

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5101689号
(P5101689)

(45) 発行日 平成24年12月19日(2012.12.19)

(24) 登録日 平成24年10月5日(2012.10.5)

(51) Int.Cl. F I
F O 3 D 7/04 (2006.01) F O 3 D 7/04 K
 F O 3 D 7/04 H

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2010-507160 (P2010-507160)	(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
(86) (22) 出願日	平成22年1月27日(2010.1.27)	(74) 代理人	100112737 弁理士 藤田 考晴
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/051062	(74) 代理人	100118913 弁理士 上田 邦生
(87) 国際公開番号	W02011/092810	(72) 発明者	沼尻 智裕 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
(87) 国際公開日	平成23年8月4日(2011.8.4)	審査官	尾崎 和寛
審査請求日	平成22年2月18日(2010.2.18)	(56) 参考文献	特許第4058341 (JP, B2)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風力発電装置及び風力発電装置のヨー旋回制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

風車翼回転面の方位角情報及び風向情報を得る情報取得過程と、前記方位角情報及び前記風向情報の偏差に応じて起動時に前記風車翼回転面の前面を風上方向へ駆動するヨー旋回過程とを有する風力発電装置のヨー旋回制御方法であって、

前記ヨー旋回過程が、所定のアジマス角での風車翼ピッチ角を制御するピッチ角制御過程を含み、

前記ピッチ角制御過程は、発電機をモータとして回転させるモータリング過程を含んでいることを特徴とする風力発電装置のヨー旋回制御方法。

【請求項2】

前記ピッチ角制御過程は、アジマス角が略90度及び/または略270度にて、前後のアジマス角でのピッチ角よりもファイン側またはフェザー側のピッチ角とされることを特徴とする請求項1に記載の風力発電装置のヨー旋回制御方法。

【請求項3】

前記モータリング過程では、アジマス角が略0度及び/または略180度にて、前後のアジマス角でのピッチ角よりもファイン側またはフェザー側のピッチ角とされることを特徴とする請求項1に記載の風力発電装置のヨー旋回制御方法。

【請求項4】

前記発電機の回転数は、所定の回転数に達した後、徐々に低減されることを特徴とする請求項3に記載の風力発電装置のヨー旋回制御方法。

【請求項 5】

前記発電機の回転数は、所定の回転数に達した後、略一定に保たれることを特徴とする請求項 3 に記載の風力発電装置のヨー旋回制御方法。

【請求項 6】

風車翼回転面の方位角情報及び風向情報を得る情報取得過程と、前記方位角情報と前記風向情報との偏差に応じて、停止時に前記風車翼回転面の前面を風下方向へ駆動する停止時ヨー旋回過程とを有する風力発電装置のヨー旋回制御方法であって、

前記停止時ヨー旋回過程が、所定のアジマス角での風車翼ピッチ角を制御する停止時ピッチ角制御過程を含むことを特徴とする風力発電装置のヨー旋回制御方法。

【請求項 7】

前記ヨー旋回過程及び前記停止時ヨー旋回過程は、前記風車翼回転面を駆動する際にヨーモータを使用しないことを特徴とする請求項 6 に記載の風力発電装置のヨー旋回制御方法。

【請求項 8】

複数の風車翼を備えた風車発電ユニットがタワーに対してヨー旋回可能に支持され、変動する風向に応じて前記風車発電ユニットの正面から風力を受けて発電するように構成されている風力発電装置であって、

前記風車翼に受ける風力で駆動されて発電するとともにモータへの用途変更を可能とした発電機と、

前記風車翼のピッチ角度を個別に制御するピッチ駆動部と、

変動する風向情報を検出する風向検出部と、

請求項 6 に記載のヨー旋回制御方法で風車翼ピッチ角制御を行い、前記風車発電ユニットをヨー旋回させる動力を空力により生じさせるピッチ角度指令値を前記風車翼毎に算出して前記ピッチ駆動部へ出力する制御部と、

を備えていることを特徴とする風力発電装置。

【請求項 9】

前記制御部は、運転状況に応じて前記発電機をモータとして使用するモータリングを行ってヨー旋回力を補うことを特徴とする請求項 8 に記載の風力発電装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、風力を受けて回転する主軸が発電機を駆動して発電する風力発電装置に係り、特に、風力発電装置においてタワー上部に設置される風車発電ユニットのヨー（YAW）旋回及びヨー旋回制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

風力発電装置は、風車翼を備えたロータヘッドが風力を受けて回転し、この回転を増速機により増速するなどして、発電機を駆動することにより発電する装置である。また、風車翼を備えたロータヘッドは、タワー（支柱）の上部に設置されたナセル内の増速機及び発電機と主軸を介して連結されているので、ロータヘッドの向きを常に変動する風向きに合わせる（ロータ回転面を風向に正対させる）ため、たとえばアップウインド型の風力発電装置では、ナセルをタワー上でヨー旋回（略水平面上の旋回）させてロータヘッド正面から風を受けることが必要となる。

なお、以下の説明では、いずれもタワー上部に設置され、主軸を介して連結されているロータヘッド及びナセルについて、両者を総称して風車発電ユニットと呼ぶことにする。

【0003】

従来の風力発電装置において、たとえば翼長の長い大型風車にはヨー駆動装置が搭載されている。このヨー駆動装置は、たとえば図 10 に示すように、ヨーモータ 50 の駆動力により大きなナセル 3 をヨー旋回させ、ロータ回転面が風向に追従して正対するようにヨー旋回を制御する装置である。なお、図中の符号 2 はタワー、3 はナセル、3 a はナセル

10

20

30

40

50

台板、51は駆動歯車、52は固定歯車、53は転がり軸受、54はヨーブレーキ装置であるが、転がり軸受53に代えて滑り軸受を採用してもよい。

一方、従来の風力発電装置において、たとえば翼長の短い小型風車に多く見られるように、パッシブヨーとして上述したヨー駆動装置を持たない風力発電装置もある。

【0004】

また、上述したヨー駆動装置は、風力発電装置の大型化に伴い、ヨーモータや駆動系歯車等も大型化することとなる。このようなヨー駆動装置の大型化は、ナセル台板の複雑化やメンテナンススペースに関する要求が増すことから、ナセルの小型・軽量化を妨げる原因となる。

そこで、各風車翼に作用するタワー軸まわりの荷重を相殺するための基準指令値に対して、ヨーまわり制御指令値を加算した角度指令値を算出し、この角度指令値に基づいて各風車翼のピッチ角度指令値を設定することが提案されている。すなわち、各風車翼の荷重を計測して風車翼毎にピッチ角度を制御し、風車翼に作用する空気力を用いて風車発電ユニットを旋回させるようにしたので、ヨーモータの小型化や使用頻度の低減が可能となる。(たとえば、特許文献1参照)

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2008-286156号公報

【発明の開示】

【0006】

上述したように、従来のヨー駆動装置は、ヨーモータの駆動力を用いて風車発電ユニットの向きを風向の変化に追従させることにより、ロータ回転面が常に風向に対して正対するように制御するものである。

しかし、大型化する風力発電装置のヨー駆動装置は、イニシャルコストやランニングコストを増加させるという問題を有している。

また、従来のヨー駆動装置は、風車発電ユニットのナセル台板に設置スペースを確保し、ヨーモータの設置座面を機械加工する必要もあり、さらに、メンテナンススペースの確保も必要となるため、ナセルの小型・軽量化を妨げるという問題が指摘されている。

