

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7066374号
(P7066374)

(45)発行日 令和4年5月13日(2022.5.13)

(24)登録日 令和4年5月2日(2022.5.2)

(51)Int. Cl. F I
F 0 3 D 7/02 (2006.01) F 0 3 D 7/02
G 0 1 W 1/00 (2006.01) G 0 1 W 1/00 Z

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21)出願番号	特願2017-215905(P2017-215905)	(73)特許権者	594162308 西日本技術開発株式会社 福岡県福岡市中央区渡辺通一丁目1番1号
(22)出願日	平成29年11月8日(2017.11.8)	(74)代理人	100116573 弁理士 羽立 幸司
(65)公開番号	特開2018-91328(P2018-91328A)	(74)代理人	100136180 弁理士 羽立 章二
(43)公開日	平成30年6月14日(2018.6.14)	(72)発明者	内田 孝紀 福岡県宗像市光岡377番地10 株式会社リアムコンパクト内
審査請求日	令和2年11月4日(2020.11.4)	(72)発明者	小川 智 福岡県福岡市中央区渡辺通一丁目1番1号 西日本技術開発株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2016-230686(P2016-230686)		
(32)優先日	平成28年11月28日(2016.11.28)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】乱流評価装置、乱流評価方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

風力エネルギーを利用して発電する風力発電装置を設置することを検討している候補地点における前記風力発電装置の蓄積疲労を起こす風力エネルギーの乱流を評価するための乱流評価装置であって、

前記候補地点を含む候補空間における前記風力エネルギーの風況シミュレーションにおいて用いられる前記候補空間の境界の一部又は全部における最大の風速である境界入力条件を記憶する境界入力条件記憶手段と、

前記境界入力条件の下で、前記候補空間における前記風力エネルギーの時系列に変化する風速を演算するシミュレーション手段と、

前記シミュレーション手段が演算した前記候補空間における前記風力エネルギーの時系列に変化する風速と、前記境界入力条件記憶手段が記憶する前記境界入力条件とを用いて、前記候補地点における乱流評価指標を演算する乱流評価指標演算手段と、

乱流評価指標が評価基準値を超える場合に、前記候補地点の前記風力エネルギーの乱流が大きいと判定する判定手段を備え、

前記候補空間に含まれる評価点における前記時系列に変化する風速の標準偏差を演算する標準偏差演算手段を備え、

前記乱流評価指標演算手段は、前記乱流評価指標を、前記評価点における前記標準偏差の、前記最大の風速に対する比で表される境界風速換算値として演算する、乱流評価装置。

【請求項2】

実測して得られた、又は、前記シミュレーション手段により得られた、前記評価点における前記風力エネルギーにおいて、単位時間当たりの平均風速が判定基準値を超えた方向がある場合において、当該方向に対して、

前記シミュレーション手段は、前記境界入力条件の下で、前記候補空間における前記風力エネルギーの時系列に変化する風速を演算し、

前記乱流評価指標演算手段は、前記判定基準値を超えた方向における前記風力エネルギーの時系列に変化する風速に対して乱流評価指標を演算する、請求項1記載の乱流評価装置。

【請求項3】

風力エネルギーを利用して発電する風力発電装置を設置することを検討している候補地点における前記風力発電装置の蓄積疲労を起こす風力エネルギーの乱流を評価するための乱流評価装置であって、

前記候補地点を含む候補空間における前記風力エネルギーの風況シミュレーションにおいて用いられる前記候補空間の境界の一部又は全部における最大の風速である境界入力条件を記憶する境界入力条件記憶手段と、

前記境界入力条件の下で、前記候補空間における前記風力エネルギーの時系列に変化する風速を演算するシミュレーション手段と、

前記シミュレーション手段が演算した前記候補空間における前記風力エネルギーの時系列に変化する風速を用いて、前記候補地点における乱流評価指標を演算する乱流評価指標演算手段と、

前記候補地点における前記風力発電装置の設計疲労線を記憶する設計DEL記憶手段と、

複数の疲労荷重式を用いて前記風力発電装置の蓄積疲労を計算する蓄積疲労演算手段と、

前記蓄積疲労が前記設計疲労線を越える時点を演算する寿命評価手段を備え、

前記候補空間に含まれる評価点における前記時系列に変化する風速の標準偏差を演算する標準偏差演算手段を備え、

前記乱流評価指標演算手段は、前記乱流評価指標を、前記評価点における前記標準偏差の、前記最大の速さに対する比で表される境界風速換算値として演算し、

前記乱流評価指標演算手段は、複数の方位のそれぞれからの前記風力エネルギーに対して、前記候補地点における前記乱流評価指標を演算し、

前記疲労荷重式は、少なくとも、

前記乱流評価指標が評価基準値を超える方位からの前記風力エネルギーによる蓄積疲労を計算するための第1疲労荷重式と、

前記乱流評価指標が前記評価基準値を超えない方位からの前記風力エネルギーによる蓄積疲労を計算するための第2疲労荷重式を含み、

前記第1疲労荷重式と前記第2疲労荷重式とは異なり、

前記蓄積疲労演算手段は、複数の方位のそれぞれに対して、前記乱流評価指標の値に応じて前記複数の疲労荷重式のうちの一つを選択して前記蓄積疲労を演算する、乱流評価装置。

【請求項4】

前記疲労荷重式は、前記風力発電装置における前記風力エネルギーの風速及び前記風力エネルギーの時系列に変化する風速の標準偏差に対して直線近似することにより得られたものである、請求項3記載の乱流評価装置。

【請求項5】

風力エネルギーを利用して発電する風力発電装置を設置することを検討している候補地点における前記風力発電装置の蓄積疲労を起こす風力エネルギーの乱流を評価するための乱流評価装置における乱流評価方法であって、

前記乱流評価装置は、前記候補地点を含む候補空間における前記風力エネルギーの風況シミュレーションにおいて用いられる前記候補空間の境界の一部又は全部における最大の

10

20

30

40

50

風速である境界入力条件を記憶する境界入力条件記憶手段を備え、

前記乱流評価装置が備えるシミュレーション手段が、前記境界入力条件の下で、前記候補空間における前記風力エネルギーの時系列に変化する風速を演算するシミュレーションステップと、

前記乱流評価装置が備える乱流評価指標演算手段が、前記シミュレーション手段が演算した前記候補空間における前記風力エネルギーの時系列に変化する風速と、前記境界入力条件記憶手段が記憶する前記境界入力条件とを用いて、前記候補地点における乱流評価指標を演算する乱流評価指標演算ステップと、

前記乱流評価装置が備える判定手段が、乱流評価指標が評価基準値を超える場合に、前記候補地点の前記風力エネルギーの乱流が大きいと判定する判定ステップを含み、

前記候補空間に含まれる評価点における前記時系列に変化する風速の標準偏差を演算する標準偏差演算手段を備え、

乱流評価指標演算ステップにおいて、前記乱流評価指標演算手段は、前記乱流評価指標を、前記評価点における前記標準偏差の、前記最大の速さに対する比で表される境界風速換算値として演算する、乱流評価方法。

【請求項 6】

コンピュータにおいて、請求項 5 記載の乱流評価方法を実現するためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、乱流評価装置、乱流評価方法及びプログラムに関し、特に、候補地点における自然エネルギーの乱流を評価するための乱流評価装置等に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、風車事故が多発している。事故調査の結果、「金属疲労」が事故の主原因と報告されている。

