

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-120050
(P2017-120050A)

(43) 公開日 平成29年7月6日(2017.7.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
FO3D 80/00 (2016.01)	FO3D 11/00 A	3H072
FO3D 3/06 (2006.01)	FO3D 3/06 G	3H073
FO3D 3/02 (2006.01)	FO3D 3/02 A	3H178
FO3D 7/06 (2006.01)	FO3D 7/06 C	
FO3D 3/04 (2006.01)	FO3D 3/04 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 23 O L (全 52 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-256795 (P2015-256795)
(22) 出願日 平成27年12月28日 (2015.12.28)

(71) 出願人 517081954
株式会社NOA I
新潟県新潟市中央区新光町19番地8 パブリシティ・フレックスビル
(74) 代理人 100130111
弁理士 新保 斉
(72) 発明者 原 明緒
新潟県新潟市中央区新光町19-8 パブリシティフレックスビル 株式会社WIN PRO内
(72) 発明者 中田 秀輝
京都府相楽郡精華町光台8丁目15-24
Fターム(参考) 3H072 AA13 AA27 BB31 CC54
3H073 AA07 AA26 BB22 CE10 CE27

最終頁に続く

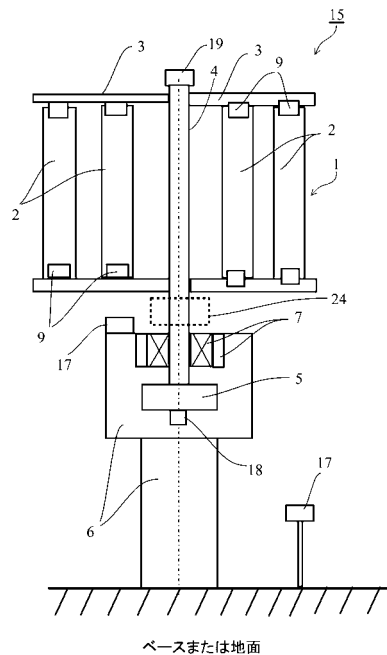
(54) 【発明の名称】 垂直型風力発電システム、垂直型水力発電システム、およびその制御方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 微風から強風までの広範囲の風速に対応し、回転エネルギーへの変換効率の高い垂直型風力発電システム、垂直型水力発電システムおよびその制御方法を提供する。

【解決手段】 垂直型風力発電システム15は、垂直型ブレード1、複同心円状に配置された複数の直線翼2、アーム3、シャフトユニット4、発電機5、ポール6、シャフトユニット保持部7、回動手段9、回転角制御装置、回転角度テーブル14、風速検出手段17、回転数検出手段18、風向検出手段19、回転抑止トルク可変手段、発電機コントローラ(回転数制御手段)、パワーコントローラ、結合部24、とを備えている。また、流速分布付加装置により発電効率の高い回転角度に流速を集中させて発電効率を大幅に向上させる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

同心円状に少なくとも内周側と外周側の 2 列以上の円周上に配置された複数の直線翼から構成される垂直型ブレードと、前記直線翼を保持するアームと、前記アームと固定され前記アームの回転を支持するシャフトユニットと、前記シャフトユニットと連動し前記垂直型ブレードの回転エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機と、前記垂直型ブレードと前記アームと前記シャフトユニットを保持するポールまたはフレームと、前記ポールまたは前記フレームが前記シャフトユニットを回動自在に保持するためのシャフトユニット保持部とを有し、

前記垂直型ブレードの最大出力を発生する時の回転数または周速比において、外周側に配置された前記垂直型ブレードの前記回転数または周速比に対して、内周側に配置された前記垂直型ブレードの前記回転数または周速比が段階的に小さくなる構成としたことを特徴とする垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 2】

前記垂直型ブレードは、内周側の円周上に配置された前記直線翼のソリディティ（翼直径における円周の長さ \times 翼弦長 \times 翼枚数の比率）に対して、外周側の円周上に配置された前記直線翼のソリディティを段階的に大きくしたことを特徴とする請求項 1 記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 3】

風又は水の流速と、垂直型ブレードの回転速度である周速に対する向流速との合成となる相対流速と、直線翼の前縁と後縁とを結んだ線分となる翼弦とのなす角度である迎角において、接線方向の回転力が大きくなるような迎角にするために相対角度を変化させることを目的として、前記相対角度は前記翼弦とアームとの角度、または前記翼弦と前記直線翼の保持位置における接線方向との角度として、

前記垂直型ブレードの回転面内において、前記直線翼の前記相対角度をそれぞれ独立して回動させる回動手段と、

前記回動手段により前記相対角度を制御する回転角制御装置と、

前記垂直型ブレードの回転中心を基準した平面座標系における基準角度からの前記垂直型ブレードまたは個々の前記直線翼のブレード回転角度と、前記流速を検出する流速検出手段と、

前記垂直型ブレードの回転数を検出する回転数検出手段と、

前記流速、前記回転数または周速比、前記ブレード回転角度から演算した前記相対角度の回転角度テーブルとを有し、

前記回転角度テーブルをもとに前記直線翼の前記回転角制御装置を用い、同心円状に少なくとも内周側と外周側の 2 列以上の円周上に配置された複数の前記直線翼において、全ての前記直線翼または特定の同心円上の前記直線翼のみ前記ブレード回転角度に応じて前記直線翼の前記相対角度を制御することを特徴とする垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 4】

2 重または 3 重の同心円上に配置された複数の前記直線翼を有した前記垂直型ブレードにおいて、最内周または最外周以外の前記直線翼のみ前記ブレード回転角度に応じて前記直線翼の前記相対角度を制御することを特徴とする請求項 3 に記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 5】

複数の直線翼から構成される垂直型ブレードと、前記垂直型ブレードまたは前記直線翼を保持するアームと、前記アームと固定され前記アームの回転を支持するシャフトユニットと、前記シャフトユニットと連動し前記垂直型ブレードの回転エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機と、前記垂直型ブレードと前記アームと前記シャフトユニットを保持するポールまたはフレームと、前記ポールまたは前記フレームが前記シャフトユニットを回動自在に保持するためのシャフトユニット保持部と、前記ポールまたは前記フレーム

10

20

30

40

50

に固定または前記垂直型ブレードの流入面側に個別に設置され、前記垂直型ブレードに流入する風又は水に所望の流速分布を生じさせる流速分布付加装置とを備えたことを特徴とする垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 6】

前記流速分布は、前記垂直型ブレードへの風または水の流入面と直交する長方形断面において、前記垂直型ブレードの直径の 30% ~ 85% となる略中心部分の領域の流速または前記直線翼のブレード回転角度における 120 度から 250 度の領域の流速を上げ、それ以外の分割領域の流速を低下させるとともに、流束を上げた前記領域の中心位置と前記垂直型ブレードの回転中心との前記流入面と直交する方向のずれは、前記垂直型ブレードの直径の 0% ± 30% の範囲とすることを特徴とする請求項 5 記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

10

【請求項 7】

前記垂直型ブレードへの風または水の流速を検出する流速検出手段および/または流入角度を検出する流入角度検出装置とを有し、前記流速分布付加装置は、複数の流速制御手段により構成され、風または水の流速および前記垂直型ブレードへの前記流入角度に応じて前記流速分布のパターンを可変とすることを特徴とした請求項 5 又は請求項 6 記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 8】

前記流速分布は、前記垂直型ブレードへの風または水の流入面と直交する長方形断面において、流量、流速、前記垂直型ブレードの回転数または周速比、流入角度のいずれか一つ以上の条件に応じて、前記垂直型ブレードの直径の 30% ~ 85% となり、かつ略中心部に限定されない任意の断面の領域の流速を上げ、それ以外の領域の流速を低下させることを特徴とする請求項 5 から請求項 7 のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

20

【請求項 9】

前記流速制御手段は、前記流速制御手段に対して回動またはスライドする流束分布制御部により前記流速分布を可変とすることを特徴とした請求項 7 又は請求項 8 のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 10】

前記直線翼の前記相対角度、前記流速分布を、前記流速、前記流入角度、および前記周速比のいずれか一つ以上の条件に応じて可変とすることを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

30

【請求項 11】

前記流速分布付加装置により、風または水の流れの方向における前記垂直型ブレードの投影面積に対して、前記垂直型ブレードに流入する風または水の流入面積を大きくしたことを特徴とする請求項 5 及び、請求項 1 から請求項 10 のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 12】

前記流速分布付加装置により、風または水を前記垂直型ブレードに流入させる前記流入面積を、風または水の流量または水の流速に応じて可変とすることを特徴とする請求項 1 記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

40

【請求項 13】

2 重または 3 重の同心円上に配置された複数の前記直線翼を有した前記垂直型ブレードにおいて、すべてまたは特定の同心円上の前記直線翼のみ、前記垂直型ブレード回転角度に応じて前記直線翼の前記相対角度を回転トルクが低減する角度に制御することを特徴とする請求項 1 から請求項 12 のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項 14】

相対角度調整モードを有し、前記流速、前記回転数または前記周速比、前記ブレード回転角度に応じた前記直線翼における前記相対角度の角度調整を行い、発電効率が最大とな

50

る前記相対角度の所定固定角度または前記回転角度テーブルを作成することを特徴とする請求1から請求項13のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項15】

風または水の前記流速検出手段と、前記垂直型ブレードの前記回転数検出手段を用い、前記相対角度調整モードにおいて、前記直線翼を1枚ごとに前記相対角度調整を行い、前記流速、前記回転数または前記周速比、前記発電効率または出力特性の関係を取得し、それぞれの前記直線翼を最大出力となる前記相対角度に自動的に調整することを特徴とする請求項14記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項16】

出力検査モードを有し、記憶された前回の前記発電効率または発電量などの出力特性と定期的に比較し発電状態を把握するとともに、予め設定した出力特性の変化量を超えた場合は前記相対角度調整モードを実施することで定期的に前記相対角度のメンテナンスを行うことを特徴とする請求項14又は請求項15記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項17】

