

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

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持つ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り、小規模発電設備としては発電費用が低いことに加えて、単位発電量当たりの CO2 排出量が少ないことから、近年地球温暖化対策の一方法として注目されている。

図 1 は、1997 年から 2014 年までの世界の風力発電量の推移を示している。この図によれば、この 17 年間に風力発電量は毎年 10%以上の増加率を示し、合計で 50 倍以上に増加したことが分かる。風力発電の総合的な費用対効果を向上させるためには、設置条件、構造・機構、事故対策などの様々な観点から風車を改良することが有効である。

以下に示す風力発電用の「風車」に注目した問題について、機械工学の観点から考察して回答せよ。

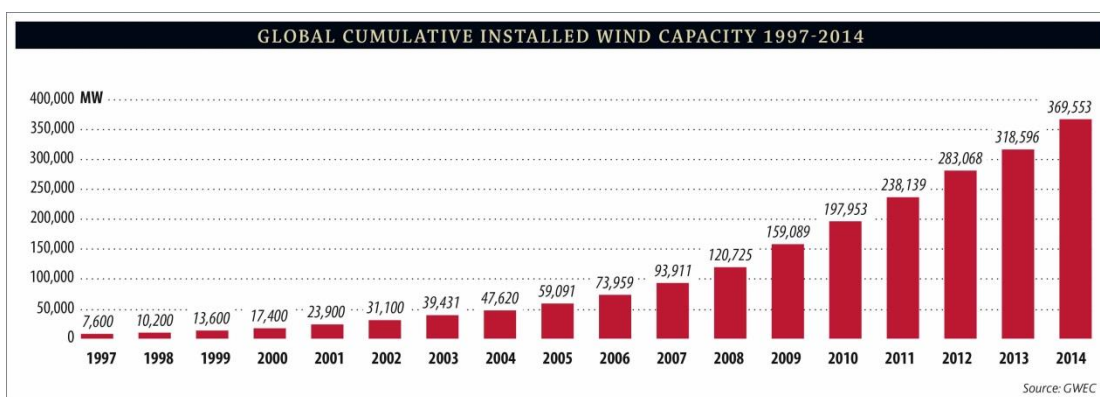


図 1 世界の風力発電量の推移

出所：The Global Wind Energy Council, Global Wind Statistics 2014.

http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/3_global_cumulative_installed_wind_capacity_1997-2014.jpg

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

問1. 風力発電用風車の「設置条件」について考察せよ。

図2は、風力発電用風車の設置例を示している。この設置場所が風力発電に適していると考えられる要因を2つ挙げ、それぞれの理由を説明せよ。



図2：発電用風車の設置例

提供：幌延町（オトンルイ風力発電所）

測定する学習成果：風車の「設置条件」を説明することを通じて、機械工学の基本的な知識を応用して機械の機能や効率などを分析・考察する能力を調べる。

背景にあるコンピテンス：

- ◆ BES2：専攻する工学分野の重要事項や概念に関する系統的理解
- ◆ EA2：工学の成果，過程，方法を分析したりするために、知識と理解を応用する能力
- ◆ EA6：機械工学に係る物質・エネルギー収支とシステムの効率について分析する能力

難易度：易しい

採点のポイント：以下の(a)～(c)あるいはそれらと同等な2つの要因を挙げ、それぞれについて適切に説明できている。

- (a) 図は海岸線に沿った平地であって、風車の周囲に風を遮るものがない。
- ◆ 風を最大限に風車に作用させることができるので、風力エネルギーを無駄なく有効に利用できる。
 - ◆ 風車に作用する風の流れに乱れが生じにくいので、風車を安定に回転させることができる。
- (b) 多数の風車を集約的に設置することができる。
- ◆ すべての風車における風の条件が同一であるとみなせるので、同一設計の風車が多数設置できることから、風車そのものの設計・製造にかかるコストが低減できる。
 - ◆ 多数の風車を集約的に設置できるので、風車そのものの設置と維持管理にかかるコスト

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

が低減できる。

- ◆ 個々の風車で得られた電気エネルギーを回収するための周辺設備が集約できるので、周辺設備の設置および維持管理にかかるコストが低減できる。

(c) 周囲に他の構造物や設備がない。

- ◆ 風車の大きさに関する制約がないので、回転効率や発電効率の面で設置場所の風に適した風車が使用できる。
- ◆ 万一の風車の倒壊などの事故の際にも、周囲の構造物や設備に被害を及ぼす可能性がなく安全である。

配点

[4点] 2つの要因を挙げており、両者について適切に説明している。

[3点] 2つの要因を挙げているが、適切に説明しているのは一方のみである。

[2点] 2つの要因を挙げているが、それぞれについての説明がいずれも不適切である。

[2点] 1つのみの要因を挙げており、それについては適切に説明している。

[1点] 1つのみの要因を挙げているが、その説明が不適切である。

[0点] いかなる要因も挙げていない。

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

問2. 風力発電用風車の「ブレードの形状」について考察せよ.

