

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3962645号  
(P3962645)

(45) 発行日 平成19年8月22日(2007.8.22)

(24) 登録日 平成19年5月25日(2007.5.25)

(51) Int. Cl.

F03D 7/04 (2006.01)

F I

F03D 7/04

A

請求項の数 6 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2002-217110 (P2002-217110)  
 (22) 出願日 平成14年7月25日(2002.7.25)  
 (65) 公開番号 特開2004-60477 (P2004-60477A)  
 (43) 公開日 平成16年2月26日(2004.2.26)  
 審査請求日 平成16年7月9日(2004.7.9)

(73) 特許権者 000006208  
 三菱重工業株式会社  
 東京都港区港南二丁目16番5号  
 (74) 代理人 100102864  
 弁理士 工藤 実  
 (72) 発明者 平井 滋登  
 長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号  
 三菱重工業株式会社長崎研究所内  
 (72) 発明者 柴田 昌明  
 長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号  
 三菱重工業株式会社長崎研究所内

審査官 上田 真誠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風車の運転制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

風車と、  
 風速を観測する風速計と、  
 風向を観測する風向計と、  
 前記風車の運転を制御する運転制御器とを備え、  
 前記運転制御器は、風の乱れ強度に基づき風車の運転を停止する運転ルールを有する  
 風車の運転制御装置。

【請求項2】

観測された前記風向が前記乱れ強度が大きくなる領域にあった場合に前記風車の運転を停止する請求項1記載の風車の運転制御装置。

10

【請求項3】

観測された前記風向が前記乱れ強度が大きくなる領域にあり、且つ観測された前記風速が設定値よりも大きい場合に前記風車の運転を停止する請求項1記載の風車の運転制御装置  
 。

【請求項4】

観測された前記風向が前記乱れ強度が大きくなる領域にあり、且つ風車出力が設定値より大きい場合に前記風車の運転を停止する請求項1記載の風車の運転制御装置。

【請求項5】

観測された風の前記乱れ強度が設定値を越えた場合に前記風車の運転を停止する請求項1

20

記載の風車の運転制御装置。

【請求項 6】

前記乱れ強度はリアルタイムの計測値である

請求項 1 ～ 5 から選択される 1 請求項の風車の運転制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、風車の運転制御装置に関し、特に、疲労寿命が考慮される風車の運転制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

炭酸ガスの排気は、国際的に量的に規制される。風力発電は、炭酸ガス排気量が零である点で将来的に有望である。風力発電装置は、半径と質量とがともに巨大である風車を構成している。風力を受けるそのような風車は、ダイナミックに変動荷重を受ける。風の運動エネルギーは、風車の機械的エネルギーを介して電気的エネルギーに変換される。発電量を適正な値に制御するためには、可変ピッチプロペラがしばしば用いられ、そのプロペラに作用するトルクが変化する。風の状態に対応して過負荷を回避する技術は、特表 2001-511497 号で知られている。

【0003】

風車の荷重設計では、暴風時のような一時的な最大荷重に耐えるための設計の他に、通常の運転状態でプロペラに作用する荷重の変動に対処することができる疲労設計が重要である。その荷重の変動は、一般的に風の変動の大小に対応して増減する。風の変動の大小を表す主要なパラメータとして、風速の乱れ強度が存在する。その乱れ強度は、風車建設地の気象条件と地形条件により大きく変動し、地点ごとにまちまちであり一定でなく、風向と風速に強く依存している。このような風の変動を受ける風車の設計には、疲労寿命の点で厳しい設計条件が過度に要求される。

【0004】

風車の設計では、建設地点ごとに異なる荷重条件で設計を変更することは、必ずしも合理的ではなく、風の条件の厳しさを分類するいくつかのクラスごとに算出される荷重に耐えるように設計を変更することが一般に行われる。風車の機種選択には制約があり、建設地点の風の条件が厳しい場合には、それより緩い条件で設計された風車を建設したいという要望が出る場合がある。このような要望がある場合には、強度設計のような物理的設計を変更しないことが求められる。

【0005】

物理的設計を変更しないで荷重変動に対して対処することができる技術の確立が求められる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、強度設計のような物理的設計によらずに荷重変動に対して対処する技術を確立することができる風車の運転制御装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