【0003】

発明者らは、風力発電について研究・開発し、実用化を行ってきた（例えば特許文献 1 参照）。風車は、一般に、IEC 規格に基づき設計される（例えば非特許文献 1 参照）。また、風車の乱流（現地風条件）を評価する値として、乱流強度が知られている。乱流強度は、一般的に、風車の標準偏差の平均風速に対する比として定義されている（非特許文献 2 の 195 頁参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2016 - 186253 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構，付属書 A（参考）「IEC 規格による風力発電機の設計条件」，[online]，[平成 28 年 11 月 7 日検索]、インターネット < URL : <http://www.nedo.go.jp/content/100107253.pdf> >

【非特許文献 2】独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構，風力発電導入ガイドブック，[online]，2008 年 2 月，改訂第 9 版、[平成 28 年 11 月 7 日検索]、インターネット < URL : <http://www.nedo.go.jp/content/100079735.pdf> >

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

現時点では、乱流が金属疲労の原因になるとの報告はない。そのため、現在の風車は、IEC 規格等に従っていれば、いずれの場所に設置しても問題がないとされている。

【0007】

10

20

30

40

50

しかしながら、発明者らは、風車の事故や故障に対して乱流が影響している可能性に着目した。風車がIEC規格等を満足していても、設置候補地点における乱流の状況によっては、その設置候補地点に風車を設置してはいけない可能性がある。

【0008】

ここで、乱流強度を基準にして、候補地点に風車を設置してもよいか否かを判定することも考えられる。しかしながら、乱流強度は、例えば風車のハブ高さのように、一定の高さにおける風の標準偏差と平均風速を用いて評価するものである。そのため、候補地点における風条件を十分に評価することができない可能性があった。

【0009】

そこで、本願発明は、候補地点に風車等を設置してよいか否かを、乱流強度等とは異なる新たな評価基準によって判定することに適した乱流評価装置等を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本願発明の第1の観点は、候補地点における自然エネルギーの乱流を評価するための乱流評価装置であって、前記候補地点を含む候補空間における前記自然エネルギーの境界入力条件を記憶する境界入力条件記憶手段と、前記境界入力条件の下で、前記候補空間における前記自然エネルギーの変化を演算するシミュレーション手段と、前記シミュレーション手段が演算した前記候補空間における前記自然エネルギーの変化と、前記境界入力条件記憶手段が記憶する前記境界入力条件とを用いて、前記候補地点における乱流評価指標を演算する乱流評価指標演算手段と、乱流評価指標が評価基準値を超える場合に、前記候補地点の前記自然エネルギーの乱流が大きいと判定する判定手段を備えるものである。

【0011】

本願発明の第2の観点は、第1の観点の乱流評価装置であって、前記自然エネルギーの変化は、前記自然エネルギーが変化する速さであり、前記境界入力条件は、前記候補空間の境界の一部又は全部における前記自然エネルギーの変化の最大の速さを含み、前記候補空間に含まれる評価点における前記自然エネルギーの変化の速さの標準偏差を演算する標準偏差演算手段を備え、前記乱数評価指標演算手段は、前記乱流評価指標を、前記評価点における前記標準偏差の、前記最大の速さに対する比として演算するものである。

【0012】

本願発明の第3の観点は、第1又は第2の観点の乱流評価装置であって、実測して得られた、又は、前記シミュレーション手段により得られた、前記評価点における前記自然エネルギーにおいて、単位時間当たりの変化の平均が判定基準値を超えた方向がある場合に、前記境界入力条件は、前記評価点において前記判定基準値に対応する前記自然エネルギーの変化を生じ得るものであり、前記シミュレーション手段は、前記境界入力条件の下で、前記候補空間における前記自然エネルギーの変化を演算し、前記乱流評価指標演算手段は、前記判定基準値を超えた方向における前記自然エネルギーの変化に対して乱流評価指標を演算するものである。

【0013】

本願発明の第4の観点は、候補地点における自然エネルギーの乱流を評価するための乱流評価装置であって、前記候補地点を含む候補空間における前記自然エネルギーの境界入力条件を記憶する境界入力条件記憶手段と、前記境界入力条件の下で、前記候補空間における前記自然エネルギーの変化を演算するシミュレーション手段と、前記シミュレーション手段が演算した前記候補空間における前記自然エネルギーの変化と、前記境界入力条件記憶手段が記憶する前記境界入力条件とを用いて、前記候補地点における乱流評価指標を演算する乱流評価指標演算手段と、前記候補地点において前記自然エネルギーを利用して発電する発電装置の設計疲労線を記憶する設計DEL記憶手段と、複数の疲労荷重式を用いて前記発電装置の蓄積疲労を計算する蓄積疲労演算手段と、前記蓄積疲労が前記設計疲労線を越える時点を得る寿命評価手段を備え、前記乱流評価指標演算手段は、複数の方位のそれぞれからの前記自然エネルギーに対して、前記候補地点における前記乱流評価指標

を演算し、前記疲労荷重式は、少なくとも、前記乱流評価指標が前記評価基準値を超える方位からの前記自然エネルギーによる蓄積疲労を計算するための第1疲労荷重式と、前記乱流評価指標が前記評価基準値を超えない方位からの前記自然エネルギーによる蓄積疲労を計算するための第2疲労荷重式を含み、前記第1疲労荷重式と前記第2疲労荷重式とは異なり、前記蓄積疲労演算手段は、複数の方位のそれぞれに対して、前記乱流評価指標の値に応じて前記複数の疲労荷重式の一つを選択して前記蓄積疲労を演算する。

【0014】

本願発明の第5の観点は、第4の観点の乱流評価装置であって、前記疲労荷重式は、前記発電装置における前記自然エネルギーの変化の速さ及び前記自然エネルギーの変化の速さの標準偏差に対して直線近似することにより得られたものである。

10

【0015】

本願発明の第6の観点は、候補地点における自然エネルギーの乱流を評価するための乱流評価装置における乱流評価方法であって、前記乱流評価装置は、前記候補地点を含む候補空間における前記自然エネルギーの境界入力条件を記憶する境界入力条件記憶手段を備え、前記乱流評価装置が備えるシミュレーション手段が、前記境界入力条件の下で、前記候補空間における前記自然エネルギーの変化を演算するシミュレーションステップと、前記乱流評価装置が備える乱流評価指標演算手段が、前記シミュレーション手段が演算した前記候補空間における前記自然エネルギーの変化と、前記境界入力条件記憶手段が記憶する前記境界入力条件とを用いて、前記候補地点における乱流評価指標を演算する乱流評価指標演算ステップと、前記乱流評価装置が備える判定手段が、乱流評価指標が評価基準値を超える場合に、前記候補地点の前記自然エネルギーの乱流が大きいと判定する判定ステップを含むものである。

20

【0016】

本願発明の第7の観点は、コンピュータにおいて、第6の観点の乱流評価方法を実現するためのプログラムである。なお、本願発明を、第7の観点のプログラムを記録するコンピュータ読み取り可能な記録媒体として捉えてもよい。

