

チューニングによる大学教育のグローバル質保証  
ーテスト問題バンクの取組ー

## 記述式問題

(風力発電)

問題用紙



### 記述式問題 例題：風力発電

風力発電は、風車を使用して風の運動エネルギーを電気エネルギーに変換する発電方式であって、環境負荷が小さく、発電コストが比較的低いなどの長所がある反面で、風速変動に伴う出力変動、強風や落雷などによる破損可能性などの短所もある。

図1は、北海道天塩郡幌延町にあるオトシルイ風力発電所の概観である。この発電所は2003年から本格稼働しており、風車1基当たり750 kW、全28基で21,000 kWの出力を有する集合型風力発電所（多数の風車を1カ所に集約設置した発電所。ウィンドファーム。）である。風車の直径は50.5 m、支柱高さは74 mである。



図1 集合型風力発電所の例

提供：幌延町（オトシルイ風力発電所）

このような集合型風力発電所について、その基本構成要素である風車の構造と性能、発電所の設置条件、事故対策などについて考察する。以下の問題に対して、機械工学を中心とする工学的観点から解答せよ。特に、論述問題においては、論理的な文章表現をもって解答せよ。

問1. 図2は、風車の回転軸が風向と平行な水平軸型風車の代表例であり、(a)は風力発電に多く用いられているプロペラ型、(b)は伝統的なオランダ型である。



(a) 風力発電用風車（プロペラ型）



(b) 伝統的風車（オランダ型）

図2 水平軸型風車の例

出所：(a)『2000ピクセル以上のフリー写真素材集』(<http://sozai-free.com/sozai/01541.html>)

(b) Martijn Roos. [www.mroosfotografie.nl](http://www.mroosfotografie.nl) (<http://free-photos.gatag.net/2014/11/07/040000.html>)

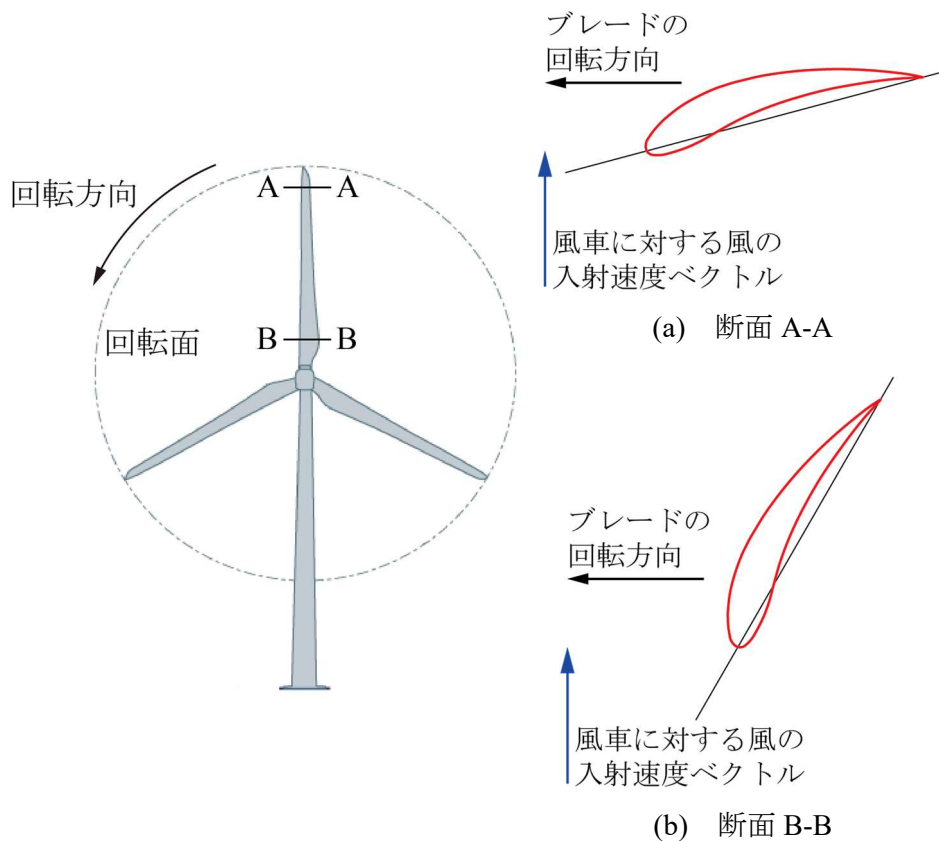
両者のブレード（羽根）には、それらの動作原理と関係した違いがある。風が作用したブレードには揚力と抗力が発生するが、風力発電用風車は揚力を利用して回転トルクを発生させる揚力型であるのに対し、伝統的風車は抗力を利用して回転トルクを発生させる抗力型である。このことを踏まえて、風力発電用風車の「ブレード」に関する次の(1)～(3)の問題に答えよ。

- (1) 風力発電用風車のブレードはガラス繊維強化プラスチック製の中空構造（内部補強リブ付き）であるのに対し、伝統的風車のブレードは木製の骨組みに布を張った構造である。また、風力発電用風車は、伝統的風車に比べてブレードが細長く、先細である。風力発電用風車について伝統的風車と対比して推察し、回転軸まわりの慣性モーメントの違いおよびそれに伴う回転性能の特徴と利点を100～200字で説明せよ。
- (2) 風力発電用風車のブレードは、図3に示すように飛行機の翼と同様の断面形状（翼型）を有している。解答欄に図3のような一般的な二次元翼型を描いた上で、その周囲の空気の流線および発生する揚力と抗力を矢印を用いて簡単に図示せよ。