【0007】

一方、ヨー駆動装置が全くない風力発電装置の場合、どのようにして風向きに合わせて風車を正対させるかが問題となる。すなわち、ヨー駆動装置のない風力発電装置は多くが小型であり、従って、短時間の風向変化についても敏感に反応してヨー旋回するため、風車全体に作用する各種荷重が大きくなる可能性を有している。

【0008】

このように、従来の風力発電装置は、ヨー駆動装置が上述したコストの低減やナセルの小型・軽量化を妨げる原因となる反面、ヨー駆動装置がないと短時間の風向変化にも敏感に反応するという問題を有しているため、このような問題を解消した風力発電装置の開発が望まれる。

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、ヨーモータにより風車発電ユニットの向きを制御するためのヨー駆動装置を不要とし、低コスト化やナセルの小型・軽量化に有利なヨー制御を可能にした風力発電装置を提供することにある。

【0009】

本発明は、上記の課題を解決するため、下記的手段を採用した。

本発明に係る風力発電装置のヨー旋回制御方法は、風車翼回転面の方位角情報及び風向情報を得る情報取得過程と、前記方位角情報及び前記風向情報の偏差に応じて起動時に前記風車翼回転面の前面を風上方向へ駆動するヨー旋回過程とを有する風力発電装置のヨー旋回制御方法であって、前記ヨー旋回過程が、所定のアジマス角での風車翼ピッチ角を制御するピッチ角制御過程を含み、前記ピッチ角制御過程は、発電機をモータとして回転さ

10

20

30

40

50

せるモータリング過程を含んでいることを特徴とするものである。

【0010】

このような本発明のヨー旋回制御方法によれば、ヨー旋回過程が、所定のアジマス角での風車翼ピッチ角を制御するピッチ角制御過程を含み、ピッチ角制御過程は、発電機をモータとして回転させるモータリング過程を含んでいるので、風力発電装置の起動時には、風車翼ピッチ角度を個別に変化させることにより、各風車翼に作用する風力を有効利用し、空力により風車発電ユニットをヨー旋回させて風車翼回転面の前面を風上方向へ向けるヨー旋回力を得ることができる。この場合の起動時は、停止状態にある風力発電装置の運転を開始する起動時に加えて、風力発電装置の運転を継続している運転時の状態を包含する。

10

【0011】

上記の発明において、前記ピッチ角制御過程は、アジマス角が略90度及び/または略270度にて、前後のアジマス角でのピッチ角よりもファイン側またはフェザー側のピッチ角とされることが好ましく、これにより、空力によるヨー旋回力を効率よく得ることができる。すなわち、アジマス角が略90度の位置でピッチ角をファイン側へ変化させるとともに、アジマス角が略270度の位置でピッチ角をフェザー側へ変化させるピッチ角制御や、あるいは、アジマス角が略90度の位置でピッチ角をフェザー側へ変化させるとともに、アジマス角が略270度の位置でピッチ角をファイン側へ変化させるピッチ角制御を行うことにより、空力による反時計回りまたは時計回りのヨー旋回力を発生させることができる。

20

【0012】

上記の発明において、前記モータリング過程では、アジマス角が略0度及び/または略180度にて、前後のアジマス角でのピッチ角よりもファイン側またはフェザー側のピッチ角とされることが好ましく、これにより、自然の風力がないか小さい場合であっても、モータリングにより回転する風車翼から空力によるヨー旋回力を得ることができる。

【0013】

上記の発明において、前記発電機の回転数は、所定の回転数に達した後、徐々に低減されることが好ましく、これにより、最も大きな駆動力を必要とするヨー旋回の動き出しが完了した後に回転数を徐々に低減し、モータリングに要する電力を最小限に抑えることができる。

30

あるいは、モータ回転数を一定として、ヨー旋回開始時に、2つの翼のピッチ角差を最大としてもよい。

【0014】

上記の発明において、前記発電機の回転数は、所定の回転数に達した後、略一定に保たれることが好ましく、これにより、風力によるヨー旋回力をアシストとして利用し、モータリングに要する電力を最小限に抑えることができる。

【0015】

本発明に係る風力発電装置のヨー旋回制御方法は、風車翼回転面の方位角情報及び風向情報を得る情報取得過程と、前記方位角情報と前記風向情報との偏差に応じて、停止時に前記風車翼回転面の前面を風下方向へ駆動する停止時ヨー旋回過程とを有する風力発電装置のヨー旋回制御方法であって、前記停止時ヨー旋回過程が、所定のアジマス角での風車翼ピッチ角を制御する停止時ピッチ角制御過程を含むことを特徴とするものである。

40

【0016】

このような本発明のヨー旋回制御方法によれば、停止時ヨー旋回過程が、所定のアジマス角での風車翼ピッチ角を制御する停止時ピッチ角制御過程を含んでいるので、風力発電装置の停止時には、風車翼ピッチ角度を個別に変化させることにより、各風車翼に作用する風力を有効利用して空力により風車発電ユニットを所望の停止位置までヨー旋回させるヨー旋回力を得ることができる。すなわち、風力発電装置の停止時には、風車発電ユニットがダウンウインドに追従してヨー旋回し、風車翼回転面の前面を風下方向へ向けた状態で安定した停止をするので、停止時ヨー旋回過程を実施することによって、安定した停止

50

位置まで積極的にヨー旋回させることができる。

【0017】

上記の発明において、前記ヨー旋回過程及び前記停止時ヨー旋回過程は、前記風車翼回転面を駆動する際にヨーモータを使用しないことが好ましく、これにより、ヨー制御の低コスト化やナセルの小型・軽量化が可能になる。

【0018】

本発明に係る風力発電装置は、複数の風車翼を備えた風車発電ユニットがタワーに対してヨー旋回可能に支持され、変動する風向に応じて前記風車発電ユニットの正面から風力を受けて発電するように構成されている風力発電装置であって、前記風車翼に受ける風力で駆動されて発電するとともにモータへの用途変更を可能とした発電機と、前記風車翼のピッチ角度を個別に制御するピッチ駆動部と、変動する風向情報を検出する風向検出部と、請求項1から7のいずれかに記載のヨー旋回制御方法で風車翼ピッチ角制御を行い、前記風車発電ユニットをヨー旋回させる動力を空力により生じさせるピッチ角度指令値を前記風車翼毎に算出して前記ピッチ駆動部へ出力する制御部と、を備えていることを特徴とするものである。

【0019】

このような本発明の風力発電装置によれば、風車翼に受ける風力で駆動されて発電するとともにモータへの用途変更を可能とした発電機と、風車翼のピッチ角度を個別に制御するピッチ駆動部と、変動する風向情報を検出する風向検出部と、請求項1から7のいずれかに記載のヨー旋回制御方法で風車翼ピッチ角制御を行い、風車発電ユニットをヨー旋回させる動力を空力により生じさせるピッチ角度指令値を風車翼毎に算出してピッチ駆動部へ出力する制御部と、を備えているので、ピッチ駆動部が各風車翼のピッチ角度を個別に変化させ、各風車翼に作用する風力を有効利用し、空力によるヨー旋回力によって風車発電ユニットをヨー旋回させることができる。

