GUIDELINE

NKRE-GL-WFC01

2021年7月

ClassNK

一般財団法人　日本海事協会
NIPPON KAIJI KYOKAI

ウィンドファーム認証

陸上風力発電所 編

RENEWABLE ENERGY

改訂履歴

I. 2021年7月31日付　新規発行（文書番号：NKRE-GL-WFC01, Edition: July 2021）

※2021年10月1日付で誤記修正及び軽微な修正を適用（文書番号に変更なし）

附則

1. 本ガイドラインは，2021 年 8 月 1 日から有効とする。
2. 次のいずれかに該当する発電所以外の発電所で，かつ個別の審査において認められる場合には，なお従前の例によることができる。
   (1) 2022 年 1 月 1 日以降にウィンドファーム認証に係る審査申込書が受理された発電所
   (2) ウィンドファーム認証に係る認証文書の初回発行が 2022 年 5 月 1 日以降となる発電所

目次

1 章 一般 4
1.1 一般 4
1.1.1 適用 4
1.1.2 新しい概念による風力発電設備 4
1.1.3 設計寿命及び供用期間 4
1.2 引用規格 4
1.2.1 一般 4
1.3 定義と略語 5
1.3.1 用語の定義 5
1.3.2 略語の定義 7
1.3.3 記号の意味及び単位 7
1.4 ウィンドファーム認証 8
1.4.1 一般 8
1.4.2 評価モジュール 8
1.4.3 サイト条件評価 8
1.4.4 設計基準評価 9
1.4.5 全体荷重解析評価 9
1.4.6 風車（RNA）設計評価 9
1.4.7 支持構造物設計評価 9
1.4.8 陸上風力発電所に対するウィンドファーム認証のモジュール 9
1.4.9 認証分科会 9
1.5 提出すべき文書 10
1.5.1 一般 10
1.5.2 風車型式認証に係る資料 10
1.5.3 サイト条件評価（風条件）に係る資料 11
1.5.4 風車（RNA）設計評価に係る資料 11
1.5.5 支持構造物設計評価（タワー）に係る資料 11
1.5.6 支持構造物設計評価（基礎）に係る資料 12
1.6 発電用風力設備に関する技術基準との対応【参考】 13
1.6.1 一般 13
2 章 サイト条件評価 15
2.1 一般 15
2.1.1 一般 15
2.2 発電時の風条件 15
2.2.1 風況観測 15
2.2.2 観測データの評価 15
2.2.3 地形的複雑さの評価 16
2.2.4 気流解析 16
2.2.5 風速出現頻度分布の算定 17
2.2.6 乱流強度の算定 17
2.2.7 隣接風車の後流影響評価 17
2.2.8 ウィンドシアのべき指数の算定 18
2.2.9 気流傾斜角の算定 18
2.2.10 大気密度の算定 18
2.3 暴風待機時の風条件 18
2.3.1 極値風速及び乱流強度の算定 18
2.3.2 大気密度の算定 19
2.4 地盤及び地震条件 19
2.4.1 一般 19
2.5 雷条件 19
2.5.1 一般 19
2.6 その他の環境条件 20
2.6.1 一般 20
3 章 設計基準評価 21
3.1 一般 21
3.1.1 一般 21

3.2 設計基準の要求事項 21
3.2.1 一般 21
3.2.2 風車（RNA）の設計基準 21
3.2.3 支持構造物の設計基準 22
4 章 全体荷重解析評価 23
4.1 一般 23
4.1.1 一般 23
4.2 RNA 及びタワーの評価に係る荷重解析の要求事項 23
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 23
4.2.2 荷重解析 23
4.3 支持構造物評価に係る荷重解析の要求事項 24
4.3.1 一般 24
4.3.2 支持構造物の荷重解析 24
5 章 風車（RNA）設計評価 25
5.1 一般 25
5.1.1 一般 25
5.2 風車（RNA）設計評価 25
5.2.1 サイト荷重と型式認証時の設計荷重との比較 25
5.2.2 サイト荷重に基づく RNA を構成する部品の強度評価 25
5.3 ナセルカバーの強度評価 26
5.3.1 一般 26
5.3.2 ナセルカバーに対する風荷重 26
5.3.3 荷重ケース 26
5.3.4 強度評価 27
5.4 系統電力喪失時の評価 27
5.4.1 一般 27
5.4.2 バックアップ電源 27
5.5 風車の安全な状態を確保するための評価 28
5.5.1 風車の安全かつ自動的な停止 28
5.5.2 雷撃からの保護 29
6 章 支持構造物設計評価 30
6.1 一般 30
6.1.1 一般 30
6.2 支持構造物（タワー） 30
6.2.1 一般 30
6.3 支持構造物（基礎） 30
6.3.1 一般 30
6.3.2 支持構造物（基礎）の強度評価 30
6.3.3 設計において留意すべき事項 30
附属書 A. 観測データの評価方法 【規定】 32
A.1 観測地点の選定 32
A.2 観測マストによる風速計測 32
A.3 観測マストによる風向計測 32
A.4 リモートセンシング機器による計測 33
A.5 観測及び観測結果の評価レポート 33
A.6 参考文献 34
附属書 B. 気流解析及びその妥当性検証 【規定】 35
B.1 気流解析 35
B.1.1 地形データ及び地表面粗度データ 35
B.1.2 計算領域 35
B.1.3 計算格子及び解像度 35
B.1.4 境界条件 36
B.1.5 方位分割 36
B.2 気流解析の妥当性検証 36
B.2.1 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 36
B.2.2 暴風待機時の風条件に適用する気流解析の妥当性検証 36
B.3 気流解析及びその妥当性に係るレポート 37
B.3.1 発電時の風条件に適用する気流解析及びその妥当性に係るレポート 37
B.3.2 暴風待機時の風条件に適用する気流解析及びその妥当性に係るレポート 38

附属書 C. 風条件の評価方法 【参考／一部規定】 39
C.1 一般 39
C.2 発電時の風条件 39
C.2.1 風速出現頻度分布及び平均風速 39
C.2.2 乱流強度の算定方法 39
C.2.3 ウィンドシアのべき指数の算定方法 40
C.2.4 気流傾斜角の算定方法 41
C.2.5 大気密度の算定方法 41
C.3 暴風待機時の風条件 42
C.3.1 極値風速（50 年再現・10 分間平均風速）の算定方法 42
C.3.2 極値風速（3 秒間平均風速）の算定方法 43
C.3.3 風況観測データを用いた $Ue50$ の算定方法【参考】 44
C.4 風条件に係るレポート 45
C.4.1 発電時の風条件に係るレポート 45
C.4.2 暴風待機時の風条件に係るレポート 45
C.4.3 その他の条件 46
C.5 参考文献 46
附属書 D. ナセルカバーの等価風圧係数 【参考】 47
D.1 一般 47
D.2 等価風圧係数【風向：-15° ~ +15°】 48
D.3 等価風圧係数【風向：全風向】 49
D.4 参考文献 50
附属書 E. ナセルの表面に作用する変動圧力特性計測試験 【参考】 51
E.1 一般 51
E.2 風洞の選定 51
E.3 模型及び試験条件 51
E.3.1 模型 51
E.3.2 気流相似 51
E.3.3 試験実施風速及び風向 52
E.3.4 圧力計測機器 52
E.3.5 データ処理及び収録 52
E.3.6 最大／最小ピーク風圧係数 52
E.4 参考文献 53
附属書 F. タワー構造に係る設計手法 【規定】 54
F.1 一般 54
F.2 減衰 54
F.3 アンカーボルトの孔径 54
F.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 54
F.5 フランジ継手のてこ比 55
F.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 55
F.7 参考文献 56

1章　一般

1.1　一般

1.1.1　適用

-1.　本ガイドラインは，ウィンドファーム認証の対象となる陸上に建設される風力発電所に対する要求事項を規定する。

-2.　本ガイドラインに規定する要求事項は，風車の形式がプロペラ式水平軸で翼の枚数が 3 枚であり、鋼製かつ円筒形のモノポール式のタワーで支持される場合を対象とする。

-3.　電気事業法に基づく工事計画審査に係る要求事項に変更があった場合は，本ガイドラインの規定よりも当該要求事項の方が優先されることに留意すること。

1.1.2　新しい概念による風力発電設備

-1.　本ガイドラインに定めるところと異なる形式又は設備を有する風力発電所にあっては，本ガイドラインの規定の原則的な考え方に準拠して個々に要求事項を定め，評価を行う場合がある。

1.1.3　設計寿命及び供用期間

-1.　本ガイドラインにおける設計寿命及び供用期間はいずれも 20 年とする。

-2.　前-1.とは異なる設計寿命及び供用期間とする場合には，本ガイドラインの規定の原則的な考え方に準拠して個々に要求事項を定め，評価を行う。

1.2　引用規格

1.2.1　一般

-1.　次に掲げる規格は，公益財団法人日本適合性認定協会が定める「認定の基準」についての分野別指針－風力発電システム：ウィンドファーム，プロジェクト－（JAB PD366:2017）によって指定されているウィンドファーム認証の引用規格のうち，洋上及び小形風車に係るものを除いたものである。これら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。

[J-01]　JIS C 1400-1:2017　：風力発電システム－第 1 部：設計要件

[J-02]　IEC 61400-1:2019　：Wind energy generation system - Part 1: Design requirements

[J-03]　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，平成九年三月二十七日通商産業省令第五十三号，最終改正：平成二九年三月三一日経済産業省令第三二号）

[J-04]　発電用風力設備の技術基準の解釈について（経済産業省，20140328 商局第 1 号平成 26 年 4 月 1 日）

[J-05]　風力発電設備支持物構造設計指針・同解説［2010 年版］（土木学会）

[J-06]　Germanischer Lloyd (GL) Guideline for the Certification of Wind Turbines　2010

-2.　前-1.に掲げた規格の要求事項を満足するため，次に掲げる規格は本ガイドラインに引用されることにより，規定の一部を構成する。これら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。

[R-01]　NKRE-SP-0003 ウィンドファーム認証要領，Edition February 2021

[R-02]　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（経済産業省，令和 3 年 6 月 21 日改正）

[R-03] 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（経済産業省，20210518 保局第 1 号，令和 3 年 5 月 24 日）
[R-04] 建築基礎構造設計指針（日本建築学会，2019 年）
[R-05] 高力ボルト接合設計施工ガイドブック（日本建築学会，2003 年）
[R-06] 煙突構造設計指針（日本建築学会，2007 年）
[R-07] JIS C 1400-12-1:2010 ：風車－第 12-1 部：発電用風車の性能試験方法
[R-08] JIS C 1400-24:2014 ：風車－第 24 部：雷保護
[R-09] IEC 61400-6:2020 ：Wind energy generation systems - Part 6: Tower and foundation design requirements
[R-10] IEC 61400-13:2015 ：Wind turbines - Part 13: Measurement of mechanical loads
[R-11] ISO 273:1979 ：Fasteners - Clearance holes for bolts and screws
[R-12] ISO 4354:2009 ：Wind actions on structures
[R-13] EN 1993-1-9:2005 ：Design of steel structures – Part 1-9: Fatigue
[R-14] fib Model Code for Concrete Structures 2010（CEB-FIP Model Code 2010）
[R-15] CEB-FIP Model Code 1990
[R-16] DNVGL-ST-0126 Support structures for wind turbines, Edition April 2016
[R-17] Measnet Evaluation of Site-Specific Wind Conditions, Version 2, April 2016
[R-18] IEC 61400-12-1:2017 ：Wind energy generation system - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

1.3 定義と略語

1.3.1 用語の定義

-1. 本ガイドラインで使用する主な用語の定義を**表 1-1** に定める。

表 1-1 用語の定義

用語	定義
依頼者	ウィンドファーム認証に係る審査申込書を提出する者をいう。
NK-PASS	本会ウェブサイト上で利用可能な文書提出・管理システムをいう。
環境条件	風車の挙動に影響を与える可能性がある風，高度，温度，湿度，気圧などの特性。
外部条件	環境条件，地盤・地質条件及び電力系統の条件を包含する風車の運転に影響を与える因子。
年平均	十分な期間にわたって集めた十分な量の測定データセットを平均した値であって，測定対象の期待値を推定できるもの。平均を計算する期間は，季節差などの非定常効果をならすため，1 年単位の整数倍とすることが望ましい。
平均風速	数秒から数年を変数とする所定期間内で平均化した風速の瞬時値の統計的平均。
年平均風速	年平均の定義に従って平均した風速。
ハブ高さ	風車ロータの受風面中心（ロータが 1 回転中に描く平面を，風向に対して垂直に投影した面の中心）の地上からの高さ。
カットイン風速	乱流がない定常風の場合に，風車が動力を発生し始めるハブ高さにおける最小の風速。
カットアウト風速	乱流がない定常風の場合に，風車が動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風速。
定格出力	通常，製造業者によって指定される構成部品，装置及び設備を仕様条件下で運転した場合に得られる出力の値。風車の場合，通常の運転条件及び外部条件下で供給するよう設計されている（風車の）最大連続出力をいう。