図3 二次元翼型

- (3) 風力発電用風車のブレードは、根元から先端に向かってねじれている。すなわち、図 4 に示す先端付近の断面 A-A と根元付近の断面 B-B のそれぞれでは、図 5 に示すような違いがある。



解答欄に図 5 のような断面 A-A と断面 B-B の翼型を描き、ブレードに入射する空気の速度ベクトルを図示した上で、ブレードがねじれている理由を 100～200 字で説明せよ。ただし、次の条件の下で考えよ。

- ・ 一定速度の風が風車の回転面に垂直に入射し、風車が定常回転している。
- ・ 両断面の断面形状と寸法は同一であって、方向だけが異なる。

また、次のことを考慮せよ。

- ・ ブレードと空気との相対速度は、風車の回転の影響を受ける。
- ・ 揚抗比は、迎角がある適切な値のときに最大となる。なお、揚抗比とは、抗力に対する揚力の大きさの比であり、迎角とは、図 3 に示したように、翼の前縁と後縁を結ぶ直線に対する空気の入射角である。

問2. 風車の「ブレードの枚数」に関する次の(1)と(2)の問題に答えよ。

- (1) 大型の風力発電用風車のブレードは、2枚または3枚であることが多い。その理由を、小型の場合と対比し、ブレードの強度と破損リスクの観点から推察して、100～200字で説明せよ。
- (2) 図6は、各種の風車のパワー係数と周速比の関係を示している。ここで、パワー係数とは、単位時間あたりに入射する風の運動エネルギーのうち風車によって取り出せるエネルギーの割合であり、風車の効率を表す。また、周速比とは、風車に入射する風速に対するブレード先端の周速の比である。

さて、風力発電用風車の設計にあたって、まず基準とする風速、回転数、回転半径（ブレードの長さ）の条件を設定したところ、周速比が約7.2となった。この周速比におけるパワー係数は、ブレードの枚数が2枚でも3枚でもほぼ同一である。ブレードの枚数として2枚または3枚のいずれか一方を選び、その理由を100～200字で説明せよ。ただし、理由の説明に際して、ブレードの強度と破損リスクの観点は除外せよ。

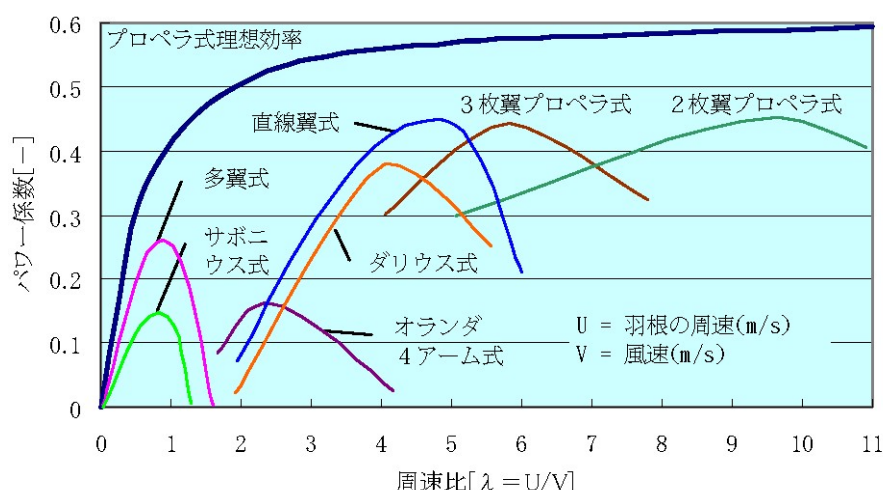


図6 各種の風車のパワー係数

出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー対策推進部，  
風力発電導入ガイドブック（2008年2月改訂第9版）

## Tuning テスト問題バンク：機械工学

---

問3. 図1に示した風力発電所は、複数の条件を満たす場所に設置されている。次の(1)~(3)のそれぞれの設置条件について、条件を満たすことによって実現されるメリットとその理由を50字程度で説明せよ。

- (1) 海岸沿いであって、周囲に風を遮るものがない地形である。
- (2) 十分に広いスペースがあって、複数の風車が設置できる。
- (3) 風車の周囲に他の公共施設や民家がない。

問4. 風力発電用風車にとって致命的な事故である「支柱の倒壊」に関する次の(1)～(3)の問題に答えよ。

- (1) 支柱の倒壊には、多様な原因とシナリオが考えられる。ここでは、いずれか1枚のブレードに軽微な変形や僅かな欠損が生じて風車に不釣合いが生じた結果、支柱に過大な負荷が作用して倒壊に至ることを考える。このような支柱の倒壊を防止するためには、ブレードの不具合を早期に検出して、対策を講じることが有効である。ブレードの不具合を検出するために有効な方法を1つ提案せよ。ただし、着目する物理量とその測定手段を必ず説明せよ。
- (2) 設計時に想定した最大風速よりもさらに大きな風速を想定する必要がある新たに判明し、それによって既設風車の支柱が倒壊する危険性が高いと判断したとき、倒壊を防止する上で技術的に有効な対策を1つ提案し、その理由を説明せよ。ただし、支柱やその基礎の補強は除くとともに、それと比較して提案した対策を導入する際に想定される課題を述べよ。
- (3) 風車の完成後に設計、製造、施工などの不備が発覚したとき、技術者担当者として取るべき行動を三つ挙げ、そのように考える理由を説明せよ。

おわり