(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年10月3日(03.10.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/187553 A1

(51) 国際特許分類:
F03D 7/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/002106

(22) 国際出願日： 2019年1月23日(23.01.2019)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2018-066603 2018年3月30日(30.03.2018) JP

(71) 出願人: 株式会社日立製作所(**HITACHI, LTD.**) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 只野 卓巳 (**TADANO Takumi**); 〒1008280 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 Tokyo (JP). 楠野 順弘 (**KUSUNO Nobuhiro**); 〒1008280 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 Tokyo (JP).

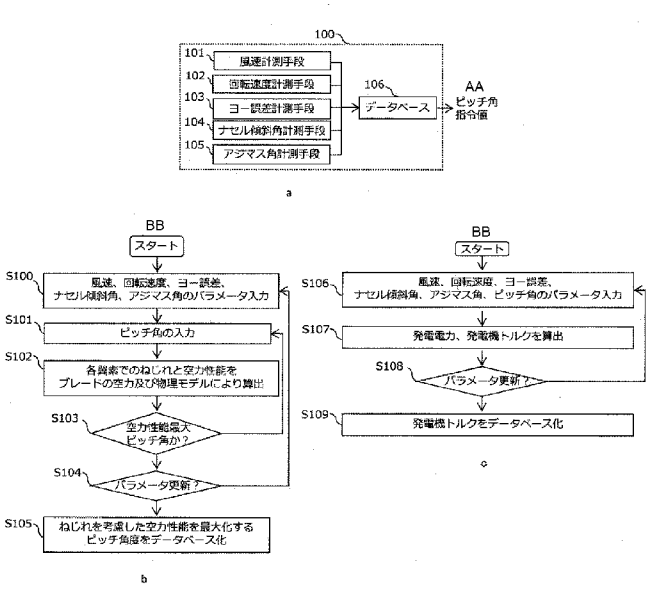
(74) 代理人: ポレール特許業務法人 (**POLAIRE I.P.C.**); 〒1030025 東京都中央区日本橋茅場町二丁目１３番１１号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) **Title:** WIND POWER GENERATION SYSTEM

(54) 発明の名称： 風力発電システム

[図5]



101... WIND SPEED MEASUREMENT MEANS
102... ROTATION SPEED MEASUREMENT MEANS
103... YAW ERROR MEASUREMENT MEANS
104... NACELLE SLOPE ANGLE MEASUREMENT MEANS
105... AZIMUTH ANGLE MEASUREMENT MEANS
106... DATABASE
S100... INPUT WIND SPEED, ROTATION SPEED, YAW ERROR, NACELLE SLOPE ANGLE, AND AZIMUTH ANGLE PARAMETERS
S101... INPUT PITCH ANGLE
S102... CALCULATE TWIST AND AERODYNAMIC PERFORMANCE FOR EACH WING ELEMENT, USING BLADE AERODYNAMICS AND PHYSICAL MODEL
S103... MAXIMUM AERODYNAMIC PERFORMANCE PITCH ANGLE?
S104, S108... PARAMETER UPDATE?
S105... ENTER INTO DATABASE THE PITCH ANGLE THAT MAXIMIZES AERODYNAMIC PERFORMANCE TAKING INTO ACCOUNT TWIST
S106... INPUT WIND SPEED, ROTATION SPEED, YAW ERROR, NACELLE SLOPE ANGLE, AZIMUTH ANGLE, AND PITCH ANGLE PARAMETERS
S107... CALCULATE GENERATED POWER AND POWER GENERATOR TORQUE
S109... ENTER POWER GENERATOR TORQUE INTO DATABASE
AA... PITCH ANGLE COMMAND VALUE
BB... START

(57) **Abstract:** Provided is a wind power generation system capable of improving power generation efficiency. The wind power generation system comprises: a blade having a variable pitch angle; a rotor that receives wind on the blade and rotates; a power generator that uses the rotation energy of the rotor to generate power; and a control device that controls the pitch angle. The control device controls the pitch angle on the basis of outputs from a database that stores: measurement information about wind speed and the rotation speed of the rotor or power generator; and pitch angle control information

WO 2019/187553 A1

[続葉有]

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

taking into consideration a pre-calculated blade twist.

(57) 要約:発電効率を向上可能な風力発電システムを提供する。風力発電システムは、ピッチ角を変更可能なブレードと、前記ブレードに風を受けて回転するロータと、前記ロータの回転エネルギーを用いて発電する発電機と、前記ピッチ角を制御する制御装置を備え、前記制御装置は、風速、ロータまたは発電機の回転速度の計測情報と、予め算出されたブレードのねじれを考慮したピッチ角制御情報を記憶したデータベースの出力に基づき、前記ピッチ角を制御する。

明　細　書

発明の名称 ： 風力発電システム

技術分野

[0001] 本発明は、風力発電システムに係り、特に、ブレードのねじれ変形量増大による発電効率の低下を低減する風力発電システムに関する。

背景技術

[0002] 近年、二酸化炭素の排出量増加による地球温暖化や、化石燃料の枯渇によるエネルギー不足が問題視されている。そこで、二酸化炭素の排出量を低減し、化石燃料を使用しない発電システムとして、風力や太陽光などの自然から得られる再生可能エネルギーを利用した発電システムの導入が注目を浴びている。

[0003] 再生可能エネルギーを利用した発電システムの中では、太陽光発電システムが一般的であるが、日射によって直接的に出力が変化するため、出力変動が大きく、夜間は発電できない。それに対し、風力発電システムは、風速や風向などの風況が安定した場所を選んで設置することで、昼夜を問わず比較的安定な発電が可能である。

[0004] 一般的な大型風力発電システムでは、ピッチ角を調整するためのピッチ駆動装置と発電機トルクを調整するための電力変換器を備えており、ピッチ角と発電機トルクを調整することにより、任意の風速域で発電出力を最大化するように制御を実施している。

[0005] 上記、制御方法の１つとして、例えば特許文献1がある。特許文献１では、少なくとも風車翼に流入する風の風速および風向の計測情報を入力する計測情報入力ステップと、前記計測情報入力ステップで、入力された計測情報およびトルクを算出するための予め記憶されたデータに基づいて、各翼素に実際に発生している発生トルクおよび各翼素において想定される、各翼素の半径位置、重量および角速度の積で算出される最適トルクを算出するトルク算出ステップと、前記トルク算出ステップにおいて算出された発生トルクと最

適トルクとを比較するトルク比較ステップと、前記トルク比較ステップで比較された結果に基づいて、発生トルクと最適トルクの差を小さくするように、気流発生装置、ピッチ角駆動機構、ヨー角度駆動機構の特徴に対応してそれぞれを個々に制御することができる。これによって、風力発電システムの発電効率の向上を図る技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2011-163352号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 近年、風力発電システムは、大型化による発電出力の向上が求められており、これに伴いブレードの長大化が進んでいる。特にダウンウィンド風車では、風下側にブレードが取付けられており、風荷重によって風下側にブレードがたわむため、タワー衝突の危険性が少ない。そのため、アップウィンド風車に対して、ブレードを長大化及び柔構造化(以下、長大化及び柔構造化したブレードを長大・柔構造ブレードと呼ぶ)させることが可能である。

[0008] 特許文献1に開示されている技術を適用することで、風速、ロータまたは発電機の回転速度に応じ、ブレード空力性能を考慮したピッチ角で運転し、発電効率を向上させることが可能である。

[0009] しかし、発電効率の向上を可能にする長大・柔構造ブレードでは、ブレードのねじれ変形量（以下、ねじれと呼ぶ）が大きくなる可能性がある。ブレード空力性能は、風速と回転速度によって決定される流入相対風速とブレードの各断面における翼角度(ピッチ角度とねじれ)によって決まる。剛構造ブレードの場合、ねじれがないため、流入相対風速が決まると、空力性能を最大化するピッチ角は一意に定まる。しかし、柔構造ブレードの場合、流入相対風速に加えてねじれを考慮し、空力性能を最大化するピッチ角を決定する必要がある。そのため、流入風速が同一であっても、剛構造ブレードと柔構

造ブレードでは、空力性能を最大化するピッチ角は異なることとなる。

[0010] したがって、長大・柔構造ブレードに特許文献１を適用した場合、ねじれの少ない剛構造ブレードに適用した場合に比べて、空力性能を最大化するピッチ角がねじれによって変化することを考慮できないため、発電効率が低下するピッチ角に調整する可能性がある。また、アジマス角を入力値に利用しないことから、標高が高くなるほど風速が大きくなるウィンドシアの効果を考慮できない。さらに、ダウンウィンド風車における、タワーの影響によりタワー近傍で風速が減少するタワーシャドウの効果を考慮できない。したがって、回転1周期中における風速変化の影響を考慮できず、発電効率が低下する可能性がある。

[0011] 本発明の目的は、ねじれの考慮によって、ブレード全体の空力性能を向上し、発電効率を向上させる運転制御手段を提供することである。

課題を解決するための手段

[0012] 上記課題を解決するために、本発明は、ピッチ角を変更可能なブレードと、前記ブレードに風を受けて回転するロータと、前記ロータの回転エネルギーを用いて発電する発電機を備える風力発電システムであって、前記ピッチ角を制御する制御装置を備え、前記制御装置は、風速、ロータまたは発電機の回転速度の計測情報と、予め算出されたブレードのねじれを考慮したピッチ角制御情報を記憶したデータベースの出力に基づき、前記ピッチ角を制御することを特徴とする風力発電システムを示すものである。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、ブレードのねじれを考慮することによって、発電効率を向上できる制御装置を備えた風力発電システムを提供することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明を実施しない場合の風力発電システム１の構成要素を示す図である。

[図2]本発明を実施しない場合の風力発電システム１のコントローラ１１に実

装される運転制御手段の処理概要を示すブロック線図である。

[図3]本発明を実施しない場合の運転制御手段２２に実装される運転制御手段の処理概要を示すブロック線図である。

[図4]風力発電システム１の風速、発電電力、回転速度、発電機トルク、および、ピッチ角の関係を示す概略図である。

[図5]本発明の第１の実施形態に係るコントローラ１１に実装される運転制御手段の処理概要を示すブロック線図、および、データベース１０６を予め作成するためのフローチャートである。

