(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
2005 年3 月24 日 (24.03.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/026537 A1

(51) 国際特許分類[7]: F03D 7/04

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/013144

(22) 国際出願日: 2004 年9 月9 日 (09.09.2004)

(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2003-318312 2003 年9 月10 日 (10.09.2003) JP
特願2004-143642 2004 年5 月13 日 (13.05.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目１６番５号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 井手 和成 (IDE, Kazunari) [JP/JP]; 〒8510392 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 Nagasaki (JP). 林 義之 (HAYASHI, Yoshiyuki) [JP/JP]; 〒8510392 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 Nagasaki (JP). 柴田 昌明 (SHIBATA, Masaaki) [JP/JP]; 〒8508610 長崎県長崎市飽の浦町１番１号 三菱重工業株式会社長崎造船所内 Nagasaki (JP).

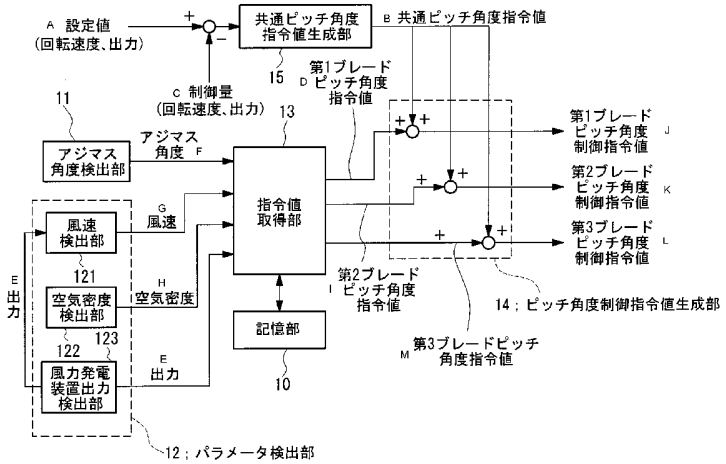
(74) 代理人: 藤田 考晴, 外(FUJITA, Takaharu et al.); 〒2200012 神奈川県横浜市西区みなとみらい３－３－１ 三菱重工横浜ビル２４Ｆ Kanagawa (JP).

(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

[続葉有]

(54) Title: BLADE PITCH ANGLE CONTROL DEVICE AND WIND TURBINE GENERATOR

(54) 発明の名称: ブレードピッチ角度制御装置及び風力発電装置



A SETTING (ROTATION SPEED, OUTPUT)
B COMMON PITCH ANGLE INSTRUCTION VALUE
C CONTROL VARIABLE (ROTATION SPEED, OUTPUT)
D FIRST BLADE PITCH ANGLE INSTRUCTION VALUE
E OUTPUT
F AZIMUTH ANGLE
G WIND VELOCITY
H AIR DENSITY
I SECOND BLADE PITCH ANGLE INSTRUCTION VALUE
J FIRST BLADE PITCH ANGLE CONTROL INSTRUCTION VALUE
K SECOND BLADE PITCH ANGLE CONTROL INSTRUCTION VALUE
L THIRD BLADE PITCH ANGLE CONTROL INSTRUCTION VALUE
M THIRD BLADE PITCH ANGLE INSTRUCTION VALUE

10 STORAGE UNIT
11 AZIMUTH ANGLE DETECTOR
12 PARAMETER DETECTOR
13 INSTRUCTION VALUE ACQUIRING UNIT
14 PITCH ANGLE CONTROL INSTRUCTION VALUE GENERATING UNIT
15 COMMON PITCH ANGLE INSTRUCTION VALUE GENERATING UNIT
121 WIND VELOCITY DETECTOR
122 AIR DENSITY DETECTOR
123 WIND TURBINE GENERATOR OUTPUT DETECTOR

(57) Abstract: A blade pitch angle control device comprising a storage unit (10) for storing, mutually associated with each other, specified parameters affecting a variation in blade load, an azimuth angle, and a pitch angle instruction value, an azimuth angle detector (11) for detecting an azimuth angle for each blade, a parameter detector (12) for detecting specified parameters, an instruction value acquiring unit (13) for acquiring, for each blade, a blade-based azimuth angle detected by the azimuth angle detector (11) and a pitch angle instruction value selected by specified parameters detected by the parameter detector (12) respectively from the storage unit (10), and a pitch angle control instruction value generating unit (14) for generating a pitch angle control instruction value that is used to individually control a blade pitch angle based on a pitch angle instruction value and a common pitch angle instruction value.

[続葉有]

WO 2005/026537 A1

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: ブレードの荷重変動に影響を及ぼす所定のパラメータ、アジマス角度、及びピッチ角度指令値が互いに関連付けられて格納されている記憶部（１０）と、ブレード毎のアジマス角度を検出するアジマス角度検出部（１１）と、所定のパラメータを検出するパラメータ検出部（１２）と、アジマス角度検出部（１１）によって検出されたブレード毎のアジマス角度とパラメータ検出部（１２）によって検出された所定のパラメータとによって選定されるピッチ角度指令値をブレード毎にそれぞれ記憶部（１０）から取得する指令値取得部（１３）と、ピッチ角度指令値と共通ピッチ角度指令値とに基づいて、ブレードのピッチ角度を個別に制御するためのピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成部（１４）とを有するブレードピッチ角度制御装置。

明 細 書

ブレードピッチ角度制御装置及び風力発電装置

技術分野

[0001] 本発明は、風力発電装置に関し、特に風車のブレードピッチ角度を制御するブレードピッチ角度制御装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、風力発電装置に使用されるプロペラ型風車は、図11に外観図を示すように、複数枚のブレード、例えば、第1ブレード1、第2ブレード2、第3ブレード3からなる3枚のブレードと、3枚のブレードを連結するリンク機構としてのロータ5と、タワー4などを備えて構成されている。

従来、このようなプロペラ型風車は、風況に応じて、所定の発電機回転速度と出力を得るように、各ブレードが制御される。

例えば、図12に、従来のピッチ角度制御装置の構成の一例を示す。この図に示すように、従来のピッチ角度制御装置は、発電機回転速度又は出力の設定値と現在の制御量との差に基づいて、共通ピッチ角度指令値を生成する共通ピッチ角度指令値生成部15を備えている。そして、アクチュエータが、共通ピッチ角度指令値生成部15により生成された共通ピッチ角度指令値に基づいて、各ブレードを一様のピッチ角度に制御することにより、各ブレードのピッチ角度制御が行われる。

[0003] ところで、風車への流入風速は、図13(a)に示すように、地表の影響(以下、地表の影響による風速特性を「ウィンドシア特性」という。)や、図13(b)に示すように、風車を支持するタワーの影響(以下、タワーの影響による風速特性を「タワー特性」という。)を受ける。これに風速の空間的な乱れと時間的な乱れが加わり、図13(c)に示すように、ブレード旋回領域で一様の風速分布を持たないこととなる。このような、風速が一様でない環境下では、各ブレードの空力出力の瞬時値が異なるため、各ブレードの推力及びモーメントなどが互いに異なる値をとることとなる。この結果、各ブレードの荷重変動を生じさせ、ブレードの寿命短縮を招いていた。

このような問題に対し、例えば、特表2001−511497号公報(特許文献1)には、各

ブレードに流入する風の迎角や、荷重を計測し、これらの値に基づいて各ブレードを個別に制御する技術が開示されている。

特許文献1:特表2001−511497号公報

特許文献2:国際公開第01／86141号パンフレット

発明の開示

[0004] 上記特許文献1に開示されている発明では、複数のセンサからの検出値に基づき風力発電装置の各部に作用する荷重やブレードに流入する風の迎角などを瞬時に算出し、この瞬時の荷重変動を低減させるべくピッチ角度の制御を行っている。ここで、効果的に荷重変動を低減させるためには、センサによる検出からフィードバック制御までの一連の処理をほぼリアルタイムに行う必要がある。

しかしながら、上記発明では、各検出値に基づいて演算により瞬時荷重を得ているため、処理が煩雑になり、迅速に瞬時荷重を得ることができないという問題があった。また、このような処理時間の長期化は、フィードバック制御の遅延をもたらし、ピッチ角度制御の精度を低下させていた。

[0005] 更に、上記発明では、各ブレードに対して複数の風力センサや歪みゲージを設ける必要がある。しかしながら、これらのセンサには、高い信頼性が要求されることから、高額なセンサを採用する必要があり、コストがかかるという問題があった。

更に、風速の計測については、ブレードの後流に風速計を設置して風速を計測しているため、ブレードの回転による風速変動の影響を受けることとなり、風速を正確に検出することができないという問題が生じていた。

[0006] 本発明は、上記問題を解決するためになされたもので、ピッチ角度制御の精度を向上させることにより、風力発電装置に生ずる荷重変動の更なる低減を図るピッチ角度制御装置を提供することを目的とする。

[0007] 上記課題を解決するために、本発明は以下の手段を採用する。

本発明は、複数枚のブレードを有する風力発電装置に用いられるブレードピッチ角度制御装置であって、前記ブレードの荷重変動に影響を及ぼす所定のパラメータ、アジマス角度、及びピッチ角度指令値が互いに関連付けられて格納されている記憶手段と、前記ブレード毎のアジマス角度を検出するアジマス角度検出手段と、前記所

定のパラメータを検出するパラメータ検出手段と、前記アジマス角度検出手段によって検出された前記ブレード毎のアジマス角度と前記パラメータ検出手段によって検出された所定のパラメータとによって選定されるピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ前記記憶手段から取得する指令値取得手段と、前記指令値取得手段によって取得された前記ピッチ角度指令値と前記風力発電装置の出力情報により求められる各ブレード共通の共通ピッチ角度指令値とに基づいて、前記ブレードのピッチ角度を個別に制御するためのピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段とを具備するブレードピッチ角度制御装置を提供する。

[0008] 本発明によれば、記憶手段には、ブレードの荷重変動に影響を及ぼす各種パラメータを考慮に入れた最適なピッチ角度指令値が予め格納されている。従って、制御時において、指令値取得手段が、各種パラメータによって選定される最適なピッチ角度指令値を記憶手段から読み出すだけで、風車の運転状況に最適なピッチ角度制御を得ることができる。

このように、ブレードの荷重変動を算出するための処理等を一切行うことなく、各種パラメータから即座に最適なピッチ角度指令値を得ることが可能となるので、処理の軽減、及び迅速化を図ることができる。

これにより、リアルタイムにピッチ角度を制御することが可能となるので、風力発電装置の運転状況の動的変化に迅速に対応でき、更なる荷重変動の低減を実現できる。この結果、各ブレードの寿命を長く保つことが可能となり、安定した発電出力を得ることが可能となる。

ピッチ角度制御指令値生成手段は、風力発電装置の発電出力をフィードバック制御するために生成される各ブレード共通のピッチ角度指令値である共通ピッチ角度指令値に、指令値取得手段によって取得された風車の運転状況を考慮して求められた最適なピッチ角度指令値を反映させ、各ブレードのブレードピッチ角を制御するためのピッチ角度制御指令値を各ブレード毎に生成する。これにより、風力発電装置の出力変動及び運転状況を考慮にいれた最適なピッチ角度に各ブレードを制御することが可能となる。

[0009] 上記記載のブレードピッチ角度制御装置において、前記記憶手段に格納されてい

る前記ピッチ角度指令値は、前記風力発電装置の設置場所におけるウィンドシア特性が反映された値に設定されていることが好ましい。

[0010] 風速、空気密度、風力発電装置の出力等はその時々に応じて動的に変化するものであるが、ウィンドシアは、風力発電装置が設置されている立地条件により一様に決まるものである。

