
measnet



サイト風条件の評価

第 1 版

2009 年 9 月

本文書は 下記のMEASNET文書をMEASNETの許可を得て一般社団法人日本風力発電協会技術部
会風況検討ワーキングにて邦訳したものである。

MEASNET Procedure: Evaluation of Site Specific Wind Conditions. Version 1, November 2009.

本文書の原文は、下記のウェブサイトより入手可能である。

http://www.measnet.com/wp-content/uploads/2012/04/Measnet_SiteAssessment_V1-0.pdf

© MEASNET 2009 著作権-不許複製

本出版物は、本出版者からの書類による許諾なくしては、いかなる形、いかなる手段においても、複製、あるいは部分使用することを禁ずる。本出版物は本著作権覚書を含めた完全な文書としてのみ複写し、あるいは、配布しても良い。本ドキュメントに対する引用、あるいは参照は以下のようにしなければならない。

MEASNET Procedure: Evaluation of Site Specific Wind Conditions. Version 1, November 2009.

著者は提供した情報の時事性、正確さ、完全性および品質に一切の責任を負わない権利を留保する。従って、不完全な、あるいは不正確な情報を含めて、如何なるものであれ、提供した情報を使用したことに起因する損失に関するクレームは、拒絶され得る。

なお、英文文書が公式文書であり、本出版物で翻訳の誤りがあった場合、著者はそれに対し責任を負わない。

本文書の公式版及び最新版はMEASNET機構(www.measnet.com参照)に請求されたい。

目次

1	緒言	5
2	はじめに	5
3	定義およびサイトアセスメントの目的	5
4	規定参考文献	6
5	本ガイドラインからの逸脱の取り扱い	6
6	入力データ	6
6.1	現地調査	7
6.2	地形データ	7
6.3	関連気象パラメータ	7
6.4	風計測の代表性	7
7	計測	9
7.1	計測に関する文書化	9
7.2	風速	10
7.3	風向	11
7.4	気流傾斜角	11
7.5	気温	11
7.6	気圧	12
7.7	湿度	12
8	データ評価および外挿	12
8.1	データの完全性の評価	12
8.2	データ評価	14
8.2.1	データ品質評価とフィルタリング	14
8.2.2	データ補完	15
8.3	長期評価	15
8.3.1	概要	16
8.3.2	長期評価の方法と個別要求事項	16
8.3.3	相関解析期間	19
8.3.4	参照データに対する要求事項	19
8.4	風の流れ場のモデリング	20
8.5	極値風速	21
8.6	不確かさ	22
9	導出結果	25
9.1	風車位置における風条件	25
9.2	空気密度	25
9.3	乱流強度	25
9.4	ウインドシアベキ指数	26
9.5	極値風速	26
9.6	気流傾斜角	26
10	報告書	26
10.1	報告書記載事項	27
10.2	計測文書化	27
10.3	計測文書の要約	28
10.4	計測データ報告書	28
10.5	サイトアセスメント結果	29
References	参照文献	31
付属書 A		32

付属書 B	34
付属書 C	35

1 緒言

MEASNETは、風力エネルギー関連の計測方法を統一するために創設された計測研究機関のネットワークである。MEASNETに属する研究機関すべては、風力エネルギー関連の計測・評価を活発に行っている。各研究機関は、計測・評価のスキルと品質を文書化し、合意された「MEASNET手順」を適用し、かつ、必要に応じて相互評価作業に参加することが義務付けられている。

2 はじめに

「サイト風条件の評価」は、MEASNETのメンバーが相互に使用し、また受け入れることを合意したMEASNET手順書である。これは、品質、トレーサビリティおよび比較可能性の継続的な向上を目的とし、MEASNETの品質評価プログラムに則って共通の解釈と理解が得られた、国際的に最も完全かつ受け入れられている手順書である。

このガイドラインを可能な限り網羅的なものであると同時に、明快かつ簡潔なものとするために、適用可能な規則類を引用し、必要に応じて、さらに追加すべき要求事項をまとめた。

3 定義およびサイトアセスメントの目的

本文書の文脈に用いる「サイト固有の条件」という表現は、風車の設計と構造強度に関係する一連のサイト気象条件として定義される。本書でサイト気象条件という場合、風条件に関するものをいい、空気密度や気温といったパラメータは、風の流に影響する場合に限ってこれに含める。

「サイトアセスメント」という表現は、風力エネルギー分野で普通に使われる用法に従って、「サイト固有の(風)条件の評価」に対する略語として定義する。

ここで定義したMEASNET認定計測機関が実施する「サイト風条件の評価」の結果は、認証機関に対して、設計パラメータのサイト適合性(IEC61400-1([1]あるいは[2]))に関する追跡可能な基本情報を提供する。評価の過程で導き出された諸条件は、言うまでもなく当該サイトに設置する風車の設置、運転保守(O&M)、荷重、耐久性、性能、発電量に影響を及ぼすことになる。

IEC61400-1([1], [2])に従って、サイト固有の条件は、風条件と他の環境条件、土壌条件および電気条件に細分することができる。その上で、さらに各条件を通常条件と極値条件に区分することができる。本文書ではサイト固有の風条件および周辺条件(風の流に影響するものに限定)に焦点を絞る。

サイトアセスメントの手順には、気象データの収集(計測)、処理(評価)およびその解釈が含まれる。本ガイドラインはこの全手順を扱っている。つまり、それぞれのステップについてなすべき事柄の範囲と遵守すべき内容が記述されている。次のフローチャートは本ガイドラインに記載する評価手順の主要素を示したものである。

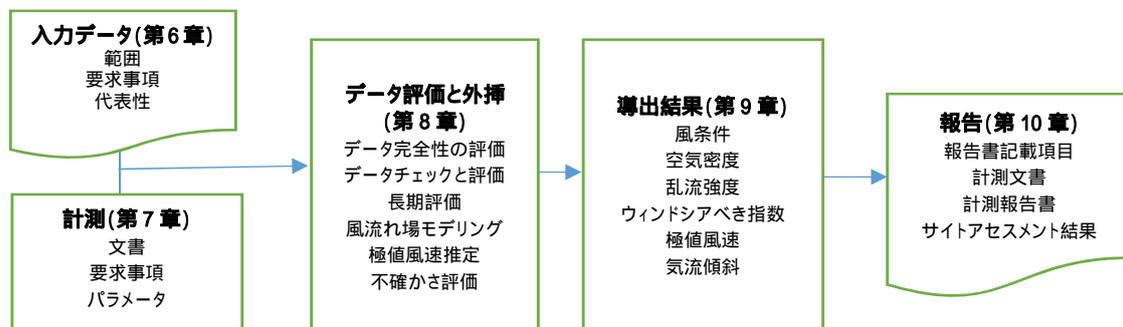


図1: サイト風条件評価のフローチャート カッコ内に該当章番号を示す。

この手順は、完了するまでに多大の時間を要する場合があります。各フェーズの結果によって常に再評価・修正を繰り返す必要がある。一般的には、この手順は二つのフェーズに区分される。

- 計測: サイトにおける風況計測とその文書化。

- データの評価と外挿、および導出結果の準備。データおよび結果の文書化を含む。
サイトアセスメント手順の上記フェーズをそれぞれ単独に実施して報告書を作成してもよい。ただし、以下の点を満足していなければならない。
- そのフェーズに関連する本文書記載の要求事項をすべて満たすこと。
- 前段のフェーズの内容を入力項目として使用する場合は、この内容が本文書記載の要求事項を満たしていることを文書により明示すること。
- 使用したすべての入力内容(計測データ、分析結果)についてその出所を明確にすること。
データに関する個別要求事項はそれぞれ該当する章節において、文書化に関する留意すべき内容は報告書に関する章節において、それぞれ重点的に記載している。

4 規定参考文献

本文書では全体を通じて次の参考文献に従わなければならない。

- IEC 61400-1 Wind turbine generator systems - Part 1 : Safety Requirements, 2nd Ed., 1998 [1]
- IEC 61400-1 Wind turbines - Part 1 : Design Requirements, 3rd Ed., 2005 [2]
- IEC 61400-12-1 Wind turbines - Part 12-1 : Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 1stEd., 2005 [4]
- ISO 2533: 1975-05, Standard Atmosphere [7]
- VDI 3786 Part 2 : 2000: Environmental meteorology - Meteorological measurements concerning questions of air pollution [9]
- ISO/IEC Guide 98: 1995 - Guide to the Expression of uncertainty in measurement [12]

5 本ガイドラインからの逸脱の取り扱い

本ガイドラインは、サイトアセスメント手順における手法の定義と要求事項を記載しており、これに従えば、最先端の技術に裏打ちされた結果を得ることができるようになっている。しかしながら、実際の適用にあたっては、入力データや手法に関して全要求事項を満足できず、ガイドラインからの逸脱が生じる場合も起こり得る。

この場合は、逸脱内容を明確にし、サイトアセスメント報告書にこれを明快に記載する事が基本的なルールとなる。しかしながら、逸脱の内容によっては、不確かさに対する影響度や導き出した結果の重要性を見積もることが難しい場合もある。そこで、このような場合にも本ガイドライン手順の意義をできる限り維持することを目的として、逸脱時の取り扱いについていくつかのルールを設ける。

- サイトアセスメント報告書において、ガイドラインからの逸脱内容は特別の章を設けて記述する。章のタイトルは、「MEASNETガイドライン“サイト風条件の評価”からの逸脱事項」とする。
- サイトアセスメント報告書の要約に、「MEASNETガイドライン“サイト固有の風条件の評価”からの逸脱事項」の章を参照して、逸脱内容の要約と各逸脱項目の重要度に対する簡単なコメントの記載を含める。
- 各逸脱項目について、サイトアセスメントに及ぼす不確かさを考慮する。解析的あるいは経験的に標準的な不確かさの範囲を導き出すことが不可能な逸脱事項があった場合、代替値を不確かさの付加的な要素として考慮する。

本ガイドラインの用語法では、「～する」、「～しなければならない」、「～する必要がある」、あるいはその類似語を伴った記述は義務的的要求事項を意味し、完全に満足できない場合、「逸脱」として処理する。一方、「～を推奨する」、「～が望ましい」、「～が好ましい」、あるいはその類似語を伴った記述は、推奨事項を示し、満足しない場合であっても、「逸脱」と見なす必要はない。

6 入力データ

サイト固有の風条件の評価は、利用可能な入力データおよび情報をもとに行う。本章では必要な入力データについて記述する。

6.1 現地調査

サイト条件の適切な評価のために、速やかにサイト調査をしなければならない。現地調査に際しては次の項目/情報を評価して文書にまとめるのが望ましい。

- 現地パノラマ写真
- サイトの位置座標(座標系情報明記のこと)
- 地形
- 地表面粗度
- 障害物の有無
- 観測マストの位置/座標
- 計測機器(現地に設置済みの場合)

現地調査時の取得情報は、計測計画立案と計測システムの配置計画、さらには第8章に記述する評価段階の関連情報となり得る。

6.2 地形データ

サイトアセスメントと流れモデルの基本情報は、当該サイトの地形を判り易くかつ現況に即して記載することが要求される。地形記述に必要な項目は以下のとおりである。

- サイトおよびサイト周辺の地形構成要素の記述および/あるいは写真
- 地形、粗度条件を示す地図
- 可能ならば、衛星写真あるいは航空写真

地理情報データは、計算モデルに必要なサイトおよび周辺の数値地形モデルを構築するベースとなる。従って、地形入力データは範囲、解像度、精度および情報内容について、使用するモデルの要求事項(第8.4節)を満足しなければならない。

6.3 関連気象パラメータ

サイトアセスメントのための主な入力データは各種気象パラメータ関連の計測データであり、これは必要な位置および高さに外挿するための計算の入力情報となる。評価パラメータの項目に応じ、次の気象パラメータが評価を進めるための入力情報として要求される。

- 風速*
- 風向*
- 風速標準偏差/乱れ*
- 気温
- 気圧
- 湿度
- 気流傾斜角

アスタリスク(*)を付した項目はサイトアセスメントに必須の項目であるため、サイトで直接計測しなければならない。計測はISO/IEC17025に従って追跡可能で、かつ、以下の記載要求事項を遵守しなければならない。

これ以外の項目についてもサイトで計測することが推奨されるが、利用可能な一般データあるいは推測により導くことも許容される。その際の要求事項は以降の章節にも記述されている。

6.4 風計測の代表性

適切な計測計画は、ウインドファームプロジェクトのすべての風車に対して必要なデータベースを提供するものでなければならない。しかし、そのような計画は、サイトの特異性および影響因子のサイト固有の分析に基づくことによって可能となる。計測計画立案(観測マストの種類、高さ、位置、センサー配置等)にあたっては、このように専門家によってサイト固有の分析を行うことが推奨される。その結果として、必要なデータを十分な精度で、かつ最も効率的な方法となり得る。

- (i) デベロッパーのために適切な計測計画を立案する。
- (ii) デベロッパーが独自の計測計画を立案できるようにガイドラインを提供する。
- (iii) 第三者の実施した計測の妥当性を評価する。

上記の点を念頭に、計測計画を策定するにあたって最低限守るべき事項について、以下に述べ

る。

風速計測高さは、最も高いところで、計画ハブ高さの2/3以上とする。風条件の鉛直外挿の不確かさを軽減するために、2/3以上の高さにおける計測が一般的に推奨される。特殊なケースでは、それが必須条件となることもある。

観測マストの必要数を決めるにあたって次の仮定をおく。それは、あるマストの計測データをもとに、本ガイドラインに記述する風流れ場モデリング手法(第8.4節)を使って他の位置の風況を推定する場合、そのマストから“代表半径(*representativeness radius*)”内であれば、推定の不確かさを許容範囲内に抑えることができる、という仮定である。全風車は少なくとも1本のマストの代表半径の中に配置しなければならない。

