

風力発電

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://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。

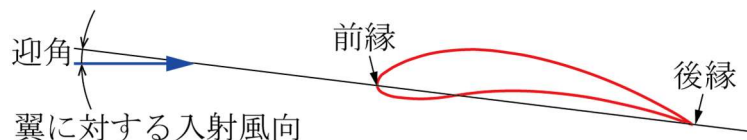


図 3 二次元翼型

- (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。

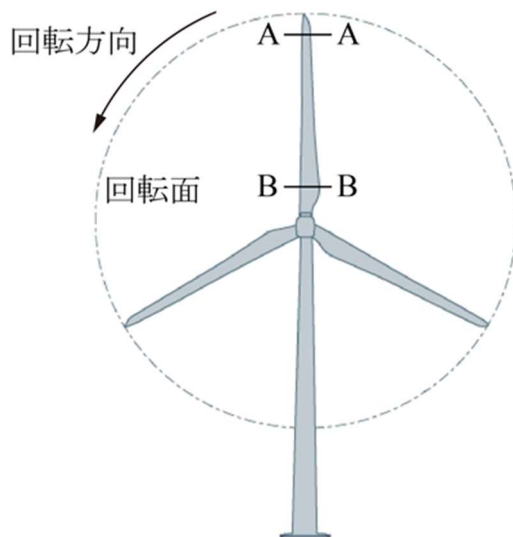
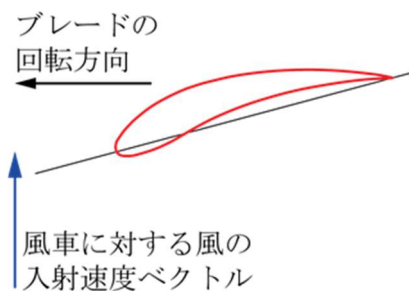
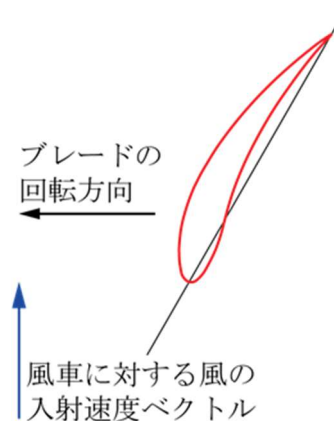


図4 プロペラ型風車の概略図



(a) 断面 A-A



(b) 断面 B-B

図5 ブレードのねじれ

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流れ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。

測定する学習成果：

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

背景にあるコンピテンス：

- ◆ ①EGS2
- ◆ ②BES2
- ◆ ④EA2

教育内容の区分：

難易度：

(1) 解答例

風力発電用風車のブレードは、伝統的風車のブレードに比べて細長い形状である上に材質の面からも軽量で、さらに先細であるため先端ほど軽量であると推察できる。また、風力発電用風車の方がブレードの枚数が少ない。これらの理由から、風力発電用風車は、伝統的風車に比べて回転軸まわりの慣性モーメントが小さいという特徴がある。したがって、回転速度（角速度）の変化、延いては風速の変化に追従し易いという利点がある。（197字）

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- ・ 文字数が概ね 100～200 字に収まっている。
- ・ 全体的に論理的な説明がなされている。

④ (EA2)

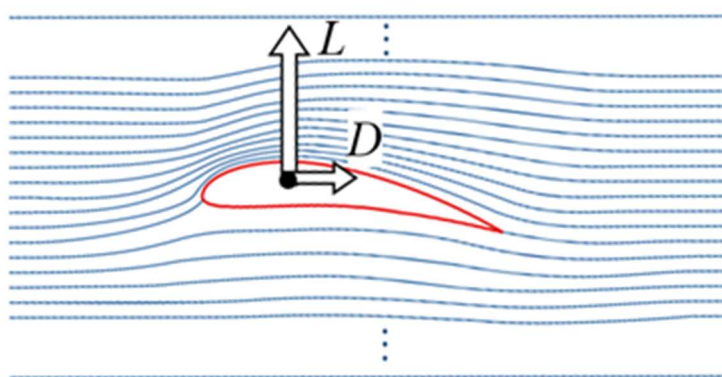
- ・ 伝統的風車に比べて風力発電用風車の方が、回転軸まわりの慣性モーメントが小さいことを述べている。
- ・ 慣性モーメントが小さい理由（ブレードの形状が細長いこと、中空であること、先細であること、枚数が少ないこと、材質が軽いと思われることなど）を述べている。
- ・ 慣性モーメントが小さければ、回転速度や風速の変化に追従し易いという利点（あるいはその他の妥当な利点）を述べている。