前記フレームに、前記垂直型ブレードに流入した風または水の前記流速を増加させる流速加速機構を備えたことを特徴とした請求項1から請求項16のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項18】

前記流速加速機構は、風または水の通過する流路幅を狭くすることを特徴とする請求項17記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項19】

前記フレームのそれぞれ独立した空間に前記垂直型ブレードを2機搭載し、それぞれの回転方向が逆回転となるように前記垂直型ブレードを構成する前記直線翼の前記前縁および前記後縁の方向および前記相対角度を設定したことを特徴とする請求項1から請求項18のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項20】

前記垂直型ブレードの回転に伴い揚力および抗力より発生する水平面内のXY平面におけるX方向の発生力とY方向の発生力により前記フレームに作用する力が、それぞれ相殺されて最小になるようにそれぞれの前記直線翼を配置した構成としたことを特徴とする請求項19記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項21】

前記垂直型ブレードに流入する風または水の前記流速または流量が必要以上に大きい場合は、前記相対角度を制御し発電効率を低下させるか、前記流速分布付加装置により前記垂直型ブレードに流入する前記流速または前記流量を低減させる構成としたことを特徴とする請求項1から請求項20のいずれかに記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システム。

【請求項22】

風又は水の流速と、垂直型ブレードの回転速度である周速に対する向流速との合成となる相対流速と、直線翼の前縁と後縁とを結んだ線分となる翼弦とのなす角度である迎角において、接線方向の回転力が大きくなるような迎角にするために相対角度を変化させることを目的として、前記相対角度は前記翼弦とアームとの角度、または前記翼弦と前記直線翼の保持位置における接線方向との角度として、前記垂直型ブレードの回転面内において、前記直線翼の前記相対角度をそれぞれ独立して回動可能に構成し、

前記相対角度を制御する回転角制御装置と、前記垂直型ブレードの回転中心を基準した平面座標系における基準角度からの前記垂直型ブレードまたは個々の前記直線翼のブレード回転角度と、前記流速を検出する流速検出手段と、前記垂直型ブレードの回転数を検出する回転数検出手段と、前記流速、前記回転数または周速比、前記ブレード回転角度から演算した前記相対角度の回転角度テーブルとを用い、

10

20

30

40

50

前記回転角度テーブルをもとに前記直線翼の前記回転角制御装置を用い、同心円状に少なくとも内周側と外周側の2列以上の円周上に配置された複数の前記直線翼において、全ての前記直線翼または特定の同心円上の前記直線翼のみ前記ブレード回転角度に応じて前記直線翼の前記相対角度を制御することを特徴とする垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムにおける制御方法。

【請求項23】

前記請求項3に記載の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムにおける、回転角制御装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、風のエネルギーをブレードの回転エネルギーに変換し、その回転エネルギーを電気エネルギーに変換する風力発電システムに関するものであり、特に垂直型風力発電システムにおけるブレードの回転エネルギーの大幅な向上に関するものである。

また、流体を風から水とすることにより、本技術の応用分野を水力発電の分野に拡大できるものである。

【背景技術】

【0002】

近年、有害排出ガス削減による自然環境保護、自然エネルギー活用の観点から、世界各国で自然風のエネルギーを利用した風力発電システムの開発が進められ、多数のシステムが設置され、稼働している。

20

【0003】

風力発電システムには水平型と垂直型があり、水平型はブレードの回転数が高く風切音が発生したり、発電可能な風向が限られるため、常に風の方向に追従する機構が必要になるなどの課題を有している。一方垂直型は、比較的回転数が低く騒音の心配が少なく、かつ風の方向を考慮する必要はないが、比較的回転エネルギーへの変換効率（回転エネルギー変換効率）が低いことが知られている。

【0004】

垂直型風力発電システムにおいて、風のエネルギーから電力エネルギーへの回転エネルギー変換効率を上げるには、比較的出现率が高い平均風速における回転エネルギー変換効率を高くするとともに、微風から強風までの環境条件全域において可能な限り常時発電することが必要となる。ここで、回転エネルギー変換効率は、ブレード受風面積を単位時間あたりに通過する風の運動エネルギーをブレードの回転エネルギーに変換する変換効率（%）のことで回転エネルギー変換効率として C_p と定義する。

30

また、この回転エネルギー（ W ）を角速度（ rad/s ）で除した値が円筒形回転体となる垂直型ブレード全体の接線方向の回転力で回転トルク（ $N \cdot m$ ）となる。上記の風のエネルギーは $1/2 \rho A V^3$ で表され、 A は垂直型ブレードの受風面積（直径×翼長）（ m^2 ）、 V は風速（ m/s ）、 ρ は空気密度（ kg/m^3 ）で表すことができる。

【0005】

40

微風から発電するには、微風時からスムーズに風の運動エネルギーをブレードの回転エネルギーに変換できる自己起動性が必要となり、強風時で可能な限り発電するには、過度な回転エネルギーに対しても機械的かつ電氣的に損傷しないような垂直型風力発電システムを構築する必要がある。

【0006】

そこで、起動特性を改善する構成として、翼型の一部を切り欠いて抗力を増加させる構成や、カムやリンク機構を用いブレードを自転させる構成を有した垂直型風力発電システムが提案されている（特許文献1、特許文献2）。

具体的には、特許文献1では、特許文献1の図5および0007段落に示されるように、後縁部に切欠部22が形成されているのでブレード20が後方から風を受けて回転する

50

と、切欠部 22 によってブレード 20 に大きな空気抵抗が生じ、半円筒型片寄カップ型の風車効果によってブレード 20 に回転モーメントが発生して、風車の起動トルクが発生する構成としている。

【0007】

また、特許文献 2 では特許文献 2 の図 6 に示されるように、カムやリンク機構を用いブレード 3 の角度を変化させることで揚力の大きさを変え、低速時の揚力を増加させたり、強風時に発生する揚力を低減させた構成としている。

さらには、特許文献 3 では特許文献 3 の図 1 に示すように、ロータ 4 に複数のブレードを搭載することで起動特性を改善する構成としている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献 1】特許第 4514502 号公報

【特許文献 2】特開 2006-152922 号公報

【特許文献 3】特開 2005-90332 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上述した従来の垂直型風力発電システムは、どのような設計条件（ソリディティ、迎角と揚力および抗力との関係、ブレードの取り付け角の条件、周速比との関係）にすれば回転トルクが大きくなるのか、周速比や翼性能およびレイノルズ数がどのように関係してくるのか、翼型が変わればどうなるのか、同心円状に配置する場合の回転トルクとソリディティ、周速比、風速、迎角との関係等といった最も本質となることの考察や開示がなされていない。

【0010】

したがって、どのような相対角度にすればどの程度回転トルクまたは発電効率が上がるのかが不明である。また、空気力学的な最適解には至っていないため、2 m/s 程度の微風時にはブレードの回転トルクをほとんど得ることができず、ブレードが回転するにはさらに大きな風速が必要となる。また、出現頻度が最も高い平均風速（たとえば 6 m/s あたり）付近では、逆にブレードの翼型の影響および揚力が最大となる最適な迎角のずれにより発電効率が低下する。したがって、発電効率の高い垂直型風力発電システムを提供することが困難となる。

【0011】

さらには、強風時の過大風力への対応としてもわずかにブレードの回転トルクを低減できる程度であり、実際の強風に対して精度よくブレードの回転制御を行うことは困難であり、強度的に長時間の運転には適さないという問題が発生し、垂直型風力発電システムの寿命や信頼性が大きな課題となる。

【0012】

また、カムやリンクでは、特定の風向きしか効果が無く、風向きが変わった場合は逆に回転エネルギー変換効率が悪化してしまう点や、調整範囲が狭い、さらにはどういう角度調整を行うか、またその効果がどの程度あるのかという点が全く考慮されていないなどの課題を有していた。

【0013】

さらに特許文献 1 の後縁部に切欠部 22 については、起動特性はわずかに改善されるものの、起動時にマイナストルクを発生している要因を改善しない限り大きな起動性の改善は見込めないし、切り欠きにより、逆に本来の翼特性が失われ揚力の大幅な減少により通常回転時の発電量が大幅に低下するという課題がある。

【0014】

また、特許文献 3 では、同心円状に 2 重となるブレードを構成し起動特性を改善する提案がなされており、起動特性が改善するとともに高速回転時においても回転力を大きくす

10

20

30

40

50

ることができる。しかしながら、どのような構成にすれば起動特性が改善するのか、あるいはなぜ起動特性が改善するかについては全く述べられておらず、ソリディティ、回転数、風速などとの関係による理論的な考察がされていない。

本来、起動特性を改善するためには、ブレードのソリディティ、配置、相対角度などが必須の検討要因となり、その要素を抜きに起動特性の改善は困難となる。また同様に、高速回転時に回転トルクを増すかどうかについてもブレードのソリディティ、配置、相対角度などが必須の検討要因となるが、この点に関する考察も一切述べられていない。

【0015】

単に、同心円状に2重にブレードを構成してもソリディティや周速比および風速を考慮しなければ顕著な起動特性および高速回転時の発電効率の改善は実現できない。起動特性および高速回転時の特性改善には、揚力および抗力などのブレードの翼型特性、ブレードのサイズ、ブレードの枚数、ソリディティおよびブレードの相対角度が大きな要因であり、それらすべてを考慮したブレード構成が必須の要件となり、この点を考慮しなければ起動特性および発電効率の大幅な改善は実現できない。

10

特許文献3に述べられている構成では、起動特性がわずかに変化することはあっても、通常回転時や高速回転時には、内側のブレードが抵抗となり逆に発電効率が大幅に低下することになり、起動特性および発電効率の大幅な改善などの望んでいる効果は得られない。