このように、記憶手段に格納されている情報は、動的に変化するパラメータだけではなく、立地条件に応じて一様に決定されるウィンドシアなどの情報をも考慮されているため、非常に高精度なピッチ角度の制御を行うことができる。

[0011] 上記記載のブレードピッチ角度制御装置において、前記所定のパラメータは風速であり、前記パラメータ検出手段は、風速と前記風力発電装置の出力とが関連付けられている特性テーブルを有し、前記風力発電装置の出力に対応する風速を前記特性テーブルから読み出すことにより、風速を推定する風速推定手段であることが好ましい。

[0012] 風速は、ピッチ角度指令値を選定するために必要となる重要なパラメータの一つである。荷重変動や出力変動を正確に低減できるか否かは、風速の検出精度に大きく依存するため、風速は高精度で検出する必要がある。

しかしながら、風速計を風車の後流に設けることにより、風速を計測する従来のやり方では、ブレードの回転による風速変動の影響をまともに受けてしまい、風速を正確に計測することができない。

本発明によれば、風速検出手段が物理的に風速を計るのではなく、風速と密接な関係を持つ風力発電装置の出力に基づいて、ソフトウェア上の簡単な処理により風速を求める。これにより、極めて正確な風速を得ることができ、更に、コストを抑えることができる。

なお、上記風速推定手段に代えて、風車に流入する前で風速を計測する風速計(例えばレーザードップラー風速計)を用いてもよい。これによれば、ブレードの後流の影響を受けないので、高精度の風速を得ることができる。

レーザードップラー風速計を用いる場合、トレーサ粒子を風車の上流側から風車に向けて流す手段を設ける。あるいは、風車に流入する空気に混入している埃や水蒸

気をトレーサとして用いて、埃や水蒸気からの散乱光を得てレーザードップラーによる計測を行っても良い。これによれば、別途トレーサ粒子を流す手段を設ける必要がない。

[0013] 上記記載のブレードピッチ角度制御装置は、前記風力発電装置の発電出力、発電機回転数、又はロータ回転数のいずれかからブレード数の整数倍の周波数成分を抽出する周波数成分抽出手段と、抽出した該周波数成分に基づいて、その周波数変動による荷重変動を除去するためのピッチ角度を演算する演算手段とを備え、前記ピッチ角度制御指令値生成手段は、前記演算手段によって演算されたピッチ角度を前記ピッチ角度制御指令値に反映させることが好ましい。

[0014] 風速等の各種パラメータの変動を考慮してピッチ角度制御値を求めたとしても、誤差やフィードバック制御による時間遅れなどにより、荷重変動や発電出力変動を完全に除去することは難しい。

一方、出力変動は、ブレードの枚数に応じた周波数帯域に顕著に現れることがわかっている。従って、このような顕著に現れる出力変動を除去するためのピッチ角度を求め、これをブレードピッチ角度制御指令値に反映させることにより、更なる出力変動の低減化を図ることができる。

即ち、周波数成分抽出手段は、固定速風車を用いる風力発電装置にあっては、風力発電装置の出力からブレードの整数倍の周波数成分を抽出する。一方、可変速風車を用いる風力発電装置にあっては、発電機回転数又はロータ回転数からブレードの整数倍の周波数成分を抽出する。

演算手段は、例えば、周波数成分抽出手段によって抽出された周波数成分を所定のアルゴリズムによって演算することにより周波数領域の変動ピッチ角度を演算し、更にこの変動ピッチ角度を逆周波数解析して時間領域の変動ピッチ角度を得る。

この結果得られる変動ピッチ角度は、顕著な荷重変動を除去するためのピッチ角度となる。

そして、ピッチ角度制御指令値生成手段は、この顕著な出力変動を打ち消すためのピッチ角度をピッチ角度制御指令値に反映させる。

これにより、顕著に現れる発電出力変動をピンポイントで除去できるので、より安定

した発電出力を得ることができる。

[0015] 本発明は、複数枚のブレードを有する風力発電装置であって、前記ブレードの荷重変動に影響を及ぼす所定のパラメータ、アジマス角度、及びピッチ角度指令値が互いに関連付けられて格納されている記憶手段と、前記ブレード毎のアジマス角度を検出するアジマス角度検出手段と、前記所定のパラメータを検出するパラメータ検出手段と、前記アジマス角度検出手段によって検出された前記ブレード毎のアジマス角度と前記パラメータ検出手段によって検出された所定のパラメータとによって選定されるピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ前記記憶手段から取得する指令値取得手段と、前記指令値取得手段によって取得された前記ピッチ角度指令値と前記風力発電装置の出力情報により求められる各ブレード共通の共通ピッチ角度指令値とに基づいて、前記ブレードのピッチ角度を個別に制御するためのピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段とを有するブレードピッチ角度制御装置を具備する風力発電装置を提供する。

[0016] 本発明は、複数枚のブレードを有する風力発電装置に用いられるブレードピッチ角度制御装置であって、所定のアジマス角度で前記ブレード又は風車を構成する機械部品にかかる荷重を計測する荷重計測手段と、前記荷重計測手段によって計測された荷重を低減させるための調整ピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ生成する調整ピッチ角度指令値生成手段と、前記ブレードを一様に制御するための共通ピッチ角度指令値に、前記ブレード毎に生成された前記調整ピッチ角度指令値を反映させて、前記ブレード毎にピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段とを具備するブレードピッチ角度制御装置を提供する。

[0017] 荷重計測手段は、所定の時間間隔毎ではなく、所定のアジマス角度で荷重を計測するため、固定速風車だけでなく、ブレードの回転速度を運転状況によって変化させる可変速風車にも適用することができる。

調整ピッチ角度指令値生成手段は、例えば、荷重計測手段により計測された荷重を低減させるための最適なピッチ角度をブレード毎に算出し、調整ピッチ角度指令値を生成する。そして、ピッチ角度制御指令値生成手段が、この調整ピッチ角度指令値をブレードのピッチ角度を制御するピッチ角度制御指令値に反映させることにより

、荷重変動を低減させることができる。

[0018] 本発明は、複数枚のブレードを有する風力発電装置に用いられるブレードピッチ角度制御装置であって、所定のアジマス角度で、前記ブレード又は風車を構成する機械部品にかかる荷重をそれぞれ計測する荷重計測手段と、前記荷重計測手段によって計測された計測値に基づいて、前記荷重の周期的な変動を求める演算手段と、前記演算手段の演算結果に基づいて、荷重の変動を低減させるための調整ピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ生成する調整ピッチ角度指令値生成手段と、前記ブレードを一様に制御するための共通ピッチ角度指令値に、前記ブレード毎に生成された前記調整ピッチ角度指令値を反映させて、前記ブレード毎にピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段とを具備するブレードピッチ角度制御装置を提供する。

[0019] 発明者らは、ブレードの荷重変動が周期的に顕著に現れる点に着目した。そこで、ロータ1回転中において、荷重がどのように変動しているかを検出する手段として、荷重計測手段と演算手段とを設けている。

荷重計測手段は、所定のアジマス角度で各ブレードにかかる荷重の計測を行う。このように、所定の時間間隔毎ではなく、所定のアジマス角度で荷重を計測するため、ブレードの回転速度が変化する可変速風車にも適用することができる。

演算手段は、荷重計測手段により計測された各アジマス角度における計測値を所定の周期分(例えば、1回転分)確保し、これらの計測値に基づいて荷重の特性を求める。これにより、各ブレードに、どのような荷重変動が現れているのかを知ることができる。

そして、調整ピッチ角度指令値生成手段が、この荷重変動を解消するためのピッチ角度調整指令値を求め、ピッチ角度制御指令値生成手段がこの調整ピッチ角度指令値を各ブレードのピッチ角度の制御に反映させる。これにより、周期的に顕著に現れる荷重変動を低減させることができる。

[0020] このように、周期的に現れる荷重変動に着目し、この荷重変動の低減を図るので、瞬時に現れる荷重変動を低減させる従来のピッチ角度制御に比べて、はるかに簡単な処理により、効率よく荷重変動を低減させることができる。これにより、最適なピッチ

角度となるよう各ブレードを制御することができ、ブレード及び風車を構成する機械部品の寿命を延ばすことができる。

なお、本発明では、少なくとも1周期分の計測値を確保した後に、これら計測値に基づくフィードバック制御を行うために時間遅れが生ずるが、本発明が着目している荷重変動は、ほぼ同じアジマス角度において周期的に現れるものであるので、フィードバックによる時間遅れがあっても高い精度で変動負荷を解消させることができる。

[0021] 上記記載のブレードピッチ角度制御装置において、前記荷重計測手段は、所定の時間間隔で各ブレードのアジマス角度を計測するアジマス角度計測手段と、計測結果が所定のアジマス角度と一致した場合に、トリガ信号を発生するトリガ発生手段と、前記トリガ信号に基づいて、荷重を計測する計測手段とを具備することが好ましい。

このように、荷重計測手段を一般的に良く知られた機構により構成するので、安価に且つ簡易に荷重計測手段を実現させることができる。

上記計測手段としては、歪みゲージ、ロードセル、光ファイバセンサ等が挙げられる。

[0022] 上記記載のブレードピッチ角度制御装置において、前記荷重計測手段は、アジマス角度が所定の角度に達した場合にトリガを発生するエンコーダと、前記トリガに基づいて荷重を計測する計測手段とを備えていることが好ましい。

エンコーダ及び計測手段は、一般的に良く知られた機構である。このように、荷重計測手段を一般的に良く知られた機構により構成するので、安価に且つ簡易に荷重計測手段を実現させることができる。

上記計測手段としては、歪みゲージ、ロードセル、光ファイバセンサ等が挙げられる。

[0023] 本発明は、複数枚のブレードを有する風力発電装置に用いられるブレードピッチ角度制御装置であって、所定のアジマス角度で、前記ブレード又は風車を構成する機械部品に係る加速度を計測する加速度計測手段と、前記加速度計測手段によって計測された加速度を低減するための調整ピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ生成する調整ピッチ角度指令値生成手段と、前記ブレードを一様に制御するための共通ピッチ角度指令値に前記ブレード毎に生成された前記調整ピッチ角度指

令値を反映させて、前記ブレード毎にピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段とを具備するブレードピッチ角度制御装置を提供する。

[0024] 調整ピッチ角度指令値生成手段は、例えば、加速度計測手段により計測された加速度を低減させるための最適なピッチ角度をブレード毎に算出し、調整ピッチ角度指令値を生成する。そして、ピッチ角度制御指令値生成手段が、この調整ピッチ角度指令値をブレードのピッチ角度を制御するピッチ角度制御指令値に反映させることにより、加速度の低減を図ることができる。

そして、加速度と荷重変動とは、相関関係を有するため、加速度を低減させることにより、荷重変動の低減を図ることができる。

[0025] 本発明は、複数枚のブレードを有する風力発電装置であって、所定のアジマス角度で前記ブレード又は風車を構成する機械部品にかかる荷重を計測する荷重計測手段と、前記荷重計測手段によって計測された荷重を低減させるための調整ピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ生成する調整ピッチ角度指令値生成手段と、前記ブレードを一様に制御するための共通ピッチ角度指令値に、前記ブレード毎に生成された前記調整ピッチ角度指令値を反映させて、前記ブレード毎にピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段とを有するブレードピッチ角度制御装置を具備する風力発電装置を提供する。

このようなブレードピッチ角度制御装置を備えるので、最適なピッチ角度となるよう各ブレードを制御することができ、ブレード及び風車を構成する機械部品の寿命が長い風力発電装置を実現させることができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]本発明の第1の実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置の構成を示すブロック図である。