地形タイプごとに代表半径を決めるにあたって、地形クラスの代表例を2つ定義する。「単純地形クラス」(図2)は特筆すべき地形変化のない平坦地形であり、風条件は主として地表面粗度に影響を受ける。「複雑地形クラス」(図3)は地形変化(起伏)が大きく、著しい地形傾斜を持ったサイトに対応する。表1に地形クラスごとに、代表半径、つまり、風車が至近の観測マストから離せる最大距離を示す。

複雑度がもう少し小さい丘陵地形の場合、代表半径はここに示した地形からの内挿によって求めればよい。複雑度がさらに大きい山岳地系であれば、さらに小さい代表半径を仮定しなければならない。これらの場合、値はサイトに特化した解析の結果から決めることが望ましい。

表1に示した代表半径は地表面粗度が一樣である場合の値である。ウインドファーム内、あるいは周辺地域で地表面粗度が一樣でない場合は、マスト計測値は、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り、代表半径は必ずしも全方位に適用可能とは言えない。このような場合は、観測マストの適切配置についてサイト固有の分析を実施しなければならない。

表1 地形クラスごとの計測計画に対する要求事項

地形クラス	最低観測高さ	観測マストの代表半径 (風車の至近マストからの 許容最大離間距離)
単純地形(図2)	ハブ高さの2/3	10km
複雑地形(図3)	ハブ高さの2/3	2km



図2 本ガイドラインが定義する単純地形の例。地形起伏は極めて小さく、地形の風条件に対する影響はわずかである。風条件は主として地表面粗度に影響される。



図3 本ガイドラインの定義する複雑地形の例。約17°以上の地形傾斜が特徴的であり、風条件に支配的な影響を及ぼす。

7 計測

本ガイドラインに記載するサイトアセスメントは、風と、場合により他のパラメータに対するサイトでの実地計測を前提としている。計測実施方法がサイトアセスメントの一部となる場合もあり、また、計測が独立して行われ、計測に関する文書化に対して特別の要求が出される場合もある。

文書化に対する一般的な要求事項および計測に対する技術要件について、他の標準や推奨事項に関連して、以下の節に述べる。データチェックと信頼性に対しての特別な要求事項については次の8.1節および8.2節で述べる。

7.1 計測に関する文書化

計測機器の評価と計測データの評価の前提として、計測機器と計測位置について漏れなく記した文書が利用可能でなければならない。

一般的に、計測に関する文書に不足があれば、計測の不確かさを増大させる要因となるため、データ評価の段階で文書に残し、考慮すべきである。

計測に関する文書には、以下に要約する全主要項目(付属書Aに詳述)の記載がなければならない。

- 計測の位置および状況
 - 正確なマスト位置
 - マスト周辺状況
 - 周辺障害物の距離、詳細、寸法
- 計測機器
 - 観測マストのタイプ、寸法
 - ブームの高さ、寸法、取り付け方位
 - センサー仕様
 - 計測障害物
 - データ収録
 - センサーヒータ(該当する場合)
- 計測履歴
 - イベント発生日時
 - センサー交換記録
 - イベント一覧
- 計測データ

- 校正係数、実測信号に対する補正係数(適用したもの、適用すべきもの)
- サンプルング周期、平均化時間、その他の特性値
- データチャンネルとセンサーの整合性記述
- 全計測データ
- 計測データフォーマット

7.2 風速

サイトの風速計測はIEC61400-12-1[4]に準拠して行う。風速計はMEASNETガイドライン[5]に従い、MEASNET認証機関において校正する。全センサーは単一の校正計画において実施することが望ましい。

マスト頂部の風速計は、IEC61400-12-1[4]に準拠して一本の鉛直パイプに取り付ける。避雷針を設ける場合は、卓越風向を外して設置する。気流の歪みの影響を最小限とするために、風速計は避雷針から避雷針直径の50倍以上離す。正確な寸法および位置を報告書に記載する。

計測高さは最上部で計画ハブ高さの2/3以上とする(6.4節参照)。サイトのウインドシアを評価し、風速鉛直分布を決定するため、最上部風速計から十分に(少なくとも20m)低い位置に風速計を1個以上追加して使用する。計測高さを決めるにあたっては、ローターの回転面内の高さが最も重要であることに留意する。

追加の風速計は、IEC 61400-12-1 [4] に従って別々のブームに設ける。また、IEAガイドライン[6]のブームの方向と長さの推奨規定に準拠する。これは気流の歪みの影響を受ける風向範囲をできる限り少なくするためである。不確かさの見積もりにあたってはマスト本体からのウエイクによる気流の歪みの影響を考慮する。

風速計ブームはすべて同方位に設置するのが望ましい。卓越風向がわかっている場合には、円筒マストの場合は卓越風向から45°方向、トラス構造の場合には90°の方向とする。風速計のブームに他の計器を設置するのは避けた方がよい。

風速計は10分平均値として計測する。サンプルングレートは1Hz、あるいはそれ以上とするのが望ましい。データ収集システムには平均値、標準偏差値を記録、保存する。さらに、最大、最小値も記録するのが望ましい。

計測期間は、季節変動評価を可能とするため、観測サイトの少なくとも1本のマストで、少なくとも連続した12か月間を完全にカバーしていなければならない。2本以上のマストのデータが利用可能な場合は、マスト間の相関解析を行って、計測期間外の補完や欠測補完ができるようにすることが望ましい。この時、相関解析手法の不確かさを考慮しなければならない。

次のどれかに一つでも該当する場合、計測は不完全であるとみなす。

- 連続した12か月の計測期間をカバーするマストが1本もない。
- 主センサー、あるいはIEC61400-12-1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生データの充足率が90%以下
- 同一サイトで計測した別の計測データを使用してMCP法(Measure-Correlate-Predict Method、計測-相関-推測法)により欠測補完した後のデータ充足率が95%以下

計測が不完全であるとみなされる場合、本ガイドラインからの逸脱事項として報告書に明確に記載し、不確かさ評価における考慮の対象としなければならない。

風速計の再校正は、計測を開始してから12か月後、および計測期間終了後に、MEASNET認証機関で風洞校正により実施するのが望ましい。再校正の結果が大幅に異なっている場合には比較評価(計測期間中の他の風速計との比較)を行い、違いが出始めた時点と同定して、風速計の計測性能が許容不確かさの範囲内に収まっている期間に、計測データの評価期間を絞ることになる。

校正結果の差が過大であると見なされる場合には、校正差の分析内容と、校正差が原因でデータ棄却した内容を報告書に記載する。データを棄却する代わりに、そのデータを残して、不確かさを大きく見積もることとしても良い。

再校正を実施しない場合は、代替策として、計測全期間において風速計の性能が劣化していないことを試験によって確認し、報告書に記載しなければならない。この場合、いわゆるサイト比較

(in-situ verification procedure)による。これは、主風速計を近接設置した制御用風速計と比較し、時系列上の顕著な相互関係変化の状況を評価して検証する手法である。

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を推定するために、追加のリモートセンシング機器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、機器構成および試験方法に関する推奨事項(付属書B参照)を考慮する。

7.3 風向

風向の現地計測はIEC 61400-12-1 [4]による。風向計は、IEC 61400-12-1 [4] に従って別々のブームに設ける。また、IEA推奨基準 [6]のブームの方向と長さの推奨規定に準拠する。これは気流の歪みの影響風向範囲をできる限り少なくするためである。不確かさの見積りにあたってはマスト本体からのウエイクによる気流の歪みの影響を考慮する。

サイトの高さ方向の風向変化評価とデータ充足率向上のため、主風向計から十分に(少なくとも20m)低い位置に風向計を1個以上追加する。計測高さを決めるにあたっては、ローターの回転面内の高さが最も重要であることに留意する。

風向計設置時にはゼロ方位調整のための正確な位置決めが必要である。

風向計は10分平均値として計測する。サンプリングレートは1Hz、あるいはそれ以上とするのが望ましい。データ収集システムには平均値、標準偏差を記録、保存する。

計測期間は、季節変動評価を可能とするため、観測サイトの少なくとも1本のマストで、少なくとも連続した12か月間を完全にカバーしていなければならない。2本以上のマストのデータが利用可能な場合は、マスト間の相関解析を行って、計測期間外の補完や欠測補完ができるようにすることが望ましい。このとき、相関解析手法の不確かさを考慮しなければならない。

次のどれか一つでも該当項目がある場合、計測は不完全であるとみなす。

- 連続した12か月の計測期間をカバーするマストが1本もない
- 主センサー、あるいは主センサーの30m以上下方に設置したバックアップセンサーのフィルター処理後の生データの充足率が90%以下
- 同一サイトで計測した別の計測データを使用してMCP法により欠測補完した後のデータ充足率が95%以下

計測が不完全であるとみなされる場合、本ガイドラインからの逸脱事項として報告書に明確に記載し、不確かさ評価における考慮の対象としなければならない。

7.4 気流傾斜角

著しい気流傾斜(気流の鉛直成分)が生じる場合、これは周辺地形の傾斜と強く関係している。従って、複雑地形では、計測地点における気流傾斜角を把握するために、気流の3軸成分を計測するための適切なセンサーを使用することが望ましい。

7.5 気温

特に気温が極端になるようなサイトでは、一般的に、サイトの気温を現地計測することを推奨する。計測はIEC 61400-12-1 [4]によるのが望ましい。

センサー位置は観測マストの頂部から10m以内とするのが望ましい。校正済みのセンサーが望ましい。計測期間は、季節変動評価を可能とするため、少なくとも12か月を完全にカバーしなければならない。放射に起因する不確かさを最小限とするため、適切なシールドの設置は必須である。

複雑地形、あるいは大気成層による風速鉛直分布へのはっきりとした影響が予想されるサイトでは、高さの異なる2つあるいはそれ以上の数の温度センサー設置を推奨する。

7.6 気圧

サイトの気圧は、可能ならばハブ高さ近くで計測することを推奨する。計測高さがハブ高さから離れている場合は、計測気圧はISO 2533 [7]に従ってハブ高さに補正しなければならない。

気圧の外挿は、サイトの長期平均気圧を推定するのに適切な長期データが利用可能な場合に限って実施することが望ましい。

7.7 湿度

サイトが高湿地域の場合、また、サイトの気象条件が極端な場合、相対湿度を現地計測することを推奨する。湿度センサーの位置は観測マストの頂部から10m以内とするのが望ましい。

湿度の外挿は、サイトの長期平均湿度を推定するのに適切な長期データが利用可能な場合に限って実施することが望ましい。

8 データ評価および外挿

サイトアセスメントにおいては、計測データを評価し、さらに計測データから長期データおよび風車位置のデータを推定する必要がある。本章では、これらのステップにおける手法と要求事項について記載する。

8.1 データの完全性の評価

サイトアセスメントの結果は、入力情報として用いる計測データに大きく左右される。従って、入力データの完全性を考察の対象としなければならない。このことは、計測が本ガイドラインの要求事項に従わず、ISO/IEC17025のトレーサビリティ基準を満たさないような場合、特に重要となる。

データ処理のステップが計測手順書に明快、再現可能、かつ全ステップにわたって示されていないければ、計測データの完全性を検証することは、多くの場合困難である。データ処理がデータ評価およびサイトアセスメントの実施機関(以降“MEASNET機関”と称する)のみによって行われるのであれば、この機関がデータの完全性を担保することができる。そうでない場合は、データの完全性を最大限に担保あるいは確認するため、様々な要求を満足する必要がある。

以下に、どの範囲までのチェック・検証が可能かによって、データの完全性に関する等級を分別する方法について記載する。本ガイドラインの規定から逸脱する場合は不確かさ要因が増えるものと見なし、これに相当する不確かさ代替値を考えるということを基本ルールとし、これに従って考慮すべき不確かさ代替値をケースごとに定義する。

定義した計測データの完全性クラスとそれに対応する不確かさ代替値は次表に示す通りである。ガイドラインの手順から逸脱する場合(クラスCおよびそれ以下)は、逸脱の内容を第5章に従って報告書に記載しなければならない。さらに、それぞれに対応する不確かさ代替値を、計測量ごとに追加の計測不確かさ因子として計算の対象とする。この不確かさ代替値は、当該センサーの計測不確かさとは全く独立なものとみなす。つまり不確かさ代替値は、対応する計測量の不確かさに加算する量として処理しなければならない。

表2 計測データの完全性に関する等級および内容

等級	内容	説明	不確かさ代替値
A	データ完全性は確保されている (逸脱なし)	データ処理はMEASNET機関のみが行う。つまり、MEASNET機関が全計測機器の設置、計測およびデータ評価を行う。従って、MEASNET機関がデータ完全性を確保することが可能。	0%
B	データ完全性は確保されている (逸脱なし)	計測は、計測の完全性と再現性を確保する品質管理基準に則って行う。 ISO/IEC17025 認証を得た計測は、ISO/IEC17025[8]に厳密に準拠している場合、本文書の要求を満足する。この場合、本文書からの特筆すべき逸脱はあり得ないこと、特に、センサーのハンドリングおよび設置が認証機関のみによって行われていること、公的標準に追跡可能な校正が全計測システムに対して実施されていることを意味する。	0-1 %
C	データ完全性は保護されている (逸脱あり)	データの完全性は保護的手段により、高度に確保される。 MEASNET機関がロガー設定およびセンサー詳細をサイト検査時にチェックし、データロガーに直接遠隔アクセスして、最低でもデータをランダムにダウンロードしてチェックすることが可能であるような場合。 また、ロガーデータの暗号化、チェックサム、あるいはパスワード保護によりデータ操作を不可能にし、加えてMEASNET機関が現地チェックを行う場合。	1-2 %
D	データ完全性は検証されている (逸脱あり)	データはMEASNET機関がロガーのファイル形式(バイナリ形式が望ましい)で入手。校正係数はバイナリファイルに書き込まれているか、あるいは詳細文書により確認可能。	2-5 %
E	データ完全性は不十分 (逸脱あり)	MEASNET機関は物理値のみのファイルとしてデータを入手。計測値に対して、正しい値かどうか(例えば、校正係数が正しく適用されているか)を検証する手段がない場合、本クラスを適用。データの完全性は不十分である。MEASNET機関はこのことを文書に残し、不確かさ評価において考慮対象としなければならない。	5%以上