その課題を解決するための手段が、下記のように表現される。その表現中に現れる技術的事項には、括弧 ( ) つきで、番号、記号等が添記されている。その番号、記号等は、本発明の実施の複数の形態又は複数の実施例のうちの少なくとも 1 つの実施の形態又は複数の実施例を構成する技術的事項、特に、その実施の形態又は実施例に対応する図面に表現されている技術的事項に付せられている参照番号、参照記号等に一致している。このような参照番号、参照記号は、請求項記載の技術的事項と実施の形態又は実施例の技術的事項との対応・橋渡しを明確にしている。このような対応・橋渡しは、請求項記載の技術的事項が実施の形態又は実施例の技術的事項に限定されて解釈されることを意味しない。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 8 】

本発明による風車の運転制御装置は、風車（１又は６）と、風車（１）の運転を制御する運転制御器（３）とから構成されている。運転制御器（３）は、風車の運転ルール（１７）を有している。運転制御器（３）は、運転ルール（１７）に基づいて風車（１）の出力を制御する出力制御器（８）を構成している。運転ルール（１７）は、風車に向かう風の乱れ強度と風車の運転状態との対応関係として規定される。その対応関係として、風車（１）に向かう風の乱れ強度と風車の出力との関係が好適に例示される。その対応関係として、乱れ強度が一定値以上であれば、運転を完全に停止することが更に例示される。

## 【 0 0 0 9 】

風車運転時の荷重変動は、主に風車翼（６）が受ける風荷重の変動に対応して発生し、風車（１）の各部に伝達される。その変動荷重の大きさは、風の乱れ強度に強く依存する。風車の寿命は、乱れ強度に顕著に依存している。乱れ強度が大きくなれば、出力を低下させ、又は、運転を停止することにより、作用する荷重変動を小さくして、疲労寿命の短縮を有効に防止することができる。

## 【 0 0 1 0 】

風の乱れ強度はリアルタイムの計測値であることが好ましいが、風向の関数として予め与えられ得る。予め与えられている乱れ強度に基づいて、速やかにルールを適用する制御運転が可能である。

## 【 0 0 1 1 】

乱れ強度は、一定時間幅の過去の時系列風速の標準偏差を時系列風速の平均で割った値として適正に定義される。このように定義される乱れ強度を用いることは、風車の運転状態と疲労との関係の特徴を顕著に適正に表現していて、余寿命の延長を行うための指標として効果的である。乱れ強度を直接に計測して求めるためには、風車に流入する風を適正に評価することができる風速計が必要である。そのためには、風車に隣接したマストに風速計を設置することの他に、風車に設置されているナセル風速計を用いることが可能である。ナセル風速計で計測される風向と風速には、しばしば風車翼又はその他の機器の影響による系統的な誤差が含まれるが、そのような誤差は経験則的な知見に基づいて適正に補正され、誤差が含まれる計測値から風車に流入する時点の風速の推定値に変換することが可能であり、ナセル風速計の使用は合理的である。

## 【 0 0 1 2 】

## 【 発明の実施の形態 】

図に対応して、本発明による風車の運転制御装置は、風車が運転制御装置とともに設けられている。その風車１は、図１に示されるように、電気的接続機構２を介してその運転制御装置３に接続している。風車１は、風車塔（図示されず）に支持されるナセル４と、ハブ５と、ハブ５と一体に回転しナセル４に回転自在に支持される３枚羽根の風車翼６とから構成されている。ナセル４は、ナセル風向風速計７を自己に一体に構成している。ナセル風向風速計７は、電気的接続機構２'を介して運転制御装置３に対して観測風速Ｖと観測風向Ｄとを出力する。

## 【 0 0 1 3 】

運転制御装置３は、電気的入出力器８を構成している。電気的入出力器８は、風車１が出力する電力とナセル風速計７が出力する風速とナセル風速計７が出力する風向を受信する。電気的入出力器８は、風車翼６のピッチ角の制御と風車の運転状態を制御する制御信号を風車１に対して送信する。

## 【 0 0 1 4 】

電気的入出力器８は、ナセル風向風速計７から受信する観測風速Ｖと観測風向Ｄを時系列信号としてリアルタイムに出力する。運転制御装置３は、乱れ強度を計算する乱れ強度計算器９を構成している。時系列風速信号１１は、電気的入出力器８から出力されて乱れ強度計算器９に入力する。乱れ強度計算器９は、一定時間幅の時系列風速信号１１に基づいて、乱れ強度Ｔを計算する：

$T = \text{一定時間幅の時系列風速に基づく標準偏差} / \text{その時系列風速に基づく平均風速}$

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 5 】

運転制御装置 3 は、乱れ強度風向対応器 1 2 を構成している。乱れ強度計算器 9 から出力される乱れ強度信号 1 3 は、電気的入出力器 8 から出力される時系列風向信号 1 4 とともに乱れ強度風向対応器 1 2 に入力する。乱れ強度風向対応器 1 2 は、乱れ強度  $T$  と風向  $D$  を対応化して乱れ強度・風向対応テーブルを作成する。乱れ強度・風向対応テーブルは、風向  $D$  を変数とする乱れ強度分布関数  $T(D)$  1 5 で表される。