用語	定義
定格風速	乱流がない定常風の場合に，風車の定格出力に到達するハブ高さにおける最小の風速。
基準風速（V_{ref}）	JIS C 1400-1:2017 [J-01] において風車クラスを定義するために用いるハブ高さにおける風速で、再現期間 50 年の 10 分間平均風速として設定される。
基準風速（V_0）	建築基準法により，その地方の過去の台風等の記録に基づく風害の程度その他の風の性状に応じて 30m/s から 46m/s までの範囲において国土交通大臣が定める高さ 10m における再現期間 50 年の 10 分間平均風速。
極値風速	再現期間 50 年に対応する平均風速のこと。
発電時	カットイン風速からカットアウト風速の間で風車が発電のための運転をしている状態のこと。
暴風待機時	カットアウト風速を超え，風車が発電を停止し待機している状態。
複雑地形	地形が変化に富み又は障害物が存在し，それらによって気流がゆがめられやすい周辺地形。
粗度	地表の凹凸，樹木，建物等境界面の粗さや滑らかさ。
粗度長	鉛直方向の風速プロファイルが，高さに対して対数的に変化すると仮定した場合，平均風速が 0 となる外挿高さ。
地表面粗度区分	地表面の滑らかな状態から粗い状態までを段階的に区分したもの。
乱流強度	平均風速に対する風速の標準偏差の比で、変動風速の標準偏差を平均風速で除した値のこと。
乱流標準偏差	ハブ高さにおける乱流風速度の主方向成分の標準偏差。
風況観測データ	風速，風速の標準偏差，風向の 10 分間平均値に係る連続 1 年以上の時系列データのこと。
有効データ率	風況観測データについて，異常値などを除去するフィルター処理後のデータ充足率，もしくはデータ補完後のデータ充足率のこと。
データ充足率	該当する観測期間において、「フィルター処理後の利用可能な 10 分間平均値の個数」を「観測期間に対応する 10 分間平均値の総個数」で除した値のこと。
相関係数	2 つのデータ又は確率変数の間にある線形な関係の強弱を測る指標のこと。
決定係数	独立変数が従属変数にどれくらい寄与しているかを表す値であり，標本値から求めた回帰方程式のあてはまりのよさの尺度となる。
気流解析	空気の流れを計算する数値解析のこと。
気流解析モデル	気流解析に適用する方程式及びその解法のこと。（欧州のような広範囲にわたる平坦地形の場合は線形モデルが適用されるが，日本国内のような地形の傾斜勾配が大きい場合は非線形モデルが適している。）
周囲乱流標準偏差	観測データを用いた気流解析の結果により予測・算定された，風車位置ハブ高さでの風速の主方向成分の標準偏差のこと。（通常，風速ビンごとに算定する。）
周囲乱流強度	周囲乱流標準偏差を風速で除した値。
風車の後流影響	風車のロータ面を通過した風（後流）によって近隣風車が擾乱を受けること。
有効乱流強度	周囲乱流強度に風車の後流影響による乱流強度を加味した値。
ウィンドシア	地上高さに対する風速の変化に対して仮定される数学表現のこと。
ウィンドシアのべき指数	ウィンドシアの指数則の指数のこと。
気流傾斜角	ハブ高さでのロータ面に対する流入風の傾斜角のこと。
バックアップ電源	系統電力喪失時に風車の制御システムを稼働させるための電力を供給する電源システムのこと。
ヨー制御	風車のナセル方位角（ロータ軸の角度）を風向の変化に追従させる制御のこと。

用語	定義
ヨーミスアライメント	風車のナセル方位角（ロータ軸の角度）と風向の誤差で，一般的に 10 分間平均値で示す。
風力係数	構造物に作用する空気力を速度圧と代表面積の積で割った値。なお，平均風力係数は時間平均を意味している。

1.3.2 略語の定義

-1. 本ガイドラインで使用する主な略語の定義を**表 1-2** に定める。

表 1-2 略語の定義

略語	定義
RNA	Rotor Nacelle Assembly
DLC	Design Load Case
MCP	Measure-Correlate-Predict

1.3.3 記号の意味及び単位

-1. 本ガイドラインで使用する主な記号の意味及び単位を**表 1-3** に定める。

表 1-3 記号の定義

記号	意味	単位
C_{CT}	乱流構造強度パラメータ（JIS C 1400-1:2017 [J-01] 11.2 参照）	
D	ロータ直径	
I_{ref}	・10 分平均風速 15 m/s でのハブ高さにおける乱流強度の期待値[J-01] ・10 分平均風速 15 m/s での 70%分位値に対応する乱流強度の基準値[J-02]	
I_{rep}	周囲乱流強度の 90%分位値	
I_{eff}	有効乱流強度	
V_{hub}	ハブ高さにおける風速	$[m/s]$
V_{ave}	年平均風速	$[m/s]$
V_{in}	カットイン風速	$[m/s]$
V_{out}	カットアウト風速	$[m/s]$
V_r	定格風速	$[m/s]$
V_{ref}	基準風速（JIS C 1400-1:2017 [J-01]）	$[m/s]$
V_0	基準風速（建築基準法）	$[m/s]$
$\hat{\sigma}$	周囲乱流標準偏差	$[m/s]$
$\hat{\sigma}_\sigma$	周囲乱流標準偏差 $\hat{\sigma}$ の標準偏差	$[m/s]$
$\hat{\sigma}_1$	風車位置・ハブ高さにおける風速の主方向成分の標準偏差	$[m/s]$
$\hat{\sigma}_2$	風車位置・ハブ高さにおける風速の横方向成分の標準偏差	$[m/s]$
$\hat{\sigma}_3$	風車位置・ハブ高さにおける風速の鉛直方向成分の標準偏差	$[m/s]$
U_h	風車位置・ハブ高さにおける 50 年再現期間の 10 分間平均風速	$[m/s]$
U_{e50}	風車位置・ハブ高さにおける 50 年再現期間の 3 秒間平均風速	$[m/s]$
I_{h1}	風車位置・ハブ高さにおける再現期間 50 年の 10 分間平均風速に対する乱流強度	

1.4 ウィンドファーム認証

1.4.1 一般

-1. ウィンドファーム認証とは，1 基又は複数の風車（RNA）及びその支持構造物（タワー及び基礎）が特定のサイトに関する要求事項に適合していることを本会が書面を発行して証明する手続きのことをいう。

-2. ウィンドファーム認証は，原則として日本国内において電気事業法の適用を受け 1 基又は複数の風車（RNA）及びその支持構造物（タワー及び基礎）を設置する，出力が 500 キロワット以上の風力発電所を対象とする。日本国外のプロジェクトを対象とする場合の扱いについては，別途本会が適当と認めるところによる。

-3. ウィンドファーム認証の目的は，型式認証された風車（RNA）及びその支持構造物（タワー及び基礎）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。

-4. 型式認証を取得していない風車（RNA）及びタワーを採用する風力発電所に対してウィンドファーム認証を発行することは原則として認められない。ただし，設計評価適合証明書を取得しており，型式認証の取得に向けて型式試験を実施している風車の場合は，型式認証の取得を未解決事項とし，解決までの有効期限を設けることを条件にウィンドファーム認証を発行することがある。

-5. 本ガイドラインに記載のないウィンドファーム認証に係る手続きについては，ウィンドファーム認証要領 [R-01] に従わなければならない。

1.4.2 評価モジュール

-1. ウィンドファーム認証は，原則として次のモジュールで構成される。それぞれのモジュールの関係を**図 1-1** に示す。

(1) サイト条件評価
(2) 設計基準評価
(3) 全体荷重解析
(4) 風車（RNA）設計評価
(5) 支持構造物設計評価

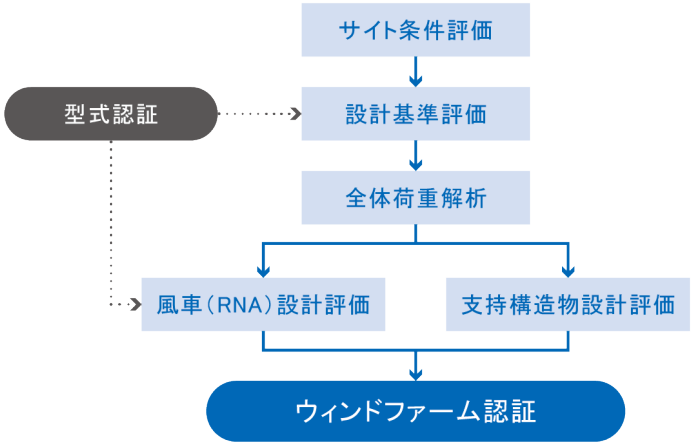

図 1-1 ウィンドファーム認証のモジュール

1.4.3 サイト条件評価

-1. サイト条件評価は，外部条件が現地観測，現地調査等の結果に基づいて適切に設定されていることを評価する。評価内容の詳細を **2 章**に示す。

1.4.4 設計基準評価

-1. 設計基準評価は，設計基準を正しく文書化し，安全な設計及び発電所建設のために十分なものであるかを評価する。評価内容の詳細を 3 章に示す。

1.4.5 全体荷重解析評価

-1. 全体荷重解析評価は，風車（RNA）に加えて，支持構造物及び支持地盤を含める，統合された風車全体へのサイト固有の荷重及び荷重の影響が，設計基準に適合するように算定されていることを評価する。評価内容の詳細を 4 章に示す。

1.4.6 風車（RNA）設計評価

-1. 風車（RNA）設計評価は，風車（RNA）の設計がサイト固有の条件及び設計基準に適合していることを評価する。評価内容の詳細を 5 章に示す。

1.4.7 支持構造物設計評価

-1. 支持構造物設計評価は，支持構造物（タワー／基礎）の設計がサイト固有の条件及び設計基準に適合していることを評価する。評価内容の詳細を 6 章に示す。

1.4.8 陸上風力発電所に対するウィンドファーム認証のモジュール

-1. 陸上風力発電所の場合は，1.4.2 の規定によらず，以下に示す [M1] ~ [M4] のモジュールで構成することができる。この場合のモジュールの関係を図 1-2 に示す。また、各モジュールを構成するそれぞれの評価の内容は 1.4.3 ~ 1.4.7 に従う。

[M1] サイト条件評価（風条件）
[M2] 風車（RNA）設計評価（サイト条件評価，設計基準評価及び全体風荷重解析を含む）
[M3] 支持構造物設計評価（タワー）（サイト条件評価，設計基準評価及び全体荷重解析を含む）
[M4] 支持構造物設計評価（基礎）（サイト条件評価，設計基準評価及び全体荷重解析を含む）

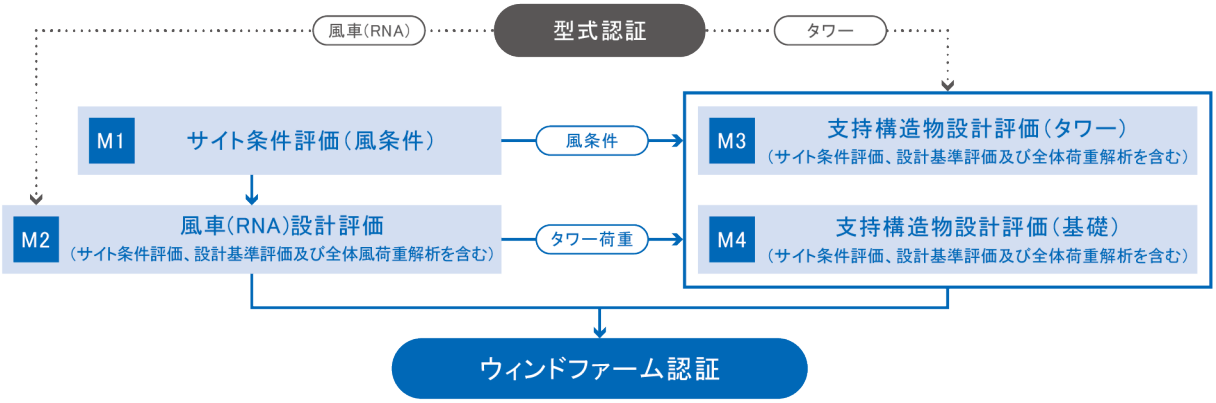

図 1-2 ウィンドファーム認証のモジュール【陸上風力発電所限定】

1.4.9 認証分科会

-1. 審査対象項目に応じて，表 1-4 に示す認証分科会を開催する。

-2. 大型風車認証分科会及び支持構造物認証分科会 タワー部会は，本会事務局による評価結果を分科会／部会の委員に説明する形で開催することを原則とする。

-3. 前-2.に加えて，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[R-02] により一般設備の要件に該当

しない場合については，本会による審査完了後に依頼者から分科会／部会の委員に対して直接本会による審査結果を踏まえた工事計画の内容を説明する場を設ける場合がある。なお，当該分科会／部会での説明に用いる資料は日本語以外受け付けない。

-4. 支持構造物認証分科会 基礎・地盤部会は，審査対象項目に係る内容を依頼者が当該部会の委員に直接説明する形で開催することを原則とする。なお，当該部会での説明に用いる資料は日本語以外受け付けない。

表 1-4 認証分科会

認証分科会	審査対象項目
大型風車認証分科会	[M1] サイト条件評価（風条件） [M2] 風車（RNA）設計評価（サイト条件評価，設計基準評価及び全体風荷重解析を含む）
支持構造物認証分科会 タワー部会	[M3] 支持構造物設計評価（タワー）［サイト条件評価，設計基準評価及び全体荷重解析を含む］のうち、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05] から逸脱する項目
支持構造物認証分科会 基礎・地盤部会	[M4] 支持構造物設計評価（基礎）［サイト条件評価，設計基準評価及び全体荷重解析を含む］のうち、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05] から逸脱する項目

1.5 提出すべき文書

1.5.1 一般

-1. ウィンドファーム認証の審査を受ける場合，依頼者は評価対象項目に応じて 1.5.2 ~ 1.5.6 に掲げる文書を本会に提出しなければならない。また，これらの文書以外にも，本会が必要と認める十分かつ正確な情報（図書や記録等）を提供しなければならない。

-2. 本会に提出する資料については，次に示す条件を満足したものとしなければならない。

- 資料作成もしくは資料発行に係る責任の所在が明確となっていること。
- 文書番号を有すること。
- 発行日が明確であること。
- 来歴（改訂履歴）が記載され，改定日及び改訂後の文書番号に加え，改訂箇所及びその内容が明確となっていること。
- 提出する資料の言語は原則として日本語とする。ただし，本会が適当と認める場合は英語としても差し支えない。なお，その他の言語とすることは認められない。
- 提出図書における単位は SI 単位系を原則とする。

-3. 本会が要求する文書の提出方法は，原則として NK-PASS を利用するものとする。

1.5.2 風車型式認証に係る資料

-1. ウィンドファーム認証の審査においては，風車型式認証における設計条件が基準となることから，その内容を確認するために，以下に掲げる型式認証に係る認証機関が発行した文書を本会に提出しなければならない。

(1) 型式認証書及び最終評価レポート
(2) 設計基準評価適合証明書及びその評価レポート
(3) 設計評価適合証明書及びその評価レポート
(4) 型式試験適合証明書及びその評価レポート
(5) 製造評価適合証明書及びその評価レポート
(6) 部品認証書及びその評価レポート

-2. 前-1.の (1)~(6) の評価レポートに記載されている風車製造者より認証機関へ提出した図面及び計算書のうち，風車型式に応じて本会が指定したものを提出しなければならない。

1.5.3 サイト条件評価（風条件）に係る資料

-1. サイト条件評価（風条件）に係る審査用資料として，以下に掲げる文書及びデータを本会に提出しなければならない。 なお，以下に示す項目を組み合わせた形の文書としても差し支えない。

(1) 計画サイトの基本情報に係るレポート

※ 以下の情報を含むものとする。

- 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) 現地観測に係るレポート（附属書 A.5 に示す項目を含むこと）

