

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6282187号
(P6282187)

(45) 発行日 平成30年2月21日(2018.2.21)

(24) 登録日 平成30年2月2日(2018.2.2)

(51) Int.Cl.

FO3D 7/04 (2006.01)
FO3D 80/00 (2016.01)

F 1

FO3D 7/04
FO3D 80/00

E

請求項の数 11 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2014-137392 (P2014-137392)
 (22) 出願日 平成26年7月3日 (2014.7.3)
 (65) 公開番号 特開2016-14362 (P2016-14362A)
 (43) 公開日 平成28年1月28日 (2016.1.28)
 審査請求日 平成28年9月5日 (2016.9.5)

前置審査

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 飛永 育男
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
 (72) 発明者 清木 荘一郎
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
 審査官 富永 達朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】風車及びその停止方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のブレードを有しピッチ角を独立に制御可能とした風車であって、
 前記ピッチ角を制御する制御装置は、
 前記複数のブレードの一部が固着した状況で健全なブレードのピッチ角をフェザー状態に移行させて前記健全なブレードに作用する流体力によりブレーキを掛けて風車を運転状態から停止する際に、前記健全なブレードのピッチ角を流入角が大きくなる方向に回転させて前記健全なブレードがフェザー状態になるように制御することを特徴とする風車。

【請求項 2】

請求項1に記載の風車において、
 前記ピッチ角を制御する制御装置は、
 前記風車を停止する際の前記ブレードのピッチ角または前記ピッチ角と相關関係を有する状態量を判断指標として、前記ピッチ角または前記状態量が所定値を超えるときには、前記ピッチ角を流入角が小さくなる方向に回転させ、流入角がゼロの状態を経由してフェザー状態になるように制御することを特徴とする風車。

【請求項 3】

請求項1に記載の風車において、
 前記風車はダウンウインド型風車であることを特徴とする風車。

【請求項 4】

複数のブレードを有しピッチ角を独立に制御可能とした風車の停止方法であって、

10

20

前記複数のブレードの一部が固着したと判断した場合に、
健全なブレードのピッチ角をフェザー状態に移行させて前記健全なブレードに作用する流体力によりブレーキを掛けて風車を運転状態から停止する際に、前記健全なブレードのピッチ角を流入角が大きくなる方向に回転させて前記健全なブレードがフェザー状態になるようにネガティブフェザー動作を行うことを特徴とする風車の停止方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の風車の停止方法において、
 前記複数のブレードの各ピッチ角を計測し、各ピッチ角の指令値とそれぞれ比較して、前記ブレードの固着を判断することを特徴とする風車の停止方法。

【請求項 6】

請求項 4 に記載の風車の停止方法において、
 前記風車を停止する際の前記ブレードのピッチ角または前記ピッチ角と相關関係を有する状態量を判断指標として、前記ピッチ角または前記状態量が所定値を超えるときには、前記ピッチ角を流入角が小さくなる方向に回転させ、流入角がゼロの状態を経由してフェザー状態になるようにポジティブフェザー動作を行うことを特徴とする風車の停止方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の風車の停止方法において、
 複数のブレードのピッチ角の平均値を判断指標として前記ネガティブフェザー動作と前記ポジティブフェザー動作の使い分けを行うこと特徴とする風車の停止方法。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の風車の停止方法において、
 複数のブレードのピッチ角の最大値を判断指標として前記ネガティブフェザー動作と前記ポジティブフェザー動作の使い分けを行うこと特徴とする風車の停止方法。

【請求項 9】

請求項 6 に記載の風車の停止方法において、
 複数のブレードのピッチ角の最小値を判断指標として前記ネガティブフェザー動作と前記ポジティブフェザー動作の使い分けを行うこと特徴とする風車の停止方法。

【請求項 10】

請求項 6 に記載の風車の停止方法において、
 風速を判断指標として前記ネガティブフェザー動作と前記ポジティブフェザー動作の使い分けを行うこと特徴とする風車の停止方法。

【請求項 11】

請求項 6 に記載の風車の停止方法において、
 風車の回転数を判断指標として前記ネガティブフェザー動作と前記ポジティブフェザー動作の使い分けを行うこと特徴とする風車の停止方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は風車及びその停止方法に係り、特に、複数のブレードのピッチ角をそれぞれ独立に可変にできる風車及びその停止方法に関する。

