

一般社団法人 日本小形風力発電協会 規格

JSWTA 0001

小形風車の性能及び安全性に関する規格
第二版

Small Wind Turbine Performance and Safety Standard
Edition 2

2011 年(平成 23 年) 11月 4日 制定

2013 年(平成 25 年) 6月 1日 改定 (第二版)

白 紙

目 次

	ページ
序文.....	1
1 一般事項.....	1
1.1 適用範囲.....	1
1.2 適合.....	1
1.3 引用規格.....	1
1.4 用語及び定義.....	2
1.5 使用単位.....	3
1.6 供試風車の資格.....	3
1.7 品質保証.....	3
2 性能試験.....	3
3 騒音計測試験.....	3
4 強度及び安全性.....	4
5 耐久性試験.....	5
6 電気試験.....	5
7 認証に必要な報告書.....	5
8 ラベリング.....	5
9 認証された製品の変更.....	6
10 審査の省略手続き.....	6
11 参考文献.....	6
附属書A (規定) 製造業者による性能計測の実施要件.....	7
附属書B (参考) 簡略化した荷重モデル (荷重ケースB : ヨー運動) における特記事項.....	8
附属書C (規定) 垂直軸風車の簡易設計計算式の開発.....	9

まえがき

この規格は、小形風車業界、エキスパート（科学者、研究者）、政府機関によって構成され、日本小形風力発電協会主催の下設置された「日本小形風車認証制度委員会（Japan Small Wind Turbine Certification Committee :JSWCC）」によって、協会規格として策定された。

本規格の目的は、消費者に対して、本規格に適合する製品の性能及び安全性に係る信用を与え、また、製品相互の比較手段を提供することである。日本小形風力発電協会は、本規格に準拠して設計され、認証された製品に対して一切責任を負わない。

この規格の著作権は日本小形風力発電協会に帰属する。この規格の一部が、特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権又は出願公開後の実用新案登録出願に抵触する可能性があることに注意を喚起する。日本小形風力発電協会は、このような特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権又は出願公開後の実用新案登録出願に係る確認について、責任はもたない。この規格は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

日本小形風車認証制度委員会の構成表を、次に示す。

日本小形風車認証制度委員会

	氏名	所属
(委員長)	松宮 輝	株式会社 HIKARUWIND.LAB/ 独立行政法人 産業技術総合研究所 (客員研究員)
(委員)	小垣 哲也	独立行政法人 産業技術総合研究所
	青木 繁光	独立行政法人 産業技術総合研究所 (客員研究員)
	近藤 潤次	独立行政法人 産業技術総合研究所
	前田 太佳夫	国立大学法人 三重大学
	飯田 誠	国立大学法人 東京大学
	西沢 良史	足利工業大学
	高木 哲郎	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
	高野 裕文	一般財団法人 日本海事協会
	赤星 貞夫	一般財団法人 日本海事協会
	吉田 有希	一般財団法人 日本海事協会
	大黒 靖之	一般社団法人 日本電機工業会
	高田 康宏	日本小形風力発電協会 (ニッコー株式会社)
	友國 勉	日本小形風力発電協会 (シンフォニアテクノロジー株式会社)
	井上 清	日本小形風力発電協会 (ゼファー株式会社)
	半澤 良一	日本小形風力発電協会 (株式会社前川製作所)
	徳山 栄基	日本小形風力発電協会 (那須電機鉄工株式会社)
(事務局)		日本小形風力発電協会

小形風車の性能及び安全性に関する規格

Small Wind Turbine Performance and Safety Standard

序文

この規格は、小形風車の安全性、信頼性、性能、騒音特性に関する評価方法及び最小限の設計要求事項を提供する。この規格の内容は、IEC(International Electrotechnical Commission)国際規格、米国規格(AWEA Small Wind Turbine Performance and Safety Standard)及び英国規格(BWEA Small Wind Turbine Performance and Safety Standard)を参考にして策定された。これに加えて、大形風車と小形風車の技術的な相違、法規・制度・設置環境など国内外事情の相違を考慮に入れ、検討結果を消費者にも分かりやすい形式で提供するため、前述の参考規格を国内小形風車用へ合理的に修正・補足している。

1 一般事項

1.1 適用範囲

- a) この規格は系統連系システムと独立電源システムの単機の小形風車に適用される。
- b) この規格はロータ受風面積が200m²未満の風車に適用される。水平軸風車の場合は、ロータ直径16 m以下に相当する。
- c) 風車は、風車本体、制御装置、インバータ、ケーブル類及び断路器、設置及び運転マニュアル（説明書）が含まれる。
- d) 風車に数種類の仕様が存在する場合は、最も代表的な仕様について評価を行うものとする。それ以外の仕様、例えば、発電出力方式の違うものがある場合には、代表的な仕様と異なる箇所についてだけ評価又は試験が必要となる。一例として、ある風車に系統連系システムと独立電源システムがある場合は、それぞれについて認証を受ける必要がある。しかし、この場合、安全性評価については、別々に行う必要はない。
- e) タワー及び基礎は、この規格で記述されている規定に準拠すると共に建築基準法の遵守やその他タワー設計に関する基準・規格・設計指針又は導入手引書(日本小形風力発電協会)により設計を行うことが望ましい。
- f) この規格には、系統連系要件に関する要件を規定していない。しかしながら系統連系システムについては、電力品質確保に係わる系統連系技術要件ガイドライン、電気設備の技術基準の解釈及び系統連系規程を遵守し、系統連系要件を満足する必要がある。