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。（別紙）

問 1(1)	観点	(0点)	レベル0 (0点)	レベル1 (1点)	レベル2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	文字数が概ね 100～200 字に収まっている。 全体的に論理的な説明がなされている。					
④ EA2	伝統的風車に比べて風力発電用風車の方が、回転軸まわりの慣					

性モーメントが小さいことを述べている。
 慣性モーメントが小さい理由（ブレードの形状が細長いこと、中空であること、先細であること、枚数が少ないこと、材質が軽いと思われることなど）を述べている。
 慣性モーメントが小さければ、回転速度や風速の変化に追従し易いという利点（あるいはその他の妥当な利点）を述べている。

(2) 解答例



L : 揚力, D : 抗力

出所：富田幸雄，水力学—流れ現象の基礎と構造—，実教出版（1982）

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- ・ 問題に与えた図（翼型と入射風向）を正しく描いている。

② (BES2)

- ・ 抗力を概ね正しく描いている。抗力の方向が入射風向と一致している。
- ・ 揚力を概ね正しく描いている。揚力の方向が入射風向に垂直である。
- ・ 流線を概ね正しく描いている。流線の間隔が，揚力の正の側で密，負の側で粗になっている。

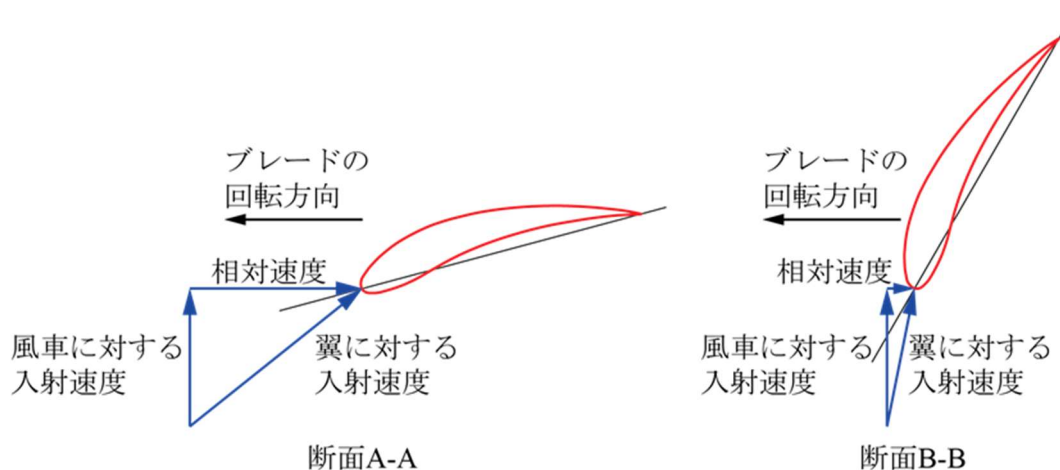
Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。（別紙）

問 1(2)	観点	(0点)	レベル0 (0点)	レベル1 (1点)	レベル2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	問題に与えた図（翼型と入射風向）を正しく描いている。					
② BES2	抗力を概ね正しく描いている。 抗力の方向が入射風向と一致している。 揚力を概ね正しく描いている。 揚力の方向が入射風向に垂直である。 流線を概ね正しく描いている。 流線の間隔が、揚力の正の側で密、負の側で粗になっている。					

(3) 解答例



回転によって生じるブレードと空気の相対速度は、回転半径に比例して大きくなる。そのため、ブレードに入射する空気の色度は、根元から先端に向かうにつれて図に示すように変化する。風の運動エネルギーを風車の回転エネルギーに効率よく変換するためには、ブレードのどの位置においても揚抗比ができるだけ大きくなるように迎角を適切に調整する必要がある。そこで、図に示すようにブレードの方向を回転させる。（191字）

