



登録適合性確認機関 適合性確認に係る 技術基準

管理文書番号：BVJ IND-RCA-TM-001

改訂版番号：00（初版）

制定日：2023年4月5日

最新改訂月日：-

ビューローベリタスジャパン株式会社

産業事業本部

目次

1 概要	
1.1 適合性確認	1
1.2 引用基準	2
1.3 提出文書	2
1.3.1 共通文書	2
1.3.2 サイト風条件の適合性確認に関わる文書	3
1.3.3 風車（RNA）設計の適合性確認に関わる文書	3
1.3.4 支持構造物設計の適合性確認に関わる文書	4
2 サイト条件の適合性確認	
2.1 概要	6
2.2 風条件	6
2.2.1 観測データの評価	6
2.2.2 地形的複雑さの評価	8
2.2.3 気流解析	8
2.2.4 風速出現頻度分布の算定	8
2.2.5 乱流強度の算定	9
2.2.6 ウィンドシアの算定	9
2.2.7 気流傾斜角の算定	9
2.2.8 隣接風車の後流影響評価	9
2.2.9 暴風待機時の極値風速及び乱流強度の算定	10
2.2.10 大気密度の算定	10
2.3 その他の環境条件	10
3 設計基準評価	
3.1 概要	11
3.2 設計基準の要求事項	11

4 全体荷重解析評価	
4.1 概要	13
4.1.1 概要	13
4.2 RNA及びタワーの適合性確認に関わる荷重解析の要求事項	13
4.2.1 サイト条件と型式認証で設定された設計値との比較	13
4.2.2 荷重解析	13
4.3 支持構造物の適合性確認に関わる荷重解析の要求事項	14
5 風車（RNA）設計の適合性確認	
5.1 概要	15
5.2 RNA 設計の適合性確認	15
5.2.1 荷重比較による検証	15
5.2.2 サイト固有の荷重による強度検証	15
5.2.3 ナセルカバーの強度評価	15
5.2.4 風車の安全状態の確保するような処置に関わる評価	16
5.3 系統電力喪失時の評価	17
5.3.1 概要	17
5.3.2 バックアップ電源	17
5.4 雷保護対策の評価	18
5.4.1 雷条件	18
5.4.2 雷撃からの保護	19
6 支持構造物設計の適合性確認	
6.1 概要	20
6.2 支持構造物設計要件	20
6.3 支持構造物（タワー）の設計の適合性確認	22
6.4 支持構造物（基礎）の設計の適合性確認	22
6.4.1 概要	22
6.4.2 支持構造物（基礎）の強度評価	22
Annex A 観測データの評価方法	24
Annex B 気流解析及び妥当性確認方法	26
Annex C 風条件の評価方法	29
Annex D タワー構造に関わる設計手法	36
Annex E 発電用風力設備に関する技術基準に準ずる本技術基準の要求事項の対応表	39

改訂履歴管理

改訂番号	改訂日	改訂内容	作成者	承認者
0	2023.4.5	新規登録適合性確認業務発足による初版制定。 経済産業大臣の認可を受けた日より実施開始。 文書番号：BVJ IND-RCA-TM-001 Rev.0 とする。 英文略語意味合い： BVJ IND：ビューローベリタスジャパン株式会社産業事業本部 RCA：Registered Conformity Assessment of Wind Power Equipment （発電用風力発電設備に対する適合性確認） TM：Technical Manual（技術基準）	黄	中村

1 概要

1.1 適合性確認

- 1) 適合性確認とは、ビューローベリタスジャパン株式会社（以下「BVJC」という。）が電気事業法（昭和39年法律第170号。以下「法」という。）第69条の規定により経済産業大臣の登録を受けて行う適合性確認（法第48条の2第2項に定める「技術基準の適合性確認」をいい、以下「適合性確認」と総称する。）という認証業務である。適合性確認は法に基づき、発電用風力設備に関する技術基準を定める省令（平成9年通商産業省令第53号。以下「省令」という。）に従い、行わなければならない。
- 2) 適合性確認の適用対象物とは、法の第39条第1項及び第56条第1項の規定に基づき、電気工作物のうち発電用風力設備を対象とする。具体的には、日本国内において電気事業法の適用を受ける1基又は複数の風車を設置するプロジェクトを対象とし、風車又は支持構造物及びその基礎を含む。
- 3) 適合性確認の目的とは、型式認証された風車及び確認対象となる支持構造物及び基礎の設計が、外部条件及び電気事業法に基づく要求事項に適合しているかどうかを評価することにある。BVJCは風力発電に特有の設備（ナセル、支持物、基礎等）に係る技術基準適合性を確認し、当該電気工作物が省令に適合しているときは、その旨を記載した証明書を交付する。
- 4) 適合性確認にあたって、基本的に、型式認証された風車を求めるが、型式認証書を取得していない風車で適合性確認を行う場合は、型式認証に準じた評価が別途に必要となる。
- 5) 型式認証された風車に関わる適合性確認は、次のモジュールで構成される。
 - (1) サイト条件の適合性確認
 - (2) 設計基準評価
 - (3) 全体荷重解析
 - (4) 風車(RNA)設計の適合性確認
 - (5) 支持構造物設計の適合性確認

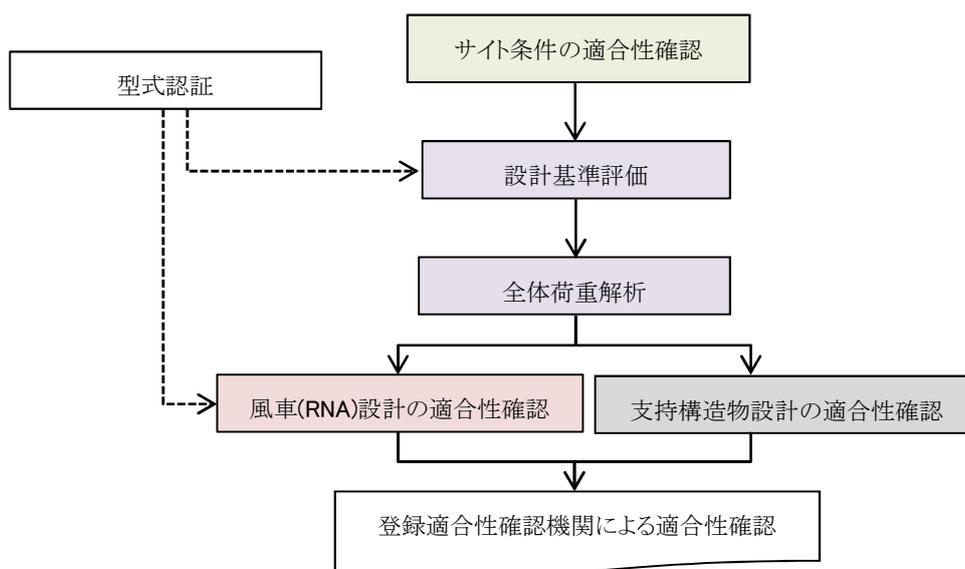


図1 適合性確認のモジュール

1.2 引用基準

適合性確認業務においては、以下引用基準に基づき確認を行うものとする。

次に掲げる法令及び規格は、この技術基準に引用されることによって、この技術基準の規定の一部を構成する。これらの引用基準は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

- (1) 電気事業法（経済産業省、昭和39年法律第170号、令和5年3月20日施行）
- (2) 電気事業法施行規則（経済産業省、平成7年通商産業省令第77号、令和5年3月20日施行。以下「施行規則」という。）
- (3) 発電用風力設備に関する技術基準を定める省令（経済産業省、平成9年3月27日通商産業省令第53号、令和5年3月20日施行）
- (4) 発電用風力設備の技術基準の解釈（経済産業省、20140328 商局第1号平成26年4月1日、最終改正：20220616保局第1号令和4年6月24日、令和4年12月26日施行）
- (5) JIS C 1400-22: 2014：風車-第22部：風車の適合性試験及び認証
- (6) JIS C 1400-1: 2017：風力発電システム-第1部：設計要件
- (7) JIS C 1400-3: 2014：風力-第3部：洋上風車の設計要件
- (8) JIS C 1400-12-1: 2010：風車-第12-1部：発電用風車の性能試験方法
- (9) JIS C 1400-24: 2014：風車-第24部：雷保護
- (10) IECRE OD-502: 2018: IEC System for Certification to Standards relating to Equipment for use in Renewable Energy applications (IECRE System) - Project Certification Scheme
- (11) IEC 61400-1: 2019: Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements
- (12) IEC 61400-3-1: 2019: Wind energy generation systems - Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines measurements of electricity producing wind turbines
- (13) IEC 61400-6: 2020: Wind energy generation systems - Part 6: Tower and foundation design requirements
- (14) IEC 61400-12-1: 2017: Wind energy generation systems - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines
- (15) IEC 61400-24: 2019: Wind energy generation systems - Part 24: Lightning protection
- (16) 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説（土木学会） [2010年版]
- (17) 建築基礎構造設計指針（日本建築学会） [2019年版]
- (18) 建築物の構造関係技術基準解説書 [2020年版]
- (19) 建築物荷重指針・同解説（日本建築学会） [2015年版]
- (20) 煙突構造設計指針（日本建築学会） [2007年版]

1.3 提出文書

適合性確認申請者は、適合性確認の対象物及び区分に応じて次に掲げる文書を BVJC に提出することとする。

1.3.1. 共通文書

- (1) 型式認証書
- (2) 設計基準評価適合証明書（型式認証書に含む可）
- (3) 設計評価適合証明書（型式認証書に含む可）

- (4) 型式試験適合証明書（型式認証書に含む可）
- (5) 製造評価適合証明書（型式認証書に含む可）
- (6) 部品認証書（型式認証書に含む可）

1.3.2. サイト風条件の適合性確認に関わる文書

- (1) 計画サイトの基本情報に関わるレポート

下記内容を含むものとする。

サイトの所在地、採用する風車の型式及びその基数、風車レイアウト、風車座標（世界測地系：WGS 84 及び UTM）、サイトにおける風車運転の計画（カットイン／カットアウト風速、定格出力、定格風速、パワーカーブなど）。

- (2) 現地観測に関わるレポート* 1
- (3) 発電時の風条件に関わるレポート* 2
- (4) 暴風待機時の風条件に関わるレポート* 3
- (5) 暴風継続時間に関わるレポート（バックアップ電源を設ける場合のみ）
- (6) 現地観測データ（気流解析に適用した観測期間に該当する 10 分間平均値の時系列データ）（サイト条件の適合性確認（風条件）に関わる審査において BVJC が必要と認める場合に限る）
- (7) 気流解析として実施した CFD 解析結果の報告書
- (8) 発電時及び暴風時の下記項目の気流解析と観測データの比較結果
 - ・ 風向別の平均風速
 - ・ 風向別のウィンドシアの鉛直プロファイル
 - ・ 風向別の乱流強度

注記：

- * 1：風況ポール詳細図、風速計校正記録、計器詳細、観測期間、データ充足率、气象台計測データとの相関解析等のデータを含む。
- * 2：風向分布、平均風速、ワイブルパラメータ(A, K)、ウィンドシアベキ指数、乱流構造補正パラメータ（以下、 C_{ct} ）、後流影響評価、周辺乱流（Ambient Turbulence）、代表乱流（Representative Turbulence）、有効乱流（Effective Turbulence）、気流傾斜角及び気温等を含む。
- * 3：再現期間 50 年のハブ高さにおける 10 分間平均風速 U_h 、再現期間 50 年のハブ高さにおける 3 秒間平均風速 U_{e50} 、乱流強度 I_{h1} 及びウィンドシアのベキ指数等を含む。

1.3.3. 風車（RNA）設計の適合性確認に関わる文書

- (1) 設計基準に関わるレポート（3.2.2 に記載の内容）
- (2) 型式認証時に設定した設計荷重（認証設計荷重と）全体荷重解析から得られたサイト固有の荷重（サイト荷重）の値、及びそれらの比較に関わるレポート
- (3) サイト荷重が認証設計荷重を超過した場合の、関連する RNA を構成する部品の強度計算に関わるレポート
- (4) 型式認証条件からの振動モード／固有振動数の変化のレポート
- (5) 型式認証では完全に包含されていない、サイト向けに新たに変更された、又は強化された RNA を構成する