【発明の効果】

【0017】

本願発明の各観点によれば、シミュレーションにより得られた自然エネルギーのデータを利用して、乱流評価指標という新たな基準を用いて、候補地点における自然エネルギーの乱流を評価できる。ここで、乱流評価指標は、従来の乱流強度とは異なる。乱流強度は、ハブ高さ等における固定点における風速の標準偏差と平均速度によって得られる値である。他方、乱流評価指標は、境界入力条件換算値であり、シミュレーションにおいて用いられる境界入力条件と、ハブ高さ等における標準偏差等を用いて得られる。そして、後に示すように、発明者らは、この乱流評価指標を使用して、候補地点における乱流が自然エネルギーを利用した発電装置の故障の要因となりうる程度か否かを原因となるか否かの判断できることを実験により明らかにした。

30

【0018】

さらに、本願発明の第2の観点によれば、例えば、評価点が風車のハブ高さであり、境界入力条件において風車の頂上の標高における最大風速 U_{in} （境界風速）である場合には、「乱流評価指標 = σ （ハブ高さ風速標準偏差） / U_{in} （境界風速）」という計算式により得ることができる。

40

【0019】

さらに、本願発明の第3の観点によれば、例えば風速が大きい時間帯などのように、変化が大きい時間帯において乱流評価指標を演算して乱流を評価する。このように、危険性のある方向及びその時間帯を特定して、乱流評価指標により評価することができる。

【0020】

さらに、本願発明の第4の観点によれば、乱流評価指標に対応した疲労荷重式を用いることにより、発電装置の寿命予測をすることができる。特に、第5の観点によれば、例えば風力発電であれば、第2の観点にあるように乱流指標が風速と風速標準偏差と風速の比

50

から得られること、さらには、発明者らが見出した風速と風速標準偏差が蓄積疲労と直線近似できることを利用して、評価基準値を超えるものと超えないものに対し、風速と風速標準偏差により直線近似することにより得られた疲労荷重式を利用することにより、精度の高い寿命予測が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本願発明の実施の形態の一例に係る乱流評価装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図2】図1の乱流評価装置1の動作の一例を示すフロー図である。

【図3】本願で新たに導入する乱流評価指標を説明するための図である。

10

【図4】(a)実際の風車での歪みセンサを設置した状況と、(b)~(d)歪み計測データを示す図である。

【図5】東風のときの風況及び歪み計測データの分析と、風車疲労荷重評価を示す図である。

【図6】風況シミュレーションにより得られたデータを示す図である。

【図7】本願発明の実施の形態の他の一例に係る乱流評価装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図8】図7の乱流評価装置21の動作の一例を示すフロー図である。

【図9】東方位と北方位を対象とした風速と風速標準偏差と疲労(D E L)の分析結果を示す。

20

【図10】過去の実測データを用いて行ったブレードの寿命評価を示す。

【図11】過去の実測データに加えてシミュレーションにより得られた乱流評価指標を用いて行ったブレードの寿命評価を示す。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、図面を参照して本願発明の実施例について説明する。なお、本願発明は、以下の実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0023】

図1は、本願発明の実施の形態の一例に係る乱流評価装置の構成の一例を示すブロック図である。図2は、図1の乱流評価装置1の動作の一例を示すフロー図である。図1及び図2を参照して、乱流評価装置1の構成及び動作の一例を説明する。

30

【0024】

ここで、乱流評価装置1は、自然エネルギーとして風を使って発電する風力発電装置(風車)を候補地点に設置してよいか否かを判定するものであるとする。また、候補空間は、風車を設置する空間であるとする。候補空間の最も高い場所は、風車の最も高い箇所(通常、ブレード先端高さである。)の標高となる。評価点は、風車のハブ高さであるとする。

【0025】

従来知られている乱流強度は、「乱流強度 = σ / U (ハブ高さ風速標準偏差) / U (ハブ高さ平均風速)」と表現されるように、風車によって定まる一定の高さにおける風のみを使用する。これは、風車で実測できるため、広く利用されている。しかしながら、乱流強度は、いわば、ハブ高さにおける風という一部のサンプルによって候補地点の評価をしようとしている。そのため、風力発電の事業者は、乱流強度によっては、風車を、全体として評価することはできない。

40

【0026】

他方、発明者らは、自ら研究・開発した高精度なシミュレーション装置によって、任意の条件の下で、風のデータを得ることができる。そして、新たに導入する乱流評価指標は、「乱流評価指標 = $\sigma / U_{\text{境界}}$ (ハブ高さ風速標準偏差) / $U_{\text{境界}}$ (境界風速)」であり、シミュレーションにおいて用いる境界入力条件を参照して、境界風速換算値として得られるもの

50

である。そのため、乱流評価装置 1 は、境界入力条件の下でのシミュレーションにより得られた風のデータを利用して、境界入力条件を加味した乱流評価指標により、候補地点における乱流の評価をすることができる。よって、風力発電の事業者は、シミュレーションを利用して、候補地点に風車を設置した状態を想定して、候補地点に風車を設置してよいか否かを判断することができる。

【 0 0 2 7 】

このように、本願により新たに導入する乱流評価指標は、候補地点に風車を設置する空間を評価することができる。さらに、各風向によっても高精度に評価できるため、風力発電の事業者にとって、例えば、故障の危険性がある風向を事前に知り、その風向のときには発電を止めて故障を回避し、他の風向のときは発電することなどの適切な発電制御を行うことにより、故障による停止を回避して、効率よく電気を得ることができる。このように、候補地点の評価は、故障を予防する対応策が可能か否かによっても評価が変わる。本願発明によれば、方向に応じた制御などの使用態様も考慮することができる。

10

【 0 0 2 8 】

図 1 を参照して、乱流評価装置 1 は、地形データ記憶部 3 (本願請求項の「地形データ記憶手段」の一例) と、境界入力条件記憶部 5 (本願請求項の「境界入力条件記憶手段」の一例) と、基準値記憶部 7 と、乱流評価指標記憶部 9 と、シミュレーション部 1 1 (本願請求項の「シミュレーション手段」の一例) と、制御部 1 2 と、標準偏差演算部 1 3 (本願請求項の「標準偏差演算手段」の一例) と、乱流評価指標演算部 1 5 (本願請求項の「乱流評価指標演算手段」の一例) と、判定部 1 7 (本願請求項の「判定手段」の一例) と、表示部 1 9 (本願請求項の「表示手段」の一例) を備える。

20

【 0 0 2 9 】

地形データ記憶部 3 は、候補地点を含む地域の地形を特定するための地形データを記憶する。境界入力条件記憶部 5 は、境界入力条件を記憶する。本実施例では、境界入力条件には、境界風速が含まれるとする。ここで、境界風速は、風車のブレード先端高さの標高での最大風速であるとする。以下では、境界風速は 1 0 m / s とする。基準値記憶部 7 は、判断処理の基準値を記憶する。本実施例では、判定基準値と評価基準値を記憶する。乱流評価指標記憶部 9 は、乱流評価指標演算部 1 5 が演算した乱流評価指標を記憶する。

【 0 0 3 0 】

図 2 を参照して、図 1 の乱流評価装置 1 の各構成の動作の一例を説明する。

30

【 0 0 3 1 】

まず、シミュレーション部 1 1 は、境界入力条件記憶部 5 が記憶する境界入力条件の下で、地形データ記憶部 3 が記憶する地形データを参照して、評価期間での評価点 (ハブ高さ) における風のデータを得る (ステップ S T 1)。