[図6]本発明の第１の実施形態に係るコントローラ１１に実装されるより広い風速領域での運転制御手段の処理概要を示すブロック線図である。

[図7]風力発電システム１における、あるブレード断面の翼素に流入する相対風速に対する迎角と、ピッチ角と初期ねじれ角の関係を説明するための図である。

[図8]風力発電システム１における、あるブレード断面の翼素に流入する相対風速に対する迎角と、ピッチ角、初期ねじれ角、および、ねじれの関係を説明するための図である。

[図9]風力発電システム１における、ねじれにより、あるブレード断面での空力性能の低下を説明するための図である。

[図10]本発明の第一の実施形態に係るデータベースを適用した場合と、適用しない場合における風速と回転方向に加わる力との関係を説明するための図である。

[図11]本発明の第２の実施形態に係るコントローラ１１に実装される運転制御手段の処理概要を示すブロック線図である。

[図12]本発明の第３の実施形態に係るコントローラ１１に実装される運転制御手段の処理概要を示すブロック線図である。

[図13]本発明の第４の実施形態に係るコントローラ１１に実装される運転制御手段の処理概要を示すブロック線図である。

[図14]本発明の第５の実施形態に係るコントローラ１１に実装される運転制

御手段の処理概要を示すブロック線図である。

[図15]本発明の第６の実施形態に係るコントローラ１１に実装される運転制御手段の処理概要を示すブロック線図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施形態を、図面を参照して説明する。なお、各図面において同一の構成については同一の符号を記し、重複する部分についてはその詳細な説明は省略する。

[0016] [第１の実施形態]

図1を用いて、本発明を適用可能な風力発電システム全体の概略構成について説明する。図1の風力発電システム１は、複数のブレード２と、複数のブレード２を接続するハブ３とで、構成されるロータ４を備える。ロータ４はナセル５に回転軸（図１では省略する）を介して連結されており、回転することでブレード２の位置を変更可能である。ナセル５はロータ４を回転可能に支持している。ブレード２が風を受けることによりロータ４が回転し、ロータ４の回転力がナセル５内の発電機６を回転させることで電力を発生することができる。なお、ナセル５上には風向や風速を計測する風向風速センサ７が備えられている。

[0017] 個々のブレード２には、風に対するブレード２の角度（ピッチ角）を調整可能なピッチ角駆動装置８を備えている。ピッチ角駆動装置８を用いて、ピッチ角を変更することでブレード２の受ける風力（風量）を調整して、風に対するロータ４の回転エネルギーを変更することができる。これによって、広い風速領域において回転速度および発電電力を制御することが可能となっている。

[0018] 風力発電システム１において、ナセル５はタワー９上に設置されており、タワー９に対して回転可能な機構（図では省略）を有している。タワー９は、ハブ３やナセル５を介してブレード２の荷重を支持するようになっており、地上、洋上、浮体の所定位置に設置された基部（図では省略）に固定されている。

[0019] 発電機６は、タワー９内に設置される電力変換器１０によって、発電機が発生するトルク（以下、発電機トルクと呼ぶ）が制御され、ロータ４の回転トルクを制御することができる。

[0020] また、風力発電システム１はコントローラ１１を備えており、発電機６の回転速度を計測する回転速度センサ１２から出力される回転速度と、発電機６の発電機トルクに基づき、コントローラ１１で発電機６とピッチ角駆動装置８を調整することで、風力発電システム１の発電電力や回転速度を調整する。

[0021] ブレード２は、例えばロータ径100m以上とすることができる。また、ロータ径180m以上にする場合、特に柔構造に対応する制御による効果が大きい。また、ブレード２は、回転面から各翼素が形状的に初期ねじれを有するが、発電運転時に風により加わる力によりそこから0.2°以上ねじれが生じるように、ブレード２のウェブやスパーキャップ等を設計することができる。また、発電運転時に0.5°以上ねじれが生じる柔構造ブレードである場合、本実施例制御により特に顕著な効果が得られる。

[0022] 図２に、コントローラ１１に実装される可変速制御部２１のブロック線図を示す。図２に示す運転制御手段は、発電機トルクの目標値と計測値の偏差と発電機回転速度の目標値と計測値の偏差に基づいて、フィードバック制御によりピッチ角指令値を決定するピッチ角制御部２２を備える。また、発電機回転速度の目標値と計測値の偏差に基づいて、フィードバック制御により発電機トルク指令値を決定する発電機トルク制御部２３を備える。

[0023] 図３に、可変速制御部２１のピッチ角制御部２２の概要を示すブロック線図である。ピッチ角制御部２２は、回転速度制御部２２aと、トルク制御部２２ｂより構成される。回転速度制御部２２aは、発電機回転速度の目標値と計測値の偏差に基づいて、フィードバック制御によりピッチ角指令値を決定する。また、トルク制御部２２ｂは、発電機トルクの目標値と計測値の偏差に基づいて、フィードバック制御によりピッチ角指令値を決定する。これら２つの値を加算することで、ピッチ角制御部２２の最終的なピッチ角指令値を

決定する。

[0024] 図４に、図２と図３に示すコントローラ１１に実装される運転制御手段によって得られる風力発電システム１の特性を示す。図４は、風速に対する発電電力、発電機の回転速度、発電機トルクおよびピッチ角の関係を示している。各グラフの横軸は風速を示し、右側に行くほど風速は速くなる。また、各グラフの縦軸は上方に行くほど発電電力、回転速度、発電機トルクの各値が大きくなることを示している。ピッチ角に関しては、上方がフェザー（風を逃がす）側、下方がファイン（風を受ける）側となる。

[0025] 発電は、ロータ４の回転を開始するカットイン風速Vinから回転を停止するカットアウト風速Voutの範囲で行われ、風速Vdまでは風速の増加に伴って発電電力値も増加するが、それ以上の風速では発電電力は一定となる。

[0026] コントローラ１１では、カットイン風速Vinから風速Vaまでは回転速度が一定（Wlow）になるように発電機トルクを制御し、回転速度が定格回転速度Wratに達したら、定格回転速度Wratを維持するように発電機トルクおよびピッチ角を制御する。基本的には、発電機トルクの制御は発電電力を確保するために行う。発電機トルクの制御では、風速Vbから風速Vdの範囲で、風速に応じて発電機トルクを定格発電機トルクQratになるまで変化させ、風速Vdからカットアウト風速Voutまでの範囲では、定格発電機トルクQratを保持する。

[0027] ピッチ角の制御では、風速Vcまではピッチ角をファイン角θminに保持し、風速Vcからカットアウト風速Voutの範囲で、風速に応じてピッチ角をファイン側θminからフェザー側θmaxまで変化させる。ただし、図４の例においては、風速Vcから風速Vdの範囲で発電機トルクとピッチ角の制御をオーバーラップさせているが、これをVc=Vdとしてオーバーラップをなくし、発電機トルクの制御とピッチ角の制御を独立に実行させるようにしてもよい。

[0028] 本発明の第１の実施形態では、特に発電効率の向上が求められる、カットイン風速Vinから風速Ｖｄのような風速領域における、ブレードのねじれによる発電効率の低下をピッチ角の調整により防止するものである。

[0029] 図５aは、ねじれピッチ角指令値算出部１００の概要を示すブロック線図で

ある。ねじれピッチ角指令値算出部１００は、風速計測手段１０１、ロータまたは発電機の回転速度計測手段１０２、ヨー誤差計測手段１０３、ナセル傾斜角計測手段１０４、および、アジマス角計測手段１０５に基づき、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角制御情報を記憶したデータベース１０６よりピッチ角指令値若しくは補正値を決定する。

[0030] 風速計測手段１０１と、回転速度計測手段１０２の出力を活用することによって、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角に調整することが可能である。

[0031] さらに、ヨー誤差計測手段１０３を活用することによって、風力発電システム１が風向と正対していない場合に生じるねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角に調整することが可能である。

[0032] また、ナセル傾斜角計測手段１０４を活用することによって、風力発電システム１が浮体に設置された場合に、ロータ４が前後に傾いた場合に生じるねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角に調整することが可能である。

[0033] 前記風速計測手段１０１は、ナセル５近傍の風速を計測しているため、ウィンドシアと呼ばれる、標高が高くなるほど風速が大きくなる効果を考慮できない。さらに、ダウンウィンド方式風車におけるタワーシャドウと呼ばれるタワー通過後のタワー近傍の風速が低下する効果は考慮できない。そこで、アジマス角計測手段１０５を活用することによって、ウィンドシアとタワーシャドウによる回転1周期中の風速変化が考慮できる。したがって、回転１周期中のねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角に調整することが可能となる。この場合、各ブレードを独立ピッチ制御とすることができる。

[0034] ここで、風速計測手段１０１、回転速度計測手段１０２、ヨー誤差計測手段１０３、ナセル傾斜角計測手段１０４からデータベース１０６に入力される値は、各計測手段の出力信号と一致するものであっても良いし、所定の時定数を設定したフィルタ処理を施した値であっても良い。

[0035] なお、カットイン風速Vinから風速Vdのような低風速領域のみの運転であ

れば、図５aのねじれピッチ角指令値算出部１００のみでピッチ角を調整することが可能である。より広い風速領域での運転を考慮する場合には、図６に示すように、風力発電システム１のピッチ角制御部２２の指令値に、ねじれピッチ角指令値算出部１００より算出した指令値を加算することで、最終的なピッチ角指令値を決定してもよい。ここで、ピッチ角制御部２２は、ピッチ角指令値を回転速度制御部からの指令値とトルク制御部からの指令値を加算して算出しても良いし、回転速度制御部のみに基づいて、ピッチ角指令値を算出しても良い。