部品及びシステムがある場合は当該部品／システムに関するレポート

- (6) バックアップ電源を設ける場合に、5.3.2 に規定する要求事項を満足していることが確認できるレポート
- (7) ナセルカバー強度計算書
- (8) IEC 荷重ケース (Interpretation of IEC Load Cases)
- (9) 5.4 に規定する雷撃からの保護についての対策をまとめた資料
- (10) 5.2.4 に規定する風車の安全状態の確保するような処置に関わる説明資料

1.3.4. 支持構造物設計の適合性確認に関わる文書

1.3.4.1 支持構造物設計の適合性確認に関わる共通文書

- (1) 設計概要書
 - ・一般事項 (工作物名称, 設置場所, 地域・地区, 事業者, 設計者名, 監理者名, 施工者名等)
 - ・工作物概要 (高さ関係諸元, 構造種別, 主要設備 等)
 - ・工作物計画概要 (敷地周辺環境, 全体計画 等)
 - ・主要図面 (配置図, 平面図, 立面図 等)
- (2) その他
 - ・施工計画概要
 - ・施工の基本方針

1.3.4.2 支持構造物 (タワー) に関わる文書

- (1) 設計基準に関わるレポート (3.2 3) に記載の内容を含み、風車設計の適合性確認と共通としても差し支えない)
- (2) 型式認証書に記載のタワーを採用する場合、型式認証時に設定した設計荷重 (認証設計荷重) と全体荷重解析から得られたサイト固有の荷重 (サイト荷重) の値、及びそれらの比較に関わるレポート
- (3) 前(2)でサイト荷重が認証設計荷重を超過する場合、もしくは型式認証書に記載のないタワーを採用する場合、サイト荷重を適用したタワーの構造設計の強度計算に関わるレポート
- (4) 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説の要求事項及び、発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈を満足していることを示す構造計画及び構造設計概要書:
 - ・構造計画概要 (主体構造及び架構形式, 目標とする構造性能, 耐震・耐風設計方針, 上部構造の部材設計方針, 基礎の設計方針, 工作物の支持条件, 施工計画等)
 - ・構造設計概要 (使用材料及び許容応力度, 設計用荷重, 応力解析概要及び使用プログラム, 応力図, 部材の断面設計, 風圧等)
 - ・時刻歴応答解析概要 (使用プログラム, 固有値解析, 設計用地震動の設定方法, 応答解析結果とその検討)
 - ・構造計算書 (耐震設計及び耐風設計に関する検討)
 - ・構造設計図 (配置図, 平面図, 主要立面図, 主要断面図, 主要矩計図, 継手等の詳細図, 断面リスト及びその他特殊構造部分の構造図)
 - ・実験及び調査報告書 (実験又は特別な調査に基づいて構造計算及び検討を行った場合に, 提出が必要)
- (5) 6.3 に規定する項目に対する検討結果を含むレポート

(6) 型式認証条件からの振動モード/固有振動数の変化のレポート

支持構造物設計の適合性確認（基礎）の審査申込を行わない場合は、1.3.5に規定する審査用資料のうち以下に掲げる文書をBVJCに提出しなければならない。

電気事業法に基づく工事計画届に添付する支持物の強度計算書一式のうち以下の内容に該当するレポート

- 地盤調査
- 地震応答解析
- 施工計画
- 特殊な材料

1.3.4.3 支持構造物設計の適合性確認（基礎）に関わる文書

(1) 前 1.3.4.1 に規定する支持構造物設計の概要説明資料

(2) 地盤調査書

- ・地盤概要, 実地調査の概要, 土質柱状図及び調査位置図, 地層断面想定図, 各種実施調査関係資料（地下水水位, 地盤の工学的性質）

(3) 構造計画及び構造設計概要書

風力発電設備支持物構造設計指針・同解説の要求事項及び、発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈を満足していることを示す構造計画及び構造設計概要書:

- ・構造計画概要（目標とする構造性能, 耐震設計方針, 基礎の設計方針, 工作物の支持条件, 施工計画等）
- ・構造設計概要（使用材料及び許容応力度, 設計用荷重, 応力解析概要及び使用プログラム, 応力図, 部材の断面設計等）
- ・基礎構造設計（設計方式と地業形式・工法, 許容支持力, 液状化の検討, 即時・圧密・不同沈下の検, 杭の検討, 土圧の検討, その他）
- ・時刻歴応答解析概要（使用プログラム, 固有値解析, 設計用地震動の設定方法, 応答解析結果とその検討）
- ・構造計算書（耐震設計に関する検討）
- ・構造設計図（配置図, 平面図, 主要立面図, 主要断面図, 主要矩計図, 継手等の詳細図, 断面リスト及びその他特殊構造部分の構造図）
- ・実験及び調査報告書（実験又は特別な調査に基づいて構造計算及び検討を行った場合に, 提出が必要）

(4) 6.4 に規定する項目に対する検討結果を含むレポート

2 サイト条件の適合性確認

2.1 概要

- 1) 適切なレベルの安全性と信頼性を確保するために、設計に関連するサイト固有の外部条件とパラメータを考慮しなければならない。
- 2) 外部条件は、適切な確率レベルを考慮して構造に最も厳しくなるような条件で指定されなければならない。
- 3) サイト条件の適合性確認は、サイト固有の観測値に基づく実施でも許容範囲として認められる。一般に、サイト固有の観測値は、近隣地点における長期観測データとの相関関係を評価しなければならない。サイト固有の観測値の取得期間は、信頼できるデータを得るために十分な期間に亘ったものでなければならない。

2.2 風条件

2.2.1 観測データの評価

- 1) 外部条件の評価は、計画ウィンドファームを代表する一つ又は複数の地点に設置した風況観測塔を用いて取得したデータにより行わなければならない。観測期間は、季節的な影響が入るように少なくとも 1 年以上とし、信頼できるデータを得るのに十分な期間としなければならない。
- 2) 観測地点は、計画ウィンドファームのサイト固有条件（地形、標高、地表面粗度、年平均風速、乱流強度等）を代表する地点を選定する。代表する地点を選定するにあたっては、気流解析を用いるのが望ましい。気流解析を用いる場合は、2.2.3 を参照する。
- 3) 観測高度は、原則として計画ハブ高度の 2/3 以上としなければならない。観測地点と風車建設地点の距離は、表 2.1 に示す地形の複雑度に応じた代表半径以内にするのが望ましい。
- 4) 風況観測マストだけでは計画ハブ高さの 2/3 以上の位置での観測が困難である場合、鉛直ライダー等のリモートセンシング機器との組み合わせによる観測として差し支えない。この場合であっても、風況観測マストは可能な限り高くしなければならない。また、風況観測マストとリモートセンシング機器は同時観測を行い、これらの観測データは表 2.2 に示す相関関係に関わる要求値を満足しなければならない。
- 5) 風速計は、観測マスト及びブームからの影響が最小となるように配置しなければならない。なお、風況観測塔及び観測機器の設置方法は Annex A に従ってもよい。
- 6) 観測機器の故障等で観測データが欠けている期間や異常なデータとなっている期間がある場合、適切な方法によりデータを補完しなければならない。なお、データ補完処理後の有効データ率は 95%以上としなければならない。
- 7) メイン風速計及び風向計、あるいは IEC 61400-12-1 に準拠して設置したバックアップセンサーのフィルター処理後のデータの充足率は 90%以上としなければならない。また、サイト内で計測した別の観測データ又は近隣気象観測所のデータを使用して、MCP 法(Measure-Correlate-Predict method：計測-相関-推測法)等により補完を実施する場合、処理後のデータの充足率は 95%以上としなければならない。なお、MCP 法による補完を実施する場合、相関係数は 0.8 以上が望ましい。
- 8) 観測されたデータについては、サイトの近隣気象観測所の長期観測データを用いて平年値との比較を行い、平年値を下回っている場合には、適切に補正しなければならない。
- 9) 観測データ報告書及び解析結果については、適切な形でレポートにまとめて提出しなければならない。
- 10) 風況観測データにおいて、隣接する高度の風向が大きく異なる場合や、一部の風向のウィンドシアのべき指数が他と大きく異なる場合などの特異な傾向が認められる場合、その原因について考察しなければならない。

- 11) リモートセンシング機器による観測データは、以下に掲げる条件に応じて表 2.2 に従い同時観測を行った風況観測マストによる観測データとの相関を確認することで、観測データとして適切であることが確認されなければならない。なお、いずれの場合も風況観測マストの最も高い位置での観測データを用いることを原則とする。
- (1) 観測マストとリモートセンシング機器による観測データを組み合わせることにより、ハブ高さでの観測データとして扱い、気流解析の入カデータとする場合
 - (2) 観測マストの観測データを気流解析の入カデータとし、その気流解析の妥当性の検証用にのみリモートセンシング機器による観測データを用いる場合
- 12) リモートセンシング機器による観測データの有効データ率は、6)の規定による。ただし、マストの観測データを気流解析の入カデータとし、その気流解析の妥当性の検証用にのみリモートセンシング機器による観測データを用いる場合、季節性の影響が十分に得られていることが定量的に示されている場合に限り、その有効データ率は 6)の規定に拠らなくてもよい。

表 2.1 観測高さ及び代表半径 (MEASNET)

地形クラス	最小観測高さ	観測マストの代表半径
平坦地形	ハブ高さの 2/3	10km
複雑地形	ハブ高さの 2/3	2km

表 2.2 観測マストとリモートセンシング機器による観測データの相関

条件	風速に関わる要求事項	風向に関わる要求事項
(1)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 決定係数 R^2 : > 0.98 ・ 回帰直線の傾斜 : 0.98 - 1.02 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 決定係数 R^2 : > 0.97 ・ 回帰直線の傾斜 : 0.97 - 1.03 ・ 回帰直線の切片 : < 5°
(2)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 決定係数 R^2 : > 0.97 ・ 回帰直線の傾斜 : 0.97 - 1.03 <p>※これらの要求事項を満足できない場合、気流解析等の結果を用いてその理由を定量的に示さなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 決定係数 R^2 : > 0.95 ・ 回帰の傾斜 : 0.95 - 1.05 ・ 回帰直線の切片 : < 10° <p>※これらの要求事項を満足できない場合、気流解析等の結果を用いてその理由を定量的に示さなければならない。</p>

2.2.2 地形的複雑さの評価

- 1) 気流解析のモデルの選定及び評価風向セクター数の評価のため、 C_{ct} を観測マスト位置及び風車位置に対して算定することで、地形の複雑さをそれぞれ判定しなければならない。具体的な判定手法については、以下のいずれかに従わなければならない。
 - (1) JIS C 1400-1:2017, 11.2 項 (IEC 61400-1 Ed.3.1, 11.2)
 - (2) IEC 61400-1:2019, 11.2
- 2) 計画サイトにおいて、 $C_{ct} \geq 1.05$ となる観測マストもしくは風車が一つでもある場合、当該サイトは複雑地形に該当するものとして扱わなければならない。

2.2.3 気流解析

- 1) 風車位置の風条件を予測するため、気流解析を実施しなければならない。なお、気流解析にあたっては、以下の項目を適切に実施しなければならない。
 - (1) 気流解析モデル及び風向セクター数は、2.2.2 に示す地形の複雑度判定に基づき、表 2.3 により選定する。
 - (2) 気流解析の解析条件は、Annex B に従って適切に設定する。
 - (3) 気流解析の結果の妥当性確認は、平均風速・乱流強度・ウィンドシアについて、方位別にサイトの風況観測データとの比較によって示す。

表 2.3 気流解析モデル及び風向セクター数の要求事項

地形の複雑度	気流解析モデル	風向セクター数
平坦地形	線形モデル/非線形モデル	12 以上
複雑地形	非線形モデル	16 以上

- 2) 気流解析の妥当性を示すため、以下項目について、設定条件及びその妥当性を明確に示さなければならない。また、計算領域及び計算格子の図（図中に観測地点、風車設置地点を表示）を示さなければならない。
 - (1) 入力地形データ
 - (2) 地表面粗度データ
 - (3) 計算領域
 - (4) 計算解像度
 - (5) 境界条件
 - (6) 方位分割

2.2.4 風速出現頻度分布の算定

- 1) サイトの風況観測データを用いて、風車位置のハブ高さにおける方位別の出現頻度及び方位別のワイブルパラメータを算定しなければならない。
- 2) 方位別に出現頻度に加えて、方位別のエネルギー密度を算定しなければならない。
- 3) ワイブルパラメータの算定については、Annex C の式 (C.2.1) に従ってもよい。