(3) 発電時の風条件に係るレポート（附属書 B.3.1 及び C.4.1 に示す項目を含むこと）

(4) 暴風待機時の風条件に係るレポート（附属書 B.3.2 及び C.4.2 に示す項目を含むこと）

(5) 暴風継続時間に係るレポート（5.4.2 に規定するバックアップ電源を設ける場合のみ）

-2. サイト条件評価（風条件）に係る審査において本会が必要と認める場合，以下に掲げるデータを本会に提出しなければならない。

(1) 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）

(2) 気流解析として実施した CFD 解析結果のデータ

1.5.4 風車（RNA）設計評価に係る資料

-1. 風車（RNA）設計評価に係る審査用資料として，以下に掲げる文書を本会に提出しなければならない。なお，以下に示す項目を組み合わせた形の文書としても差し支えない。

(1) 設計基準に係るレポート（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係るレポート

(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係るレポート

(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 を構成する部品およ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，5.4 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) 5.5.1 に規定する風車を安全に停止させるための対策及びその対策に伴う強度評価の結果をまとめた資料

(8) 5.5.2 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

1.5.5 支持構造物設計評価（タワー）に係る資料

-1. 支持構造物設計評価（タワー）に係る審査用資料として，以下に掲げる文書を本会に提出しなければならない。なお，以下に示す項目を組み合わせた形の文書としても差し支えない。

(1) 設計基準に係るレポート（3.2.3-1.に記載の内容を含み，風車設計評価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係るレポート

(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係るレポート

(4) 採用するタワーが風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05] の要求事項を満足していることを示すレポート

(5) 6.2 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

-2. 支持構造物設計評価（基礎）の審査申込を行わない場合は，1.5.6-1.に規定する審査用資料のうち以下に掲げる文書を本会に提出しなければならない。

(1) 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
- タワー定着部周りの基礎の図面

1.5.6 支持構造物設計評価（基礎）に係る資料

-1. 支持構造物設計評価（基礎）に係る審査用資料として，以下に掲げる文書を本会に提出しなければならない。

(1) 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

(2) 支持構造物設計の概要説明資料（1.4.9-4.に規定する支持構造物認証分科会 基礎・地盤部会を開催する場合）

1.6 発電用風力設備に関する技術基準との対応【参考】

1.6.1 一般

-1. 発電用風力設備に関する技術基準と本ガイドラインの要求事項との対応については**表 1-5** に示すとおりとなる。

表 1-5 電用風力設備に関する技術基準と本ガイドラインの要求事項との対応

発電用風力設備に関する技術基準（原文をそのまま抜粋）	本ガイドラインにおける関連項目
（適用範囲） 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。 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。	1 章 一般
（定義） 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。	-
（取扱者以外の者に対する危険防止措置） 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。 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。	-
（風車） 第四条 風車は、次の各号により施設しなければならない。 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。 二 風圧に対して構造上安全であること。 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。 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。 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。	2 章 サイト条件評価 3 章 設計基準評価 4 章 全体荷重解析評価 5 章 風車（RNA）設計評価
（風車の安全な状態の確保） 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。 一 回転速度が著しく上昇した場合 二 風車の制御装置の機能が著しく低下した場合 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。 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。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。	2 章 サイト条件評価 5 章 風車（RNA）設計評価
（圧油装置及び圧縮空気装置の危険の防止） 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。	-

発電用風力設備に関する技術基準（原文をそのまま抜粋）	本ガイドラインにおける関連項目
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。 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。 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。 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。 五　異常な圧力を早期に検知できる機能を有すること。	
（風車を支持する工作物） 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。 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。	2 章 サイト条件評価 3 章 設計基準評価 4 章 全体荷重解析評価 6 章 支持構造物設計評価
（公害等の防止） 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。 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。	-

2章　サイト条件評価

2.1　一般

2.1.1　一般

-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。

2.2　発電時の風条件

2.2.1　風況観測

-1.　発電時の風条件の評価は，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マストを用いて取得したデータにより行わなければならない。観測期間は信頼できるデータを得るのに十分な期間とし，季節的な影響が入るように少なくとも 1 年以上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し、その理由を明確に示さなければならない。この代表する地点の選定には，気流解析を用いるのが望ましい。

-3.　観測高さは，地形クラスにかかわらず表 2.1 に示すように計画ハブ高さの 2/3 以上としなければならない。また，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としなければならない。

-4.　風速計及び風向計はそれぞれ複数高度に配置し，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，風況観測マスト及び観測機器の設置方法は附属書 A に従ってもよい。

-5.　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 2.2.2 に示す相関関係に係る要求値を満足しなければならない。

表 2-1　観測高さ及び代表半径

地形クラス*	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 以上	10km 以内
複雑地形	ハブ高さの 2/3 以上	2km 以内

*：地形クラスは，2.2.3 に示す地形的複雑さの評価に基づいて決定される。

2.2.2　観測データの評価

-1.　サイト外部条件の評価は，2.2.1 の要求事項を満足する形で取得された風況観測データを用いて行わなければならない。

-2.　2.2.4 に示す気流解析の入力データとする風況観測データは，1 年以上でかつ有効データ率は 95%以上としなければならない。（観測マストの最も高い位置での観測データを採用することを原則とする。）

-3.　観測機器の故障等で風況観測データが欠けている期間や異常値となっている期間がある場合，適切な方法により風況観測データを補完しなければならない。なお，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。

-4.　前-3.で補完に用いる風速計及び風向計の有効データ率は原則として 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 法による補完を実施する場合，相関係数は 0.8 以上を原則とする。なお，補完方法の妥当性の確認として，欠測していない期間に対して適用した値と実測

値を比較した結果を示さなければならない。

-5. 風況観測データについては，気象モデルによる再解析データやサイトの近隣気象観測所の長期観測データなど適切な参照データを用いて平年値との比較を行い，適切に補正しなければならない。

-6. 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。

-7. 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，気流解析の入力データとする場合

(2) 観測マストの観測データを気流解析の入力データとし，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

-8. 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，前-2.による。ただし，マストの観測データを気流解析の入力データとし，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前-2.の規定によらなくてもよい。

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	風速に係る要求事項	風向に係る要求事項
(1)	・決定係数 R^2 ：> 0.98 ・回帰直線の傾斜：0.98 – 1.02	・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)	・決定係数 R^2 ：> 0.97 ・回帰直線の傾斜：0.97 – 1.03 ※ 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。	・決定係数 R^2 ：> 0.95 ・回帰直線の傾斜：0.95 – 1.05 ・回帰直線の切片：< 10° ※ 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。

2.2.3 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，乱流構造補正パラメータ（以下，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 [J-01], 11.2 項（IEC 61400-1 Ed.3.1, 11.2）

(2) IEC 61400-1:2019 [J-02], 11.2

-2. 計画サイトにおいて，C_{CT} ≧ 1.05 となる観測マストもしくは風車が 1 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。

2.2.4 気流解析

-1. 風車位置の風条件を予測するため，気流解析を適切に実施しなければならない。なお，気流解析に適用するモデル及び考慮する風向セクター数については**表 2.3** による。

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. 気流解析については，計画サイトの地形及び周囲の状況に応じた適切な地形モデルを選定し，その解析領域を十分に確保しなければならない。気流解析の詳細については，附属書 B.1 に従わなければならない。

-3. 気流解析の妥当性を十分に確認しなければならない。気流解析により，風況観測マスト位置の風条件を算定し，平均風速・乱流強度・ウィンドシアについて方位別に観測データとの比較による検証を行わなければならない。この気流解析の妥当性の確認について，その詳細は附属書 B.2 に従わなければならない。

2.2.5 風速出現頻度分布の算定

-1. サイトの風況観測データ及び気流解析の結果を用いて，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. 方位別の出現頻度に加えて，方位別のエネルギー密度も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，附属書 C.2.1 に従ってもよい。

2.2.6 乱流強度の算定

-1. サイトの風況観測データ及び気流解析の結果を用いて，風車位置のハブ高さにおける方位別の乱流強度について，JIS C 1400-1:2017 [J-01] で規定される通常乱流モデル（NTM）及び極値乱流モデル（ETM）に対応する乱流強度をそれぞれ算定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. 通常乱流モデル（NTM）に対応する乱流強度である I_{rep} を算定するため， V_{in} ～ V_{out} の間の V_{hub} における周囲乱流標準偏差 $\hat{\sigma}$ 及び $\hat{\sigma}$ の標準偏差 $\hat{\sigma}_{\sigma}$ を算定しなければならない。

-3. 極値乱流モデル（ETM）に対応する乱流強度については， V_{in} ～ V_{out} の間の V_{hub} における周囲乱流標準偏差 $\hat{\sigma}$ の最大値を用いた乱流強度とすることができる。

-4. なお，乱流標準偏差については，主方向成分 $\hat{\sigma}_1$ だけではなく主方向に対する横方向成分 $\hat{\sigma}_2$ 及び鉛直方向成分 $\hat{\sigma}_3$ についても算定する必要があることに留意すること（4.2.2-3 参照）。

-5. 乱流強度の具体的な算定方法は附属書 C.2.2 に従ってもよい。

2.2.7 隣接風車の後流影響評価

-1. 2.2.6 で求めた風車位置のハブ高さにおける周囲乱流強度を用いて，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，発電に関係する全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（以下，I_{eff}）を用いることとして差し支えない。この I_{eff} については，以下のいずれかに示されるモデルによって算定しなければならない。

(1) JIS C 1400-1:2017 [J-01]，附属書 D（IEC 61400-1 Ed.3.1，附属書 D）

(2) IEC 61400-1:2019 [J-02], Annex E

-4. 大規模ウィンドファームの場合，I_{eff} は，JIS C 1400-1:2017 [J-01] 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係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。

2.2.8 ウィンドシアのべき指数の算定

-1. サイトの風況観測データ及び気流解析の結果を用いて，風車位置のロータ受風面の高さ方向の方位別のウィンドシアのべき指数を算定しなければならない。

-2. 前 -1.で求めた方位別のウィンドシアのべき指数をエネルギー密度に基づき加重平均した値が 0.2 を下回る場合は，その値を 0.2 としなければならない。

-3. ウィンドシアのべき指数の具体的な算定方法は附属書 C.2.3 に従ってもよい。

2.2.9 気流傾斜角の算定

-1. サイトの風況観測データ及び気流解析の結果を用いて，風車位置のハブ高さにおける方位別の気流傾斜角を算定しなければならない。

-2. 全方位を考慮した気流傾斜角の代表値を算定する場合は，前-1.で求めた方位別の気流傾斜角をエネルギー密度に基づいて加重平均してもよい。

-3. 気流傾斜角の具体的な算定方法は附属書 C.2.4 に従ってもよい。

2.2.10 大気密度の算定

-1. 現地観測データ等によりサイトの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附属書 C.2.5 に従ってもよい。

2.3 暴風待機時の風条件

2.3.1 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 10 分間平均風速 U_h 及び 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。なお，これらの算定方法は，風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [J-05] に準拠している附属書 C.3.1 及び C.3.2 に従わなければならない。

-2. 前-1.の算定に用いる気流解析については，その妥当性を十分に確認しなければならない。気流解析により，風況観測マスト位置の風条件を算定し，平均風速・乱流強度・ウィンドシアについて方位別に観測データとの比較による検証を行わなければならない。この気流解析の妥当性の確認については，附属書 B.2 に従って行わなければならない。

-3. U_{e50} については，附属書 C.3.3 に従って 2.2.2 に示す事項を満足する適切な観測データに基づいて I_{h1} を算定することにより求めてもよい。

-4. 再現期間 1 年の 10 分間平均風速 U_1 については，JIS C 1400-1:2017 [J-01] に従い，再現期間 50 年の 10 分間平均風速 U_h の 0.8 倍とする。なお，これによらず長期観測データ等に基づく算定値とすることができる。ただし，その場合は観測データ自体の妥当性，解析手法の妥当性などを十分に示さなければならない。

-5. 再現期間 50 年及び 1 年の極値風速に対するウィンドシアのべき指数は，以下の項目のうち最も大きい値を採用しなければならない。

(1) 附属書 C 表 C.1 に定める地表面粗度区分に応じたウィンドシアのべき指数

(2) JIS C 1400-1:2017 [J-01] 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) 附属書 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ウィンドシアのべき指数

2.3.2 大気密度の算定

-1. サイトにおける極値風速に対応する大気密度は，1.22kg/m^3 以上としなければならない。

2.4 地盤及び地震条件

2.4.1 一般

-1. 以下に示す省令及び指針の要求事項に対応した地盤及び地震条件を設定しなければならない。

(1) 発電用風力設備に関する技術基準を定める省令[J-03]

(2) 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05]

-2. 前-1.に従って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。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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. 建設予定地点について，陸上／洋上の区別が明確でない場合についての取り扱いは，本会が適当と認めるところによる。

2.5 雷条件

2.5.1 一般

-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 2.1 に示す実線で囲まれた区域，破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。

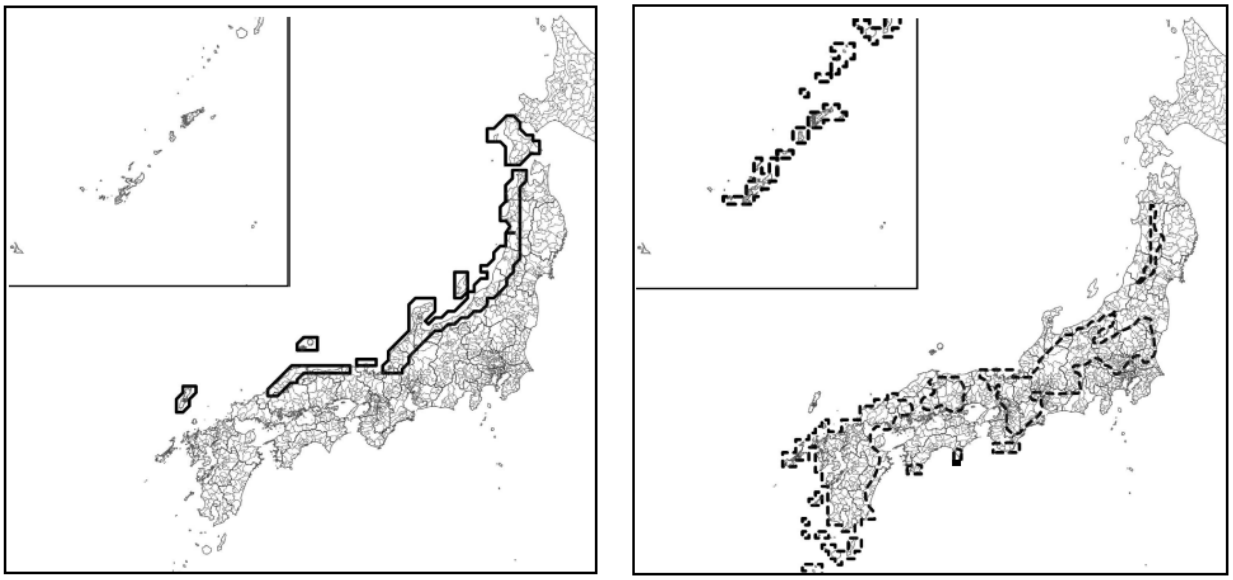

図 2-1 地域ごとの被雷頻度

2.6 その他の環境条件

2.6.1 一般

-1. 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) 設計垂直積雪量及び着氷

(3) 湿度

3章　設計基準評価

3.1　一般

3.1.1　一般

-1.　設計基準評価の目的は，設計基準が正しく文書化され，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どうかを審査することにある。