【0016】

このように、先行文献に開示されている垂直型風力発電システムでは、微風時におけるブレードの回転起動ができない、平均風速における発電効率が低下する、強風時の回転数の制御が困難であり長時間の運転に適さないという問題がある。

20

【0017】

また、風速、風向およびブレードの回転数（周速比）に応じた効率的な発電効率の改善には至っていないため、実際の風況下における発電効率の向上にはほとんど貢献していない状況となっている。

【0018】

発電効率を向上させるためには、風の運動エネルギーをブレードの回転エネルギーに変換する回転エネルギー変換効率（ C_p ）を向上させるとともに、回転エネルギーを電気エネルギーに変換する電気エネルギー変換において、様々な風況において可能な限り常時電気エネルギー変換を行うことが重要となる。したがって、できる限り風速の大きな状況でも風の運動エネルギーを電気エネルギーに変換し発電することが望ましい。

30

【0019】

従って、発電効率の高い垂直型風力発電システムの課題は、低風速（微風）時からのブレードの起動性と、低風速時から強風時の風況における回転エネルギー変換効率の大幅な向上と、強風時の過大な風のエネルギーの条件下での発電である。

【0020】

ブレードの起動特性に関しては、ブレードの枚数を増やす（ソリディティを上げる）、切り欠きを入れる、スタータを設けるなどの手段があるが、いずれも微風時から効率的に回転し効率的な発電をするような自己起動性を満足するには至っていない。

40

【0021】

また、低風速時から強風時の風況における回転エネルギー変換効率の向上に対して、出現頻度の高い風況化でできる限り発電効率を高める狙いがあり、様々な翼型や翼構成の垂直型風力発電システムが提案されているが、空力特性の本質的な課題の解決には至っておらず、いずれも一定の割合の回転エネルギー変換効率を超えるのは困難な状況となっている。

【0022】

さらに、強風時の過大な風のエネルギー条件下での発電を行うには、ブレードの回転数が上昇することでブレードを含む回転体の遠心力への強度的な対策が必要となるとともに回転エネルギーが増大するに従い、発電機への負荷が重くなってしまい、発電機のサイズ

50

、重量、信頼性などへの影響が懸念される。

特に、ブレードおよびブレードを支持するアーム、アームを支持するシャフトユニットおよび発電機の回転部などは、回転数が増加するに従い遠心力が増大し、許容応力を超えてしまう。回転部分の信頼性を確保するためには補強する必要が生じるが、大きくかつ重くなるため、益々遠心力が増加してしまう。

【0023】

また、発電機の電気的特性においても、発電機出力は回転数に応じ所定の電力が出力されるが、回転数が増加すると、耐圧仕様の大幅な改善や負荷変動時の発熱を含めたサイズアップが必要となり、大きくかつ重くなるとともに、コスト大幅に増加してしまうなどの課題がある。

10

【0024】

従って、発電効率の高い垂直型風力発電システムの実現には、垂直型ブレードの空力特性の本質的な課題の解明や回転エネルギー変換効率（ C_p ）を大幅に向上させる方式の探索、ブレードの回転エネルギーを効果的に低減する方式、過度な回転を抑制する垂直型風力発電システムの構築が必須となる。

【0025】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、同心円状に構成されたブレードとそれぞれのブレードを様々な風況や風速において揚力および抗力の発生状況を効果的に制御し、効率的に垂直型ブレードの回転トルクに変換することで、従来に比べ微風時の起動特性が大幅に向上し、優れた自己起動性を実現し微風速からの効率的な発電を可能にするとともに、平均風速時での発電効率を大幅に向上させる構成を実現している。

20

【0026】

さらには、強風時におけるブレードの効率的な回転エネルギーの低減や精度の高いブレードの回転数制御を行うことができ、発電効率の大幅な向上と、信頼性および寿命の大幅な改善を実現することができる垂直型風力発電システムを提供するものである。さらには、流入する風のエネルギーの強度分布を風速およびブレードの回転数により変化させることで一層エネルギー変換効率の高い垂直型風力発電システムの実現が可能となる。

また、風力発電システムの場合、上記のように流体は空気となるが、流体を水と置き換えて、水力発電システムとして、同様に考えることができる。

【0027】

空気と水の主な流体物性値を比較すると、空気の密度は、 1 atm 、 20 にて $1.205 (\text{kg} / \text{m}^3)$ 、粘度は 25 （粘度は圧力依存性無し） $1.82 \text{ E} - 5 (\text{Pa} \cdot \text{s})$ 、動粘度は（粘度）/（密度）= $1.510373 \text{ E} - 5 (\text{m}^2 / \text{s})$ とし、水の密度は、 1 atm 、 25 にて $997.04 \text{ kg} / \text{m}^3$ 、粘度は 1 atm 、 25 にて $8.9 \text{ E} - 4 (\text{Pa} \cdot \text{s})$ 、動粘度は（粘度）/（密度）= $8.926422 \text{ E} - 7 (\text{m}^2 / \text{s})$ となる。

30

このことから、（空気の動粘度）/（水の動粘度）= 16.92025 となる。

【0028】

また、レイノルズ数 Re は $Re = (\text{速度}) (\text{代表長}) / (\text{動粘度})$ より、同じ翼型で相対速度が同じならレイノルズ数は、水が空気の 17 倍ほど大きくなる。レイノルズ数が大きいほど翼型特性は良化していく（揚力係数が大きくなる）ため、流速が同じなら水中の風車のほうが空気中の風車よりも回転エネルギー変換効率（パワー係数）が大きくなる。

40

従って、水中と空気中のエネルギー変換効率は、密度、動粘度、レイノルズ数、流速（風速）を考慮した演算が必要となる。

【課題を解決するための手段】

【0029】

本発明に係る垂直型風力発電システムおよび水力発電システムは、上記した課題を解決するために、同心円状に配置された複数の直線翼から構成される垂直型ブレードと、前記垂直型ブレードまたは前記直線翼を保持するアームと、前記アームと固定され前記アームの回転を支持するシャフトユニットと、前記シャフトユニットと連動し前記垂直型ブレード

50

ドの回転エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機と、前記垂直型ブレードと前記アームと前記シャフトユニットを保持するポールと、ベアリング等から構成され前記シャフトユニットを前記ポールに回転軸支するシャフトユニット保持部とを有し、外側の円周上に配置された前記垂直型ブレードの前記直線翼に対して内側側の円周上に配置された前記垂直型ブレードの前記垂直翼が最大出力を発生する回転数が段階的に小さくなる構成を備えている。あるいは、外側の円周上に配置された前記垂直型ブレードの前記直線翼に対して内側側の円周上に配置された前記垂直型ブレードの前記垂直翼が最大出力を発生する周速比が段階的に小さくなる構成を備えている。

【発明の効果】

【0030】

本発明に係る垂直型風力発電システムは、以上に説明したように構成され、同心円状に配置された垂直型ブレードの直線翼を外周部から内周部に向かって低回転速で最大出力を発生する翼構成、ソリディティ、迎角または相対角度とすることで、垂直型ブレードの外周部において垂直型ブレードの回転エネルギーに変換されずにそのまま内部を通過する風の流速エネルギーを再度回転エネルギーに変換することができ、起動時や2 m/s前後の微風時は勿論のこと、6 m/s程度の中速レベルや、12 m/s程度の強風速レベルにおいても垂直型風力発電システムの発電効率を大幅に向上させることが可能となる。

【0031】

特に、同心円状に配置された垂直型ブレードの直線翼の外周部に対して内周部に向かうにつれて低回転速で最大出力を発生する翼構成、ソリディティおよび迎角とすることで、起動時、微風時または低回転速時に外周部の垂直型ブレードを通過して垂直型ブレードの中心部分流れ込む空気の流れのエネルギーを再び回転エネルギーに変換することが可能となり、起動特性に優れ、10 rpm程度から下の低回転時および3 m/s以下の微風時の起動特性を大幅に改善することが可能となる。

【0032】

また、微風時から強風時における様々な風況や風速において、風速、風向およびブレードの回転数に応じた緻密かつ効果的なブレードの相対角度制御を行い、ブレードの揚力および抗力による回転力および回転抑止力を最適かつ高精度に制御しブレードの回転トルクに変換することで、微風時の起動特性が大幅に向上し、優れた自己起動性を実現し微風速からの効率的な発電を可能にするとともに、中速レベルや平均風速時での発電効率の大幅な向上を実現できる。さらには、ブレードに流入する風のエネルギーの分布を風速またはブレードの回転数に応じて変化させることにより一層の発電効率の向上を実現できる。

【0033】

一方、強風速レベルにおいては、ブレードに流入する風の流量を減らしたり、緻密なブレードの相対角度制御を行い、ブレードの揚力および抗力による回転力および回転抑止力を最適かつ高精度に制御しブレードの回転トルクに変換することで、ブレードの効率的な回転エネルギーの低減や精度の高いブレードの回転数制御を行うことができ、発電機や回転体への負荷を減らし、発電効率の大幅な向上と、信頼性および寿命の大幅な改善を実現することができるという効果を奏する。また、同心円状のブレードにおいて、特定の同心円上のブレードのみ逆向きの回転トルクを発生するように相対角度の調整を行うことで強風時のブレードの回転数増大または暴走を防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】実施形態1に係る垂直型風力発電システムの構成の一例を示した側面図の模式図である。

【図2】実施形態1に係る垂直型風力発電システムの回動手段の構成を示した模式図である。

【図3A】実施形態1に係る垂直型風力発電システムの構成の一例を示した上面図の模式図である。

【図3B】実施形態1に係る垂直型風力発電システムの構成の一例を示した上面図の模式

10

20

30

40

50

図である。

【図 3 C】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムの構成の一例を示した上面図の模式図である。

【図 4】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムの翼型断面の一例を示した模式図である。

【図 5 A】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムにおける垂直型ブレードの同心円状の配置構成を示した模式図である。