2.2.5 乱流強度の算定

- 1) サイトの風況観測データを用いて、風車位置のハブ高さにおける乱流強度を算定しなければならない。
- 2) 乱流強度は周囲乱流 (Ambient Turbulence)、代表乱流 (Representative Turbulence) 及び有効乱流 (Effective Turbulence) の値を算出しなければならない。
- 3) 乱流標準偏差については、主風向成分 $\hat{\sigma}_1$ だけではなくその横方向成分 $\hat{\sigma}_2$ 及び上方向成分 $\hat{\sigma}_3$ についても適切に評価しなければならない。
- 4) 乱流成分に関するサイトのデータがなく、かつ地形が複雑な場合には、主流方向成分に対する横方向及び上方向の乱流標準偏差の比率は、それぞれ 1.0 及び 0.7 と仮定して良い。
- 5) 乱流強度の具体的な算定方法は Annex C に従ってもよい。

2.2.6 ウィンドシアの算定

- 1) サイトの風況観測データを用いて、風車位置のロータ受風面の高さ方向のウィンドシアのベキ指数を算定しなければならない。
- 2) 発電時の風条件に対応するウィンドシアのベキ指数については、サイトの風況観測データから予測される風車位置での方位別の値を 2.2.4 で求めた出現頻度で荷重平均した値を用いなければならない。
- 3) 暴風時の極値風速に対応するウィンドシアのベキ指数は、2.2.9 の 4) に従って算定しなければならない。

2.2.7 気流傾斜角の算定

- 1) 風車位置のハブ高さにおける方位別の気流傾斜角を求め、方位別の出現頻度で荷重平均した気流傾斜角を算定しなければならない。
- 2) 気流傾斜角の具体的な算定方法は Annex C に従ってもよい。

2.2.8 隣接風車の後流影響評価

- 1) 発電中の隣接風車の後流影響を適切に評価しなければならない。また、風車の運転について、セクターマネジメントを設定する場合には、その影響を適切に考慮しなければならない。
- 2) 風上に位置する風車からの単一又は複数の後流を考慮した乱流特性を、風車間の距離の影響を含めて、発電に関係するすべての周囲風速及び風向に対して考慮しなければならない。なお、後流影響を評価する際には、検討対象の風車からの距離が 10D の範囲に位置する全ての風車を考慮しなければならない。この場合の D は隣接する風車のロータ径とする。
- 3) 周囲乱流及び離散し乱れた後流の影響の考慮については、有効乱流強度 (I_{eff}) を用いることとして差し支えない。
- 4) 疲労計算に関する有効乱流強度は、JIS C 1400-1: 2017 附属書 D など、適切なモデルに基づいて算定しなければならない。大規模ウィンドファームの場合、 I_{eff} は JIS C 1400-1: 2017 附属書 D に基づく、Frandsen モデルを適用した場合と大規模ウィンドファーム効果に関わる規定を使用した場合との比較を行い、その妥当性を検証した上でどちらを用いて算定するか判断しなければならない。
- 5) 後流の影響を含む極値乱流は、最も厳しい方向における後流の中心における最大乱流としてよい。

2.2.9 暴風待機時の極値風速及び乱流強度の算定

- 1) 風車位置のハブ高さにおける再現期間 50 年の極値風速として 10 分間平均風速 U_h 、 U_h に対する乱流強度 I_{h1} 及び 3 秒間平均風速 U_{e50} を算定しなければならない。
- 2) 再現期間 50 年の 10 分間平均風速 U_h の算定方法は、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2010 年版]に準拠している Annex C 3.1 に従わなければならない。
- 3) 再現期間 50 年の極値風速のうち、3 秒間平均風速 U_{e50} については、信頼に足る乱流強度の観測データがある場合に限り、Annex C 3.2 に代えて Annex C 3.3 に従ってもよい。
- 4) 再現期間 50 年の 10 分間平均風速 U_h に対応するウィンドシアのべき指数は、以下の項目のうち最も安全側の数値を採用しなければならない。
 - (1) Annex C に定める地表面粗度区分に応じたべき指数
 - (2) JIS C1400-1:2017 で規定される再現期間 50 年の 10 分間平均風速に対応するウィンドシアのべき指数
 - (3) Annex C.3.2.3 で規定される再現期間 50 年の 10 分間平均風速に対応するべき指数

2.2.10 大気密度の算定

- 1) 現地観測データにより大気密度を算定しなければならない。
- 2) 大気密度の具体的な算定方法は Annex C に従ってもよい。
- 3) 暴風待機時の大気密度は建築物荷重指針・同解説を参考にできる。

2.3 その他の環境条件

サイトの特性に応じて以下に示す環境条件による影響の可能性の有無を検討しなければならない。

- 1) 通常気温及び極値気温
- 2) 雷条件の評価方法を 5.4 に示す。
- 3) 設計垂直積雪量の評価方法を 6.2 1)に示す。
- 4) 地質・地盤条件の評価方法を 6.2 2)に示す。
- 5) 地震条件の評価方法を 6.2 1)に示す。

3 設計基準評価

3.1 概要

- 1) 設計基準評価の目的は、風車型式が設計での想定内容、特定の規格及びその他の技術要求事項に従って設計され、文書化されているかを評価することにある。なおかつ、設計基準が安全な設計及びプロジェクト遂行のために十分なものとなっているかを審査することにある。

3.2 設計基準の要求事項

- 1) 設計基準には、次の事項が含まれる。

- (1) サイト条件
- (2) 設計手法及び原理
- (3) 適用基準及び規格
- (4) 風車の型式、主要仕様書又は型式認証書で標準的仕様からの変更点が明示されたもの
- (5) 支持構造物の仕様

- 2) 風車 (RNA) の設計基準を示す文書には、次の事項についてどのように定めたのかを含めて記載しなければならない。

- (1) 基準及び規格
- (2) サイト条件

－ 発電時の風条件

- ・ 乱流強度補正パラメータ： C_{ct} （観測マスト位置、風車位置）
- ・ 平均風速（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 乱流強度【通常乱流モデル (NTM)及び極値乱流モデル (ETM)】（風車位置・ハブ高さ）
- ・ べき指数（風車位置）
- ・ 気流傾斜角（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 空気密度（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 設計温度範囲（風車位置・ハブ高さ）
- ・ その他型式認証で設定されている条件

－ 暴風待機時の風条件

- ・ 再現期間50年の10分間平均風速（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 再現期間50年の3秒平均風速（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 再現期間1年の10分間平均風速（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 再現期間1年の3秒平均風速（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 再現期間50年及び1年の風速に対応する乱流強度（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 再現期間50年及び1年の風速に対応するべき指数（風車位置・ハブ高さ）
- ・ 再現期間50年及び1年の風速に対応する空気密度（風車位置・ハブ高さ）
- ・ その他型式認証で設定されている条件

- (3) 風車運転条件

- ・ カットイン風速・カットアウト風速・定格風速・定格発電量など
 - ・ セクターマネジメントの設定の有無及び設定する場合はその詳細
 - ・ 発電量を低減して高風速での運転を行う場合は、その運転条件（パワーカーブ及び運転制御の明示）
 - ・ 暴風待機時に系統連系を喪失した場合に、バックアップ電源によって運転制御を継続する際の運転条件（適用する場合）
- (4) 風車の仕様が型式認証時の仕様からの変更がある場合は、その変更前後の仕様の比較
- (5) 全体荷重解析においては以下の項目について記載しなければならない。
- ・ 荷重解析モデルの概要及び当該荷重解析手法
 - ・ 荷重ケース表
 - ・ 荷重計算に関わるパラメータ
 - ・ 荷重係数及び荷重低減係数
- (6) その他、BVJCが必要と認める項目
- 3) 支持構造物の設計基準を示す文書には、次の事項についてどのように定めたのかを含めて記載しなければならない。
- (1) 基準及び規格
 - (2) サイト条件
 - (3) 支持構造物の仕様
 - (4) 設計方針（要求性能と照査項目、使用材料と材料定数、形状の許容公差及び腐食予備厚など）
 - (5) 荷重解析手法、及び当該手法を適用することの妥当性
 - (6) それぞれの荷重に対する部分安全係数及び荷重低減係数、及び当該係数を適用することの妥当性
 - (7) 終局及び疲労強度に関する評価手法、及び当該手法を適用することの妥当性

4.3 支持構造物の適合性確認に関わる荷重解析の要求事項

- 1) 以下に示す省令及び指針の要求事項に応じて支持構造物の適合性確認に関わる荷重解析を実施しなければならない。
 - (1) 1.2 (1)に示す発電用風力設備に関する技術基準を定める省令
 - (2) 1.2 (2)に示す発電用風力設備に関する技術基準の解釈
 - (3) 1.2 (3)に示す発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈に関する逐条解説
 - (4) 1.2 (13)に示す風力発電設備支持物構造設計指針・同解説
 - (5) 1.2 (15)に示す建築物の構造関係技術基準解説書
- 2) 前 1)によって算定された荷重に加えて、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説の 2.2 項及び 4.1.2 項の規定に従い、型式認証時にタワーに対して適用した荷重及び 4.2.2 で規定するサイト条件に基づいて算定したタワーに対するサイト荷重を適切に考慮して、サイトにおけるタワーの設計荷重及び基礎に対するローディングデータを設定しなければならない。
- 3) 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説に従って実施する地震応答解析に適用する解析モデルでタワーに対して設定する構造減衰比については、Annex D.2 に従って算定しなければならない。
- 4) 地震応答解析において等価線形解析を行い、その結果せん断歪が 1%を超えている場合、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説に記載の液状化地盤の応答計算フロー (p.170, 図解 5.11) は適用できない。この場合、有効応力解析など別の方法で実施する必要があることに留意すること。
- 5) 杭基礎の場合で風力発電設備支持物構造設計指針・同解説の規定によらず薄層法等を用いて地盤ばねを設定する場合には、その設定が妥当であることを適切に示すこと。

5 風車（RNA）設計の適合性確認

5.1 概要

- 1) サイト条件に対する風車の構造的な健全性は、全体荷重解析によるサイト固有の荷重を、型式認証で用いられた設計荷重と比較することにより示さなければならない。
- 2) 風車の型式認証書には記載されていない、新規の部品、改良又は補強された部品、及び新規又は改良されたシステムがある場合、該当する部品及びシステムは型式認証に対する要求基準にも適合しなければならない。
- 3) 型式認証を取得していない風車の場合、BVJC が適当と認めるところによる。

5.2 RNA 設計の適合性確認

5.2.1 荷重比較による検証

- 1) 全体荷重解析によるサイト固有の荷重が、型式認証で用いられた設計荷重（以下、許容設計荷重）を上回らない場合、サイト条件に対する風車の構造的な健全性は担保されるものとする。
- 2) 1)の内容を示すためにサイト固有の荷重と許容設計荷重を比較する評価対象箇所については、少なくとも以下の項目を考慮しなければならない。なお、RNA の仕様・構造に応じて適切に以下の項目以外にも評価対象箇所を設定しなければならない。
 - (1) ブレードルート部及びプレードルート部以外で最大荷重となる部位を含む 6 箇所以上の断面位置
 - (2) ブレードベアリング
 - (3) ピッチシステム
 - (4) ハブ（固定時）及びハブ（運転時・遊転時）
 - (5) 主軸及び主軸ベアリング
 - (6) ヨーシステム
 - (7) タワートップ
 - (8) ナセル架台
 - (9) その他評価が必要な主要部品

5.2.2 サイト固有の荷重による強度検証

- 1) 全体荷重解析によるサイト固有の荷重が、許容設計荷重を上回る場合、その影響を受ける部品についてサイト固有の荷重に対する健全性を検証しなければならない。
- 2) 1)の検証については、型式認証で用いられた強度評価方法に基づき、サイト固有の荷重による応答を求め、その部品固有の耐力に対する裕度を示さなければならない。

5.2.3 ナセルカバーの強度評価

ナセルカバーについては、全体荷重解析によって求められる荷重に対して十分な耐力を有する構造仕様としなければならない。風荷重係数の設定に必要な外圧係数については、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2010年版]の規定に準拠するか、風洞試験もしくは風洞試験によってその妥当性が示された数値解析の結果など十分な根拠をもって設定しなければならない。

- 1) ナセルカバーのピーク風力係数は次の算式 5.1 によって設定しなければならない。

$$\widehat{C}_c = \widehat{C}_{pe} - C_{pi} \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで、

