術に長けた企業が、二次部品メーカーとして上記のメーカーから発注を受ける。また軸受メーカーも二次部品メーカーとなる。

#### (7) 鉄鋼・鋳物

風力発電機の多くの大型部品は鉄鋼、鋳造品である。鉄鋼の成型加工品として、ナセル台板 (後部)、タワー、アンカー、主軸が挙げられる。また、主な鋳造品としてローターヘッド、ナセル台板 (前部) が挙げられる。各部品は求められる強度や性質によって様々な合金鋼を材料としている。

また、増速機や発電機などの部品の二次部品も鉄鋼・鋳物である場合が多いため、鉄鋼・鋳物メーカーは二次部品メーカーとしての役割も果たす。以下に、国内の主な鉄鋼・鋳物メーカーを示す。

表 2.2-10 主な鉄鋼・鋳物メーカーと工場立地

主要鉄鋼・鋳物メーカー (業種)	工場立地
日本製鋼所 (鉄鋼メーカー)	室蘭工場 (北海道) 等
日本鋳造 (鋳物メーカー)	川崎工場 (神奈川県) 秋田工場 (秋田県) 等

現在、コスト競争力が低下しているため、国内鋳物メーカーは減ってきている。したがって、海外、特に中国や韓国からの輸入による調達が多い。しかし、輸送費との兼ね合いによっては国内での製造可能性もゼロではないと風力発電機メーカーは考えている。

以上より、風力発電機のサプライチェーンの整理図を次ページに示す。



図 2.2-1 風力発電機のサプライチェーン

## 2.2.3 浮体の国内サプライチェーン

現在、浮体式風力発電は世界的に見ても実証段階にあり、浮体の量産化は行われていない。前述のとおり、浮体は船舶と同様に、鉄板を加工して作ったブロックの組み合わせにより製造される。国内の浮体メーカーは、基本的にブロックの製造から組立は自社内で行い、艀装品のみ外注を行っている。

### (1) 浮体の製造と組立

現在国内で浮体を製造しているメーカーは4社程度存在しているが、いずれも実証段階のため、量産化は行われていない。また、各社浮体の方式や製造方法は異なる。

福島県沖のプロジェクトで2MWの浮体風車を担当した三井造船の浮体は、同社の市原造船所のドックで製造を行っている。艀装品以外は基本的に外注を行わず、市原造船所において、鋼材の加工・組立を行っている。鋼材は日本海事協会の認証を受けた会社の材料を使用しており、本浮体については新日鐵住金から調達している。なお、艀装品については、多くを外注しており、日本海事協会の認証を受けた製品を使用している。外注先としては、国内外の企業があり、フェアリーダーやアンカー、チェーンストッパ等の特殊な技術や設備が必要な艀装品については、東南アジアから調達をしている。

同じプロジェクトで7MW風車の浮体を製造した三菱重工業は、同社の長崎造船所のドックにて製造を行っている。この浮体は、V字型の1辺が106m(くの字に置いた時の幅は80m弱)、コラムの高さが86mであるため、製造可能なドックは、幅100m、長さ1kmの長崎のドックに限定される(同程度の規模のドックは日本では全部で3つしか存在しない)。三菱重工業も三井造船と同様に、鋼板の加工・組立は基本的に自社(長崎工場)で行っており、風車タワーと浮体の連結部(円状の部材)のみ同社の神戸工場で行っている。この連結部の部材は、厚さ80mmの板を直径9.7mの真円に曲げる必要があり、技術的に可能な工場が国内外ともに非常に少ないのが現状である。因みに、これよりも小さいサイズであれば、中国と韓国において製造可能な工場が多数存在する。

表 2.2-11 浮体製造メーカー

浮体メーカー	工場立地
三井造船	市原事業所(千葉県)
三菱重工業	長崎造船所(長崎県)
ジャパンマリンユナイテッド	磯子工場(神奈川県)等
日立造船	堺工場(大阪府)等

## (2) 量産化を見据えた場合の浮体サプライチェーン

将来的に、浮体風車が量産された場合、鉄板の加工およびブロックの製造は外注される可能性がある。ブロックの最小単位でも一辺が5メートル程度あるため、曳航費用等を考慮した場合、製造場所は浮体風車の建設場所付近が望ましい。

### ①浮体の製造と組立

#### 1) 組立場所

浮体を構成する部品（ブロック）の組立を行う浮体メーカーは、量産化に際し、風車需要地の付近に拠点を設けることが望ましい。風車の組立場所が設置地点から離れていると、数億円～数十億円の曳航費用が発生するためである（曳航距離によって大きく異なる）。

#### 2) 浮体の構造

浮体を量産化する際、浮体の構造についても製造を簡易化する工夫が必要となる。例えば、鋼材の「曲げ」が必要な部品の場合、技術的かつ設備的に対応できる鉄工所が限定されるため、可能な限り鋼材を曲げずに製造可能な形状で設計することが必要となる。また、重量が大きく複雑な形状にすると、規模の大きな造船所の中でしか製造できないため、量産化が困難になることにも留意する必要がある。

#### 3) 組立方法

浮体の最終組立は、現在のような造船所のドックではなく、需要地近くの平地を利用し、クレーンなどを用いて行うことが望ましい。造船所のドックを使用して浮体製造を行う場合、次の3つのデメリットが存在する。まず、製造が大型のドックを有する大企業に限られるため、製造コストが割高になる。次に、ドックサイズ等の面から、製造場所に制約が発生する。最後に、一定規模以上のドックが存在する場所から需要地までの曳航費用が必要となる。

以上のことから、浮体の組立は需要地付近の平地を利用すべきであるが、必要な広さや各部品や装置の配置図については、浮体メーカーの中では現時点では検討段階にある。なお、平地での組立の場合、超大型のクレーンやジャッキアップ装置などの機材の調達が課題となる。

### ②主要な外注部品

浮体式洋上風車の需要地付近で浮体メーカーが最終組立を行う場合、周辺地域の鉄工所において鋼材からブロックを製造し、集積する仕組みが、現地の風車産業の活性化のために重要である。ただし、このような地元での浮体製造において、鉄工所の処理能力や技術（組立精度）は異なるため、安定的な供給体制や品質の維持が課題となる。また、鋼材や艀装品については現状のサプライチェーン同様に外注が必要である。