1.2 適合

- a) この規格への適合確認/認証は、独立した認証機関で行わなければならない。
- b) この規格で規定している試験は、認定試験機関で実施するか、認証機関立会いの下に非認定試験機関で行うこととする。但し、製造業者により取得された試験データについても、第三者機関によりISO/IEC17025への適合性が確認された場合には、その際の試験データおよびそれ以降の試験データを認証に利用することができる。
- c) 宣伝あるいはその他の用途で、本規格への適合性を利用する場合は、製造業者の責任で行われる。

1.3 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。本文中の

引用規格のうちで、西暦年を付記してあるものは、記載の年の版を適用し、その後の改正版（追補を含む）は適用しない。西暦年の付記がない引用規格は、その最新版（追補を含む）を適用する。

JIS C 1400-0 風力発電システム—第0部：風力発電用語

JIS C 1400-2 風車—第2部：小形風車の設計要件

注記 対応国際規格：IEC 61400-2, Wind turbines—Part 2: Design requirements for small wind turbines (IDT)

JIS C 1400-11 風力発電システム—第11部：騒音測定方法

注記 対応国際規格：IEC 61400-11, Wind turbine generator systems—Part 11 : Acoustic noise measurement techniques (IDT)

JIS C 1400-12-1 風車—第12-1部：発電用風車の性能試験方法

注記 対応国際規格：IEC 61400-12-1, Wind turbines—Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (IDT)

JEC 2130 同期機

JEC 2137 誘導機

この規格に直接引用された規格のみ、この規格の一部を構成する。

1.4 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、JIS C 1400-0, JIS C 1400-2, JIS C 1400-11及びJIS C 1400-12-1によるほか、次による。

1.4.1

基準出力

この規格の2に示した変更事項以外は、JIS C 1400-12-1に基づいた、風速11 m/s時の発電出力。

1.4.2

基準年間発電量

年平均風速5 m/sで風速頻度分布がレイリー分布と想定した場合の利用可能率100 %の年間発電量。パワーカーブはこの規格の2に示した変更事項以外は、JIS C 1400-12-1にしたがって計測したものをを用いる。

1.4.3

基準騒音レベル

20 μ Pa単位で繰り上げられた騒音レベルdB(A) 風車がハブ高さ風速8 m/sで運転しているときロータ中心より25mの距離となる地上で観測される値を用いる。

1.4.4

カットイン風速

風車が、電力を発生するハブ高さにおける最小の1分間平均風速。

カットアウト風速

風車が、電力を発生するように設計されたハブ高さにおける最大の1分間平均風速。

1.4.5

最大出力

正常の定常運転状態において、風車の1分間平均出力の最大値。（ピーク値はこれを超えることもある）

1.4.6

最大電圧

風車が運転中に出力する最大の電圧（開放状態を含む）。

1.4.7

最大電流

風車が制御装置又は電力変換装置で出力する電流の最大値。

1.4.8

過回転防止制御

ロータが過回転にならないようにする制御装置の動作。

1.4.9

出力形式

風車によって出力された電力を負荷に伝達する際の物理的状态

1.4.10

受風面積

通常運転時（ファールリングしない状態）に風車ロータを風向と直交する平面に投影した面積。ロータがダクトで覆われている場合にはダクトで覆われる面積も含めなければならない。

1.5 使用単位

基本単位はSI単位系（メートル法）とする。

1.6 供試風車の資格

供試風車は新規に製造されたものであること。

1.7 品質保証

品質保証は、小形風車及びそのすべての部品の設計、調達、製造、設置、運転及びメンテナンスの全体をカバーする。品質管理における品質マネジメントシステムは、JIS Q 9000シリーズの要求事項に適合することが望ましい。

2 性能試験

風車の性能試験は、本規格に特に定められた事項を除き、JIS C 1400-12-1:2010の規定により行うものとする。

- a) JIS C 1400-12-1:2010の附属書Hの細別b)において、蓄電池バンクも装備した系統連系用風車に対しては、蓄電池バンクも風車システムの一部とみなす。
- b) JIS C 1400-12-1:2010の附属書Hの細別n)において、最大出力(又は持続可能な出力)の95%以内で最も低い風速を少なくとも5 m/sを超える全ての風速ビンに対して、データベースは10分間のデータを含まなければならない。
- c) 製造業者試験の場合、附属書Aの要項を適用しても良い。ただし、適用した場合、その適用内容を明示しなければならない。

3 騒音計測試験

風車の騒音計測試験は、JIS C 1400-11:2005にしたがうものとする。ただし、下記に特記する事項については本規定による。

- a) JIS C1400-11:2005の細分箇条7.2.2及び細分箇条7.2.3における測定時間は1分間を10秒間に、また細分箇条7.2.2における2分間を20秒間に置き換えなければならない。
- b) 風速は、発電出力から求めるよりも直接計測することが望まれる。

- c) 整数風速における音圧レベルをビン法によって決定しなければならない。
- d) 風のスクリーンが有効な限りにおいて、できる限り広い風速域において計測を行う努力をしなければならない。
- e) 高風速時の過回転防止制御装置（ファーリング、ピッチング又はフラッターリングなど）の動作によって発生音に明らかな変化が生じる場合には、それについて記述しなければならない。
- f) 純音性評価は必須ではないが、特徴的な純音が存在しないかを観測し記述しなければならない。