【0020】

上記の発明において、前記制御部は、運転状況に応じて前記発電機をモータとして使用するモータリングを行ってヨー旋回力を補うことが好ましく、これにより、たとえば低速の状態から起動する場合など、モータリングにより風車翼を回転させて発生する空力をヨー旋回力として利用することができる。従って、モータリングにより得られるヨー旋回力は、単独でのヨー旋回を可能とし、あるいは、風により発生する空力（ヨー旋回力）の不足分を補うこともできる。従って、ヨーモータの駆動力を利用してヨー旋回制御を行う従来のヨー駆動装置は不要となる。

この場合、運転状況の相違は、風力発電装置の運転を開始する起動時、運転停止時及び運転中の区別や、風力の強弱等による相違を意味している。

【0021】

上述した本発明によれば、風力発電装置の起動時や停止時においても、複数ある風車翼のピッチ角度を個別に制御するピッチ駆動部を有効に利用して空力によるヨー旋回力を得られ、風向の変化に応じて風車発電ユニットをヨー旋回させ、風車翼回転面の前面を風上方向に向けるヨー制御が可能になるので、ヨーモータにより風車発電ユニットの向きを制御する従来のヨー駆動装置が不要となる。このため、本発明の風力発電装置は、風車発電ユニットのヨー制御を低コスト化することができ、さらに、風車発電ユニットを構成するナセルの小型・軽量化にも有利なヨー制御が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1A】本発明に係る風力発電装置の一実施形態として、風車発電ユニットのヨー旋回制御を行うヨー旋回機構（モータリングなし）を示すブロック図である。

【図1B】本発明に係る風力発電装置の他の実施形態として、風車発電ユニットのヨー旋回制御を行うヨー旋回機構（モータリングあり）を示すブロック図である。

【図2A】図1Aに示す制御部において実施されるヨー旋回制御例を示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図 2 B】図 1 B に示す制御部において実施されるヨー旋回制御例を示すフローチャートである。

【図 3】本発明に係る風力発電装置の全体構成例を示す図である。

【図 4】風車発電ユニットの概略構成例を示す図である。

【図 5】風力発電装置及び風車発電ユニットにおける x , y , z 軸の定義を説明するための図である。

【図 6】運転停止中の風車発電ユニットを風向に正対させるモータリングの手順を示す説明図である。

【図 7】運転中の風車発電ユニットを空力によりヨー旋回させるヨー旋回制御の手順を示す説明図である。

【図 8】風車発電ユニットの風車翼について、ナセル後方から見たアジマス角（回転角）の定義を示す説明図である。

【図 9】風車発電ユニットを上方から見て、風車翼に発生する回転力を示す説明図である。

【図 10】従来の風力発電装置について、ヨー駆動装置及びその周辺構造を示す要部断面図である。

【符号の説明】

【0023】

- | | | |
|----|-------------|----|
| 1 | 風力発電装置 | |
| 2 | タワー | 20 |
| 3 | ナセル | |
| 4 | ロータヘッド | |
| 5 | 風車翼（ブレード） | |
| 7 | 風速計 | |
| 8 | 風向計 | |
| 10 | 増速機 | |
| 11 | 発電機またはモータ | |
| 20 | 風車制御装置（制御部） | |
| 21 | ピッチ駆動部 | |
| 22 | 発電機制御部 | 30 |
| 30 | 風向検出部 | |
| 40 | ヨー旋回位置検出部 | |

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明に係る風力発電装置の一実施形態について、図面を参照して説明する。

図 3 に示す風力発電装置 1 は、基礎 B 上に立設されるタワー（「支柱」ともいう。）2 と、タワー 2 の上端に設置されるナセル 3 と、略水平な横方向の回転軸線（図 5 の x 軸）周りに回転可能に支持されてナセル 3 の前端部側に設けられているロータヘッド 4 と、を有するアップウインド型の風車である。以下の説明では、図 4 に示すように、タワー 2 の上端に設置され、主軸 9 を介して連結されているナセル 3 及びロータヘッド 4 を総称して「風車発電ユニット」と呼ぶことにする。

【0025】

ロータヘッド 4 には、その回転軸線周りに放射状にして複数枚（たとえば 3 枚）の風車翼（ブレード）5 が取り付けられている。これにより、ロータヘッド 4 の回転軸線方向から風車翼 5 の前面に当たった風の力が、ロータヘッド 4 を回転軸線周りに回転させる動力に変換されるようになっている。

ナセル 3 の外周面適所（たとえば上部等）には、必要に応じて周辺の風速値を測定する風速計 7 と、風向を測定する風向計 8 とが設置されている。

【0026】

ナセル 3 の内部には、たとえば図 4 に示すように、ロータヘッド 4 と増速機 10 を介し

10

20

30

40

50

て連結された発電機 11 が設置されている。すなわち、ロータヘッド 4 の回転数は、主軸 9 を介して連結された増速機 10 に伝達されることにより、増速機 10 の出力側が増速された値となる。そして、発電機 11 が増速機 10 を介して増速された出力側の回転数で駆動されることにより、発電機 11 によって発電された電力が得られるようになっている。

さらに、ナセル 3 の内部には、風力発電装置 1 の運転制御を行う風車制御装置 20 と、この風車制御装置 20 から制御信号を受けて各風車翼 5 のピッチ角度を個別に変化させるピッチ駆動部（可変ピッチ機構）21 とが設けられている。

また、上述したナセル 3 の内部には、風車制御装置 20 から制御信号を受けて発電機 11 を制御する発電機制御部 22 が設けられている。この発電機制御部 22 は、後述するモータリング時に発電機 11 をモータとして使用する場合において、モータとして駆動される発電機 11 の運転制御（モータリング制御）を行うものである。

10

【0027】

上述した構成の風力発電装置 1 には、風車発電ユニットのヨー旋回制御を行うヨー旋回機構が設けられている。以下、風力発電ユニットのヨー旋回制御を行うヨー旋回機構について、図 1A のブロック図及び図 2A のフローチャートを参照して詳細に説明する。

図 1A に示すブロック図は、風車発電ユニットのヨー旋回制御を行うヨー旋回機構を示している。このヨー旋回機構は、複数の風車翼 5 を備えた風車発電ユニットがタワー 2 に対してヨー旋回可能に支持され、変動する風向に応じて風車発電ユニットの正面（風車翼 5 の回転面前面）から風力を受けて発電するように構成された風力発電装置 1 に設けられている。すなわち、アップウインド型の風力発電装置 1 においては、ヨー旋回機構が風車翼 5 の回転面前面を風上に向けるように動作する。

20

【0028】

このヨー旋回機構は、風車翼 5 のピッチ角度を個別に変化させるピッチ駆動部 21 と、変動する風向情報（ w ）を検出する風向検出部 30 と、風車発電ユニットの現状ヨー角（ z ）を検出するヨー旋回位置検出部 40 と、風向情報（ w ）及び現状ヨー角（ z ）に基づいて風向偏差（ d ）を算出し、この風向偏差（ d ）に基づいて風車発電ユニットをヨー旋回させるための動力を空力により生じさせるピッチ角度指令値（ n ）を風車翼 5 毎に算出してピッチ駆動部 21 へ出力する制御部 20 と、を具備して構成される。