[0036] 図５ｂは、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角のデータベースを予め作成するためのフローチャートである。ステップＳ１００にて、風速、回転速度、ヨー誤差、ナセル傾斜角、アジマス角のパラメータを入力する。ステップＳ１０１にて、ピッチ角の初期値を入力する。ステップＳ１０２にて、ステップＳ１００とステップＳ１０１の入力値に基づき、各翼素でのねじれと空力性能をブレードの空力及び物理モデルにより算出する。ステップＳ１０３にて、空力性能を最大化するピッチ角が算出されたか否かを判定し、算出されていない場合、ステップＳ１０１でピッチ角の値を変更した後、ステップＳ１０２の処理を再び実施する。これにより、同一パラメータに対して、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角が探索されることとなる。ステップＳ１０４にて、取りうる計測情報が網羅されたか否かを判定し、網羅されていない場合、ステップＳ１００～Ｓ１０３の処理を再び実行する。これにより、風車の運転状態を網羅したパラメータに対して、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角が探索されることとなる。ステップＳ１０５にて、風車の運転状態を網羅したパラメータに対して、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角をデータベースに格納する。

[0037] なお、発電効率の向上が求められる、カットイン風速Vinから風速Ｖｄのような風速領域における空力性能の最大化は、ブレード全体の回転方向に加わるトルク・力を最大化、ブレード全体の回転方向に加わる力とブレード全体のスラスト方向に加わる力の商を最大化、ブレード全体の揚力を最大化、ま

たは、ブレード全体の揚力と抗力の商を最大化することを示す。また、ブレードの荷重低下が求められる風速Ｖｄ以上のような発電運転時、または、暴風時の発電待機時における空力性能の最大化は、ブレード全体の回転方向に加わる力とブレード全体のスラスト方向に加わる力の商を最大化、ブレード全体のスラスト方向に加わる力を最小化、ブレード全体の揚力と抗力の商を最大化、または、ブレード全体の抗力を最小化することを示す。したがって、計測条件に基づいてデータベースから参照される、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角は、風速領域に応じて変更することも可能である。

[0038] 図５ｃは、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角に対応した発電機トルクのデータベースを予め作成するためのフローチャートである。ステップＳ１０６にて、風速、回転速度、ヨー誤差、ナセル傾斜角、アジマス角、ピッチ角のパラメータを入力する。ステップＳ１０７にて、発電電力と発電機トルクを算出する。ステップＳ１０８にて、取りうる計測情報が網羅されたか否かを判定し、網羅されていない場合、ステップＳ１０６とステップＳ１０７の処理を再び実行する。これにより、風車の運転状態を網羅したパラメータに対して、発電機トルクが探索されることとなる。ステップＳ１０９にて、風車の運転状態を網羅したパラメータに対して、ねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角に対応した発電機トルクを、前記ピッチ角を格納したデータベースに追加して格納することで、データベース１０６とする。

[0039] なお、データベースの格納形態は、テーブル参照型、及び、関数の形態であってもよい。関数は、解析及び過去動作によるデータによって、内挿及び外装などのフィッティング手法もしくは、機械学習によって作成される。これによって、データベース格納の情報量削減が可能となる。

[0040] 図７は、風力発電システム１における、あるブレード断面の翼素に流入する相対風速に対する迎角と、ピッチ角、初期ねじれ角の関係を説明するための図である。また、図８は、図７において、ねじれが生じた場合の関係を説明するための図である。図９は、風力発電システム１において、ねじれが生

じた場合のあるブレード断面の迎角と空力性能(断面空力性能)との関係を示す図である。図７に示すように、翼１０７の回転による回転速度ωと風速Vによる相対風速Wが、翼１０７に流入する。翼１０７の回転面と翼弦長のなす角は、ピッチ角θpとブレードの初期ねじれ角θsの和である。また、相対風速Wと翼弦長のなす角が翼の迎角α0となる。前記翼１０７にねじれが生じた場合、図８に示すように、回転面と翼弦長のなす角にねじれφが加わり、翼１０７の迎角はα1に変化する。したがって、図９に示すように、α0からα１に変化するため、翼１０７の断面空力性能が低下する。ここで、断面空力性能は、翼１０７の回転方向に加わる力、または、翼１０７の回転方向に加わる力とスラスト方向に加わる力の商である。

[0041] 図１０は、本発明の第一の実施形態に係るデータベースを適用した場合と、適用しない場合における風速と回転方向に加わる力との関係の１例を示す図である。図１０に示すように、データベース適用前の回転方向に加わる力１０８に対して、データベース適用後の回転方向に加わる力１０９は、平均で約１０％向上することが可能となる。

[0042] 本発明の第1の実施形態を適用した場合、ねじれを考慮した回転方向に加わる力を最大化するピッチ角に調整することによって、ねじれによる発電効率の低下を抑制することが可能である。

[0043] [第２の実施形態]

図１１を用いて、本発明の第２の実施形態について説明する。なお、実施形態１と重複する点については詳細な説明を省略する。図１１は、本発明の第２の実施形態に係るブロック線図である。第１の実施形態と異なり、ねじれピッチ角指令値算出部２００はアジマス角補正値算出手段２０１を備えており、アジマス角の補正値がデータベース１０６に入力され、データベース１０６からピッチ角指令値が算出される構成をとる。アジマス角補正値算出手段２０１は、アジマス角計測手段１０５からの値に、ピッチ角駆動装置の時定数に回転速度計測手段１０２による回転速度を乗じた値を加算することによって、ピッチ角指令値算出から実際にピッチ角指令値に到達するまでの

アジマス角の位相が進む影響を補正したアジマス角を算出する。

[0044] 本発明の第２の実施形態を適用した場合、アジマス角計測時刻でのピッチ角指令値と、実際にピッチ角指令値に到達した時刻で算出すべきピッチ角指令値のずれを補正し、発電効率の低下を抑制することが可能である。

[0045] [第３の実施形態]

図１２を用いて、本発明の第３の実施形態について説明する。なお、第１および第２の実施形態と重複する点については詳細な説明を省略する。図１２は、本発明の第３の実施形態に係るブロック線図である。第１および第２の実施形態と異なり、ピッチ角駆動装置の逆モデル３００を備えており、逆モデルにより補正したピッチ角指令値を、第1または第2の実施形態におけるピッチ角指令値に加算することで、最終的なピッチ角指令値を決定する。逆モデルは、解析及び過去動作のデータによる機械学習によってピッチ角駆動装置８の逆伝達関数を求めることで作成する。

[0046] 本発明の第３の実施形態を適用した場合、ピッチ角指令値の算出時刻から実際にピッチ角指令値に到達する時刻までに、計測情報が変動することによって生じる、到達時刻の計測情報により算出されるピッチ角指令値と、到達時刻における実際のピッチ角との誤差を逆モデルの活用により補正することが可能であり、発電効率の低下を抑制することが可能である。

[0047] [第４の実施形態]

図１３を用いて、本発明の第４の実施形態について説明する。本発明の第４の実施形態に関わるピッチ角運転制御手段は、第１～第３の実施形態と同様のため、説明を省略する。

[0048] 第１～第３の実施形態と異なり、ピッチ角計測手段４０１を備え、前記計測手段に加えて、ピッチ角計測手段４０１の計測情報に基づき、データベース１０６より発電機トルク指令値を算出する。

[0049] なお、発電機トルク指令値は、データベース１０６より算出した値のみを用いても良いし、発電機トルク制御部２３より算出した値に、データベース１０６より算出した値を加算して最終的な発電機トルク指令値を決定しても

良い。

[0050] 本発明の第４の実施形態を適用した場合、ねじれを考慮したピッチ角指令値での運転に対応した発電機トルクに調整することで、発電効率の低下を抑制することが可能である。

[0051] [第５の実施形態]

図１４を用いて、本発明の第５の実施形態について説明する。第１～第４の実施形態と異なり、発電運転モードと発電待機モードを切り替えることができるモード切替え手段（モード切替え機能）５０１を備え、これによって発電運転時と発電待機時で、計測情報に基づいて参照するねじれを考慮した空力性能を最大化するピッチ角を変更する。また、発電待機時には、ロータまたは発電機の回転は停止するため、計測情報に回転速度計測手段は不要となる。

[0052] 発電運転時には、回転方向の力を最大化、または、回転方向に加わる力を最大化しつつ、スラスト方向に加わる力を最小化するようなピッチ角を参照する。一方、発電待機時には、スラスト方向に加わる力を最小化するようなピッチ角を参照する。

[0053] 本発明の第５の実施形態を適用した場合、発電待機時におけるねじれを考慮した空力性能を最大化することで、ブレードに加わる荷重を低減することが可能である。

[0054] [第６の実施形態]

図１５を用いて、本発明の第２の実施形態について説明する。なお、実施形態１と重複する点については詳細な説明を省略する。本実施例においては、ねじれピッチ角指令値算出部２００からの指令値と、ピッチ角制御部２２の指令値の加算部に重みつけ演算部２５０を有し、重みをつけて加算する。これにより、風によるエネルギーの入力を調節する風速の高い定格運転領域において、空力最大化ピッチ角度の近傍にピッチ角度を制御して発電電力低下を抑制できる。このときの加算方法は下式により決定する。

[0055]

[数1]

$$\theta_{ip_dem} = \theta_{p_conv} \times k + \theta_{ip_opt} \times (1 - k)$$

[0056] ここで、kは重み係数、θ_(ip_dem)は、i番目のブレードにおける最終的に決定したピッチ角度指令値、θ（p_conv）はピッチ角制御部の指令値、θ（ip_opt）はねじれピッチ角指令値算出部２００からの指令値である。kは、風速の計測値V、ピッチ角度が増加し始める風速V_1、既存制御に対する発電電力の向上率が正、かつ、最小となる風速V_2によって下記式より導出する。なお、V_1とV_2は事前に性能評価結果を基に演算しておく。

[0057] [数2]

$$k = \begin{cases} 0 & (V < V_1) \\ \dfrac{V}{V_2 - V_1} & (V_1 \leq V < V_2) \\ 1 & (V_2 \leq V) \end{cases}$$

[0058] 導出したkによって、風速V_1未満では空力最大化ピッチ角度に制御する。また、風速V_1以上、かつ、風速V_2未満では空力最大化ピッチ角度から既存指令値へ重みkで加算させ、風速V_2以上では、既存指令値に制御する。