4 強度及び安全性

この規格が対象とする風車の設計は、JIS C 1400-2 :2010の細分箇条5.2に定められた方法に準拠して行われること。

- a) 下記に示す場合を除き、風車の機械的強度は、JIS C 1400-2:2010の細分箇条7.4に示される簡易評価式を細分箇条7.8の安全率と共に用いる。又は、JIS C 1400-2:2010の細分箇条7.5に示された空力弾性モデリングを用いて評価する。少なくとも翼根部、主軸、主要部材の締結部、（水平軸風車の場合）ヨー軸及び（垂直軸風車の場合）支持材について、それぞれの計算結果にしたがった評価を行う。その他の部分についても、明らかな欠陥がないかを簡単に確認し、必要に応じて解析項目を追加する。垂直軸型など他の形式の風車についても工学的見知により開発された簡略化計算式もしくは空力弾性モデリングによる解析によって評価する。なお付属書C「垂直軸風車の簡易設計計算式の開発」に記載の適用範囲（C.1）に属する垂直軸風車については、この簡易計算式を用いることができる。
- b) タワーは、当該風車において設定されたSWTクラスの50年間極値風速に耐えられる強度とする。タワーと風車本体の共振が起きないことを確認することが望ましい。なお、強度の確認にあたって、タワーと基礎部の接続部は完全な剛体と仮定するものとする。
- c) 簡略化した荷重モデル（荷重ケースB：ヨー運動）については、JIS C 1400-2:2010の細分箇条7.4.3に規定された方式もしくは付属書Bによって求められる数値を用いること。
- d) 風車の安全性に関する要件で評価を要するものには他にも下記が含まれる。
 - ・風車の運転手順
 - ・高風速時に危険な状態とならないようにする対策
 - ・非常時又はメンテナンス時にロータを減速又は停止させる方法
 - ・メンテナンス及び部品交換手順の可否
 - ・最低低温稼働気温時の制御の効力の減少影響について
 - ・フェイルセーフに設計された保護機能は、単一故障又は電源喪失から風車を保護する機能を有すること。
- e) 安全性及び機能試験をJIS C 1400-2:2010の細分箇条9.6、また翼試験を細分箇条9.5.2にしたがって実施しなければならない。
- f) 製造業者は、以下の設計要求を提示しなければならない。
 - ・機械的、電氣的な接続
 - ・ブレードとタワーの最低離隔距離
 - ・タワー最上部の最大荷重
 - ・タワー最上部の変位量（最大許容値）

5 耐久性試験

- a) 機器の信頼性限界を知るため、JIS C 1400-2:2010の細分箇条9.4にしたがって耐久性試験を実施しなければならない。
- b) この規格における変更及び追加項目は以下の通りである。
 - 1) $1.8V_{ave}$ 又は15 m/sのどちらか低い風速以上の環境下での25時間以上の継続試験。
 - 2) 軽微な修理は許容されるが、その内容を記述しなければならない。
 - 3) 翼、主軸、発電機、タワー、制御装置又はインバータのような主要機器が試験中に交換された場合、試験を新たに行わなければならない。
 - 4) 耐久性試験中、風車とタワーの動的問題について観察されなければならない。また、報告書には観察された問題の有無の記述を含めなければならない。
 - 5) タワーは、4 b)で示す設計要求を満たさなければならない。

6 電気試験

- a) 製造業者は発電機の電气的安全性を知るため、JEC-2137、JEC-2130にしたがって電気試験を実施しなければならない。
- b) この規格における発電機の電気試験の実施項目は、JEC-2137、JEC-2130における通常試験に記載の以下のものとする。
 - 1) 構造検査
 - 2) 巻き線抵抗検査
 - 3) 耐圧試験
 - 4) 絶縁抵抗試験

7 認証に必要な報告書

- a) 試験報告書は、以下の情報を含めなければならない。
 - 1) 要旨報告
これには、出力特性曲線（パワーカーブ）、予想年間発電量グラフ、計測された音圧レベル（JIS C 1400-11:2005の細分箇条9.4）に加え、基準年間発電量、基準騒音レベル、基準出力を含むもの。
この要旨報告は、承認を受けた後に、公に公表される。
 - 2) 性能試験報告
 - 3) 騒音計測試験報告
 - 4) 安全性及び機能試験報告
 - 5) 翼試験報告
 - 6) 耐久性試験報告
 - 7) 電気試験報告

8 ラベリング

認証を受けた風車の製造業者は、次に示すラベル使用に関する要件事項にしたがわなければならない。

- a) 小形風車の基準年間発電量は、商品の説明資料に添付すると共に、仕様を記載したカタログ（広告）にも表示しなければならない。

注記 基準年間発電量は有効数字3桁表示とする。また、参考値として他の年平均風速に対応する年

間発電量を付記しても良い。例えば、定格風速が基準風速から大幅に異なる場合には、出力曲線の提示が風車設置場所の選定に適切な指針を与える。

- b) 製造業者は、定格出力を表示する時は、本規格により認められた、定格出力としなければならない。
- c) 製造業者は、騒音レベルを表示する時は、本規格により認められた騒音レベルとしなければならない。
- d) 風車仕様に関する他の推奨表示項目は下記の通り。
 - ・カットイン風速
 - ・カットアウト風速
 - ・最大出力
 - ・最大電圧
 - ・最大電流
 - ・過回転防止制御方式
 - ・発電出力の型式（系統連系，独立電源）