【背景技術】

【0002】

風車（風力発電機）は、環境に優しくリスクの少ない発電方法として近年注目を集めているが、一方で発電コストが高く、安全性を確保しながらより一層のコスト削減が求められている。

従来、例えば、特許文献 1～3 に記載のように、ピッチ角やヨー角を制御して暴風時の待機形態を工夫することにより暴風時設計荷重を軽減することが提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

20

30

40

50

【特許文献1】特開2006-336505号公報

【特許文献2】特開2007-64062号公報

【特許文献3】特開2007-16628号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来は、暴風時の待機形態などを工夫することにより設計荷重を軽減することについて検討されているが、様々な要因で風車を停止する際に、風車が停止する過程で風車（特にブレード）に加わる荷重や荷重のアンバランスを低減することについては特に考慮されていない。すなわち、従来、風車を停止する際には、ブレードがフェザー状態になるようにブレードのピッチ角を制御しており、このピッチ角の制御は、ピッチ角を相対流入角（ブレードに流入する風の相対流入角、以下、単に流入角という）が小さくなる方向に回転させ、流入角がゼロの状態を経由して、最終的にブレードがフェザー状態になるようにしている（最終的にブレードの後縁が風下側に位置している。）。

10

【0005】

ところで、独立して各ブレードのピッチ角制御（独立ピッチ制御）を行う風車において、1枚のブレードの角度が運転中に固着した異常の場合、風車は停止動作を行う。この場合にも、従来は、固着していないブレード（健全なブレード）のフェザー動作（ピッチ角を相対流入角が小さくなる方向に回転させる通常のフェザー動作）により風車を停止させている。

20

【0006】

しかしながら、本発明者らの検討によれば、運転中に1枚のブレードが固着した場合に、風車を停止する際、通常のフェザー動作により風車を停止すると、風車のロータ面外方向に力のアンバランスが生じ、風車を危険な状態にさせてしまうことを見出した。詳細は後述するが、固着したブレードは運転時のブレードピッチ角から動かないため、風下側に流体力を発生させつづけ、一方で健全なブレードはフェザー方向にピッチ角を移動するため、風上側に流体力を発生させて停止を行うことになる。このことで、ロータ全体では、ロータ面外方向に力のアンバランスが生じ、風車を危険な状態にさせてしまう可能性がある。

【0007】

30

本発明の目的は、ブレードのピッチ角を独立に可変にできる風車において、ブレードの一部（例えば1枚）が固着した状況で風車を停止する際に、風車が停止する過程で風車のロータ面外方向に生じる得る力のアンバランスを低減することが可能な風車及びその停止方法を提供することある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、ブレードの一部（例えば1枚）が固着した状況で風車を停止する際に、健全なブレード（固着していないブレード）のピッチ角を流入角が大きくなる方向に回転させてブレードがフェザー状態（最終的にブレードの後縁が風上側に位置）になるようにすることを特徴とする。

40

【0009】

なお、本明細書では、ブレードのピッチ角を流入角が大きくなる方向に回転させてブレードがフェザー状態になるようにし、ブレードの後縁を風上側に位置させるピッチ角の制御を、ネガティブフェザーと称する。また、本明細書では、通常のフェザー動作、すなわち、ピッチ角を流入角が小さくなる方向に回転させ、流入角がゼロの状態を経由してフェザー状態になるようにし、ブレードの後縁を風下側に位置させるピッチ角の制御を、ポジティブフェザーと称する。

【0010】

また、本発明は、風車を停止する際のブレードのピッチ角（または風速などピッチ角と相關関係を有する状態量）が所定値を超えるときには、健全なブレードは、ネガティブフ

50

エザーではなくポジティブフェザーとすることを特徴とする。

【0011】

また、本発明はダウンウインド型風車とすることが好ましい。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、ブレードの一部（例えば1枚）が固着した状況で風車を停止する際に、風車が停止する過程で風車のロータ面外方向に生じる得る力のアンバランスを低減することが可能となる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