【 0 0 3 2 】

次に、制御部 1 2 は、例えば 4 5 ° で分割して、東 (東を中心に 4 5 ° の範囲から吹く風。以下同様。)、南東、南、南西、西、北西、北、北東の 8 つに分割するように、風向を複数に分割し、その一つを選択する (ステップ S T 2)。なお、上下を加えて 3 次的に分割してもよい。

【 0 0 3 3 】

制御部 1 2 は、シミュレーション部 1 1 が得た風のデータにおける風向を利用して、ステップ S T 2 で設定された風向の風の風速の経時的データを得る (ステップ S T 3)。ステップ S T 3 で得た風速の経時的データは、一つ又は複数の期間のものとする。連続する期間に属する風のデータを、「風速群」という。期間を分ける基準は、例えば、他の風向から設定された風向になり他の風向に変わるまでを一つの風速群としたり、同じ風向であっても風速が所定値未満から所定値以上となって所定値未満になるまでを一つの風速群としたり、それらを組み合わせるとしてよい。

40

【 0 0 3 4 】

制御部 1 2 は、一つの風速群を選択する (ステップ S T 4)。そして、選択した風速群での単位時間の平均風速が、判定基準値を超えるか否かを判断する (ステップ S T 5)。

50

本実施例では、単位時間は10分間であり、判定基準値は9.0 m/sである。単位時間の平均風速が判定基準値を超えるならば、ステップST6に進む。単位時間の平均風速が判定基準値を超えないならば、ステップST10に進む。

【0035】

ステップST6において、標準偏差演算部13は、ハブ高さにおける風速の標準偏差を演算する。そして、乱流評価指標演算部15は、標準偏差演算部13が演算した風速の標準偏差と、境界入力条件記憶部5が記憶する境界速度を用いて、候補地点における乱流評価指標を演算する(ステップST7)。

【0036】

判定部17は、乱流評価指標が評価基準値を超えるか否かを判定する(ステップST9)。ここで、評価基準値は、0.2である。判定部17は、乱流評価指標が評価基準値を超えないならば、ステップST10に進む。判定部17は、乱流評価指標が評価基準値を超えるならば、候補地点における風の乱流が大きいと判定し、表示部19に対して、風向と、乱流評価指標が評価基準値を超えることを表示させ(ステップST9)、ステップST10に進む。

10

【0037】

制御部12は、全ての風速群に対して処理を行ったか否かを判断する(ステップST10)。処理を行っていない風速群があるならば、ステップST4に戻り、処理を行っていない一つの風速群を選択する。全ての風速群に対して処理を行ったならば、全ての風向に対して処理を行ったか否かを判断する(ステップST11)。全ての風向に対して処理を行っていないならば、ステップST2に戻り、処理を行っていない一つの風向を選択する。全ての風向に対して処理を行ったならば、図2の処理を終了する。

20

【0038】

図3～図6を参照して、発明者らが行った実験を説明する。

【0039】

図3は、本願で新たに導入する乱流評価指標を説明するための図である。

【0040】

図3(a)は、風車の鉛直方向の理想的な層流の風速分布を示す。地表から滑らかに増加し、羽根(ブレード)の部分では均等に分布することにより、各羽根には均等に力が働き、回転スピードはほぼ同一となる。そのため、3枚の羽根の根元にかかるストレスもほぼ同じとなる。風車性能が規定される風条件は、図3(a)のような状態である。

30

【0041】

しかしながら、例えば風上に山があるような地点では、図3(b)にあるように、地形の変化により、地表近くの風速や風の周期が乱される。図3(c)にあるように、風の乱れは、図3(a)の理想的な風速分布から離れることとなる。図3(c)では、受風面の下部の風速が、乱流化の影響で減速されると、3枚の羽根の回転スピードや、根元にかかるストレスが異なることになる。特に、乱流化の影響で風の周期も小さくなるために、羽根の根元には、サイクリックにストレスが発生し、そのストレスが蓄積し、最終的には危機損傷につながる可能性がある。そして、これによって金属疲労等が進行し、故障や事故が発生する可能性が高まる。図3(d)は、後のシミュレーションで得られたデータによる乱流化の状況を示すものである。縦軸は地表からの高さを示し、横軸は速度分布を示す。矢印は、ハブ高さにおいて、理想的な風速分布から減速した幅を示す。

40

【0042】

ここで、複雑地形特有の風条件で金属疲労が生じても、風車の構造強度で十分に耐えることができるのであれば、その地形に風車を設置することができる。そこで、実験では、実際に測定した風車機器に入力される風速のデータや、風車ブレード歪みのデータを測定し、複雑地形特有の風条件と風車の構造強度への影響を特定したうえで、複雑地形での風条件の再現結果(リアムコンパクト社による風況解析結果)に基づき、数値風況面から、風車事故を提言する最適配置基準の定量化を行う。この最適配置基準を利用することにより、最適配置計画を支援することができる。

50

【 0 0 4 3 】

実験では、まず、実際の風車において、風況と風車挙動の同期計測データを比較し、歪みデータ変動量（振幅）の大きい風向を特定した。ここで、風況は、ナセル風速計・風向計を使用して風速・風向変動を解析した。風車挙動は、3枚のブレード根元ルート部に歪みゲージを設置し、歪み変動を解析した。

【 0 0 4 4 】

そして、特定した風向を対象に、ブレード曲げ疲労荷重評価を実施して、複雑地形での風車疲労への影響を把握した。歪みデータより20年間のブレード曲げ疲労荷重を算定し、ブレード曲げ疲労ダメージを評価した（ブレード曲げ疲労ダメージ = 歪みデータより算定した疲労荷重（20年） / 設計許容疲労荷重（20年））。ブレード曲げ疲労ダメージが1を超えた場合、耐用年数20年経過前に疲労破壊に至ることとなる。

10

【 0 0 4 5 】

図4(a)は、実際の風車での歪みセンサを設置した状況を示す。この風車は、ブレード先端高さ100mであり、ブレードの直径が80m、ハブ高さは60mである。ブレード3本の根元（ルート部：ハブ接合面から約1.3m）は、既設設備に後付けで取り付け可能な場所であり、歪みセンサを設置した。ブレード根元の強度評価（ブレードの曲げ荷重評価）は、ブレードを通して風力エネルギーが入力されるため、重要である。

【 0 0 4 6 】

図4(b)～(d)は、歪み計測データを示す。(b)東風では、11/13の8:00～10:00に、大きな歪みが計測されている。(c)北風では、11/9の17:00～22:00に、大きな歪みが計測されている。(d)南風では、11/14の2:00～5:00に、大きな歪みが計測されている。

20

【 0 0 4 7 】

風向別に風速及び歪み計測データを分析すると、東風、北風及び南風で、最大9/s程度まで風速が上昇した際に、歪み変動（変動）が最大になっている。東風、北風及び南風は、大きな歪みが出た時間帯で、ほぼ同程度の風速まで上昇したが、歪み変動は、東風が最も大きかった。疲労ダメージは、東風が2.03、北風は0.95、南風が0.93であった。東風は1を超えるため、耐用年数20年経過前に疲労破壊に至ることが予想される。