\widehat{C}_c : ピーク風力係数

\widehat{C}_{pe} : ピーク外圧係数

C_{pi} : 内圧係数で、表 5.1 のとおりとする。

表 5.1 内圧係数

	負圧側	正圧側
風上側の面に開口がない場合	0.0	-0.5
風上側の面に開口がある場合	0.5	0.0

2) ピーク外圧係数は式 5.2 によって算定しなければならない。

$$\widehat{C}_{pe} = \overline{C}_{pe}(1 + 7I_p) \dots \dots \dots (5.2)$$

ここで、

\widehat{C}_{pe} : ピーク外圧係数

\overline{C}_{pe} : 平均風圧係数に対応する係数で風力発電設備支持物構造設計指針・同解説に従う。

I_p : ハブ高さにおける乱流強度

なお、ピーク外圧係数については、5.2 式により算出の代わり、風洞実験の結果に基づいて設定してもよい。

- 3) 荷重ケースは、JIS C1400-1 で規定される DLC6.1 と DLC6.2 を含むこと。前 1)による風荷重係数を用いてナセルカバーに対する荷重を算出する場合には、部分安全係数を適切に考慮しなければならない。
- 4) サイト条件に基づき、5.2.3 に従って算定した風荷重に対するナセルカバーの強度評価については、原則として型式認証時に適用した強度評価手法と同じ手法とし、許容値等の設定も当該手法に従うことで差し支えない。

5.2.4 風車の安全状態の確保するような処置に関わるの適合性確認

- 1) 次の項目について、適切な措置を講じなければならない。
 - (1) 負荷を遮断したときに到達することが想定される最大回転速度に対しても、十分な耐力を有すること。
 - (2) 運転中に構造強度に影響を与えるような共振を発生させないこと。
 - (3) カットアウト風速を超えた状態での起動を発生させないこと。
- 2) 次の場合においても、安全かつ自動的に停止させる機能を有し、かつ停止後の安全な状態を維持されていることを確認する。
 - (1) 回転速度が著しく上昇した場合
 - (2) 風車の制御装置の機能が著しく低下した場合

5.3 系統電力喪失時の評価

5.3.1 概要

- 1) 風車は、連系する系統電力が喪失した場合においても、次の項目について風車の安全性を確保しなければならない。
 - (1) 系統電力の喪失時に自動的に停止させるための措置
 - (2) 系統が復帰するまで安全を確保した状態の維持
- 2) 1)-(2)については、全体荷重解析に適用する設計荷重ケースとして、JIS C 1400:2017 で規定される DLC6.2 を考慮することによって担保されるものとする。
- 3) 1)の要求事項を満足するために、系統電力喪失時にバックアップ電源を用いて風車の制御を継続する場合には、5.3.2 を満足することによって全体荷重解析に適用するケースから DLC6.2 を省略しても差し支えない。

5.3.2 バックアップ電源

- 1) 系統電力喪失時にバックアップ電源を用いて風車の制御を継続する場合には、次の(1)から(4)の項目を満足しなければならない。
 - (1) 最大風圧が発生する状態として、風向とヨー角度の関係について設計上明確にすることに加えて、信頼に足る期間・回数の実測データによってその設計の確からしさが検証されていること。
 - (2) (1)の結果から得られる最大ヨー誤差と $\pm 8^\circ$ のうち大きい方を箇条 4 で規定される全体荷重解析に用いる設計荷重ケースの DLC6.1 におけるヨー誤差のパラメータとして採用すること。
 - (3) バックアップ電源の容量が、サイト固有の条件に基づいて適切に設定されていること。
 - (4) バックアップ電源に関するシステムの信頼性が確保されており、バックアップ電源の供給に関わるパラメータが適切に設定されていること。
- 2) 最大ヨー誤差の設定にあたっては、サイト固有の極値風速状態に対して、次の(1)から(9)に示す項目を評価・確認しなければならない。また、これら項目の評価・確認においては、実測データによりその妥当性が示されなければならない。
 - (1) ヨー制御で必要とされる風速・風向計の制度が担保され、かつ取付部を含む風速・風向計が十分な強度を有していること。
 - (2) ヨー風向追従ロジックが適切であること。
 - (3) ヨー制御に関わる機器の制御ロジックが適切であること。
 - (4) ヨー制御の制御ロジックに対してヨードライブの仕様が適切であり、かつ十分な強度を有していること。
 - (5) ヨー制御の制御ロジックに対してヨーブレーキの仕様が適切であること。
 - (6) ブレードフェザー状態の維持に必要なピッチ制御機構を備えており、かつ十分な強度を有していること。
 - (7) 極値風速状態を再現できるシミュレーション手法によって荷重計算を行っていること。
 - (8) 風力トルク、ヨードライブトルク及びヨーブレーキ等、ヨー制御に必要な駆動力（風力トルクがヨー旋回方向と逆に作用する場合）又は制動力（風力トルクがヨー旋回方向に作用する場合）の設定が適切であること。
 - (9) ヨー制御に関連するヨードライブやヨーブレーキの一部が何らかの理由で故障するなど、フェールセー

フの考え方を適用した場合でもヨー制御に必要な駆動力を有していること。

(10) 個々の風車に応じ、その他 BVJC が必要と認める項目

3) バックアップ電源の容量は、想定暴風継続時間及び当該時間における風向偏差に基づいて必要電力量を算出し、決定されなければならない。必要電力量は、次の(1)及び(2)のうち大きい方を採用しなければならない。

(1) サイト固有の条件を用いた台風シミュレーションによって暴風の最大継続時間と風向の最大偏差をそれぞれ求め、これらが同時に発生するとした場合の下でのヨー制御及び関連する制御に必要な電力量を算出する。なお、この場合の暴風の定義は、制御及び設計方針によって異なることから、個別に設定しなければならない。

(2) サイトの基準風速 V_0 を用い、「 V_0-24 」により求められる値を暴風の最大継続時間と定義する。その時間内に風向偏差が 180° 発生すると仮定し、この条件の下でのヨー制御及び関連する制御に必要な電力量を算出する。

5.4 雷保護対策の評価

5.4.1 雷条件

1) 風車及びウィンドファームの計画設置地点における雷条件は、落雷頻度、落雷日数分布等により地域特性を評価しなければならない。

2) 地域ごとの被雷頻度は、図 5.1 に示す実践で囲まれた区域、点線で囲まれた区域及びその他の区域の3つに区別される。

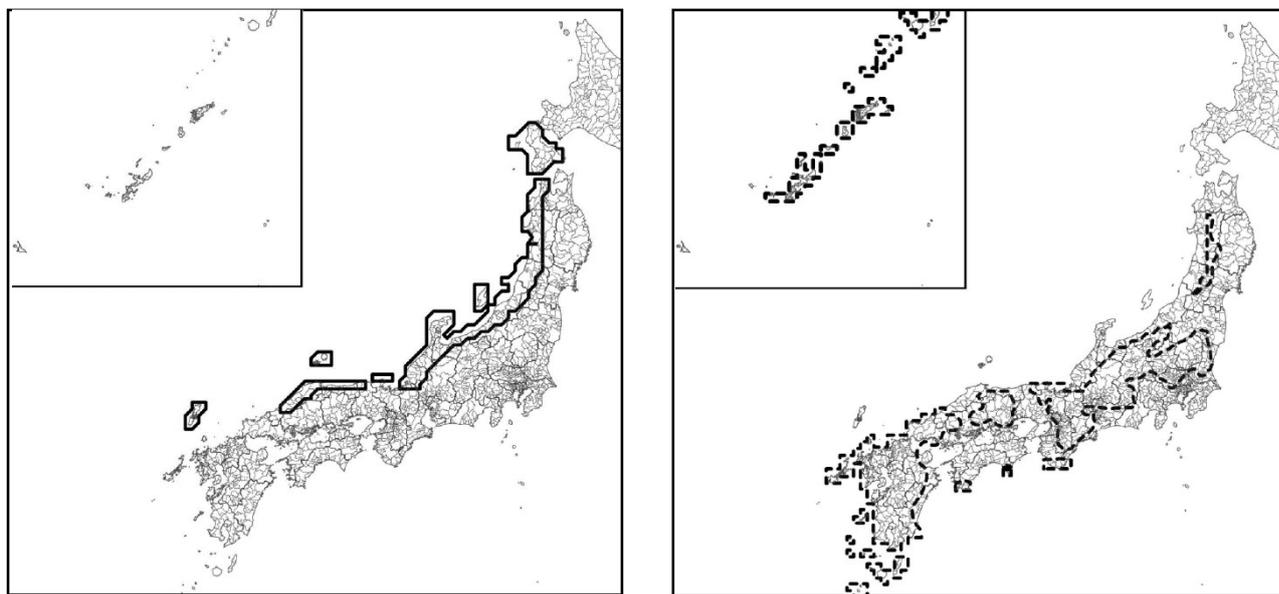


図 5.1 被雷リスクマップ

5.4.2 雷撃からの保護

1) 高さが 20 メートルを超える発電用風力設備には、雷撃から風車を保護するため、以下の措置を講じなければならない。ただし、当該風車を保護するように避雷塔、避雷針その他の避雷設備が施設されている場合であつて、雷撃が風車を損傷する恐れがない場合はこの限りではない。

(1) 図 5.1 の実線で囲まれた地域

- ・ 風車への雷撃の電荷量を 600 クーロン異常と想定して設計すること。
- ・ 雷撃から風車を保護する効果が高く、かつ容易に脱落しないレセプターを風車へ取り付けること。
- ・ 雷撃によって生じる電流を風車に損傷を与えることなく安全に地中に流すことができる引き下げ導体等を施設すること。
- ・ 風車への雷撃があつた場合に直ちに風車を停止することができるように、非常停止装置等を施設すること。

(2) 図 5.1 の点線で囲まれた地域

- ・ 風車への雷撃の電荷量を 300 クーロン以上と想定して設計すること。
- ・ 雷撃から風車を保護する効果が高く、かつ容易に脱落しないレセプターを風車へ取り付けること。
- ・ 雷撃によって生じる電流を風車に損傷を与えることなく安全に地中に流すことができる引き下げ導体等を施設すること。

(3) 図 5.1 の実線又は点線で囲まれた地域以外の地域

- ・ 風車への雷撃の電荷量を 150 クーロン以上と想定して設計すること。
- ・ 雷撃から風車を保護する効果が高く、かつ容易に脱落しないレセプターを風車へ取り付けること。
- ・ 雷撃によって生じる電流を風車に損傷を与えることなく安全に地中に流すことができる引き下げ導体等を施設すること。

2) 風車を支持する工作物（船舶安全法（昭和 8 年法律第 11 号）第 2 条第 1 項の規定の適用を受けるものを除く）の高さが 20 メートルを超える部分を雷撃から保護するように、次に掲げる要件のすべてを満たす避雷設備を設けること。

- ・ 雷撃によって生ずる電流が風車を支持する工作物に被害を及ぼすことなく安全に地中に流すことができる避雷設備として、JIS C 1400-24(風車の雷保護):2014 に規定する外部雷保護システムに適合する構造であること。
- ・ 避雷設備の雨水等により腐食のおそれのある部分にあつては、腐食しにくい材料を用いるか、又は有効な腐食防止のための措置を講じたものであること。

6 支持構造物設計の適合性確認

6.1 概要

- 1) 特性サイト向け支持構造物（タワー及び基礎）の設計は、以下に示す省令及び指針に適合したものでなければならない。
 - (1) 1.2 (1)に示す発電用風力設備に関する技術基準を定める省令
 - (2) 1.2 (2)に示す発電用風力設備に関する技術基準の解釈
 - (3) 1.2 (3)に示す発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈に関する逐条解説
 - (4) 1.2 (13)に示す風力発電設備支持物構造設計指針・同解説
- 2) 支持構造物のうち、タワーの設計について型式認証で認められた内容から逸脱する項目がある場合、その逸脱する項目について型式認証取得時と同等の設計検討を行った結果を示さなければならない。
- 3) 支持構造物のうち、タワーが型式認証に含まれていない場合には、タワーと風車 (RNA)との接続部に関わる詳細評価など、一般に型式認証取得時に実施する評価項目を適合性確認でも別途実施する必要があることから、その取扱いは本技術基準の規定に拠らず別途 BVJC が適当と認めるところによる。