なお、図示の構成例では風車翼 5 が 3 枚とされ、従って、ピッチ角度指令値（ n ）は、各風車翼 5 毎に算出した 3 種類のピッチ角度指令値 n_1 , n_2 , n_3 を出力しているが、これに限定されることはない。

30

【0029】

風向検出部 30 は、風力発電装置 1 の設置位置または周辺領域の風向情報（ w ）を検出し、制御部 20 へ入力するものである。この場合に利用できる風向情報（ w ）としては、たとえばナセル 3 に設置された風向計 8 により風力発電装置 1 毎に検出した情報、複数の風力発電装置 1 が隣接して設置されているウインドファームを代表する位置で検出した情報（具体的には、複数の中から選択された風力発電装置 1 のナセル 3 に風向計 8 を設置して検出した情報、ファーム内の高所に設置した風向計 8 で検出した情報など）、あるいは、外部から入手可能な気象情報に含まれる風向に関する情報などから、1 または複数の情報を適宜選択して使用すればよい。

40

【0030】

ヨー旋回位置検出部 40 は、タワー 2 の軸中心と略一致して存在するヨー回転軸（図 5 参照）を中心とし、タワー 2 上で略水平面上をヨー旋回する風車発電ユニットについて、現状の向き（位置）である現状ヨー角（ z ）を検出して制御部 20 へ入力するものである。すなわち、ヨー旋回位置検出部 40 は、風車翼 5 の回転面前面が実際に向いている方向の情報（風車翼回転面の方位角情報）を検出するものである。

この場合の現状ヨー角（ z ）は、ロータヘッド 4 の向き（図 5 に示す x 軸の方向）が、予め定めた基準方向（たとえば北方向）を 0 度と定め、時計回りまたは反時計回りに 360 度の旋回範囲においていずれの方向（角度）にあるかを検出するものである。なお、現状ヨー角（ z ）を検出する具体的な手段としては、たとえば図 10 に示す転がり軸受

50

53に設けられた固定歯車52との噛合により動作するポテンシオメータ等がある。

【0031】

制御部20は、風向情報(w)及び現状ヨー角(z)の入力を受け、3枚の風車翼5についてそれぞれのピッチ角度指令値($1, 2, 3$)を算出してピッチ駆動部21へ出力するものである。すなわち、制御部20は、風向情報(w)と現状ヨー角(z)との偏差に応じて、風力発電装置1の起動時及び運転時に風車翼回転面の前面を風上方向へ向け、停止時に風車翼回転面の前面を風下方向へ向けるヨー旋回制御を行うものである。

制御部20内における具体的なヨー旋回制御は、たとえば図2Aに示すフローチャートのように行われる。

10

【0032】

最初のステップS1で制御フローがスタートすると、次のステップS2に進んで風力発電装置1の運転指令は有るか否か、すなわち、風力発電装置1は運転中であるか否かを判断する。なお、運転中と判断された場合においては、運転指令が出された直後の起動時、運転が継続中の運転時、及び運転停止の指令が出された停止時の運転区分が判別される。

ステップS2の判断により、風力発電装置1の運転指令が有る「YES」の場合には、次のステップS3に進んでピッチ角度指令値(n)を算出するが、本実施形態においては風車翼5が3枚あることから、3種類のピッチ角度指令値($1, 2, 3$)の算出を開始する。なお、以下の説明は、運転区分が起動時または運転時と判別された場合である。

20

【0033】

ステップS3の過程では、風車翼5の回転面前面に関する方位角情報の現状ヨー角(z)及び風向情報(w)を得る「情報取得過程」を有し、現状ヨー角(z)及び風向情報(w)の偏差である風向偏差(d)を算出する。すなわち、実際の風向を示す風向情報(w)と、タワー2上でヨー旋回する風車発電ユニットについて、今現在の向きを示す現状ヨー角(z)との角度差を算出して風向偏差($d = w - z$)とする。

この結果、風車発電ユニットの向きについて、風向が変わった場合など、風向に対する現状の位置関係(角度差)を把握することができる。

【0034】

こうして風向偏差(d)を算出した後には、次のステップS4に進んで風車翼5毎のピッチ角度指令値($1, 2, 3$)を算出する。ここで算出するピッチ角度指令値は、ステップS3で算出した風向偏差(d)について、風車翼5の回転面前面を風上方向へ向けるために、たとえば風向偏差(d)が小さくなる方向へ風車発電ユニットをヨー旋回させるように設定される。

30

上述したステップS3の過程で算出された風車翼5毎のピッチ角度指令値($1, 2, 3$)は、次のステップS5においてピッチ駆動部21へ出力される。

【0035】

そして、次のステップS6では、各風車翼5のピッチ角度が、ピッチ駆動部21の動作により、風車翼5毎に異なるピッチ角度指令値($1, 2, 3$)のピッチ角度に変更される。このように、上述したステップS4~S6の過程は、風向偏差(d)に応じて風車翼5の回転面前面を風上方向へ駆動する「ヨー旋回過程」となる。

40

こうして設定された各風車翼5のピッチ角度は、再度ステップS2に戻って同様の制御を繰り返すことにより、ステップS2で風力発電装置1の運転指令がないと判断されるまで継続される。すなわち、ステップS2で風力発電装置1の運転指令がないと判断された「NO」の場合には、ステップS7のエンドに進んで制御フローは終了する。

【0036】

そして、上述したヨー旋回過程には、所定のアジマス角での風車翼ピッチ角を制御する「ピッチ角制御過程」が含まれている。

このピッチ角制御過程は、風力発電装置1の起動時に風車翼ピッチ角度を個別に変化させ、各風車翼5に作用する風力を空力に変換して有効利用するものであり、空力により風

50

車発電ユニットをヨー旋回させて風車翼回転面の前面を風上方向へ向けるヨー旋回力を得る。

【0037】

このように、上述した風力発電装置1のヨー旋回制御において、ヨー旋回制御の制御方法は、風車翼回転面の方位角情報及び風向情報を得る情報取得過程と、方位角情報及び風向情報の偏差に応じて起動時に風車翼回転面の前面を風上方向へ駆動するヨー旋回過程とを有し、ヨー旋回過程には、所定のアジマス角（風車翼の回転角）での風車翼ピッチ角を制御するピッチ角制御過程を含んでいる。

【0038】

また、上述した風向偏差（ d ）については、所定のアジマス角で風車翼5に作用する荷重の相違から推測することも可能であり、この推測により得られた風向偏差（ d ）に基づいて、ピッチ駆動部21がピッチ角度指令値（ n ）を算出してもよい。

また、上述したピッチ角度指令値（ n ）は、風向偏差（ d ）が小さくなる方向へ風車発電ユニットをヨー旋回させるように設定する制御だけでなく、たとえば風向偏差（ d ）の平均がゼロに近づくよう正負の値を交互に設定する制御も可能である。

【0039】

続いて、上述した制御フローによるヨー旋回制御を具体的に説明する。このヨー旋回制御は、各風車翼5のピッチ角度を個別に変化させるピッチ駆動部21を有効利用し、各風車翼5に作用する風力が風車発電ユニットのヨー旋回力となるように制御するものである。