【図 5 B】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムにおける垂直型ブレードの同心円状の配置構成を示した模式図である。

【図 5 C】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムにおける垂直型ブレードの同心円状の配置構成を示した模式図である。

【図 6】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムの翼型断面における翼型特性（揚力特性、抗力特性）の一例を示した図である。

【図 7】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムの周速比と相対速度の関係を示した図である。

【図 8】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムのブレード回転角度を定義するゾーンのおよび回転角度テーブルの一例を示した図である。

【図 9 A】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムにおける回転角度調整の一例を示した図である。

【図 9 B】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムにおける回転角度調整の一例を示した図である。

【図 9 C】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムにおける回転角度調整の一例を示した図である。

【図 10】実施形態 1 に係るゾーン番号と C P との関係の一例およびピッチ角調整における周速比と C p との関係の一例を図示した図である。

【図 11】実施形態 1 に係る垂直型風力発電システムの直線翼の回転角度制御および垂直型ブレードの回転数制御の構成の一例を示した図である。

【図 12 A】実施形態 2 に係る垂直型水力発電システムの構成を示した模式図である。

【図 12 B】実施形態 2 に係る垂直型水力発電システムの構成を示した模式図である。

【図 12 C】実施形態 2 に係る垂直型水力発電システムの構成を示した模式図である。

【図 12 D】実施形態 2 に係る垂直型水力発電システムの構成を示した模式図である。

【図 13】実施形態 2 に係る垂直型水力発電システムの垂直型ブレードの構成を示した模式図である。

【図 14】実施形態 2 に係る流速分布付加条件を示した図である。

【図 15】実施形態 2 に係る、高速域での流速分布付加の効果を示した図である。

【図 16】実施形態 2 に係る、中速域での流速分布付加の効果を示した図である。

【図 17】実施形態 2 に係る、低速域での流速分布付加の効果を示した図である。

【図 18】実施形態 2 に係る、高速域での回転トルクの改善効果を示した図である。

【図 19】実施形態 2 に係る、低速域での回転トルクの改善効果を示した図である。

【図 20】実施形態 3 に係る垂直型水力発電システムの構成を示した模式図である。

【図 21 A】実施形態 4 に係る垂直型水力発電システムにおける低周速比での最適構成を示した図である。

【図 21 B】実施形態 4 に係る垂直型水力発電システムにおける低周速比での最適構成を示した図である。

【図 21 C】実施形態 4 に係る垂直型水力発電システムにおける低周速比での最適構成を示した図である。

【図 21 D】実施形態 4 に係る垂直型水力発電システムにおける低周速比での最適構成を示した図である。

【図 22】実施形態 4 に係る垂直型水力発電システムの流速分布の効果を示した図である。

。

10

20

30

40

50

【図23】二重アクチュエータ多流管モデルにおける流管の設定に係る説明図である。

【図24】二重アクチュエータ多流管モデルにおける各パラメータの説明図である。

【図25】二重アクチュエータ多流管モデルにおいて各流管におけるブレード回転駆動力の算出に係る説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0035】

(本発明の一形態を得るに至った経緯)

本発明者が「背景技術」にて記載した従来の垂直型風力発電システムに関して鋭意研究したところ、従来の垂直型風力発電システムでは、本来回転エネルギー変換効率や発電効率を追求するために必要な、翼型特性、ブレードの直径、風速、回転数などと迎角との関係についての本質的な関係を見出していないし、検討もなされていない。

10

【0036】

ブレードを同心円状に2重に配置するにしても、単に2重に並べただけで、起動特性および高速回転時の特性改善には、揚力および抗力などのブレードの翼型特性、ブレードのサイズ、ブレードの枚数、ソリディティーおよびブレードの相対角度が重要な構成要因であり、それらすべてを考慮したブレード構成が必須となる。この点を考慮しなければ起動特性および発電効率の大幅な改善は実現できないが、そのような構成に対する考察は全くなされていない。

【0037】

また、垂直型ブレードの発生する揚力および抗力において、回転トルクに対して正の力のみを検討しており、特に微風時に支配的な負の回転トルクについての検討がなされていない。さらに、推測や概念のみの試みが多く、回転エネルギー変換効率の改善量(C_p)と迎角との関係が全く検討されていないし、示されていない。

20

【0038】

また、もっとも重要な、ブレードの回転数(周速比)と迎角との関係についてはその関係について見出していないし、検討もなされていないなどの多くの問題があり、実際の垂直型風力発電システムの回転エネルギー変換効率の改善には効果が不明であり、効果を検証しようとしてもほとんど発電効率の向上という効果を得ることができないという大きな課題に直面した。

【0039】

そこで、ブレードの迎角を可変とすることにより、起動特性と発電効率とを両立させるブレード構成があるのではないかと、また、2重ないしは多重の同心円状のブレード構成についても、起動特性や発電効率になどの要望仕様に応じた最適な構成があるのではないかと、さらにはブレードに流入する流体のエネルギー分布において、起動特性や発電効率を最大とするための最適なエネルギー分布があるのではないかとという考えに至った。

30

【0040】

また、ブレードの迎角の調整、多重の同心円状ブレード構成、流入するエネルギー分布の調整などを組み合わせることにより、起動特性や発電効率に大きな効果があるのではないかとという考えに至った。

そこで、本発明者はこの問題点に関し、検討を重ねた結果、以下の知見を得た。

40

【0041】

起動時や微風速の低回転域ではブレードを素通りする風が多く、エネルギー変換効率が悪い。従って、起動特性および微風時の回転エネルギーの増加をはかるには、同心円状の垂直型ブレードの構成として、外周側から内周側に配置される直線翼に従い、ソリディティーを増加させるか、迎角を低い周速比に対応した構成とすることが必要である。特に、迎角については、各ブレード回転角度において周速比が大きい場合に最大出力を出す迎角に対し、周速比が小さい場合に最大出力を出す迎角が大きく変化することを見出した。従って、同心円状に垂直翼を配置した場合でも、起動特性、微風時の特性、中速レベルでの発電効率を大幅に向上させるにはソリディティーの設定と迎角の制御が必須であるとの考えに至った。

50

【 0 0 4 2 】

さらに、垂直型ブレードの翼型、揚力や抗力と迎角とレイノルズ数との関係を示す翼型特性、直径やソリディティなどの構成条件、垂直型ブレードの回転速度などの動作条件の影響や、風速や風向などの環境変化に応じて回転エネルギー変換効率が最大となる相対角度の値を詳細に検証し、それぞれの構成条件、動作条件や環境条件下で回転エネルギー変換効率が規則的かつ大きく変化する相対角度があることを見出した。特に、ソリディティが大きいほど最大効率を出す回転数が低く、かつ回転数が低いほど一回転の中で最大効率を出す相対角度の変化が大きいという法則があることを見出した。

【 0 0 4 3 】

一方、回転エネルギー変換効率の改善において、特定のブレード回転角度で大きな改善効果（Cp）を見出すとともに、特定の角度変化のパターンで効果的に回転エネルギー変換効率を改善することを見出した。特に、周速比（ブレードの回転数）と最適な相対角度との緻密な関係および規則性の発見に至ったことで、回転エネルギー変換効率（Cp）の大幅改善を実現する制御方法を見出した。このとき、特定のブレード回転角度や相対角度および垂直型ブレードに流入するエネルギーを特定のブレード回転角度に集中させることで一層回転エネルギーへの変換効率の高い垂直型ブレードを創出した。

10

【 0 0 4 4 】

微風時に風のエネルギーを無駄にせずかつ中速レベルでの定格回転時に発電効率を向上させるブレード構成および相対角度制御を考え、さらにはブレードに流入するエネルギー分布を変化させ大幅に発電効率を向上させる流速分布付加装置やその効果を大幅に増加させるブレード構成およびブレード制御構成を創出し本発明に至った。

20

【 0 0 4 5 】

また、垂直型ブレードの一回転における接線方向の回転トルクの詳細な検討を行うことにより、垂直型ブレードの一回転内で大きな回転トルク変動があり、特定のブレード回転角度で負の回転トルクを発生すること、比較的狭いブレード回転角度で一回転の累積回転トルクの大部分を発生していることを見出した。

【 0 0 4 6 】

従って、回転エネルギー変換効率を上げるためには、垂直型ブレードに流入する流速エネルギーにおいて、負の回転トルクを発生するブレード回転角度の領域の流速を下げ、大きな回転トルクを発生するブレード回転角度の領域の流速を上げることが必要であると考

30

えたとともに、迎角を最適にコントロールすることを合わせ、より一層回転エネルギー変換効率を上げる構成を創出するに至った。

そして、本発明では以下に示す態様を提供する。

【 0 0 4 7 】

本発明の第1の態様に係る垂直型風力発電システムは、同心円状に少なくとも内周側と外周側の2列以上の円周上に配置された複数の直線翼から構成される垂直型ブレードと、前記垂直型ブレードまたは前記直線翼を保持するアームと、前記アームと固定され前記アームの回転を支持するシャフトユニットと、前記シャフトユニットと連動し前記垂直型ブレードの回転エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機と、前記垂直型ブレードと前記アームと前記シャフトユニットを保持するポールと、ベアリング等から構成され前記シャフトユニットを前記ポールに回動軸支するシャフトユニット保持部とを有し、外側側の円周上に配置された前記垂直型ブレードに対して内側側の円周状に配置された前記垂直型ブレードの最大出力を発生する回転数または周速比が段階的に小さくなる構成としている。

40

【 0 0 4 8 】

上記した構成により、同心円状に配置された垂直型ブレードの直線翼を外周部から内周部に向かって低回転速で最大出力を発生する翼構成や迎角とすることで、垂直型ブレードの外周部において垂直型ブレードの回転エネルギーに変換されずにそのまま内部を通過する風の流速エネルギーを再度回転エネルギーに変換することができ、微風時や低風速時の