## 【 0 0 1 6 】

運転制御装置 3 は、運転ルール作成器 1 6 を構成している。乱れ強度風向対応器 1 2 から出力される乱れ強度分布関数  $T(D)$  1 5 は、運転ルール作成器 1 6 に入力する。運転ルール作成器 1 6 は、乱れ強度分布関数  $T(D)$  1 5 に基づいて運転ルール 1 7 を作成する。運転ルール 1 7 は、乱れ強度分布関数  $T(D)$  1 5 に基づいて運転計画策定者により作成されることが可能である。運転ルール 1 7 は、電気的入出力器 8 に入力される。電気的入出力器 8 が、運転ルール 1 7 に基づいて風車 1 に対し運転制御信号を送信し、又は、風車 1 の運転を自ら制御する。

## 【 0 0 1 7 】

図 2 は、風車が建設されているある地域又はある地点の南側の乱れ強度分布関数  $T(D)$  1 5 を極座標系で例示している。半径方向座標軸は乱れ強度  $T$  を示し、回転方向座標  $D$  は基準半径方向線に対する角度（方位）である。その地点では、 $E$  方向（西方向）と  $SW$  方向（南西方向）の間の方向の風向  $D$  の風の乱れ強度  $T$  は、概ね一定であるが、 $WSW$  方向（西南西方向）の風向  $D$  の風の乱れ強度  $T$  は、他の方向の風向  $D$  の風の乱れに対して大きい。このような乱れ強度分布  $T(D)$  の発現は、 $WSW$  方向から風車に向かう風上に風の流れを乱す障害物体（例示：山、ビル）の存在に起因している。

## 【 0 0 1 8 】

図 3 は、風速の時系列風速信号 1 1 を示している。乱れ強度分布関数  $T(D)$  1 5 は、長期の時系列風速信号 1 1 に基づいて作成されている。風速データは、風車の建設前に計測されることが可能であり、風車建設の後にはその風車が自ら有しているナセル風向風速計 7 により計測され得る。過去の短期又は過去の長期の時系列風速信号 1 1 は、時期的に変動することがあり得る。その場合には、建設前に一般的に計測される 1 年間の実測風速により季節ごとの乱れ強度分布関数  $T(D)$  1 5 が作成される。ナセル風速計 7 で計測される風向と風速には、しばしば風車翼 6 その他の影響による系統的な誤差が含まれるが、そのような誤差は経験則的な知見に基づいて補正され、誤差が含まれる計測値から風車に流入する時点の風速の推定値に変換される。ナセル風速計とは別に、絶対風速を計測する風速計を風車塔とは別体に設けることは好ましい。

## 【 0 0 1 9 】

図 4 ( a ) , ( b ) は、風速に対する出力（発電量：単位  $W$  ）と荷重の関係を示している。図 4 ( a ) に示されるように、出力は、ある風速の範囲で風速  $V$  の 3 乗に概ね比例する。図 4 ( b ) に示されるように、荷重は、ある風速の範囲で風速  $V$  の 2 乗に概ね比例する。図 4 ( b ) は、荷重変動を示している。荷重は、風速と乱れ強度に強く影響するが、出力は風速に強く依存し乱れ強度に依存しない。従って、風車の疲労寿命は風速だけでなく乱れ強度に強く依存する。このような疲労寿命の依存性から、下記の運転ルールが運転ルール作成器 1 6 又は人により作成される。

## 【 0 0 2 0 】

運転ルール 1 :

運転の制限は、現在の風向に基づいて実行される。風向が極座標系で規定される角度範囲にあれば、発電を停止する。その角度範囲は、乱れ強度分布関数  $T(D)$  1 5 に基づいて、乱れ強度が大きくなる領域として決定されている。

## 【 0 0 2 1 】

運転ルール 2 :

運転の制限が現在の風向と風速の両方に基づいて実行される。風向が極座標系で規定される角度範囲にあり、且つ、風速が設定値より大きい場合には、運転を停止する。運転ル

10

20

30

40

50

ル 2 では、運転ルール 1 に対して、判定の条件として風速が追加されている。図 4 ( a ) に示されるように、出力は、風速に対して概ね一定である関係がある。風速に代えられて、出力が運転制御の判定条件として用いられる。