【0040】

各風車翼5のピッチ角度指令値（ 1 ， 2 ， 3 ）は、図7及び図8に示すように、現状ヨー角（ z ）が風向と一致することにより風向偏差（ d ）がなくなり、ロータヘッド4の向きが風上を向くように設定される。すなわち、各風車角5のピッチ角度指令値（ 1 ， 2 ， 3 ）は、常に変動する風向に応じて風向偏差（ d ）を小さくし、あるいは、風向偏差（ d ）の平均をゼロに近づけるようにして、風向偏差（ d ）がなくなる方向のヨー旋回力を発生させることにより、ロータ回転面が風向と正対するように設定される。

図7及び図8に示す説明図において、ロータ4及び風車翼5は、図8（ナセル3の後方側から見た図）に矢印Rwで示すように、風力を受けて反時計回りに回転する。なお、図8に示す風力発電装置1には、ナセル後方から見て 120° のピッチで3枚の風車翼5が設けられており、以下の説明では、必要に応じて回転角（アジマス角）が 0° の位置にあるものを風車翼5a、 120° の位置にあるものを風車翼5b、 240° の位置にあるものを風車翼5cと呼んで区別する。

【0041】

さて、図8に示す風力発電装置1の運転中には、回転中の風車翼5について、風車翼5毎にピッチ角度を独立した操作（制御）を行い、ロータ回転面が風向と正対するよう風向に追従させるヨー制御が適宜行われている。

図7は、風車発電ユニットを上から見た図であり、風向偏差（ d ）が存在する状態から時計回りにヨー旋回させて、ロータ回転面を風向と正対させるヨー旋回制御の動作が示されている。この場合のヨー制御では、風力を受けることによってヨー旋回モーメントを生じさせる回転角位置にある2枚の風車翼5b，5cについて、それぞれのピッチ角度を逆向きに变化させている。

【0042】

具体的に説明すると、回転角が 90° の周辺領域（最大、 $0 \sim 180^\circ$ ）を回転中の風車翼5bには、風を逃がすようにピッチ角度を大きくする方向、すなわちフェザー方向へ变化させるピッチ角度指令値（ n ）が算出される。従って、このピッチ角度指令値（ n ）を受けたピッチ駆動部21は、風車翼5bのピッチ角度を大きくする方向にだけ变化させる。

一方、回転角が 270° になる周辺領域（最大、 $180 \sim 360^\circ$ ）を回転中の風車翼

10

20

30

40

50

5c には、さらに風を受けるようにピッチ角度 θ を小さくする方向、すなわちファイン方向へ変化させるピッチ角度指令値 (θ_n) が算出される。従って、このピッチ角度指令値 (θ_n) を受けたピッチ駆動部 21 は、風車翼 5c のピッチ角度 θ を小さくする方向に θ_n だけ変化させる。

【0043】

換言すれば、風車翼 5b については、正面から見た投影面積を増す方向にピッチ角度 θ を変化させるピッチ角度指令値 (θ_n) が出力され、ピッチ角度が θ_n だけ増加した新たなピッチ角度 ($\theta + \theta_n$) に設定される。

一方、風車翼 5c については、正面から見た投影面積を低減する方向にピッチ角度 θ を変化させるピッチ角度指令値 (θ_n) が出力され、ピッチ角度が θ_n だけ減少した新たなピッチ角度 ($\theta - \theta_n$) に設定される。

この場合、風車翼 5 のピッチ角度 θ を θ_n だけ変化させる動作は、風車翼 5 の回転中に行われるものである。このような風車翼 5 のピッチ角度制御は、たとえば 1 枚の風車翼 5 が 1 回転する間において、ある風速で定常的に運転されるピッチ角度 θ に対し、最小のピッチ角度 ($\theta - \theta_n$) から最大のピッチ角度 ($\theta + \theta_n$) まで、略サインカーブを描くように、連続あるいは断続して変化させるアクティブピッチコントロールとなる。

【0044】

上述したように、風車翼 5 のピッチ角度 θ を回転角度の位置に応じて増減させる制御により、風車発電ユニットにはヨー軸廻りの回転力を空力的に発生させることができる。すなわち、回転角度が 90° の付近にある風車翼 5b については、ピッチ角度が大きくなって風を逃がすため、風車翼 5b に作用するヨー旋回力は小さくなる。しかし、回転角度が 270° の付近にある風車翼 5c については、ピッチ角度が小さくなって風をさらに受けるため、風車翼 5c に作用するヨー旋回力は大きくなる。

【0045】

この結果、ピッチ角度の増減を行わない場合、風上から風下へ向けた同方向に略同じ大きさで作用していたヨー旋回力のバランスが崩れ、従って、風車発電ユニットはより大きなヨー旋回力が作用する方向にヨー旋回することとなる。すなわち、図 7 に示した風車発電ユニットの場合、 270° の回転角度位置にある風車翼 5c に作用するヨー旋回力が大きくなるので、風車発電ユニットは時計廻りの方向にヨー旋回を行い、風向偏差 (δ) が解消される。

なお、風車発電ユニットを反時計回りにヨー旋回させる場合は、回転角が略 90° の周辺でピッチ角度をファイン側へ変化させ、かつ、回転角が 270° の周辺でピッチ角度をフェザー側へ変化させればよい。

【0046】

このように、上述した風力発電装置 1 によれば、運転時にはピッチ駆動部 21 が各風車翼 5 のピッチ角度を個別に変化させ、各風車翼 5 に作用する風力を有効利用して空力により風車発電ユニットをヨー旋回させることができる。すなわち、風力発電装置 1 の運転時には、算出した風向偏差 (δ) が小さくなるように、あるいは、風向偏差 (δ) の平均をゼロに近づけるように、各風車翼 5 のピッチ角度を個別に変化させ、風車翼 5 に作用する風力がヨー旋回力に変換されるようなヨー旋回制御を行うので、風車発電ユニットは風向の変化に追従したヨー旋回を行い、風車発電ユニットのロータ回転面を常に風上へ向けて風向と正対させることができるようになる。従って、上述したヨー旋回制御を行うことにより、ヨーモータの駆動力を利用してヨー旋回制御を行う従来のヨー駆動装置は不要となる。

【0047】

ところで、上述した風力発電装置 1 のヨー旋回制御は、十分な風速がない場合や運転停止中の状態から運転を開始した起動時等において、ヨー旋回制御を行うために十分なヨー旋回力を得られない場合がある。

そこで、十分なヨー旋回力を得られない運転状況では、たとえば図 1B 及び図 2B に示すように、風車制御装置 20 が、風車発電ユニット内に設けられている発電機 11 をモー

10

20

30

40

50

タとして使用するモータリングを行って、すなわち、モータとして機能する発電機 11 を駆動源とし、たとえば 10 rpm 以上の回転数になるまでロータ 4 及び風車翼 5 を回転させることにより、風車翼 5 が生じさせる風力による自動的なヨー旋回を実施できる。

【0048】

このモータリングは、風車制御装置 20 から発電機制御部 22 にモータリングに関する制御指令を出力して実施される。

具体的に説明すると、図 2 B に示すフローチャートにおいて、ステップ S 3 の過程で風向偏差 (d) を算出した後、ステップ S 11 の過程に進んでモータとして機能する発電機 11 をモータリングさせるトルク及び回転数の指令値を算出する。こうして算出されたトルク及び回転数の指令値は、続くステップ S 12 の過程において発電機制御部 22 へ出力される。