[図2]アジマス角度を説明するための図である。

[図3]風速と風力発電装置の出力とが関連付けられている特性テーブルの一例を示す図である。

[図4]定常風(時間的、平面的に一様な風速)下における特性テーブルの一例を示す図である。

[図5]風速を変えた場合において、チルト角による風の影響を打ち消すためのピッチ角度の補正値及びその補正値が反映された特性テーブルの一例を示す図である。

[図6]風速を変えた場合において、風向きの偏差による影響を打ち消すためのピッチ角度の補正値およびその補正値が反映された特性テーブルの一例を示す図である。

[図7]空気密度を変数とした場合の特性テーブルの一例を示す図である。

[図8]風力発電装置の出力を変数とした場合の特性テーブルの一例を示す図である。

[図9]固定速風車を用いる場合に適用される出力変動除去装置の構成を示す図である。

[図10]本発明の第2の実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置の構成を示すブロック図である。

[図11]風力発電装置に使用されるプロペラ型風車の外観図である。

[図12]従来の技術によるブレードピッチ角度制御装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図13]ウィンドシア特性、タワーシャドウ特性、及び風速分布を説明するための図である。

発明を実施するための最良の形態

[0027] 以下に、本発明にかかる実施形態について、〔第1の実施形態〕、〔第2の実施形態〕の順に図面を参照して説明する。

〔第1の実施形態〕

図1は、固定速風車を用いる風力発電装置に適用されるブレードピッチ角度制御装置の構成を示すブロック図である。

図1に示すように、本実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置は、記憶部(記憶手段)10、アジマス角度検出部(アジマス角度検出手段)11、パラメータ検出部(パラメータ検出手段)12、指令値取得部(指令値取得手段)13、ピッチ角度制御指令値生成部(ピッチ角度制御指令値生成手段)14、及び共通ピッチ角度指令値生成部(共通ピッチ角度指令値生成手段)15を備えて構成されている。

記憶部10には、風速、温度、前記風力発電装置の出力等のブレードの荷重変動に影響を及ぼす所定のパラメータと、アジマス角度と、ピッチ角度指令値とが互いに関連付けて格納されている。

ここで、アジマス角度とは、図2に示すように、風車の鉛直方向となす角をいい、ブレードが風車の最上部に位置したときのアジマス角度を0°、最下部に位置したときのアジマス角度を180°とする。なお、記憶部10に格納されている内容の詳細については、後述する。

[0028] アジマス角度検出部11は、所定の間隔で、各ブレードのアジマス角度をそれぞれ検出し、指令値取得部13へ出力する。例えば、アジマス角度は、回転軸に設けられたロータリーエンコーダの出力から求めることができる。

[0029] パラメータ検出部12は、風速を検出する風速検出部(風速検出手段)121、空気密度を検出する空気密度検出部122、及び風力発電装置の出力を検出する風力発電装置出力検出部123を備えて構成されている。

風速検出部121は、風速と風力発電装置の出力とが関連付けられている特性テーブル(図3参照)を内部に有している。風速検出部121は、風力発電装置出力検出部123から所定の間隔で風力発電装置の出力を取得し、取得した出力に対応する風速を特性テーブルから読み出すことにより、風速を推定し、推定した風速を指令値取得部13へ出力する。なお、このように風速を推定する手法に代えて、風車に流入する前で風速を計測する風速計(例えばレーザードップラー風速計)を用いてもよい。これによれば、ブレードの後流の影響を受けないので、高精度の風速を得ることができる。

レーザードップラー風速計を用いる場合、トレーサ粒子を風車の上流側から風車に向けて流す手段を設ける。あるいは、風車に流入する空気に混入している埃や水蒸気をトレーサとして用いて、埃や水蒸気からの散乱光を得てレーザードップラーによる計測を行っても良い。これによれば、別途トレーサ粒子を流す手段を設ける必要がない。

[0030] 空気密度検出部122は、気温、気圧を所定間隔で計測し、その計測値から空気密度、気温、気圧の特性に基づいて空気密度を求める。空気密度は、気温と気圧とに

より一義的に決まるからである。例えば、空気密度検出部122は、予め気温、気圧及び空気密度が関連付けられているマップを有し、気温、気圧の計測値により選定される空気密度をマップから得ることにより空気密度を求める。又は、気温、気圧及び空気密度の関係式を有しており、その関係式に気温及び気圧の計測値を入れることにより、空気密度を算出するようにしても良い。

[0031] 指令値取得部13は、上記アジマス角度検出部11から入力された各ブレードのアジマス角度と、パラメータ検出部12から入力された各種パラメータ(例えば、風速、空気密度、発電出力など)とに基づいて選定されるピッチ角度指令値を記憶部10から取得し、取得した各ブレードのピッチ角度指令値、即ち、第1ブレードピッチ角度指令値、第2ブレードピッチ角度指令値、第3ブレードピッチ角度指令値をそれぞれピッチ角度制御指令値生成部14へ出力する。

[0032] 共通ピッチ角度指令値生成部15は、発電機回転数(発電出力情報)又は, 発電出力(発電出力情報)の設定値と現在の制御量との差から風力発電装置の発電出力が定格出力(設定値)に一致するように、第1から第3の3枚のブレードのピッチ角度を共通に制御するための共通ピッチ角度指令値を演算し、この共通ピッチ角度指令値をピッチ角度制御指令値生成部14へ出力する。例えば、共通ピッチ角度指令値生成部15は、周知のPID制御系で構成されている。

[0033] ピッチ角度制御指令値生成部14は、指令値取得部13から入力される各ブレードに対するそれぞれのピッチ角度指令値及び共通ピッチ角度指令値生成部15から入力される共通ピッチ角度指令値に基づいて、各ブレードのピッチ角度を個別に制御するためのピッチ角度制御指令値を生成する。具体的には、各ピッチ角度指令値と共通ピッチ角度指令値とを加算することにより、各ブレードのピッチ角度制御指令値を生成する。そして、各ブレードに対応して個別に得られたピッチ角度制御指令値を各ブレードのピッチ角度を制御する機構である、アクチュエータへ出力する。なお、アクチュエータは、個々のブレードに装着されている油圧シリンダ、又は電動モータであり、周知の機構である。

[0034] 次に、記憶部10に格納されている内容について詳細に説明する。

まず、風速、空気密度、風力発電装置の出力などをパラメータとし、これらのパラメ

ータに様々な値を設定して、計算機シミュレーションにより種々のテストパターンにおける最適なピッチ角度を求める。

例えば、1つのテストパターンとして、風速A(m/s)、空気密度B(g/m^3)、発電出力C(kW)と設定し、この条件下においてピッチ角度を変動させたときの変動荷重のデータを採取する。

次に、このデータ結果を検討し、最も小さい変動荷重が得られたときのピッチ角度を採択し、採択したピッチ角度とアジマス角度とを対応させた特性テーブルを作成する。

上述したような作業を上記各パラメータ(風速A(m/s)、空気密度B(g/m^3)、発電出力C(kW))の値を変えながら繰り返し行うことにより、様々な環境下における特性テーブルを作成する。そして、これらの特性テーブルをテストパターンの各パラメータの設定値(風速、空気密度、発電出力等の設定値)に対応付けて、記憶部10に書き込む。

これにより、パラメータの値を決定することにより、その環境下に最も適したピッチ角度を得ることができる。

[0035] なお、上記シミュレーションを行う際に、予め固定値としてウィンドシア特性やタワーシャドウ特性(図13(a)及び図13(b)参照)を設定することにより、より最適なピッチ角度を得ることが可能となる。

例えば、上述した風速等のパラメータは、その時々に応じて動的に変化するものであるが、ウィンドシア特性やタワーシャドウ特性は、当該風車が設置されている場所や、風車の構造により一様に決まるものである。そして、これらの特性を考慮した上で、シミュレーションを行うことにより、当該風車に特化した最適なピッチ角度を得ることができ、より高精度なブレードピッチ角度の制御を行うことが可能となる。

[0036] 次に、上記特性テーブルが具体的にはどのようなものなのかを例を挙げて説明する。

まず、定常風(時間的、平面的に一様な風速)下における特性テーブルを図4に示す。同図に示すように特性テーブルは、横軸にアジマス角度(deg)、縦軸にピッチ角度(deg)を取ったものであり、アジマス角度0° において最大ピッチ角度(例えば、1

°)をとり、アジマス角度180° において最小値ピッチ角度(例えば、-1°)をとる余弦波(Cosine wave)となる。なお、同図における角度は、相対値を意味する。

これは、ブレードが受ける風速が最も大きくなるアジマス角度0° においては、空力性能が低下するようにピッチ角度を大きくする必要があり、ブレードが受ける風速が最も小さくなるアジマス角度180° の位置においては、空気性能が向上するようにピッチ角度を小さくする必要があるからである。

そして、上述したシミュレーションによって得られる各環境下における特性テーブルも、図4に示した特性テーブルと基本形をほぼ同じにし、振幅や位相が異なるものとなっている。

[0037] 例えば、空気密度、風力発電装置の発電出力を固定値にして、風速のみを変動させた場合、風速が上昇すればするほど、ブレードの荷重変動の影響が大きくなる(荷重は風速の2乗に比例する)。

従って、風速を変動させた場合には、風速が大きいほど、図4に示した余弦波の振幅が大きくなる。

[0038] 次に、風車のブレードは、ブレードがタワーにぶつからないようにクリアランスを確保するため、元来チルト角(一般的には5° 程度)という上向き角をもっている。そして、このチルト角の影響により、通常、風車に流入する風は吹き上げ風となる。

風速が低い状況では、上述した風速自体の影響は小さいため考慮しなくても良いが、風速が上昇するとこのチルト角の影響も大きくなる。そして、このチルト角による風の影響を打ち消すためのピッチ角度の補正値は、図5に示すような特性を示す。

図5において、線Aは図4に示した基本ピッチ角度の波形であり、線Bはチルト角による影響を打ち消すための補正値の波形であり、線Cは線Bの補正値を線Aの波形に加えたピッチ角度指令値の波形である。

このように、シミュレーションにおいて、風速を上昇させた場合に得られる特性テーブルは、上記チルト角による吹き上げ風を考慮に入れたものとなり、図4に示した特性とは、振幅のみならず、位相も異なったものとなる。

[0039] 次に、風向きもブレードの荷重変動に影響を及ぼすこととなる。

例えば、風車位置から風上側を向いたときに左側から風が吹き込む場合には、アジ

マス角度0°において受ける風の影響は増加し、アジマス角度180°において受ける風の影響は低減する。

従って、この風向きの偏差による影響を打ち消すためのピッチ角度の補正値は、図6に示すような特性を示す。

図6において、線Aは図4に示した基本ピッチ角度の波形であり、線Bは風向き偏差による影響を打ち消すための補正値の波形であり、線Cは線Bの補正値を線Aの波形に加えたピッチ角度指令値の波形である。

このように、シミュレーションにおいて、風向きを変えたときに得られる特性テーブルは、図4に示した基本ピッチ角度の振幅を上下させたものとなる。

[0040] 次に、風速、風力発電装置の発電出力を固定値にして、空気密度のみを変動させた場合、空気密度が大きいほど、ブレードの荷重変動の影響が大きくなる。従って、シミュレーションにおいて、空気密度を変動させた場合には、空気密度が大きいほど図4に示した特性の振幅が大きい特性テーブルが得られる。図7に、空気密度を変数とした場合の特性テーブルを示す。図7において、線Aは空気密度が大きい場合におけるピッチ角度指令値の波形、線Bは空気密度が小さい場合におけるピッチ角度指令値の波形を示している。