10

【0013】

【図1】本発明が適用される風車の機器構成と制御対象を示す図。

【図2】アップウインド型風車において1翼固着時の停止時にポジティブフェザーとした場合にブレード及びロータ全体に作用する流体力を説明する図。

【図3】アップウインド型風車において1翼固着時の停止時にネガティブフェザーとした場合にブレード及びロータ全体に作用する流体力を説明する図。

【図4】ブレードに作用する流体力の発生方向を説明する図

【図5】ダウンウインド型風車において1翼固着時の停止時にネガティブフェザーとした場合にブレード及びロータ全体に作用する流体力を説明する図。

【図6】本発明の実施例1の制御ブロックを示す図。

20

【図7】ネガティブフェザーにおけるブレードに作用する流体力を説明する図。

【図8】ネガティブフェザーとポジティブフェザーの使い分けを説明する図。

【図9】本発明の実施例2の制御ブロックを示す図。

【図10】本発明の実施例3の制御ブロックを示す図。

【図11】本発明の実施例4の制御ブロックを示す図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。

【0015】

30

先ず、図1を用いて、本発明が適用される風車の機器構成と制御対象の一例を説明する。本発明が適用される大型の風力発電機（定格出力100kW以上）は、基本的に無人での自動運転を行い、発電した電力は系統に接続する。

風車は、複数のブレード1、ブレード1が取り付けられたハブ2と、ハブ2に接続された主軸3と、主軸3の回転を增速する增速機4と、增速機4に接続され発電を行う発電機5と、主軸3を回転可能に支持し增速機4や発電機5を収容するナセル6と、ナセル6を回転自在に支持するタワー7を備える。

また、風車は、風向風速計12、発電機5の回転数を計測する回転数センサ13、ナセル6のヨー角を計測するヨー角センサ14などを備え、これらのセンサの出力は、タワー7内に設置された風車制御盤15に送られる。

風車制御盤15は、外部からの制御指令や各センサからの出力に基づいて、風車内の制御対象を制御し、風車の無人での自動運転を行う。制御対象としては、ピッチ制御装置9（ピッチ駆動機構8）、ヨー駆動機構10、電力制御装置16、主遮断器17、及び、補機群19（補機としては例えばロータブレーキ11や、図示を省略するが油圧ユニットや冷却ユニットなどを含む）などである。ピッチ制御装置9（ピッチ駆動機構8）はブレード1の角度を変更する。ヨー駆動機構10はナセル6全体の向きを変更する。電力制御装置16は風車の電力（または回転トルク）を調整する。主遮断器17は系統との電気的な接続を担う。

40

また、風車は各センサにより各部の状態を監視しており、風車制御盤15により異常を検知した場合、又は風車操作員による手動操作（非常停止ボタン18を押して風車制御盤15に停止指令）で発電を中止し、停止動作を行う。本発明では、異常として、ブレード

50

が固着した場合を想定している。

【0016】

次に、本発明に至った経緯について図2～図5、図7、図8を用いて詳細に説明する。

後述のように、本発明はダウンウインド型風車に好適なものであるが、アップウインド型風車の風車停止時におけるブレードに作用する流体力の状況を例として説明する。

運転時はブレードには揚力が負圧面側に発生するような角度で運転を行う（図4の「運転時」参照）。このとき、流体力（スラスト）は風下側向きに発生する（図2の「運転時」参照）。また、停止時には、通常のフェザー動作では、ブレードのピッチ角は、ブレードと風の相対流入角が小さくなる方向に移動し、揚力が正圧面側に発生するようにしてブレーキを掛ける（図4の「フェザー時」参照）。このとき、流体力（スラスト）は風上側向きに発生する（図2の「停止時」のポジティブフェザーさせているブレードを参照）。

【0017】

ブレードの一つが固着した状態で風車が停止動作を行うと、固着した翼は運転時のブレードピッチ角から動かないため、風下側に流体力を発生させつづける。一方で、健全な翼はフェザー方向にピッチ角を移動するため、風上側に流体力を発生させて停止を行う。このことで、図2に示すように、ロータ面外方向に力のアンバランスが生じ、風車を危険な状態にさせてしまう。

【0018】

そこで、この課題のために、本発明では、風車停止時の健全なブレードのピッチ角の回転方向を逆にしてブレードがフェザー状態に移行するようにしている（ネガティブフェザー）。図3を用いてこのネガティブフェザーの際にブレードに作用する流体力を説明する。なお、風車の運転時のブレードに作用する流体力は図2と同様である。