ここで強調しておかなければいけないことは、データ処理が不明瞭、あるいはトレース不可能で、計測データの検証が不可能な場合、計測データの不確かさ、あるいは起こり得る最大誤差量を見積もることは不可能であるということである。従って、表 2 に提示した不確かさ代替値を、起こり得る誤差の最大値であると考えてはならない。

さらに言えば、このガイドラインに定義された不確かさ代替値を適用したとしてもそれだけでは十分ではなく、MEASNET 機関は、あくまで入力データの信頼性、現実性をできる限り検証し、もしこれがトレース不可能でかつ非現実的なデータであった場合は、これを破棄する義務を負っている。サイトアセスメントにおいて、計測方法およびデータの品質および/あるいは文書化が本文書の要求事項から著しく逸脱することが認められ、表 2 の C、D、E 級のいずれかに該当する場合、報告書には次の所見を記述しなければならない。

“本手順の要求事項の適用は、データ分析の手法および手順に関する部分に限定した。計測方法およびデータの品質および/あるいは文書化に関しては MEASNET ガイドラインからの著しい逸脱が判明した場合、計測データの信頼性検証は不可能である。”

8.2 データ評価

8.2.1 データ品質評価とフィルタリング

データ評価の最初のステップは、データの品質評価と、場合によってフィルタリングからなる。このデータ品質評価とフィルタリングのステップは品質的にクリティカルであり、データ評価手順に本質的に結びついている。例外的に、他の機関で予め品質チェックとフィルタリングを済ませたデータをもとにデータ評価を行うことがある。この場合、この機関に対して認証付与の要件が全面的に満たされており(計測データの完全性等級AあるいはB、8.1章参照)、関与する機関の責任範囲が明確に記述されていることが前提条件となる。

データの品質チェックの目的は、データから重要なエラーをできる限り多く見つけ出し除去し、そして、データ品質の総合評価に導くことにある。一般的な「疑わしいデータ」の定義、あるいは、これを処理する方法といったものはなく、評価の方法やその次に適用するステップによって異なってくるものである。例えば、マストのウエイク領域の風速計測値は、目的によっては、誤計測値として除去する場合もあるが、他の目的から、特にマストの影響補正を施した場合、そのまま使用することもあり得る。

客観的な「データ品質の総合評価」は、計測値の不確かさ評価に影響を及ぼすこと及び解明不可能な疑問を引き起こすこともあり得る。また、場合によってはサイトアセスメントの目的上からそのデータを棄却すべきという結論を導くこともあり得る。

計測データの品質評価には、計測技術の深い知識と計測データに関する広い経験を必要とする。このため、データ品質評価の適切な手順について記述することは、このガイドラインの目的範囲をはるかに超えている。しかしながら、付属書Bに、データ品質評価について多少の記述を行った。個別にデータ評価の手順を策定するに際して、注意すべきヒントおよび推奨事項として見て頂きたい。以下にこれらのヒントを要約する。

品質評価に際しては、センサーのデータはそれぞれ単独に評価すると同時に、他のセンサーや同一サイト内の他のマストのデータとの比較を交えて評価するのが望ましい。データ、あるいは関連する補助量(相関、偏差等)に対するチェックは、以下に記載する個々の評価項目を包含することが望ましい。詳細については付属書Bを参照されたい。

- 誤差値/代替値のチェック
- 目視チェック
- 完全性チェック
- 計測範囲のテスト
- 定値テスト
- トレンドと矛盾値のテスト
- 関連パラメータのテスト
- 相関性テスト

データ品質評価実施における最も重要な処理は、データセットの一部棄却(フィルタリング)である。これはデータの連続性にギャップを生じさせることになる。一般的な所見がこれに加えられる。報告書はデータフィルタリングに関して下記内容をカバーしていなければならない。

- 棄却したデータの総数あるいはパーセンテージ
- 主要な棄却期間のリスト(センサーごと)
- 棄却したデータの分布状況評価(例えば、特定の季節に集中している、等)
- データ棄却に起因する不確かさに関する考察
- データの利用可否あるいは不確かさについての結論(センサーごと)

データ品質評価とフィルタリングは、それに続く評価のベースとなる。また、計測結果を使ってよいかどうかの判断、あるいは計測の不確かさ評価に対して、付加的な情報となる場合もある。これらは、以降の評価と不確かさ見積りステップで考慮の対象としなければならない。

8.2.2 データ補完

データギャップ(品質評価とフィルタリングによるものを含む)に関して、そのギャップがランダムに分布しておらず、特定の期間に集中して存在する場合、計測値に系統誤差を与えることがある(ここで特定の期間というのは、例えば冬季、といった特定の気象・気候の期間の場合もあるし、それ以外の要因による場合もある)。このため、評価にあたっては、他のセンサーの計測値から再構築した補完データを用いて、該当するセンサーのデータギャップをできる限り多く埋め、データ充足率を高くすべきである。

対象となるセンサーは、風速計および風向計、そして場合によっては温度計や気圧計といった気象計測機器である。データ補完は主として平均値を対象とするが、以降の評価におけるデータの必要性によっては、標準偏差や最大値といった量を対象とすることもある。

データ補完にはMCP法が使われる。8.3.2項に詳述する長期評価法と類似の方法である。MCP法では、分析データのばらつき、すなわち、MCP法の適用の不確かさを最小限に抑えるべきである。例えば、同一マストで計測高さがほぼ同じ二つの風速計のデータのような類似性の高いデータを使って行うことが望ましい。一般的に、手法および適用法に対する要件は長期評価法と同様であり、8.3.2項の記載事項がそのまま適用できる。

データ補完の結果、欠落部を再構成データで充足した時系列データが得られる。データ補完に伴って生じる不確かさの評価を厳密に行えるようにするため、いくつかの評価作業が必要であり、データ補完に関する報告書記載事項には以下の項目が含まれていなければならない。

- 補完データの総数あるいはパーセンテージ
- 主要な補完期間のリスト(センサーごと)
- 補完データの分布状況評価(例えば、特定の季節に集中している等)
- データ補完が平均値およびこれに関連する量の分布に及ぼす影響の評価
- データ補完に起因する不確かさに関する考察
- 補完データの利用可否あるいは不確かさについての結論(センサーごと)

8.3 長期評価

一般的に、特定のウインドファームサイトにおける風計測の結果は、計測期間だけに有効である。通常この期間は1年間あるいは数年間といった短期間である。風速と風向の分布は年毎、および季節間における明瞭な変動を示すことがあるので、信頼するに足る平均的な風況は、長期にわたる風のデータベースが必要とされる。このため、計測したデータについて、平均的な風況を代表すると考え得る長期風況に投影するための長期評価が必要となる。

このアプローチは、風条件の定常な長期平均値が存在し、過去のデータから導き出すことが可能であり、そして、この平均値は将来の風条件の最適推定値とみなすことができるという一般仮定を前提としている。従って、この結果は、系統的な気候変動といった将来の変動を取り入れたものではない。将来の風条件をより良い精度で予測するような形で、風条件の系統的なトレンドや長期変動を決定、あるいはモデル化することは、現時点における科学水準では不可能であるということが大前提である。

8.3.1 概要

長期評価の主題は、対象サイトと参照点の同時風データ間の相関関係を決定し、この関係を使って対象サイトのデータを長期外挿することにある。評価に必要なパラメータは、気象、地形の様相や実施する評価の時間スケールといった諸条件によって異なってくる。典型的な風力エネルギー関連の局面では、風速と風向が必要な項目と考えられるが、加えて気温等の気象パラメータが必要となる場合もある。

同時データを該当パラメータの相互依存性について分析し、その相関性を表すための適切なモデルを決定する。相関性のタイプを決定するにあたって、風速分布のどの特性をモデル化する必要があるのかについて注意する必要がある。平均風速だけではなく風速分布の形も関係してくるからである。場合によっては、非線形のデータ間関係性を考察の対象としなければいけないことがある。参照観測地のデータ品質にもよるが、解析するデータは高時間解像度(10分あるいは1時間平均時系列値)のものであることが望ましい。

外挿を行う場合には、一連の手順の中に外挿の有意性評価および品質評価、さらには、導き出した相関パラメータの妥当性テストを含めなければならない。相関性決定の手法は、良好に定義され、かつ、検証されたものでなければならない。また、手順の不確かさを実施された検証に基づいて評価しなければならない。

以下に、いくつかの長期評価手法とそれぞれの要求事項を記述し(8.3.2項)、これに続く項(8.3.3項、および8.3.4項)に、参照データと期間に関する一般的な要求事項を記述する。

8.3.2 長期評価の方法と個別要求事項

限られた期間の計測データをもとにして長期風況を決定するために、MCP法、あるいは、長期スケールリング法を用いる。どちらの方法も計測データ(サイトデータ)と平行した長期データ(参照データ)を用いる。後者はサイトデータ計測期間のうちの少なくとも重要な期間(同時並行計測)のデータを含む。

計測-相関-推測(MCP)法では短期間のサイトデータ(“計測”)を同時期の参照データと比較し、両データの相関関係について分析する(“相関”)。決定した相関関係を長期参照データに当てはめて、サイトの短期データから長期データへの外挿データを得る(“推測”)。

長期スケールリング法では、参照データを、長期風況とサイトデータ計測期間の風況との間の関係に注目して分析し、その関係をサイトデータに当てはめて外挿し、サイトの長期データを得る。

MCP法は、相関関係決定のため統計的なデータ処理をベースとしており、その故に、通常、風速および風向の高時間解像度時系列データを必要とするのに対し、長期スケールリング法は、もっと低い時間解像度(月平均値等)のデータに対しても適用が可能である。