符号の説明

[0059] １…風力発電システム、２…ブレード、３…ハブ、４…ロータ、５…ナセル、６…発電機、７…風向風速センサ、８…ピッチ角駆動装置、９…タワー、１０…電力変換器、１１…コントローラ、１２…回転速度センサ、２１…可変速制御部、２２…ピッチ角制御部、２２a…回転速度制御部、２２ｂ…トルク制御部、２３、発電機トルク制御部、１００…ねじれピッチ角指令値算出部、１０１…風速計測手段、１０２…回転速度計測手段、１０３…ヨー誤差計測手段、１０４…ナセル傾斜角計測手段、１０５…アジマス角計測手段、１０６…データベース、１０７…翼、１０８…データベース適用前の回転方

向に加わる力、１０９…データベース適用後の回転方向に加わる力、２００…アジマス角補正ねじれピッチ角指令値算出部、２０１…アジマス角補正値算出手段、３００…逆モデル、４００…ねじれ発電機トルク指令値算出部、４０１…ピッチ角計測手段、５００…モード切替ねじれピッチ角指令値算出部、５０１…モード切替え手段

請求の範囲

[請求項1] ピッチ角を変更可能なブレードと、

前記ブレードに風を受けて回転するロータと、

前記ロータの回転エネルギーを用いて発電する発電機を備える風力発電システムであって、

前記ピッチ角を制御する制御装置を備え、

前記制御装置は、風速、ロータまたは発電機の回転速度の計測情報と、

予め算出されたブレードのねじれを考慮したピッチ角制御情報を記憶したデータベースの出力に基づき、前記ピッチ角を制御することを特徴とする風力発電システム。

[請求項2] 請求項１に記載の風力発電システムであって、

前記制御装置は、発電を開始する風速である第１の風速以上、かつ、定格発電にいたる風速である第２の風速以下の場合に、前記データベースから取得した、前記ブレードの回転方向に加わる力若しくはトルクを最大化するように演算されたピッチ角制御情報に基づき、前記ピッチ角を制御することを特徴とする風力発電システム。

[請求項3] 請求項１に記載の風力発電システムであって、

前記制御装置は、発電を開始する風速である第１の風速以上、かつ、発電を停止する風速である第３の風速以下の場合に、前記データベースから取得した、前記ブレードの回転方向に加わる力とブレードスラスト方向に加わる力の商を最大化するように演算されたピッチ角制御情報に基づき、前記ピッチ角を制御することを特徴とする風力発電システム。

[請求項4] 請求項１から請求項３のいずれかに記載の風力発電システムであって、

前記制御装置は、ピッチ角の計測情報と、前記データベースに記憶された発電機トルクに基づき、前記発電機トルクを制御することを特

徴とする風力発電システム。

[請求項5] 請求項１から請求項４のいずれかに記載の風力発電システムであって、

前記制御装置は、前記ロータまたは発電機の回転速度の目標値と計測値の偏差を入力値に利用して、ピッチ角指令値を算出するフィードバック制御部を備え、

前記データベースにより算出されるピッチ角指令値と、前記フィードバック制御部によるピッチ角指令値に基づいて、ピッチ角を制御することを特徴とする風力発電システム。

[請求項6] 請求項１から請求項５のいずれかに記載の風力発電システムであって、

前記制御装置は、発電機トルクの目標値と計測値の偏差を入力値に利用して、ピッチ角指令値を算出するフィードバック制御部を備え、

前記データベースにより算出されるピッチ角指令値と、前記フィードバック制御部により算出されるピッチ角指令値に基づいて、ピッチ角を制御することを特徴とする風力発電システム。

[請求項7] 請求項１から請求項６のいずれかに記載の風力発電システムであって、

前記制御装置は、前記ロータまたは発電機の回転速度にピッチ角駆動装置の時定数を乗じた値を、アジマス角計測手段によって計測したアジマス角に加算した値と、前記データベースの出力に基づき、前記ピッチ角を制御することを特徴とする風力発電システム。

[請求項8] 請求項１から請求項７のいずれかに記載の風力発電システムであって、

前記制御装置は、前記データベースによるピッチ角指令値を、ピッチ角駆動装置の逆伝達関数より作成される逆モデルによって補正したピッチ角指令値に基づき、

ピッチ角を調整することを特徴とする風力発電システム。

[請求項9] 請求項１から請求項８のいずれかに記載の風力発電システムであって、

前記制御装置は、発電運転モードと発電待機モードを切り替えるモード切替え手段を備え、

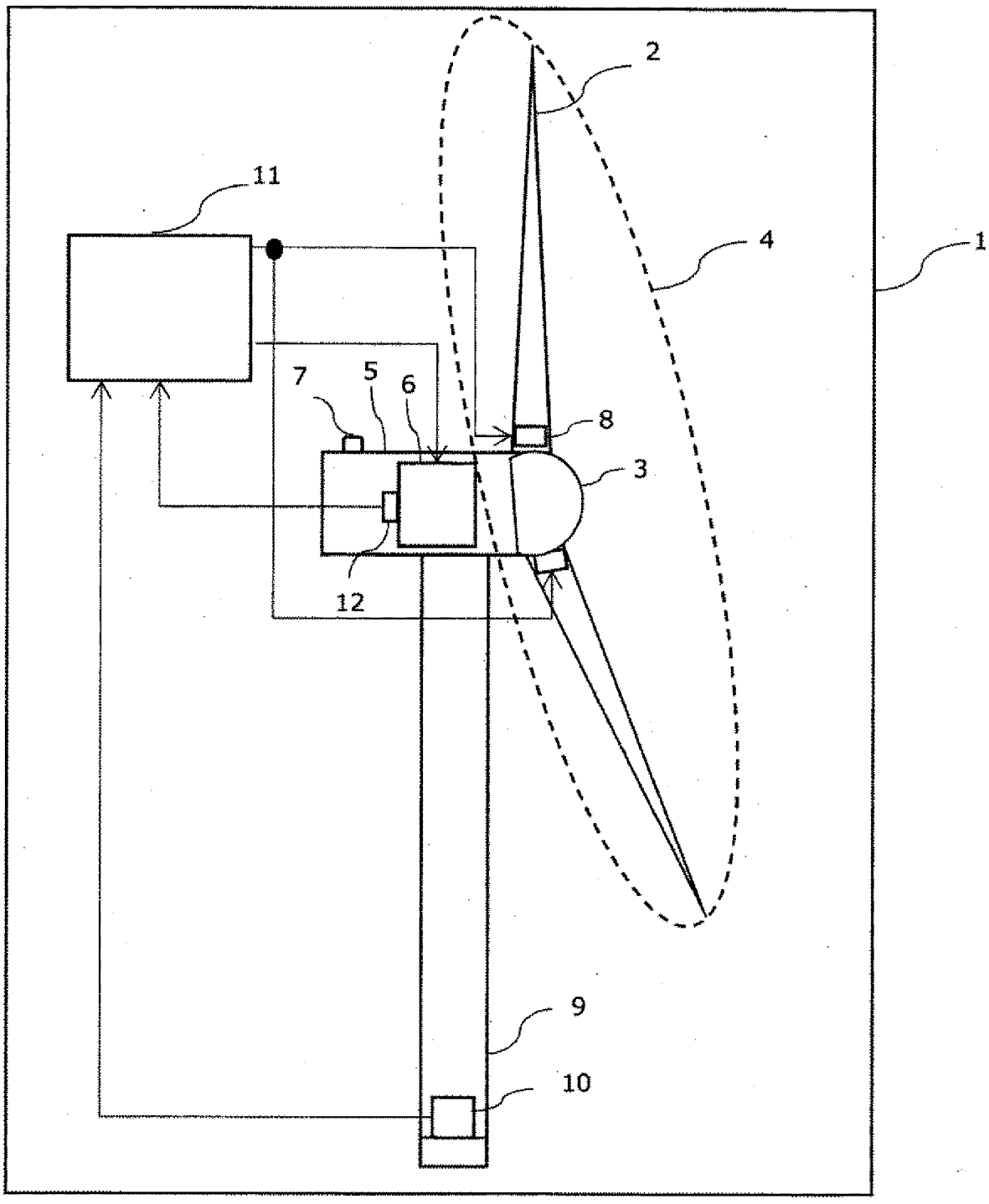
前記発電待機モード時には風速の計測情報に基づき、前記データベースに記憶された、前記ブレードのスラスト方向に加わる力を最小化するように演算されたピッチ角制御情報に基づき、前記ピッチ角を制御することを特徴とする風力発電システム。

[請求項10] 請求項１から請求項９のいずれかに記載の風力発電システムであって、

前記ブレードが柔構造であることを特徴とする風力発電システム。

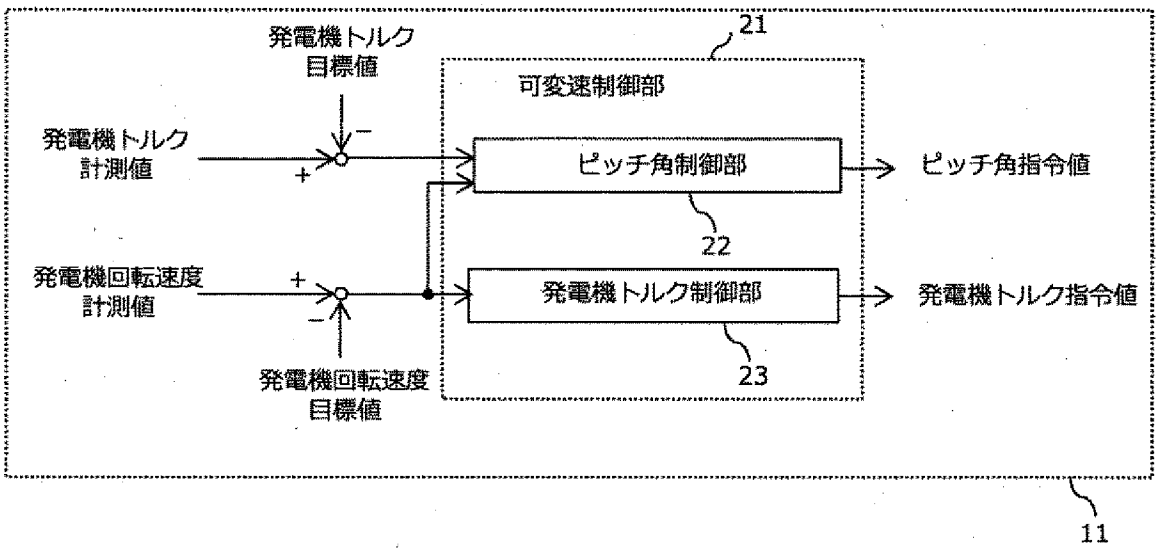
[図1]