[0041] 次に、風速、空気密度を固定値にして、風力発電装置の出力のみを変動させた場合、出力が設定値(要求出力)よりも大きい場合には、ブレードには要求出力にて運転している場合に比べ大きな空気力が働き、さらには大きな変動空気力荷重が働く。従って、出力が要求出力よりも大きい場合には、図4に示した基本ピッチ角度の振幅を大きくした特性テーブルが得られる。図8に、風力発電装置の出力を変数とした場合の特性テーブルを示す。図8において、線Aは出力が大きい場合におけるピッチ角度指令値の波形、線Bは出力が小さい場合におけるピッチ角度指令値の波形を示している。

[0042] 次に、上述した本実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置の作用について説明する。

まず、指令値取得部13は、アジマス角度検出部11からアジマス角度を、パラメータ検出部12から風速、空気密度、発電装置出力を取得すると取得した風速、空気密

度、発電装置出力によって選定される特性テーブルを記憶部10から取得する。

次に、取得した特性テーブルにおいて、アジマス角度検出部11から入力された各ブレードのアジマス角度に該当するピッチ角度指令値を取得する。

これにより、第1、第2、第3ブレードにそれぞれ対応するピッチ角度指令値を得ることができる。

指令値取得部13は、このようにして取得したピッチ角度指令値をピッチ角度制御指令値生成部14へ出力する。

ピッチ角度制御指令値生成部14は、指令値取得部13から入力されたピッチ角度指令値と、共通ピッチ角度指令値生成部15から入力された風力発電装置の発電出力に基づく共通ピッチ角度指令値とを加算することにより、各ブレードに対応するピッチ角度制御指令値を生成し、これらのピッチ角度制御指令値を各ブレードに対応して設けられているアクチュエータへ出力する。

これにより、各ブレードのピッチ角度がその時々の風力発電装置の運転状況に最も適した角度に制御される。

[0043] なお、パラメータ検出部12から入力されたパラメータ値に完全に一致する特性テーブルが記憶部10に格納されていなかった場合には、それらのパラメータ値に最も近似する特性テーブルを選定するようにしても良い。又は、近似する特性テーブルを複数読み出し、これらの特性を補間することにより、ピッチ角度指令値を求めるようにしても良い。

[0044] 以上、固定速風車を用いた風力発電装置に適用するブレードピッチ角度制御装置について説明してきたが、本発明のブレードピッチ角度制御装置は、可変速風車を用いた風力発電装置にも適用することが可能である。

以下、可変速風車を用いた風力発電装置に適用されるブレードピッチ角度制御装置について説明する。

可変速風車を用いた場合には、風力発電装置の出力に応じてロータ回転数を制御する。各ブレードの荷重変動は、回転速度(回転数)を変動させることによっても変化する。従って、可変速風車を用いる場合には、上記パラメータとしてロータ回転数も考慮する必要がある。具体的には、図1に示したブレードピッチ角度制御装置の構

成において、指令値取得部13に入力されるパラメータとしてロータ回転数が追加され、記憶部10には、ロータ回転数をも考慮した特性テーブルが格納される。

そして、指令値取得部13は、入力された風速、空気密度、発電装置出力、ロータ回転数によって選定される特性テーブルを記憶部10から取得し、取得した特性テーブルにおいて、アジマス角度検出部11から入力された各ブレードのアジマス角度に該当するピッチ角度指令値を取得する。そして、これらのピッチ角度指令値をそれぞれピッチ角度制御指令値生成部14へ出力する。そして、これ以降の処理については、上述の第1の実施形態と同様である。

[0045] 上述したブレードピッチ角度制御装置によって、ブレードに生ずる荷重変動を極めて小さくすることができるが、少なからず出力変動が生じてしまう。この出力変動は、ブレードの枚数に応じた周波数帯域に顕著に現れることがわかっている。従って、このような顕著に現れる出力変動を除去するためのピッチ角度を求め、これをブレードピッチ角度制御指令値に反映させることにより、更なる出力変動の低減を図ることができる。

そこで、本実施形態では、以下のような機能を持つ出力変動除去装置を図1に示したブレードピッチ角度制御装置に追加する。

[0046] 図9に、固定速風車を用いる場合に適用される出力変動除去装置の構成を示す。

図9に示すように、出力変動除去装置は、周波数解析部(周波数成分抽出手段)21、制御アルゴリズム(演算手段)22、逆周波数解析部(演算手段)23及び演算部24を備えて構成されている。

周波数解析部21は、風力発電装置の出力からブレードの枚数の整数倍に相当する周波数成分を抽出し、抽出した周波数成分を出力する。例えば、ブレードを3枚有する風車を使用している場合には、3N成分(N=整数)を抽出する。

制御アルゴリズム22は、周波数解析部21から出力された周波数成分と、図1に示したアジマス角度検出部11によって検出されたアジマス角度とを入力情報として得、これらの情報を所定のアルゴリズムに基づいて演算することにより、周波数領域の変動ピッチ角度$\Delta\theta(\omega)$を演算し、これを出力する。

逆周波数解析部23は、制御アルゴリズム22によって演算された変動ピッチ角度Δ

θ(ω)を入力情報として得、これを逆周波数解析して時間領域の変動ピッチ角度Δθ(t)を演算し、出力する。

演算部24は、逆周波数解析部23によって演算された時間領域の変動ピッチ角度Δθ(t)と、共通ピッチ角度指令値生成部15(図1参照)から出力された共通ピッチ角度指令値とを入力情報として得、これらを加算することにより、共通ピッチ角度指令値を微調整し、微調整後の共通ピッチ角度指令値をピッチ角度制御指令値生成部14(図1参照)へ出力する。

このように、周波数解析部21によって、風力発電装置の出力から各ブレードの荷重変動に顕著な影響を及ぼす周波数成分が抽出され、その周波数成分を除去するようなピッチ角度が制御アルゴリズム22及び逆周波数解析部23によって求められ、演算部24が、逆周波数解析部23から出力された変動ピッチ角度を共通ピッチ角度指令値に反映させる。

これにより、顕著な出力変動のみをピンポイントで除去することができ、安定した発電出力を維持することが可能となる。

[0047] なお、可変速風車を用いる場合には、図9に示した出力変動除去装置において、入力信号としてロータ回転数が入力される。即ち、可変速風車においてはロータ回転数により出力を制御するため、出力に変わってロータ回転数の周波数解析をすることにより、変動ピッチ角度Δθ(t)を求める。これにより、可変速風車の場合においても、より高精度なブレードピッチ角度の制御を行うことができる。

[0048] 以上、本発明の第1の実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

例えば、各種パラメータは、上述した風速、空気密度、風力発電装置の出力、ロータ速度(回転数)に限られることなく、風力発電を行う上で出力等に影響を及ぼすパラメータであればどのようなものも含まれる。

また、これらのパラメータの内、すべてのパラメータの変動を考慮に入れたピッチ角度を使用するようにしても良いし、これらのパラメータの一部(例えば、風速のみ)を考慮に入れたピッチ角度の制御を行うようにしても良い。

また、パラメータは、同期して検出されるものに限らず、例えば、風速とアジマス角度は所定間隔で検出し、時間的変化の少ない空気密度などは風速やアジマス角度に比べて長い時間間隔で検出するようにしても良い。

[0049] 〔第2の実施形態〕

次に、本発明の第2の実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置について説明する。

図10は、可変速風車を用いる風力発電装置に適用されるブレードピッチ角度制御装置の構成を示すブロック図である。

図10に示すように、本実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置は、荷重計測部(荷重計測手段)30、周波数解析部(演算手段)31、調整ピッチ角度生成部(調整ピッチ角度指令値生成手段)32、ピッチ角度制御指令値生成部(ピッチ角度制御指令値生成手段)36及び共通ピッチ角度指令値生成部15を備えて構成されている。

荷重計測部30は、所定のアジマス角度(例えば、6° 毎)において、各ブレードにかかる荷重をそれぞれ計測し、計測結果を電気信号として出力する。

この荷重計測部30は、例えば、所定の時間間隔で、各ブレードのアジマス角度を計測するアジマス角度計測器(アジマス角度計測手段)と、アジマス角度計測器の計測結果が所定のアジマス角度(例えば、6の倍数の角度)と一致した場合に、トリガ信号を発生するトリガ発生回路(トリガ発生手段)と、トリガ発生回路のトリガ信号に基づいて荷重を計測するセンサ(計測手段)とを有している。ここで、荷重を計測するセンサとしては、翼根部や風車各部に取り付けられた歪みゲージ、ロードセル、光ファイバセンサ等が挙げられる。

[0050] 周波数解析部31は、荷重計測部30から所定のアジマス角度で計測された計測値(荷重)を入力信号として得、この計測値に基づいて、ブレードにかかる荷重の周期的な変動を求める。具体的には、1回転分の計測値が確保された時点で、以下に示す演算式(1.1)(1.2)を用いることにより、荷重のアジマス角度特性を求める。このアジマス角度特性は、荷重の余弦成分Zicと正弦成分Zisとにより表すことができる。

[0051] [数1]

$$\{Z_{ic}\}_n = \frac{2}{K}\sum_{k=1}^{K} zi(nk\Delta\psi)\cos(nk\Delta\psi) \qquad (1.1)$$

[0052] [数2]

$$\{Z_{is}\}_n = \frac{2}{K}\sum_{k=1}^{K} zi(nk\Delta\psi)\sin(nk\Delta\psi) \qquad (1.2)$$

[0053] 上記(1.1)、(1.2)式において、iブレード番号を意味し3枚のブレードを有する場合にはi＝1、2、3である。nは、考慮する荷重変動の周期に応じて変更される整数値であり、n＝3であればロータ1回転中に3回変動する荷重を考慮することを意味する。Kは、アジマス角度0° 乃至360° において計測を行う回数であり、例えば、ロータ5が1回転する間に荷重の計測を12回行う場合には、「K＝12」となる。Δφは、360°をKで割った値である。

zi(nkΔφ)は、荷重計測部30からの入力信号である各アジマス角度における荷重計測値である。

[0054] 続いて、調整ピッチ角度指令値生成部32は、周波数解析部31の解析結果を入力情報として得、この解析結果に基づいて、荷重変動を低減させるための調整ピッチ角度指令値をブレード毎にそれぞれ生成する。この調整ピッチ角度指令値生成部32は、調整指令値演算部33と逆周波数解析部34とを有している。

調整指令値演算部33は、周波数解析部31により求められた荷重変動の余弦成分Zicと正弦成分Zisとを入力信号として得、この入力信号Zic、Zisを所定の伝達関数によって演算することにより、周期的に現れる顕著な荷重変動を解消するための調整指令値θdemをそれぞれブレード毎に求める。なお、ここで求められる調整指令値θ_{1}dem、θ_{2}dem、θ_{3}demは、周波数領域上の値である。

なお、調整指令値演算部33が用いる伝達関数を求める方法としては、様々な荷重変動を想定してシミュレーションを行い、このシミュレーション結果を解析することによ

り最適な調整指令値を得、この結果から伝達関数を求める方法等がある。

或いは、伝達関数を風車の運転状態に応じて複数設定しておき、風車の運転状況に応じて最適な伝達関数を選定し、使用するようにしてもよい。これにより、より最適な調整指令値を求めることができる。

[0055] 続いて、逆周波数解析部34は、調整指令値演算部33により求められた周波数領域上の値である調整指令値$\theta_1$dem、$\theta_2$dem、$\theta_3$demを時間領域上の値に変換する。

即ち、この調整指令値は、もともと荷重計測部30が所定のアジマス角度で計測した荷重に基づいて求められた値である。そのため、周波数解析部31、調整指令値演算部33が取り扱う情報は角度の変化に伴う特性や調整指令値となる。