50

みではなく、6 m / s 程度の中速レベルや、12 m / s 程度の強風速レベルにおいても垂直型風力発電システムの発電効率を大幅に向上させることが可能となる。一般的に、同一の翼型、翼直径および相対角度において、風速が速くなるに従い最大出力を出す回転数は大きくなり、ソリディティーが大きくなるほど、最大出力を出す回転数は小さくなる。

【0049】

同一の垂直型ブレードに取り付けられた各々の直線翼は、内周に行くに従い周速比が低下する。従って、同心円状に配置された垂直型ブレードの直線翼の外周部から内周部に向かって低回転速で最大出力を発生する翼構成や迎角または相対角度とすることで、起動時または低回転速時に外周部の垂直型ブレードを通過して垂直型ブレードの中心部分流れ込む空気の流れのエネルギーを再び効率よく回転エネルギーに変換することが可能となり、起動特性に優れ、数十rpm程度から下の低回転時および3 m / s 以下の微風時の発電効率を大幅に改善した垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

10

【0050】

また、本発明の第2の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記垂直型ブレードは、内周側の円周上に配置された前記直線翼のソリディティーを外周側の円周上に配置された前記直線翼のソリディティーに対して段階的に大きくした構成としている。

【0051】

上記した構成により、同心円状に配置された垂直型ブレードの直線翼のソリディティーを外周部から内周部に向かって段階的に大きくすることで、内周側に配置されるに従い前記垂直型ブレードの周速比が大きくなることに対応した前記直線翼の構成となり、周速比に対応したソリディティーを有したブレード構成とすることで効率よく回転エネルギー変換効率を向上させて発電効率を最大にする前記垂直型ブレードを実現することができる。このように、周速比とソリディティーとのマッチング精度を大幅に向上させたことにより一層発電効率の高い垂直型ブレードを実現することが可能となる。

20

【0052】

さらに、起動時から強風速レベルの幅広い領域または、微風レベル、中速レベル、強風速レベルなど特定の風速レベルの発電効率を大幅に向上させる垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

30

【0053】

また、本発明の第3の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1または第2の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、風速と前記垂直型ブレードの回転速度である周速に対する向風速との合成となる相対風速または相対流速と、前記直線翼の前縁と後縁とを結んだ線分となる翼弦とのなす角度となるいわゆる迎角を定義する。

【0054】

そして、接線方向の回転力が大きくなるような迎角にするために相対角度を変化させることを目的として、前記相対角度は前記翼弦と前記アームとの角度、または前記翼弦と前記直線翼の保持位置における接線方向との角度として、前記垂直型ブレードの回転面内において、前記直線翼の前記相対角度をそれぞれ独立して回動させる回動手段を備える。

40

この回動手段により前記相対角度を制御する回転角制御装置と、前記垂直型ブレードの回転中心を基準した平面座標系における基準角度からの前記垂直型ブレードまたは個々の前記直線翼のブレード回転角度と、風または水の流速を検出する流速検出手段と、前記垂直型ブレードの前記回転数を検出する回転数検出手段と、前記流速、前記回転数または周速比、前記ブレード回転角度から演算した前記相対角度の回転角度テーブルとを有する。

以上により、前記回転角度テーブルをもとに前記直線翼の前記回転角制御装置を用い、同心円状に配置された複数の前記直線翼において、全ての前記直線翼または特定の同心円上の前記直線翼のみ前記垂直型ブレード回転角度に応じて前記直線翼の前記相対角度を制御する構成としている。

【0055】

50

上記した構成により、風速（流速）またはレイノルズ数、垂直型ブレードの翼直径、回転数または周速比、ソリディティー、相対角度、翼型およびその翼型特性などの回転エネルギー変換効率を向上させるために必要な要素を考慮し、状況に応じた特定の同心円上の直線翼のみあるいはすべての直線翼の相対角度を調整することで、最適かつより精度の高い相対角度の制御が可能となり、回転エネルギー変換効率および発電効率の優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

なおこの時、相対角度が前記翼弦と前記アームとの角度の場合は、前記相対角度から90度引いた値をピッチ角度と定義する。

ここで、前記相対角度は、前記迎角と、風速、周速、ブレード回転角度から演算が可能である。

10

【0056】

また、翼型特性を表す揚力係数および抗力係数は、迎角との関係で示しており、回転角度テーブルにおける演算の基となる翼型特性を精度よく演算に取り入れることが可能となるため、精度の優れた回転角度テーブルおよび相対角度を導き出すことが可能となり、回転エネルギー変換効率および発電効率の優れた垂直型風力発電システムを実現することが可能となる。

【0057】

さらに、回転角度テーブルは、風速、垂直型ブレードの翼直径、翼型の風速またはレイノルズ数および迎角に対する揚力特性および抗力からなる翼型特性、回転数または周速比、翼弦の長さとなる翼弦長、垂直型ブレードの全長となる翼長、直線翼の翼枚数および垂直型ブレードの翼直径から演算されたソリディティー、およびブレード回転角度のすべての数値またはいずれか一つ以上の数値から演算したブレード回転角度と相対角度の関係を表したものである。

20

【0058】

この構成により、風速またはレイノルズ数、垂直型ブレードの翼直径、回転数または周速比、ソリディティー、ブレード回転角度、翼型およびその翼型特性など、回転エネルギー変換効率を向上させるために必要な要素をすべて考慮し、最適かつより精度の高い相対角度および回転角度テーブルを算出することが可能となり、回転エネルギー変換効率および発電効率の優れた垂直型風力発電システムを実現することが可能となる。

【0059】

また、本発明の第4の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第3の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、2重または3重の同心円上に配置された複数の前記直線翼を有した前記垂直型ブレードにおいて、最内周または最外周以外の前記直線翼のみ前記垂直型ブレード回転角度に応じて前記直線翼の前記相対角度を制御する構成としている。

30

【0060】

上記した構成によると、同心円状に前記直線翼が配置された前記垂直型ブレードでは、外周に位置するに従い周速比が速くなる。また、風速（流速）が速くなるほど最大出力となる回転数（周速比）は高くなる。従って、外周に位置する前記直線翼ほど大きな周速比に対応し、且つ強風時の比較的高速に回転した時に最大効率を出力する垂直型ブレードの構成とする必要がある。また、前記相対角度は周速比（回転数）が小さいほうが、前記発電効率に対する前記相対角度の調整の影響の効果は大きくなる傾向にある。

40

【0061】

従って、比較的に周速比が小さくなり比較的相対角度の角度調整の影響が大きい内周部の前記直線翼のみ前記相対角度の角度調整を行うことで、発電効率の向上と設備コストの低減との両立をはかることができ、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、かつ低コストの垂直型風力発電システムおよび垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0062】

また、本発明の第5の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第4の態様に係る

50

垂直型風力発電システムの構成において、複数の直線翼から構成される垂直型ブレードと、前記垂直型ブレードまたは前記直線翼を保持するアームと、前記アームと固定され前記アームの回転を支持するシャフトユニットと、前記シャフトユニットと連動し前記垂直型ブレードの回転エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機と、前記垂直型ブレードと前記アームと前記シャフトユニットを保持するポールまたはフレームと、ベアリング等から構成され前記シャフトユニットを前記ポールまたはフレームに回動軸支するシャフトユニット保持部と、前記ポールまたは前記フレームに固定または前記垂直型ブレードの流入面側に個別に設置され、前記垂直型ブレードに流入する空気または水に流速分布を付加する流速分布付加装置とを備えた構成としている。

【0063】

上記した構成により、前記垂直型ブレードに流入する空気または水に流速分布をつけることで、前記垂直型ブレードの前記ブレード回転角度において最も発電効率が高くなる前記ブレード回転角度あるいは、揚力および効力による接線方向への回転力が高い前記ブレード回転角度またはあらかじめ設定した角度範囲となるゾーンに流速を集中させることができ、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量の多い垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0064】

また、本発明の第6の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第5の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記流速分布は、前記垂直型ブレードへの空気または水の流入面と直交する長方形断面において、前記垂直型ブレードの直径の30%～85%となる略中心部分の領域の流速または前記ブレード回転角度における120度から250度の領域の流速を上げ、それ以外の分割領域の流速を低下させる構成としている。

【0065】

上記した構成により、前記垂直型ブレードに流入する空気または水に流入する水または空気の流速エネルギーにおいて、前記垂直型ブレードの発生する接線方向の回転力が最も高くなる前記ブレード回転角度の付近に水または空気の流速エネルギーを集中させることで、前記垂直型ブレードの前記ブレード回転角度において最も発電効率が高くなる前記ブレード回転角度あるいは、揚力および効力による接線方向への回転力が高い前記ブレード回転角度の付近に流速を集中させることができ、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量の多い垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0066】

また、本発明の第7の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第6の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記垂直型ブレードへの空気または水の流速を検出する流速検出手段および/または流入角度を検出する流入角度検出装置を有し、前記流速分布付加装置は、複数の流速制御手段により構成され、空気または水の流速および前記垂直型ブレードへの前記流入角度に応じて前記流速分布のパターンを可変とする構成としている。

【0067】

上記した構成により、前記流入角度検出装置および前記流入速度検出装置からの情報を基に複数の前記制御板の角度を調整し、前記垂直型ブレードの流入面と直交する流入面に流速分布を付加することで、さまざまな流速、流入角度においても発電効率が高くなる前記流速分布を形成することが可能となる。

【0068】

そして、前記垂直型ブレードの発生する接線方向の回転力が最も高くなる前記ブレード回転角度の付近に水または空気の流速エネルギーを集中させることで、前記垂直型ブレードの発電効率が高くなる前記ブレード回転角度あるいは、揚力および効力による接線方向への回転力が高い前記ブレード回転角度の付近に流速を集中させることができ、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量の多い垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