図 1



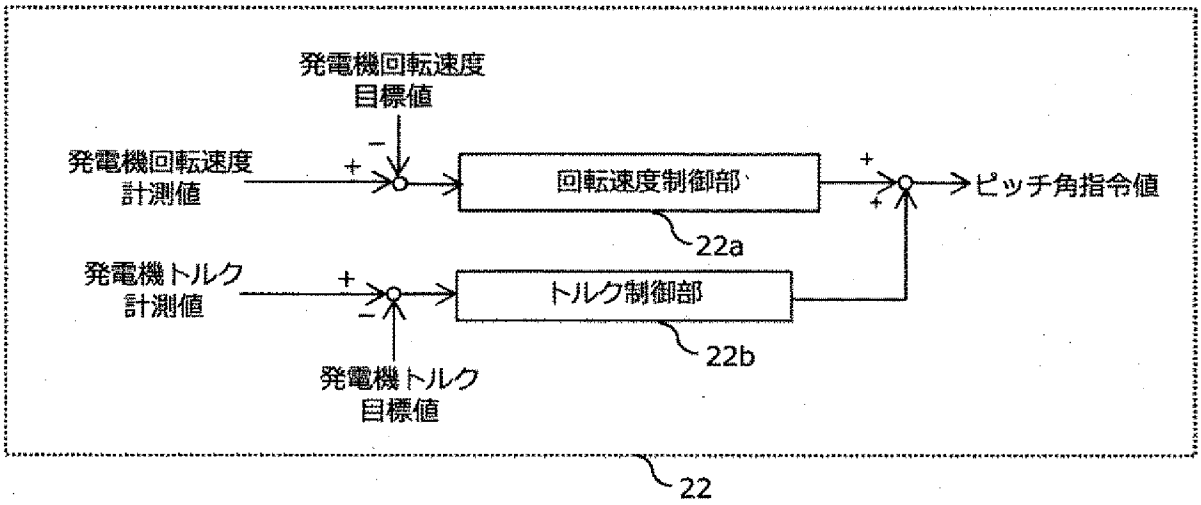
[図2]

図 2


発電機トルク
目標値
21
可変速制御部
発電機トルク
計測値
−
+
ピッチ角制御部
ピッチ角指令値
22
発電機回転速度
計測値
+
−
発電機トルク制御部
発電機トルク指令値
23
発電機回転速度
目標値
11

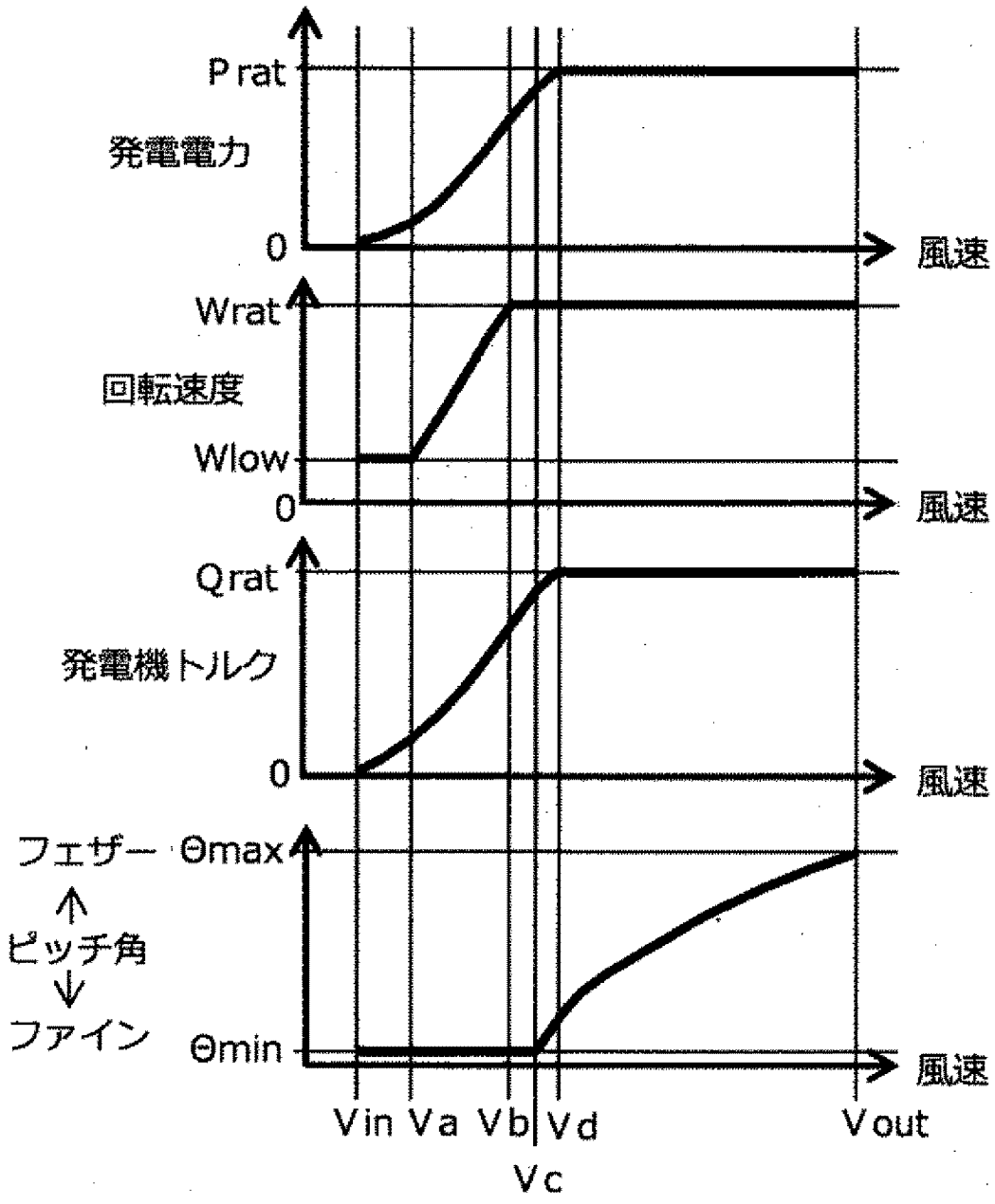
[図3]

図 3


発電機回転速度
目標値
−
発電機回転速度
計測値
+
回転速度制御部
22a
+
+
ピッチ角指令値
発電機トルク
計測値
+
−
トルク制御部
22b
発電機トルク
目標値
22

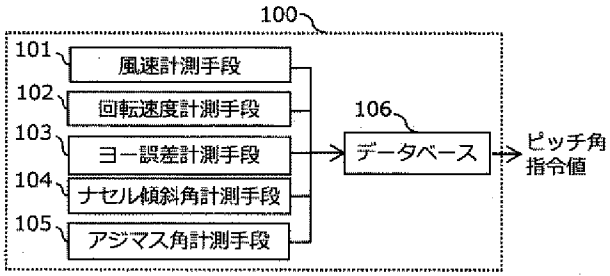
[図4]

図 4

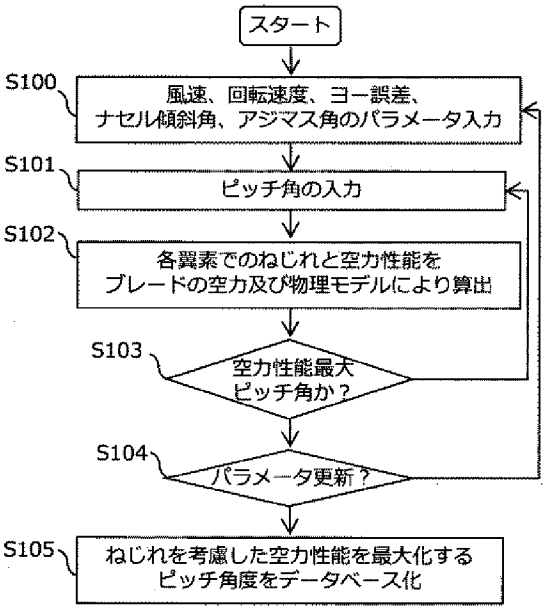

Prat
発電電力
0
風速
Wrat
回転速度
Wlow
0
風速
Qrat
発電機トルク
0
風速
フェザー
↑
ピッチ角
↓
ファイン
Θmax
Θmin
風速
Vin Va Vb Vc Vd
Vout

[図5]

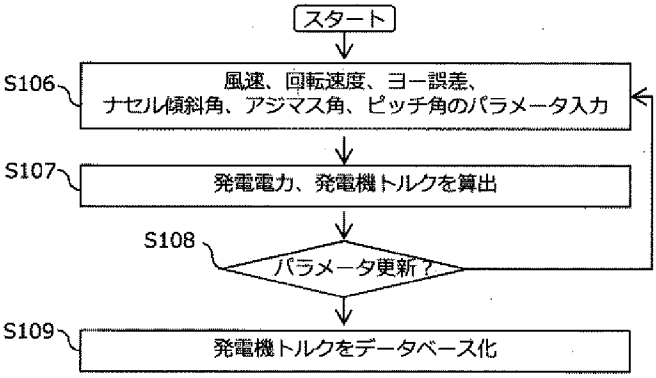
図 5


100
101
風速計測手段
102
回転速度計測手段
103
ヨー誤差計測手段
104
ナセル傾斜角計測手段
105
アジマス角計測手段
106
データベース
ピッチ角
指令値

a


スタート
S100
風速、回転速度、ヨー誤差、
ナセル傾斜角、アジマス角のパラメータ入力
S101
ピッチ角の入力
S102
各翼素でのねじれと空力性能を
ブレードの空力及び物理モデルにより算出
S103
空力性能最大
ピッチ角か？
S104
パラメータ更新？
S105
ねじれを考慮した空力性能を最大化する
ピッチ角度をデータベース化