データとサイトの特性によって、適用できる方法は異なり、方法に応じた要求事項を考慮する必要がある。

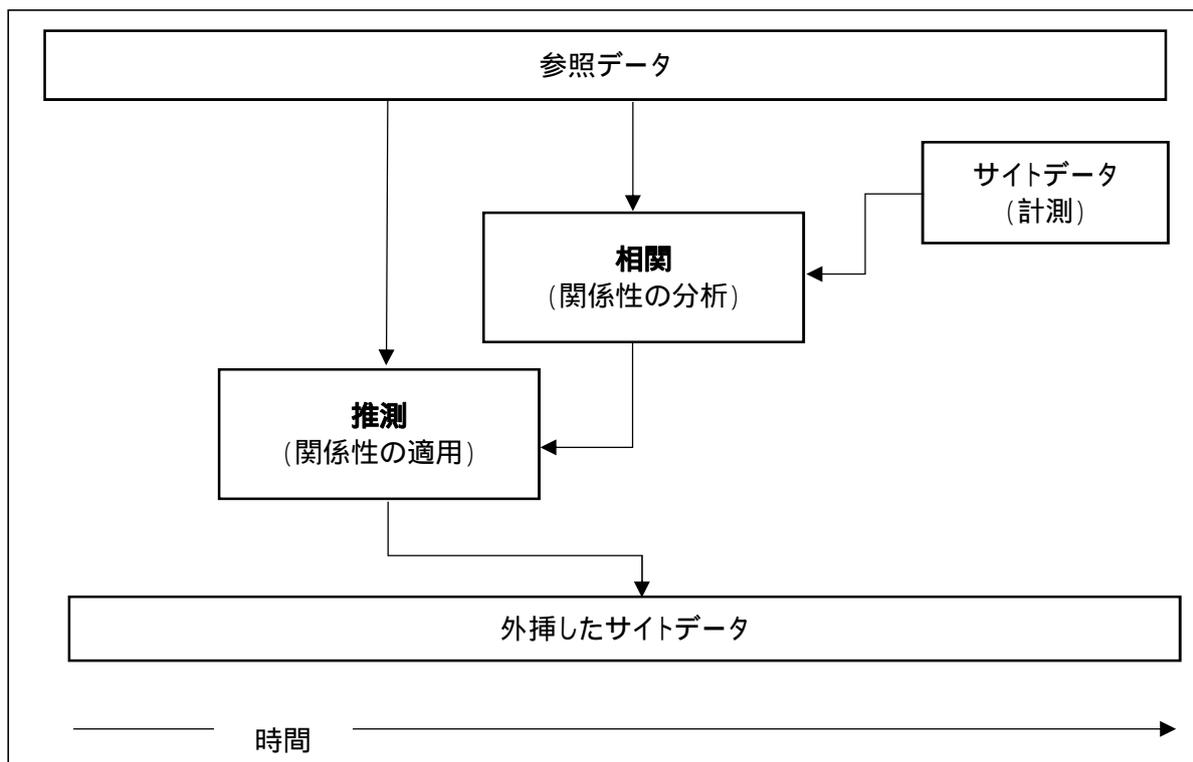


図4 MCP法のフローチャート

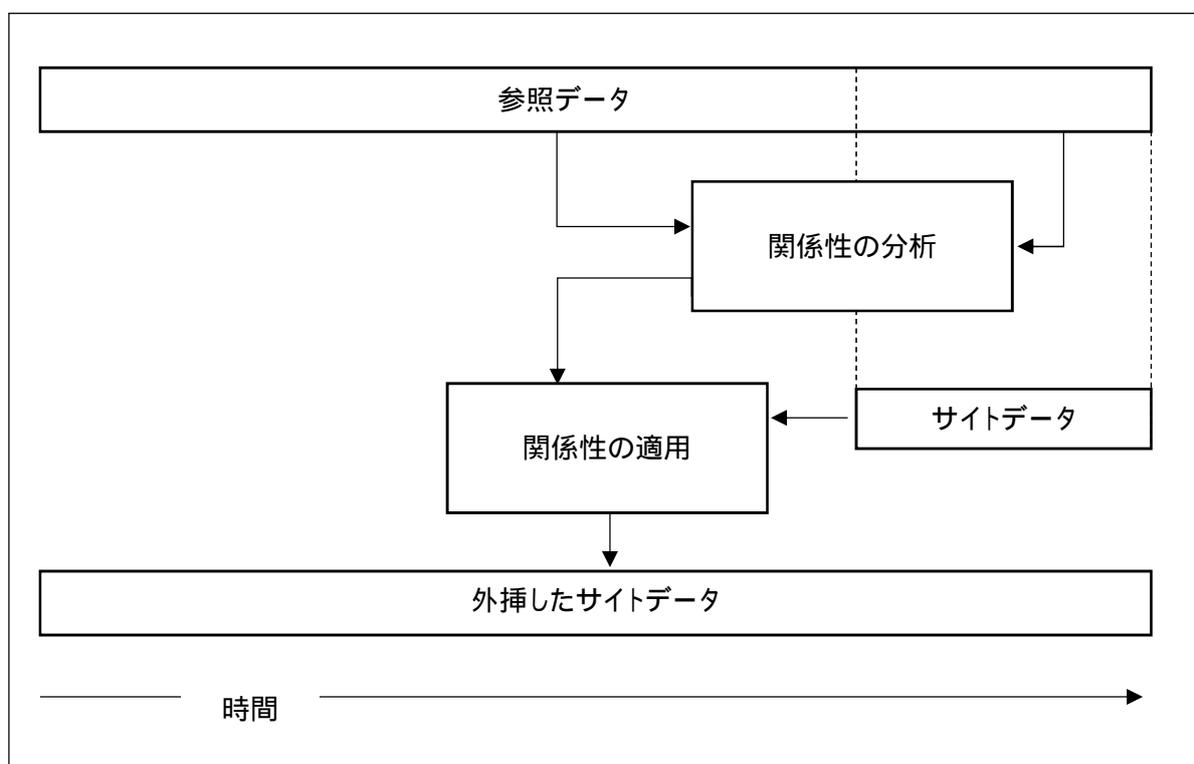


図5 長期スケーリング法のフローチャート

MCP法

- 風向別回帰MCP法

同時期のデータを分析して、風向ごとの線形あるいは非線形相関式を求める(回帰分析)。風向のデータ間の差は独立して扱うか、あるいは、無視する。風向セクターの定義は柔軟に考えてよい。データ間の相関を求める方法は、風速分布の偏差に重点をおいて求める方法であっても良い(例えば、カイ二乗検定[10])。

風向別回帰MCP法は、選択した風向においてデータ間に明快な相関性が認められるということの大前提としている。相関性については、少なくとも、風向セクターごとの風速値の相関係数(R)、あるいは決定係数(R^2)の形で評価し、報告書に記載しなければならない。さらに、出現風速範囲が、風向ごとに回帰分析を行うに十分であるかどうかを検証しなければならない。非線形回帰の場合には特に重要である。結果の不確かさの評価に際しては、データの相関係数と風速範囲が計測値でどの程度カバーされているかを考慮に入れなければならない。

- マトリックスMCP

同時データを風速と風向で分けし(ビン解析マトリックス)、ビンごとに参照データとサイトデータ間の風速風向の偏差、若しくは関係を求める。出現度数が十分でないマトリックス要素では、適当な方法を使って値を内挿あるいは外挿する必要がある。マトリックスの全要素を単一のサーフェス関数によりフィッティングしても良い。ただし、この関数を使ってマトリックス要素を高度に再現できる場合に限る。

マトリックスMCPは、データ間に高度の相関性が認められ、系統的な関係によりマトリックス要素にスムーズなパターンが得られることを大前提としている。相関性は、少なくとも、風向セクターごとの風速値の決定係数(R^2)の形で評価し、報告書に記載しなければならない。計測データから求めたマトリックス要素のパターンを適用したものととも記載しなければならない。さらに、マトリックス要素が風速風向範囲を十分にカバーしていることを検証しなければならない。結果の不確かさを評価するに際しては、データの決定係数と風速範囲が、計測値でどの程度カバーされているかを考慮に入れなければならない。

- その他のMCP法

サイトと参照データの間を分析する上記以外の方法を使っても良いが、その場合、それが明確に定義され検証された方法であり、経験則に基づいてデータ間の関係を求める方法であることが要求される。また、データ間の関係性とデータのカバー範囲に関して先に述べたと同様の考察をしなければならない。自由度がさらに高い方法の場合、不適切な処理防止のため、結果の検証とデータカバー範囲が十分かどうかについての評価が、なおさら重要となる。

長期スケールリング法

- ウィンドインデックス、あるいはエネルギーインデックス法

参照データから、サイトにおける風速あるいは発電量の変動を示す指標値(インデックス)を導き出す。十分なデータ品質を持ったものとし、時間解像度は1か月以下とする。

指標値の計算は、経験的に求めた関係式(風速あるいは発電量の相関式)を基礎として良い。あるいは、対象サイトにおける風速あるいは発電量を参照データから求める計算モデルによってもよい。

指標値がそのサイトに適切であることを検証しなければならない。少なくとも、指標値と同期間の計測値に基づいた対象量(風速あるいは発電量)との間の決定係数(R^2)を算出し、報告書に明記しなければならない。

スケールリングのベースは、通常、サイトで短期間に計測した風の分布である。このため、風向風速分布の形状パラメータの変動の影響は考慮されない。従って、この方法では、短期計測期間の風配図形状やワイブル形状係数が長期の傾向からあまり外れていないことを確認しなければならない。

- 分布スケールリング法

この型の長期補正法では、風の分布パラメータ(風向別ワイブル形状・尺度係数および頻度

分布)に対して長期補正を適用する。補正係数は、サイトデータと参照データ間の風分布パラメータの比較、参照観測所の長短期風分布パラメータの比較、もしくはサイトと参照データ間の時系列の比較分析結果のいずれかにより求める。分布スケーリング法を適用する際は、実際の風速条件が仮定した出現率分布関数(ワイブル分布)により適確に記述されるということが前提条件となる。分布スケーリング法を適用することによって、風速風向分布の変動の影響を記述することが可能となることもある。

しかしながら、もし適用する分布スケーリング法が時系列データではなく風の分布だけによるものである場合、風分布変化の因果関係を求めることは不可能である。こういった場合は、分布パラメータの調整を風速分布のみに限定しなければならない。この場合、分布スケーリング法は一種のウィンドインデックススケーリング法の意味合いを持つことになるので、同法に対する前述の要求事項を守らなければならない。

時系列データの分析をベースとした分布スケーリング法の場合は、風分布の各種類型を代表するパラメータセットを少なくとも6時間の時間解像度をベースとして評価しなければならない。

長期補正と外挿を特別な目的(例えば、極値風評価)のために実施する場合は、上記とは異なった追加要求事項があり、これらを考慮することが必要となる。

8.3.3 相関解析期間

短期間の風条件から長期間への外挿を正しく行うためには、相関解析期間(相関パラメータを決定するための期間)に重要かつ典型的な気象状況がすべて含まれており、データ間の重要な関係性を決定し得ることが望ましい。データ間の関係をより正確に、そしてより詳細に解明することが出来れば、短期間ベースの予測はより正確にできるようになる。従って、解析に必要な期間の長さは、サイト固有の風条件・状況だけでなく、適用する外挿法の性能にも依存することになる。

季節変動の影響を受けないために、サイトと参照データの同時計測期間は少なくとも1年間をカバーするのが望ましい。このことは、外挿を時系列ベースで実施することが出来ない場合、そして計測風速条件、場所の違い、計測高さの違いが影響して短期間計測値と参照マストデータの違いが大きい場合に特に重要である。

参照データの品質が良好であり、かつ計測高さがほぼ同じで、風向の影響を考慮した時系列ベースの外挿を実施するのであれば、計測期間を短くすることが可能である。この場合、適用した外挿手法が短期間に対しても検証済みであり、データ間に有意の相関関係が認められること、風向の影響が妥当な範囲であることが解明できること、そして季節の影響が限定的であると仮定しても差し支えないことを示すことが望ましい。

8.3.4 参照データに対する要求事項

計測した風条件に非現実的なトレンドやステップ変化がしばしば見られることは、長期気象データを扱う上で、経験的に良く知られた事実である。長期データの減少トレンドが計測周辺環境の変化(建物の新設、樹木の成長等)によることは良くあることで、計測設備の変更や計測センサーの経年劣化によってステップ上の変化や異常計測値が生じることも多い。長期トレンドがその地域の実際の傾向を反映しているのか、あるいは障害物効果によるものかという疑問に明確に答えるためには、多くの場合、長期観測所に対する詳細情報とさらに他の長期の計測データが必要となる。

従って、信頼に足る長期外挿を行うためには、長期データが信頼でき、かつ整合性があることの評価を行うことが重要な前提条件となる。長期観測所の調査や気象観測所の歴史に関する情報を集めることにより、この評価にとって有益な情報が得られる場合がある。

当該観測所の長期データのトレンドや不整合を見つけ出し、整合性のあるデータに基づいた適切な解析期間を決定するために、別の観測所の長期データによる比較分析が必要となることもしばしばある。長期風条件の不確かさ評価を行うに際しては、参照データの品質を考慮に入れる必要がある。

参照データの期間は、代表的な平均風条件を得るため、できるだけ長くすることが望ましい。気象学上の見地からは、概略30年間という期間が代表的であると考えられている。実際には、利用可能な期間はデータ自体の取得期間と前述の信頼性と整合性の観点から制限されることになる。こういった制限条件を考えると、長期代表性とデータ信頼性の妥協点という意味で、10年という期間が

妥当な期間であると一般的に考えられる。

参照期間の長さは、サイトごとに利用可能なデータの信頼性と整合性の分析を行った上で決定するのが望ましい。参照期間、およびこれを決定するもととなったデータベースと決定基準を、説明を含めて報告書に明示することが望ましい。参照期間は長期の風条件を代表しているかどうかを評価することが望ましい。そして、その代表性評価の結果は、長期風条件の不確かさ評価において考慮の対象とする必要がある。

8.4 風の流れ場のモデリング

ウインドファーム計画地内のある位置(“計測点”)で計測した風データを風車予定位置のハブ高さ(“目標点”)に空間外挿するためには、風の流れ場のモデリングが必要である。風の流れ場のモデリングは、風計測値をもとに適切な流れモデリング手法を適用することと、サイトおよび十分な広さの周辺領域の地形を記述することから構成される。

このために様々な手法とモデルがあり、それぞれが異なったモデリングのアプローチに基づいて構築されている。大気の流れを物理的に正しく記述することは複雑であり、厳密には不可能である。そのために、どのモデルも物理過程を単純化、または制限を設けている。風の流れ場のモデリング手法を評価しあるいは選定することは、本ガイドラインの主旨ではない。従って以下では、モデリングに際しての一般的な要件について記述する。これらは、どんなモデルアプローチを採用としても遵守されなければならない事項である。

- モデルの妥当性

適用モデルは、適用しようとするケースの妥当性を検証しなければならない。すなわち、関連する現象が正しく記述できなければならない。また、仕様通りに計算されることを証明しなければならない。基本的な特性、例えば物理的に妥当な信頼性のある結果が得られることや、計算結果の再現性と入力データの自己再現性(計測点の風条件を正しく再現できること)が示されなければならない。

- モデル単純化の妥当性

モデル固有の単純化仮定や制限が適切かどうかを、適用ケースごとに検討し評価しなければならない。例えば、大気の大気熱および水蒸気過程について、その過程が計測点および目標点間の風条件の相対関係に大きく影響しないことが高確率で期待できる、あるいは既知である場合には、これを無視するとしても適切であると評価することができる。

- モデルの入力データ

計算モデルは、利用可能でかつ風条件に大きく影響するデータを、入力データとして使用しなければならない。周辺地域の標高、粗度長あるいは土地利用区分は、通常最低限必要な情報であり、これに障害物や温度成層などの大気パラメータが加わる場合もある。

- 風の流れ場の解像度

流れモデルは入力データと流れ場を離散化するものであるため、入力データと計算流れ場の解像度は予測される、あるいは既知の物理効果のスケールを考慮して適切に決める必要がある。つまり、計測点周りの地形と流れ場については、計測した風条件に影響する微小スケール効果を解くことができるように解像度を十分高くしなければならない。

- 流れ変動量の解像度

流れモデルは流れに関するすべての起こり得る変数のセット、言い換えれば、実際に起こり得る全ての流れの状況を離散化するものであるため、離散化の解像度は流れ効果のスケールに適したものでなければならない。また、評価の手法(流れの状況の内挿・外挿)は、その効果の特性に適したものでなければならない。このことから、特定のケースでは、風速を方位ごとの単一の代表値と線形仮定により記述することは不可能である、あるいは風速分布をワイブル近似により記述することには疑問がある、という結論が導き出されることがある。また、複雑地形における風速に及ぼす地形効果の計算は、サイトの地形変化を十分に再現できるように、方位解像度を30度よりもっと細かく設定して行う必要がある。

- モデルの検証

モデルは適用ケースごとに、可能な限り利用可能な計測データに対して検証し、これによって適用可能性を確認し、不確かさの推定値を導き出せるようにしなければならない。これにより、異なった計測点のデータをもとにして、相互に予測を行い実測値と比較することによって行うことができる。検証結果に食い違いがあった場合、その計算結果に対する重要度についての評価を行い、その結果を不確かさの計算時に考慮しなければならない。

さらに、適用ケースについて、類似もしくはモデリングの特性に関する典型的なケースの計測データである場合は、過去に行ったモデル検証が利用可能でなければならない。また、これを評価報告書に引用し、不確かさ評価において考慮しなければならない。