10

20

30

40

50

【0069】

また、本発明の第8の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第7の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記流速分布は、前記垂直型ブレードへの空気または水の流入面と直交する長方形断面において、前記流速分布は、前記垂直型ブレードへの空気または水の流入面と直交する長方形断面において、流量、流速、前記垂直型ブレードの回転数または周速比、流入角度のいずれか一つ以上の条件に応じて、前記垂直型ブレードの直径の30%～85%となり、かつ略中心部に限定されない任意の断面の領域の流速を上げ、それ以外の領域の流速を低下させる構成としている。

【0070】

上記した構成により、前記垂直型ブレードに流入する空気または水に流入する水または空気の流速エネルギーにおいて、流量、流速、前記垂直型ブレードの回転数または周速比、流入角度などの様々な条件を考慮して、前記垂直型ブレードの発生する接線方向の回転力が最も高くなる前記ブレード回転角度の付近に水または空気の流速エネルギーを集中させることで、前記垂直型ブレードの前記ブレード回転角度において最も発電効率が高くなる前記ブレード回転角度あるいは、揚力および効力による接線方向への回転力が高い前記ブレード回転角度の付近に流速を集中させることができ、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量の多い垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

10

【0071】

また、本発明の第9の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第8の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記流速制御部は、前記流速制御装置に対して回動またはスライドする流束分布制御部により前記流速分布を可変とする構成としている。

20

【0072】

上記した構成によると、比較的簡単な構成で様々な流速分布を形成することができることに加え短時間に高精度な流速分布を形成することが可能となるため、簡素かつ安価で高精度な流速分布付加装置を実現でき、設備コストの低減をはかるとともに、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量が多く投資回収効率の高い垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0073】

また、本発明の第10の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第9の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記直線翼の前記相対角度、前記流速分布を、前記流速、前記流入角度、および前記周速比のいずれか一つ以上の条件に応じて可変とする構成としている。

30

【0074】

上記した構成により、前記流速、前記流入角度、および前記周速比などの条件を考慮して、前記ブレード回転角度に対して、もっとも接線方向の力である回転力が大きくなる前記流速分布および前記相対角度に調整（制御）することで、一層回転エネルギー変換効率および発電効率の優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

40

【0075】

また、前記垂直型ブレードへの流速、流入角度などの流入条件や流入状態変化、温度変化、周速比に対して常に最大の発電量を発生させることができ、同一の前記垂直型ブレードのサイズ（投影面積）および前記発電機により、一層発電出力の大きな垂直型風力発電システムおよび垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0076】

また、本発明の第11の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第10の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記流速分布付加装置により、空気または水の流れの方向における前記垂直型ブレードの投影面積に対して、前記垂直型ブレードに流入する空気または水の流入面積を大きくした構成としている。

50

【0077】

上記した構成によると、前記垂直型ブレードに流入する空気または水の投影面積を大きくすることが可能となり、流入エネルギーが増大することにより発電量を大幅に増加させることができ、同一の前記垂直型ブレードのサイズ（投影面積）で一層発電出力の大きな垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0078】

また、本発明の第12の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第11の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記流速分布付加装置により、空気または水を前記垂直型ブレードに流入させる前記流入面積を、空気または水の流量または水の流速に応じて可変とする構成としている。

10

【0079】

上記した構成により、設置する場所における最大風速（最大流速）や最大流量の条件や発電機の容量および河川の幅や深さなどにより、前記垂直型ブレードに流入する空気または水の流量を自在に変化させることができるとともに、風速や流速の時間的な変化にも対応させることができ、環境の状態変化に左右されることなく、常に最大の発電量を発生させることができ、同一サイズ（投影面積）の前記垂直型ブレードおよび発電機により、一層発電出力の大きな垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0080】

また、本発明の第13の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第12の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、2重または3重の同心円上に配置された複数の前記直線翼を有した前記垂直型ブレードにおいて、すべてまたは特定の同心円上の前記直線翼のみ、前記垂直型ブレード回転角度に応じて前記直線翼の前記相対角度を回転トルクが低減する角度に制御する構成としている。

20

【0081】

この構成により、垂直型ブレードの精度の高い回転数調整が可能となるとともに、急激な流束または風速の変化にも対応して回転数制御をかけた時、垂直型ブレードの回転ブレーキをかけることができる。

【0082】

また、垂直型ブレードに流入する空気または水の前記流速または流量が必要以上に大きい場合は、前記相対角度を制御し発電効率を低下させるか、前記流速分布付加装置により前記垂直型ブレードに流入する前記流速または前記流量を低減させる構成としている。

30

【0083】

さらに、流束が必要以上に大きな場合、回転トルクを抑制することが可能となり、発電量の制御、メカ的な応力の低減、発電機の保護が可能となり、信頼性と発電能力に優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0084】

また、本発明の第14の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第13の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、相対角度調整モードを有し、前記流速、前記回転数または前記周速比、前記ブレード回転角度に応じた前記直線翼における前記相対角度の角度調整を行い、発電効率が最大となる前記相対角度の最適固定角度または前記回転角度テーブルを作成する構成としている。

40

【0085】

上記した構成により、前記垂直型ブレードの回転面内において予め設定した前記ブレード回転角度の範囲（ゾーン）毎に最も発電効率が高くなるあるいは接線方向の回転トルクが最大になる前記相対角度に前記直線翼を調整することで、同一システムおよび同一の風況での発電効率を最大に引き上げることが可能となり、一層発電効率および発電量の大きな垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0086】

このとき、前記回転角度テーブルを作成する際には、前記垂直型ブレードの発電状態に

50

において、予め設定した前記回転角度テーブルまたは前記相対角度調整モードで調整または更新した前記回転角度テーブルに基づいて前記相対角度の制御を行う構成とすることで、大幅に前記相対角度調整モードの調整時間を短縮することが可能となる。

【0087】

一方、前記垂直型ブレードの発電状態での前記相対角度調整モードにおいて、前記回転角度テーブルを用いず、前記垂直型ブレードのブレード回転角度によらず常に一定の前記相対角度（固定角度）を用いた前記相対角度としてもよい。このときは、前記直線翼の前記相対角度を一枚ずつまたは複数枚同時に調整し、発電効率、接線方向の回転トルクおよび発電量のいずれかを確認して前記相対角度（固定角度の迎角）を設定することになる。

【0088】

このような、前記相対角度調整モードを用いることにより、前記垂直型ブレードの個々の前記直線翼の組み立てばらつきや誤差、部品精度、経年劣化などを補正することができ、信頼性に優れ、発電量および発電効率の大きな垂直型風力発電システムおよび垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0089】

また、本発明の第15の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第14の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、風または水の前記流速検出手段と、前記垂直型ブレードの前記回転数検出手段を用い、前記相対角度調整モードにおいて、前記直線翼を1枚ごとに前記相対角度調整を行い、前記風速または前記流速、前記回転数または前記周速比、前記発電効率または出力特性の関係を取得し、それぞれの前記直線翼を最大出力となる前記相対角度に自動的に調整する構成としている。

【0090】

上記した構成によると、前記相対角度調整モードにおける前記相対角度の調整精度を一層向上させることが可能となり、高精度の前記相対角度の調整により、より一層前記垂直型ブレードの個々の直線翼の組み立てばらつきや誤差、部品精度、経年劣化などの補正が可能となり、信頼性に優れ、発電量および発電効率の大きな垂直型風力発電システムおよび垂直型垂直発電システムを実現することが可能となる。

【0091】

また、本発明の第16の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第15の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、出力検査モードを有し、記憶された前回の前記発電効率または発電量などの出力特性と定期的に比較し発電状態を把握するとともに、予め設定した出力特性の変化量を超えた場合は前記相対角度調整モードを実施することで定期的に前記相対角度のメンテナンスを行う構成としている。

【0092】

上記した構成により、前記出力検査モードにて、前記直線翼、前記垂直型ブレードおよび前記垂直型風力発電システムの経年劣化、前記アームや前記シャフトユニット、前記相対角度などの経年変化、アクシデントによる部分的な故障を高精度に検出することが可能となり、定期的なメンテナンスにより信頼性に優れ、発電量および発電効率の大きな垂直型風力発電システムおよび垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0093】

また、本発明の第17の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第16の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記フレームに、前記垂直型ブレードに流入した空気または水の前記流速を増加させる流速加速機構を備えた構成としている。

【0094】

上記した構成により、前記垂直型ブレードに流入する風速または流速を向上させることができ、速度の3乗で発電量を向上させることができるため、発電量および発電効率の大きな垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0095】

また、本発明の第18の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第17の態様に

10

20

30

40

50

係る垂直型風力発電システムの構成において、前記流速加速機構は、空気または水の通過する流路幅を狭くする構成としている。

【0096】

上記した構成により、比較的簡単な構成かつ安価に前記流速加速機構を実現することができ、発電量および発電効率が大きく、設備コストの低減による経済性に優れた垂直型風力発電システムおよび垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0097】

また、本発明の第19の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第18の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記フレームのそれぞれ独立した空間に前記垂直型ブレードを2機搭載し、それぞれの回転方向が逆回転となるように前記垂直型ブレードを構成する前記直線翼の前記前縁および前記後縁の方向および前記相対角度を設定した構成としている。

10

【0098】

上記した構成により、それぞれの前記垂直型ブレードの回転により発生する半径方向の力を可能な限り互いにキャンセルさせることで半径方向の力を大幅に低減することが可能となり、前記フレームに発生する振動を大幅に低減することができ、信頼性および耐久性に優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0099】

また、独立した空間にそれぞれ前記垂直型ブレードを配置することにより、前記垂直型ブレードに流れ込む空気および水の流束がお互いに干渉することがないため発電効率が低下することがなく、発電量の優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

20

【0100】

また、本発明の第20の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第19の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記垂直型ブレードの回転に伴い揚力および抗力より発生する水平面内のXY平面におけるX方向の発生力とY方向の発生力により前記フレームに作用する力が、それぞれ相殺されて最小になるようにそれぞれの前記直線翼を配置した構成としている。