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- ・ 問題に与えた図（翼型とそれぞれの方向）を正しく描いている。
- ・ 文字数が概ね 100～200 字に収まっている。
- ・ 全体的に論理的な説明がなされている。

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

④ (EA2)

- ・ 翼に対する空気の入射速度ベクトルが正しく描けている。
- ・ ブレードの回転による相対速度が、回転半径に比例して大きくなることを述べている。
- ・ 風車への入射速度とブレードの回転による相対速度の両者を考慮して、ブレードへの入射方向が、それぞれの断面で異なることを述べている。
- ・ 入射方向が異なるため、それに合わせて揚抗比が大きくなるようにブレードの迎角を適切に変える必要があることを述べている。

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。（別紙）

問 1(3)	観点	(0点)	レベル 0 (0点)	レベル 1 (1点)	レベル 2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多い。	要求事項を満たしているものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	問題に与えた図（翼型とそれぞれの方向）を正しく描いている。 文字数が概ね 100～200 字に収まっている。 全体的に論理的な説明がなされている。					
④ EA2	翼に対する空気の入射速度ベクトルが正しく描けている。 ブレードの回転による相対速度が、回転半径に比例して大きくなることを述べている。 風車への入射速度とブレードの回転による相対速度の両者を考慮して、ブレードへの入射方向が、それぞれの断面で異なることを述べている。 入射方向が異なるため、それに合わせて揚抗比が大きくなるようにブレードの迎角を適切に変える必要があることを述べている。					

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。

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

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。

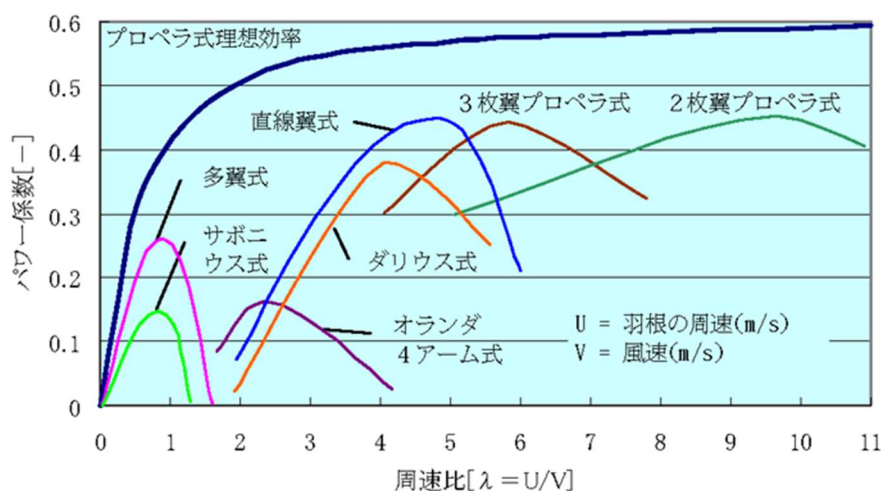


図6 各種の風車のパワー係数

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）

測定する学習成果：

背景にあるコンピテンス：

- ◆ ①EGS2
- ◆ ④EA2
- ◆ ⑤ED1

教育内容の区分：

難易度：

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

(1) 解答例

大型風車はブレードの寸法が大きいため、重力や風力に対するブレードの強度の確保が小型風車に比べて難しく、破損リスクも高くなる。また、ブレードの枚数を少なくすれば、ブレードの破損による風車の不具合発生の確率が低減できる。ただし、ブレードが1枚の場合は、風車の回転体としての釣合いが顕著に低下する。以上の理由により、ブレードの枚数は2枚または3枚がよい。(175字)

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- ・ 文字数が概ね100～200字に収まっている。
- ・ 全体的に論理的な説明がなされている。

④ (EA2)

- ・ ブレードの寸法が大きいため、重量や風力に対する強度の確保が難しくなり、破損リスクが高くなることを述べている。
- ・ ブレードの枚数が少なければ、ブレードの破損による風車の不具合発生の確率が低減できることを述べている。
- ・ ブレードの枚数が1枚の場合のデメリット（釣合いの低下でなくても妥当な内容であればよい）を述べている。

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。(別紙)