【 0 0 2 2 】

運転ルール 3 :

運転の制限は、現在の風向と出力の両方に基づいて実行される。風向が極座標系で規定される角度範囲にあり、且つ、出力が設定値より大きい場合には、運転を停止する。運転ルール 3 は、運転ルール 2 に対して、判定の条件が風速から出力に変更されている。ナセル風速計のみが風速の情報として利用可能である場合には、その計測精度は劣っているので、ナセル風速計の風速に代えて、出力を判断基準とすることにより、運転制限の精度が向上する。

10

【 0 0 2 3 】

運転ルール 4 :

風の乱れ強度が設定値を越えれば、運転を停止する。疲労寿命に第 1 義的に強く影響するファクターは、乱れ強度である。乱れ強度は、同一風向であっても気象条件により増減する場合があり、現在の風の乱れ強度を精度よく知ることができれば、それを判断基準として用いることが好ましい。

【 0 0 2 4 】

【発明の効果】

本発明による風車の運転制御装置は、物理的設計でなく自然条件に対応する人為的ルールの採用により、要求される風車の疲労寿命を確保することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 は、本発明による風車の運転制御装置の実施の形態を示す機器付き回路ブロック図である。

【図 2】図 2 は、乱れ強度の風向依存性を示す座標系図である。

【図 3】図 3 は、波形を示すグラフである。

【図 4】図 4 ( a ) , ( b ) は、出力と荷重をそれぞれに示すグラフである。

【符号の説明】

1 又は 6 ... 風車

3 ... 運転制御器

6 ... 風車翼

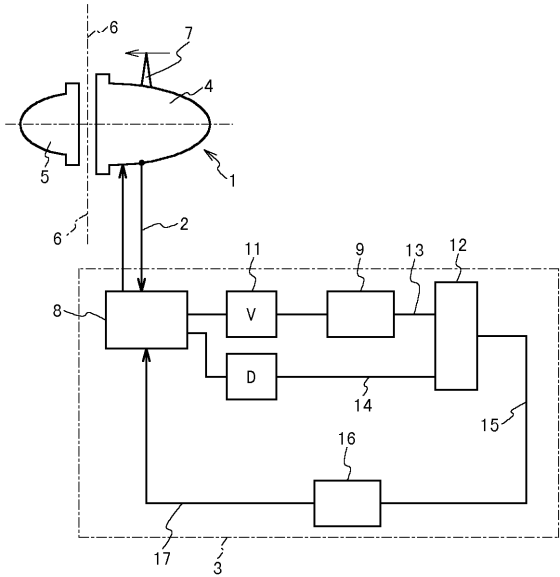
8 ... 出力制御器

1 6 ... ルール作成器

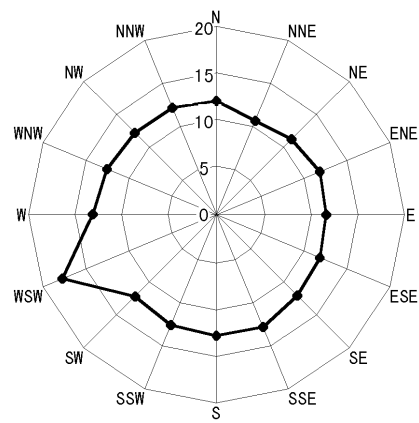
1 7 ... 運転ルール

30

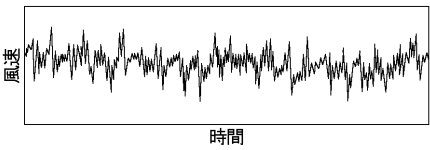
【 図 1 】



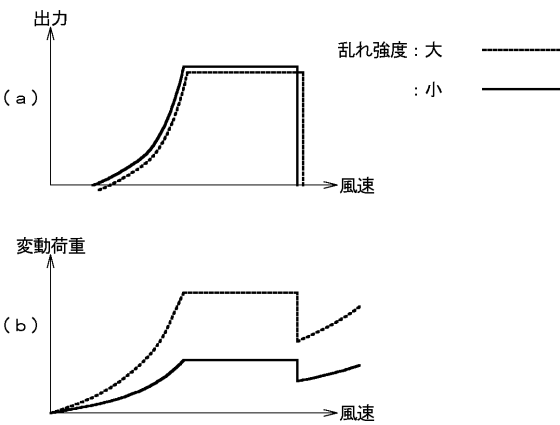
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2000-087841(JP,A)  
特開昭62-121872(JP,A)  
特表2002-509222(JP,A)  
国際公開第01/86142(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
F03D 7/00-7/04