図3に示す2種類の風車のブレード(翼)の形状を比較し, 風力発電用風車において特徴的な事項を2つ挙げて, 機械工学の観点から説明せよ.



図3. (左) 伝統的風車(オランダ型), (右) 風力発電用風車(プロペラ型)

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

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

測定する学習成果: 風車の「ブレードの形状」を説明することを通じて, 機械工学(特に流体力学と材料力学)の基本的な知識を応用して構造や機能を分析・考察する能力を調べる.

背景にあるコンピテンス:

- ◆ BES2: 専攻する工学分野の重要事項や概念に関する系統的理解
- ◆ EA2: 工学の成果, 過程, 方法を分析したりするために, 知識と理解を応用する能力

難易度: 平均的

採点のポイント: 以下の(a)~(b)あるいはそれらと同等な2つの特徴を挙げ, それぞれについて適切に説明できている.

- 【動作原理】** 伝統的風車は風力によってブレードに生じる抗力を利用して回転トルクを発生させる抗力型であるのに対し, 風力発電用風車はブレードに生じる揚力を利用して回転トルクを発生させる揚力型である. 揚力型は, 抗力型に比べて発生トルクは小さいが回転数は大きく, 高速回転時の効率が高い.
- 【アスペクト比】** 風力発電用風車のブレードは細長い, すなわちアスペクト比が大きい. アスペクト比が大きければ, ブレードに生じる抗力に対して揚力が大きくなる(揚抗比が大きくなる)ので同じ風力でも起動し易くなり, ブレードの曲げやねじりに対する強度や剛性の面でも有利になる.
- 【テーパ比】** 風力発電用風車のブレードは先細である, すなわちテーパ比が大きい. テーパ比が大きければ, ブレードの付け根における曲げモーメントが小さくなるので, 強度の面で有利である.

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

(d) 【材質】伝統的風車のブレードには木材が使用されているが、風力発電用風車のブレードには繊維強化プラスチック（FRP）が使用されている（と推察される）。木材に比べて FRP は、単位重量当たりの強度（比強度）や単位重量当たりの剛性（比剛性）が高く、耐久性も優れている。

配点

- [4点] 2つの特徴を挙げており、両者について適切に説明している。
- [3点] 2つの特徴を挙げているが、適切に説明しているのは一方のみである。
- [2点] 2つの特徴を挙げているが、それぞれについての説明がいずれも不適切である。
- [2点] 1つのみの特徴を挙げており、それについては適切に説明している。
- [1点] 1つのみの特徴を挙げているが、その説明が不適切である。
- [0点] いかなる特徴も挙げていない。

問3. 風力発電用風車の「ブレードの数」について考察せよ。

大型の風力発電用の風車は3枚ブレードのプロペラ型であることが多いが、それはなぜか。機械工学的な観点から3つの根拠を挙げるとともに、それら相互の得失を考慮して推察せよ。

測定する学習成果：風車の「ブレードの数」を説明することを通じて、機械工学の基本的な知識を応用して構造や機能を分析・考察する能力を調べる。

背景にあるコンピテンス：

- ◆ BES2：専攻する工学分野の重要事項や概念に関する系統的理解
- ◆ EA2：工学の成果、過程、方法を分析したりするために、知識と理解を応用する能力
- ◆ EA6：機械工学に係る物質・エネルギー収支とシステムの効率について分析する能力

難易度：難しい

採点のポイント：以下の(a)～(g)あるいはそれらと同等な根拠を3つ示した上で、ブレードの数が少ない場合と多い場合の得失を考慮して理由が推察できている。

【ブレードの数が少ない場合のメリット】

- (a) 隣りあうブレード間の空気力学的な干渉が少ないので、個々のブレードに発生する揚力が大きい。
- (b) 風車の後流の乱れが少ない、すなわち風車に入射する風の運動エネルギーに対して後流の風の運動エネルギーが小さいので、風車の効率が低い。
- (c) 風車全体の風に対する抵抗が小さいので、支柱の強度の面で有利である。

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

(d) 風車1台当たりのブレードの製造費用が低い.

(e) 風車1台当たりのブレードの破損確率が低い.

【ブレードの数が多い場合のメリット】

(f) 個々のブレードに作用する力が均等になるので, 風車全体の安定性が高い.