一方、後述する共通ピッチ角度指令値生成部35により求められる共通ピッチ角度指令値は、時間の変化に伴う指令値、即ち時間軸上の指令値であるため、これらの指令値の整合性を取る必要がある。

従って、逆周波数解析部34は、現在のアジマス角度の情報と、所定の関数とを用いて、調整指令値$\theta_1$dem、$\theta_2$dem、$\theta_3$demを時間領域上の値θ_1(t)、θ_2(t)、θ_3(t)に変換する。

そして、変換後の調整指令値θ_1(t)、θ_2(t)、θ_3(t)を調整ピッチ角度指令値として、ピッチ角度制御指令値生成部36へ伝達する。

[0056] ピッチ角度制御指令値生成部36には、調整ピッチ角度指令値生成部32から荷重変動を低減させるための調整ピッチ角度指令値と、共通ピッチ角度指令値生成部36から現在の出力を目標値に一致させるためのフィードバック制御量として共通ピッチ角度指令値が入力される。この共通ピッチ角度指令値は、各ブレード共通の指令値である。ピッチ角度制御指令値生成部36は、入力された共通ピッチ角度指令値とブレード毎の調整ピッチ角度指令値θ_1(t)、θ_2(t)、θ_3(t)をそれぞれ加算することにより、各ブレードのピッチ角度を個別に制御するためのピッチ角度制御指令値を生成し、各ピッチ角度制御指令値を各ブレードのピッチ角度を制御するアクチュエータへ出力する。

これにより、アクチュエータにより各ブレードのピッチ角度が制御指令値に基づき制

御されることとなる。

[0057] 以上、説明してきたように、本実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置によれば、以下のような効果を奏する。

第1に、荷重計測部30が、ブレードの回転速度に拘らず、所定のアジマス角度で荷重を計測するので、固定速風車だけでなく、ブレードの回転速度を運転状況によって変化させる可変速風車にも適用することができるという利点がある。

第2に、荷重計測部30が所定のアジマス角度で各ブレードにかかる荷重の計測を行い、周波数解析部31が周期的な負荷の変動特性を解析し、この解析結果に基づいて、調整ピッチ角度指令値生成部32がこの荷重変動を解消するための調整ピッチ角度指令値を求め、ピッチ角度制御指令値生成部36がこの調整ピッチ角度指令値を各ブレードのピッチ角度の制御に反映させる。これにより、周期的に顕著に現れる荷重変動を低減させることができる。

第3に、ブレードの荷重変動が周期的に顕著に現れる点に着目し、この周期的な荷重変動を低減させることを目的とするため、フィードバック制御による時間遅れがあっても、高い精度で変動負荷を解消させることができる。これにより、瞬時に現れる荷重変動を低減させる従来のピッチ角度制御に比べて、はるかに簡単な処理により、効率よく荷重変動を低減させることができる。この結果、最適なピッチ角度となるよう各ブレードを制御することができ、ブレード及び風車を構成する機械部品の寿命を延ばすことができる。

[0058] 第4に、荷重計測部30が、所定の時間間隔で各ブレードのアジマス角度を計測するアジマス角度計測器と、計測結果が所定のアジマス角度と一致した場合に、トリガ信号を発生するトリガ発生器と、トリガ信号に基づいて、荷重を計測するセンサとにより構成されるので、荷重計測部30を簡易に実現することができる。なお、荷重計測部30は、例えば、アジマス角度が所定の角度に達した場合にトリガを発生するエンコーダと、トリガに基づいて荷重を計測するセンサとにより構成されてもよい。これらエンコーダ及びセンサは、一般的に良く知られた機構であるため、荷重計測手段を簡易に実現することができる。

[0059] 以上、本発明の第2の実施形態について、図面を参照して詳述してきたが、具体的

な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

第1に、上述の実施形態の荷重計測部30に代わって、ブレードの加速度を計測する加速度計測部を採用することにより、所定のアジマス角度におけるブレードの加速度を計測し、この加速度を低減させるための最適なピッチ角度を算出するようにしても良い。これにより、ブレード又は風車を構成する機械部品の加速度を低減させることができる。また、荷重変動を受けると、ブレードや風車を構成する機械部品が振動して加速度が発生するという相関関係を有することから、上述のように加速度を低減させることにより、荷重変動についても低減させることが可能となる。

第2に、上述の実施形態においては、可変速風車に適用する場合について述べてきたが、固定速風車を用いる風力発電装置にも本実施形態に係るブレードピッチ角度制御装置を適用することができる。なお、固定速風車においては、共通ピッチ角度指令値生成部15に入力される情報が発電機回転速度ではなく、発電機出力に変わり、共通ピッチ角度指令値が発電機出力を目標値に一致させるような指令値となる。

第3に、上述した周波数解析部31、調整指令値演算部33、逆周波数解析部34、共通ピッチ角度指令値生成部15、ピッチ角度制御指令値生成部36の各部がそれぞれ行う処理内容を1つのコンピュータ装置で実現させるような構成としても良い。これは、各部の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行させることにより行う。

請求の範囲

[1] 複数枚のブレードを有する風力発電装置に用いられるブレードピッチ角度制御装置であって、

前記ブレードの荷重変動に影響を及ぼす所定のパラメータ、アジマス角度、及びピッチ角度指令値が互いに関連付けられて格納されている記憶手段と、

前記ブレード毎のアジマス角度を検出するアジマス角度検出手段と、

前記所定のパラメータを検出するパラメータ検出手段と、

前記アジマス角度検出手段によって検出された前記ブレード毎のアジマス角度と前記パラメータ検出手段によって検出された所定のパラメータとによって選定されるピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ前記記憶手段から取得する指令値取得手段と、

前記指令値取得手段によって取得された前記ピッチ角度指令値と前記風力発電装置の出力情報により求められる各ブレード共通の共通ピッチ角度指令値とに基づいて、前記ブレードのピッチ角度を個別に制御するためのピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段と

を具備するブレードピッチ角度制御装置。

[2] 前記記憶手段に格納されている前記ピッチ角度指令値は、前記風力発電装置の設置場所におけるウィンドシア特性が反映された値に設定されている請求項1に記載のブレードピッチ角度制御装置。

[3] 前記所定のパラメータは風速であり、

前記パラメータ検出手段は、風速と前記風力発電装置の出力とが関連付けられている特性テーブルを有し、前記風力発電装置の出力に対応する風速を前記特性テーブルから読み出すことにより、風速を推定する風速推定手段である請求項1に記載のブレードピッチ角度制御装置。

[4] 前記風力発電装置の発電出力、発電機回転数、又はロータ回転数のいずれかからブレード数の整数倍の周波数成分を抽出する周波数成分抽出手段と、

抽出した該周波数成分に基づいて、その周波数変動による荷重変動を除去するためのピッチ角度を演算する演算手段と

を備え、

前記ピッチ角度制御指令値生成手段は、前記演算手段によって演算されたピッチ角度を前記ピッチ角度制御指令値に反映させる

請求項1に記載のブレードピッチ角度制御装置。

[5] 複数枚のブレードを有する風力発電装置であって、

前記ブレードの荷重変動に影響を及ぼす所定のパラメータ、アジマス角度、及びピッチ角度指令値が互いに関連付けられて格納されている記憶手段と、

前記ブレード毎のアジマス角度を検出するアジマス角度検出手段と、

前記所定のパラメータを検出するパラメータ検出手段と、

前記アジマス角度検出手段によって検出された前記ブレード毎のアジマス角度と前記パラメータ検出手段によって検出された所定のパラメータとによって選定されるピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ前記記憶手段から取得する指令値取得手段と、

前記指令値取得手段によって取得された前記ピッチ角度指令値と前記風力発電装置の出力情報により求められる各ブレード共通の共通ピッチ角度指令値とに基づいて、前記ブレードのピッチ角度を個別に制御するためのピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段と

を有するブレードピッチ角度制御装置を具備する風力発電装置。

[6] 複数枚のブレードを有する風力発電装置に用いられるブレードピッチ角度制御装置であって、

所定のアジマス角度で前記ブレード又は風車を構成する機械部品にかかる荷重を計測する荷重計測手段と、

前記荷重計測手段によって計測された荷重を低減させるための調整ピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ生成する調整ピッチ角度指令値生成手段と、

前記ブレードを一様に制御するための共通ピッチ角度指令値に、前記ブレード毎に生成された前記調整ピッチ角度指令値を反映させて、前記ブレード毎にピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段と

を具備するブレードピッチ角度制御装置。

[7] 複数枚のブレードを有する風力発電装置に用いられるブレードピッチ角度制御装置であって、

所定のアジマス角度で、前記ブレード又は風車を構成する機械部品にかかる荷重をそれぞれ計測する荷重計測手段と、

前記荷重計測手段によって計測された計測値に基づいて、前記荷重の周期的な変動を求める演算手段と、

前記演算手段の演算結果に基づいて、荷重の変動を低減させるための調整ピッチ角度指令値を前記ブレード毎にそれぞれ生成する調整ピッチ角度指令値生成手段と、

前記ブレードを一様に制御するための共通ピッチ角度指令値に、前記ブレード毎に生成された前記調整ピッチ角度指令値を反映させて、前記ブレード毎にピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段と