3.2　設計基準の要求事項

3.2.1　一般

-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な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.　設計基準には，関連する全ての総合的な設計事項，並びにサイト条件，荷重，設計荷重ケース，荷重及び材料に適用される部分安全率，形状の許容公差，許容される腐食しろの進行度合いなどに関する計算に適用されるパラメータを含めなければならない。

3.2.2　風車（RNA）の設計基準

-1.　風車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 秒間平均風速（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 秒間平均風速（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，及び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) 荷重計算に関わる設計パラメータ，及び当該荷重解析手法を適用することの妥当性
(6) 荷重ケース表
(7) 荷重係数及び荷重低減係数
(8) 荷重解析モデルの概要
(9) シミュレーションの継続時間及びその時間
(10) 極値及び疲労に関する設計荷重及び応答解析
(11) その他，本会が必要と認める項目

3.2.3 支持構造物の設計基準

-1. 支持構造物（タワー）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

-2. 支持構造物（基礎）の設計基準については，原則として風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05]の規定に従うことで差し支えない。

4章　全体荷重解析評価

4.1　一般

4.1.1　一般

-1.　全体荷重解析の目的は，ロータ・ナセル・アセンブリ（RNA）に加え，支持構造物及び支持地盤を含む風車構造全体へのサイト固有の荷重及び荷重の影響が，設計基準に適合するように算定されているかどうかを評価することにある。

4.2　RNA 及びタワーの評価に係る荷重解析の要求事項

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

-1.　荷重の算定に必要なサイト条件及び荷重の影響に関する設計基準の条件及び要求事項がその型式の風車に対する型式認証で設定されている内容を下回っており，風車の制御を含む特性が型式認証で設定されている内容と同じであることが本会によって確認された場合，2 章で定めるサイト条件に基づく荷重解析は要求されない。

-2.　前-1.の確認にあたっては，JIS C 1400-1:2017[J-01] 11.9 に従い，2 章で定めるサイト条件に基づき，サイト固有の設計条件と型式認証で設定された設計値との比較を行わなければならない。なお，2 章で定めるサイト条件のうち乱流強度については，2.2.7 に規定する I_{eff} （隣接風車が存在しない場合は 2.2.6 で規定する I_{rep} ）の主流方向成分に 2.2.3 で規定する C_{CT} を乗じた値と型式認証で設定された乱流強度の主流方向成分を風速ビン別に比較しなければならない。

-3.　前-2.の確認において，型式認証で設定された設計値を逸脱する項目があることが認められた場合，もしくは風車の制御を含む特性が，型式認証で設定されている内容と異なる場合は，2 章で定めるサイト条件に基づき，4.2.2 で定める荷重解析を行わなければならない。

4.2.2　荷重解析

-1.　サイト条件に基づく荷重解析については，原則として型式認証時に適用した設計荷重ケースの全てを対象とし，型式認証時に適用した解析モデル及び解析手法を用いて実施しなければならない。なお，型式認証時に適用した設計荷重ケースを省略する場合は，省略しても差し支えない理由を示さなければならない。

-2.　連系する系統電力が喪失した場合の対策としてバックアップ電源を設ける風車の場合は，5.3 に従って評価を行い，終局荷重解析において適用する設計荷重ケースを決定しなければならない。

-3.　荷重解析では，2.2.6 で定める乱流強度の 3 方向の成分を適切に考慮しなければならない。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，主方向成分に対する横方向及び鉛直方向の乱流標準偏差は，主方向成分に対する比率をそれぞれ 1.0 及び 0.7 と仮定してよい。また， C_{CT} を用いて式 (2.1) 及び (2.2) を適用して算定してもよい。なお，この場合は 4.2.1-2.で規定する主流方向成分に対して C_{CT} を乗じる必要はない。

$$\hat{\sigma}_2 = 1.15 \times 0.8 \times C_{CT} \times \hat{\sigma}_1 \tag{2.1}$$

$$\hat{\sigma}_3 = 1.15 \times 0.5 \times C_{CT} \times \hat{\sigma}_1 \tag{2.2}$$

-4.　算定するサイト荷重の定義を明確に示し，そのサイト荷重算定の際に適用した座標定義を図によって明確に示さなければならない。なお，座標定義については IEC 61400-13:2015[R-16] に規定されている定義を用いることを原則とする。

-5.　荷重解析に適用するサイトの極値風速条件については、10 分間平均風速、3 秒間平均風速、べき指数が最大となる組み合わせをそれぞれ考慮して、最大荷重が得られる条件を適切に選定しなければならない。

-6. サイトの極値風速が風車の型式認証時の設計風速を大きく超える場合については，型式認証時に適用した極値風速状態に適用する荷重解析手法が適用可能であることについて十分に検証しなければならない。

-7. 待機状態において，パッシブヨー制御（フリーヨーなど）を行う風車の場合，設計荷重ケースの設定は別途本会が適当と認めるところによる。

4.3 支持構造物評価に係る荷重解析の要求事項

4.3.1 一般

-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評価に係る荷重解析を実施しなければならない。

(1) 発電用風力設備に関する技術基準を定める省令[J-03]

(2) 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05]

4.3.2 支持構造物の荷重解析

-1. 4.3.1-1. 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[J-05] 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。

-2. 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05] 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，附属書 F.2 に従って算定しなければならない。

-3. 地震応答解析においては，風車ブレードの質量・剛性分布の影響を適切に考慮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[J-05] 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[J-05] 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章　風車（RNA）設計評価

5.1　一般

5.1.1　一般

-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れなければならない。

-2.　風車の型式認証書には記載されていない，新規の部品，改良された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事項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は，本会が適当と認めるところによる。

5.2　風車（RNA）設計評価

5.2.1　サイト荷重と型式認証時の設計荷重との比較

-1.　サイト条件に基づき実施した全体荷重解析による荷重（以下，サイト荷重）が，型式認証時に適用した設計荷重（認証設計荷重）を上回らない場合，当該サイト条件は型式認証時の設計値を満足していると考えてよく，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.　前-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，少なくとも以下に掲げる項目を考慮し，RNA の仕様・構造に応じて以下に掲げる項目以外にも適切に評価対象箇所を設定しなければならない。また， RNA の構造的な健全性を示すのに十分な項目が選定されていることを明確に示さなければならない。

(1)　ブレードルート部及びブ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／タワートップとナセルとの接合部
(8)　ナセル架台
(9)　その他評価が必要な主要部品

-3.　認証設計荷重が確認できる資料として，設計評価適合証明書の認証評価レポートに記載されている認証設計荷重に係る設計図書を本会に提出しなければならない。

5.2.2　サイト荷重に基づく RNA を構成する部品の強度評価

-1.　サイト荷重が認証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荷重に対する健全性を検証しなければならない。

-2.　前-1.の検証については，型式認証時に適用したものと同じ設計手法・安全率等の考え方による強度評価（以下，原設計の手法）に基づき，サイト荷重による応答や作用応力等を求め，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。なお，この強度評価において何らかの判断を行う場合は，その判断が妥当であることの根拠を国際基準や指針等を引用する形で示さなければならない。

-3.　サイト荷重に基づく強度評価において原設計の手法を引用する際には，型式認証書及び関連する適合証明書及び認証評価レポートに記載されている原設計の手法の詳細が確認できる資料を参考資料として本会に提出しなければならない。

-4. サイト荷重に基づく強度評価をまとめるレポートには，検討対象となる部品ごとにサイト荷重の認証設計荷重に対する超過率と前-2.に示す強度評価結果による裕度を対応させた表をサマリーとして記載しなければならない。また，その表に記載の数値の根拠については，詳細な計算書をレポートに添付するか，別冊を引用するなど適切な方法で明確に示さなければならない。

5.3 ナセルカバーの強度評価

5.3.1 一般

-1. サイト条件に基づいて設定される風荷重に対してナセルカバーは十分な強度を有するものでなければならない。

5.3.2 ナセルカバーに対する風荷重

-1. ナセルカバーの風荷重係数は式 (5.1) によって算定しなければならない。

$$P_e = \frac{1}{2}\rho {U_h}^2 \hat{C}_p \tag{5.1}$$

ここで，

ρ ：空気密度で，1.22 $[kg/m^3]$とする

U_h ：2.3.1 で規定する再現期間 50 年の 10 分間平均風速 $[m/s]$

$\hat{C}_p$ ：ピーク風力係数で式 (5.2) により求める。

$$\hat{C}_p = \hat{C}_{pe} - C_{pi} \tag{5.2}$$

ここで，

$\hat{C}_{pe}$ ：ピーク外圧係数

C_{pi} ：内圧係数で表 5-1 による

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	-0.5
風上側の面に開口がある場合	0.5	0

-2. ピーク外圧係数は式 (5.3) によって算定しなければならない。

$$\hat{C}_{pe} = \hat{C}_{em}(1 + 7I_{h1}) \tag{5.3}$$

ここで，

$\hat{C}_{em}$ ：等価風圧係数で，附属書 D に参考例を示す

I_{h1} ：2.3.1 に示す再現期間 50 年の 10 分間平均風速に対する乱流強度

-3. ピーク外圧係数については，前-2.に示す規定に代えて，風洞試験の結果に基づいて設定してもよい。なお，風洞試験の実施については，附属書 E を参考にすることができる。

5.3.3 荷重ケース

-1. ナセルカバーに作用する風荷重については，表 5-2 に示す荷重ケースを全て考慮して算定しなければならない。なお，表 5-2 に示す荷重ケースは，JIS C 1400-1:2017[J-01] で規定される設計荷重ケースのうち，DLC6.1 及び DLC6.2 で考慮すべき風速・風向・乱流強度と対応しており，そのうち風向については $\hat{C}_{em}$ 算定の際に考慮すべきものであることに留意すること。

-2. それぞれの荷重ケースの風荷重は式 (5.1) を用いて算定し，かつ表 5-2 に示す部分安全係数を乗じなければならない。

表 5-2 ナセルカバーの荷重算定に適用する荷重ケース

No.	$\hat{C}_{em}$	$\hat{C}_{em}$算定の際に考慮する風向	風速	乱流強度	風荷重に対する部分安全係数
NC.1-1	正値	-15° ～ +15° *1	U_h	I_{h1}	1.35
NC.1-2	負値				
NC.2-1	正値	全風向 *2	U_h	I_{h1}	1.10
NC.2-2	負値				

*1：JIS C 1400-1:2017[J-01] で規定される DLC6.1 で考慮すべき風向に対応
*2：JIS C 1400-1:2017[J-01] で規定される DLC6.2 で考慮すべき風向に対応

5.3.4 強度評価

-1. サイト条件に基づき，5.3.3 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。

-2. 前-1.にかかわらず，ナセルカバーに複合材料を用いる場合については，材質・製造・長期劣化等に係る部分安全係数を適切に考慮することとし，その積は 2.0 を下回ってはならない。

5.4 系統電力喪失時の評価

5.4.1 一般

-1. 風車は，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. 前-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 [J-01] 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. 前-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，5.4.2 に示す要求事項を全て満足することによって全体荷重解析に適用する設計荷重ケースから DLC6.2 を省略しても差し支えない。

5.4.2 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)～(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ヨーミスアライメントを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，設計値として採用する当該ヨーミスアライメントの確からしさが検証されていること。

(2) 前 (1) の結果から得られるヨーミスアライメントの設計値と±8°のうち大きい方を 4 章で規定される全体荷重解析に用いる設計荷重ケースのうち，JIS C 1400:2017 [J-01] で規定される 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係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係るパラメータが適切に設定されていること。

-2. ヨーミスアライメントの設計値の設定にあたっては，サイト固有の極値風速状況下において，次の (1)～(8) に示す項目を評価・確認しなければならない。また，これらの項目の評価・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) ヨー制御に必要な観測値を得る風速・風向計について，サイト固有の極値風速状態での使用性及びその観測精度が担保され，かつ取付部を含む風速・風向計がサイト固有の極値風速状況下で十分な強度を有していること。

(2) ヨーの風向追従ロジック及びヨー制御に係る機器の制御ロジックがヨーミスアライメントの設計値を担保できること。

(3) ヨー制御の制御ロジックに対してヨードライブ及びヨーブレーキの仕様が適切であること。

(4) ブレードフェザー状態の維持に必要なピッチ制御機構もしくはロック機構を備えており，かつそれらの機構がサイト固有の極値風速状況下で十分な強度を有していること。

(5) サイト固有の極値風速が発生する状態を適切に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。

(6) サイト固有の極値風速状況下で、風力トルク，ヨードライブトルク及びヨーブレーキ等によって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）または制動力（風力トルクがヨー旋回方向に作用する場合）が適切に考慮されており，かつその状態でヨー制御に関連する機器が十分な強度を有していること。

(7) 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。

(8) 個々の風車に応じ，その他本会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ヨー制御と最低限必要となるその他の制御に必要な電力量を算出し，決定されなければならない。なお，その電力量の算定にあたっては，次の (1) 及び (2) で算定される暴風継続時間及び風向偏差のうち大きい方を採用し，その条件に対して十分な容量を確保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。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，「$V_0 - 24$」により求められる数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。

-4. 系統電源を喪失し，バックアップ電源による運転を行った場合には，通常運転への自動復帰を行ってはならない。点検により異常がないことが確認された場合のみ通常運転に復帰できることを運転マニュアルに明記しなければならない。

-5. アップウィンド風車が暴風待機時にダウンウィンド制御を行う場合については，前-1.から-3.に加えて，別途本会が適当と認める要求事項を満足しなければならない。