【 0 0 4 8 】

図5を参照して、東風のときの風況及び歪み計測データの分析と、風車疲労荷重評価を具体的に説明する。図5(a)を参照して、歪み変動が大きな11/13の8:00～13:00を具体的に分析する。ここで、サンプリング周期は、50Hz(0.02s)である。この時間帯の風速及び風向の時系列データを分析すると、連続的に東方向の風が発生し、乱流化の影響により風の周期も短くなっている。図5(b)を参照して、風速9.7m/s(10分間平均)のとき、疲労ダメージの最大が2.03になっている。風速の標準偏差は、約2.4m/sである。東風が連続して発生した8:00～10:00にかけて疲労ダメージが2程度となっている。その後、南東に移行し1未満となっている。そのため、例えば東風のときには発電を停止し、南東の風に移行したときに発電を再開するなどように、風向に応じた制御を行うことにより、故障を回避しつつ、継続した発電を実現することができる。

30

【 0 0 4 9 】

続いて、図6を参照して、風況シミュレーションにより得られたデータについて説明する。ここで、地形による乱流の影響を評価するために、東風のときの風上の山があるとき（標高修正なし）と、山がないとき（標高修正あり）を比較した。

40

【 0 0 5 0 】

図6(a)は、東風について、標高修正のある場合と無い場合を比較したものである。標高修正が無い場合は、標高修正がある場合に比較して、風速の変化が大きかった。標高修正がある場合の風速の変化は、風上に山がない北風や南風での風速の変化と同様であった。

【 0 0 5 1 】

実測風況データと風況シミュレーション結果を比較すると、東風（風向90deg付近）

50

の場合、風向変動周期は、両者が同一の周期的変動（周期6～7s程度）が見られ、風速変動が大きかった。また、風速の標準偏差は、両者ともに約2.4m/s（シミュレーションではU成分）であり、ほぼ一致する傾向が見られた。そのため、実機では、シミュレーション結果で得られたように、乱流が発生したと考えられる。

【0052】

図3(d)で示したように、境界入力条件として与えた風速に対して、実機では、ブレード面で減速（乱流化）している。シミュレーション結果では、地形の影響を受けて、受風面下部に向けて平均風速が小さくなっており乱流が発生していると考えられる。

【0053】

乱流評価について、実測の場合、東風風速9.7m/s、標準偏差2.4で、乱流強度25%となった。東風において疲労ダメージ2.03で、5.88年で設計疲労荷重の計画値に到達する結果となった。

10

【0054】

シミュレーション結果では、東風において、本願が新たに提案する乱流評価指標（境界風速（10m/s）換算値）は、0.236（＝ハブ高さ標準偏差2.36m/s / 境界風速10m/s）となった。なお、乱流強度は、64%（ハブ高さ標準偏差2.36m/s / 平均風速3.71m/s）であった。他方、北風及び南風では、それぞれ、乱流評価指標は0.099及び0.111、乱流強度は0.11及び0.09である。これより、乱流評価指標が0.2を超えないという配置基準（すなわち、乱流評価指標の上限を0.2とする基準）は妥当であり、今回の実験で、乱流評価指標0.236で、疲労ダメージ2.03となり、定量的に評価することができた。

20

【0055】

以上をまとめると、風車事故を低減できる配置は、以下のように考えることができる。まず、例えば風況観測データをもとに風速が9m/sを超えた場合において、その風向に乱流を引き起こす障害（地形・地物）の有無を確認する。次に、障害が引き起こす風向をシミュレーションし、乱流評価指標が0.2以内であることを確認する。すなわち、今回の実験で、乱流評価指標が0.2を超えたとき、疲労ダメージが1以上となった。

【実施例2】

【0056】

図7は、本願発明の実施の形態の他の一例に係る乱流評価装置の構成の一例を示すブロック図である。図8は、図7の乱流評価装置21の動作の一例を示すフロー図である。図7及び図8を参照して、乱流評価装置21の構成及び動作の一例を説明する。

30

【0057】

乱流評価装置21は、自然エネルギーとして風を使って発電する風力発電装置（風車）を候補地点に設置してよいか否かを判定するものであるとする。

【0058】

図7を参照して、乱流評価装置21は、地形データ記憶部3（本願請求項の「地形データ記憶手段」の一例）と、境界入力条件記憶部5（本願請求項の「境界入力条件記憶手段」の一例）と、基準値記憶部7と、乱流評価指標記憶部9と、シミュレーション部11（本願請求項の「シミュレーション手段」の一例）と、制御部12と、標準偏差演算部13（本願請求項の「標準偏差演算手段」の一例）と、乱流評価指標演算部15（本願請求項の「乱流評価指標演算手段」の一例）を備える。これらの各部は、図1の乱流評価装置1における同じ符号を付したものと同様に動作し、乱流評価指標演算部15は、各方向の乱流評価指標を演算する。

40

【0059】

乱流評価装置21は、さらに、実測値記憶部23と、設計DEL記憶部25（本願請求項の「設計DEL記憶手段」の一例）と、疲労荷重式演算部27と、蓄積疲労演算部29（本願請求項の「蓄積疲労演算手段」の一例）と、寿命評価部31（本願請求項の「寿命評価手段」の一例）を備える。

【0060】

図8を参照して、シミュレーション部11は、境界入力条件記憶部5が記憶する境界入

50

力条件の下で、地形データ記憶部 3 が記憶する地形データを参照して、評価期間での評価点（ハブ高さ）における風のデータを得る（ステップ S T J 1）。

【 0 0 6 1 】

次に、乱流評価指標演算部 1 5 は、1 6 方位に分割された各方位に対して、標準偏差演算部 1 3 が演算した風速の標準偏差と、境界入力条件記憶部 5 が記憶する境界速度を用いて、候補地点における乱流評価指標を演算する（ステップ S T J 2）。

【 0 0 6 2 】

ステップ S T J 1 及び S T J 2 は、具体的には、図 1 においてステップ S T 8 及び S T 9 を省略したものと同様にして演算することができる。

【 0 0 6 3 】

疲労荷重式演算部 2 7 は、各方位の一部又は全部に対して、直線近似を行い、疲労荷重式を演算する（ステップ S T J 3）。

【 0 0 6 4 】

蓄積疲労演算部 2 9 は、各方位の乱流評価指標の値に応じて、疲労荷重式を選択し（ステップ S T J 4）、実測値記憶部 2 3 が記憶する一定期間の実測データを用いて蓄積疲労を演算する（ステップ S T J 5）。なお、実測データがない場合には、シミュレーション等により得られた値により代用してもよい。

【 0 0 6 5 】

疲労荷重式演算部 2 7 が、全部の方位に対して疲労荷重式を演算するならば、蓄積疲労演算部 2 9 は、各方位に対応する疲労荷重式を選択して蓄積疲労を演算すればよい。