問2(1)	観点	(0点)	レベル0 (0点)	レベル1 (1点)	レベル2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	文字数が概ね100～200字に収まっている。 全体的に論理的な説明がなされている。					
④ EA2	ブレードの寸法が大きいため、重量や風力に対する強度の確保が難しくなり、破損リスクが高くなることを述べている。 ブレードの枚数が少なければ、ブレードの破損による風車の不具合発生の確率が低減できることを述べている。 ブレードの枚数が1枚の場合のデメリット（釣合いの低下でなくても妥当な内容であればよい）を述べている。					

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

(2) 解答例

例1：図6に示されているように、周速比が約7.2のとき、ブレードの枚数が2枚でも3枚でもパワー係数はほぼ同じである。風車の製作，設置，維持管理に要するコストを考慮すれば，ブレードの枚数は少ない方が望ましい。よって，2枚とするのがよい。(114字)

例2：図6に示されているように，周速比が約7.2のとき，ブレードの枚数が2枚でも3枚でもパワー係数はほぼ同じである。風車の回転運動の安定性を考慮すれば，ブレードの枚数が多い方が回転面内の質量分布がより均等になるので望ましい。よって，3枚とするのがよい。(123字)

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- ・ 文字数が概ね100～200字に収まっている。
- ・ 全体的に論理的な説明がなされている。

⑤ (ED1)

- ・ 周速比が7.2のとき，ブレードの枚数が2枚でも3枚でもパワー係数はほぼ同じであることを指摘している。
- ・ 適切な理由を述べた上で，2枚または3枚のいずれかに決定している。○の場合は2枚，△の場合は3枚のように，両方の場合を述べていてもよい。

学生の解答について，該当する項目にチェックをしてください。(別紙)

問2(2)	観点	(0点)	レベル0 (0点)	レベル1 (1点)	レベル2 (2点)	備考
		無回答であるか，解答意欲が認められない。	解答しているものの，要求事項を満たしていない部分が多く，合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの，合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており，優秀といえるレベルである。	
① EGS2	文字数が概ね100～200字に収まっている。 全体的に論理的な説明がなされている。					
⑤ ED1	周速比が7.2のとき，ブレードの枚数が2枚でも3枚でもパワー係数はほぼ同じであることを指摘している。 適切な理由を述べた上で，2枚または3枚のいずれかに決定している。○の場合は2枚，△の場合は3枚のように，両方の場合を述べていてもよい。					

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

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。

測定する学習成果：

背景にあるコンピテンス：

- ◆ ①EGS2
- ◆ ⑥EP1-3
- ◆ ⑧EP7

教育内容の区分：

難易度：

(1) 解答例

昼は海風、夜は陸風として安定な風向と風速が期待できるため、それに合わせて風車を設計することによって高効率で運用できる。(59字)

測定するコンピテンスと採点ポイント

- ① (EGS2)
 - ・ 50字程度で記述され、メリットと理由が整合している。
- ⑥ (EP1-3)
 - ・ メリットが明確に挙げられている。
 - ・ 理由が明確に説明されている。

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。(別紙)

問3(1)	観点	(0点)	レベル0	レベル1	レベル2	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルである。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

			えるレベルでない。		
① EGS2	50字程度で記述され、メリットと理由が整合している。				
⑥ EP1-3	メリットが明確に挙げられている。 理由が明確に説明されている。				

(2) 解答例

例 1：多数の風車を集約的に設置することができるため、風車および周辺設備の設置と維持管理にかかるコストが低減できる。(54字)

例 2：全ての風車に入射する風の条件が同じと考えられるため、同一設計の風車が使用できる。(40字)

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- ・ 50字程度で記述され、メリットと理由が整合している。

⑥ (EP1-3)

- ・ メリットが明確に挙げられている。
- ・ 理由が明確に説明されている。

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。(別紙)

問 3(2)	観点	(0点)	レベル 0 (0点)	レベル 1 (1点)	レベル 2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	50字程度で記述され、メリットと理由が整合している。					
⑥ EP1-3	メリットが明確に挙げられている。 理由が明確に説明されている。					

(3) 解答例

万一の風車の倒壊事故の際にも周囲に被害を及ぼす可能性がないため、安全性が確保でき、被害の補償の必要もない。(53字)