5.5 風車の安全な状態を確保するための評価

5.5.1 風車の安全かつ自動的な停止

-1. 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しなければならない。

(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

-2. 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。

5.5.2 雷撃からの保護

-1. 本項の規定は，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[R-02] に基づいており，その要求事項に変更はない。

-2. 最高部の地表からの高さが 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ような措置を講じなければならない。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。【省令，第五条 第３項】

-3. 「雷撃から風車を保護するような措置」とは、発電用風力設備を設置する場所の落雷条件を考慮し、次に掲げる地域の区分に応じて定める要件の全てを満たすものをいう。【解釈，第七条 第６項 一】

(1) 図 2.1 の実線で囲まれた地域

（イ）風車への雷撃の電荷量を 600 クーロン以上と想定して設計すること。

（ロ）雷撃から風車を保護する効果が高く，かつ，容易に脱落しない適切なレセプターを風車へ取付けること。

（ハ）雷撃によって生ず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下げ導体等を施設すること。

（ニ）風車への雷撃があっ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 2.1 の破線で囲まれた地域

（イ）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。

（ロ）イ（ロ）及び（ハ）の要件を満たすこと。

(3) 図 2.1 の実線又は破線で囲まれた地域以外の地域

（イ）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。

（ロ）(1) の（ロ）及び（ハ）の要件を満たすこと。

-4. 風車を支持する工作物（船舶安全法（昭和八年法律第十一号）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，次に掲げる要件の全てを満たす避雷設備を設けること。【解釈，第七条 第６項 二】

(1) 風車を支持する工作物に被害を及ぼすことなく，雷撃によって生ずる電流を安全に地中に流すことができる雷保護は，JIS C 1400-24:2014[R-08] に適合するものであること。

(2) 避雷設備の雨水等により腐食のおそれのある部分にあっては，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。

-5. 前-2.に規定する「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」とは、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を含むものをいう。【解釈，第七条 第７項】

6章　支持構造物設計評価

6.1　一般

6.1.1　一般

-1.　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)　発電用風力設備に関する技術基準を定める省令[J-03]

(2)　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[R-02]

(3)　風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05]

-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）との接続部に係る詳細評価など，一般に型式認証取得時に実施する評価項目をウィンドファーム認証でも別途実施する必要があることから，その取扱いは本ガイドラインの規定に拠らず別途本会が適当と認めるところによる。

6.2　支持構造物（タワー）

6.2.1　一般

-1.　支持構造物（タワー）の設計について，6.1.1-1.の規定を満足しない項目がある場合は，当該項目が 6.1.1-1.の規定が定める安全性に係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.　前-1.の場合のうち，附属書 F 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本会によって確認された場合は，当該項目については 6.1.1-1.の規定が定める安全性に係る要求基準を満足していると考えてよい。

6.3　支持構造物（基礎）

6.3.1　一般

-1.　支持構造物（基礎）の設計が，6.1.1-1.の規定を満足しない項目がある場合は，当該項目が 6.1.1-1.の規定が定める安全性に係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。

6.3.2　支持構造物（基礎）の強度評価

-1.　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[J-05] 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[R-06] 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[R-06] 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。

6.3.3　設計において留意すべき事項

-1.　支持構造物（基礎）の設計においては，風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[J-05] の規定に加えて以下の点にも留意すること。

(1) コンクリート基礎打設を打継にて行う場合，その処置方法を図面に明記しなければならない。

(2) 液状化の発生が予想される場合，地震発生後に基礎下面に間隙等がないかの確認を行い、間隙等が確認された場合には回復措置を行う旨の注記を図面に明記しなければならない。

附属書 A.　観測データの評価方法【規定】

A.1　観測地点の選定

-1.　風況観測は，サイト内の全ての風車に対して必要な観測データを得ることができるように，その観測地点を計画しなければならない。

-2.　観測地点として必要な数を決めるにあたっては，気流解析によって風車位置の風条件を推定することを前提とし，観測地点から代表半径内であれば推定に係る不確かさを軽減できるとの考え方に基づき，全ての風車は少なくとも 1 つの観測地点の代表半径内に配置しなければならない。

-3.　表 2-1 に示す代表半径は，地形に応じて定められているが，これは地表面粗度がその代表半径内で一様であると仮定できる場合の値である。サイト内及び気流解析において解析領域として設定する周辺地域において地表面粗度が一様でない場合は，観測地点における計測値は風車位置とは異なった地表面粗度の影響を受ける可能性があることから，代表半径は必ずしも全ての方位に適用可能ではないことに留意しなければならない。この場合は，観測地点の選定の段階で気流解析を実施するなど適切な事前検討を行わなければならない。

-4.　運転中の既設風車の近隣で観測を行わなければならない場合，当該風車の後流影響を受けない地点を選択しなければならない。なお，当該風車からの離隔距離が 10D（D：運転中の風車のローター径）以上確保できる場合は，後流影響は受けないものとして扱って差し支えない。

A.2　観測マストによる風速計測

-1.　風速計測は，カップ形風速計もしくはそれと同等の性能が保証された風速計によって行う。

-2.　カップ形風速計は，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。カップ形風速計の校正は，JIS C 1400-12-1:2010[R-07] 附属書 F の手順に従って実施されたもの，もしくはそれと同等と認められるものとし，その校正結果を報告書に添付する。

-3.　カップ形風速計は，風条件の鉛直外挿の不確かさを軽減するために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，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計測が必要になるが，その場合であってもカップ式風速計は可能な限り高い位置に取り付けなければならない。計画サイトのウィンドシアの鉛直プロファイルを評価するため，最上部風速計からおよそ 10m の間隔で風速計を 2 個以上追加する。また，最上部風速計に近い高さにバックアップ用に風速計を取り付けてもよい。

-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が極力少なくなるように設置する。観測マストへの風速計の取り付けは，JIS C 1400-12-1:2010[R-07] 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。さらに，校正，設置方法，機器構成及び試験方法等については，MEASNET[R-17], [A1] を参照しても差し支えない。

-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，ヒーターを設けるなど寒冷地仕様のものを使用すること。

A.3　観測マストによる風向計測

-1.　風向計測は，矢羽根式風向計によって行う。A.2 に示す風速計と対を為すように各高度に取り付けるのが望ましい。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が極力少なくなるように設置する。観測マストへの風向計の取り付けは，JIS C 1400-12-1:2010[R-07] 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.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ことが望ましい。ただし，観測マストと機器の離隔距離に係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 観測及び観測結果の評価レポート

-1. 観測に係るレポートには，少なくとも以下の項目が含まれていなければならない。

(1) サイトの状況：

a. 全観測地点から撮影した周辺 360°方向の写真

b. 観測地点を示したサイトの地形図

c. 観測地点と計画風車位置との離隔距離

d. 観測地点及び風車位置の地形判定結果（2.2.3 に従うことで差し支えない）

(2) 計測システムの説明：

a. 観測機器及びデータ収集システム仕様（観測機器の校正証書類を含む）

b. 観測マスト上の観測機器類の配置及びその確認結果

c. 観測マストと取り付けブームの主要寸法を含んだ図面

d. 計測全期間中の風速計キャリブレーション維持の方法と，これが維持されたことを示す証憑

(3) 計測手順の説明：

a. 計測手順の説明，試験検査条件，サンプリングレート，平均化時間，計測期間

b. 計測全期間中に発生した重要事象（もしあれば）

c. データ分析時と結論導出時に適用したデータ除去基準

-2. 観測結果の評価に係るレポートには，少なくとも以下の項目が含まれていなければならない。

(1) 長期評価：

a. 評価に用いた方法，適用した長期データの詳細

b. 長期データによる補正を適用した統計解析結果

c. 実施した長期評価結果の有意性

(2) 風向・風速データ：

a. 計測全期間，及び各月の平均，最大／最小風速及び風速標準偏差を表形式で記載する。

b. 方位ごとのワイブル形状・尺度係数，および方位ごとの出現頻度分布及びエネルギー密度分布（風向セクター幅は 30°以下とする）を観測マストごとに表形式で規定する。風向分布図（プロット）も必要。

c. 観測マストとリモートセンシング機器を併用する場合は，**表 2-2** に示す相関に係る要求値を確認した結果を示す相関図及びその回帰直線を表すパラメータ。

d. 前 c. において表 2-2 に示す要求値を満足しない場合は，**表 2-2** に記載の注記に従い要求値を満足しないことの理由を考察した結果。

(3) 乱流強度：

a. 方位ごとの周囲乱流強度（風向セクター幅は 30°以下とする）を観測マストごとに表形式で規定する。

b. 全風向を考慮した周囲乱流強度と IEC 乱流カテゴリーとの比較図。

(4) 気温：

a. 計測全期間と各月について，気温の平均値，最小値，最大値を表形式で記載する。

(5) 気圧：

a. 計測全期間と各月について，気圧の平均値，最小値，最大値を表形式で記載する。

(6) 湿度：

a. 計測全期間と各月について，相対湿度の平均値，最小値，最大値を表形式で記載する。

A.6 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 Conditions. Version 1），2016.

附属書 B.　気流解析及びその妥当性検証【規定】

B.1　気流解析

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。

-2.　地形データは 50m を超える解像度としてはならない。複雑地形の場合は，解像度の高いデータを使うことが望ましいが，B.1.3 に規定する計算格子の設定と併せて適切に考慮しなければならない。

-3.　地表面粗度データは 100m を超える解像度としてはならない。地表面粗度の分布の変化が大きい場合は，より解像度の高いデータを使うことが望ましい。なお，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，観測マストと全ての風車を含めた範囲を設定し，観測マスト及び全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.　流入境界までの距離は，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。

-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比（閉塞率）が 5%以下となるようにしなければならない。または，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。

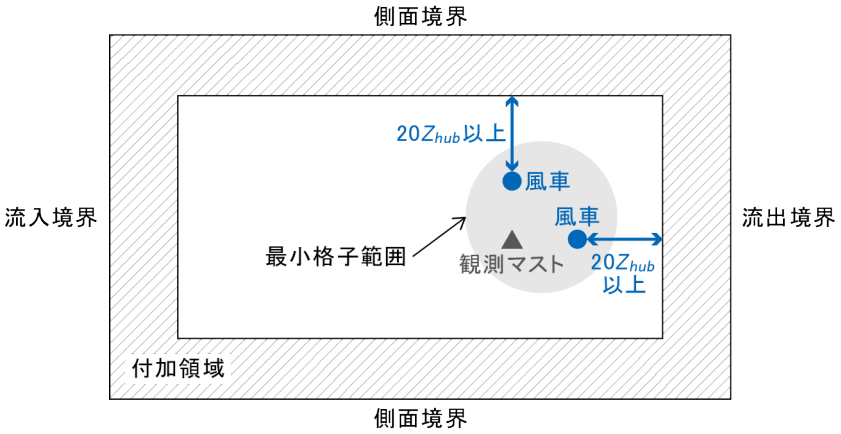

図 B.1 計算領域（水平方向）の例

B.1.3　計算格子及び解像度

-1.　観測マストと風車を含む範囲(最小格子範囲)の水平方向の計算格子サイズは 25m を超えないことを原則とする。最小格子範囲から遠方になるにつれて，徐々に粗くしてもよいが，その場合の計算格子サイズの伸長率は，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，k-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また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。

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，自由流出条件また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，k- 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。

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 気流解析の妥当性検証

B.2.1 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

-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以下に掲げる項目を算定し，これらと観測データの比較によって行わなければならない。

(1) 風向別の平均風速

(2) 風向別のウィンドシアの鉛直プロファイル

(3) 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と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**図 B.2** に例示する形で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，**図 B.3** に例示する形で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。この場合，15m/s に対応する風速ビンの適用を原則とするが、観測データの状況（風速ビンごとの観測点数など）に応じてその風速ビンを変更しても差し支えない。

$$\sigma_u^{surf} = \sqrt{1.2k} \tag{B.1}$$

$$I_{sim} = \frac{\sigma_u^{surf}}{U} \tag{B.2}$$

B.2.2 暴風待機時の風条件に適用する気流解析の妥当性検証

-1. 暴風待機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以下に掲げる項目を算定し，これらと観測データの比較によって行わなければならない。なお，それぞれの項

目の詳細については，B.2.1 の規定を適用しなければならない。

(1) 風向別の平均風速

(2) 風向別のウィンドシアの鉛直プロファイル

(3) 風向別の乱流強度

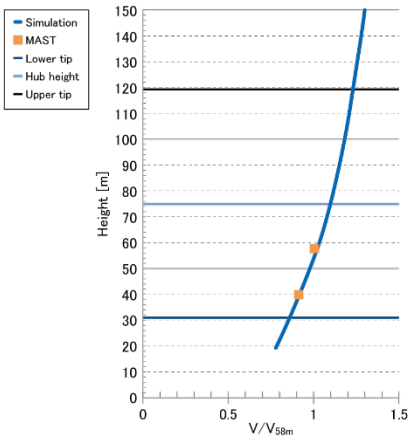

図 B.2 観測マストのみの場合

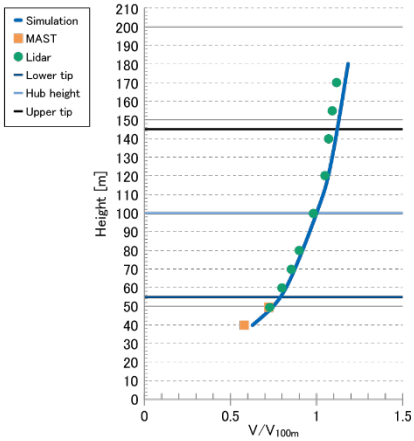

図 B.3 観測マスト＋鉛直ライダーの場合

B.3 気流解析及びその妥当性に係るレポート

B.3.1 発電時の風条件に適用する気流解析及びその妥当性に係るレポート

-1. 発電時の風条件の算定に適用する気流解析及びその妥当性検証に係るレポートには，少なくとも以下の項目が含まれていなければならない。

(1) 気流解析の詳細（以下の内容を含む）：

a. グリッド情報を含む地形図

b. 粗度マップと粗度長の定義

c. CFD シミュレーション設定

1) ソフトウェア

2) 適用モデル

3) 解析領域の定義

4) 水平グリッドサイズ：

- 最小グリッドサイズの該当エリア
- 伸び率
- 最大グリッドサイズ
- 上記の項目を含む図

5) 垂直グリッドサイズ：

- 最小グリッドサイズ
- 伸び率
- 上記の項目を含む図

(2) 妥当性検証の結果（以下の内容を含む）：

a. 風向別の平均風速について，気流解析と観測データの比較結果

b. 風向別のウィンドシアの鉛直プロファイルについて，気流解析と観測データの比較結果

c. 風向別の乱流強度について，気流解析と観測データの比較結果

B.3.2 暴風待機時の風条件に適用する気流解析及びその妥当性に係るレポート

-1. 暴風待機時の風条件の算定に適用する気流解析及びその妥当性検証に係るレポートには，少なくとも以下の項目が含まれていなければならない。

(1) 気流解析の詳細（以下の内容を含む）：

a. グリッド情報を含む地形図

b. 粗度マップと粗度長の定義

c. CFD シミュレーション設定

1) ソフトウェア

2) 適用モデル

3) 解析領域の定義

4) 水平グリッドサイズ：

- 最小グリッドサイズの該当エリア
- 伸び率
- 最大グリッドサイズ
- 上記の項目を含む図

5) 垂直グリッドサイズ：

- 最小グリッドサイズ
- 伸び率
- 上記の項目を含む図

(3) 妥当性検証の結果（以下の内容を含む）：

a. 風向別の平均風速について，気流解析と観測データの比較結果

b. 風向別のウィンドシアの鉛直プロファイルについて，気流解析と観測データの比較結果

c. 風向別の乱流強度について，気流解析と観測データの比較結果

附属書 C.　風条件の評価方法【参考／一部規定】

C.1　一般

-1.　C.2 に示される発電時の風条件の算定方法は参考として示すものであり，これらの規定によらない方法を否定するものではない。

-2.　C.3.1 及び C.3.2 に示される暴風待機時の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［J-05］に準拠しており，この規定によらないことは認められない。