9 認証された製品の変更

製造業者は、ハードウェア及びソフトウェアを含む全ての仕様変更を認証機関に報告しなければならない。どのような仕様変更の場合に変更箇所の再認証が必要となるかのガイダンスを以下に示す。

- a) 基準出力又は基準年間発電量が10 %以上減少する場合，又は基準騒音レベルが1 dB(A)以上上昇する場合。
- b) 荷重ケース及び解析タイプの組合せによる強度計算の各マージンについて，そのひとつでも10 %以上減少する場合，若しくは定格出力時の電圧又は電流が10%以上増加する場合には，風車の強度及び安全性報告をもって再認証を行う。
- c) 耐久性に実質的影響を与えるような変更については，再試験を実施し，新たな耐久性試験報告の提出によって認証を取得しなければならない。

10 審査の省略手続き

- a) 複数の型式において重複する部分がある場合でも，それぞれの型式について審査を行う。
- b) 重複する部分については，審査の一部又は全部を省略することができる。
- c) 複数の型式において仕様を変更する部分については，9に示した判定基準にしたがい，審査の一部又は全部を省略することができる。
- d) 複数の型式において重複する部分がある場合であって，重複する部分について審査の一部又は全部を省略した型式に係る仕様変更時の再認証については，9の規定にかかわらず，認証機関が判断するところによる。
- e) 9の事由により，既に認証を受けた機種の新規の再認証が必要になる場合は，設計変更の影響を受けない部分については審査及び試験を省略することができる。

11 参考文献

- a) Evaluation Protocol Small Wind Systems, Rev.3, NREL internal document.
- b) Small Wind Turbine Performance and Safety Standard, AWEA9.1-2009, American Wind Energy Association
- c) Small Wind Turbine Performance and Safety Standard, 29 Feb 2008, British Wind Energy Association

附属書A (規定) 製造業者による性能計測の実施要件

A.1 一般

本附属書は、小形風車の認証における性能試験に対して、製造業者所有のサイトにて、製造業者が試験を実施する場合における要件について示したものである。

基本的には、本規格に準拠した実施が要求されるが、以下に示す要項については、製造業者による試験実施の場合のみ許容される。

ただし、以下の要項を適用した場合は、その適用内容を明示しなければならない。

A.2 障害物に関する要求事項

障害物に関する要求事項は、基本的にはJIS C 1400-12:2010の附属書Aの細分箇条A.2を満足しなければならないが、製造業者による試験実施の場合のみ、附属書Aの図A.2に示される除外風向区分のうち、c)及びe)については除外風向から外しても良い。ただし、c)及びe)を除外風向としたケースとしないケースを比較し、後者が前者の性能よりも過大とならないことを確認しなければならない。

附属書B

(参考)

簡略化した荷重モデル（荷重ケースB：ヨー運動）における特記事項

B.1 一般

この附属書では、JIS C 1400-2:2010の細分箇条7.4.3 の荷重ケースB（ヨー運動）において用いられる最大ヨーイング角速度 $\omega_{yaw,max}$ について解説する。

B.2 最大ヨーイング角速度の導出

最大ヨーイング角速度は、ヨー運動時に翼根部や主軸に作用するジャイロ・モーメント及び遠心力の影響を算出する際に用いられる重要なパラメータであるために JIS C 1400-2:2010では、まずフリーヨー形式についての算定式(27)を提示し、さらにアクティブ・ヨーについての導出法が解説されている。しかしながら小形風車では方位制御特性と構造の簡素化を両立させる技術として、近年ヨー・ダンパーとよばれる装置を用いていわゆるセミ・アクティブヨー又は減衰ヨーと呼ばれる制御方式をとるものもみられるようになってきている。

B.3 セミ・アクティブヨー又は減衰ヨーにおける最大ヨーイング角速度の導出

ヨー運動の回転速度もしくは角加速度の上限を、限定的な抵抗要素を用いて制限するセミ・アクティブヨー又は減衰ヨーとよばれるヨー制御方式の場合には、耐久性試験期間中のあらゆる運転条件下で取得した計測データから、ヨー最大角速度の推定値を用いても良い。ただし、実測データが存在するにもかかわらず、もし上記にのべるような特性値が抽出できない場合にはフリーヨーの式(27)による。

附属書C (規定) 垂直軸風車の簡易設計計算式の開発

C.1 適用範囲

- 本附属書は、赤道面に対して対称なロータに適用される。
- 本附属書は、翼枚数が1枚から5枚までのロータに適用される。
- ロータ軸が第1軸受において固定端片持ちはりであると仮定したときに、荷重ケースHの条件下で、ロータ中心におけるロータ軸のたわみが0.3%以下である場合、系の動的安定性は十分とみなされ、本附属書の簡略化計算手法による荷重算定のみで設計評価を行うことができる。
- ウィンドシアは考慮しない。