【0019】

ブレードの一つが固着した状態で風車の停止動作を行う際に、ネガティブフェザーを行う。ネガティブフェザーは、ピッチ角を流入角が大きくなる方向に回転させることで、図4の「ネガティブフェザー時」に示すように、翼を失速させ揚力を低下させ、また抗力を増大させることで、流体力を風下側の面外方向に発生させながらブレーキを掛けるという方法である。流体力が風下側の面外方向に発生するため、ネガティブ フェザーを行ったブレードには、図3に示すように、流体力（スラスト）が風下側を向く。これによって、1枚のブレードが固着した場合に、固着ブレードに生じ続ける風下側の荷重と同じ方向の流体力を健全なブレードにも発生させながら風車を停止することができる。すなわち、風車停止時のロータ面外方向の力のアンバランスを低減することが出来る。

【0020】

上述の説明では、アップウインド型風車を例として説明したが、本発明は、ダウンウインド型風車に適用することにより優れた効果を発揮する。図3及び図5を用いてこれを説明する。

ブレードには、流体力（スラスト）と同時に、鉛直下向きの重力、コーン角を浅くする方向への遠心力も同時に発生する。アップウインド型風車では、風車の停止時、ネガティブフェザー動作を行う健全なブレードには、図3に示すように、ロータ面外方向の荷重ベクトルが、流体力（スラスト）・遠心力・重力共に同じ方向を向いている。このため、ブレードに作用する荷重が大きくなり、翼の構造設計としては不利である。

一方、ダウンウインド型風車では、図5に示すように、ダウンウインド型風車においても、ネガティブフェザー動作を行う健全なブレードには、アップウインド型風車のブレードに作用する流体力と同様な流体力が発生し、ロータ全体に作用する荷重のアンバランスを低減することができる。そして、ダウンウインド型風車では、図5に示すように、流体力（スラスト）に対して遠心力が逆の面外方向に向くため、これらの力が互いに相殺される。そのため、アップウインド型風車と比べてダウンウインド型風車の方がブレードに作用する荷重が小さくなり、翼の構造設計としては有利である。また、ネガティブフェザー動作では、ブレードを風下側に曲げる荷重を発生するが、アップウインド型風車の場合は

10

20

30

40

50

、タワーとの接触の可能性があるため、接触が生じないような設計が必要となる。ダウンウインド型風車にすることで、ロータの風下側に障害物がないため、ブレードの接触という問題が生じない利点がある。

【0021】

また、本発明者らの検討によれば、上述のネガティブフェザーの制御には次のような課題がある。これを図7における「C ネガティブフェザー（定格風速超え）」を参照して説明する。すなわち、風車は風速に応じて最適なピッチ角で運転をするが、風速が風車の定格風速を超えている場合、発電出力を一定に保つために、ピッチ角をフェザー側（流入角が小さくなる側）に変化させ、流体力を減じて風を逃がしながら運転を行う。このピッチ角を大きくした運転状態からネガティブフェザーによる停止動作を行うと、その停止過程で一時的に流体力が増加し（高揚力点を通過し）、回転トルクが増大してしまう。この現象は風車の停止動作においては、過回転を起こすことになる。

10

【0022】

そこで、本発明者らは、図8に示すように、風車を停止する際の風車の運転状態において、健全なブレードに対して行うネガティブフェザーとポジティブフェザーの制御を使い分けることにより、この課題を解決することを見出した。例えば、ピッチ角が浅い場合、ネガティブフェザー動作を行い、ピッチ角が所定値を超える場合には、ポジティブフェザー動作を行うようとする。

風速が定格風速を超えている場合、上述したように、ピッチ角がフェザー側（流入角が小さくなる側）に変化させられており、風速が定格風速以下におけるピッチ角よりも大きくなっている。すなわち、定格風速よりも十分に高い風速では、上述したように、エネルギーを逃がすためにピッチ角を大きくしている。風速は場所により変わり時間によっても変化し、また、様々な条件により、一概には言えないが、例えば、0～7°では、ネガティブフェザー動作を行い、7°を超える場合には、ポジティブフェザー動作を行うようとする。言い換えれば、定格風速付近では、ネガティブフェザー動作を行い、定格風速よりも十分高い風速では（ネガティブフェザーを行うことにより過回転の問題が大きくなる場合には）ポジティブフェザー動作を行うものである。