を具備するブレードピッチ角度制御装置。

[8] 前記荷重計測手段は、

所定の時間間隔で各ブレードのアジマス角度を計測するアジマス角度計測手段と、

計測結果が所定のアジマス角度と一致した場合に、トリガ信号を発生するトリガ発生手段と、

前記トリガ信号に基づいて、荷重を計測する計測手段と

を具備する請求項6に記載のブレードピッチ角度制御装置。

[9] 前記荷重計測手段は、

アジマス角度が所定の角度に達した場合にトリガを発生するエンコーダと、

前記トリガに基づいて荷重を計測する計測手段と

を具備する請求項6に記載のブレードピッチ角度制御装置。

[10] 複数枚のブレードを有する風力発電装置であって、

所定のアジマス角度で前記ブレード又は風車を構成する機械部品にかかる荷重を計測する荷重計測手段と、

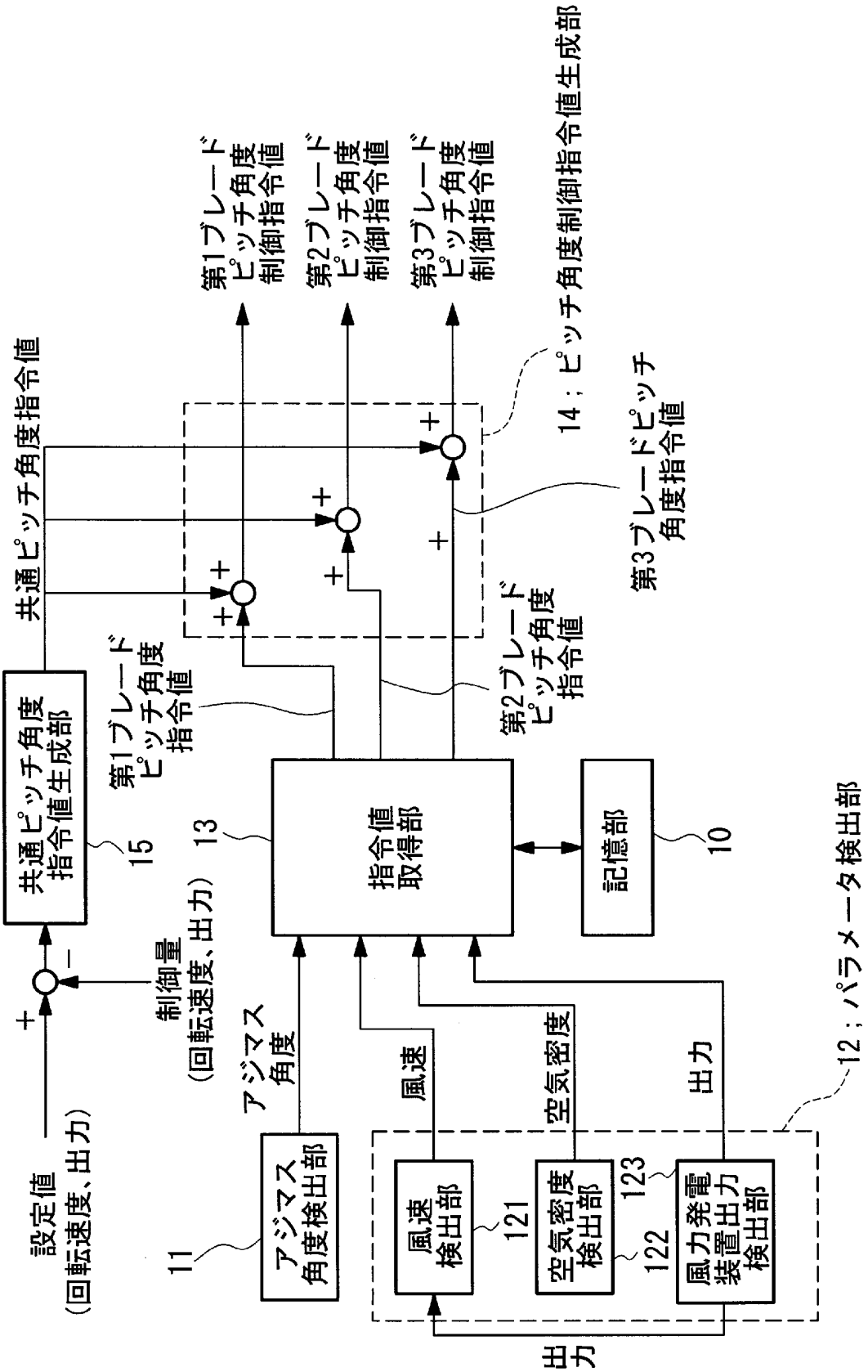
前記荷重計測手段によって計測された荷重を低減させるための調整ピッチ角度指

令値を前記ブレード毎にそれぞれ生成する調整ピッチ角度指令値生成手段と、

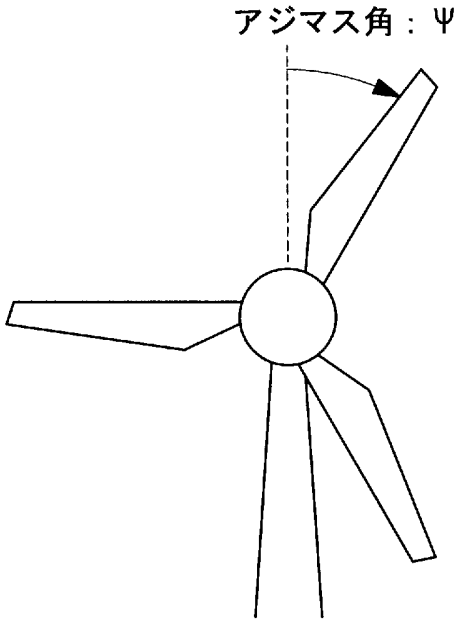
前記ブレードを一様に制御するための共通ピッチ角度指令値に、前記ブレード毎に生成された前記調整ピッチ角度指令値を反映させて、前記ブレード毎にピッチ角度制御指令値を生成するピッチ角度制御指令値生成手段と

を有するブレードピッチ角度制御装置を具備する風力発電装置。

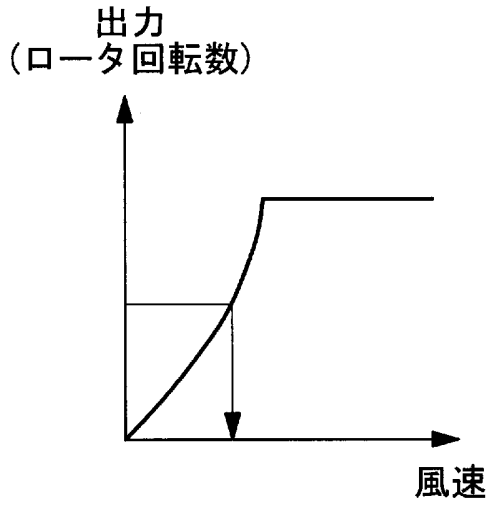
[図1]


設定値
(回転速度、出力)
制御量
(回転速度、出力)
共通ピッチ角度指令値生成部
15
共通ピッチ角度指令値
第1ブレード
ピッチ角度
指令値
第2ブレード
ピッチ角度
指令値
第3ブレード
ピッチ角度指令値
14；ピッチ角度制御指令値生成部
第1ブレード
ピッチ角度
制御指令値
第2ブレード
ピッチ角度
制御指令値
第3ブレード
ピッチ角度
制御指令値
指令値
取得部
13
記憶部
10
アジマス
角度
風速
空気密度
出力
アジマス
角度検出部
11
風速
検出部
121
空気密度
検出部
122
風力発電
装置出力
検出部
123
12；パラメータ検出部
出力

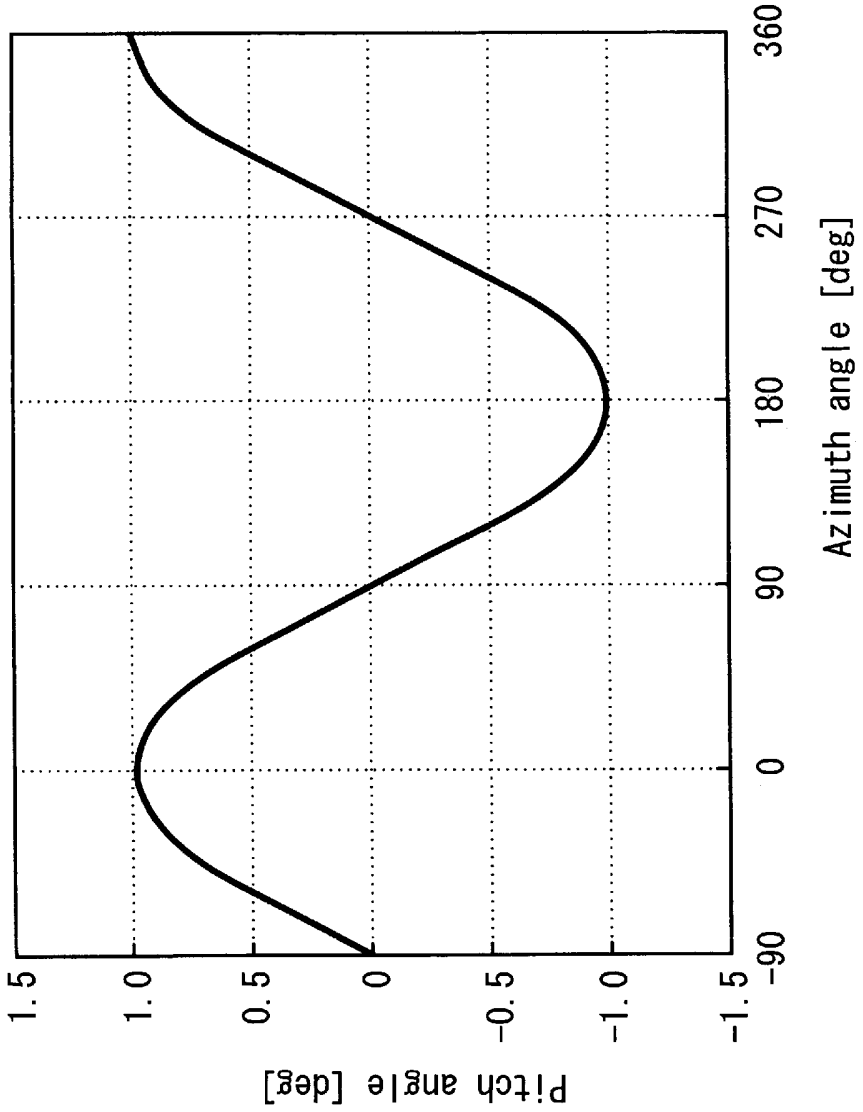
[図2]



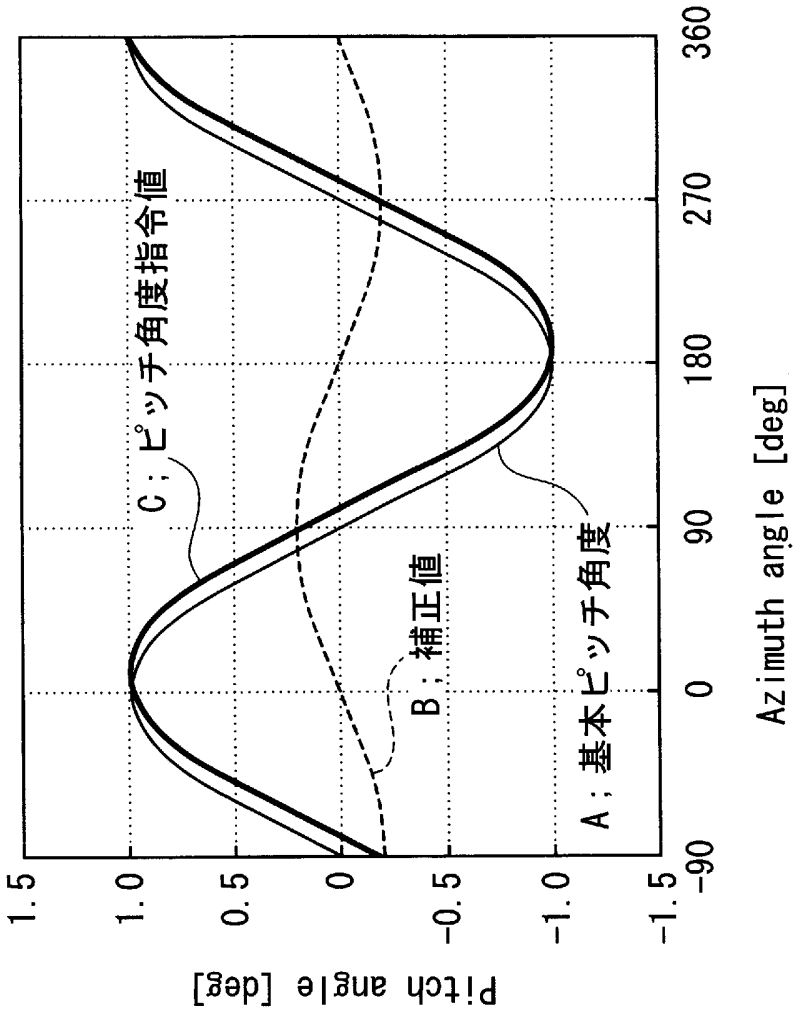
[図3]