C.2　発電時の風条件

C.2.1　風速出現頻度分布及び平均風速

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

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

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。

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

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

-2.　風車位置・ハブ高さでの平均風速の時系列データ $U_R(x, y, H_h, \theta, t)$ は，式 (C.4) により求める。

$$U_R(x, y, H_h, \theta, t) = U_M(h, \theta, t) \cdot C_V(x, y, H_h, \theta) \tag{C.4}$$

ここで，

$U_M(h, \theta, t)$	:	観測マスト位置・観測高さにおける観測データから得られる風速の時系列データ
$C_V(x, y, H_h, \theta)$	:	気流解析による風車位置・ハブ高さにおける風向 θ の風速 $u_T(x, y, H_h, \theta)$ と同じく気流解析による観測マスト位置・観測高さにおける風向 θ の風速 $u_M(x, y, h, \theta)$ を用いて下式によって求められる風速比［$= u_T(x, y, H_h, \theta)/u_M(x, y, h, \theta)$］

-3.　風車位置・ハブ高さでの方位別の平均風速 $V_{ave}\,(x, y, H_h, \theta)$ は，式 (C.5) により求める。

$$V_{ave}\,(x, y, H_h, \theta) = \frac{\sum_{i=1}^{N} U_R(x, y, H_h, \theta, t)}{N} \tag{C.5}$$

ここで，

N	:	当該方位に含まれる観測データ数（時系列データの個数）

C.2.2　乱流強度の算定方法

-1.　風車位置・ハブ高さの周囲乱流標準偏差の時系列データ $\sigma_R(x, y, H_h, \theta, t)$ は，式 (C.6) により求める。

$$\sigma_R(x, y, H_h, \theta, t) = \sigma_M(h, \theta, t) \cdot C_S(x, y, H_h, \theta) \tag{C.6}$$

ここで，

$\sigma_M(h,\theta,t)$ ： 観測マスト位置･観測高さにおける観測データから得られる周囲乱流標準偏差の時系列データ

$C_S(x,y,H_h,\theta)$ ： 気流解析による風車位置・ハブ高さにおける風向 θ の周囲乱流標準偏差 $\sigma_T(x,y,H_h,\theta)$ と同じく気流解析による観測マスト位置・観測高さにおける風向 θ の周囲乱流標準偏差 $\sigma_M(x,y,h,\theta)$ を用いて下式によって求められる風速比［$=\sigma_T(x,y,H_h,\theta)/\sigma_M(x,y,h,\theta)$］

-2. 風車位置・ハブ高さでの方位 θ 及び i 番目の風速ビンを代表する乱流強度 $I_{rep}(x,y,H_h,\theta,V_i)$ は，周囲乱流標準偏差の 90%分位値とし、式 (C.7) により求める。

$$I_{rep}(x,y,H_h,\theta,V_i)=\frac{\sigma(x,y,H_h,\theta,V_i)+1.28\sigma_\sigma(x,y,H_h,\theta,V_i)}{V_i\,(x,y,H_h,\theta)} \tag{C.7}$$

ここで，

$\sigma(x,y,H_h,\theta,V_i)$ ： 方位 θ 及び i 番目の風速ビンにおける周囲乱流標準偏差

$\sigma_\sigma(x,y,H_h,\theta,V_i)$ ： 方位 θ 及び i 番目の風速ビンにおける周囲乱流標準偏差の標準偏差

$V_i\,(x,y,H_h,\theta)$ ： 方位 θ における i 番目の風速ビンを代表する風速

-3. 全方位を代表する i 番目の風速ビンを代表する乱流強度 $\overline{I_{rep,i}}$ については，方位別の風速出現頻度またはエネルギー密度によって加重平均し，式 (C.8) により求める。

$$\overline{I_{rep,i}}=\sum_\theta\left(I_{rep}(x,y,H_h,\theta,V_i)F(\theta)\right) \tag{C.8}$$

ここで，

$F(\theta)$ ： 方位 θ における風速出現頻度またはエネルギー密度

C.2.3 ウィンドシアのべき指数の算定方法

-1. 風車位置・ハブ高さにおける方位別のウィンドシアのべき指数 $\alpha(x,y,H_h,\theta)$ は，ロータ面上端，ハブ高さ及びロータ面下端におけるそれぞれの方位 θ の平均風速により，最小二乗法を用いて求めなければならない。なお，式 (C.9) により求めることもできるが，これは参考値として扱うことが望ましい。

$$\alpha(x,y,H_h,\theta)=\frac{\ln\left(\frac{V_U(x,y,H_U,\theta)}{V_L(x,y,H_L,\theta)}\right)}{\ln\left(\frac{H_U-d}{H_L-d}\right)} \tag{C.9}$$

ここで，

$V_U(x,y,H_U,\theta)$ ： 方位 θ における風車位置・ロータ面上端での平均風速

$V_L(x,y,H_L,\theta)$ ： 方位 θ における風車位置・ロータ面下端での平均風速

H_U ： ロータ面上端の高さ

H_L ： ロータ面下端の高さ

d ： ゼロ面変位（displacement height）

-2. 全方位を代表するウィンドシアのべき指数 $\overline{\alpha}$ については，方位別の風速出現頻度またはエネルギー密度によって加重平均し，式 (C.10)により求める。

$$\overline{\alpha} = \sum_{\theta} \left(\alpha(x, y, H_h, \theta) F(\theta) \right) \tag{C.10}$$

ここで，

$F(\theta)$: 方位 θ における風速出現頻度またはエネルギー密度

C.2.4 気流傾斜角の算定方法

-1. 風車位置・ハブ高さにおける方位別の気流傾斜角 $\varphi(x, y, H_h, \theta)$ は，式 (C.11) により求める。

$$\varphi(x, y, H_h, \theta) = tan^{-1}\left(\frac{u_{T3}(x, y, H_h, \theta)}{\sqrt{\left(u_{T1}(x, y, H_h, \theta)\right)^2 + \left(u_{T2}(x, y, H_h, \theta)\right)^2}} \right) \tag{C.11}$$

ここで，

$u_{T1}(x, y, H_h, \theta)$: 気流解析による風車位置・ハブ高さにおける風向 θ の風速の主流方向成分

$u_{T2}(x, y, H_h, \theta)$: 気流解析による風車位置・ハブ高さにおける風向 θ の風速の横方向成分

$u_{T3}(x, y, H_h, \theta)$: 気流解析による風車位置・ハブ高さにおける風向 θ の風速の鉛直方向成分

-2. 全方位を代表する気流傾斜角 $\overline{\varphi}$ については，方位別の風速出現頻度またはエネルギー密度によって加重平均し，式 (C.12) により求める。

$$\overline{\varphi} = \sum_{\theta} \left(\varphi(x, y, H_h, \theta) F(\theta) \right) \tag{C.12}$$

ここで，

$F(\theta)$: 方位 θ における風速出現頻度またはエネルギー密度

C.2.5 大気密度の算定方法

-1. 大気密度は，現地で観測された大気温度及び大気圧から，式 (C.13) を用いて算出する。

$$\rho = \frac{B}{T \times R_0} \tag{C.13}$$

ここで，

B : 大気圧

T : 大気温度

R_0 : 気体定数（287.05 $[J/kgK]$）

-2. 大気密度に関して現地の観測データがない場合，標高に関する高度補正を行うことで近隣気象観測所の長期観測データを適用できる場合がある。ただし，この場合は当該データが適用できることの根拠を明確に示さなければならない。

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. 風車位置の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 E_{tV} と高度補正係数 E_{pV} を乗じたものとし，式 (C.14) 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 2 に示す市町村別の基準風速を用いる。

$$U_h = E_{tV} E_{pV} V_0 \tag{C.14}$$

-2. 風車位置における地表面粗度区分は，建築基準法また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	建設地周辺の地表面の状況
I	海面または湖面のような，ほとんど障害物のない地域
II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害がある地域，樹木・低層建築物等が散在している地域
III	樹木・低層建築物が多数存在する地域，あるいは中層建築物（4～9階）が散在している地域
IV	中層建築物が主となる市街地

-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.15) により算定する。ただし，H_h はハブ高さ（m），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.15) に代入して求める。

$$E_{pV} = \begin{cases} 1.7\left(\dfrac{H_h}{Z_G}\right)^{\alpha} & Z_b < H_h \leq Z_G \\ 1.7\left(\dfrac{Z_b}{Z_G}\right)^{\alpha} & H_h \leq Z_b \end{cases} \tag{C.15}$$

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

地表面粗度区分	I	II	III	IV
Z_b	5	5	10	20
Z_G	250	350	450	550
α	0.1	0.15	0.2	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) か (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.16) により定める。ここで，$U(x, y, H_h, \theta)$ は気流解析により求めた実地形上の風車位置・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。

$$E_{tV} = max\left(E'_{tV},\ 1\right), \qquad E'_{tV} = \max_{\theta}\left(\frac{U\ (x,\ y,\ H_h,\ \theta)}{U^P(x,\ y,\ H_h)}\right) \tag{C.16}$$

(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.17) 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，$U^P_{50}(x,\ y,\ H_h)$ 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。なお，台風シミュレーションを適用しても問題ないことについては，観測値との比較を行うなど，そのシミュレーションの妥当性と併せて十分に確認しなければならない。

$$E_{tV} = max\left(E'_{tV},\ 1\right), \qquad E'_{tV} = \frac{U_{50}(x,\ y,\ H_h)}{U^P_{50}(x,\ y,\ H_h)} \tag{C.17}$$

C.3.2 極値風速（3 秒間平均風速）の算定方法

C.3.2.1 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.18) により求める。

$$I_{h1} = E_{tI} I_P \tag{C.18}$$

-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.19) により算定する。ただし，H_h はハブ高さ（m），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.19)に代入して求める。

$$I_P = \begin{cases} 0.1\left(\dfrac{H_h}{Z_G}\right)^{-\alpha-0.05} & Z_b < H_h \le Z_G \\ 0.1\left(\dfrac{Z_b}{Z_G}\right)^{-\alpha-0.05} & H_h \le Z_b \end{cases} \tag{C.19}$$

-3. 地形による乱流強度の補正係数 E_{tI} は，式 (C.20) により定める。ここで，地形による平均風速の割増し係数 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.21) 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。

$$E_{tI} = max\left(E_{tS}/E'_{tV},\ 1\right) \tag{C.20}$$

$$E'_{tV} = \max_{\theta}\left(\frac{U\ (x,y,H_h,\theta)}{U^P(x,y,H_h)}\right) \tag{C.21}$$

-4. 地形による変動風速の補正係数 E_{tS} は，式 (C.22) 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。

$$E_{tS} = \frac{\sigma_u(x,y,H_h,\theta_d)}{\sigma_u^P(x,y,H_h)} \tag{C.22}$$

-5. 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，k-ε モデル等の乱流エネルギーk 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.23) で計算し，式 (C.24) 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_a は 0.1 とする。

$$\sigma_u^{surf} = \sqrt{1.2k} \tag{C.23}$$

$$\sigma_u = U \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_u^{surf}}{U}\right)^2 + I_a^2} \tag{C.24}$$

C.3.2.2 3 秒間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.14）で算定した U_h を用いて，式（C.25）により算定する。

$$U_{e50} = G_f U_h \tag{C.25}$$

ここで，

$G_f = 1 + 3.5 I_{h1}$

※ 参考：IEC61400-1: 2019[J-02] では，$I_{h1} = 0.11$ として，$G_f \fallingdotseq 1.4$ 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. 風車位置のハブ高さにおける再現期間 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 $\alpha(x,y,H_h,\theta_d)$ については，気流解析より得られる風車位置・ハブ高さの照査対象風向 θ_d における以下に掲げる 3 高度の主流方向成分 U_1 と主流方向直角成分 U_2 を考慮した水平風速を用いて最小二乗法によって求める。

(1) ロータ面上端での水平風速 : $U_U(x,y,H_U,\theta_d) = \sqrt{\left(U_1(x,y,H_U,\theta_d)\right)^2 + \left(U_2(x,y,H_U,\theta_d)\right)^2}$

(2) ハブ高さでの水平風速 : $U_h\,(x,y,H_h,\theta_d) = \sqrt{\left(U_1(x,y,H_h,\theta_d)\right)^2 + \left(U_2(x,y,H_h,\theta_d)\right)^2}$

(3) ロータ面下端での水平風速 : $U_L(x,y,H_L,\theta_d) = \sqrt{\left(U_1(x,y,H_L,\theta_d)\right)^2 + \left(U_2(x,y,H_L,\theta_d)\right)^2}$

C.3.3 風況観測データを用いた U_{e50} の算定方法【参考】

-1. 観測データを用いて暴風時の乱流強度 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) 2.2.1 の規定を満足する観測データ（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) 再現期間 50 年のハブ高さにおける 10 分間平均風速（U_h）の算定にあたり，C.3.1-4. (1) 風向特性を考慮しない

手法を採用している場合は全風向を考慮した風速階級別乱流強度を算出する。C.3.1-4. (2) 風向特性を考慮する手法を採用している場合は風向別の風速階級別乱流強度を算出する。