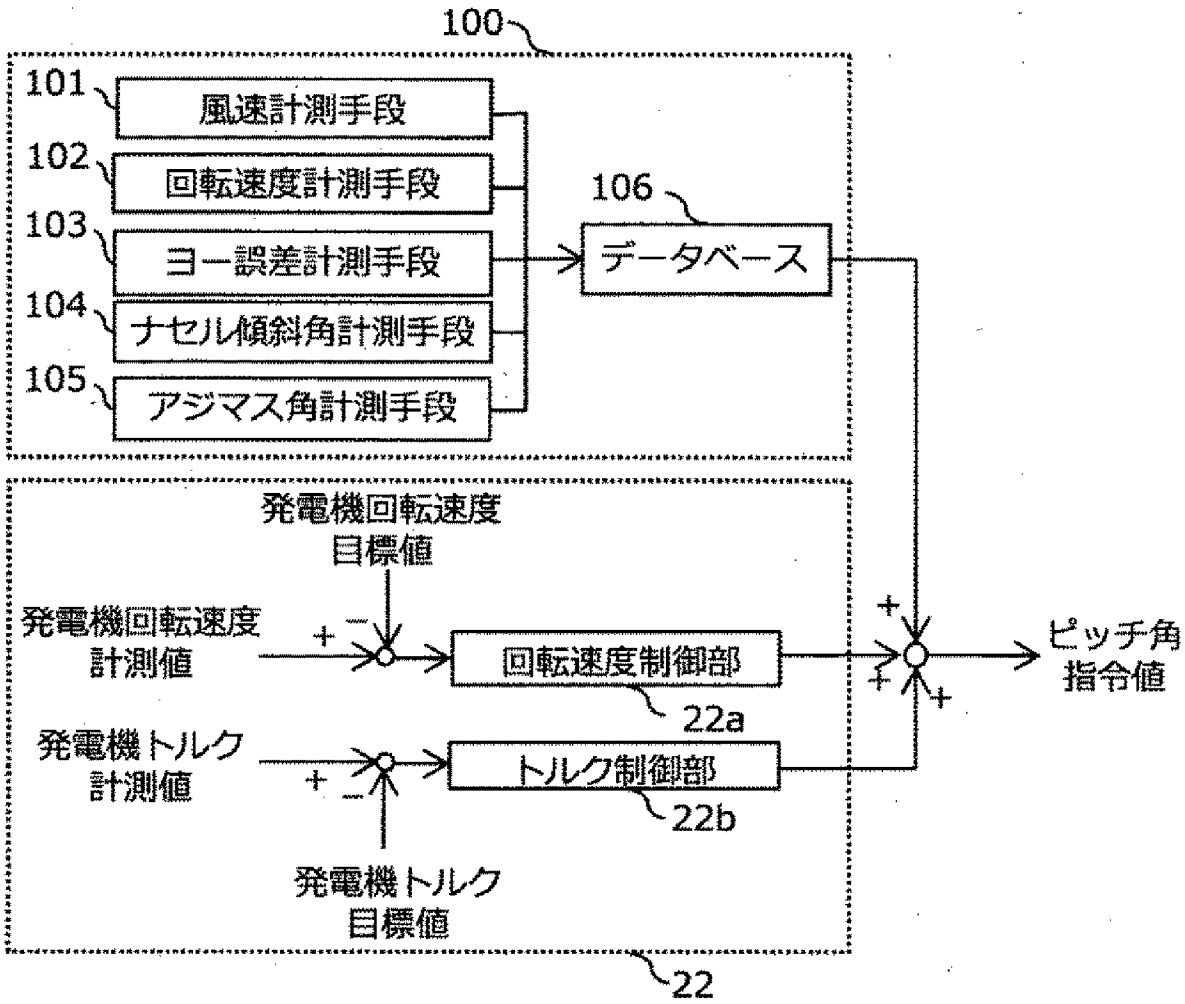
b


スタート
S106
風速、回転速度、ヨー誤差、
ナセル傾斜角、アジマス角、ピッチ角のパラメータ入力
S107
発電電力、発電機トルクを算出
S108
パラメータ更新？
S109
発電機トルクをデータベース化

c

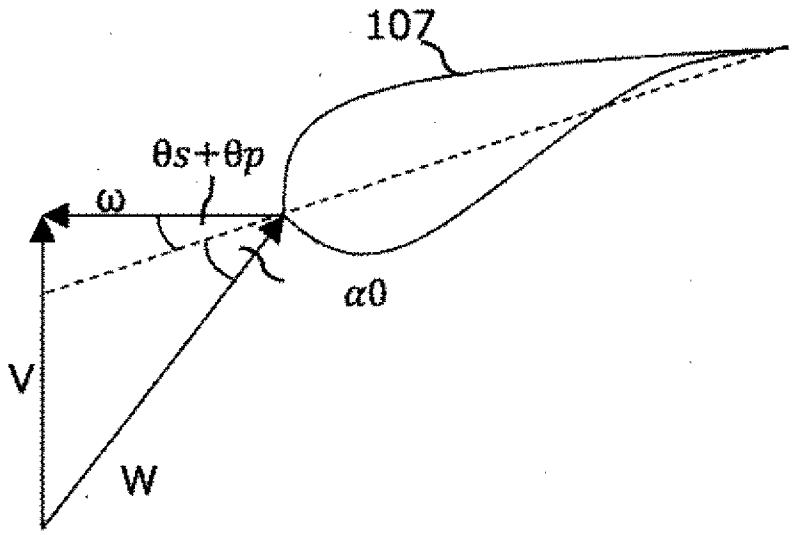
[図6]

図 6


100
101
風速計測手段
102
回転速度計測手段
103
ヨー誤差計測手段
104
ナセル傾斜角計測手段
105
アジマス角計測手段
106
データベース
発電機回転速度
目標値
発電機回転速度
計測値
回転速度制御部
22a
ピッチ角
指令値
発電機トルク
計測値
トルク制御部
22b
発電機トルク
目標値
22

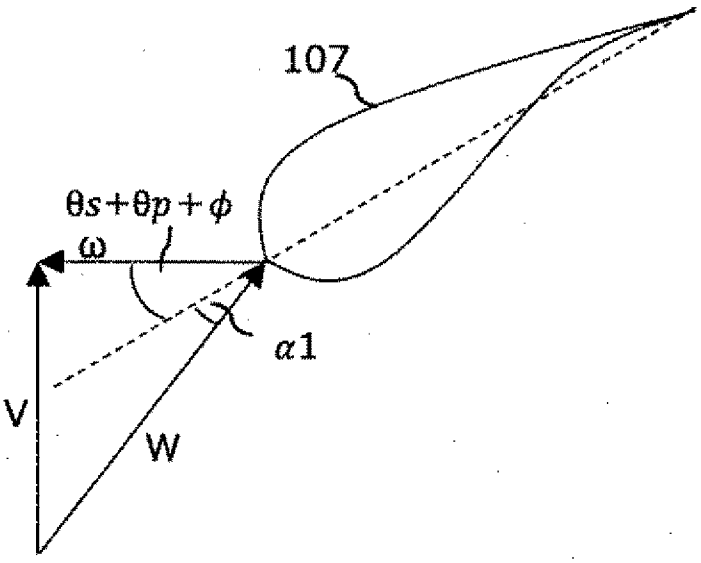
[図7]

図7



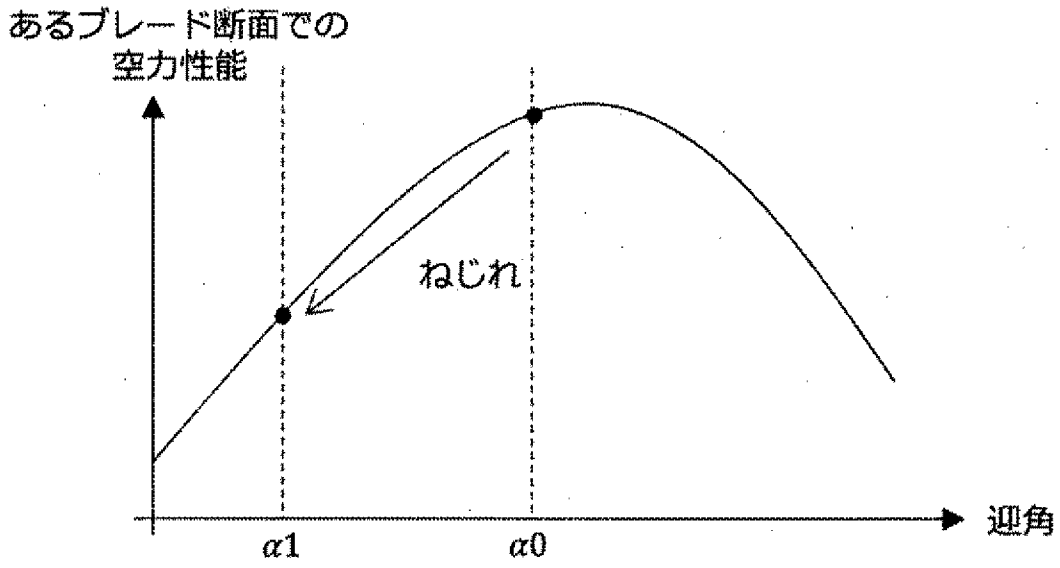
[図8]