【 0 0 6 6 】

疲労荷重式演算部 2 7 が一部の方位に対して疲労荷重式を演算する場合には、乱流評価指標が評価基準値を超える方位の少なくとも一つに対して疲労荷重式を演算し、蓄積疲労演算部 2 9 は、乱流評価指標が評価基準値を超える方位に対しては、乱流評価指標が評価基準値を超える方位から得られた疲労荷重式の一つを選択する。疲労荷重式演算部 2 7 は、乱流評価指標が評価基準値を超えない方位の少なくとも一つに対して疲労荷重式を演算し、蓄積疲労演算部 2 9 は、乱流評価指標が評価基準値を超えない方位に対しては、乱流評価指標が評価基準値を超えない方位から得られた疲労荷重式の一つを選択する。

【 0 0 6 7 】

図 9 ~ 図 1 1 では、疲労荷重式演算部 2 7 は、乱流評価指標が評価基準値 0 . 2 を超えるもの、評価基準値 0 . 2 を超えず 0 . 1 を超えるもの、0 . 1 を超えないものから、それぞれ一つの方位を選択し、疲労荷重式を演算し、蓄積疲労演算部 2 9 は、乱流評価指標が評価基準値 0 . 2 を超える方位、評価基準値 0 . 2 を超えず 0 . 1 を超える方位、0 . 1 を超えない方位に対して、それぞれ、対応する疲労荷重式を選択して蓄積疲労を計算している。

【 0 0 6 8 】

寿命評価部 3 1 は、蓄積疲労演算部 2 9 が演算した蓄積疲労が、時の経過に応じて増加して、設計 D E L 記憶部 2 5 が記憶する風車の設計疲労線を超える時期を求めて、風車の寿命を評価する（ステップ S T J 6）。

【 0 0 6 9 】

図 9 ~ 図 1 1 を参照して、具体的な例について説明する。

【 0 0 7 0 】

図 9 は、東方位（乱流評価指標 0 . 2 3 6）と北方位（乱流評価指標 0 . 0 9 9）を対象とした分析結果を示す。東方位及び北方位を対象に、風速、風速標準偏差、乱流強度及び疲労（D E L）の実測データを用いて相互にデータの関係性を分析した結果、以下の 2 点が判明した。すなわち、疲労（D E L）と風速の関係は、直線近似が可能である。疲労（D E L）と風速標準偏差（ ）の関係は、直線近似が可能である。

【 0 0 7 1 】

図 9（a）及び（b）は、それぞれ、東方位及び北方位の 1 0 分の風速（m / s）と風速標準偏差（m / s）の関係を示すグラフである。横軸は風速（m / s）であり、縦軸は

10

20

30

40

50

風速標準偏差 (m / s) である。直線近似は、東方位が傾き $a = 0.23$ であり、北方位が傾き $a = 0.14$ である。東方位の場合、北方位に比べて風速標準偏差の傾きが大きく、北方位と比較して風速が大きくなるほど風速標準偏差が大きくなる。

【 0 0 7 2 】

図 9 (c) は、風速と疲労との関係を示す。横軸は風速 (m / s) であり、縦軸は疲労 (D E L) である。直線近似は、東方位が傾き $a = 0.15$ であり、北方位が傾き $a = 0.08$ である。図 9 (d) は、風速標準偏差と疲労との関係を示す。横軸は風速標準偏差 (m / s) であり、縦軸は疲労 (D E L) である。直線近似は、東方位が傾き $a = 0.41$ であり、北方位が傾き $a = 0.46$ である。よって、風速標準偏差 () が大きいほど、風速と疲労 (D E L) の傾きも大きくなることが判明した。

10

【 0 0 7 3 】

図 1 0 は、過去の風速・風向の実測データ (1 年分) を用いて 20 年間のストレス (蓄積疲労) を積算し、耐用年数である 2 0 年の設計疲労線と比較してブレードの寿命評価を行ったものである。

【 0 0 7 4 】

図 1 0 (a) は、1 2 方位のそれぞれの方向角を示す。図 1 0 (b) は、各方位の実測疲労 (D E L) 線を示すグラフである。横軸は風速 (m / s) であり、縦軸は疲労 (D E L) である。図 1 0 (c) は、実測データにおいて、各方位の風向で、風速に応じた時間を積算することにより得られた、実測 D E L と設計 D E L を示す。1 年間の実測 D E L 及び設計 D E L の蓄積疲労は、それぞれ、13,976 及び 20,425 である。20 年間の蓄積疲労は、それぞれ、279,524 及び 408,496 である。ストレス (蓄積疲労) 割合を、実測 D E L / 設計 D E L とする。寿命 (年) は、2 0 (年、耐用年数) / ストレス割合であり、 $20 / 0.68 = 29$ (小数点以下の第一位を四捨五入) となる。

20

【 0 0 7 5 】

図 1 1 は、乱流評価指標を用いて蓄積疲労を計算した場合を示す。実測データが 1 2 方位であるのに対し、シミュレーションが 1 6 方位で行われる。

【 0 0 7 6 】

この例では、乱流評価指標が 0.2 を超える方位として 1 2 方位における方位 4 (東) を、0.2 を超えず 0.1 を超える方位として 1 2 方位における方位 1 2 を、0.1 を超えない方位として 1 2 方位における方位 1 (北) を選択し、直線近似により疲労荷重式を計算している。方位 4、1 2、1 に対応する疲労荷重式は、それぞれ、実測データより得て、傾きが 0.1527、0.0945、0.0782 であり、切片が - 0.4089、- 0.2304、- 0.1458 である。図 1 1 (a) は、これらの疲労荷重式と、設計 D E L 線を示す。横軸は風速 (m / s) であり、縦軸は疲労 (D E L) である。

30

【 0 0 7 7 】

図 1 1 (b) は、各方位の乱流評価指標を示す。0.2 を超える 1 6 方位における方位 5 は、1 2 方位における方位 4 に対して得られた疲労荷重式を用いる。0.2 を超えず 0.1 を超える 1 6 方位における方位 2、4、6、7、8、9、10、12、13、14、15、16 は、1 2 方位における方位 1 2 に対して得られた疲労荷重式を用いる。0.1 を超えない 1 6 方位における方位 1、3、11 は、1 2 方位における方位 1 に対して得られた疲労荷重式を用いる。図 1 1 (c) は、実測データにおいて、各方位の風向で、風速に応じた時間を積算することにより得られた、実測 D E L と設計 D E L を示す。1 年間の実測 D E L 及び設計 D E L の蓄積疲労は、それぞれ、13,184 及び 20,425 である。20 年間の蓄積疲労は、それぞれ、263,684 及び 408,496 である。ストレス (蓄積疲労) 割合を、実測 D E L / 設計 D E L とする。寿命 (年) は、2 0 (年、耐用年数) / ストレス割合であり、 $20 / 0.65 = 31$ (小数点以下の第一位を四捨五入) となる。

40

【 0 0 7 8 】

図 1 0 及び図 1 1 を比較して、乱流評価指標を用いて寿命予測した結果、寿命は 3 1 年であった。1 2 方位の実測疲労 (D E L) 線を用いて寿命予測した結果 (寿命 2 9 年) とおおむね一致した。

50

【0079】

以上より、風速と風速標準偏差が、風車ストレス（蓄積疲労）に密接に関連していることが裏付けられた。さらに、風況シミュレーション、風況データ及び運転データの分析を行うことにより、風車ストレス（蓄積疲労）が大きい風向を特定することができる。さらに、実測風速と風況シミュレーション結果で得られた乱流評価指標に対応した疲労荷重式により、ブレード寿命予測が可能となる。