C.2 この附属書で用いる記号

- ロータ中心とは、赤道面上の回転中心のことを示す。
- ハブ高さとは、赤道面の高さを示す。

A	ロータ受風面積： $=DH$	(m^2)
A_{proj}	風向きに直角な面に投影されたロータ面積の最大値	(m^2)
$A_{proj,B}$	翼1枚の最大投影面積（平面図面積）	(m^2)
B	翼枚数	(—)
C_d	抗力係数	(—)
C_f	空力係数	(—)
C_l	揚力係数	(—)
C_r	合成力係数： $=\sqrt{C_l^2 + C_d^2}$	(—)
C_T	スラスト係数	(—)
D	ロータ直径	(m)
e_r	ロータ重心からロータ軸までの距離	(m)
F	力	(N)
g	重力加速度：9.81	(m/s^2)
G	発電機短絡回路の乗数	(—)
H	翼幅（翼のスパン方向長さ）	(m)
L_{rb}	ロータ中心と第1軸受との間の距離	(m)
m_B	翼質量	(kg)
m_r	ロータ質量：翼質量+ハブ質量	(kg)
M_{brake}	ブレーキによりロータ軸に発生するトルク	(Nm)
$M_{z-shaft}$	第1軸受におけるロータ軸のねじりモーメント	(Nm)
M_{shaft}	第1軸受におけるロータ軸の曲げモーメント	(Nm)
n	ロータ回転数	(min^{-1})
P	電力	(W)

P_r	ロータ出力	(W)
Q	ロータ軸トルク	(Nm)
R	ロータ半径	(m)
R_S	翼と支持材根元との間の距離	(m)
S	翼 1 枚を支える支持材の数	(-)
V	風速	(m/s)
V_{ave}	ハブ高さにおける年平均風速	(m/s)
V_{design}	1.4 V_{ave} と定義される設計風速	(m/s)
V_{eN}	期待極値風速 (3 秒間平均) , 再現期間 N 年 1 年及び50 年に対してそれぞれ V_{e1} 及び V_{e50}	(m/s)
V_{hub}	ハブ高さにおける10 分平均風速	(m/s)
V_t	翼の周速度の最大値	(m/s)
Δ	範囲	(-)
η	出力電力とロータとの間のコンポーネント (代表的に発電機, ギアボックス及び変換システム) の効率	(-)
λ	周速比	(-)
ρ	空気密度, ここでは1.225 と仮定	(kg/m ³)
ω_n	ロータの角速度	(s ⁻¹)

添字 :

ave	平均
B	翼
cutout	カットアウト
design	簡易化された設計式の入力パラメータ
hub	ハブ
max	最大
proj	投影された
r	ロータ
shaft	ロータ軸
S	支持材
T	スラスト

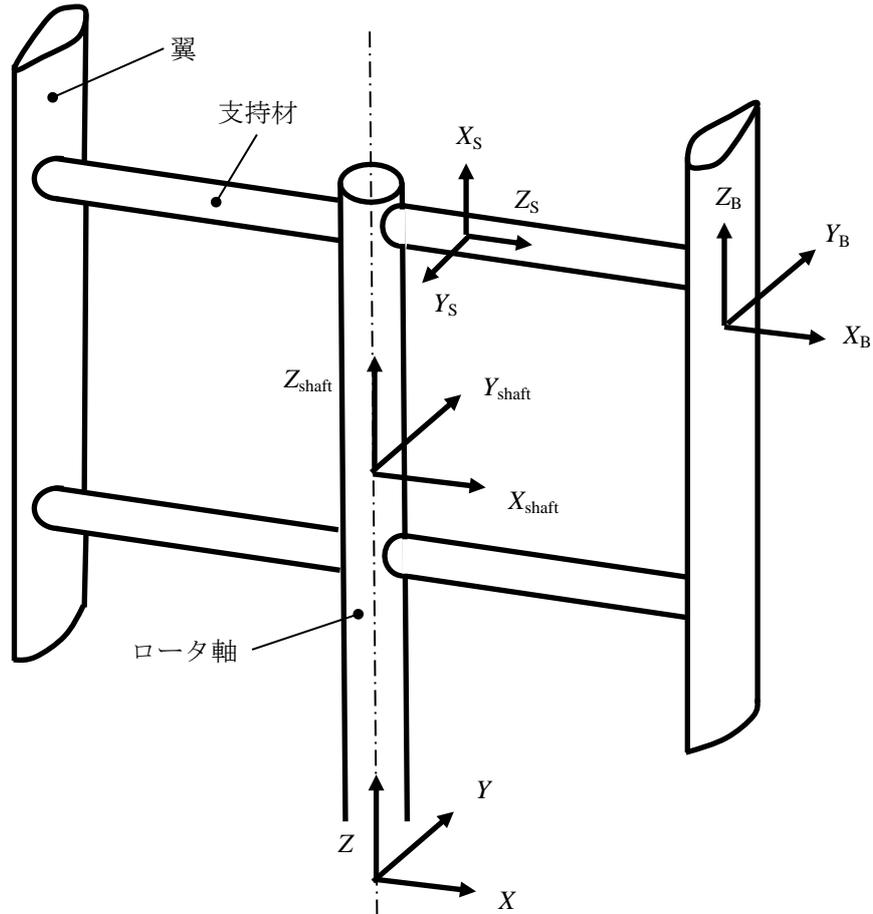


図 C.1—垂直軸風車の軸系の定義

座標系の定義

タワー座標系

X は風下の方向を正, Z は上方を正, 及び Y は右手系の方向を正になるように定める。
タワーの座標系は, 固定座標系を用いる。

ロータ軸座標系

Z_{shaft} は上方を正とする。 X_{shaft} 及び Y_{shaft} は用いず, 合成モーメントの表現だけに用いられる。
以下に示す翼座標系と支持材座標系は, 軸とともに回転する相対座標系を用いる。