- モデルの感度分析

入力データやモデルの設定の微小な変更に対するモデルの感度を、類似の典型的なケース、および個別の適用ケースに対して分析することが望ましい。感度分析の結果は、当該モデルの適用可能性の評価および不確かさ評価の際に考慮することが望ましい。

一般的に、流れモデリングのアプローチでは、入手可能で不確かさを小さくするのに有効なサイト固有の計測データをすべて考慮しなければならない。流れ場のモデリングにより風速標準偏差(あるいは乱流強度)の結果も得られる場合、計算結果は、その入手可能なサイト固有の計測値に基づいたものであることが望ましい。

8.5 極値風速

極値風速は、大小さまざまなスケールで起こる大気現象に関係している。極値風速の発生源(暴風メカニズム)は緯度によって異なる。熱帯域ではハリケーンや熱帯低気圧が極値風速の主要因であるが、中緯度域では低気圧とメソスケールの現象(暴風)が、通常、極値風速をもたらす主要因となる。

極値風速を決めるにあたって、十分に長期間の計測データを入手することは通常は不可能である。仮に入手可能であるとしても、それは風の状況が全く異なる気象観測所のものであり、ウインドファームのサイトに直接関係するものではない。従って、限られた期間の計測時系列データから極値風速を推測する方法や、気象観測所で計測された長期時系列データをウインドファームのサイトに変換する方法が必要となる。

このための手法がいくつかあるが、どんな場合でも適用可能な手法や、より好ましい手法といったものを提唱することはできない。その代替として、それぞれの手法の概略を紹介し、最も信頼できる結果を得るための一般的な推奨事項を以下に示す。

極値風速の推測法としては2種類の異なった手法が可能である:

- 極値風速の計測データから時間外挿する。
- 長期風速分布から極値風速の確率を導出する。

どちらの手法も極値分布についての統計的考察[13]を基礎としたものであるが、適用方法は根本的に異なっている。それぞれの方法について、その特性と適用にあたっての推奨事項を以下に述べる。

極値風速計測値の時間外挿

この手法においては、強風事象の計測値を含む風速時系列データ(所定の高さにおける規定の時間間隔で平均化された風速計測値)が必要である。計測した風速値を対象高さと同平均化時間に換算するためには、何らかの適切な方法を適用する。

強風事象に対する時系列データを解析し、これら事象に適切な統計的手法を適用することにより、計測した強風事象を、限られた期間(計測期間)から所定の長期期間(例えば50年)に外挿することができる。このための方法が種々存在する[14]。

この方法を用いる場合は下記の点を考慮に入れ、サイトアセスメント報告書にこのことを言及し、アプローチの正当性の根拠を示さなければならない。

- 長期条件を求めるための解析の対象とする時系列データの有意性。解析する時系列データの期間に対する考察(必要最小期間に対して一般的に言われている推奨値は4年から7年の間で

ばらついている)、さらに、解析期間における最大計測値に対する解析方法の依存性に対する考察を含む。

- ・ 計測地点における強風事象をウインドファーム内の高さ、位置の値に換算する方法。その説明と検証が必要。
- ・ 強風事象計測値を所定の平均化時間値に換算する方法。その説明と検証が必要。
- ・ 必要であれば、風向の影響に対する考察や複数の強風メカニズムの扱いに対する考察。

長期風速分布から極値発生確率の導出

極値理論を境界層内の大気条件に対する諸仮定と組み合わせることにより、(長期)計測した風速ワイブル分布から強風の発生確率を推定することが可能となる[15]。

この手法は一定の簡略化の仮定を前提としており、ワイブルパラメータの値と、その導出手法によって結果が大きく変わってくる。さらに、この方法の結果は極値分布の形で出力されるので、極値のスカラー値を求めるためには再現期間に対応する超過確率を定義しなければならない。したがって、この方法を使う場合は、以下の点について考慮し、サイトアセスメント報告書の中に言及し、該当する手法についてその正当性の根拠を示さなければならない。

- ・ 極値分布の計算結果から極値の導出。最頻値を極値として採用するが、少なくとも超過確率75%および90%の信頼性レベルを併せて提示しなければならない。
- ・ 計測値にワイブル関数をフィッティングする手法について記載するとともに、その正当性についても根拠を示さなければならない。高風速データに対するフィッティングの手順に対して特に考慮が必要である。異なるフィッティング手順に対する結果の依存性について代表例を示さなければならない。
- ・ 計測地点から風車位置へ風条件を換算するための手法について、特にこの手法がワイブル形状係数にどう影響するかについて記載するとともに、その正当性についても根拠を示さなければならない。
- ・ 計測風速分布の長期評価に際して適用した手法に関して、特にこの長期評価法がワイブル形状係数に及ぼす影響について、また、適用したMCP法において高風速事象への考察について記載するとともに、その正当性についても根拠を示さなければならない。

極値の推定においてさらに信頼できる結果を得るために、ケースごとに、上述の両手法を適用することを推奨する。最終結果に対しては、以下の点を考慮し、サイトアセスメント報告書に言及しなければならない。

- ・ 導き出した極値推定値の不確かさと有意性についての説明。導出手法の違いによる結果の違いと感度を考慮する。
- ・ 導き出した極値に対する風速の不確かさの影響に関する説明。定量評価が現実的でない場合は定性的な記述とする。
- ・ 適用手法の妥当性に関する典型的な、あるいはサイトに限定した検証の結果。

8.6 不確かさ

サイトアセスメントにおいて、入力データの不確かさ、適用した手法とモデルの不確かさ、そして、導出結果の不確かさの算定は必須要件である。結果が入力データ(例 入力:風速、出力:発電量)以外の計測値を参照している場合にも、入力データの不確かさを最終結果の不確かさに反映するにあたり、感度係数を適用する必要がある。

不確かさ分析は、ISO文書“計測における不確かさ表現の手引き” [12]、および、IEC 61400-12-1の付属書DおよびE [4]を考慮して実施する。

表3に、不確かさ分析に含めるべき不確かさパラメータの一覧を示す。

全体の不確かさは、個々の構成要因の合成によって評価される。不確かさの合成にあたっては、それぞれの独立性および相関を考慮することが望ましい。

不確かさ要因が互いに独立な場合、合成不確かさは各要因の二乗和平方根となる。これに対して、不確かさ要因が完全に相関している場合は、合成不確かさは個々の不確かさ要因の線形和となる。

計測値と真値間に既知の系統誤差がある場合、この偏差は不確かさ評価の対象外とし、系統誤差として区別して扱う。

表3 不確かさ分析に考慮すべき要因 ここに示された不確かさはすべてカテゴリ-Bに属する。

項目	不確かさ要因
計測	風速 風速計品質 IEC61400-12-1[4]による風速計等級 風速計校正 計測のセットアップ(マストの影響) データロガー(解像度) 文書化 補正手法の品質 風向 風向計品質 計測のセットアップ(マストの影響) 補正手法の品質 リモートセンシング ブラックボックス機器かオープンソース機器か 生データ可用性 SN比 固定エコー 計測期間の長さや季節 データ取得率 観測マストデータとの一致性
データの完全性	不確かさ代替値(8.1節)
データ分析	データフィルタリングに起因する不確かさ データ補完に起因する不確かさ
導出パラメータ	空気密度 計測気圧と気温の不確かさ([2]による) 乱流強度 乱流強度計算のベースとなるデータの数 入力データの時間解像度 データベースの完全性 極値風速 異なった方法の比較分析 感度分析(時期の違い、独立性の決定基準等) 入力時系列データの長さ
相関と長期外挿	重複期間 サイトと参照データの相関 参照計測点の妥当性 スケーリングファクターの妥当性 過去の期間 未来の期間 使用した方法
流れモデル	鉛直外挿 水平外挿 風向に対する感度 モデルの適用限界 大気成層
ウエイクモデル	モデルの適用限界 大気成層 ウインドファームの大きさ
パワーカーブ	計測の不確かさ ガイドラインからの乖離 算出パワーカーブの仮定

計測

計測に関しては、使用した計測機器メーカーから提供された不確かさの範囲が、その計測で生じる不確かさの最小値であると考えなくてはならない。風速計測に対しては、文献[16]で明らかにされた風速計の等級格付けに関する事柄を考慮しつつ、当該地形複雑度クラスに対応した不確かさの最小値を決定しなければならない。この不確かさ最小値に対して、さらに不確かさ(観測マストのセットアップや機器取り付けの影響による不確かさ等)を上乗せすることになる。

データの完全性評価(8.1節)から導き出される不確かさ代替値は、計測の不確かさからは完全に独立したものと考えるべきであり、従って、この値は計測の不確かさに上乗せしなければならない。

相関と長期外挿

MCP外挿法を使った欠測補完と長期補正においては、結果の不確かさを評価するにあたって、相関解析における決定係数の値と該当する風速範囲が、どの程度カバーされているかを考慮しなければならない。また、補完データ数が計測データ数全体に占める割合も、外挿の不確かさに大きく影響する。実施したMCP外挿の品質とMCPの結果の妥当性は、自己整合性テストによって確認しなければならない。

サイト計測の期間が1年に満たない場合、外挿の不確かさは著しく大きくなる。この傾向は大気中立度の季節変動の影響により、サイトと参照地点の計測高さの違いが大きくなるほど著しくなる。

長期間スケーリング法を適用する場合、外挿手順が短期間に対しても一般的に検証されていること、データ間に有意な相関性が認められること、風向の影響は妥当な方法で解決可能であること、さらに、季節の影響は限定的であると仮定し得ることを示すことが望ましい。これらの考慮が外挿による不確かさの推定の際に必要なものである。

流れモデル

流れモデルの不確かさは、計測地点からの水平垂直方向の距離と、観測マスト位置が風車位置の風況をどの程度代表できるかという観点から、地形上、気象上の複雑度に応じて求めなければならない。さらに不確かさは、サイト特性に対する適用モデルの限界を反映しなければならない。

複雑地形において地形が方位的に偏っている場合、及び／あるいは風向計測の精度に特異な不確かさがある場合、評価結果が風向の偏差にどの程度影響を受けるかを調査し、付加的な不確かさ要素として考慮しなければならない。

ウエイクモデル

現在使われているウエイクモデルは主に小規模ウインドファームに対して検証、調整されたものであり、大規模ウインドファームに対しては不確かさが大きくなる。加えて、中立に近い大気安定度に合わせたので、サイトの条件が中立状態から異なる場合、誤差がより大きくなる。さらに、算出するウインドファーム損失は計測風向に大きく依存するので、風向の偏差に対する感度解析により不確かさを決定することを強く推奨する。

性能曲線

風車の性能曲線がサイトアセスメントの結果に関係する場合は、不確かさの扱いについて以下の要求事項を適用する。IEC 61400-12 [3] あるいはIEC 61400-12-1 [4]に則って作成された性能曲線測定に関する計測報告書、あるいはその抜粋が利用できる場合は、測定性能曲線と対応する風速ごとの不確かさを適用する。性能曲線測定において標準からの逸脱がある場合、可能であれば、そのことを不確かさ評価に考慮するのが望ましい。

計算性能曲線しか手に入らない場合、あるいはそれだけをサイトアセスメントに使わなければならない

ない場合、不確かさの風速依存性を考慮して、計算性能曲線の不確かさに種々の仮定をおく必要がある。計算性能曲線に加えて同タイプの風車の測定性能曲線(検証性能曲線)が入手可能な場合、計算性能曲線の不確かさを評価する際に、その性能曲線の値と検証性能曲線の測定の不確かさを考慮することが望ましい。

9 導出結果

これまで述べてきたデータ評価と計算の内容を踏まえて、以下の結果を導き出し、それをサイトアセスメントの評価項目とみなす。

9.1 風車位置における風条件

風車位置・ハブ高さにおける風条件をデータの評価、計算から導き出す。加えて、結果の有意性の指標として、導き出した風速値の不確かさのパーセンテージ、あるいは、該当する風速設計限界値に対する超過確率を規定する。

9.2 空気密度

気温と気圧の現地計測値(7.5項、7.6項参照)に基づいて、サイトの空気密度を算出する。気温と気圧を計測しなかった場合、代表可能な近隣長期気象観測所の計測値を用いて算出しても良い。この場合、少なくとも標高差の影響は補正する。サイトの長期平均気温計算用に適当な長期データが利用可能であれば、気温、気圧計測値を外挿して長期値を導出するのが望ましい。

空気密度の計算はIEC61400-12-1[4]による。気温が高い場合は相対湿度を計測し、これにより密度を補正することを推奨する。空気密度の湿度補正はIEC 61400-12-1 付属書 F [式 F.1] [4]によって行うことができる。

9.3 乱流強度

乱流強度(I)は式1により計算する。

$$I = \sigma_v / v_{\text{mean}} * 100 \quad (\text{式 1})$$

ここで、

I = 乱流強度(%)

σ_v = 10分平均値における風速標準偏差計測値

v_{mean} = 10分平均値における平均風速計測値

である。

ここで、ハブ高さの風速は利用可能な計測データをもとにして流れモデルにより計算する。風速標準偏差は、マストで計測した風速標準偏差と、高さ方向およびウインドファーム領域内におけるその変動量から計算する。変動量は一定であると仮定するか、あるいは利用可能な計測データをもとに流れモデルの結果から導き出す。

乱流強度は計測場所における計測高さ、および風車位置におけるハブ高さの双方に対して計算する。乱流強度は、風向については30度幅のセクター、風速については1m/s幅のビンとして、十分な数の計測データが存在するセクター・ビンについて計算する。