10

【0049】

発電機制御部 22 は、トルク及び回転数の指令値に基づいて発電機 11 をモータとして駆動させるので、モータとして機能する発電機 11 が発生させる駆動力がロータ 4 及び風車翼 5 を回転させる。この結果、風車翼 5 の回転により風力が生じるので、この風力を利用したモータリングによるヨー旋回が可能になる。

また、モータリングにより風車翼 5 が回転して生じさせた風力は、低風速時等には風速を増したのと同様の状況を形成するので、不足しているヨー旋回力を補うことができる。このようなモータリングは、発電機 11 が同期発電機であれば容易に可能であり、さらに、非同期発電機の場合であってもインバータを備えていれば可能である。

20

【0050】

このようなモータリングを風力発電装置 1 の運転状況に応じて行うことにより、たとえば低風速の状態から起動する場合など、運転状況に応じて風力及び空力によるヨー旋回力の不足分をモータリングにより生じる風力や空力により補うことができる。この場合、運転状況の相違は、風力発電装置 1 の運転を開始する起動時、運転停止時及び運転中の区別や、風車翼 5 に作用する風力の強弱等による相違を意味している。

具体的に説明すると、たとえば図 6 に示すように、停止中の風車発電ユニットは、風向に追従してロータ回転面が風下を向いてしまうことがあり、起動時には最大 180° のヨー旋回が必要となる。また、風速、ヨー旋回ブレーキ装置の残存ブレーキ力、定常ヨー制御のフリクション等の影響により、起動時の風車発電ユニットは、ロータ回転面が風向と正対していない場合もある。

30

【0051】

そこで、図 6 に示すように、風力発電装置 1 の起動時には、上述したピッチ角制御過程が、最初にモータリングを行って風車発電ユニットをヨー旋回させ、主として風車翼 5 が生じさせる風力によってロータ回転面を風上に向けるモータリング過程を実施する。この後、モータリングを停止し、上述した運転中のヨー旋回制御に、すなわち各風車翼 5 のピッチ角度を個別に変化させるヨー旋回制御に切り換える。このモータリング過程では、ヨー旋回力をほとんど生じない回転角が略 0 度及び / または略 180 度の周辺にて、前後の回転角でのピッチ角よりもファイン側またはフェザー側のピッチ角にして効率のよいモータリングを実施できる。

40

この場合のモータリングは、風力発電装置 1 の運転状況に応じて、モータとして機能する発電機 11 の回転数を変化させてもよいし、あるいは、モータとして機能する発電機 11 の回転数を一定にして風車翼 5 のピッチ角度を変化させ、空力によるアシスト力を変化させてもよい。

【0052】

発電機 11 の回転数を変化させる場合には、モータに切り換えて通電した発電機 11 が起動されて所定の回転数に達した後、その回転数を徐々に低減させればよい。すなわち、モータリングにより停止状態の風車発電ユニットをヨー旋回させる場合、静止摩擦力が作用して最も大きな駆動力を必要とするのはヨー旋回の動き出しまでであるから、風車発電ユニットが動き出し、動摩擦力が作用する状態になった後には、モータリングによる風車

50

翼 5 の回転数を徐々に低減することが可能である。このような回転数の低減は、モータとして機能する発電機 11 の回転数を低減することを意味し、従って、モータリングに要する電力を最小限に抑えることができる。

【 0 0 5 3 】

また、発電機 11 の回転数について、所定の回転数に達してから略一定に保つ場合は、自然の風力によるヨー旋回力をアシストとして利用し、モータリングに要する電力を最小限に抑えることができる。すなわち、モータリングにより発生する空力と、自然の風力により発生する空力とを合計したヨー旋回力を利用してヨー旋回させるので、モータリングによる風車翼 5 の回転数を低く設定することができ、従って、モータとして機能する発電機 11 の消費電力を低減することができる。

10

【 0 0 5 4 】

また、風力発電装置 1 の停止時におけるヨー旋回制御は、風車翼回転面の方位角情報及び風向情報を得る情報取得過程と、方位角情報と風向情報との偏差に応じて、停止時に風車翼回転面の前面を風下方向へ駆動する停止時ヨー旋回過程とを有しており、停止時ヨー旋回過程には、所定のアジマス角での風車翼ピッチ角を制御する停止時ピッチ角制御過程が含まれている。この場合の停止時ピッチ角制御過程は、風車翼回転面の前面を風下方向へ向けるようにヨー旋回させるものであるから、上述した起動時及び運転時と逆方向へヨー旋回させる以外は同様の制御となる。

【 0 0 5 5 】

このようなヨー旋回制御を行うことにより、運転中の風力発電装置 1 に運転停止の指令が出された停止時には、安定した停止位置まで風車発電ユニットを積極的にヨー旋回させることができる。すなわち、風車発電ユニットが停止した状態では、自然の風力を受けてダウンウインドに追従するヨー旋回をし、風車翼回転面の前面を風下方向へ向けた状態で安定した停止をするので、停止時ヨー旋回過程を実施することによって、安定した停止位置まで積極的にヨー旋回させることができる。

20

【 0 0 5 6 】

また、上述したモータリングを風力発電装置 1 の運転停止時に適宜実施することにより、起動時にロータ回転面ができるだけ風向と一致する方向を向いているようにすることも可能である。

また、上述したモータリングは、たとえば運転中にタワー 2 内を通したケーブルに設定以上の捻れが生じた場合、この捻れを解消するために風車発電ユニットを強制的にヨー旋回させる目的に使用してもよい。

30

【 0 0 5 7 】

また、上述したモータリングを実施する際には、風力発電装置 1 を起動しやすいピッチ角になるよう制御してもよい。すなわち、図 9 の説明図（上方から風車翼 5 を見た図）に示すように、ロータヘッド 4 に向かって紙面上方から矢印 W の方向に風が吹くと、風車翼 5 には、接線方向速度 (V_t) 及び風速 (V_w) により合成された翼流入速度 (V) の相対風が与えられる。

風車翼 5 が翼流入速度 (V) の相対風を受けると、相対風と異なる方向の合成風合力 (R) が発生する。この合成風合力 (R) は、通常相対風と平行な向きにはならないため、翼形状に応じて異なる大きさの成分の分力に分解され、一方の分力が揚力 (L) となり、他方の分力が抗力 (D) となる。

40

【 0 0 5 8 】

また、上述した合成風合力 (R) は、風車翼 5 の回転方向と直角な成分のスラスト力 (F_s) と、回転方向と同方向の回転力 (F_r) とに分解され、この回転力 (F_r) がロータヘッド 4 を回転させ、風力により発電する方向の力となる。この回転力 (F_r) は、風車翼 5 のピッチ角に応じて変動する値であり、モータリング時には、モータとして機能する発電機 11 の回転力をアシストすることができる。

【 0 0 5 9 】

そこで、たとえば風車発電ユニットが図 6 の紙面左側に示す状態で停止している場合に

50

は、風力によりモータリングの回転力をアシストする方向の回転力（ F_r ）が生じるように、風車翼 5 のピッチ角に設定する。すなわち、通常の発電時とは逆方向から流入する風を受けた風車翼 5 が、ロータヘッド 4 を発電時と同方向に回転させる回転力を発生させるようなピッチ角に設定してモータリングを行い、モータリングによる風車発電ユニットのヨー旋回が進行するにつれて、風車翼 5 のピッチ角を発電時に適した値に変更して風力発電装置 1 を起動すればよい。