20

【0023】

なお、ピッチ角が所定の閾値を超える時（フェザー寄りに位置している場合）、停止動作はポジティブフェザーとなってしまうが、図8に示すように、そのときの固着ブレードもフェザー寄りに位置しているため、流体力自体が制限されている。このため、ポジティブフェザーを行ってもロータ全体に作用する荷重のアンバランスは大きくならないので問題にならない。

30

【0024】

また、ピッチ角は、風速や風車の回転数を考慮して制御するものであるので、すなわち、風速や風車の回転数はピッチ角と相関関係を有する状態量と言えるので、ピッチ角に代えて風速や風車の回転数を指標としてネガティブフェザーとポジティブフェザーの制御を使い分けるようにすることも可能である。

【0025】

ブレードが固着しているか否かについては、例えば、各ブレードのピッチ角を計測し、各ピッチ角の指令値と比較してピッチの固着を判定する。

40

【0026】

次に本発明のピッチ角制御方法を図6、図9～11に示す制御ブロック図を用いて説明する。

【実施例1】

【0027】

図6に本実施例の制御ブロック図を示す。本実施例では3本のブレードを有する風車を前提としている。各ブレードのピッチ角を計測し、各ピッチ角の指令値と比較してピッチの固着を判定する。いずれかの翼が固着していた場合、風車の停止動作を行う。この風車の停止動作は、上述したように、ネガティブフェザーにより行うものであり、風車制御盤

50

15 からネガティブフェザーによる停止指令をピッチ制御装置 9 に出力する。

【実施例 2】

【0028】

図 9 に本実施例の制御ブロック図を示す。本実施例は、風車を停止させる際、ネガティブフェザーとポジティブフェザーの使い分けを、ブレードのピッチ角が所定の閾値を超えているか否かで決めるようにしたものである。指標となるピッチ角としては、各ブレードのピッチ角の平均値、最大値、または、最小値を用いることができる。ピッチ角の固着を検出した際に、これらの何れかの指標が閾値を超えている場合にはポジティブフェザー指令を出力し、閾値以下の場合にはネガティブフェザー指令を出力する。

【実施例 3】

10

【0029】

図 10 に本実施例の制御ブロック図を示す。本実施例は、風車を停止させる際、ネガティブフェザーとポジティブフェザーの使い分けを、平均ピッチ角に代えて、風速を判断指標にしたものである。

【実施例 4】

【0030】

図 11 に本実施例の制御ブロック図を示す。本実施例は、風車を停止させる際、ネガティブフェザーとポジティブフェザーの使い分けを、平均ピッチ角に代えて、風車の回転数を判断指標としたものである。風車回転数の場合、風速の場合と異なり、ピッチ角との相関関係が弱い場合がある。風車回転数の場合、ピッチ角が例えば 7° 程度のとき定格回転数となるような風車に効果的に適用することができる。