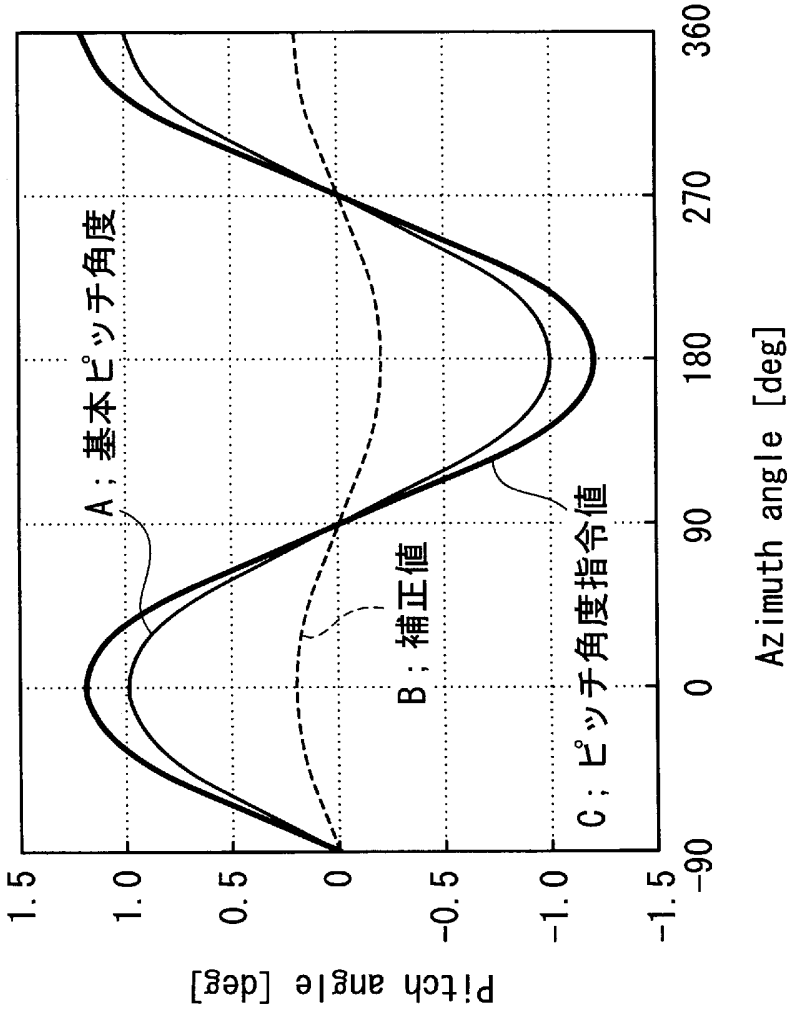
[図4]


1.5
1.0
0.5
0
-0.5
-1.0
-1.5
Pitch angle [deg]
-90
0
90
180
270
360
Azimuth angle [deg]

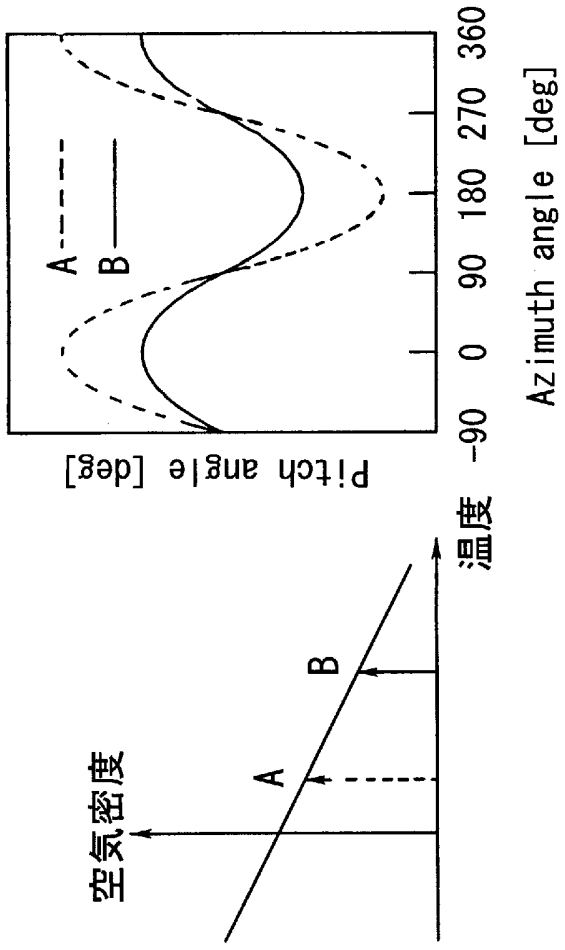
[図5]


C；ピッチ角度指令値
B；補正値
A；基本ピッチ角度
Pitch angle [deg]
1.5
1.0
0.5
0
-0.5
-1.0
-1.5
-90
0
90
180
270
360
Azimuth angle [deg]

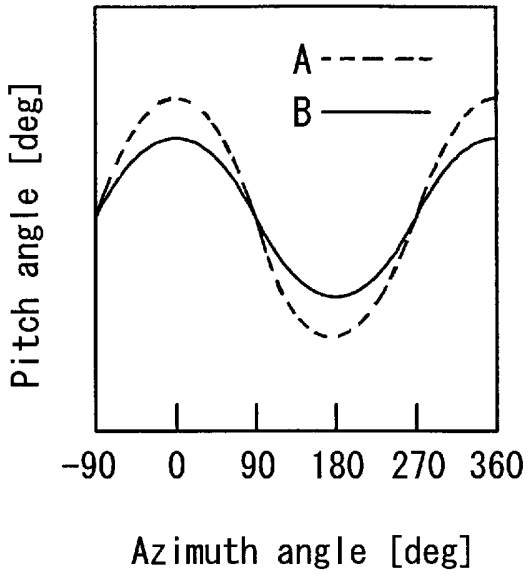
[図6]


A；基本ピッチ角度
B；補正値
C；ピッチ角度指令値
Pitch angle [deg]
1.5
1.0
0.5
0
-0.5
-1.0
-1.5
-90
0
90
180
270
360
Azimuth angle [deg]

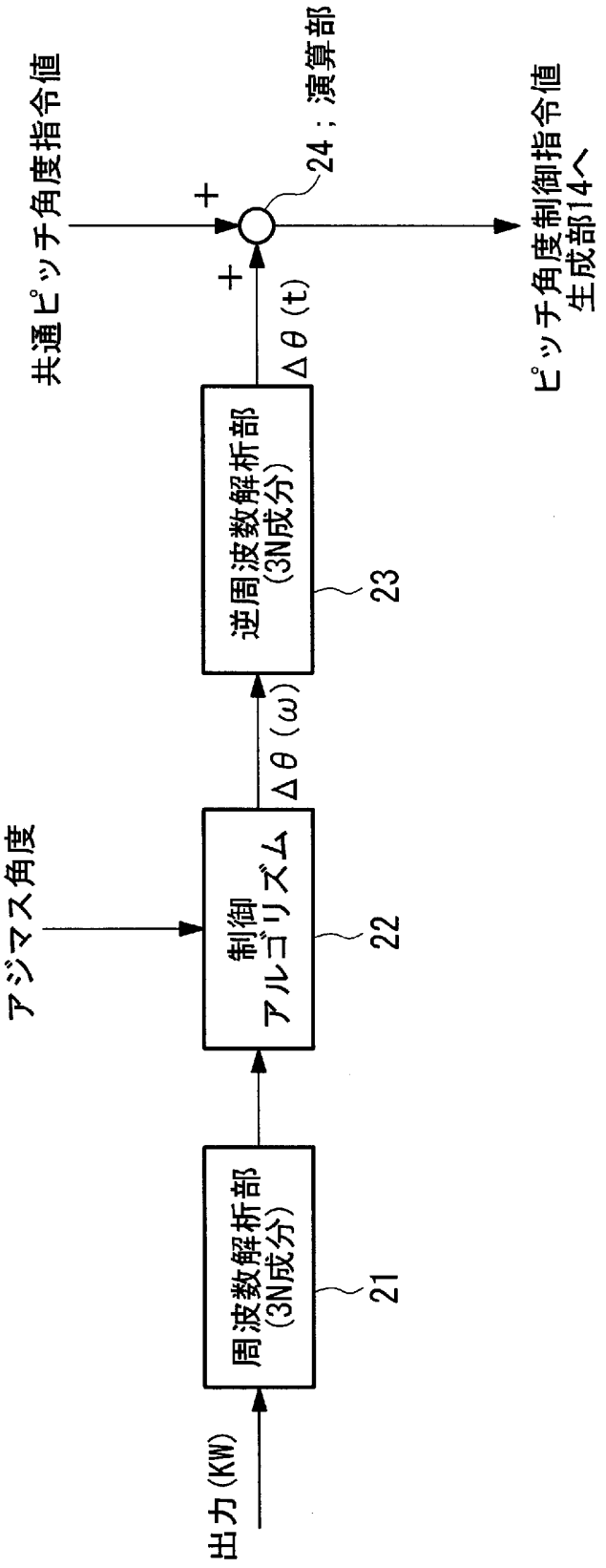
[図7]


A
B
Pitch angle [deg]
-90
0
90
180
270
360
Azimuth angle [deg]
温度
空気密度
A
B

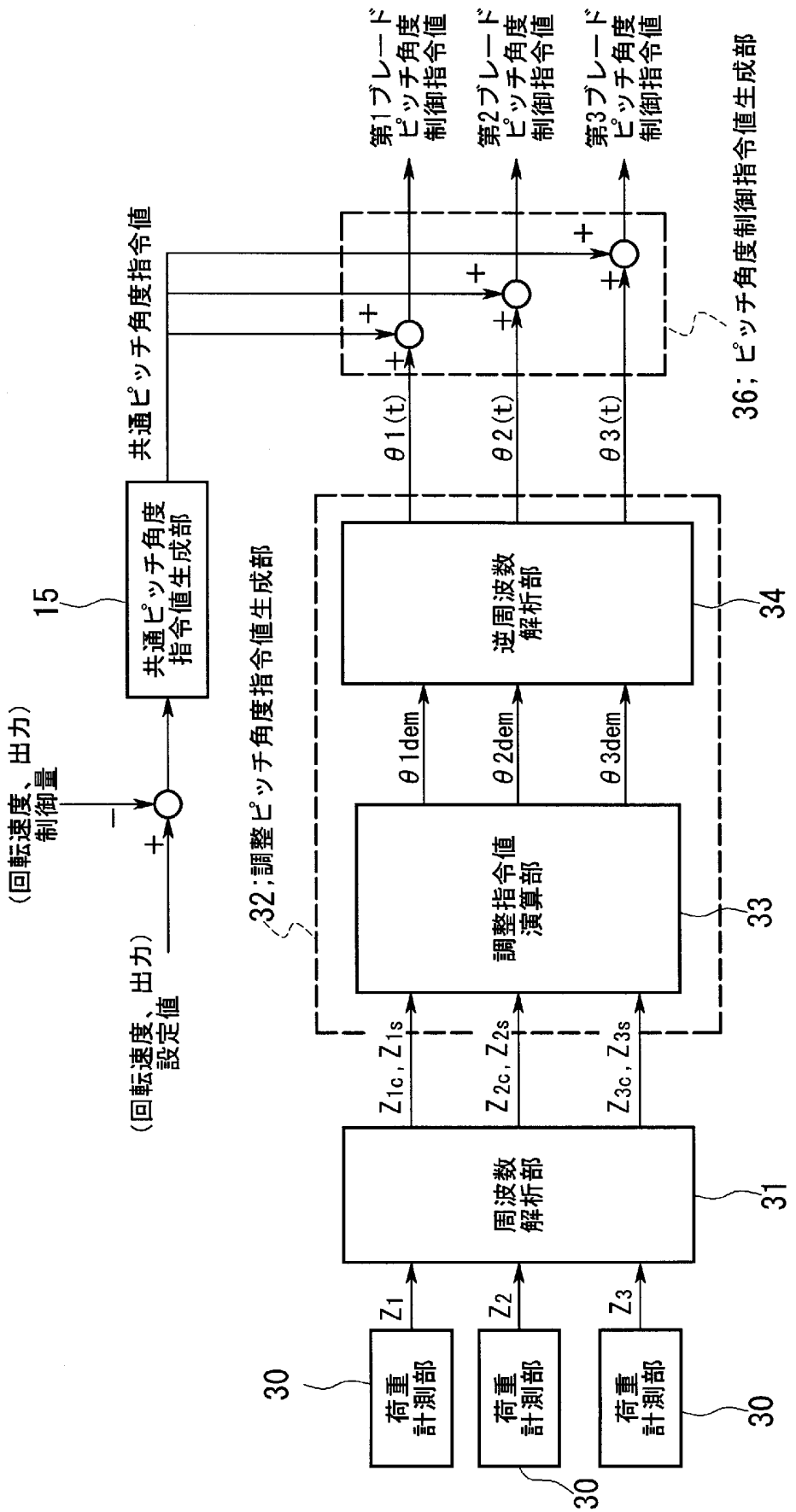
[図8]