【0080】

この実施例を踏まえ、風力発電装置に対する乱流の影響を分析する手法の一例を説明する。風力発電装置では、通常、風況データを取得している。そのため、過去の風速、風向、風速標準偏差を得ることができる。また、過去の運転データとして、ANN、発電出力、加速度などを得ることができる。これらを利用して、風況・運転データを分析することができる。本実施例によれば、これに加えて、風況シミュレーションを実施し、複数の方位ごとに乱流評価指標を得ることができるとともに、過去の風況データを利用して、乱流評価指標に基づき疲労荷重式を選択して、風車の寿命を予測することができる。そして、風況・運転データ分析及び風車の寿命により乱流の影響を判定し、現状の保守を継続すべきか、新たな保守・運転を提案するかを判断することができる。

10

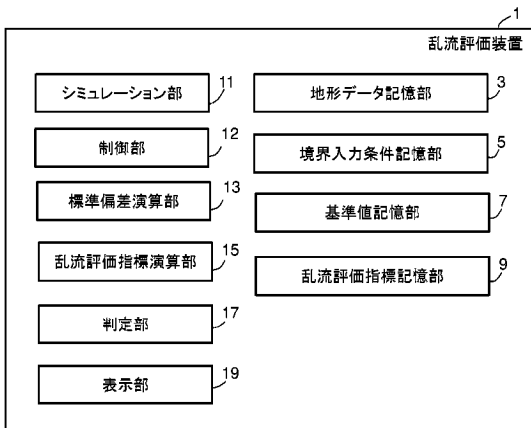
【符号の説明】

【0081】

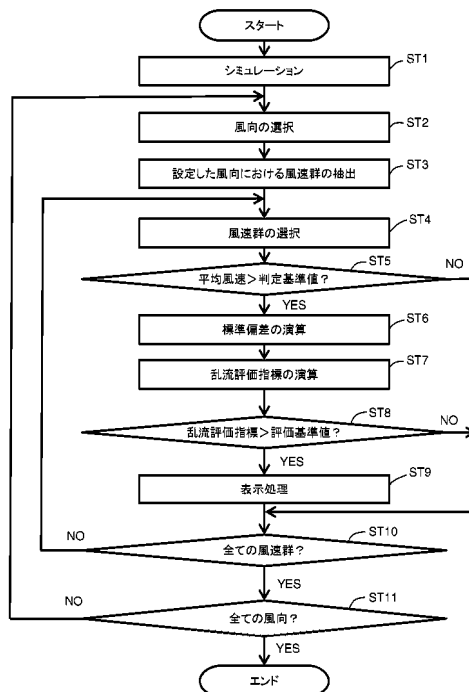
1, 21 乱流評価装置、3 地形データ記憶部、5 境界入力条件記憶部、7 基準値記憶部、9 乱流評価指標記憶部、11 シミュレーション部、12 制御部、13 標準偏差演算部、15 乱流評価指標演算部、17 判定部、19 表示部、23 実測値記憶部、25 設計DEL記憶部、27 疲労荷重式演算部、29 蓄積疲労演算部、31 寿命評価部