翼座標系

X_B は, 翼のフラップ方向でロータ半径外向きを正とする。
 Y_B は, 右手系の方向を正とする。
 Z_B は, 翼のスパン方向で上向きを正とする。

支持材座標系

X_s は, 支持材に垂直方向 (支持材のフラップ方向) で上向きを正とする。
 Y_s は, 右手系の方向を正とする。
 Z_s は, 支持材のスパン方向でロータ半径外向きを正とする。

C.3 一般

この附属書は、この規格本体の垂直軸風車の簡易設計計算式の背景を与える。

計算式の背景及び誘導を示すことは、幾つかの目的に役立つ。

- 簡易設計計算式のよりよい理解となる。
 - 式中にどのような種類の物理が含まれており、したがって、何が含まれていないかを明らかにする。
 - 式の背景を示すことによって、特別な着想をもつ製造業者は、式の基礎に立ち戻って自身の設計によって適用可能な式を導き出すことができる。
- 一般に、式(C.1)～式(C.3)は妥当である。

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \dots\dots\dots(C.1)$$

ここに、
 n : ロータ回転数
 ω_n : ロータ角速度

$$\lambda = \frac{V_t}{V_{hub}} = \frac{\omega_n R}{V_{hub}} = \frac{R}{V_{hub}} \frac{\pi n}{30} \dots\dots\dots(C.2)$$

ここに、
 λ : 周速比
 V_t : 翼の周速度の最大値
 V_{hub} : ハブ高さにおける10分平均風速
 R : ロータ半径

$$Q = \frac{P_r}{\omega_n} = \frac{P}{\eta \omega_n} = \frac{30P}{\eta \pi n} \dots\dots\dots(C.3)$$

ここに、
 Q : ロータ軸トルク
 P_r : ロータ出力
 P : 電力

さらに、ある設計入力、この規格の本体中に定義されている。

V_{design} は、 $1.4 V_{ave}$ として定義された設計風速である。 V_{ave} は、小形風車のクラスに依存する。

P_{design} 及び n_{design} は、それぞれ V_{design} における出力及びロータ回転数である。

荷重ケースA：通常運転

荷重ケースA は、一定範囲の疲労荷重ケースである。

その範囲の背後にある基本の考えは、小形風車は風速変動に応じて0.5～1.5“定格”で回ることである。したがって、垂直軸風車についても、ロータ軸荷重に対しては、この考え方に従う。一方で、垂直軸風車の翼荷重は、ロータ1回転中の変動が大きいため、風速変動にともなうロータ回転数の変動による影響は考慮しない。

“定格”は、多くの異なる意味をもつ用語なので、代わりに“design（設計）”が導入されている。この用語は、C.2 に定義されている。

① 翼荷重

設計回転数に対して、ロータ1回転中に、翼に作用する力の最大値と最小値の差（最大振幅）はフラップ方向力と周速比の実験結果から式(C.4)で与えられる。

$$\Delta F_{xB} = \frac{1}{2} \rho A_{\text{proj},B} (1.5V_{\text{design}})^2 \cdot (8.5\lambda_{\text{design}} - 3.2) \dots \dots \dots (C.4)$$

ここに、 ΔF_{xB} : 翼1枚に作用する X_B 方向（半径方向、翼のフラップ方向）の力の振幅

$A_{\text{proj},B}$: 翼1枚の最大投影面積

このフラップ荷重に対して、翼の曲げモーメントを翼構成に合わせて計算する。エッジ方向の荷重は考慮しない。

なお、 $V_{\text{cutout}} < 1.5V_{\text{design}}$ （風速 $1.5V_{\text{design}}$ でカットアウト状態にあるとき）の場合は、 $1.5V_{\text{design}}$ の代わりに V_{cutout} を用いる。

② 支持材荷重

翼に作用する力は翼の支持材によって支持される。1枚の翼に作用する半径方向の力を S 本の支持材が均等に受け持つときには支持材1本あたりに作用する力は次のようになる。

$$\Delta F_{zS} = \Delta F_{xB} / S \dots \dots \dots (C.5)$$

ここに、 ΔF_{zS} : 支持材1本に作用する Z_S 方向（半径方向、支持材スパン方向）の力の振幅

S : 翼1枚を支える支持材の数

支持材に作用する回転方向の曲げモーメントは、ロータ軸トルクの変化（翼枚数 B で均等に分割された Q_{design} ）から発生する。翼1枚当たり S 本の支持材で支えられているときには支持材1本あたりに作用する回転方向の曲げモーメントは次式で与えられる。

$$\Delta M_{xS} = Q_{\text{design}} / (SB) \dots \dots \dots (C.6)$$

ここに、 ΔM_{xS} : 支持材1本に作用する X_S 軸回りの曲げモーメントの振幅

B : 翼枚数

③ ロータ軸荷重

ロータ軸のねじりモーメントは、設計ロータ軸トルクに等しい。

$$\Delta M_{z\text{-shaft}} = Q_{\text{design}} \dots \dots \dots (C.7)$$

ここに、 $\Delta M_{z\text{-shaft}}$: ロータ軸のねじりモーメントの振幅

ロータ回転中にはロータ軸全体にスラストが発生する。

$$F_T = C_T \frac{1}{2} \rho (1.5V_{\text{design}})^2 A \dots \dots \dots (C.8)$$

ここに、 F_T : ロータ全体の平均スラスト

C_T : ロータ全体の平均スラスト係数

ρ : 空気密度

A : ロータ受風面積 (=DH)