【0101】

上記した構成により、それぞれの前記直線翼の回転により発生するX方向およびY方向の半径方向の力を互いにキャンセルさせることでX方向およびY方向の力を大幅に低減することが可能となり、前記フレームに発生する振動を大幅に低減することができ、信頼性および耐久性に優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

30

【0102】

また、本発明の第21の態様に係る垂直型風力発電システムは、第1～第20の態様に係る垂直型風力発電システムの構成において、前記垂直型ブレードに流入する空気または水の前記流速または流量が必要以上に大きい場合は、前記相対角度を制御し発電効率を低下させるか、前記流速分布付加装置により前記垂直型ブレードに流入する前記流速または前記流量を低減させる構成としている。

40

【0103】

上記した構成により、空気または水の流速の増加による前記垂直型ブレードの回転数の必要以上の上昇を防ぎ、前記シャフトユニット、前記アームおよび前記垂直型ブレードが遠心力の増大により破壊に至ることを防止するとともに、前記発電機への入力エネルギーが増大し、前記発電機が破壊に至ることを防止することで、信頼性に優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

【0104】

上記した構成により、垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムの発電効率の向上、信頼性の向上および小型化が可能となるため、小型高性能、高効率かつ高信頼

50

性の垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現できる。

【0105】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照して説明する。なお、以下では全ての図を通じて同一又は対応する構成部材には同一の参照符号を付して、その説明については省略する。

【0106】

(実施形態1)

図1～図11を参照して実施の形態1に係る垂直型風力発電システムについて説明する。図1～図4は、実施の形態1に係る垂直型風力発電システムの構成の一例を示した模式図である。図1では、実施の形態1に係る垂直型風力発電システムを側部から見たときの構成を模式的に示している。図2は実施の形態1に係る風力発電システムに搭載する直線翼2とその回動手段9の構成を示した略図である。図3は、実施の形態1に係る風力発電システムを上面から見たときの構成を模式的に示している。

10

【0107】

図1、図2および図3に示すように、垂直型風力発電システム15は、垂直型ブレード1、直線翼2、アーム3、シャフトユニット4、発電機5、ポール6、シャフトユニット保持部7、相対角度8、回動手段9、回転角制御装置10、平面座標系11、基準角度12、ブレード回転角度13、回転角度テーブル14、垂直型風力発電システム15、風速16、風速検出手段17、回転数検出手段18、風向検出手段19、回転トルク20(図11に図示)、回転抑止トルク可変手段21(図11に図示)、発電機コントローラ(回転数制御手段)22(図11に図示)、パワーコントローラ23(図11に図示)、結合部24、垂直型ブレードの取付け部27、図示角度である風向28より構成されている。

20

【0108】

垂直型ブレード1は同心円状に配置された複数の直線翼2から構成され、アーム3により回動可能に保持される。シャフトユニット4はアーム3を固定し保持するとともにアームの回転を支持する。

シャフトユニット4は前記垂直型ブレード1の回転エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機5の回転部分(ロータ、シャフトなど)と結合(または一体化)され連動し、垂直型ブレード1の回転エネルギーを電気エネルギーに変換する。

30

【0109】

この際、結合部24(詳細は図示せず)を介してシャフトユニット4と発電機5の回転部分とを結合してもよく、結合部24はカップリング、ギヤ、増速機、減速機などのいずれか、又はその組み合わせから構成されている。この時、結合部24の増速比または減速比により垂直型ブレード1の回転数・出力特性と、発電機5の回転数・出力特性をマッチングさせることが可能となる。

【0110】

ポール6は、ベアリングおよび保持部(詳細は図示せず)などから構成されているシャフトユニット保持部7により、垂直型ブレード1とアーム3とを固定したシャフトユニット4を保持し、シャフトユニット4をポール6に回動可能状態で保持する。

40

【0111】

一方、1個又は複数備える風速検出手段17は垂直型ブレード1の周辺の風速を検出し、回転数検出手段18は垂直型ブレード1の回転数を検出し、風向検出手段19は垂直型ブレード19に流入する風の平面座標系11の回転中心Oを中心とした基準角度12に対する風向28(角度)を検出する。

また、直線翼2はアーム3に回動手段9により回動可能に保持されている。

【0112】

図2(a)、(b)は実施の形態1に係る風力発電システムに搭載する直線翼2と、その回動手段9、アーム3の構成を示した略図である。回動手段9は回動軸部33、ステッピングモータ、DCモータ、超音波モータ、圧電素子などの駆動源30、ギヤ、カップリング、シャフトなどから構成される動力伝達部31、ベアリングなどを用いた軸支部32

50

、駆動源 30 に電力を供給する電池などの電力源 60 より構成され、直線翼 2 はアーム 3 に対して、最大で ± 180 度の回動状態で保持される。

【0113】

この際、軸支部 32 はベアリングに限らず摺動性を有した公知の軸支部材でも良い。また、動力伝達部 31 は各種ギヤやカップリングを介しても良いし、駆動源 30 と回動軸部 33 を直接結合する構成でも良い。

【0114】

図 2 (a)、(b) の違いは駆動源 30 および動力伝達部 31 の一部を垂直または水平に配置したことである。図 2 (b) の構成では、駆動源 30、動力伝達部 31 および電力源 60 の水平部をアーム 3 の内部に収納することも可能である。駆動源 30、動力伝達部 31、電力源 60 をアーム 3 に格納することで、垂直型風力発電システム 15 の小型化が可能であるとともに、風雨や紫外線の影響を抑えることができ、信頼性および耐久性に優れた垂直型風力発電システム 15 を実現できる。

【0115】

図 3 A は平面座標系 11 (X 軸、Y 軸、Z 軸、原点 O) における基準角度 12 (0 度)、垂直型ブレード 1 (直線翼 2) の 2 種類のブレード回転角度 13 ()、垂直型ブレード 1 の直径となる翼直径 26、アーム 3 と直線翼 2 の取付け部 27 および 2 種類の相対角度 8、風速 16、風向 28、翼直径 26 をそれぞれ示している。直線翼 2 はアーム 3 に対して取付け部 27 の位置に相対角度 8 の取付け角で回動可能状態にて保持されている。

【0116】

図 3 B および図 3 C はブレード回転角度 13 と迎角 38 との関係を示した図である。図 3 B において、直線翼 2 は説明を簡素にするため約 180 度の位置にあり、風速 16 (V) の条件で、垂直型ブレード 1 の回転数に応じた翼直径 26 (外周) の回転速度で、周速 35 で回転している。この時、周速 35 は m/s の単位で表すものとする。

【0117】

図 3 C は、図 3 B における迎角 38 を表した図で、翼型特性を表す際に用いられる迎角 38 は、次のように求められる。すなわち、風速 16 と垂直型ブレード 1 の翼直径 26 (外周) での回転速度である周速 35 に対する向周速 36 との合成となるいわゆる相対風速 37 と、直線翼 2 の翼弦 25 とのなす角度である。

本発明の基本的な仕組みとして、接線方向の回転力 (回転トルク) が大きくなるような迎角 38 にするために相対角度 8 を変化させる。

【0118】

図 4 は実施の形態 1 に係る垂直型風力発電システムに搭載する直線翼 2 の断面形状の略図であり、図 4 (a) は実施の形態 1 に係る風力発電システムに搭載する直線翼 2 の断面形状においていわゆる対称翼の一例を示した図で、図 4 (b) はいわゆる非対称翼の一例を示した図である。直線翼 2 の前縁と後縁とを結んだ線分を翼弦 25 とし、翼弦 25 の長さを翼弦長 29 としている。

【0119】

また図 4 (c) は、図 4 (a)、(b) に示す翼型断面における取付け位置 27 を中心として回転させた時の、相対風速 37 と翼弦 25 との角度となる迎角 38 と翼型断面の表面で発生する揚力 40 および抗力 41 の関係を示している。風速 16、翼弦 25、取付け部 27、ブレード回転角度 13、相対角度 8、相対風速 37、迎角 38、ピッチ角度 39、揚力 40、抗力 41、揚力 40 による回転トルク 42、抗力 41 による回転抑止トルク (マイナストルク) 43 の関係を示した図である。相対角度 8 はアーム 3 と翼弦 25 とのなす角の場合の図である。

この時、相対角度 8 を翼弦 25 と取付け位置 27 における接線方向との角度とした場合はピッチ角度 39 が相対角度 8 となる。

【0120】

図 4 (c) においてピッチ角度 39 は (相対角度 8) - 90 度で表すことができる。また、抗力 41 による回転抑止トルク 43 は周速比が 1 以下でブレード回転角度 13 が 18

10

20

30

40

50

0度から360度の間では、正の回転トルクとなる場合がある。したがって、周速比が1以上の領域で回転エネルギー変換効率Cpを上げるには、揚力40による回転トルク42を大きくし、抗力41による回転抑止トルク43を小さくすることが必要となる。また、周速比が1以下の領域で回転エネルギー変換効率Cpを上げるには、揚力40による回転トルク42を大きくし、抗力41による回転抑止トルク43を小さくするとともに、抗力41による回転トルク43（第3および第4象限ではプラストルクが発生する）を大きくすることが必要となる。

【0121】

図5Aは、風力発電システム15を上面から見たときの構成を模式的に示したもので、垂直型ブレード1を部分的に上面から見た模式図である。垂直型ブレード1は同心円状に配置された複数の直線翼2から構成され、アーム3およびシャフトユニット4により回転可能に保持される。また、同心円状に配置された複数の直線翼2はそれぞれ同一のアーム3に保持されるとともに、ブレード回転角度13、垂直型ブレード1の回転数（または周速比）、風速16などに応じて回動手段9により相対角度8を調整可能としている。