20

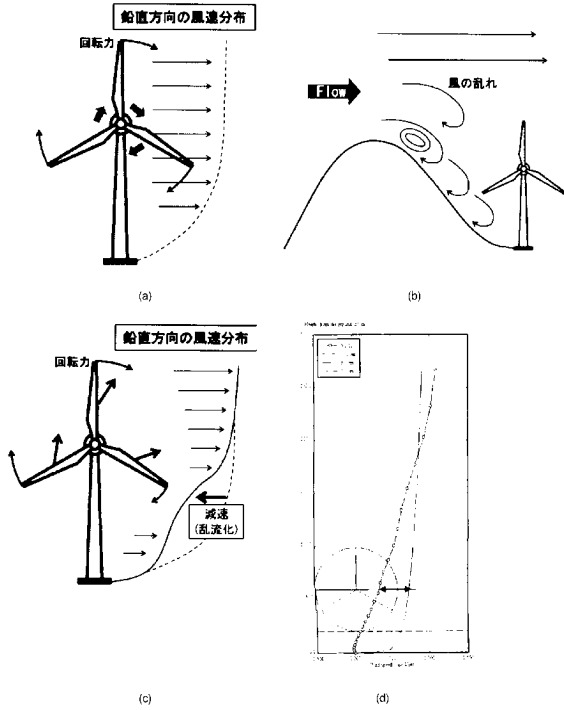
【図1】



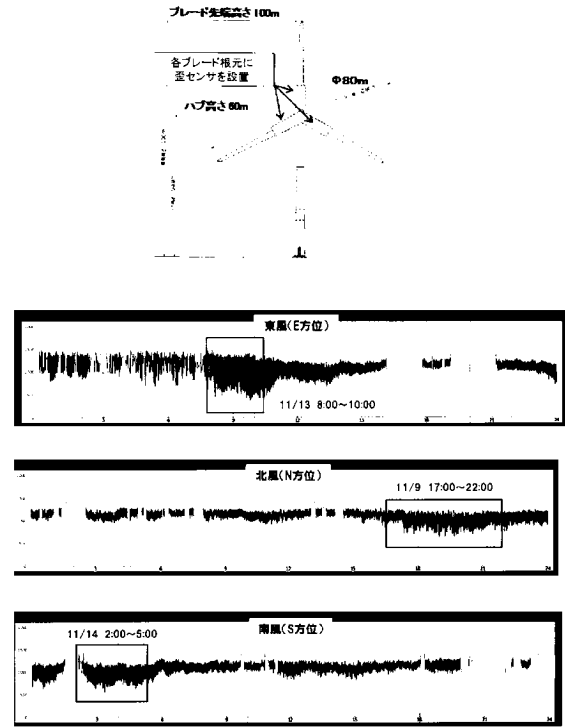
【図2】



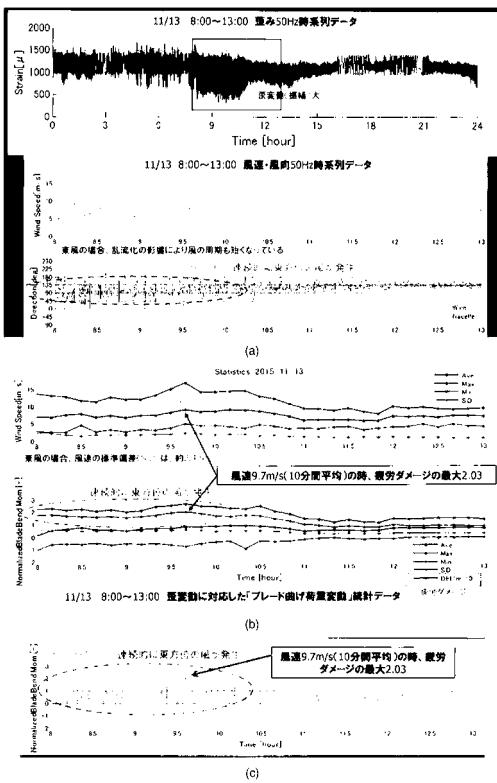
【 図 3 】



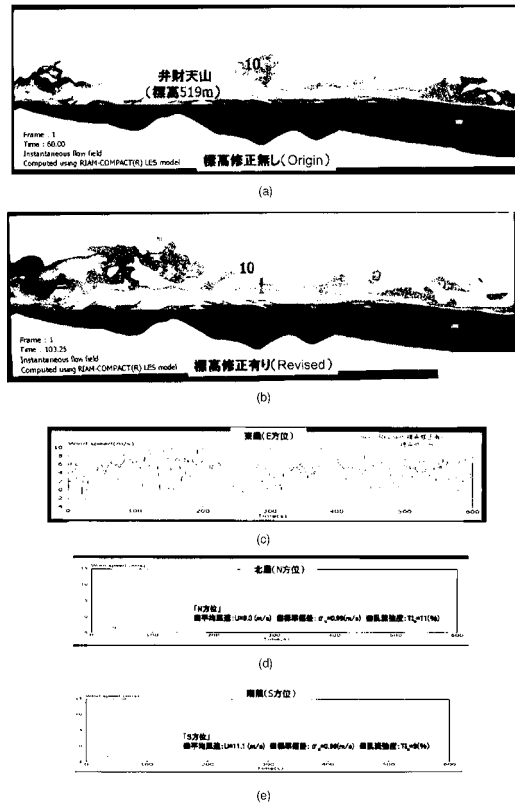
【 図 4 】



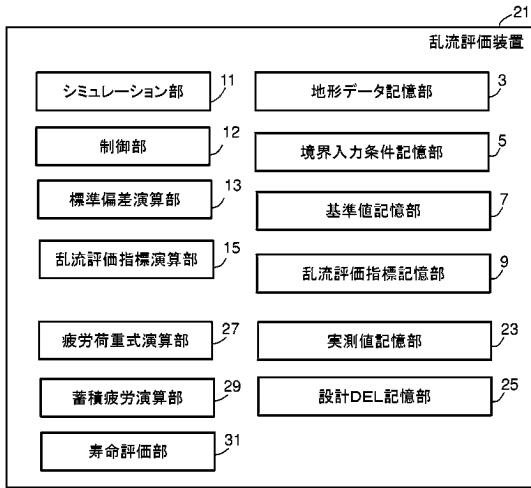
【 図 5 】



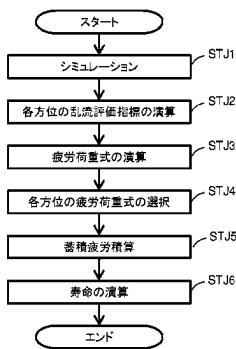
【 図 6 】



【図7】

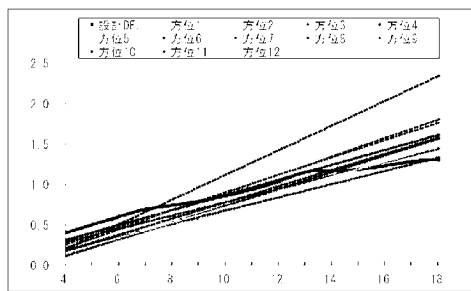


【図8】

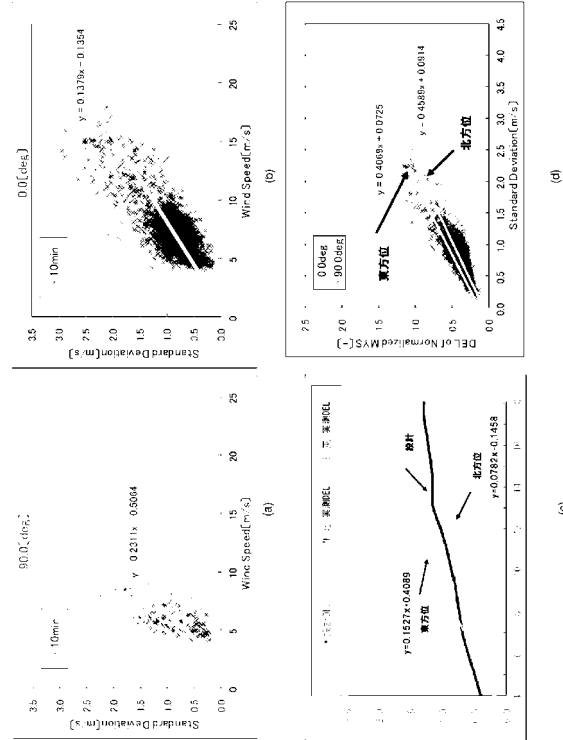


【図10】

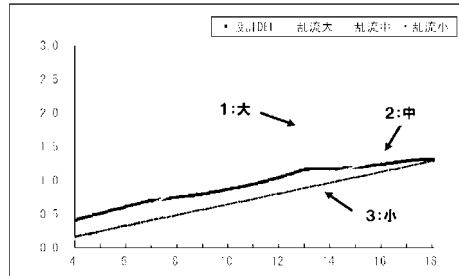
方位	方位角(deg)D	方位	実測DEL	設計DEL	ストレス割合
1	345 ≤ D < 15	1	2,633	4,574	0.58
2	15 ≤ D < 45	2	877	1,608	0.55
3	45 ≤ D < 75	3	489	721	0.68
4	75 ≤ D < 105	4	945	1,241	0.76
5	105 ≤ D < 135	5	1,634	2,131	0.77
6	135 ≤ D < 165	6	1,809	2,632	0.69
7	165 ≤ D < 195	7	790	1,140	0.69
8	195 ≤ D < 225	8	1,237	1,678	0.74
9	225 ≤ D < 255	9	260	325	0.80
10	255 ≤ D < 285	10	227	259	0.88
11	285 ≤ D < 315	11	645	701	0.92
12	315 ≤ D < 345	12	2,428	3,414	0.71
合計			13,976	20,425	0.68
20年間			279,524	408,496	0.68
寿命(年)			29		



【図9】



【図11】



方位	乱流評価指標	疲労荷重式
1	0.099	3
2	0.121	2
3	0.094	3
4	0.186	2
5	0.236	1
6	0.199	2
7	0.193	2
8	0.150	2
9	0.164	2
10	0.119	2
11	0.079	3
12	0.126	2
13	0.158	2
14	0.140	2
15	0.120	2
16	0.169	2

方位	実測DEL	設計DEL
1	2,022	3,517
2	1,113	1,878
3	340	645
4	238	494
5	788	1,031
6	530	931
7	1,854	2,742
8	870	1,292
9	485	782
10	946	1,288
11	608	909
12	43	71
13	112	196
14	144	246
15	1,897	2,527
16	1,194	1,876
合計	13,184	20,425
20年間	263,684	408,496
寿命(年)	31	

(b)

(c)

フロントページの続き

(72)発明者 猿渡 和明

福岡県福岡市中央区渡辺通一丁目1番1号 西日本技術開発株式会社内

(72)発明者 川島 泰史

福岡県福岡市中央区渡辺通一丁目1番1号 西日本技術開発株式会社内

審査官 大屋 静男

(56)参考文献 特開2015-117682(JP,A)

米国特許出願公開第2016/0160842(US,A1)

米国特許出願公開第2015/0167637(US,A1)

中国特許出願公開第105787239(CN,A)

登録実用新案第3197903(JP,U)

特開2016-186253(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F03D 1/00-80/80

G01W 1/00