20

【0031】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加、削除、置換をすることが可能である。

【符号の説明】

【0032】

30

1 : ブレード

2 : ハブ

3 : 主軸

4 : 増速機

5 : 発電機

6 : ナセル

7 : タワー

8 : ピッチ駆動機構

9 : ピッチ制御装置

10 : ヨー駆動機構

40

11 : ロータブレーキ

12 : 風向風速計

13 : 回転数センサ

14 : ヨー角センサ

15 : 風車制御盤

16 : 電力制御装置

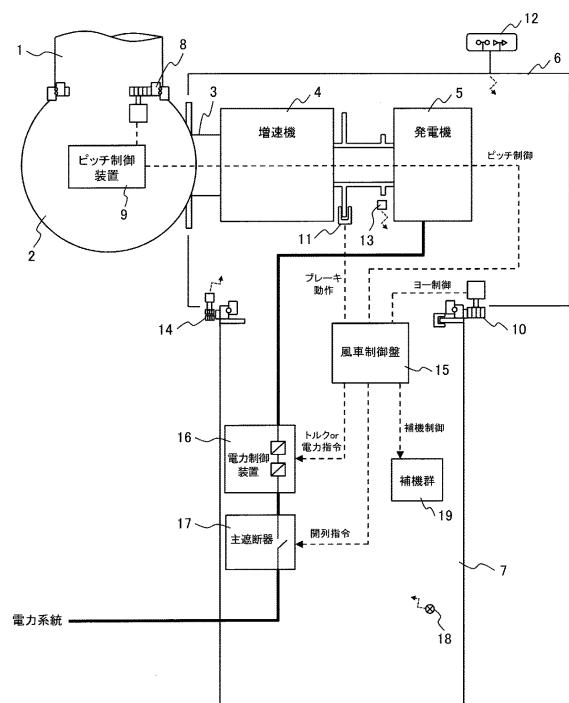
17 : 主遮断器

18 : 非常停止ボタン