図8



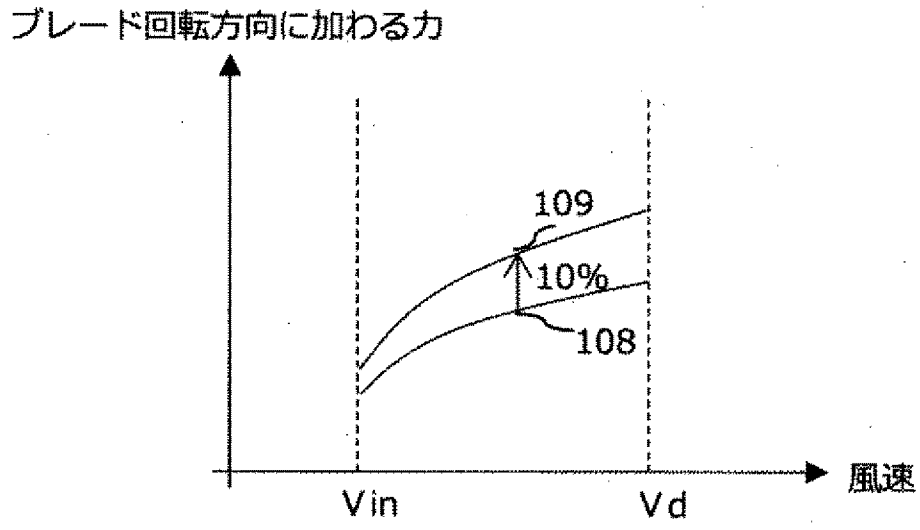
[図9]

図9


あるブレード断面での
空力性能
ねじれ
迎角
α1
α0

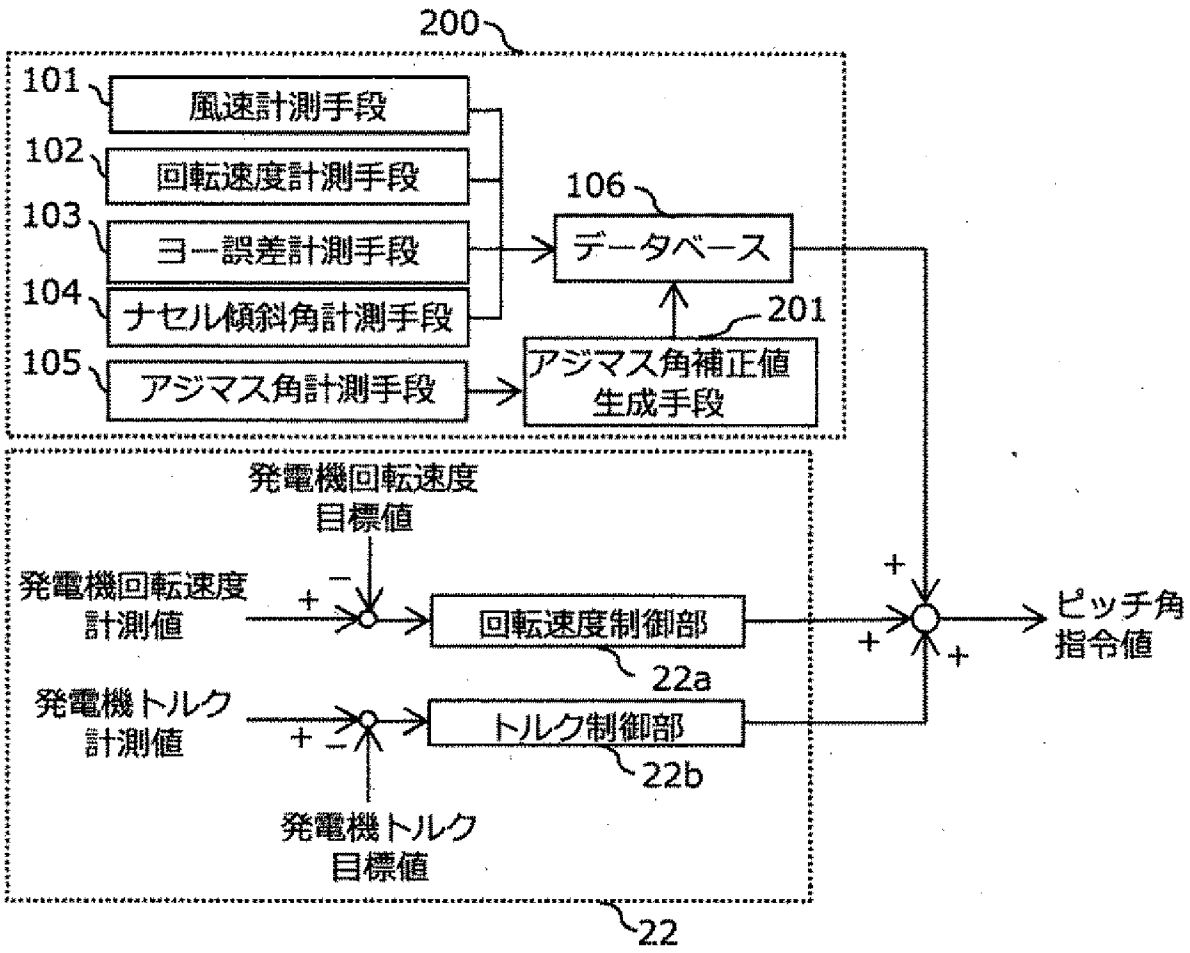
[図10]

図10


ブレード回転方向に加わる力
109
10%
108
風速
Vin
Vd

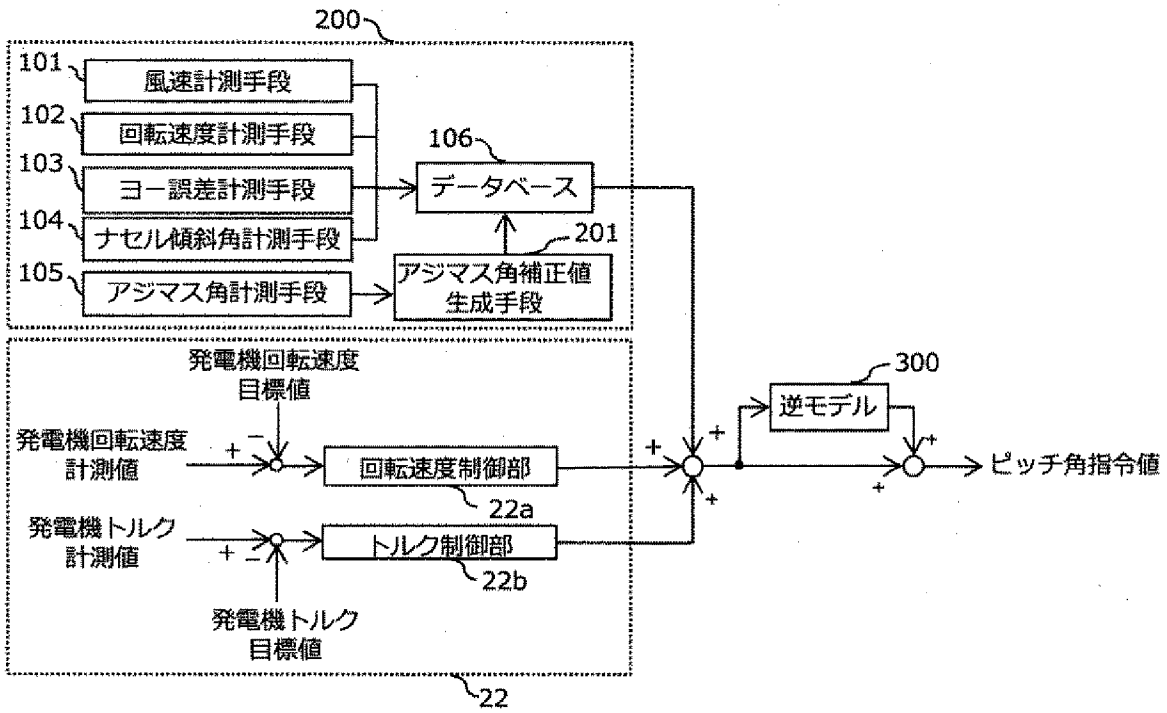
[図11]

図 11


200
101
風速計測手段
102
回転速度計測手段
103
ヨー誤差計測手段
104
ナセル傾斜角計測手段
105
アジマス角計測手段
106
データベース
201
アジマス角補正値
生成手段
発電機回転速度
目標値
発電機回転速度
計測値
回転速度制御部
22a
発電機トルク
計測値
トルク制御部
22b
発電機トルク
目標値
22
ピッチ角
指令値

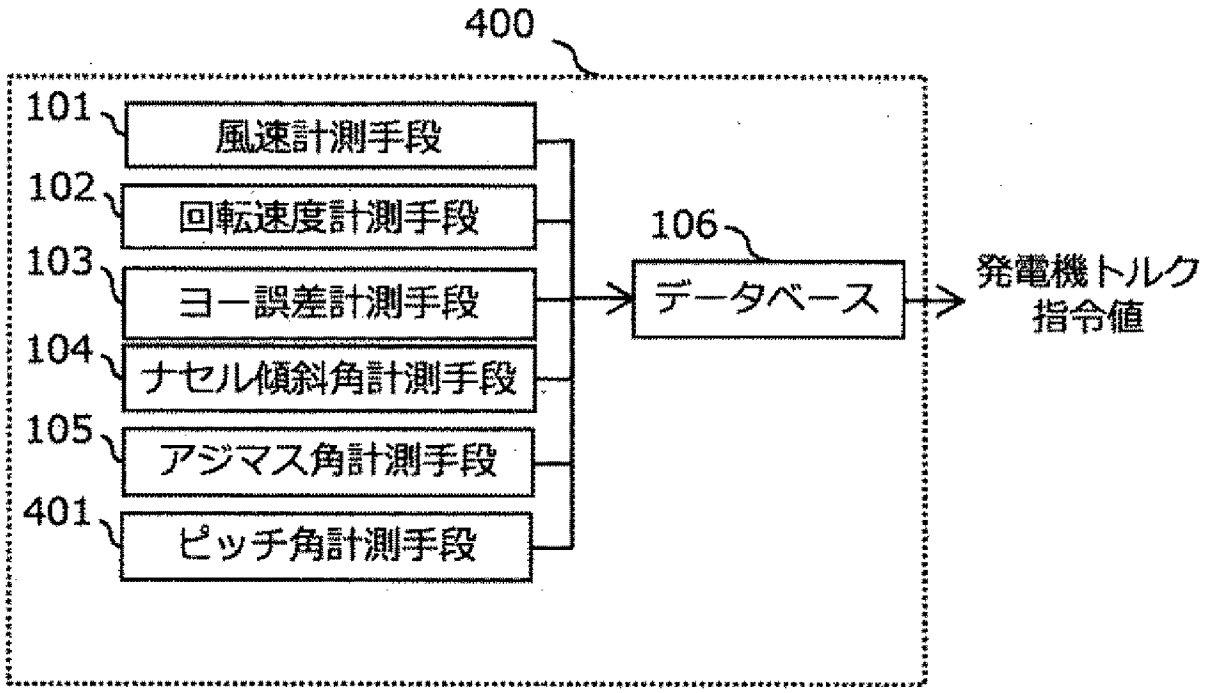
[図12]