平均スラスト係数 C_T のデータが手に入らない場合、1.2 の値を用いる

ロータ回転中にロータ軸にスラストが与える影響として、ロータ軸の曲げモーメント（転倒モーメント）の変動が発生する。

$$\Delta M_{\text{shaft}} = 2F_T L_{rb} \dots \dots \dots (C.9)$$

ここに、 ΔM_{shaft} : ロータ軸の曲げモーメントの振幅
 F_T : ロータ全体の平均スラスト
 L_{rb} : ロータ中心と第1軸受との間の距離

係数の”2”は、ロータ軸から見たときに、ロータ1回転中にスラスト F_T が正と負になることから、ロータ軸には F_T の2倍の振幅の荷重が作用することを表す。

このロータ軸の曲げモーメントは、第1軸受において最大であると仮定する。

荷重ケースB : ヨー運動 → 垂直軸風車では無視できる

荷重ケースC : ヨーイングエラー → 垂直軸風車では無視できる

荷重ケースD : 最大スラスト

① ロータ軸荷重

動圧と空力係数の組み合わせによってロータ軸全体にスラストが発生する。

$$F_T = C_T \frac{1}{2} \rho (2.5V_{\text{ave}})^2 A \dots \dots \dots (C.10)$$

ここに、 F_T : ロータ全体の平均スラスト
 C_T : ロータ全体の平均スラスト係数
 ρ : 空気密度
 A : ロータ受風面積 (=DH)

平均スラスト係数 C_T のデータが手に入らない場合、1.2 の値を用いる。

ロータ回転中にロータ軸全体に作用するスラストから、ロータ軸の曲げモーメントが発生する。

$$M_{\text{shaft}} = F_T L_{rb} \dots \dots \dots (C.11)$$

ここに、 M_{shaft} : ロータ軸の曲げモーメント
 F_T : ロータ全体の平均スラスト
 L_{rb} : ロータ中心と第1軸受との間の距離

荷重ケースE : 最大角速度

この荷重ケースは、最大回転数 (min^{-1}) によって支配されると仮定する。

① 翼荷重

翼荷重の場合、遠心力だけを考慮する。

$$F_{xB} = m_B \omega_{n,\text{max}}^2 R \dots \dots \dots (C.12)$$

ここに、 F_{xB} : 翼1枚あたりに作用する遠心力
 m_B : 翼1枚の質量
 $\omega_{n,\text{max}}$: ロータの最大回転数
 R : ロータ半径

このフラップ荷重に対して、翼の曲げモーメントを翼構成に合わせて計算する。

② 支持材荷重

1枚の翼に作用する遠心力を S 本の支持材が均等に受け持つときには、支持材1本あたりに作用する遠

心力は次式で与えられる。

$$F_{zS} = F_{xB}/S \dots\dots\dots (C.13)$$

ここに、 F_{zS} : 支持材 1 本あたりに作用する遠心力

③ ロータ軸荷重

ロータ軸に対しては、ロータ軸の曲げモーメントだけを考慮する。ロータの質量中心とロータ軸中心との間の距離 e_r の不均衡があると仮定する。

$$M_{\text{shaft}} = m_r e_r \omega_{n,\text{max}}^2 L_{\text{rb}} \dots\dots\dots (C.14)$$

ここに、 m_r : ロータ全体の質量

e_r : 偏心距離

偏心距離 e_r のデータが手に入らない場合、 $0.005R$ の値を用いる。

荷重ケースF：負荷接続時の短絡

この荷重ケースは、発電機の大きな短絡トルクを仮定する。

① ロータ軸荷重

発電機が発生する短絡トルクによりロータ軸にねじりモーメントが発生する。ここで、短絡トルクは設計ロータ軸トルクに係数 G を乗じたものとする。

$$M_{z\text{-shaft}} = G Q_{\text{desgin}} \dots\dots\dots (C.15)$$

ここに、 $M_{z\text{-shaft}}$: ロータ軸に発生するねじりモーメント

G : 設計発電機トルクと短絡トルクの比

係数 G のデータが手に入らない場合、同期発電機、非同期発電機、永久磁石発電機のいずれにおいても2とする。

② 支持材荷重

ロータ軸のねじりモーメントを翼 1 枚当たり S 本の支持材が均等に受け持つときには支持材 1 本あたりに作用する回転方向の曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_{xS} = M_{z\text{-shaft}} / (SB) \dots\dots\dots (C.16)$$

ここに、 M_{xS} : 短絡により支持材 1 本あたりに作用する曲げモーメント

荷重ケースG：停止（ブレーキング）

① ロータ軸荷重

停止動作中に発生する最大ロータ軸ねじりモーメントは、ブレーキトルク（ブレーキがある場合）に設計発電機トルクを加えた値に等しいと仮定する（したがって、発電機が依然設計トルクを供給している間ブレーキが加えられていると仮定する）。

$$M_{z\text{-shaft}} = M_{\text{brake}} + Q_{\text{desgin}} \dots\dots\dots (C.17)$$

ここに、 M_{brake} : ロータ軸のブレーキトルク

垂直軸風車が変速装置及び高速軸ブレーキ装置をもつ場合、最大ロータ軸ねじりモーメント $M_{z\text{-shaft}}$ は、動力伝達系のエネルギーを考慮して増すことが望ましい。より正確な証明された値がないので、最大ロータ軸ねじりモーメント $M_{z\text{-shaft}}$ は2倍とする。