【 0 0 6 0 】

上述した実施形態によれば、複数ある風車翼 5 のピッチ角度を個別に制御するピッチ駆動部 2 1 を有効に利用し、風向の変化に応じて風車発電ユニットをヨー旋回させるヨー制御が行われるので、ヨーモータにより風車発電ユニットの向きを制御するヨー駆動装置が不要となる。

10

また、発電機 1 1 を利用したモータリングを行うことにより、自然の風力を得られない場合であっても空力によるヨー旋回力を得ることができる。このため、このヨー旋回力を単独使用してヨー旋回を行い、あるいは、自然の風力から得られる空力の不足分を補充するようにしてヨー旋回を行うことも可能である。

このため、上述した風力発電装置 1 は、風車発電ユニットのヨー制御を低コスト化することができ、さらに、風車発電ユニットを構成するナセル 3 の小型・軽量化にも有利なヨー制御が可能になる。なお、メンテナンス用のモータについては、上述したヨーモータとは別に設置する必要がある。

【 0 0 6 1 】

20

また、上述した実施形態の採用により、ヨー駆動装置及びその取付座がなくなるので、製造時の機械加工が減少することや、ヨーモータ及び駆動系歯車等のメンテナンスも含めてコストダウンが可能になる。

また、タワー 2 と固定されていたヨー旋回軸が略フリーになるため、ロータ 4 からのモーメント荷重である M_z （図 5 参照）が大幅に減り、主軸 9、主軸受、主軸受台及びナセル台板の作用荷重が減るので、これによっても大幅なコストダウンが可能になる。

【 0 0 6 2 】

なお、本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、その要旨を逸脱しない範囲内において適宜変更することができる。

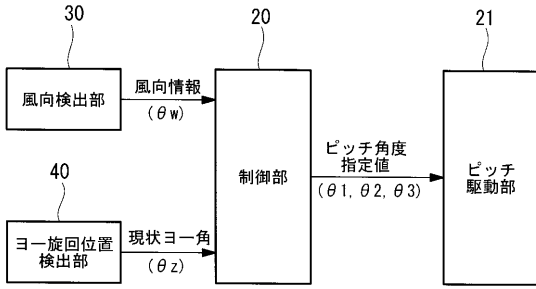
たとえば、上述したヨー旋回制御は、ヨーブレーキ装置のブレーキ力を適宜制御しながらヨー旋回の運転を安定させてもよい。

30

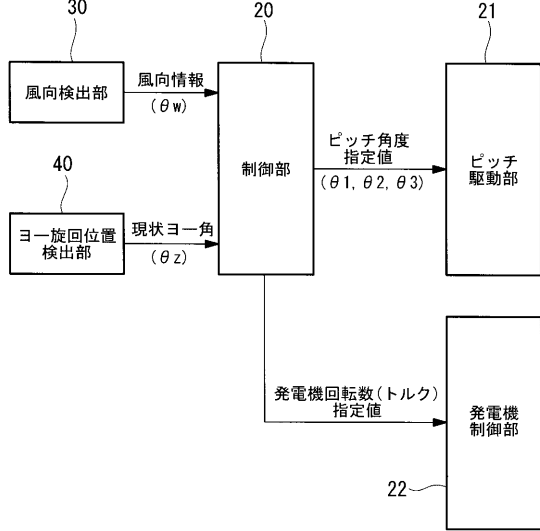
また、ヨー旋回輪は、転がり軸受及び滑り軸受のいずれでもよい。

また、本発明の風力発電装置 1 は、増速機 1 0 を備えたものやアップウインド型に限定されることはなく、ギアレスタイプやダウンウインド型への適用も可能である。なお、ダウンウインド型の風力発電装置は、ナセル後方に配置された風車翼回転面の前面に風力を受けるものであり、風車翼の回転面前面を風上に向けて運転することはアップウインド型と同様である。