図 12



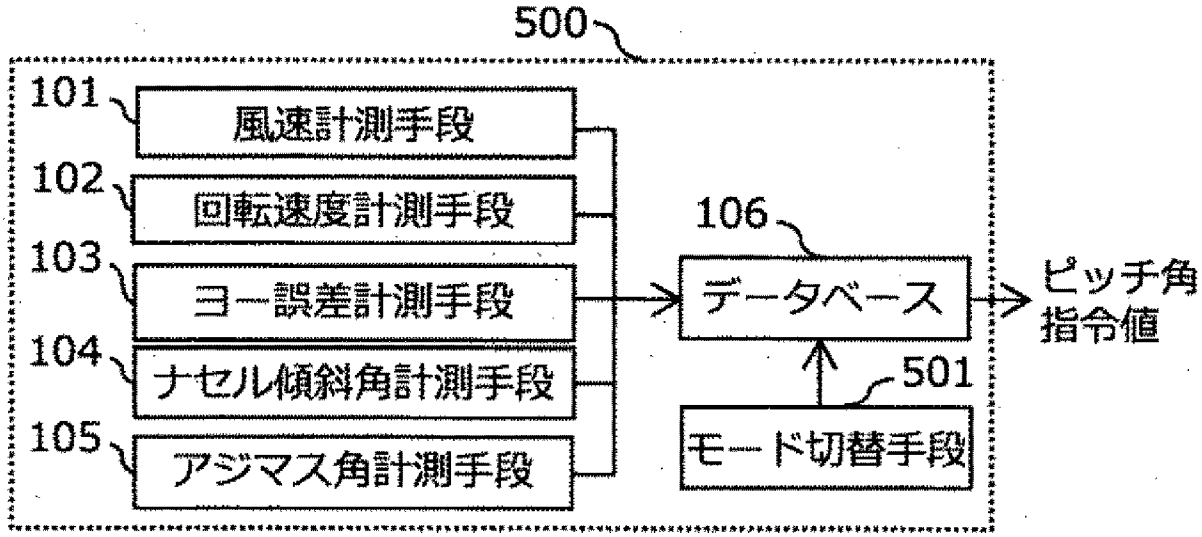
[図13]

図 13



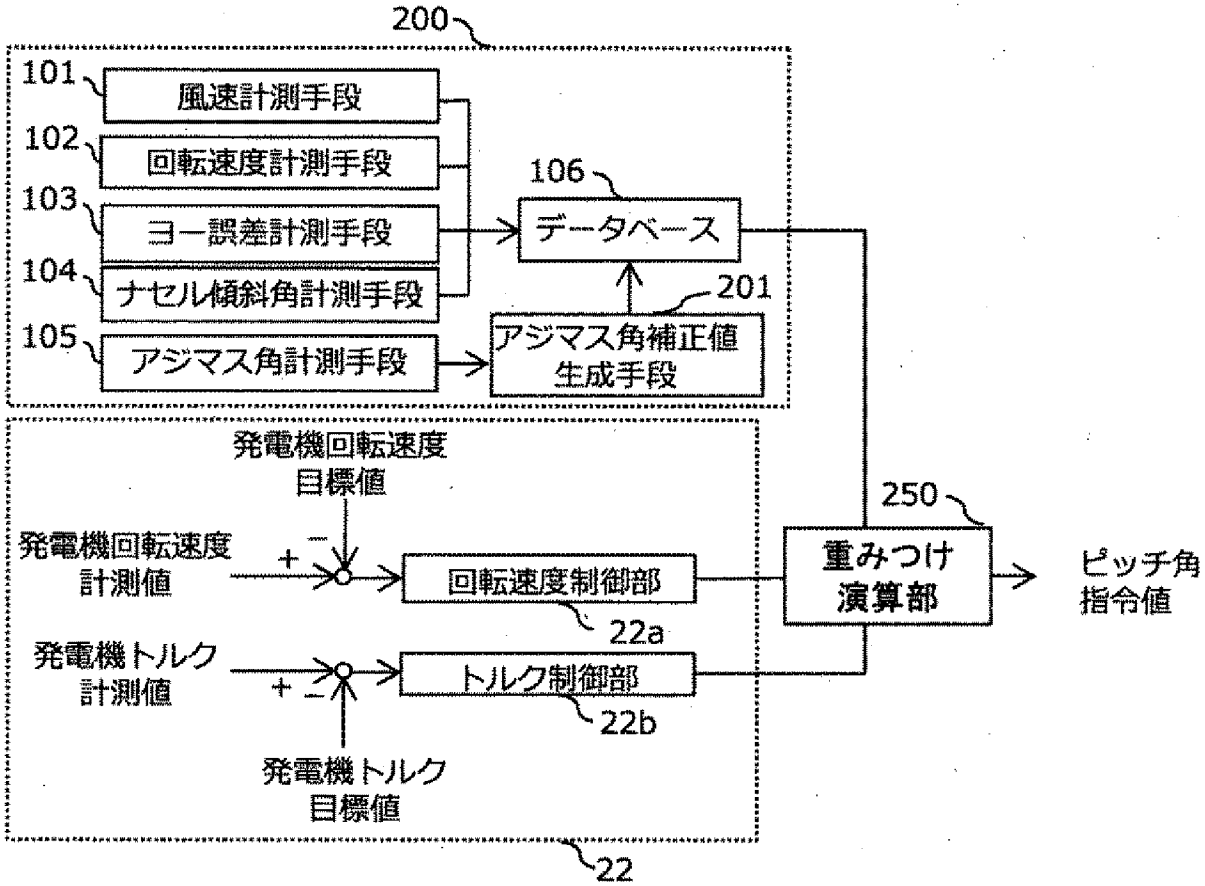
[図14]

図 14



[図15]

図 15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/002106

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. F03D7/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int. Cl. F03D7/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2017/085156 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH) 26 May 2017, page 5, line 7 to page 6, line 27, page 18, lines 1-5, fig. 2, 4 & JP 2018-535354 A, paragraphs [0023], [0024], [0027], [0028], [0082], fig. 2, 4	1, 10 2, 5-8 3-4, 9
Y A	JP 2015-532382 A (IFP ENERGIES NOUVELLES) 09 November 2015, paragraph [0028] & US 2015/0285222 A1, paragraphs [0028]-[0032]	2, 5-7 1, 3-4, 8-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
08.04.2019	23.04.2019
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/002106

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 58-178884 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP.) 19 October 1983, page 1, lower left column, lines 10-18, page 2, lower left column, line 18 to upper right column, line 8 & US 4420692 A, column 1, lines 27-56, column 6, line 55 to column 7, line 15	5-8 1-4, 9-10
Y A	JP 2016-089732 A (HITACHI, LTD.) 23 May 2016, paragraphs [0020]-[0029] & DE 102015221775 A1	7-8 1-6, 9-10
A	JP 2015-001212 A (HITACHI, LTD.) 05 January 2015, paragraph [0018] (Family: none)	1-10
A	JP 2004-301116 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 28 October 2004, paragraphs [0036], [0043] & US 2004/0183307 A1, paragraphs [0058], [0059], [0064]	1-10
A	EP 2848805 A1 (ALSTOM RENOVABLES ESPANA, S. L.) 18 March 2015, paragraph [0016] (Family: none)	1-10
A	US 2017/0321660 A1 (ATZLER et al.) 09 November 2017, paragraph [0028] & CN 107002636 A	1-10

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／００２１０６

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F03D7/04(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F03D7/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y A	WO 2017/085156 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH) 2017.05.26, 第５ページ第７行-第６ページ第27行, 第18ページ第1-5行, 図２, ４ & JP 2018-535354 A, 段落[0023]-[0024], [0027]-[0028], [0082], 図２, ４	1, 10 2, 5-8 3-4, 9
Y A	JP 2015-532382 A (イエフペ　エネルジ　ヌヴェル) 2015.11.09, 段落[0028] & US 2015/0285222 A1, 段落[0028]-[0032]	2, 5-7 1, 3-4, 8-10

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０８．０４．２０１９	２３．０４．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	３Ｏ	６２０９
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	原田　愛子 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５８		

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y A	JP 58-178884 A (ユナイテツド・テクノロジーズ・コーポレイシヨン) 1983.10.19, 第1ページ左下欄第10-18行, 第2ページ左下欄第18行-右上欄第8行 & US 4420692 A, 第1欄第27-56行, 第6欄第55行-第7欄第15行	5-8 1-4, 9-10
Y A	JP 2016-089732 A (株式会社日立製作所) 2016.05.23, 段落[0020]-[0029] & DE 102015221775 A1	7-8 1-6, 9-10
A	JP 2015-001212 A (株式会社日立製作所) 2015.01.05, 段落[0018] (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2004-301116 A (三菱電機株式会社) 2004.10.28, 段落[0036], [0043] & US 2004/0183307 A1, 段落[0058]-[0059], [0064]	1-10
A	EP 2848805 A1 (ALSTOM RENOVABLES ESPAÑA, S.L.) 2015.03.18, 段落[0016] (ファミリーなし)	1-10
A	US 2017/0321660 A1 (ATZLER et al.) 2017.11.09, 段落[0028] & CN 107002636 A	1-10