(4) (3) で作成した風速階級別乱流強度について，風速階級別に 50%分位値（非超過確率 50%）に対応する乱流強度を算定し，当該サイトにおける V_0 の半分の風速以上の範囲で 50%分位値（非超過確率 50%）に対応する乱流強度の値から $I_{h1,meas}$ を算定する。

- $I_{h1,meas}$ の算定にあたっては，V_0 の半分の風速以上の範囲で 50%分位値（非超過確率 50%）に対応する乱流強度の値の平均値とするか,その最大値を採用するかなど，具体的な算定方法については観測データの傾向に応じて安全側となるように選択すること。
- U_hの算定にあたり，C.3.1-4. (2) 風向特性を考慮する手法を採用している場合は，照査対象風向 θ_d における風速階級別乱流強度を用いて $I_{h1,meas}$ を算定する必要があり，当該風向の観測データ数が高風速域も含めて十分でなければならないことに留意すること。

(5) (4) で得られた $I_{h1,meas}$ と地表面粗度区分に応じた平坦地形上の乱流強度 I_p のうち大きい方を I_{h1} とし，式 (C.25) を用いて U_{e50} を算定する。

-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，風速階級別乱流強度の 50%分位値（非超過確率 50%）を示すプロット，I_p の値を示す線及び $I_{h1,meas}$ の値を示す線を追記したものを用意しなければならない。

C.4 風条件に係るレポート

C.4.1 発電時の風条件に係るレポート

-1. 発電時の風条件に係るレポートには，全ての風車位置・ハブ高さに対して少なくとも以下の項目が含まれていなければならない。

(1) 平均風速（以下の内容を含む）:

a. 方位ごとのワイブル形状・尺度係数，及び風向出現分布（風向セクター幅は 30°以下とし，最初のセクターは真北を中心とする）を，風車位置ごと（ハブ高さ）に表形式で規定する。

b. あるいは，詳細の出現率分布（ビンの方法による；風速ビン幅 1m/s，風向セクター幅は 30°以下とし，最初のセクターは真北を中心とする）を，風車ハブ高さの位置ごとに表形式で記載する。

(2) 乱流強度（以下の内容を含む）:

a. 風車位置ハブ高さにおける乱流強度を，風速ビン（ビン幅 1m/s，あるいはそれ以下），風向ビン（ビン幅 30°，あるいはそれ以下）ごとに表形式で記載する。また，計画風車の型式認証で指定されている設計に適用した乱流強度の特性値／代表値を併せて記載する。

(3) ウィンドシアのべき指数（以下の内容を含む）:

a. 風車位置におけるウィンドシアべき指数の平均値，最小値，最大値を，風向セクター幅 30°以下の表形式で記載する。

(4) 気流傾斜角（以下の内容を含む）:

a. 風車位置，ハブ高さにおける平均気流傾斜角の推定値の平均値，最小値，最大値を，風向セクター幅 30°以下の表形式で記載する。

C.4.2 暴風待機時の風条件に係るレポート

-1. 暴風待機時の風条件の算定に適用する気流解析及びその妥当性検証に係るレポートには，全ての風車位置・ハブ高さに対して少なくとも以下の項目が含まれていなければならない。

(1) 10 分間平均風速：U_h

(2) 乱流強度：I_{h1}

(3) 3 秒間平均風速：U_{e50}

(4) ウィンドシアのべき指数

-2. 前-1.のそれぞれの値の算定に用いた本附属書に定義するパラメータについては方位別の値を全て示し，照査対象風向の設定及びその計算過程が適切に確認できるようにしなければならない。

-3. 風況観測データを用いた U_{e50} の算定を行う場合は，C3.3-2. に規定する図を含め，I_{h1} 算定の根拠が適切に確認できるようにしなければならない。

C.4.3 その他の条件

-1. 以下に掲げる条件を含まなければならない。

(1) 現地観測等に基づくサイトの温度範囲

(2) 現地観測等に基づくサイトの湿度範囲

C.5 参考文献

[C1] JIS W 0201: 1990 ：標準大気

[C2] Ishihara, T. and Yamaguchi, A., Prediction of the extreme wind speed in mixed climate region by using Monte Carlo simulation and Measure-Correlate-Predict method, Wind Energy, 2014.

[C3] 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.

附属書 D.　ナセルカバーの等価風圧係数【参考】

D.1　一般

-1.　ナセルカバーに対する等価風圧係数については，ナセルカバーの形状によって大きく異なる。ここでは，矩形ナセルカバーで隅角部にアールを設けたタイプに対する等価風圧係数（正値／負値）を示す。

-2.　この矩形ナセルカバーで隅角部にアールを設けたタイプに対する等価最大／最小風圧係数の算定にあたっては，表 D.1 に示す試験条件の下で風洞試験を実施している。

表 D.1　風洞試験の主な条件

風洞測定部	W: 3.1m × H: 2.0m × L: 16.0m
模型位置	測定洞上流端より 14.75m
平均風速	10.0m/s（ハブ高さ）
乱れ強さ	12.7%（ハブ高さ）
風速の鉛直プロファイル	0.2（ハブ高さ中心)
試験風向	5°ピッチで 72 風向
模型（縮尺 1/50）	・ナセル：250 × 80 × 80（mm） ・タワー：60φ（mm） ※ 模型の写真を図 D-1 に示す。
ハブ高さ	風洞床上高さ 400mm
圧力測定孔	200 点（対称性に配慮）
サンプリング	800Hz，6 個で移動平均処理
データ長	60 秒（実時間 600 秒相当）
データ数	1 サンプル（60 秒）で 5 サンプル

a) 風洞試験模型

b) 乱流境界層生成装置設置状況

図 D.1　風洞試験模型

D.2 等価風圧係数【風向：-15° ~ +15°】

-1. DLC6.1 で考慮すべき風向である -15°～+15° の範囲に該当する風洞試験の結果から求めた等価風圧係数【正値】を図 D.2 に，等価風圧係数【負値】を図 D.3 に示す。

-2. 図 D.2 に示す等価風圧係数【正値】が表 5-2 の NC.1-1 で適用する「$\hat{C}_{em}$ - 正値」に該当し，図 D.3 に示す等価風圧係数【負値】が表 5-2 の NC.1-2 で適用する「$\hat{C}_{em}$ - 負値」に該当する。

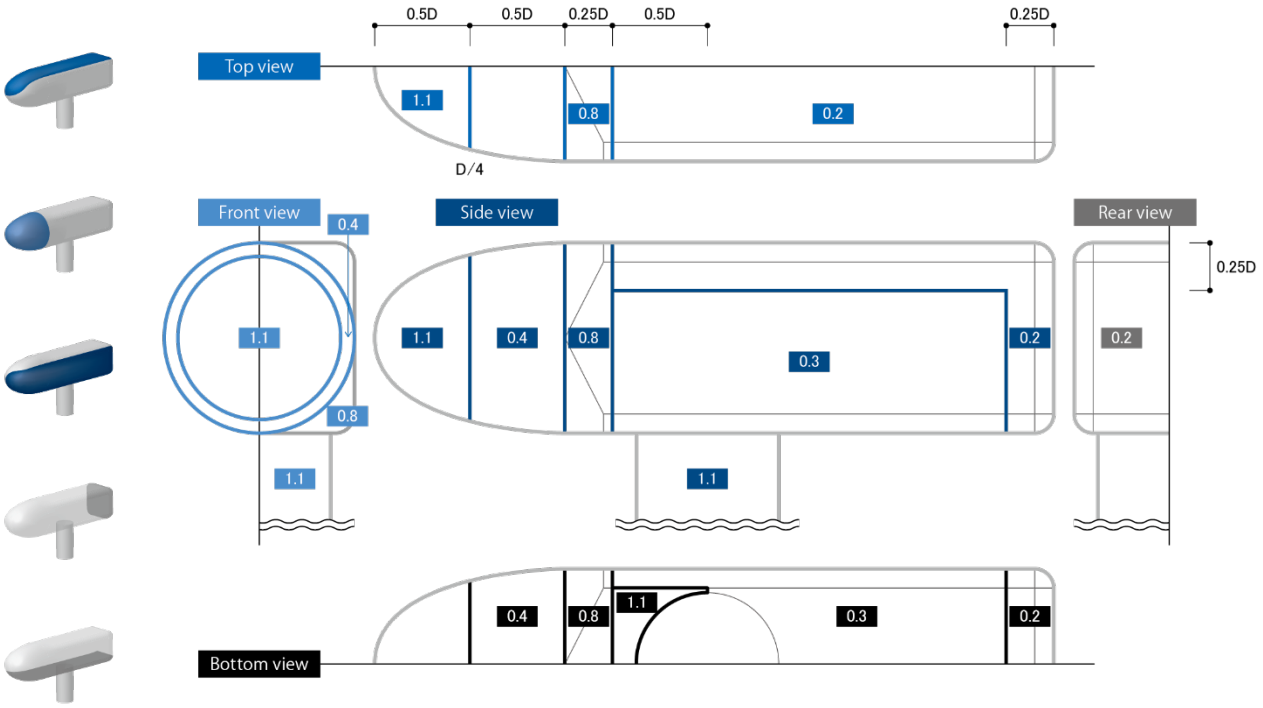

図 D.2 等価風圧係数【風向：-15° ~ +15°・正値】

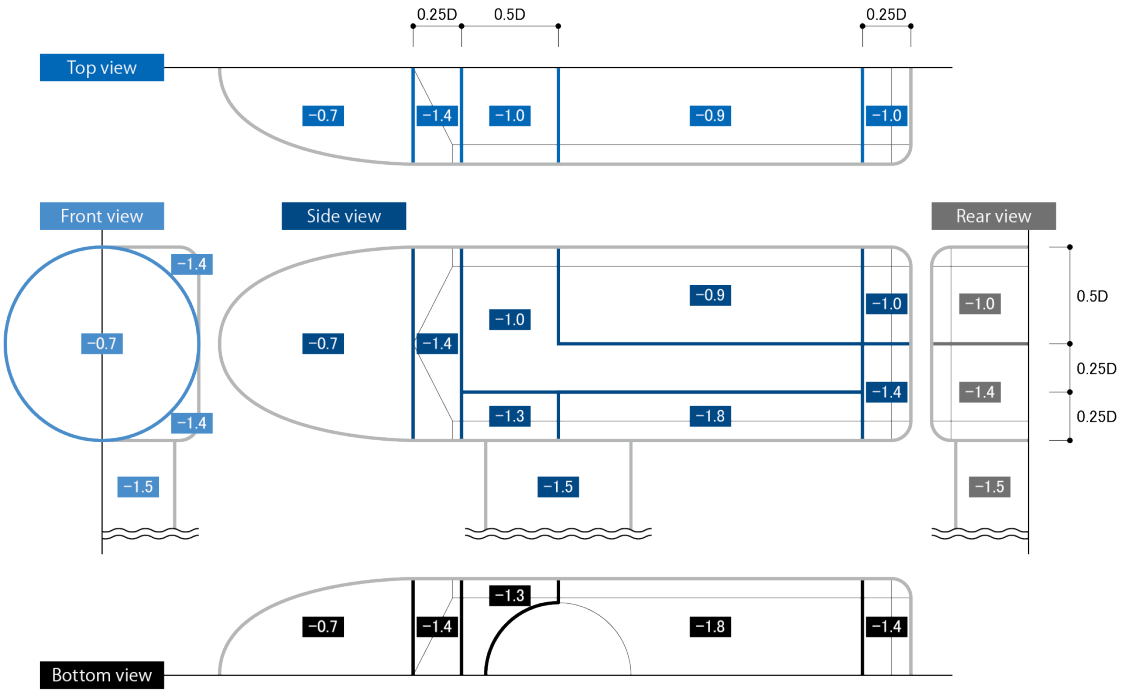

図 D.3 等価風圧係数【風向：-15° ~ +15°・負値】

D.3 等価風圧係数【風向：全風向】

-1. DLC6.2 で考慮すべき全風向の風洞試験の結果から求めた等価風圧係数【正値】を図 D.4 に，等価風圧係数【負値】を図 D.5 に示す。

-2. 図 D.4 に示す等価風圧係数【正値】が表 5-2 の NC.2-1 で適用する「$\hat{C}_{em}$ - 正値」に該当し，図 D.5 に示す等価風圧係数【負値】が表 5-2 の NC.2-2 で適用する「$\hat{C}_{em}$ - 負値」に該当する。