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- ・ 50字程度で記述され、メリットと理由が整合している。

⑧ (EP7)

- ・ メリットが明確に挙げられている。
- ・ 理由が明確に説明されている。

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。（別紙）

問 3(3)	観点	(0点)	レベル0 (0点)	レベル1 (1点)	レベル2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	50字程度で記述され、メリットと理由が整合している。					
⑧ EP7	メリットが明確に挙げられている。 理由が明確に説明されている。					

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り合いが生じた結果、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適切と思われる方法を一つ提案せよ。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可能な対策を一つ提案し、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。

測定する学習成果：

背景にあるコンピテンス：

- ◆ ①EGS2
- ◆ ③EA1
- ◆ ⑥EP1-3

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

◆ ⑦EP6

教育内容の区分：

難易度：

(1) 解答例

例 1：繊維強化プラスチック製のブレードに導線を埋め込んでおき、導線の抵抗を測定することによって、ブレードの不具合の兆候を検出する。測定には抵抗計を用い、導線の抵抗値の変化を計測する。

例 2：支柱に作用する曲げモーメントは風車の回転とともに周期的に変動するが、わずかな不釣合いが生じればその周期変動パターンに変化が生じ、それによって支柱に作用する曲げモーメントも変化すると考えられる。そこで、ひずみゲージを用いて支柱に生じるひずみを測定することによって、支柱に作用する曲げモーメントの変化を通じてブレードの不具合を計測する。

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- ・ 全体が論理的にわかり易く説明されている。

③ (EA1)

- ・ 測定する物理量と測定手段を明記している。
- ・ 提案した方法が概ね現実的である（実現不可能ではない）。

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。（別紙）

問 4(1)	観点	(0点)	レベル0 (0点)	レベル1 (1点)	レベル2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	全体が論理的にわかり易く説明されている。					
③ EA1	測定する物理量と測定手段を明記している。 提案した方法が概ね現実的である（実現不可能ではない）。					

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

(2) 解答例

最大風速に応じてブレードを小さいものに交換すれば、ブレードが軽量になるとともに風車全体に作用する風の抵抗が小さくなるので、支柱に作用する力も小さくなって、倒壊の危険性が低くなる。ただし、ブレード交換は支柱の補強と比べて大掛かりな作業を要し、コストが高いと推察される。

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- 全体が論理的にわかり易く説明されている。

⑥ (EP1-3)

- 提案した対策が概ね適切である（実現不可能ではない）。
- 支柱や基礎の補強と比較して、提案方法の課題を指摘している。

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。（別紙）

問 4(2)	観点	(0点)	レベル0 (0点)	レベル1 (1点)	レベル2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	全体が論理的にわかり易く説明されている。					
⑥ EP1-3	提案した対策が概ね適切である（実現不可能ではない）。支柱や基礎の補強と比較して、提案方法の課題を指摘している。					

(3) 解答例

まず初めに、発覚した不備の「リスク評価」を行う。これは、不備による風車の倒壊などの致命的な事故の発生を未然に防止するためであり、リスクが高いと評価された場合は「緊急対策」が必要となる。次に、不備の「原因究明」を行う。これは、その後に適切な対策を行うためであり、原因は正確に把握する必要がある。続いて、究明された原因を踏まえて、「対策の計画」を行う。対策には複数の方法が考えられるので、それらの得失を的確に評価して、慎重に計画する必要がある。

この例では、「リスク評価」、「緊急対策」、「原因究明」、「対策の計画」の四つの行動を挙げている。

測定するコンピテンスと採点ポイント

① (EGS2)

- 全体が論理的にわかり易く説明されている。

⑦ (EP6)

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

- ・ 技術者としてあるべき三つの行動が挙げられている。技術者としてあるべき解答であれば、内容は問わない。

学生の解答について、該当する項目にチェックをしてください。（別紙）

問 4(3)	観点	(0点)	レベル0 (0点)	レベル1 (1点)	レベル2 (2点)	備考
		無回答であるか、解答意欲が認められない。	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。	
① EGS2	全体が論理的にわかり易く説明されている。					
⑦ EP6	技術者としてあるべき三つの行動が挙げられている。技術者としてあるべき解答であれば、内容は問わない。					