6.2 支持構造物設計要件

前 6.1 1)に定める省令及び指針等に基づき、支持構造物のタワー及び基礎に対し、下記要件と検討しなければならない。

- 1) 風車を支持する工作物は、自重、積載荷重、積雪及び風圧並びに地震その他の振動及び衝撃に対して構造上安全でなければならない。
 - ① 固定荷重及び積載荷重
タワーの設計においては、固定荷重はタワー自身の重量と電気ケーブルや階段などの付帯設備の重量を合算したもので精査する必要がある。基礎設計時の固定荷重としては、コンクリート躯体重量に上載土などの重量を加える場合がある。積載荷重は、維持管理時に追加・使用される設備や人員などの重量が考えられるが支配的でない。
 - ② 積雪荷重
次に掲げる方法により計算した特定支持物に作用する積雪荷重によって、特定支持物の構造上主要な部分に損傷を生じないことを確かめる。
 - a) 積雪荷重は、積雪の単位荷重に風車の水平投影面積及びその地方における垂直積雪量を乗じて計算すること。
 - b) a)に規定する積雪の単位荷重は、積雪量 1 cm ごとに 1 m²につき 20 N 以上とすること。ただし、建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号）第 86 条第 2 項ただし書の規定に基づき、特定行政庁（建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号）第 2 条第三十五号に規定する特定行政庁をいう。以下同じ。）が多雪区域を指定し、その区域につきこれと異なる定めをした場合、その定めるところによる。
 - c) a)に規定する垂直積雪量は、平成 12 年建設省告示第 1455 号（多雪区域を指定する基準及び垂直積雪量を定める基準を定める件）第二の規定に基づいて特定行政庁が規則で定める数値とすること。
 - d) a)から c)の規定にかかわらず、特別な調査又は研究により当該特定支持物の存する区域における

50年再現期待値（年超過確率が2%に相当する値をいう。）を求めた場合においては、積雪荷重を当該値とすることができる。

- e) a)からd)までに規定する構造計算は、融雪装置その他積雪荷重を軽減するための措置を講じた場合には、その効果を考慮して積雪荷重を低減して行うことができる。この場合において、その出入口又はその他の見やすい場所に、その軽減の実況その他必要な事項を表示する

③ 風荷重

地上10メートルにおける平均風速が地表面粗度区分を考慮して求めた数値以上である暴風によって、特定支持物の構造上主要な部分に損傷を生じないことを確かめること。この場合において、水平面内での風向と直交する方向及びねじれ方向の特定支持物の振動並びにタワー頂部においては鉛直方向の振動を適切に考慮する。

④ 地震条件及び地震荷重

地震条件は、風車及びウィンドファームの設置地点の座標を特定し、決めなければならない。

建築基準法において、時刻歴応答解析に用いる地震荷重として、観測波・告示波を用いる場合には、地震地域係数を特定することが必要である。一方、サイト波を定義して用いる場合には、設置位置周辺の断層分布、震源距離などの調査が必要となる。

地震荷重については構造計算を行い、稀に発生する地震動によって特定支持物の構造上主要な部分が損傷しないこと、及び極めて稀に発生する地震動によって特定支持物が倒壊、崩壊等しないことを確かめる。

2) 地質及び地盤条件の評価の要求事項

地質条件の評価に当たって、地質調査が地盤調査法によって適切に実施されているかを確認する。地質調査書の記載事項は、地盤概要、実地調査の概要、土質柱状図及び調査位置図、地層断面想定図、各種実施調査関係資料（地下水位、地盤の工学的特性）などの内容を含む。

なお、地盤条件を算定する際には以下の点に留意しなければならない。

- ・ 過去の地震、それに伴う液状化、津波による被災状況について調査し、その結果を参考にしなければならない。
- ・ 工学的基盤を設定する場合、せん断波速度が400m/s以上、層厚が5m以上、傾斜が5度以下（一次元波動論の適用条件）であることを確認しなければならない。
- ・ 津波の影響について検討しなければならない。またその影響をハザードマップにより調査している場合、そのハザードマップの根拠を明確にしなければならない。
- ・ 変形係数の推定のために孔内水平載荷試験を実施している場合、その結果を適切にまとめて示さなければならない。
- ・ せん断波速度を推定する際に太田・後藤の式を用いる場合、地盤調査結果に基づきその推定の妥当性を検証し、かつ推定値のばらつきの影響を評価しなければならない。

3) 支持構造物の構造計算に係る要件は、「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令」の第7条及び「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈」の第12条の第1項の規定に準ずる

4) 支持構造物の材料品質については「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令」の第7条及び「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈」の第10条の第九号の規定に準ずる。

- 5) 支持構造物の構造計算に当たっては、許容応力度、許容せん断応力度及び材料強度について「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令」の第7条及び「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈」の第12条の第3項の規定に準ずる。
- 6) 支持構造物における構造計算は、「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令」の第7条及び「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈」別表第3に掲げる式によって、荷重の組み合わせにより生じる長期、短期及び極めて稀に発生する地震時の各応力度に対して、安全性の評価をおこなう。
積雪時には、定格風速における通常発電中の平均荷重を考慮するものとする。
IEC61400-1に示される風車故障時、緊急停止時、突風時等における風圧荷重は、それらが暴風時及び発電時の最大風圧荷重を上回る場合には、これらの荷重を短期荷重として照査する。
なお、K（稀に発生する地震力によって生ずる力）及びK'（極めて稀に発生する地震力によって生ずる力）については、IEC61400-1に示される以下の3つの荷重のうち最大の荷重によって生ずる力を考慮することとする。
 - a) 定格風速における通常発電中の平均荷重
 - b) 定格風速において決定される緊急停止時の荷重
 - c) 無風時及びカットアウト風速時のアイドルリング又は待機状態の荷重

6.3 支持構造物（タワー）の設計の適合性確認

- 1) 1) 支持構造物（タワー）の設計について、6.1 1)の規定が定める安全性に関わる要求基準を満足していることを示さなければならない。
- 2) 2) 前1)の場合のうち、Annex D に示す手法に基づき設計され、その内容を満足していることが BVJC によって確認された場合は、当該項目については6.1 1)の規定が定める安全性に関わる要求基準を満足していると考えてよい。
- 3) タワー頂部のフランジ、タワーに設ける開口部及び構造上主要な部分の高力ボルトについて、特定支持物に作用する外力により生じる応力が当該部材の許容応力度を超えないこと。
- 4) タワーの溶接部及びボルト接合部が、疲労損傷に対して構造上安全なものであること。
- 5) 開口部は、必要に応じて周囲の板厚を割り増すか、別途補強材を設けるものとする。FEM モデル等の結果からの評価が望ましいが、6.1.1)に示す指針に基づく方法も採用可能である。さらに、繰り返し荷重が支配的になる場合には、「煙突構造設計指針（日本建築学会）」を参考とすることができる。

6.4 支持構造物（基礎）の設計の適合性確認

6.4.1 概要

支持構造物（基礎）の設計が、6.1 1)の規定が定める安全性に関わる要求基準を満足していることを示さなければならない。

6.4.2 支持構造物（基礎）の強度評価

支持構造物（基礎）の強度評価においては、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説の規定に加えて以下の点にも留意すること。

- 1) 杭の支持力は建築基礎構造設計指針に規定される式による評価を追加的に実施しなければならない。

- 2) 杭応力検討時の杭材の性質（線形・非線形）と応力の計算方法の設定を適切に考慮しなければならない。
- 3) 杭の水平抵抗は、建築基礎構造設計指針に規定される群杭フレームモデルを用いた手法による評価を追加的に実施しなければならない。
- 4) 応答変位法を用いて検討する場合、地盤変位と慣性力については、それぞれ同方向と逆方向の組み合わせを考慮しなければならない。
- 5) 地震時に側方流動の発生が予想される場合、その検討の結果から得られる基礎の残留変位について評価しなければならない。

Annex A 観測データの評価方法

A.1 風速

- 1) 風速計測は、カップ形風速計によって行う。風速は、瞬間的な風速ベクトルの水平方向成分の絶対値の平均として定義される。
- 2) カップ型風速計は、計測期間の前に校正し、その校正値を風条件評価に用いる。カップ形風速の校正は、JIS C 1400-12-1 附属書 F の手順に従って実施されたものとする。校正結果を報告書に添付すること。
- 3) カップ形風速計は、地表面からハブ高さの 2/3 以上の位置に取り付ける。それが難しい場合は、可能な限り高い位置に取り付ける。計画サイトのウィンドシアを評価するため、最上部風速計から十分に低い位置（少なくとも 20m）に風速計を 1 個以上追加する。また、バックアップのために、最上部風速計から十分に近い位置（<10m、>1.5m）に風速計を 1 個以上追加する。
- 4) 観測マストへの風速計の取り付けは、風速計がマスト及びブームからの影響を最小にするように設置する。観測マストへの風速計の取り付けは、JIS C 1400-12-1 附属書 G に従って実施するのが望ましい。ブームの取り付けは、円筒マストの場合は主風向から 45°方向、トラス構造の場合には 90°の方向とするのが望ましい。避雷針を設ける場合は、風速計に影響を及ぼさない位置に設置する。
- 5) 風速は 10 分間の平均値及び標準偏差を計測する。サンプリング周波数は 1Hz、あるいはそれ以上とするのが望ましい。風速計による計測結果をもとにしてそれ以上の高さの値及び／又は気流の傾斜角を推定するため、追加のリモートセンシング機器及び／又は超音波風速計を利用することができる。この場合、計測手法に応じた不確かさを考慮する必要がある。さらに、校正、設置方法、機器構成及び試験方法に関する推奨（MEASNET 参照）を考慮して差し支えない。
- 6) 計画サイトが寒冷地の場合は、風速計の規定の応答特性を維持するように、風速計にヒーターを設置するのが望ましい。

A.2 風向

- 1) 風向計測は、矢羽根形風向計によって行う。バックアップのため、風向計を 1 個以上追加するのが望ましい。観測マストへの風向計の取り付けは、風向計がマスト及びブームからの影響を最小にするように設置する。観測マストへの風向計の取り付けは、JIS C 1400-12-1 附属書 G に従って実施するのが望ましい。
- 2) 風向計は 10 分平均値を計測する。サンプリング周波数は 1Hz あるいはそれ以上とするのが望ましい。

A.3 補完方法

- 1) 観測機器の故障及び凍結等で観測データが欠けている期間や異常な期間がある場合、サイト内で計測した別の計測データ（他の高度又は他の観測塔）又は近隣気象観測所のデータを使用して、MCP 法（Measure-Correlate-Predict Method、計測-相関-推測法）等により補完する。
- 2) 補完方法の妥当性の確認は、欠測していない期間に対して適用した値と実測値を比較することによって行う。

A.4 リモートセンシング機器による計測

- 1) 鉛直ライダー等のリモートセンシング機器による観測を行う場合、観測マストとの相関を確認する必要があることから、可能な限り観測マストに近い位置に機器を設置するのが望ましい。ただし、観測マストと機

器の離隔距離に関わる一般的な閾値を定めることは困難であることから、その配置については、観測マストの支線や周辺の状況に応じて適切に判断しなければならない。

- 2) 観測高さについては、相関を確認する観測マストの風速計の高さと、計画風車のハブ高さを必須の観測高さとし、その他の高さは10mごとを基準に適切に設定しなければならない。
- 3) 観測マストと鉛直ライダー等のリモートセンシング機器の相関を確認する際には、観測マストのデータ鉛直ライダー等のリモートセンシング機器のデータのタイムスタンプが一致していることを確認しなければならない。

A.5 参考文献

[A1] MEASNET, JWPA 訳、サイト風条件の評価（日本語版）（原題：Evaluation of Site Specific Wind Condition Version1）, 2016

Annex B 気流解析及び妥当性確認方法

B.1 気流解析条件

B.1.1 地形データ及び地表面粗度データ

- 1) 気流解析の入力データとして、計画サイト周辺の地形データ（数値標高データ）及び地表面粗度データを用いる。周辺地形はできる限り広い範囲を精度よく再現することが望ましい。
- 2) 地形データは 50m 以下の高解像度としなければならない。複雑な地形の場合は、より精度の高いデータを使うことが望ましい。
- 3) 地表面粗度データは 100m 以下の高解像度としなければならない。地表面粗度の分布の変化が大きい場合は、より精度の高いデータを使うことが望ましい。地形データ及び地表面粗度データは、国土地理院の国土数値情報及び基盤地図情報などが利用できる。