計測期間が12か月を完全にカバーしている場合は、乱流強度値の決定において長期外挿は不要である。

平均化時間とサンプリングレートによっては、計測した乱れを理想条件に補正(トレンド除去およびサンプリングレート補正)することが推奨される場合がある。

乱れの特性格、あるいは代表値を計算する場合は、その計算方法について報告書に記載し、計

算手法の仕様および基準に準拠していることを示さなければならない。乱れのパラメータはIEC 61400-1 Ed.3により計算することができる(乱れの代表値はIEC 61400-1 Ed.3, Chapter 6.3.1.3 Equation 11、サイトの計測風データによるサイト固有乱れ値はIEC 61400-1 Ed.3, Chapter 11.9, Equation 34 [1])。

9.4 ウインドシアベキ指数

2層間のウインドシアベキ指数 α の値は式2に従って計算する。

$$\alpha = \ln(v_{z1} / v_{z2}) / \ln(z_1 / z_2) \quad (\text{式 2})$$

ここで、

- α = ウインドシアベキ指数
- v_{z1} = 高さ1における風速計測値
- v_{z2} = 高さ2における風速計測値
- z_1 = 1の計測地上高さ
- z_2 = 2の計測地上高さ

IEC 61400-1 [1]においては、ウインドシアベキ指数は、ローターの回転面全域、つまり、翼の下端高さから上端高さまでをカバーする値、それも、各風車位置における値が必要である。従って、ウインドシアベキ指数 α は、風計測データに基づいて風況シミュレーションにより、各風車位置に対して計算しなければならない。

計測値から計算したマスト位置のウインドシアベキ指数は、参照値として、計算に使った計測高さとともに明示しておかなければならない。マスト位置の計測ベキ指数を、風車位置の計算ベキ指数の有意性と不確かさを評価するにあたって考慮することが望ましい。

一般的に、計測値からベキ指数 α を計算する際には、マストによる遮蔽効果や他の擾乱効果は可能な限り補正しなければならない。あるいは、擾乱影響セクターの計測データを計算から除外しなければならない。3層以上の計測が可能な場合、 α の値は、異なった高さ間隔に対するベキ指数を全高さに対してフィッティングすることにより求めても良い。場合によっては高さとうインドシアの関係についての知見が得られる可能性がある。 α 値を最も正確に決定するためには、計測高さはハブ高さと翼最下端の近くでなければならない。計測期間が12か月を完全にカバーしており、データ充足率が十分であれば、ベキ数決定のためには計測データの長期外挿は不要である。

9.5 極値風速

8.5節記載の要求事項を考慮し、データ評価と流れモデルをもとにして実施した極値推定法(8.5節に記載)の結果から、10分平均値およびガスト(3秒平均値)の再現期間50年の極値を導き出す。

8.5節の要求に従い、推定した極値の有意性の程度を見極めることができるよう、不確かさに対する考察を結果に含める。

9.6 気流傾斜角

気流傾斜角を計測しない場合や、マスト位置のデータから風車位置の値を推定することが出来ない場合、個別の風車位置、ハブ高さの気流傾斜角はIEC61400-1Ed.3[1]記載の方法により推定する。つまり、風車ハブ高さの気流傾斜角の推定は、適切な三次元流れシミュレーション手法によるか、あるいはサイト周辺の地形の近似平面の傾斜角と等しいとするというIEC 61400-1 Ed. 3, Sections 11.2と11.9記載の手順のいずれかを適用することができる。

10 報告書

サイトアセスメントのための実施業務と導出結果の報告に関する要求事項を以下の節に規定する。

まず、報告書記載事項の概要を述べ、次に重要な部分について詳述する。原則として、業務範囲に計測作業自体を含めるかどうかは任意であるため、まず、業務範囲と実際に行った作業の区分けをする。

10.1 報告書記載事項

報告書には少なくとも以下の項目を記載しなければならない。

- 1) 実施業務の説明
 - a. 発注者
 - b. 実施業務範囲
- 2) 報告および結果の要約
 - a. 実施業務概要
 - b. 得られた結果および知見の要約
 - c. 章ごとの特記事項および重要事項の強調表示
 - d. 本ガイドラインからの全逸脱項目リスト(以下「MEASNETガイドライン“サイト風条件の評価”からの逸脱事項」の章参照)
 - e. 結果の有意性に関する全体的な評価(不確かさおよびガイドラインからの逸脱を考慮)
- 3) 計測文書、あるいはその要約に関する文書
10.2項あるいは10.3項による。
- 4) 計測データレポート
10.4項による。
- 5) サイトアセスメント結果
10.5項による。
- 6) “MEASNETガイドライン「サイト風条件の評価」からの逸脱”の章
 - a. 本ガイドラインからの全逸脱項目リスト(所見および不確かさ参照を含む)
 - b. 逸脱が結果の有意性に及ぼす影響に対する全体的な評価全項目を網羅している限り、報告書を項目1)、2)、3)、4)、および6)から構成する第1部(風計測報告書)と、項目1)、2)、5)、および6)から構成する第2部(サイトアセスメント報告書)の2部に分割しても良い。

10.2 計測文書化

実施業務範囲に計測業務を含む場合、計測文書化を本節に記載する要求事項に従っておこなう。

一般的に計測文書の報告様式はIEC 61400-12-1 [4]に準拠し、少なくとも以下の項目を含まなければならない。

- 1) サイトの状況(以下の内容を含む):
 - a. 全観測マスト位置から撮影した周辺360° 方向の写真
 - b. マスト位置を示したサイトの地形図
- 2) 計測システムの説明(以下の内容を含む):
 - a. センサーおよびデータ収集システム仕様(センサーの校正証書類を含む)
 - b. 観測マスト上のカップ風速計および他のセンサー類の配置(IEC 61400-12-1 [4] およびIEA [6] の要求事項と記載事項に従う)
 - c. 観測マストの配置図(マストおよび計器取付金物の主要寸法を記載)
 - 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文書
- 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. 計測全期間中の重要事象(計測期間中に実施した全メンテナンス行動リストを含む)を記

録したログ

- 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

10.3 計測文書の要約

業務範囲に計測の実施を含まない場合、前節の代わりに、利用可能な計測文書の要約を本節の記載要件に従って作成する。この場合、第三者の提供による文書を基とした業務となるため、その完全性と妥当性に関して下記の点について要約、査定、評価を行う。

一般的に計測文書の報告様式はIEC 61400-12-1 [4]に準拠し、少なくとも以下の項目を含まなければならない。

- 1) サイトの状況(以下の内容を含む)：

- a. 全観測マスト位置から撮影した周辺360° 方向の写真
- b. マスト位置を示したサイトの地形図

- 2) 計測システムの説明(以下の内容を含む)：

- a. センサーおよびデータ収集システム仕様(センサーの校正証書類を含む)
- b. 観測マスト上のカップ風速計および他のセンサー類の配置(IEC 61400-12-1 [4] および IEA [6] の要求事項と記載事項に従う)についての説明、あるいは確認
- c. タワーと取り付けブームの主要寸法を含んだ観測マストの説明
- 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文書化

- 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. 計測全期間中の重要事象(計測期間中に実施した全メンテナンス行動リストを含む)に関して入手可能な情報についての範囲、妥当性と主要知見の説明
- 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

サイト固有の状況に応じて導き出すべき結果と報告様式については、次節以降にさらに詳細に述べる。

10.4 計測データ報告書

風向風速データ

計測全期間、および各月の平均、最大/最小風速および風速標準偏差を表形式で記載する。

方位ごとのワイブル形状・尺度係数、および風向出現率分布(風向セクター幅は30度以下とし、最初のセクターは真北を中心とする)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。全マスト位置における詳細の出現率分布(ビンの方法による;風速ビン幅1m/s、風向セクター幅は30度以下とし、最初のセクターは真北を中心とする)を表形式で記載する。

平均風速の日単位および季節単位の変動パターンを表形式で記載する。

気流傾斜

気流傾斜角を計測した場合は、風向セクター、風速ビンごとに気流傾斜角の平均値および最大値を表形式で記載する。

気温

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。

気圧

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。

湿度

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。

10.5 サイトアセスメント結果

風データ

方位ごとのワイブル形状・尺度係数、および、風向出現分布(風向セクター幅は30度以下とし、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。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度以下とし、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。

空気密度

ウインドファームの代表位置におけるハブ高さの空気密度平均値を報告書に記載する。複雑地形であって標高変化が大きい場合は、各風車位置ハブ高さの平均空気密度も必要となる。さらに、計測全期間と各月における空気密度の最小値と最大値を表形式で記載する。

乱れ

観測マスト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度、あるいはそれ以下)ごとに表形式で記載する。IEC 61400-1 ed. 2/ed. 3 [1] による乱流強度の特性値/代表値を併せて記載する。

ウインドシアベキ指数

観測マスト位置におけるウインドシアベキ指数(α)の平均値、最小値、最大値を、ビン法によりビン幅1m/s、風向セクター幅30度以下で表形式で記載する。

風車位置に対しては、流れ場の計算により求めた平均ベキ指数を提示する。

気流傾斜

各風車位置、ハブ高さにおける平均気流傾斜角の推定値を記載する。

長期評価

長期評価のレポートには次の項目を含むのが望ましい。

- 評価に用いた方法、単純化の内容、観察された特異事項。
- 適用した長期補正の影響に関するレポート。結果として導き出した長期風速分布の報告によることが望ましい。
- 実施した長期評価結果の有意性と不確かさの判定。一貫性テストの限界分析と使用する長期データや期間を変えた場合の影響の比較によることが望ましい。

極値風速

V_{ref} 計算の結果について、トレーサビリティ確保のため関連する詳細事項をすべて含めて報告する。以下の内容が含まれていなければならない。

- 計算手法
 - 統計的あるいは物理的根拠
 - 参照文献
 - 計算手法の適用限界
 - 適用した方法に対する不確かさ計算(可能な場合)
- V_{ref} 計算に使用したデータ
 - 風速計のタイプ
 - 平均化時間、サンプリング周期
 - データの期間

- データフィルタリングの基準
- 適用した手法の検証
 - 他の計算法との比較

鉛直/水平流れモデル

使用したモデルに関して以下の点につき報告する。

- 全般説明
- 簡略化、仮定およびその影響
- モデルの適用限界
- 複雑地形における計算上の制限事項(許容最大地形傾斜や熱効果等)
- 入力データ制限事項(計測点数等)
- 計算上の制限事項(格子点数等)
- 上記以外の制限事項
- 文献。モデルに関する既存の文献を幅広く調査することが望ましい。対象サイトと環境条件が近似したケースについての計算結果を報じた文献には特に注意することが望まれる。

モデリングの手順自体に関しては以下の点を報告する。

- 計算時の流れモデルの設定
- 計算に使用した入力データ
- サイト検証

モデル出力に関しては以下の点について報告する。

- 計算した変数
- 格子解像度。モデルの適用可能性に従う。また、利用可能な入力データに従って設定する。
- 空間領域

本解析で行ったモデル検証に関して、検証手法についてその結果とともに報告する。

その他の計測量(気圧、湿度等)

平均値を記載する。

References 参照文献

- [1] IEC: *IEC61400-1 Wind turbine generator systems - Part 1: Safety Requirements*, 2nd Ed., 1998.
- [2] IEC: *IEC61400-1 Wind turbines - Part 1: Design Requirements*, 3rd Ed., 2005.
- [3] IEC: *IEC61400-12 Wind turbine generator systems - Part 12: Wind turbine power performance testing*, 1st Ed., 1998.
- [4] IEC: *IEC61400-12-1 Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of Electricity producing wind turbines*, 1st Ed., 2005.
- [5] MEASNET: *Cup Anemometer Calibration Procedure*, Version 1, September 1997
- [6] IEA: *IEA Recommendation 11: Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry*, 1st Ed., 1999.
- [7] ISO 2533: 1975-05, Standard Atmosphere
- [8] ISO/IEC 17025:2005 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- [9] VDI 3786 Part 2: 2000: Environmental meteorology - Meteorological measurements concerning questions of air pollution – Wind. VDI, Düsseldorf, Germany.
- [10] V. Riedel, M. Strack, H.P.Waldl: *Robust Approximation of functional Relationships between Meteorological Data: Alternative Measure-Correlate-Predict Algorithms*. Proceedings EWEC 2001, Copenhagen.
- [11] I. Troen, E.L. Petersen: *European Wind Atlas*. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1990.
- [12] SO/IEC Guide 98: 1995 - Guide to the Expression of uncertainty in measurement, Geneva, Switzerland.
- [13] Gumbel, E.J.: *Statistical theory of extreme values and some practical applications*. Applied Mathematics, Series 33, Washington, 1954.
- [14] J.P. Palutikof, B.B. Brabson, D.H. Lister and S.T. Adcock: A review of methods to calculate extreme wind speeds. *Meteorol. Appl.* 6, 119–132 (1999)
- [15] H. Bergström: *Distribution of Extreme Wind Speed*. Wind Energy Report WE 92:2, Department of Meteorology, Uppsala University, 1992
- [16] T.F. Pedersen, J.-Å. Dahlberg, Peter Busche: *ACCUWIND - Classification of Five Cup Anemometers According to IEC61400-12-1*. Report Risø-R-1556(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, May 2006.