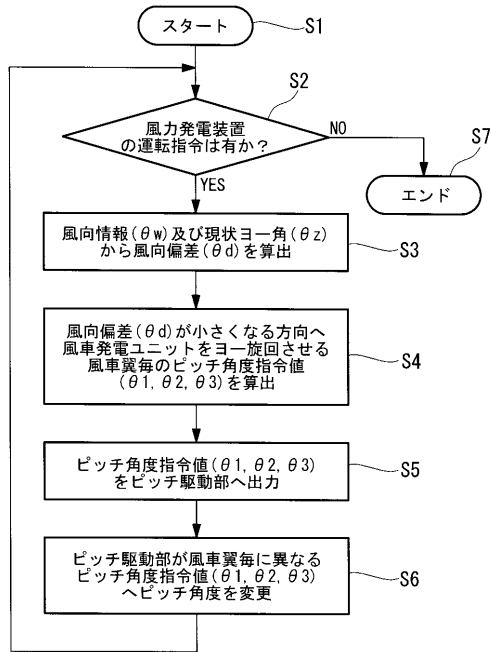
【図1A】



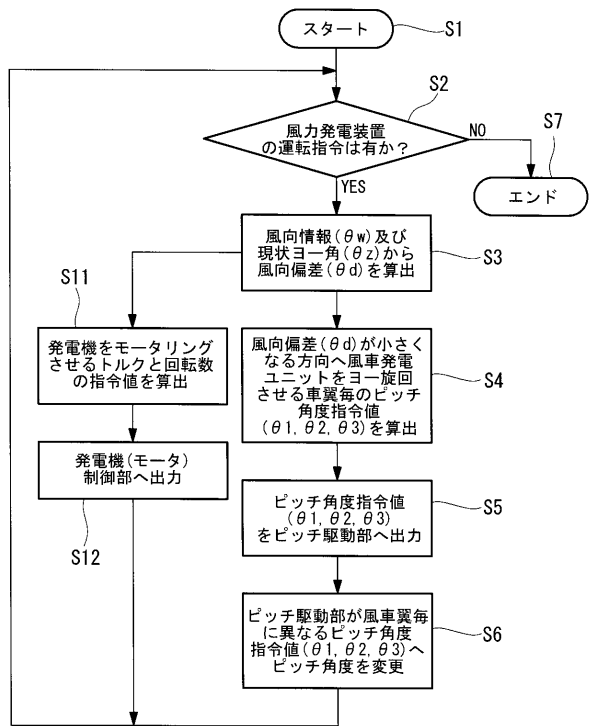
【図1B】



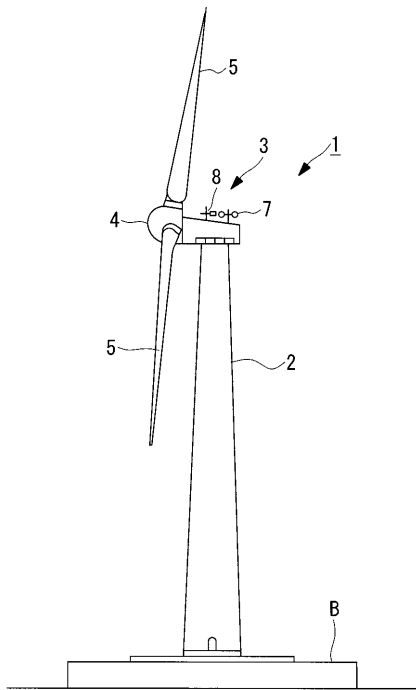
【図2A】



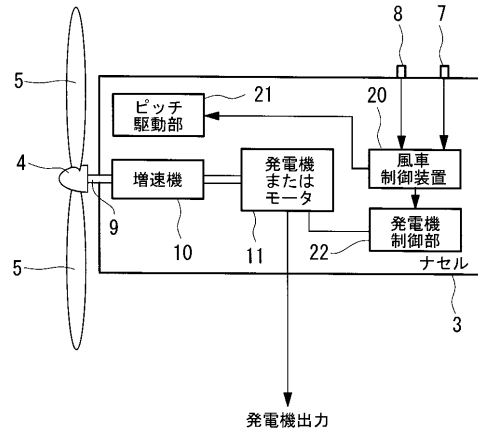
【図2B】



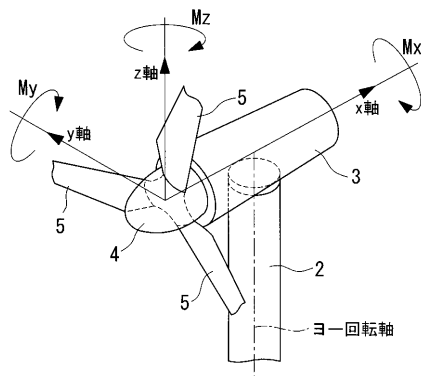
【図3】



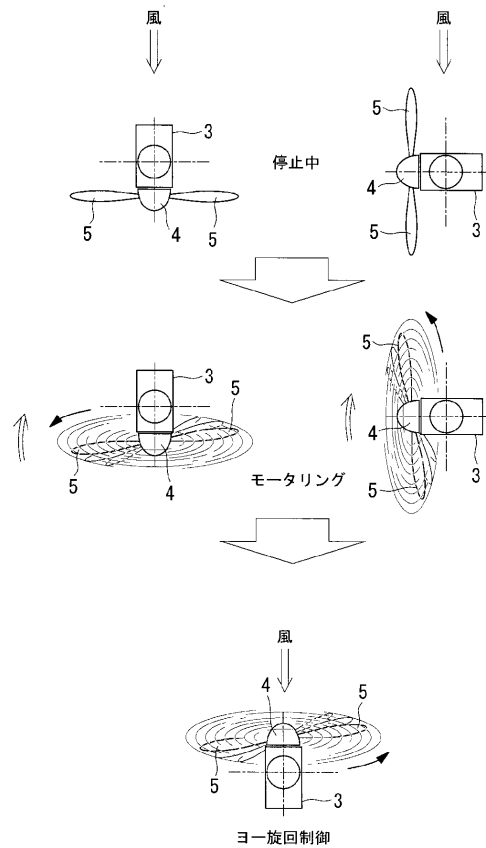
【図4】



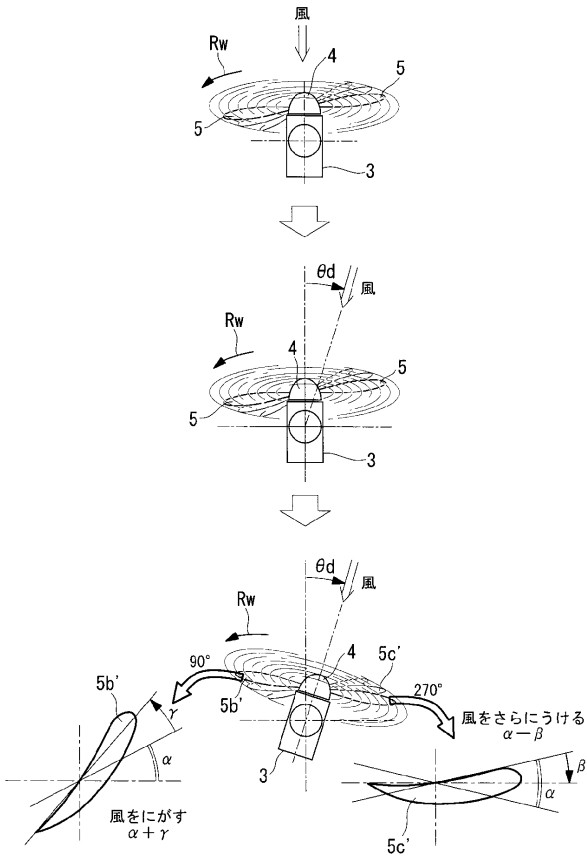
【図5】



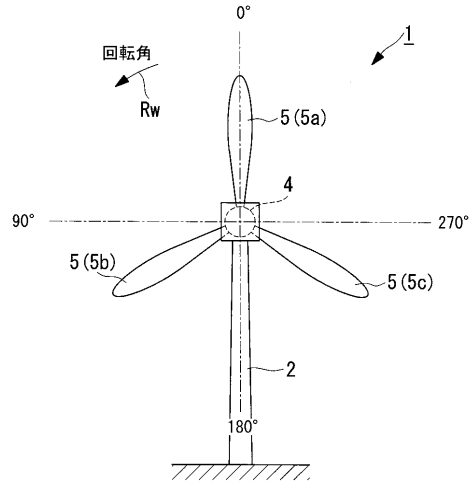
【図6】



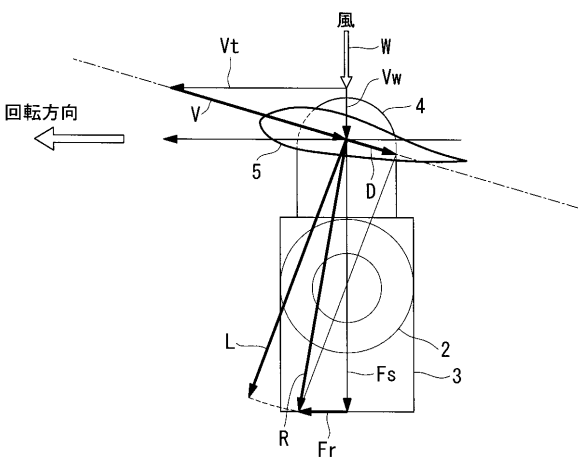
【図7】



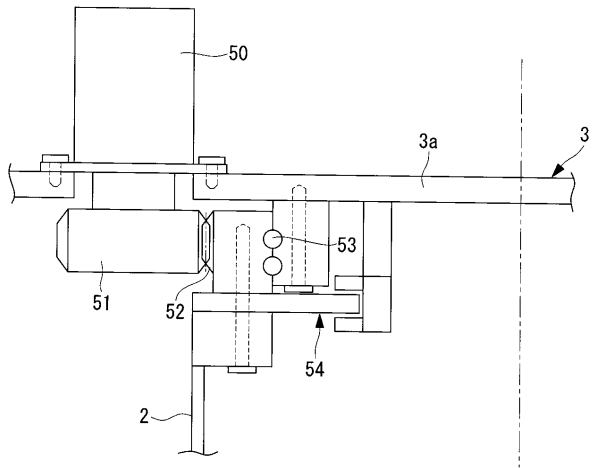
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

F03D 7/04