B.1.2 計算領域

- 1) 計算領域は、計画サイトの範囲、すなわち観測塔とすべての風車を含めた範囲を設定し、観測塔及びすべての風車から計算領域境界（流入面、流出面、側面）までの距離は、ハブ高さの 20 倍以上としなければならない。これに加えて、流れがスムーズに流入及び流出する(側面を含む)ための付加領域を設定するのが望ましい。流れがスムーズに流入及び流出するように設定できない場合は、さらに十分長い距離をとる必要がある。
- 2) 流入限界（流入面又は側面）までの距離は、上述のハブ高さの 20 倍以上に加えて、計画サイト周辺の全方位の地形（標高）の変化を評価し、風上側の地形の影響を考慮したものとしなければならない。計算領域の例を図 B.1 に示す。

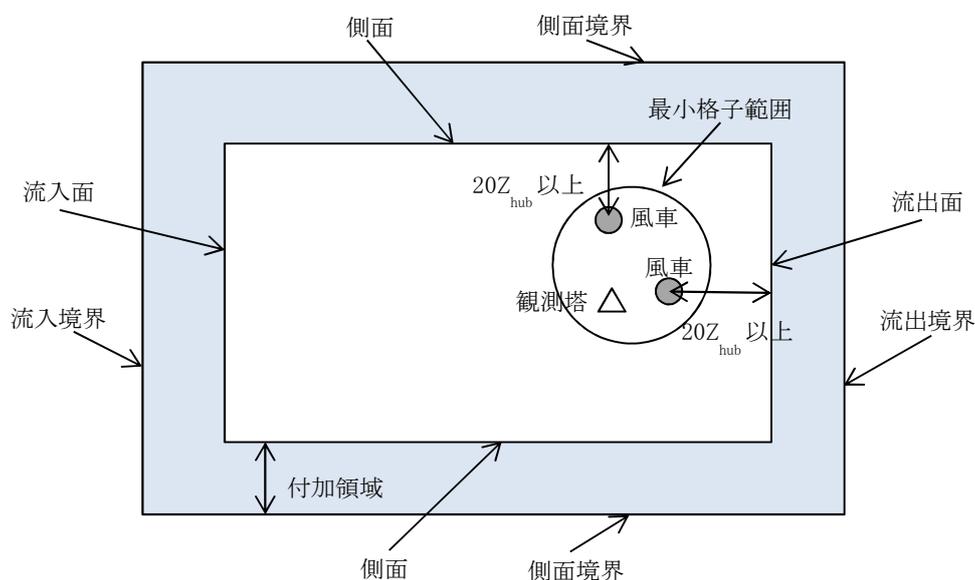


図 B.1 計算領域（水平方向）の例

- 3) 上空領域は、閉塞効果によって地形上の風速が過大評価されることを避けるため、再現した地形の断面積が側方範囲と鉛直範囲により定まる解析領域の断面積の 5%以下となるように閉塞率を決定しなければならない。

又は、最大標高差の 20 倍の高さを鉛直方向に確保しなければならない。それによりがたい場合は根拠を示さなければならない。

B.1.3 計算格子及び解像度

- 1) 観測塔と風車を含む範囲の水平方向の計算格子解像度は、30m 以下とすることが望ましい。また、複雑な地形の場合は、より高い解像度とすることが望ましい。水平方向の計算格子解像度は、観測塔と風車を含む範囲から遠方になるにつれて、徐々に粗くしてもよい。その場合、計算格子幅の伸長率は 1.2 以下にしなければならない。
- 2) 鉛直方向の計算格子解像度は、 κ - ε モデルの場合、地表面における第一計算格子点を平均風速分布が対数法則又はべき法則で近似できる領域、すなわち、粗度長程度にとり、上空になるにつれて、徐々に粗くしてもよい。その場合、計算格子幅の伸長率は 1.2 以下にしなければならない。LES モデルの場合、採用する壁面境界モデルに応じて、適切に地表面における第一計算格子点をとらなければならない。採用する壁面モデルについて報告し、地表面における第一計算格子点の設定の根拠について示さなければならない。

B.1.4 境界条件

- 1) 流入境界条件は、流入地点の地表面粗度に基づいて、平均速度及び乱流統計量の鉛直分布を設定する。流出境界条件は、流出境界面からの不自然な流れの発生を避けるため、自由流出条件又は対流流出条件を用いる。側面境界条件及び上空境界条件はすべり条件とする。
- 2) 地表面境界条件は、 κ - ε モデルの場合、地表面粗度のパラメータを用いた壁関数を用いる。LES モデルの場合、樹木等の影響を再現するキャノピーモデルを用い、適切に抵抗係数及び高さを設定しなければならない。それによりがたい場合は根拠を示さなければならない。

B.1.5 方位分割

- 1) 方位分割は、地形の複雑度によって適切に設定しなければならない。
- 2) 平坦地形の場合は 12 方位以上、複雑地形の場合は 16 方位以上としなければならない。それによりがたい場合はその根拠を適切に示さなければならない。

B.2 観測データによる妥当性確認

- 1) 発電時の風条件の算定に適用する気流解析の妥当性検証は、気流解析によって観測マスト位置における少なくとも如何に上げる項目を算定し、これらと観測データの比較を行わなければならない。
 - ・ 風向別の平均風速
 - ・ 風向別のウィンドシアの鉛直プロファイル
 - ・ 風向別の乱流強度
- 2) 風向別の平均風速については、観測マストが複数ある場合は、それらを相互に組み合わせて観測データと気流解析結果の比較を行わなければならない。なお、観測マストが 1 本しかない場合は、気流解析の入力データとした高さは別の高さでの観測データを用いて比較を行うこと。
- 3) 風向別のウィンドシアの鉛直プロファイルについては、観測マストの最も高い位置での風速で正規化して、観測データと気流解析結果の比較を行わなければならない。ただし、鉛直ライダーによる観測データがある

場合は、ハブ高さでの風速で正規化すること。

- 4) 風向別の乱流強度については、気流解析における k - ε モデル等の乱流エネルギー k を用いて、地形や地表面粗度に起因する主風向変動風速の標準偏差 σ_u^{surf} を式(B.1)により求める。同じく気流解析より求めた風速 U により式(B.2)を用いて I_{sim} を算定し、これと観測データから求められる乱流強度を比較しなければならない。

$$\sigma_u^{surf} = \sqrt{1.2K} \cdot \dots \dots \dots \quad (B.1)$$

$$I_{sim} = \frac{\sigma_u^{surf}}{U} \cdot \dots \dots \dots \quad (B.2)$$

Annex C 風条件の評価方法

C.1 概要

- 1) 風条件は、すべてサイト固有の条件として算定しなければならない。
- 2) 本附属書に示される風条件の算定方法は、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2010年版]に準拠している。

C.2 発電時の風条件

C2.1 風速出現頻度分布

- 1) 風速出現頻度分布関数 $p(V_{hub})$ は、式(C.1)で評されるワイブル分布で近似するものとする。

$$p(V_{hub}) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{V_{hub}}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{V_{hub}}{\eta}\right)^m\right\} \dots\dots\dots (C.1)$$

ここで η と m はそれぞれワイブル分布の尺度係数と形状係数であり、観測から求めた年平均風速 V_{ave} と平均風速の標準偏差 σ_v から式(C.2)及び式(C.3)により求める。

$$\int_0^\infty \frac{m}{\eta} \left(\frac{V_{hub}}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{V_{hub}}{\eta}\right)^m\right\} V_{hub} dV_{hub} = V_{ave} \dots\dots\dots (C.2)$$

$$\int_0^\infty \frac{m}{\eta} \left(\frac{V_{hub}}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{V_{hub}}{\eta}\right)^m\right\} (V_{hub} - V_{ave}) dV_{hub} = \sigma_v^2 \dots\dots\dots (C.3)$$

C.2.2 乱流強度の算定方法

C.2.2.1 疲労荷重評価のための乱流強度の算定方法

- 1) 周囲乱流標準偏差 σ_1 は、 $V_{in} \sim V_{out}$ のすべて V_{hub} における非超過確率 90%に相当するものを用いる。
- 2) 周囲乱流強度は、最低でも 1 年以上実施された風況観測により取得したデータを用いて評価する。通常風況観測塔の高さは風車ハブ高さよりも低いことから、ハブ高さへの補正は、適切に評価された鉛直方向の速度分布を用いて補正を行う。
- 3) 風況観測塔位置以外の乱流強度は、気流解析結果等を用いた適切な補正を行うことで算定する。乱流強度の評価において、風況観測塔位置における乱流強度がそのサイトを代表する乱流強度であることが望ましい。
- 4) 風況観測塔で得られた時系列データを風車位置に変換し、乱流標準偏差を評価してもよい。風車位置の乱流標の時系列データ $\sigma_{hw}(t)$ は、式 (C.4) により算出する。ここで、 $c_s(\theta)$ は気流解析で求めた方位 θ における風車位置と観測位置の乱流標準偏差の比、 $\sigma_M(\theta, t)$ は風況観測塔で得られた乱流標準偏差の時系列データである。

$$\sigma_{hw}(t) = c_s(\theta) \cdot \sigma_M(\theta, t) \dots\dots\dots (C.4)$$

同様に、風車位置の風速の時系列データ $U_{hw}(t)$ を式(C.5)により算出し、 V_{hub} における非超過確率 90%における

乱流標準偏差を評価する。ここで、 $c_v(\theta)$ は気流解析で求めた方位 θ における風車位置と観測位置の風速の比
 $U_M(\theta, t)$ は風況観測塔で得られた風速の時系列データである。

$$U_{hw}(t) = c_v(\theta) \cdot U_M(\theta, t) \quad \dots \dots \dots (C.5)$$

- 5) 表 2.3 の指標を用いて、複雑地形と判断される場合、乱流強度の横方向及び上方向の成分について次式を用いて算定する、乱流の評価は 3 方向の成分（主方向成分 σ_1 、横方向成分 σ_2 、上方向成分 σ_3 ）について考慮又は言及されたものであることを確認する。乱流の 3 成分に関しては超音波風速計で計測されている場合、そのデータを用いてもよい。なお、気流解析で乱流標準偏差の $\sigma_{2,cal}$ 及び $\sigma_{3,cal}$ が評価されている場合、 σ_2 及び σ_3 は式(C.6)及び式(C.7)により算定する。

$$\sigma_2 = \max(\sigma_{2,cal}, 1.15 \times 0.8 \times \sigma_1) \quad \dots \dots \dots (C.6)$$

$$\sigma_3 = \max(\sigma_{3,cal}, 1.15 \times 0.5 \times \sigma_1) \quad \dots \dots \dots (C.7)$$

ここで、 σ_1 は主方向成分の観測値、 $\sigma_{2,cal}$ 及び $\sigma_{3,cal}$ は気流解析により求めた値である。

- 6) 乱流の 3 成分に関して観測又は気流解析により評価したデータがなく、地形が複雑な場合、横方向及び鉛直方向の乱流標準偏差の主流方向成分に対する比率は、それぞれ 1.0 及び 0.7 を仮定する。

C.2.3 ウィンドシアの算定方法

- 1) サイトの観測データを用いて、方位別に風車位置のロータ受風面におけるウィンドシアのべき指数を求め、風向頻度を考慮し、年間の平均ウィンドシアのべき指数を算定する。なお、再現期間 50 年の極値風速としての 10 分間平均風速 V_{ref} に対応するウィンドシアのべき指数の算定については、C.3.2.3)を参照のこと。
- 2) ロータ受風面におけるウィンドシアは、式(C.8)で評されるべき法則で近似するものとする。ここで、 α はウィンドシアのべき指数、 V_1 は高さ Z_1 における風速、 V_2 は高さ Z_2 における風速である。ロータ受風面におけるウィンドシアを評価するため、 V_1 及び V_2 としてロータ下端及びロータ上端の風速を用いても良い。

$$V_2 = V_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^\alpha \quad \dots \dots \dots (C.8)$$

- 3) 気流解析を用いる場合、各風車位置における年間の平均ウィンドシアのべき指数は、各風車位置のウィンドシアのべき指数及び方位別出現頻度を荷重平均し、式(C.9)で求められる。ここで $F(\theta)$ は方位 θ の出現頻度であり、 $\bar{\alpha}$ は年間平均ウィンドシアのべき指数である。

$$\bar{\alpha} = \sum_{\theta} (\alpha(\theta)F(\theta)) \quad \dots \dots \dots (C.9)$$