付属書 A

(規定)

風計測の文書化に関する要求事項

計測そのものの評価はサイトアセスメントのための入力情報として使用し、また、計測データの評価のためにも必要とされる。従って、計測機器と計測位置についての完全な文書を利用できる状態にしておかなければならない。

一般的に、計測の文書化における欠落は計測の不確かさの増大に影響するので、データ評価のプロセスで考察の対象となり、記録に残すべきである。

計測の文書化は以下の項目を含んでいなければならない。

- 計測位置
 - マスト位置の正確な座標(測地系明示のこと)
 - マスト周辺(直近)状況の写真及び記述
 - 近隣の気流障害物の距離、主要形状および寸法(該当する場合)
- 計測機器
 - マストのタイプおよび寸法。最低限マスト全体像とマスト頂部詳細の写真を添付すること。
 - ブームの高さ、寸法、取り付け方位。風計測関連のセンサーについては見取図と写真を添付する。最低限、風計測関連の全センサーに対して、地上高さ、ブームあるいはセンサーの取り付け方位(真北基準)、マスト構造からの距離が判るようになっていること。
 - 使用したセンサーの仕様、製造番号、校正および計測不確かさに関する情報、マスト上の位置、取り付け方位(該当する場合)。風速計の校正情報はMEASNET承認機関の校正証明書で構成する。
 - 風向計の北基準マークの取り付け方位(真北と磁北のどちらを基準としているかを明示する)
 - 計測障害物(避雷針等)の寸法、計測器からの距離およびその他関連情報
 - データ記録システム(データロガーのタイプ、バージョン、処理ソフトのリリース情報、電源、データ伝送、センサー結線(雷保護を含む)、計測システムの校正方法の情報を含む)
 - センサー加温とその電源に関する情報(該当する場合)
- 計測履歴
 - 取り付け、取り外し、計測の変更およびメンテナンスの日時。
 - センサーを交換した場合、実施した作業、計器変更、それに伴う校正値の変化についてのすべての記録。
 - マストの設置、変更、メンテナンス、センサー関連のその他の作業、あるいはその他品質に関係する行為にMEASNET認証を得た計測機関以外の機関が関与した場合、作業内容と関与した機関および作業監督、指導に関してどのような手段が講じられたか、その内容について記載しなければならない。
 - 観察された特異事象(欠陥、電源供給上の問題、氷結期間やその他関連する事象)のリスト
- 計測データ
 - 適用した校正係数とその他に適用したデータ補正の内容。これらについての明確な記録(データロガーのパラメータの設定情報、追加で使用したソフトウェアなどの関連情報)を残す。継続してデータに適用すべき校正係数とその他データ補正の内容。
 - サンプリングレート、平均化時間、およびデータロガー内での統計処理仕様。データロガー固有の特性(精度や解像度の減少、ゼロ(北)方位不感域等)。

- センサーに対する計測チャンネルの割り当て。
- 計測データフォーマットとエラーコードなどのロガー固有情報。

付属書 B

(参考)

計測データの品質評価とフィルタリング

目的

計測データの品質評価には、計測技術についての深い知識と計測データ処理の幅広い経験を必要とする。従って、適切なデータ品質評価の手順についての解説を提供することは本文書の領域を大きく超えることになる。実際、経験を積んだ計測機関は、どこでもこのようなデータ品質評価とフィルタリングを実施するための手法とツールを開発している。

このことを踏まえた上で、以下にデータの品質評価における見解をいくつか述べる。これらは、個々のデータ評価手順を策定する際に、考慮すべきヒントや推奨事項となるであろう。

品質評価のため、該当するセンサーのデータはそれぞれ単独に評価すると同時に、他のセンサーやサイト内の他のマストから得られたデータと比較して評価するのが望ましい。さらに、当該データや補助物理量(相関性や乖離量)に対するチェックをこれとは別の評価として実施するのが望ましい。

データ検証は、以下の内容を含むのが望ましい。

- **エラー値/エラーフラグのチェック:** エラー値/エラーフラグ('999'、"NaN" 等)は統計的評価の障害となる。評価ツールにより除去するか他の適切な処理を行う。
- **目視チェック:** データの目視チェックにより、スパイクのような無効データを検知することができる。異なった計測高度間のデータ比較も目視チェックの対象とすべきである。
- **完全性チェック:** データ数と時系列推移の異常チェック(欠測特定、不自然な反復データ)。
- **測定レンジテスト:** 各センサーのデータがセンサーの測定レンジ内に収まっているかどうかのチェック。
- **定値テスト:** 風データ(風向風速)における同一値の連続。
- **トレンドと不整合のテスト:** 時系列における異常変化のチェック。
- **関連パラメータのテスト:** 異なったパラメータ間の物理的関係の期待値(例: $V_{\min} \leq V_{\text{mean}} \leq V_{\max}$)をもとにした比較。疑わしいデータが見つかった場合、関連する量はすべて除外の対象となる。例えば、ある平均値が無効値と見なされた場合、風速標準偏差、最大値、最小値はすべて無効値と見なすべきである。
- **相関性テスト:** 別々のセンサー(例えば、異なった2個の風速計)間の相関性の有無を見るために散布図を使用する方法。

疑わしいデータが続く期間については、主要なものを報告書に記載する。温度計、気圧計、降雨計、湿度計等がマストに設置されていれば、風データの要注意期間を特定するのに使うことができる。

生データには評価の結果に応じてフィルターをかけ、正しいデータだけを保存する。本書の主たる目的は、(仮に不完全であるとしても)元の生データから正しいデータだけを入手することである。センサーの異常は発電量推定の精度劣化に繋がるため、以上の作業は不可欠と考えられる。

付属書 C

(参考)

カップ風速計以外の計器による風速計測方法

目的

IEC 61400-12-1 [4]を参照すると、風向風速計測は観測マストに設置したカップ風速計と矢羽式風向計が現時点における最新技術となっている。しかしながら、カップ風速計に加えて、LIDARやSODARのようなリモートセンシング技術や3Dセンサーを、これら技術に付随する不確かさを考慮して使用することも可能である。付属書Cの目的は、これらのセンサーを使った計測計画に対してキャリブレーション、設置、設定およびテストに関する推奨事項を提示することにある。

I SODARによる計測手順

現地調査および評価

計測サイトの候補地絞り込みのために、地図や写真を使って計測サイトの事前評価を行う。理想的には、SODARを位置決めし、設置する前にサイトの現地調査をするのが望ましい。現地調査では、障害物や近隣の既設風車について記録し、計測に対する影響をチェックしなければならない。特に重要なことは、隣接するウインドファームや空港などの周辺環境の騒音レベルと、これが音響作動機器であるSODARに及ぼす負の影響を確認することである。サイト、および計測地点へのアクセスルートも良く調べておく必要がある。計測サイトを決めるにあたっては、電源供給がシステムの位置決めに影響する。発電機併設の自立式システムの場合、発電機の騒音レベルを考慮して、ケーブルを延長する必要があるケースもある。近隣の家屋あるいは風車から給電する場合であっても、ケーブルの電力損失が計測位置の制限要因となり得ることを考えておく必要がある。また、サイト周辺の地形について記載が必要である。

計測器据付

SODARは、放射する音波インパルス信号を確実に受信(固定エコーを除去)できるように位置決めする必要がある。SODARは風車や樹木などの障害物から、最小限、その高度(風車であればハブ高さに翼長を加えた値)に相当する距離だけ離して設置しなければならない。また、直接の音波信号が周辺の障害物にあたって干渉することが無い様にする。設置時に装置の水平度を調整(レーザーや水準器を使用)する。使用する装置によっては、北方向からの偏りを計測(コンパス、コンパス双眼鏡、サイトの地図、GPS等)し、システムの制御系に入力する。据付が終了したら、セルフオペレーションモードを起動する前に、改めてシステムチェック(システムテスト、初期パラメータ、遠隔制御等)を行う。

計測期間が6ヶ月を超える場合、SODARは各部品について点検を行うことが望ましい。スピーカーはその機能と損傷の有無をチェックすることが望ましい。

設定および文書化

SODARは、顧客から指示された計測要件や、サイト固有の条件(例えば、計測高さ、伝送周波数、高度間隔、計測間隔等)に従って設定を行う。最低・最高振幅、最低・最高SN比(SNR:信号ノイズ強度比)等のフィルター限界値をすべて設定する。パラメータの初期設定値および修正値はすべて書類に残し、その妥当性をチェックする。追加のデータフィルタリングのため、あるいはデータ品質の向上のため、SODAR計測データに加えて、気象データ(降雨頻度、降雨量、気温、気圧等)を記録する場合もある。SODARの運転モードを変える必要があった場合は(夜間に音波出力や頻度を下げる等)は、その開始、終了時刻を書類に残しておく必要がある。

SODARのテスト、精度検証、校正

SODARは広い領域空間の平均的な風条件を測定する装置である。従って、SODARの風洞でのキャリブレーションは不可能である。そのため、実際に計測を開始する前に、カップ風速計および矢羽風向計との比較により、使用する個々のSODARの精度を評価するのが望ましい。このSODAR精度試験は、計測サイトとは異なる別のサイト(例えば、SODARのための専用テストサイト)で行っても良い。比較の対象とするカップ風速計および矢羽風向計はIEC 61400-12-1の要求事項を満足しなければならない。カップ風速計は、MEASNETに従ってキャリブレーションを行わなければならない。SODARの鉛直風速成分の精度試験のために、3D超音波風速計を追加の比較対象計器として使っても良い。

SODARは、カップ風速計を取り付けた観測マストのできるだけ近く(ただし、固定エコーは避ける様にする)に設置するのが望ましい。SODARの計測高さは、カップ風速計の高さと正確に一致するように設定するのが望ましい。観測マスト設置計器の記録用データ収集装置は、SODARのデータ収集装置と同期させなければならない。精度試験は、実際にSODARで計測する高さ範囲と同程度の高さ範囲で実施することが望ましい。

SODARは精度試験中、実計測と同じパラメータ設定で運転しなければならない。

SODAR計測データとマスト計測データの比較は、10分統計値により行わなければならない。風速の水平成分、鉛直成分および風向を、少なくとも4m/s~16m/s(風速水平成分)の風速範囲で比較する。風速水平成分の精度解析は、カップ風速計計測値に対してSODAR計測値をビン区分して行う。ビン幅は1m/s以下とする。

カップ風速計との比較によってSODAR風速水平成分の校正値を求めることは推奨できない。両計測値の違いは、気象変数(大気安定度や他の環境条件)により変動する可能性があるからである。気象変数の特性をすべて把握した上で、その変動に影響されない校正係数を求めることは、こういった精度試験では不可能と考えるのが自然である。従って、ここでの精度試験の目的は、SODARが正常に機能していることの確認、SODAR計測の精度確認、SODAR計測の不確かさの評価のみに限定される。

乱流強度、あるいは風速標準偏差(平均化時間10分)に関しては、SODAR計測値とカップ風速計計測値の比較により補正することを推奨する。両計測値間には大きな系統的誤差が見られるが、これは計測原理の違いに起因するものであって正常な現象である。乱流強度のSODARとカップ風速計間の違いは、通常、計測高さによって変化する。従って、補正は計測高さごとに行う必要がある。

サイトでの計測終了後、SODARの精度試験を改めて実施する。あるいは、これに代わる方法として、計測サイトでの計測終了時の観測マストデータとの比較によりSODARの精度を確認する(マストのカップ風速計の実地テストと同様の方法)。

複雑地形におけるSODAR計測の精度評価には特別の注意が必要である。複雑地形では、SODAR計測空間内の風条件の変動による計測誤差が大きくなる可能性がある。サイトでの実計測に先立って行われる精度試験では、この影響がカバーされない可能性がある。このことに伴うSODAR計測の不確かさも評価の対象としなければならない。

計測データの評価

計測データは品質管理標準に従って保存しなければならない。信頼性の低いデータ(降雨や外部騒音等)や故障時のデータはフィルターにかけて除外する。これに加えて内部の品質基準に基づきフィルタリングを行っても良いが、この場合、その内容を完全に文書に残さなければならない。データ棄却あるいはフィルタリングはその内容をすべて文書に残し、最終報告書に特記しなければならない。

計測不良の報告

計測不良は少なくとも次の主要単位要素に区分することが望ましい。

- システム不良

- 配置、設置不良
- サイト固有の影響

システムにおける不良はすべて最終報告書に記載する。計測不良は、計測経験や推定によって、また、製造メーカのシステム取扱説明書を参照することによって、経験的に定量評価することができる。

計測期間の決定

計測期間はケースバイケースに決められるものであって一般的に扱えるものではない。しかしながら、短期間の計測に伴う不確かさを考慮に入れると、乱れや鉛直プロファイルについて信頼できるデータを得るためには、最低3か月の期間は必要であると言える。計測期間は、必要なビンをすべてカバーできるデータの得られる長さであることが望ましい。また、計測の季節や期間を考慮する必要があり、内容を文書に残さなければならない。

中長期間計測

SODARシステムのサイトにおける定期点検項目

- 電源が連続して供給されていること
- アンテナ清掃
- システムに損傷(計測タワー損傷等)がないこと
- 鉛直位置がずれていないこと
- 基準方向(北)がずれていないこと
- 記録媒体の交換および再初期化

感度および特記事項

計測原理(音響計測)からSODARが影響を受けやすい項目

- 環境騒音(強風等)
- 降雨、降雪
- 大気成層
- 近隣障害物による音響反射
- 騒音源あるいは吸音源となる近隣物体

リモートセンシング計測器(SODAR、LIDAR等)と従来型のカップ風速計を比較する際には、計測位置の違いと同時に計測原理の違い(空間平均 vs 点計測)を計測結果の解釈にあたって考慮しなければならない。

SODARを使ってマスト計測データから高位置風況を推定する場合の推奨方法

SODARを使用すると、観測マストでは実用上不可能な高さ(例えば150m、200mなど)での風計測が可能である。通常、SODAR計測は、サイトの卓越風向のデータ収集を目的とした数ヶ月間の短期間計測が一般的である。現時点では、SODARの校正方法が確立していないため、共通の計測高さのカップ風速計と矢羽風向計を使って同時計測したデータが必要である。

SODARデータを使って観測マストデータを相関外挿する場合、次の手順を踏んで行うのが望ましい。

- 時計が同期しており、タイムスタンプ(10分平均化時間の開始時点あるいは終了時点)が同じであることを確認する。
- SODAR計測高さの一つを観測マストのカップ風速計(頂部の風速計が望ましい)高さと同じ高さに設定する。
- SODARとカップ風速計の同時計測データベースを作成する。マスト後流域に入る風向のデータは棄却するか、あるいは補正することが望ましい。
- マストとSODAR(同一高さ)の同時データの線形性を確認する。データはビン幅1m/s程度でビン処理し、4m/s超の有効データのアンサンブル平均を用いる。決定係数 R^2 は0.98以上であることが望ましい。風速、風向の双方に対して行うことが望ましい。