② 支持材荷重

停止動作中の支持材荷重は、最大ロータ軸ねじりモーメントによって決定すると仮定する。したがって、停止動作中に作用するロータ軸ねじりモーメントを翼1枚当たり S 本の支持材が均等に受け持つときには支持材1本あたりに作用する曲げモーメントは次のようになる。

$$M_{xS} = M_{z\text{-shaft}}/(SB) \dots \dots \dots (C.18)$$

荷重ケースH：待機中の風荷重

垂直軸風車の50年間極値風速 V_{e50} に対する待機中風荷重の計算においては、水平軸風車に見られるような受動的制御（ファールリングなど）は行わずに、能動的制御（パーキングブレーキなど）によって強風の中で待機すると仮定する。

① 翼荷重

待機中の垂直軸風車の場合、翼1枚あたりに作用する力は合成力によって支配され、次式のように定義される。

$$F_{xB} = C_{r,max} \frac{1}{2} \rho A_{proj,B} V_{e50}^2 \dots \dots \dots (C.19)$$

ここに、
 $C_{r,max}$: 合成力係数の最大値
 $A_{proj,B}$: 翼1枚の最大投影面積
 V_{e50} : 50年間極値風速

合成力係数 C_r のデータが手に入らない場合、2.0の値を用いる。

このフラップ荷重に対して、翼の曲げモーメントを翼構成に合わせて計算する。エッジ方向の荷重は考慮しない。

② 支持材荷重

待機中のロータの翼に作用する半径方向の極値風速荷重を翼1枚当たり S 本の支持材が均等に受け持つときには支持材1本あたりに作用する半径方向力は次のようになる。

$$F_{zS} = F_{xB}/S \dots \dots \dots (C.20)$$

待機中の垂直軸風車の翼1枚あたりに作用する回転方向の力は揚力と抗力によって支配され、次式のように定義される。

$$F_{yB} = C_f \frac{1}{2} \rho A_{proj,B} V_{e50}^2 \dots \dots \dots (C.21)$$

ここに、
 C_f : 空力係数。ここでは0.15と仮定。
 $A_{proj,B}$: 翼1枚の最大投影面積
 V_{e50} : 50年間極値風速

空力係数の”0.15”は、翼1枚あたりに作用する回転方向の係数の絶対値の最大値である。

待機中の翼に作用する回転方向の力を翼1枚当たり S 本の支持材が均等に受け持つときには支持材1本あたりに作用する回転方向の曲げモーメントは次のようになる。

$$M_{xS} = (F_{yB}/S) R_S \dots \dots \dots (C.22)$$

ここに、
 R_S : 翼と支持材根元との間の距離

③ ロータ軸荷重

待機中のロータの場合，翼に作用する抗力によりロータ軸に風荷重が発生する。

$$F_{\text{shaft}} = C_{F\text{shaft}} \frac{1}{2} \rho A_{\text{proj},B} V_{e50}^2 \dots \dots \dots (C.23)$$

ここに， $C_{F\text{shaft}}$: 待機中のロータに作用するスラスト係数

$A_{\text{proj},B}$: 翼 1 枚の最大投影面積

係数 $C_{F\text{shaft}}$ は，翼枚数 B に応じて表 C.1 の値を用いる。

表 C.1—待機中のロータに作用するスラスト係数 $C_{F\text{shaft}}$

B	1	2	3	4	5
$C_{F\text{shaft}}$	1.1	2.0	2.0	2.9	3.2

待機中のロータの場合，第1軸受の位置に作用するロータ軸の曲げモーメントは，次式によって与えられる。

$$M_{\text{shaft}} = F_{\text{shaft}} L_{rb} \dots \dots \dots (C.24)$$

ここに， L_{rb} : ロータ中心と第1軸受との間の距離

待機中のロータの場合，翼に作用する回転方向の力により発生するロータ軸のねじりモーメントは，次式によって与えられる。

$$M_{z\text{-shaft}} = C_{Mz\text{-shaft}} \frac{1}{2} \rho A_{\text{proj},B} V_{e50}^2 R \dots \dots \dots (C.25)$$

ここに， $C_{Mz\text{-shaft}}$: 待機中のロータに作用する回転方向力係数

$A_{\text{proj},B}$: 翼 1 枚の最大投影面積

係数 $C_{Mz\text{-shaft}}$ は，翼枚数 B に応じて表 C.2 の値を用いる。

表 C.2—待機中のロータに作用する回転方向力係数 $C_{Mz\text{-shaft}}$

B	1	2	3	4	5
$C_{Mz\text{-shaft}}$	0.15	0.24	0.36	0.41	0.51

荷重ケース I : 待機中の風荷重，全方向から風を受ける場合

垂直軸風車においては，荷重ケース H（50年間極値風速 V_{e50} ）が荷重ケース I（1年間極値風速 $V_{e1} \doteq 10$ 分平均基準風速 V_{ref} ）よりも厳しいため，荷重ケース I は必要ない。

C.4 文献

[C.1] Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., and Bossanyi, E., Wind Energy Handbook, A John Wiley and Sons, 2001.

[C.2] Manwell, J.F., McGowan, J.G. and Rogers, A.L., Wind Energy Explained, A John Wiley and Sons, 2009.

[C.3] 関和市・牛山泉，垂直軸風車，パワー社，2008.

著作権法により、無断での複製、転載等は禁止されております。

2011年(平成23年)11月1日 制定

2013年(平成25年)6月1日 改定(第二版)

〒110-0015 東京都台東区東上野3-12-5 高野ビル3F

発行所

一般社団法人 **日本小形風力発電協会**