C.2.4 気流傾斜角の算定方法

- 1) 方位別に気流傾斜角を求め、風向頻度を考慮し平均気流傾斜角及び出現確率分布を算出する。3成分の超音波風速計による観測により風車位置の風況データが十分に代表できる場合はその値を用いても良い。
- 2) 気流解析を用いる場合、各風車位置における気流傾斜角 $\phi(\theta)$ は算出された方位別の3成分 $u(\theta)$ 、 $v(\theta)$ 及び $w(\theta)$ を用いて式(C.10)により算出する。

$$\phi(\theta) = \tan^{-1} \left(\frac{w(\theta)}{\sqrt{u^2(\theta) + v^2(\theta)}} \right) \dots \dots \dots (C.10)$$

- 3) 年間の平均気流傾斜角は各風車位置の流れ角及び方位別出現頻度の荷重平均とする。ここで $F(\theta)$ は方位 θ の出現頻度であり、 $\bar{\phi}$ は平均気流傾斜角であり、式(C.11)を用いて算出する。

$$\bar{\phi} = \sum_{\theta} (\phi(\theta)F(\theta)) \dots \dots \dots (C.11)$$

C.2.5 大気密度の算定方法

- 1) 大気密度 ρ は、現地で観測された大気温度及び大気圧から、式(C.12)を用いて算出する。

$$\rho = \frac{B}{R_0 \times T} \dots \dots \dots (C.12)$$

ここで、Bは大気圧、Tは大気温度、 R_0 は気体定数 (287.05 J/kgK) である。

- 2) 大気密度に関して現地の観測データがない場合、近隣気象観測所の長期観測データを用いてもよい。この場合、標高に関する高度補正を行う。

C.3 暴風待機時の風条件

C.3.1 極値風速 (50年再現・10分間平均風速) の算定方法

- 1) ハブ高さにおける再現期間 50年の10分間平均風速 U_h は、基準風速 V_0 に地形による平均風速の割増係数と高度補正係数を乗じたものとし、式(C.13)により定める。ただし、基準風速 V_0 は、平坦で地表面粗度区分IIの地上高さ 10mにおける再現期間 50年の10分平均風速とし、平成12年建設省告示第1454号第二に示す市町村別の基準風速を用いる。

$$U_h = E_{tv} E_{pv} V_0 \dots \dots \dots (C.13)$$

- 2) 風車建設地点における地表面粗度区分は、建築基準法又は風力発電設備支持物の周辺の地表面の状況に応じて表C.1により定める。

表 C.1 地表面粗度区分の分類

地表面粗度区分	区域	Z _b (m)	Z _G (m)	α
I	極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域。	5	250	0.1
II	地表面粗度区分 I 若しくはIVの区域以外の区域のうち、海岸線若しくは湖岸線（対岸までの距離が 1,500m 以上のものに限る。以下同じ。）までの距離が 500m 以内の地域（建築物の高さが 13m 以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が 200m を超え、かつ、建築物の高さが 31m 以下である場合を除く。）又は、当該地域以外の地域うち、極めて平坦で障害物が散在しているものとして特定行政庁が規定で定める区域。	5	350	0.15
III	地表面粗度区分 I、II 又はIVの区域以外の区域。	5	450	0.2
IV	都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域。	10	550	0.27

3) 平坦地形上のハブ高さでの平均風速の高度補正係数E_{PV}は地表面粗度区分に応じ、式(C.14)により算定する、ただし、H_hはハブ高さであり、Z_b、Z_G及びαは風速の鉛直分布を示すパラメータであり、地表面粗度区分に応じ、表 C.2 により定める。なお、高さ Z での平均風速の高度補正係数はH_hの代わりに Z を式(C.14)に代入して求める。

$$E_{PV} = \begin{cases} 1.7 \left(\frac{H_h}{Z_G}\right)^\alpha & Z_b < H_h \leq Z_G \\ 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G}\right)^\alpha & H_h \leq Z_b \end{cases} \dots \dots \dots (C.14)$$

表 C.2 平均風速の高度補正係数を定めるためのパラメータ

地表粗度区分	I	II	III	IV
Z _b	5	5	10	20
Z _G	250	350	450	550
α	0.10	0.15	0.20	0.27

4) 地形による平均風速の割増係数E_{tV}と照査対象風向 θ_dは以下に示す(1)又は(2)のいずれかの方法により求める。

(1) 風向特性を考慮しない手法

地形による平均風速の割増係数E_{tV}は、実地形上と平坦地形上の風向別の気流解析の結果に基づき、式(C.15)により定める。ここでU(x,y,H_h,θ)は気流解析により求めた実地形上の風車建設地点のハブ高さH_h

における風向 θ の平均風速、 $U^P(x, y, H_h)$ は地表面粗度区分 P の平坦地形上の気流解析により求めた風車建設地点のハブ高さ H_h における平均風速である。また、照査対象風向 θ_d は、風向別平均風速の割増係数が最大となる風向とする。

$$E_{tV} = \max(E'_{tV}, 1), \quad E'_{tV} = \max_{\theta} \left(\frac{U(x, y, H_h, \theta)}{U^P(x, y, H_h)} \right) \dots \dots \dots (C.15)$$

(2) 風向特性を考慮する手法

地形による平均風速の割増係数 E_{tV} は、風車建設地点を対象とした台風シミュレーションの結果に基づき、式(C.16)により定める。ここで $U_{50}(x, y, H_h)$ は台風シミュレーションの結果から統計解析により求めた風車建設地点のハブ高さ H_h での年最大風速の 50 年再現期待値であり、 $U_{50}^P(x, y, H_h)$ は地表面粗度区分の平坦地形上のハブ高さにおける年最大風速の 50 年再現期待値である。また照査対象風向 θ_d は $U_{50}(x, y, H_h)$ に対応する風向とする。

$$E_{tV} = \max(E'_{tV}, 1), \quad E'_{tV} = \frac{U_{50}(x, y, H_h)}{U_{50}^P(x, y, H_h)} \dots \dots \dots (C.16)$$

C.3.2 極値風速 (3 秒間平均風速) の算定方法

C.3.2.1 暴風時の乱流強度の算定方法

1) 風車位置の暴風時における乱流強度の主風向成分 I_{h1} は、平坦地形上の乱流強度 I_p に地形による乱流強度の補正係数 E_{tI} を乗じたものとし、式(C.17)により求める。

$$I_{h1} = E_{tI} I_p \dots \dots \dots (C.17)$$

2) ハブ高さでの平坦地形における乱流強度 I_p は地表面粗度区分に応じ、式(C.18)により算出する。ただし、 H_h はハブ高さ(m)であり、 Z_b 、 Z_G 及び α は風速の鉛直分布を示すパラメータであり、地表面粗度区分に応じ、表 C.2 により定める。なお、高さ Z での乱流強度は H_h の代わりに Z を式(C.18)に代入して求める。

$$I_p = \begin{cases} 0.1 \left(\frac{H_h}{Z_G} \right)^{-\alpha - 0.05} & Z_b < H_h \leq Z_G \\ 0.1 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^{-\alpha - 0.05} & H_h \leq Z_b \end{cases} \dots \dots \dots (C.18)$$

4) 地形による乱流強度の補正係数 E_{tI} は式(C.19)により定める。ここで地形による平均風速の割り増し係数 E'_{tV} は、実地形上と平坦地形上の風向別の気流解析の結果に基づき、式(C.20)により求める。 $U(x, y, H_h, \theta)$ は気流解析により求めた実地形上の風車建設地点のハブ高さ H_h における風向 θ の平均風速、 $U^P(x, y, H_h)$ は地表面粗度区分 P の平坦地形上の気流解析により求めた風車建設地点のハブ高さ H_h における平均風速である。

$$E_{tl} = \max\left(\frac{E_{ts}}{E_{tv}}, 1\right) \dots \dots \dots (C.19)$$

$$E'_{tv} = \max_{\theta} \left(\frac{U(x,y,H_h, \theta)}{U^P(x,y,H_h)} \right) \dots \dots \dots (C.20)$$

5) 地形による変動風速の補正係数 E_{ts} は式(C.21)により定める。ここで $\sigma_u(x, y, H_h, \theta_d)$ は実地形上の照査対象風向 θ_d におけるハブ高さ H_h での主風向変動風速の標準偏差、 $\sigma_u^P(x, y, H_h)$ は地表面粗度区分 P を持つ平坦地形上のハブ高さ H_h における主風向変動風速の標準偏差であり、気流解析により求める。

$$E_{ts} = \frac{\sigma_u(x,y,H_h, \theta_d)}{\sigma_u^P(x,y,H_h)} \dots \dots \dots (C.21)$$

6) 気流解析により主風向変動風速の標準偏差 σ_u を求めるには、 κ - ε モデル等の乱流エネルギー κ より、地形や地表面粗度に起因する主風向変動風速の標準偏差 σ_u^{surf} を式(C.22)で計算し、式(C.23)を用いて算定することもできる。ただしこの場合、バックグラウンドの乱流強度 I_α は0.1とする。

$$\sigma_u^{surf} = \sqrt{1.2 \kappa} \dots \dots \dots (C.22)$$

$$\sigma_u = U \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_u^{surf}}{U}\right)^2 + I_\alpha^2} \dots \dots \dots (C.23)$$

C.3.2.2 3秒平均風速の算定方法

1) 再現期間50年のハブ高さにおける極値3秒平均風速 U_{e50} は式(C.13)で算定した U_h を用いて、式(C.24)と(C.25)により算定する。なお、式(C.25)の I_{h1} は式(C.17)を用いて算定する。

$$U_{e50} = G_f U_h \dots \dots \dots (C.24)$$

$$G_f = 1 + 3.5 I_{h1} \dots \dots \dots (C.25)$$

<参考：IECでは、式(C.24)に $I_{h1} = 0.11$ を代入して、 $U_{e50} = 1.4U_h$ の関係を用いている。>

C.3.2.3 極値風速に対するウィンドシアの算定方法

1) 再現期間 50 年のハブ高さにおける 10 分間平均風速 (U_h) に対応するウィンドシアのべき指数については、気流解析の結果より得られる照査対象風向の実地形における主風向風速成分を用いて算定する。なお、複雑地形の場合は、主流直角方向成分が大きくなる可能性があることから、主風向風速成分に加え主流直角方向速度成分を考慮して水平風速を算出し、それを用いてべき指数を算定することが望ましい。

C.3.3 風況観測データを用いた U_{e50} の算定方法

- 1) 観測データを用いて暴風時の乱流を I_{h1} を算出し、 U_{e50} を求める方法を以下に示す。
- (1) 気流解析等により観測位置と各風車位置の方位別の風速比及び乱流標準偏差の比を算出する。
 - (2) 観測データ (10 分間値の時系列データ) に(1)で求めた比を掛けて、風車位置での風速及び乱流標準偏差の時系列データを作成する。
 - (3) 風車位置での風向別の風速階級別乱流強度を算出する。
 - (4) 照査対象風向について、極値風速 (評価風速 U_h) 時の乱流強度 I_{h1} を算出する。極値風速時の乱流強度は非超過確率 50% に対応する。極値風速時の乱流強度の評価に用いる観測データ数が十分であるよう考慮しなければならない。
 - (5) (4)で得られた I_{h1} と粗度区分に応じた平坦地形上の乱流強度 I_p の値を用いて、それぞれ G_f を求め、式(C.26)により、その大きい方を採用する。

$$G_f = \max(1 + 3.5I_{h1}, 1 + 3.5I_p) \quad \dots \dots \dots (C.26)$$

(6) 式(C.24)を用いて、 U_h に G_f を乗じて U_{e50} を算出する。

2) 観測データを用いて算定した暴風時の乱流強度 I_{h1} の妥当性を示すために、算定に用いた乱流強度の値をプロットした図に、乱流強度の非超過確率 50% を示す線、 I_p の値を示す線及び U_h の値を示す線を追記したものを留意しなければならない。

C.4 参考文献

- [C1] 土木学会、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [2010 年版]
- [C2] Germanischer Lloyd, Guidelines for Design of Wind Turbines Edition 2010
- [C3] 日本規格協会, JIS W 0201(標準大気)
- [C4] Ishihara, T. and Yamaguchi, A. Prediction of the extreme wind speed in mixed climate region by using Monte Carlo simulation and Measure-Relate-Predict method, Wind Energy, 2014
- [C5] 植田他、CFD を用いた乱流強度評価方法の観測データによる検証、第 37 回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, pp.245-246, 2015