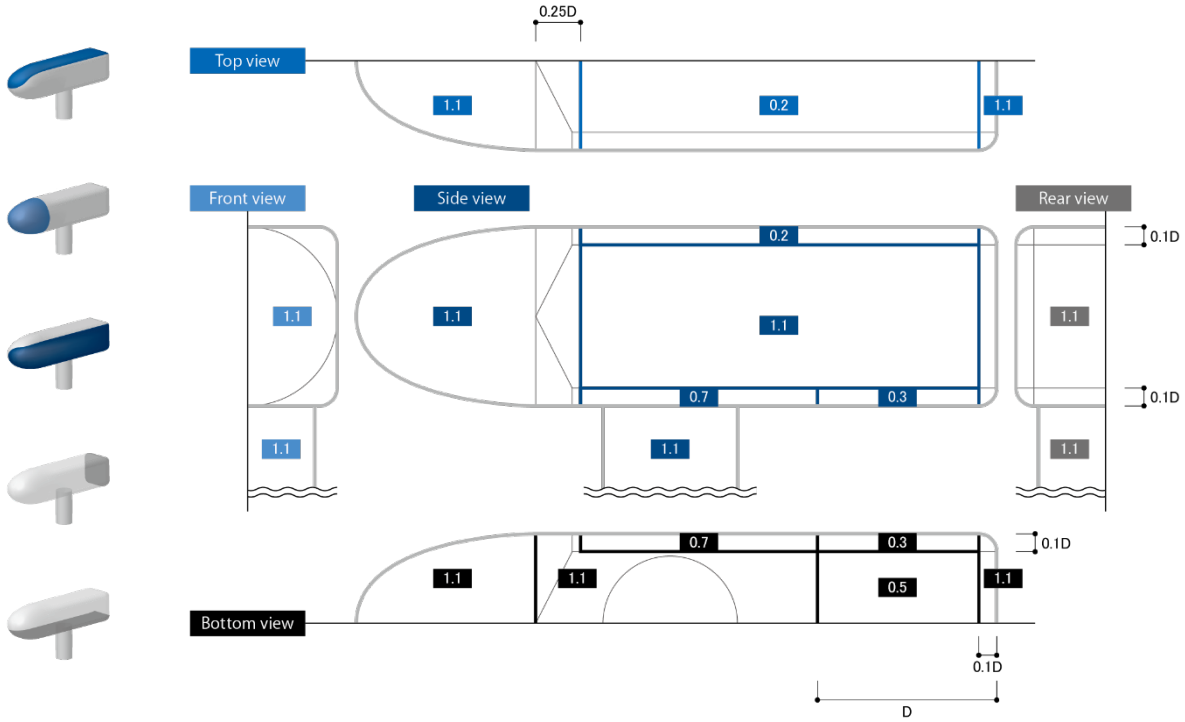

図 D.4 等価風圧係数【風向：全風向・正値】

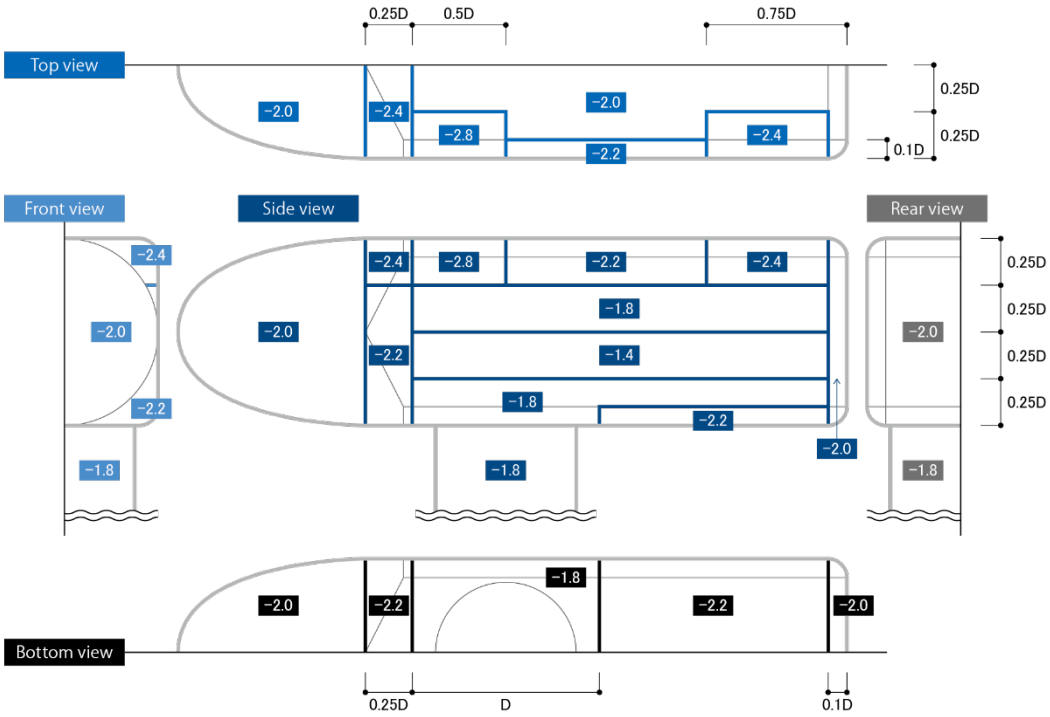

図 D.5 等価風圧係数【風向：全風向・負値】

D.4 参考文献

[D1] RENEWABLE ENERGY 2019；2019.10, 一般財団法人 日本海事協会

[D2] H. Noda and T. Ishihara：Wind tunnel test on mean wind forces and peak pressures acting on wind turbine nacelles, Wind Energy 2014; 17:1-17

附属書 E.　ナセルの表面に作用する変動圧力特性計測試験【参考】

E.1　一般

-1.　ナセルカバーに対する等価最大／最小風圧係数の値及びその分布はナセルカバーの形状に依存することから，安全側にかつ合理的に設定するには風車型式に応じて風洞試験を実施して算定することが適切である。ここではその風洞試験の実施の際に参考とすべき内容をまとめる。

-2.　本附属書の対象はナセルカバーの表面に作用する変動圧力の計測を目的とする風洞試験であり，それ以外の計測を目的とする風洞試験は対象外となることに留意すること。

E.2　風洞の選定

-1.　以下の条件を満足する能力を備えた風洞を選定しなければならない。

(1)　風速：測定部で 10m/s 以上の送風能力を持つこと

(2)　閉塞率：模型による閉塞率が 5%以下である測定部断面を持つこと

(3)　乱流境界層：自然風の諸特性を風路内に相似・再現できること（乱流境界層風洞であること）

E.3　模型及び試験条件

E.3.1　模型

-1.　以下の条件を満足する適切な縮尺模型を選定・製作しなければならない。

(1)　縮尺：1/50 以上とすること。

- 縮尺は大きい方が望ましいが，閉塞率の制限がある上に，風洞ごとに乱流境界層の生成の限界もあることから，適切な縮尺模型を選定する必要があることに留意する。
- 縮尺が小さすぎると，模型製作精度に問題が生じる可能性があること，及び圧力測定孔の適正な配置・設置に無理が生じる可能性があることに留意する。
- 付属物等については，試験目的から影響が少ないと考えられる場合は模型では省略してよい。

(2)　圧力測定孔の大きさ：内径は，1mm 程度とすること。

- 建築物関連の圧力測定試験で一般的に使用されている直径のものを推奨する。

(3)　圧力測定孔の配置：圧力分布特性を実機での $1m^2$ 以内で把握できるよう配置すること。

- ナセルの変動圧力特性をできるだけ正しく計測し、評価すべき面積に応じて適切に風圧力特性が評価できるように配慮すること。
- ナセル表面のパネルの大きさの最小を $1m^2$ と想定し，圧力孔配置の目安とした。

(4)　使用材料及び製作精度：建築物の風洞試験で一般的に使用されている材料を使用し，製作精度も建築物関連で適用されているものを使用することを推奨する。

- 材料によっては，表面粗度の問題，角部の製作精度の問題が生じることに留意する。

E.3.2　気流相似

-1.　自然風の諸特性を風路内に相似・再現して風洞試験を行うことから，試験実施風速で以下に示す諸特性の条件を満足すること。

(1)　ウィンドシアのべき指数（α）

- 生成された乱流境界層のウィンドシアのべき指数（α）は，地表面粗度区分Ⅱ～Ⅲに相当する 0.15～0.2 の範囲にあること。なお，風洞の能力の限界に配慮し，ウィンドシアのべき指数（α）の許容範囲は，0.125 以上，0.235 以下を基準とする。

(2)　乱れ強さ（I_{uH}）

- 生成された乱流境界層の乱れ強さ（I_{uH}）は，ハブ高さで 0.13±0.03 の範囲にあること。

(3) 乱れのスペクトル分布

■ ハブ高さでの乱れのスペクトルを一般的な Karman 型のスペクトルと比較する形でまとめ，特異な周波数ピークを持たないことを示すこと。

(4) 乱れのスケール

■ ハブ高さ近傍での乱れのスケールを参考値として示すこと。

E.3.3 試験実施風速及び風向

-1. 自然風の諸特性を風路内に相似・再現して風洞試験を行うことから，試験実施風速で以下に示す諸特性の条件を満足すること。

(1) 風速：自然風を相似後のハブ高さでの平均風速が 8m/s 以上であること。

■ 一般の風洞では Reynolds 数の相似は不可能であるので，特にシャープエッジを持たないナセルでは実機との相似の不一致が問題となる可能性がある。しかし，現時点では不一致を適正に補完（補正）することは困難であることから，当該風洞で実施可能な極力大きな Reynolds 数下で試験を行っても差し支えないこととする。

(2) 風向：5°ピッチで全風向（360°）を考慮すること。

■ 形状が対称である場合は，その対称性に応じて試験風向を削減しても差し支えない。

E.3.4 圧力計測機器

-1. 発生する変動圧力の大きさに対して十分な余裕があり，分解能及び周波数応答特性も問題がない圧力変換器を用いること。

-2. 圧力測定孔と圧力変換器を結ぶチューブについては，周波数応答特性に配慮した内径及び長さのものを用いること。なお，圧力計測では reference point での静圧との差圧を計測することになるので，reference point が適正な位置にあることを示すこと。

E.3.5 データ処理及び収録

-1. 圧力計測機器の選定と同様に，変動圧力特性を正しく収録し，処理していることが確認できるように，以下に示す項目について風洞試験での設定条件を明示すること。なお，各項目の括弧内に記載の数値は，**附属書D**に記載の試験の際に用いたものであり，あくまでも参考値として示しているものである。

(1) サンプリング周波数（800Hz）

(2) ローパスフィルター（300Hz）

(3) 時間縮尺（1/10）

(4) 1 サンプル当たりのデータ長（60 秒）

(5) サンプル数（5 サンプルでアンサンブル平均処理）

-2. 変動圧力は，試験風速，模型の形状及び大きさに依存することから，その特性を考慮した上で，変動圧力を正しく収録し，処理する必要があることに留意すること。

E.3.6 最大／最小ピーク風圧係数

-1. 試験で計測した変動風圧は，E3.5 に示す処理を行い，測点毎・風向毎に式 (E.1) 及び式 (E.2) に示す無次元化の式により最大ピーク風圧係数 $Cp_{\max}$ 及び最小ピーク風圧係数 $Cp_{\min}$ を求めること。

$$Cp_{\max} = (p_e - p_s)_{\max}/q_H \tag{E.1}$$

$$Cp_{\min} = (p_e - p_s)_{\min}/q_H \tag{E.2}$$

ここで， p_e ：模型壁面に作用する変動風圧（N/m²）

$(p_e - p_s)_{max}$ ：最大ピーク風圧（(N/m²)）
$(p_e - p_s)_{min}$ ：最小ピーク風圧（(N/m²)）
p_s ：風洞内（reference point）の静圧（N/m²）
q_H ：ハブ高さの平均速度圧（N/m²）

-2. 最大・最小ピーク風圧係数は 5.3.3 に示す設計荷重ケースである DLC6.1 及び DLC6.2 に対応する形（具体的には風向範囲を限定）で，それぞれ算定する必要があることに留意すること。

E.4 参考文献

[E1] H. Noda and T. Ishihara：Wind tunnel test on mean wind forces and peak pressures acting on wind turbine nacelles, Wind Energy 2014; 17:1-17
[E2] RENEWABLE ENERGY 2019；2019.10，一般財団法人日本海事協会
[E3] 野田博, 石原孟:風車ナセルに作用する平均風力およびピーク風圧に関する実験的研究, JAWE, Vol.35, No.1, 2010.1
[E4] 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説［2010 年版］（土木学会）
[E5] （一社）日本建築学会：建築物荷重指針・同解説(2015)，2015 年 2 月 25 日第 5 版第 1 刷，丸善出版㈱
[E6] （社）土木学会：構造工学シリーズ 12 橋梁の耐風設計－規準と最近の進歩－，平成 15 年 3 月 31 日第 1 版第 1 刷，丸善㈱
[E7] （社）日本道路協会：道路橋耐風設計便覧(平成 19 年改訂版)，平成 20 年 1 月 25 日改訂版第 1 刷，丸善㈱
[E8] 日本建築センター：実務者のための建築物風洞実験ガイドブック，2008 年
[E9] 吉田正邦他：変動圧測定における導圧管の周波数伝達特性，第 9 回風工学シンポジウム論文集，1986
[E10] ClassNK Renewable Energy：Japanese requirements for Globe type nacelle cover

附属書 F.　タワー構造に係る設計手法 【規定】

F.1　一般

-1.　本附属書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[R-03] 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。

F.2　減衰

-1.　鋼製円筒構造の 1 次と 2 次モードの構造減衰比は，式 (F.1) と式 (F.2) により求めた値を用いることができる[R-09][R-12][F1]。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ダール減衰比は参考文献 [F2] 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[F2]。

$$\zeta_{struc_1}(\%) = \max(2.0e^{-1.3T_1} + 0.15, 0.2) \tag{F.1}$$

$$\zeta_{struc_2}(\%) = \zeta_{struc_1}(\%) \tag{F.2}$$

F.3　アンカーボルトの孔径

-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，ISO273 [R-11] 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 高力ボルト接合設計施工ガイドブック[R-05] 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。

F.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

-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係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[J-05] 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，フランジ継手用高力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 (7.2) 及び 式 (7.3) のとおりに規定されている。また，この場合の極稀地震時許容引張力を式 (7.a) のとおりに定める。

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 (7.2) により定める。

$$T_a = 0.80 \cdot \sigma_y \cdot A_e \tag{7.2}$$

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 (7.3) により定める。

$$N_0 = 0.70 \cdot \sigma_y \cdot A_e \tag{7.3}$$

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力 T は，極稀地震時許容引張力 T_{ar} 以下でなければならない。

$$T_{ar} = \max\left(0.80 \cdot \sigma_y \cdot A_e,\ A_e \cdot F_{by}\right) \tag{7.a}$$

ここで，

σ_y ：アンカーボルトの降伏強度 $[\mathrm{N}/mm^2]$

A_e ：アンカーボルトの有効断面積 $[mm^2]$

F_{by} ：アンカーボルトの基準強度 $[\mathrm{N}/mm^2]$，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，疲労強度評価に係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[J-05] 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 F.1 のとおりとする。

表 F.1 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
アンカーボルト	EN 1993-1-9: 2005[R-13]	・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[R-14]（MC1990[R-15]でも可）	・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 日強度の適用を基本とする。

*1：EN 1993-1-9: 2005[R-13] Table 8.1 の DC50 に対する Requirements の欄を参照。
（加えて，DNVGL-ST-0126[R-12] 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。

F.5 フランジ継手のてこ比

-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 [F3]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。

F.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

-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係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[J-05] 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，フランジ継手用高力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，F.4 で示した式 (7.2) 及び式 (7.3) のとおりに規定されている。

(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，疲労強度評価に係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[J-05] 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 F.2** のとおりとする。

表 F.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[R-13]	・ 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[R-13] Table 8.1 の DC50 に対する Requirements の欄を参照。
（加えて，DNVGL-ST-0126[R-12] 4.12.3.6 項の Guidance note も参考にすること。）

F.7 参考文献

[F1] 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.

[F2] 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.

[F3] 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

Copyright © 2021 NIPPON KAIJI KYOKAI
禁無断転載

GUIDELINE

NKRE-GL-WFC01／2021年7月

ClassNK

ウィンドファーム認証

陸上風力発電所 編

一般財団法人　日本海事協会

〒102-8567 東京都千代田区紀尾井町4番7号　TEL 03-5226-2032　E-mail re@classnk.or.jp

RENEWABLE ENERGY