19 : 補機群

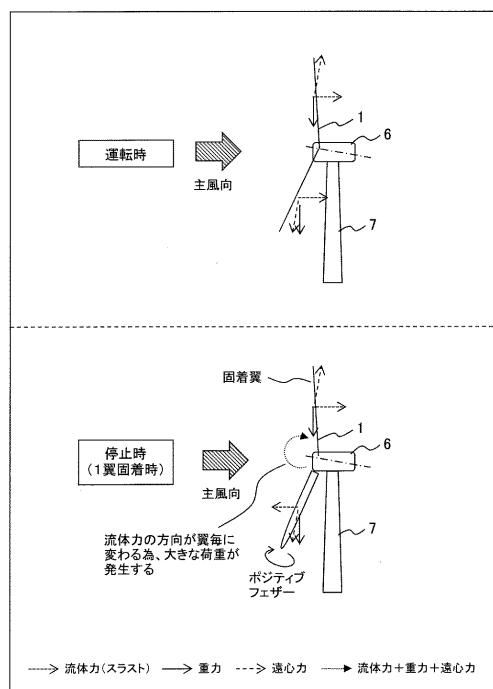
【図1】

図1



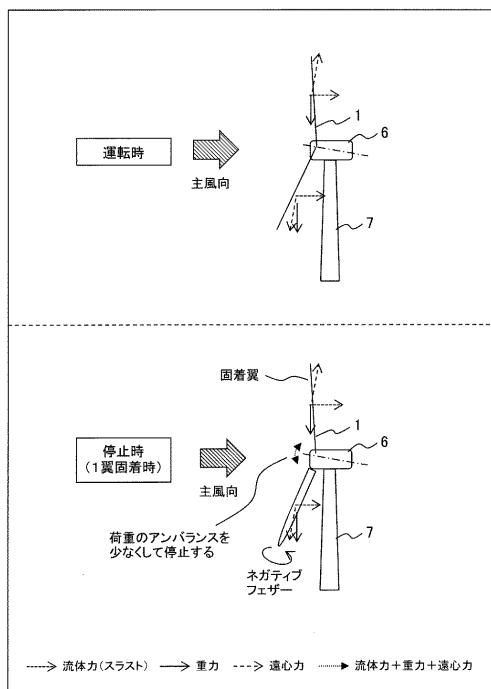
【図2】

図2



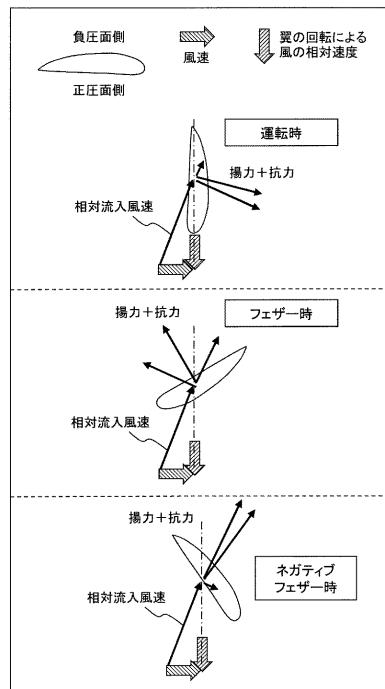
【図3】

図3

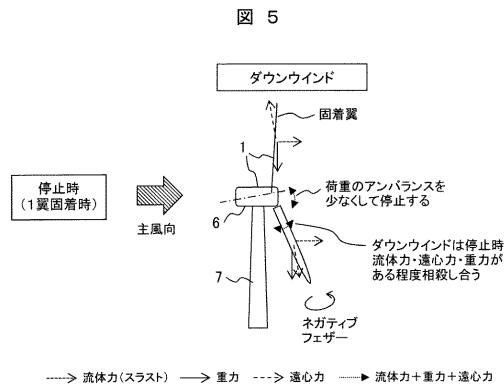


【図4】

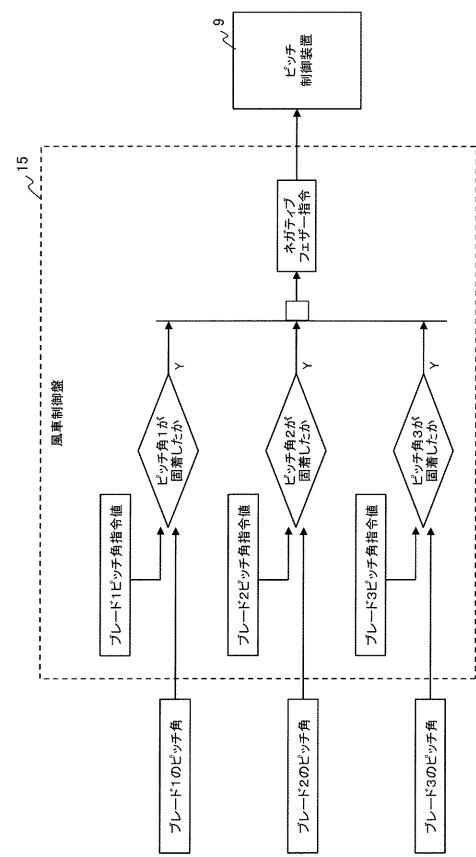
図4



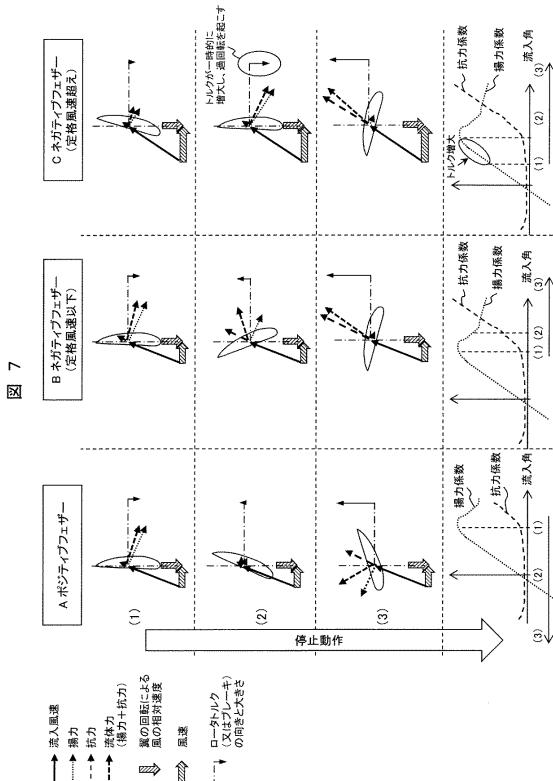
【図5】



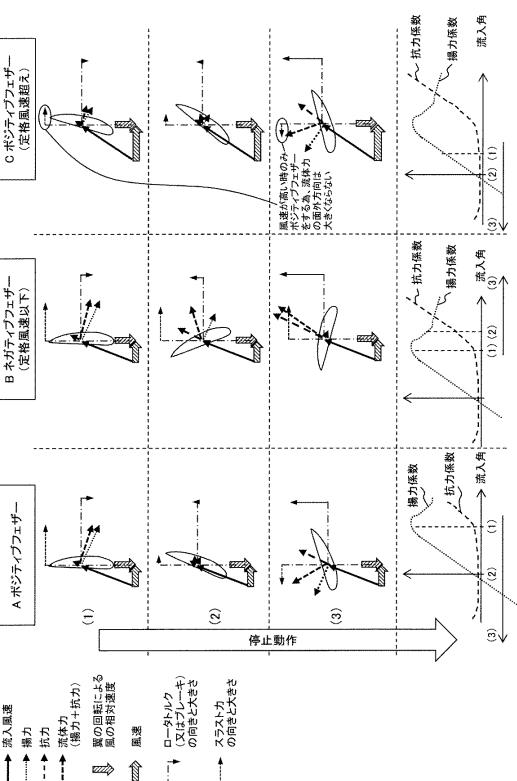