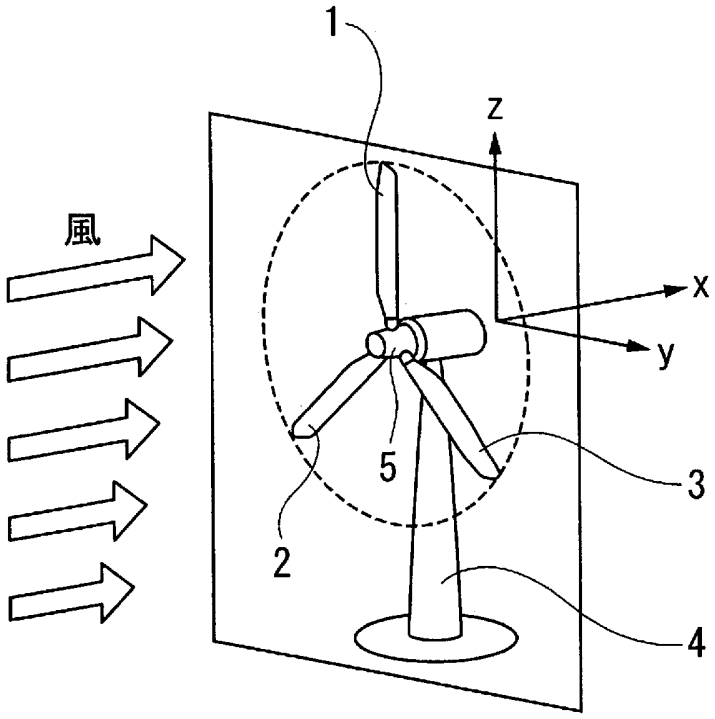
[図9]


出力(KW)
周波数解析部
(3N成分)
21
制御
アルゴリズム
22
アジマス角度
Δθ(ω)
逆周波数解析部
(3N成分)
23
Δθ(t)
+
+
24；演算部
共通ピッチ角度指令値
ピッチ角度制御指令値
生成部14へ

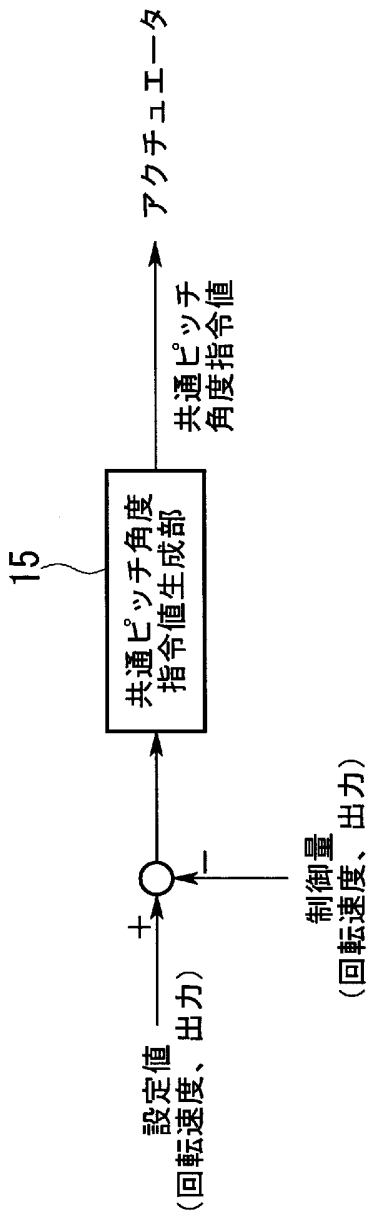
[図10]


第1ブレード
ピッチ角度
制御指令値
第2ブレード
ピッチ角度
制御指令値
第3ブレード
ピッチ角度
制御指令値
36；ピッチ角度制御指令値生成部
共通ピッチ角度指令値
15
共通ピッチ角度
指令値生成部
（回転速度、出力）
制御量
（回転速度、出力）
設定値
θ1(t)
θ2(t)
θ3(t)
32；調整ピッチ角度指令値生成部
逆周波数
解析部
34
θ1dem
θ2dem
θ3dem
調整指令値
演算部
33
Z1c，Z1s
Z2c，Z2s
Z3c，Z3s
周波数
解析部
31
Z1
Z2
Z3
荷重
計測部
30
荷重
計測部
30
荷重
計測部
30

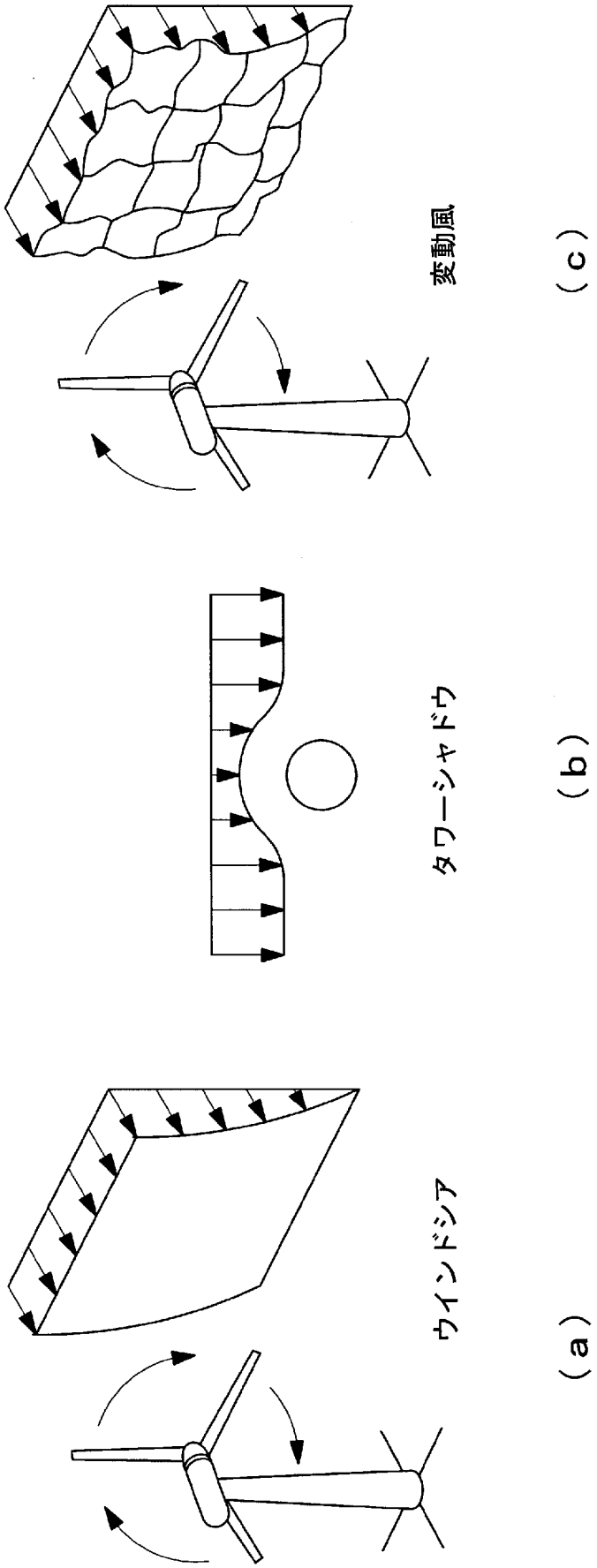
[図11]



[図12]


15
共通ピッチ角度
指令値生成部
アクチュエータ
共通ピッチ
角度指令値
設定値
（回転速度、出力）
制御量
（回転速度、出力）
+
−

[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/013144

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] F03D7/04

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[7] F03D1/00-11/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

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.
Y	JP 2001-511497 A (Wobben, Aloys), 14 August, 2001 (14.08.01), Full text & WO 1999/005414 A1 & DE 19731918 A1 & EP 1243790 A1 & US 2002/47275 A1	1-10
Y	GB 2067247 A (ERNO RAUMFAHRTTECHNIK GMBH), 22 July, 1981 (22.07.81), Full text & DE 3000678 A1	1-10
Y	JP 57-131874 A (United Technologies Corp.), 14 August, 1982 (14.08.82), Full text & US 4339666 A & DE 3150824 A1 & FR 2496774 A1 & GB 2089901 A	1-5

☒ 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
26 November, 2004 (26.11.04)	14 December, 2004 (14.12.04)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/013144

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-117353 A (Yamaha Motor Co., Ltd.), 26 April, 1994 (26.04.94), Full text (Family: none)	1-5
Y	JP 59-101587 A (United Technologies Corp.), 12 June, 1984 (12.06.84), Full text & US 4656362 A & EP 112792 A1	1-5
Y	JP 2003-113769 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 18 April, 2003 (18.04.03), Full text (Family: none)	6-10
A	JP 2003-201952 A (Fuji Heavy Industries Ltd.), 18 July, 2003 (18.07.03), Full text (Family: none)	1-10

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００４／０１３１４４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int. Cl 7　F03D 7/04

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 7　F03D 1/00-11/04

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
日本国公開実用新案公報　１９７１－２００４
日本国登録実用新案公報　１９９４－２００４
日本国実用新案登録公報　１９９６－２００４

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	関連する請求の範囲の番号
Ｙ	ＪＰ　２００１－５１１４９７　Ａ（ヴォッベン、アロイス）２００１．０８．１４，全文 ＆　ＷＯ　１９９９／００５４１４　Ａ１ ＆　ＤＥ　１９７３１９１８　Ａ１ ＆　ＥＰ　１２４３７９０　Ａ１ ＆　ＵＳ　２００２／４７２７５　Ａ１	1-10

☒　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
26.11.2004	14.12.2004

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）	３Ｔ	９８２２
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	川口　真一		
	電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３９３		

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（２００４年１月）

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	関連する請求の範囲の番号
Y	GB　2067247　A (ERNO RAUMFAHRTTECHNIK GMBH) 1981．07．22，全文 ＆　DE　3000678　A1	1-10
Y	JP　57－131874　A（ユナイテッド・テクノロジーズ・コーポレイション）1982．08．14，全文 ＆　US　4339666　A ＆　DE　3150824　A1 ＆　FR　2496774　A1 ＆　GB　2089901　A	1-5
Y	JP　6－117353　A（ヤマハ発動機株式会社）1994．04．26，全文（ファミリーなし）	1-5
Y	JP　59－101587　A（ユナイテッド・テクノロジーズ・コーポレイション）1984．06．12，全文 ＆　US　4656362　A ＆　EP　112792　A1	1-5
Y	JP　2003－113769　A（三菱重工業株式会社）2003．04．18，全文（ファミリーなし）	6-10
A	JP　2003－201952　A（富士重工業株式会社）2003．07．18，全文（ファミリーなし）	1-10