Annex D タワー構造に関わる設計手法

D.1 一般

D.1.1 本 Annex では風力発電所の設置又は変更の工事計画の審査に関する実施要領で規定されている一般設備等の要件 2.(3) ② に該当する手法をまとめている。

D.2 減衰

D.2.1 鋼製円筒構造の 1 次と 2 次モードの構造減衰比は、式 (D.1) と式 (D.2) により求めた値を用いることができる。それ以外の値を用いる場合には、その妥当性を説明する必要がある。また構造減衰と地盤減衰からなるモデル減衰比は参考文献に示す方法により評価することができる。さらに SR モデルを用いた時刻歴応答解析では地盤減衰がダッシュポットとして考慮される。

$$\zeta_{\text{struc1}} (\%) = \max (2.0e^{-1.3T1} + 0.15, 0.2) \dots \dots \dots (D.1)$$

$$\zeta_{\text{struc2}} (\%) = \zeta_{\text{struc1}} (\%) \dots \dots \dots (D.2)$$

D.3 アンカーボルトの孔径

D.3.1 アンカーボルトの孔径がボルトの呼び径+5mm を超える場合、以下の①及び②を満足することとする。

- 1) アンカーボルトの孔径は、IS0 273 で規定されるボルトの呼び径に基づくクリアランス以下とすること。
- 2) 高カボルト接合設計施工ガイドブックにより、ボルト呼び径が 24mm を超える場合、すべり耐力を低減する（低減係数：0.85）ことを前提に、孔径はボルト径+8mm が許容されている。このため、サイト条件に基づく最も厳しい荷重状態において、タワー基部に作用するせん断力及びねじれモーメントによる水平力と、ベースプレート下面の摩擦力（抵抗摩擦力）に低減係数 0.85 を考慮した値を比較し、「水平力／低減係数を考慮した抵抗摩擦力」が 1.0 未満となることを確認すること。

D.4 アンカーボルトの構造計算において疲労等価設計法を適用する設計

D.4.1 アンカーボルトの設計ボルト張力及び短期許容引張力については、(1)に示す「疲労耐力設計法」の考え方を適用してもよいこととする。ただし、この場合は(2)に示す疲労強度評価に関わる要求事項を満足する必要がある。

- 1) 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 7.3.2 項にはタワーフランジボルトに対する規定があり、フランジ継手用高カボルトに対して疲労耐力設計法を採用する場合の短期許容引張力及び設計ボルト張力は、以下に示す式(D.3)及び式(D.4)のとおり規定されている。また、この場合の極稀地震時許容引張力を式 (D.5) のとおり定める。

設計風速までの強風を含めた疲労評価を行い、使用期間中にボルトの疲労損傷が生じないことを確認できた場合に、短期許容引張力はボルトねじ部の有効断面積に降伏強度の 0.8 倍を乗じる値とし、式 (D.3) により定める。

$$T_a = 0.80 \cdot \sigma_y \cdot A_e \dots \dots \dots (D.3)$$

ただし、設計ボルト張力は、ボルトねじ部有効断面積に降伏強度の 0.7 倍を乗じる値とし、式 (D.4) により定める。

$$N_0 = 0.70 \cdot \sigma_y \cdot A_e \quad \dots \dots \dots (D.4)$$

極稀地震時のアンカーボルト 1 本あたりの外力による軸方向作用 T は、極稀地震時許容引張力 T_{ar} が式(D.4) で定める。

$$T_{ar} = \max (0.80 \cdot \sigma_y \cdot A_e, A_e \cdot F_{by}) \quad \dots \dots \dots (D.5)$$

ここで、

- σ_y : アンカーボルトの降伏強度 [N/mm²]
- A_e : アンカーボルトの有効断面積 [mm²]
- F_{by} : アンカーボルトの基準強度 [N/mm²]、降伏強度と引張強度の 70%のうち小さい方の値で定める。

2) 前 1) で示した疲労耐力設計法を採用してアンカーボルトの設計ボルト軸力を設定するにあたり、疲労強度評価に関わる要求事項を以下に示す。

(1) 疲労強度評価を行うにあたっての原則

風力発電設備支持物構造設計指針・同解説の 7.4.1 項に従い、疲労損傷度は累積疲労損傷則により求めるものとする。

(2) 検討対象項目ごとの要求事項は表 D.1 のとおりとする。

表 D.1 疲労強度評価の検討対象項目とその要求事項

検討納対象項目	準拠規格・基準	要求事項
アンカーボルト	EN 1993-1-9: 2005	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンカーボルトの軸力のみを考慮し、曲げを考慮しない場合、S-N 線図としては DC36*を適用すること。*1 ・ サイズ効果低減係数：ks を考慮すること。
グラウト ／コンクリート	MC2010 (MC1990 でも可)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 三次元拘束効果の考慮は原則として認めない。*2 ・ 疲労強度検討に適用するコンクリート強度は、サイトで採用するコンクリート強度とすること。また、28 日強度の提供を基本とする。

*1 : EN 1993-1-9: 2005 Table 8.1 の DC50 に対する Requirements の欄を参照。

(加えて、DNVGL-ST-0126 4.12.3.6 項の Guidance note も参考にすること。)

*2 : 三次元拘束効果を考慮した疲労設計強度を採用する場合は、疲労実験結果などに基づく定量的な検証結果を

もってその妥当性を示すこと。

D.5 フランジ継手のてこ比

D.5.1 フランジ継手のボルトの引張耐力について、てこ比(e/g)が 1.25 を超える場合については、参考文献^[D3]による提案式に基づき、この文献で示される適用範囲においてその照査を行うことができる。

D.6 フランジ継手の構造計算において疲労等価設計法を適用する設計

D.6.1 フランジ継手の短期許容引張力及び設計ボルト張力については、(1)に示す「疲労耐力設計法」の考え方を適用してもよいこととする。ただし、この場合は(2)に示す疲労強度評価に関わる要求事項を満足する必要がある。

- 1) 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 7.3.2 項にはタワーフランジボルトに対する規定があり、フランジ継手用高カボルトに対して疲労耐力設計法を採用する場合の短期許容引張力及び設計ボルト張力は、D.4 で示した式(7.2)及び式(7.3)のとおり規定されている。
- 2) 前 1)で示した疲労耐力設計法を採用してフランジボルトの設計ボルト軸力を設定するにあたり、疲労強度評価に関わる要求事項を以下に示す。

(1) 疲労強度評価を行うにあたっての原則

風力発電設備支持物構造設計指針・同解説の 7.4 .1 項に従い、疲労損傷度は累積疲労損傷則により求めるものとする。

(2) 検討対象項目ごとの要求事項は表 D.2 のとおりとする。

表 D.2 疲労強度評価の検討対象項目とその要求事項

検討対象項目	準拠規格・基準	要求事項
フランジボルト	EN 1993-1-9: 2005	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンカーボルトの軸力のみを考慮し、曲げを考慮しない場合、S-N 線図としては DC36*を適用すること。*1 ・ サイズ効果低減係数 : ks を考慮すること。

*1 : EN 1993-1-9: 2005 Table 8.1 の DC50 に対する Requirements の欄を参照。

(加えて、DNVGL-ST-01264 .12.3 .6 項の Guidance note も参考にすること。)

D.7 参考文献

- [D1] S. Oh, T. Ishihara, Structural parameter identification of a 2.4MW bottom fixed wind turbine by excitation test using an active mass damper, Wind Energy, 21(11):1232-1238, 2018.
- [D2] T. Ishihara, L. Wang, A study of modal damping for offshore wind turbines considering soil properties and foundation types, Wind Energy, 22(12):1760-1778, 2019.
- [D3] 飛永育男, 石原孟 : 風車タワーの L 型フランジにおける作用点修正係数の提案, 日本風力学会論文集 第 40 巻, 第 2 号, 平成 28 年 8 月

Annex E 発電用風力設備に関する技術基準に準ずる本技術基準の要求事項の対応表

前 1.2 引用規格の (1)、(2) 及び (3)に基づき、発電用風力設備に関する技術基準と本技術基準の要求事項との対応については下記表 E.1 のとおりとする。

表 E.1 発電用風力設備に関する技術基準に準ずる本技術基準の要求事項の対応表

発電用風力設備に関する技術基準	BV 技術基準
<p>(適用範囲)</p> <p>第一条 この省令は、風力を原動力として電気を発生するために施設する電気工作物について適用する。</p> <p>2 前項の電気工作物とは、一般用電気工作物及び事業用電気工作物をいう。</p>	1 項 概要
<p>(定義)</p> <p>第二条 この省令において使用する用語は、電気事業法施行規則（平成七年通商産業省令第七十七号）において使用する用語の例による。</p> <p>(取扱者以外の者に対する危険防止措置)</p>	-
<p>第三条 風力発電所を施設するに当たっては、取扱者以外の者に見やすい箇所に風車が危険である旨を表示するとともに、当該者が容易に接近するおそれがないように適切な措置を講じなければならない。</p> <p>2 発電用風力設備が一般用電気工作物である場合には、前項の規定は、同項中「風力発電所」とあるのは「発電用風力設備」と、「当該者が容易に」とあるのは「当該者が容易に風車に」と読み替えて適用するものとする。</p>	-
<p>第四条 風車は、次の各号により施設しなければならない。</p> <p>一 負荷を遮断したときの最大速度に対し、構造上安全であること。</p> <p>二 風圧に対して構造上安全であること。</p> <p>三 運転中に風車に損傷を与えるような振動がないように施設すること。</p> <p>四 通常想定される最大風速においても取扱者の意図に反して風車が起動することのないように施設すること。</p> <p>五 運転中に他の工作物、植物等に接触しないように施設すること。</p>	2 項 サイト条件の適合性確認 3 項 設計基準評価 4 項 全体荷重解析評価 5 項 風車(RNA)設計の適合性確認
<p>(風車の安全な状態の確保)</p> <p>第五条 風車は、次の各号の場合に安全かつ自動的に停止するような措置を講じなければならない。</p> <p>一 回転速度が著しく上昇した場合</p> <p>二 風車の制御装置の機能が著しく低下した場合</p> <p>2 発電用風力設備が一般用電気工作物である場合には、前項の規定は、同項中「安全かつ自動的に停止するような措置」とあるのは「安全な状態</p>	2 項 サイト条件の適合性確認 5 項 風車(RNA)設計の適合性確認

<p>を確保するような措置」と読み替えて適用するものとする。</p> <p>3 最高部の地表からの高さが二十メートルを超える発電用風力設備には、雷撃から風車を保護するような措置を講じなければならない。</p> <p>ただし、周囲の状況によって雷撃が風車を損傷するおそれがない場合においては、この限りでない。</p>	
<p>(圧油装置及び圧縮空気装置の危険の防止)</p> <p>第六条 発電用風力設備として使用する圧油装置及び圧縮空気装置は、次の各号により施設しなければならない。</p> <p>一 圧油タンク及び空気タンクの材料及び構造は、最高使用圧力に対して十分に耐え、かつ、安全なものであること。</p> <p>二 圧油タンク及び空気タンクは、耐食性を有するものであること。</p> <p>三 圧力が上昇する場合において、当該圧力が最高使用圧力に到達する以前に当該圧力を低下させる機能を有すること。</p> <p>四 圧油タンクの油圧又は空気タンクの空気圧が低下した場合に圧力を自動的に回復させる機能を有すること。</p> <p>五 異常な圧力を早期に検知できる機能を有すること。</p>	-
<p>第七条 風車を支持する工作物は、自重、積載荷重、積雪及び風圧並びに地震その他の振動及び衝撃に対して構造上安全でなければならない。</p> <p>2 発電用風力設備が一般用電気工作物である場合には、風車を支持する工作物に取扱者以外の者が容易に登ることができないように適切な措置を講じること。</p>	<p>2 項 サイト条件の適合性確認</p> <p>3 項 設計基準評価</p> <p>4 項 全体荷重解析評価</p> <p>6 項 支持構造物設計の適合性確認</p>
<p>(公害等の防止)</p> <p>第八条 電気設備に関する技術基準を定める省令（平成九年通商産業省令第五十二号）第十九条第十一項及び第十三項の規定は、風力発電所に設置する発電用風力設備について準用する。</p> <p>2 発電用風力設備が一般用電気工作物である場合には、前項の規定は、同項中「第十九条第十一項及び第十三項」とあるのは「第十九条第十三項」と、「風力発電所に設置する発電用風力設備」とあるのは「発電用風力設備」と読み替えて適用するものとする。</p>	-

以上