【図6】



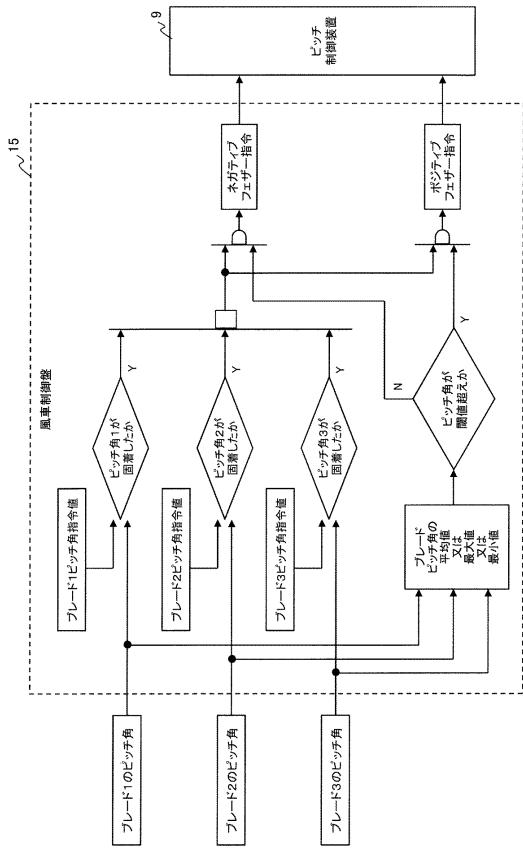
【図7】



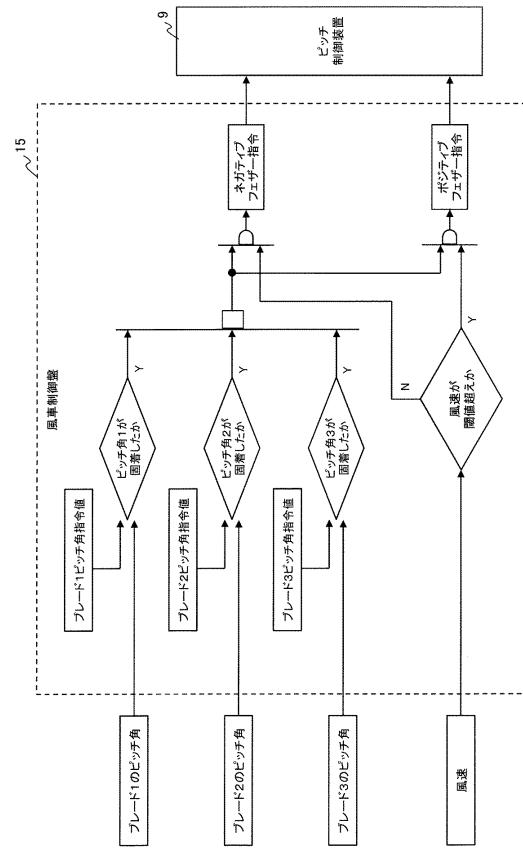
【図8】



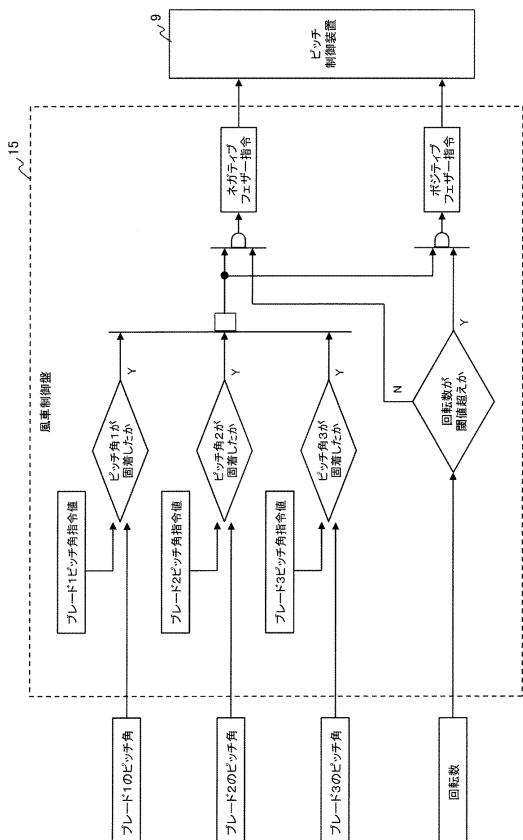
【 义 9 】



【 図 10 】



【図11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-011543(JP,A)
特開2006-016984(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 03 D 7 / 04
F 03 D 80 / 00