(g) 発生するトルクが大きくなるので, 風速が低くても回転しやすい.

【推察】

ブレードの数が少なくなるにつれて上記 (a) ~ (e) はメリットとなり, (f) ~ (g) はデメリットとなる。結果として, 多くの大型風力発電用風車では, 通常想定される風速に対して, 3枚ブレードが最適になると推察される。

配点

[4点] 根拠を3つ挙げており, それらの得失を考慮して適切に推察している.

[3点] 根拠を3つ挙げているが, それらの得失を考慮していない.

[3点] 根拠を2つしか挙げていないが, それらの得失を考慮して適切に推察している.

[2点] 根拠を2つしか挙げておらず, それらの得失を考慮していない.

[1点] 根拠を1つしか挙げていない.

[0点] 根拠を1つも挙げていない.

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

問4. 風力発電用風車の設計に係わる「技術者の責任」について考察せよ。

風力発電用風車を設置してわずか1年後に、設計時に想定した以上の風速が生じる可能性が明らかになった。想定以上の風速で支柱が破損して倒壊する確率の大小に応じて、技術的に可能な対策を3つ挙げるとともに、技術以外の観点を含めてそれぞれの得失を説明せよ。

測定する学習成果：風車の倒壊への対策の説明を通じて、機械工学的な課題を見極めて解決法を考案する能力を調べるとともに、技術者としての責任と規範に従う能力を調べる。

背景にあるコンピテンス：

- ED1：特定の定義された要求に応えるデザインを開発して実行するために、知識と理解を応用する能力
- EP3：適用できる技法・方法とその限界を理解する能力
- EP4：工学実践の非技術的な意味合いに関する理解。技術者倫理・工学実践の責任と規範に従う能力

難易度：平均的

採点のポイント：以下の(a)～(e)あるいはそれらと同等に技術的に可能な対策が3つ挙げられており、それぞれの得失が適切に説明されている。

- 【継続使用】倒壊の確率が十分に低い場合、そのまま継続使用することも一つの対策である。当面の対策に要するコストは最小限に抑えられるが、万一倒壊した場合の周辺の安全性を十分に確保する必要がある。
- 【支柱の補強】倒壊の確率がそれほど高くない場合、支柱の補強は比較的成本が低い対策である。また、この対策によって直接的に風車の効率が低下することはない。
- 【ブレードの交換】倒壊の確率がそれほど高くない場合、ブレードの形状を変更して風に対する抵抗を低減させれば、支柱に作用する負荷が軽減され、支柱の強度に余裕が生まれる。ただし、風車の効率は低下する可能性が高く、支柱の補強に比べてコストの面でも不利になる可能性が高い。
- 【支柱の交換】倒壊の確率が比較的高い場合、支柱の交換は技術的には可能な対策である。しかし、風車をほぼ解体して再度設置することになるため、多大なコストを要する。
- 【解体撤去】倒壊の確率がそれほど高くない場合であっても、倒壊した場合の風車周辺の安全性に大きな難点がある場合は、風車を解体撤去するべきである。

配点

技術的に可能な対策を挙げていれば、それぞれについて〔1点〕を与える。また、1つの対策について得失を適切に説明していれば〔1点〕を与える。3つの対策を挙げ、それぞれの得失を説明することを要求しているので、最大で合計〔6点〕となる。

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

別添資料（機械工学のコンピテンスの一覧）

工学ジェネリックスキル（Engineering Generic Skills）	
EGS1 <small>（注1）</small>	<p>個人として、又はチームの一員として、効果的に役割を果たす能力。</p> <p>The ability to function effectively as an individual and as a member of a team.</p>
EGS2	<p>工学関係者や一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、多様な方法を駆使する能力。</p> <p>The ability to use diverse methods to communicate effectively with the engineering community and with society at large.</p>
EGS3 <small>（注1）</small>	<p>生涯にわたり、自主的に学習することの必要性を認識して取り組む能力。</p> <p>The ability to recognise the need for and engage in independent life-long learning.</p>
EGS4	<p>工学の学際性に関する理解。</p> <p>The ability to demonstrate awareness of the wider multidisciplinary context of engineering.</p>
工学基礎・工学専門（Basic and Engineering Sciences）	
BES1 <small>（注2）</small>	<p>専攻する工学分野の基礎となる科学や数学の原理に関する知識と理解。</p> <p>数学には微分・積分、線形代数、数値解析法を含む。</p> <p>The ability to demonstrate knowledge and understanding of the scientific and mathematical principles underlying their branch of engineering.</p> <p>The basics of mathematics include differential and integral calculus, linear algebra, and numerical methods.</p>
BES2	<p>専攻する工学分野の重要事項や概念に関する系統的理解。</p> <p>The ability to demonstrate a systematic understanding of the key aspects and concepts of their branch of engineering.</p>
BES3 <small>（注2）</small>	<p>専攻する工学分野に関する包括的理解（最先端の事柄を含む）。</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) 高度なプログラミング (ii) 固体力学・流体力学 (iii) 材料科学・材料力学 (iv) 熱学：熱力学・熱伝導 (v) 機械の操作:ポンプ、換気装置、タービン、エンジン <p>The ability to demonstrate comprehensive knowledge of their branch of engineering including emerging issues: high-level programming; solid and fluid mechanics; material science and strength of materials; thermal science: thermodynamics and heat transfer; operation of common machines:</p>