- SODARの全計測高さについて、風向セクターごとに、平均値、最大値およびガスト値を計算する。
- SODARの計測高さごとに、詳細の風速増加(風速比、例えば、100m風速/80m風速)の表を作成する。表は風向セクターと風速ビンに区分する。実際に、この表がSODAR計測の主要成果物の一つとなる。

装置によっては信号-雑音比(SN比)を使って付加的な情報を得ることができる。SN比は反射音響とノイズの強度比を表すものである。SN比が規定最小値より大きくなければ、データは無効であり、平均値の計算には使われない。

SODARを使ってマスト計測データから高位置風況を推定する場合、SODARの計測期間が全体を代表できるかどうかについて、特別な考察が必要である。このことは、SODARデータの取得期間によって、季節単位や日単位の風速プロファイル変動の影響が予想される場合にはなおさらである。このような影響を調査することが望ましい。そして、SODARデータが平均的条件を代表できるかどうかについて評価しなければならない。

II LIDARによる計測手順

現地調査および評価

計測サイトの候補地絞り込みのために、地図や写真を使って計測サイトの事前評価を行う。設置位置の最適候補地を見極めるため、LIDARの設置に先立って現地調査をすることが必要になる場合もある。現地調査では障害物や既存の近隣風車、観測マスト、樹木の状況について記録し、LIDAR計測に影響しそうな状況があれば、図面上でチェックしなければならない。

風車の回転翼、緩く張ったワイヤーや樹木の枝といった動く物体は、LIDARの計測を妨げ、あるいは影響することがあるため、こういったものが一切計測円錐の中に入ることが無いようにしなければならない。

固定(動かない)障害物、例えば、近隣観測マストのトラス構造がレーザーの円錐と重なる場合、その範囲が小さい(360°円の中の5°程度)のものであれば、その影響は無視して差し支えない。観測マストによる風速計測値をLIDARの参照データ(例えば、低高度レベルの)として用いる場合、LIDARがマストに近い方がむしろ参照高さでの相関度が上がるので、結果として信頼性の向上につながることもあり得る。

ほとんどのLIDARは低圧直流電源、高圧交流電源のいずれによる給電も可能である。従って、電源はサイトの条件にもっともよく合うものを選定すればよい。自給式直流電源の場合は、太陽電池、風力発電機、小型燃料電池の組み合わせ、あるいは単体によるシステム、のどれを使っても良い。設置されたLIDARに興味を持つ人や家畜に対する盗難・破損・破壊の予防策として、有刺の柵や覆いのようなものの設置が推奨される。

さらに、サイト周辺の地形についても記載が必要である。

計測器据付

LIDARは、レーザーの計測円錐との干渉を避けるため、移動物体(風車回転翼、ワイヤー、樹木の枝等)から十分に距離を取って設置する必要がある。これら移動物体からの必要な距離は単純な幾何学計算で算定できる。LIDAR視線内の固定障害物は数が多くなければ無視しても良い。

LIDARが水平に設置されていることを、泡水準器(あるいは類似の機器)と装置の基準面によりチェックする必要がある。

LIDARは、装置の北基準マークが実際の北方向を向くように設置するのが望ましい。そうでない場合は、実際の北方向からのずれをコンパス、コンパス双眼鏡、サイト地図、GPS受信器などにより計測する必要があり、それを計測ソフトの設定やデータの後処理などによる補正時に用いなければならない。

洗浄・ワイパー装置用に缶容器(キャニスター)が必要であり、これを装置の近くに設置する。洗浄液の凍結防止のためには、不凍剤も必要である。

設置完了後、以下のチェックを行う。

- 設置の安定性(ガタついていないか)、装置が水平に設置されているか
 - 基準マークを北方向に向けて設置しているか、ずれている場合はその角度の計測
 - 電源が正しく供給されているか
 - 洗浄・ワイパー装置の動作チェック、テスト
- チェック結果は報告書に記載する。

設定および文書化

LIDARは、顧客から指示された計測要件や、サイト固有の条件(計測高さ等)に従って設定を行う。

LIDARのすべての運転パラメータは報告書に記載する必要がある。例えば次のような項目である。計測高さ、レーザービームの円錐上回転速度、円錐角、円錐上のアジマス角の数、焦点パラメータ、レーザーパルス長あるいは時間窓の長さ(反射レーザービーム解析用)、フーリエ解析のパラメータ、自動的なデータ除去のパラメータ。

追加のデータフィルタリングのため、あるいはデータ品質の向上のため、LIDAR計測データに加えて、気象データ(降雨頻度、降雨量、気温、気圧等)を記録する場合もある。運転モードを変更した場合は(計測高さ変更、雲補正のON/OFF、等)は、その開始、終了時刻を書類に残しておく必要がある。

LIDARのテスト、精度検証、校正

LIDARは広い領域空間の平均的な風条件を測定する装置である。従って、LIDARの風洞でのキャリブレーションは不可能である。そのため、実際に計測を開始する前に、カップ風速計および矢羽風向計との比較により、使用する個々のLIDARの精度を評価するのが望ましい。このLIDAR精度試験は、計測サイトとは異なる別のサイト(例えば、LIDARのための専用テストサイト)で行っても良い。比較の対象とするカップ風速計および矢羽風向計はIEC 61400-12-1[4]の要求事項を満足しなければならない。カップ風速計はMEASNETに従ってキャリブレーションを行わなければならない。LIDARの鉛直風速成分の精度試験のために、3D超音波風速計を追加の比較対象計器として使っても良い。

LIDARは、カップ風速計を取り付けた観測マストのできるだけ近くに設置するのが望ましい。LIDARの計測高さは、カップ風速計の高さと正確に一致するように設定するのが望ましい。観測マスト設置計器の記録用データ収集装置はLIDARのデータ収集装置と同期させなければならない。精度試験は、後のLIDAR計測時にカバーする高さ範囲と同程度の高さ範囲で実施することが望ましい。

LIDARは精度試験中、実計測と同じパラメータ設定で運転しなければならない。

LIDAR計測データとマスト計測データの比較は、10分統計値により行わなければならない。風速の水平成分、鉛直成分および風向を、少なくとも4m/s~16m/s(風速水平成分)の風速範囲で比較する。風速水平成分の精度解析は、カップ風速計計測値に対してLIDAR計測値をビン区分して行う。ビン幅は1m/s以下とする。

カップ風速計との比較によってLIDAR風速水平成分の校正値を求めることは推奨できない。両計測値の違いは、風速、風向、場合によっては計測高さ、そして、その他気象変数(ウインドシア等)により変動する可能性があるからである。気象変数の特性をすべて把握した上で、その変動に影響されない校正係数を求めることは、こういった精度試験では不可能と考えるのが自然である。従って、ここでの精度試験の目的は、LIDARが正常に機能していることの確認、LIDAR計測の精度確認、LIDAR計測の不確かさの評価のみに限定される。

乱流強度、あるいは風速標準偏差(平均化時間10分)に関しては、LIDAR計測値とカップ風速計計測値の比較により補正値を求めておくことを推奨する。両計測値間には大きな系統的偏差が

見られるが、これは計測原理の違いに起因するものであって正常な現象である。乱流強度のLIDARとカップ風速計の違いは、通常、計測高さによって変化する。従って、補正値は複数の計測高さごとに求めておく必要がある。

サイトでの計測終了後、個々のLIDARの精度試験を改めて実施する。あるいは、計測サイトでの計測終了時の観測マストデータとの比較によりLIDARの精度を確認する(マストの複数カップ風速計の実地テストと同様の方法)。

複雑地形におけるLIDAR計測の精度評価には特別の注意が必要である。複雑地形では、LIDAR計測空間内の風条件の変動による計測誤差が、大きくなる可能性がある。サイトでの実計測に先立って行われる精度試験では、この影響がカバーされない可能性がある。このことに伴うLIDAR計測の不確かさも評価の対象としなければならない。

計測データの評価

計測データは品質管理標準に従って保存しなければならない。信頼性の低いデータ(レーザーの故障等)や故障時のデータはフィルターにかけて除外する。これに加えて内部の品質基準に基づきフィルタリングを行っても良いが、この場合、その内容を完全に文書に残さなければならない。データ棄却あるいはフィルタリングはその内容をすべて文書に残し、最終報告書に特記しなければならない。

計測不良の報告

計測不良は少なくとも次の主要単位要素に区分することが望ましい。

- システム不良
- 配置、設置不良
- サイト固有の影響

システムにおける不良はすべて最終報告書に記載する。計測不良は、計測経験や推定によって、また、製造メーカーのシステム取扱説明書を参照することによって、経験的に定量評価することができる。

計測期間の決定

計測期間はケースバイケースに決められるものであって一般的に扱えるものではない。しかしながら、短期間の計測に伴う不確かさを考慮に入れると、乱れや鉛直プロファイルについて信頼できるデータを得るためには、最低3か月の期間は必要である。計測期間は、必要なビンをすべてカバーできるデータの得られる長さであることが望ましい。また、計測の季節や期間を考慮する必要があり、内容を文書に残さなければならない。

中長期間計測

LIDARシステムのサイトにおける定期点検項目は、

- 電源が連続して供給されていること
- 洗浄液、ワイパー液が十分であること
- ワイパーが変形していないこと
- システムに損傷(計測タワー損傷等)がないこと
- 鉛直位置がずれていないこと
- 基準方向(北)がずれていないこと
- 記録媒体の交換および再初期化

定期メンテナンス項目

- ワイパー液交換 - 必要な都度(サイトにて)
- ワイパーのブレード交換 - 通常は年2回(サイトにて)

感度および特記事項

計測原理(レーザー計測)からLIDARが影響を受けやすい項目

- 激しい降雨、降雪
- 濃霧
- レーザー円錐視野角内を横切って移動する物体

リモートセンシング計器(LIDAR、SODAR等)は空間平均とベクトル平均をもとにした計測方法であることから、一点における風速を計測する従来型のカップ式風速計測法との違いを計測結果の解釈にあたって考慮しなければならない。

LIDARを使ってマスト計測データから高位置風況を推定する場合の推奨方法

LIDARを使用すると、観測マストでは実用上不可能な高さ(例えば150m、200mなど)での風計測が可能である。通常、LIDAR計測は、サイトの卓越風向のデータ収集を目的とした数ヶ月間の短期間計測が一般的である。現時点では、LIDARの校正方法が確立していないため、共通の計測高さのカップ風速計と矢羽風向計を使って同時計測したデータが必要である。

LIDARデータを使って観測マストデータを相関外挿する場合、次の手順を踏んで行うのが望ましい。

- 時計が同期しており、タイムスタンプ(10分平均化時間の開始時点あるいは終了時点)が同じであることを確認する。
- LIDAR計測高さの一つを観測マストのカップ風速計(頂部の風速計が望ましい)高さと同じ高さに設定する。
- LIDARとカップ風速計の同時計測データベースを作成する。マスト後流域に入る風向のデータは除く。
- マストとLIDAR(同一高さ)の同時データの線形性を確認する。データはビン幅1m/s程度でビン処理し、4m/s超の有効データのアンサンブル平均を用いる。決定係数 R^2 は0.98以上であることが望ましい。風速、風向の双方に対して行うことが望ましい。
- LIDARの全計測高さについて、風向セクターごとに、平均値、最大値およびガスト値を計算する。
- LIDARの計測高さごとに、詳細の風速増加(風速比、例えば、100m風速/80m風速)の表を作成する。表は風向セクターと風速ビンに区分する。実際に、この表がLIDAR計測の主要成果物の一つとなる。

装置によっては3秒時系列値(ZephIRの場合)を使って付加的な情報を得ることができる。これは風速ビンごとの水平風速別鉛直風速分布と隣接する2計測高さ間の瞬時(3秒)の風向差などである。

III 3Dセンサーによる計測法

超音波三次元センサー(3Dセンサー)を使えば、慣性に左右されない風速の水平、鉛直成分の計測が可能である。

校正

風速水平成分の計測はMEASNET準拠風洞で、MEASNETの”カップ風速計の校正方法“[5]記載のガイドラインに従って校正しなければならない。3D超音波風速計の場合、解像度1度の風向校正が必要である(360度スイープ)。風速鉛直成分の計測は風洞で検証可能である。サイトでの計測期間中は、校正のために別の風速センサーを用意しておかなければならない。輸送中および設置工事中、センサービームは変形することが無い様、保護しておかなければならない。

取り付け

機器の取り付けは、計測の障害となる要因をできる限り少なくするようにする。計測の障害になるような物体がある場合は、これを避けて取り付けるか、あるいは、その影響が許容レベル以下になるような位置に取り付ける。IEC 61400-12-1 [4]に記載されたカップ風速計の取り付け方法は、3Dセ

センサーの取り付けにおいても考慮しなければならない。

電気接続

センサーの設置方法は、高いデータ取得率(理想的には95%以上)が得られるように設計することが望ましい。すなわち超音波風速計の電気特性を踏まえ、次の点について考慮する必要がある。

- 避雷方法 — 電氣的に極度に敏感な電子部品で構成される
- 電源供給方法 — カップ風速計と比較して大きな電力消費
- データ記録の方法 — カップ風速計と比較して大きなデータ量

センサーの適用可能性、構成、試験、および文書化

計測可能な最大仰角(センサーごとに規定されている)はサイトで想定される最大仰角以上でなければならない。データ伝送パラメータ(BAUDレート、プロトコル)はデータロガーの仕様に合うように調整する。出力フォーマット(極座標系か直交座標系か、単位系)を選択する。使用開始前までに、入出力パラメータの編集値と初期設定値をチェックし記録する。ウエイク補正パラメータと温度補償パラメータも同様にチェックし、記録することが望ましい。