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

	pumps, ventilators, turbines, and engines.
工学分析 (Engineering Analysis)	
EA1	既存の方法を用いて工学課題を見極め、解決法を考案、解決する能力。 The ability to apply their knowledge and understanding to identify, formulate and solve engineering problems using established methods.
EA2	工学の成果、過程、方法を分析したりするために、知識と理解を応用する能力。 The ability to apply knowledge and understanding to analyse engineering products, processes and methods.
EA3	適切な分析方法やモデルを選択・適用する能力。 The ability to select and apply relevant analytic and modelling methods.
EA4	文献を検索し、データベース等の多様な資料を活用する能力。 The ability to conduct searches of literature, and to use data bases and other sources of information.
EA5	適切な実験をデザインして実施し、データを解釈して、結論を導く能力。 The ability to design and conduct appropriate experiments, interpret the data and draw conclusions.
EA6 (注2)	機械工学に係る以下について分析する能力。 (i) 物質・エネルギー収支とシステムの効率性 (ii) 水圧・空気式システム (iii) 機械の要素 The ability to analyse mass and energy balances, and efficiency of systems; hydraulic and pneumatic systems; machine elements.
工学デザイン (Engineering Design)	
ED1	特定の定義された要求に応えるデザインを開発して実行するために、知識と理解を応用する能力。 The ability to apply their knowledge and understanding to develop designs to meet defined and specified requirements.
ED2	デザインの方法を理解し、活用する能力。 The ability to demonstrate an understanding of design methodologies, and an ability to use them.
ED3 (注2)	デザインのためのコンピュータ・プログラムを用いて、機械や機械システムの要素をデザインする能力。 The ability to carry out the design of elements of machines and mechanical systems using computer-

Tuning テスト問題バンク：機械工学

採点基準

	aided design tools.
工学実践（Engineering Practice）	
EP1	適切な装置・道具・方法を選択・使用する能力。 The ability to select and use appropriate equipment, tools and methods.
EP2	工学課題を解決するために、理論と実践を統合する能力。 The ability to combine theory and practice to solve engineering problems.
EP3	適用できる技法・方法とその限界を理解する能力。 The ability to demonstrate understanding of applicable techniques and methods, and their limitations.
EP4	工学実践の非技術的な意味合いに関する理解。技術者倫理・工学実践の責任と規範に従う能力。 The ability to demonstrate understanding of the non-technical implications of engineering practice.
EP5 (注3)	ワークショップや実験を行う能力。 The ability to demonstrate workshop and laboratory skills.
EP6	健康・安全・法律の問題、工学実践が伴う責任、工学による解決策がグローバル・経済的・社会的・環境的文脈に及ぼすインパクトに関する理解。 The ability to demonstrate understanding of the health, safety and legal issues and responsibilities of engineering practice, the impact of engineering solutions in a societal and environmental context, and commit to professional ethics, responsibilities and norms of engineering practice.
EP7	リスク・変動マネジメントを初めとするプロジェクト・マネジメントやビジネス慣行に関する理解、及びその制約についての認識。 The ability to demonstrate knowledge of project management and business practices, such as risk and change management, and be aware of their limitations.
EP8 (注2)	制御・生産システムを選択して活用する能力。 The ability to select and use control and production systems.

出所) OECD (2011), "A Tuning-AHELO Conceptual Framework of Expected Desired/Learning Outcomes in Engineering", *OECD Education Working Papers*, No. 60, OECD Publishing. (<http://dx.doi.org/10.1787/5kghtchn8mbn-en>) (pp. 28-29, 35)

注1) 重要なコンピテンスではあるが、AHELO フィージビリティ・スタディでは測定されなかった。

注2) 機械工学に固有のコンピテンス（OECD-AHELO フィージビリティ・スタディでは、土木工学固有のコンピテンス）。

注3) OECD-AHELO フィージビリティ・スタディでは、工学実践ではなく工学分析のコンピテンスとして測定した。