10

【0122】

このとき同一のアーム3上に配置されたそれぞれの直線翼2の周速比は、垂直型ブレード1の回転数が如何なる場合においても必然的に内周側が小さくなる。従って、内周側の同一の同心円上に位置する直線翼2のソリディティ（翼直径26における円周の長さ \times 翼弦長29 \times 翼枚数の比率）は内周側に位置する直線翼2のほうが外周側に位置する直線翼2のほうに対して大きくする構成としている。

20

【0123】

これは、ソリディティを大きくすると比較的低い回転数で回転エネルギー変換効率を高くすることができ、逆にソリディティを小さくすることで比較的高い回転数で回転エネルギー変換効率を高くすることとなる。従って、与えられた周速比の条件で最大出力または回転エネルギー変換効率を最大にすることで、起動特性から高風速に至る幅広い環境条件において常に最大発電効率を発揮するために、内周側の直線翼2のソリディティを大きくすることは垂直型ブレード1の必須の構成条件となる。

【0124】

具体的には、風速と回転エネルギー変換効率が最大となる周速比との関係およびソリディティと変換エネルギーが最大となる周速比との関係より、外周側の直線翼2のソリディティおよび内周側の直線翼2のソリディティを決定することとなる。

30

【0125】

内周側の同一の同心円上に位置する直線翼2（回転数が同じで周速比が小さくなる直線翼2）のソリディティを大きくすることで、回転エネルギー変換効率 \times 周速比は小さいほうへシフトする。また、言い換えると、周速比の低い側に最大効率がシフトすることにより、比較的low回転となる微風時および低風速時の回転エネルギー変換効率 \times 周速比が向上する。したがってlow回転時、起動時および微速時の回転トルクを大幅に向上させることが可能となり、垂直型ブレード1の起動特性、low回転時の発電効率および低風速時の発電効率および発電量を大幅に向上させることが可能となる。

【0126】

このとき、内周側の円周上に位置する直線翼2と外周側の円周上に位置する直線翼2はそれぞれ違う翼型でも構わないし、それぞれ異なった相対角度8の固定値としてもよい。

40

また、それぞれの直線翼2の相対角度8は回転角度テーブル14に基づいて、角度調整を行う構成とする構成でもよい。

【0127】

垂直型ブレード1の回転面内において、ブレード回転角度13から演算した相対角度8の回転角度テーブル14をもとに、回動手段9と回転角制御装置10により、ブレード回転角度13に応じて直線翼2の相対角度を可変とすることにより、搭載している直線翼2の翼型断面の翼型特性に応じて、常にブレード回転角度13に応じた最適な揚力および抗力の値を設定することが可能となり、垂直型風力発電システム \times の大幅な起動特性の改善お

50

よび回転エネルギー変換効率および発電効率の向上を実現することが可能となるという優れた効果を奏する。

【0128】

特に、起動時はできる限り抗力による回転トルクが向上する相対角度 θ とし、通常回転時は揚力による回転トルクが大きくなるように相対角度 θ を設定するか、揚抗比が大きくなるような相対角度 θ に設定することが望ましい。

回転角度テーブル14は、予め演算した値もしくは、一部またはすべてをリアルタイムで演算した値を用いる構成としている。

【0129】

この構成により、回転角度テーブル14をあらかじめ演算しておきメモリに保存して必要な時に取り出す構成とすることにより、相対角度 θ の調整時には演算時間が不要となるとともに都度演算するエネルギーや時間が不要となり、制御時間遅れがなく、且つエネルギー効率の高い垂直型風力発電システムを実現することができる。一方、リアルタイムで計算する構成では、回転角度テーブル14を保存するメモリ等のシステムが不要となるため、比較的lowコストかつ小型の垂直型風力発電システムを実現することが可能となる。

【0130】

さらに、図5Bに示すように、外周側の同心円上に位置する直線翼2と内周側の同心円上に位置する直線翼2をそれぞれ異なるアーム3に取り付け、それぞれを異なる角度に配置する構成でもよい。

起動時、微風時および低風速時は回転エネルギーへの変換効率が低く、外周側の同心円上に配置された直線翼2により回転エネルギーに変換されずに通過する風または流束が多くなる。従って、この構成にすることで、外周側の同心円上に位置する直線翼2によって回転エネルギーに変換されずに通過した風または流束が再び内周側の同心円上に位置する直線翼2により再び回転エネルギーに変換されることとなり、起動時、微風時および低風速時における回転エネルギー変換効率を一層向上させることが可能となる。

【0131】

また、図5Cに示すように、同心円状に配置された直線翼2を2重ではなく3重とすることで一層、起動時、微風時および低風速時における垂直型ブレード1の回転エネルギー変換効率(風のエネルギーの回転エネルギーへの変換効率または回収効率)を向上させることが可能となる。

図6は実施の形態1に係る風力発電システムに搭載する直線翼2の断面形状における、における翼型特性を示した図である。

【0132】

図6(a)は迎角 α (ATTACK ANGLE) と抗力係数(CD)との関係の一例(特定の風速、またはレイノルズ数における参考図)、図6(b)は迎角 α (ATTACK ANGLE) と揚力係数(CL)との関係を示している。回転角度テーブル14におけるピッチ角度 β の演算を行う場合、それぞれの風速またはレイノルズ数毎の翼型特性を考慮することは必須であり、この特性を考慮しない限り C_p を最大とする回転角度テーブル14の演算は困難となる。逆に、様々な風速またはレイノルズ数に対応した翼型特性があれば、精度よく回転角度テーブル14を作成することが可能となる。

ここで、抗力係数および揚力係数は、ともに係数に $1/2(\rho C V^2)$ をかけることで力(N/m)に換算できる。この時、 ρ は空気密度(kg/m^3)、Cは翼弦長29(m)、Vは風速(m/s)とする。

【0133】

図7は、実施の形態1に係る風力発電システムに搭載する直線翼2における周速比と風速16、向周速36、相対速度37とブレード回転角度(θ)13との関係を示した模式図である。

【0134】

図7(a)および図7(b)は周速比が1以下の領域の場合と、周速比が1を超えた場合のブレード回転角度13と相対速度37の関係を示している。特に、周速比1以下で

10

20

30

40

50

はピッチ角度 38 の調整角度によっては、ブレード回転角度 () 13 が 180 度 ~ 360 度の領域では抗力による回転トルク (プラストールク) を発生させることが可能となる。

【 0 1 3 5 】

また、図 7 の (c) と図 7 の (d) は、周速比と迎角 38 の関係を示した図である。ピッチ角度 39 を 0 度に固定した場合、周速比が 1 以下の領域では迎角 38 は 0 度 ~ 360 度となるが、周速比が 1 を超えると迎角 38 は大幅に小さくなるのが分かる。また、全ての周速比において相対風速 37 は垂直型ブレード 1 の平面座標系 11 における下流側 (0 90 度、 270 度 360 度) では翼型の腹側から当たることになる。従って、周速比の大小により、ブレード回転角度 13 に対する迎角 38 の値が大きく変化することがわかる。

10

【 0 1 3 6 】

図 8 は、実施の形態 1 に係る垂直型風力発電システム 15 に搭載する回転角度テーブル 14 の一例を示した図である。図 8 (a) はブレード回転角度 13 を分割した参考図であり、この場合 360 度を 8 等分し、それぞれのゾーンごとに最適な相対角度 8 の演算を行う。図 8 (b) はゾーンの分割数を増やして相対角度 8 を演算した回転角度テーブル 14 の一例を示した図であり、風速 16 が 12 m / s とした時の各周速比におけるピッチ角度 39 の回転角度テーブル 14 の一例を示す。

【 0 1 3 7 】

回転角度テーブル 14 は、垂直型風力発電システム 15 の回転エネルギー変換効率を向上させるために、迎角 38、相対角度 8 またはピッチ角度 39、ブレード回転角度 13、周速比および風速 16 との関係を表したもので、横軸にブレード回転角度 13、縦軸に相対角度 8、迎角 38 またはピッチ角度 39 を配して、周速比および / または風速毎の複数の情報をマッピングデータ化した、グラフ、表などのデータ情報を示したものである。

20

【 0 1 3 8 】

比較的回転数が低い周速比 0.5 の状態では比較的回転数が高い周速比 3 の状態に比べて、回転エネルギー変換効率 (Cp) が最大となるピッチ角度 39 (相対角度 8) の値は大きく変化させる必要がある。このように、Cp を最大とする相対角度 8、迎角 38 およびピッチ角度 39 は、周速比により大きく変化し、周速比が大きい場合と比較し、周速比が小さい場合の方が角度の変化量が大きくなる。

なお、風速は 0 m / s から最大 100 m / s の範囲を想定し、相対角度 8 は 90 度を基準に調整範囲を ± 180 度としている。

30

【 0 1 3 9 】

ここで、特に周速比 0.5 の場合の 270 度付近において、Cp が最大となるピッチ角度 39 は + 80 度から - 80 度へ大きく変化するが、エネルギー変換効率変化量 (Cp) を定義して、Cp によるエネルギー改善効果と回転に必要なエネルギーを考慮し、そのメリットがあればピッチ角度 39 を調整してもよいし、Cp の改善効果が低いようであれば、ピッチ角度 39 の変化量が小さくなる回転角度テーブル 14 としても良い。

ここで、垂直型ブレード 1 のパワー P (出力 W) は、回転トルク Q (N - m) と回転角速度 (rad / sec) の積であり $P = Q$ という関係がある。

【 0 1 4 0 】

回転角度テーブル 14 の算出は、平面座標系 11 において垂直型ブレード 1 に流入する風の風速 16、垂直型ブレード 1 の翼直径 26、翼型の風速またはレイノルズ数および迎角 38 に対する揚力特性および抗力からなる翼型特性 (図 5 (6) 参照)、垂直型ブレード 1 の回転数または周速比、翼弦 25 の長さとなる翼弦長 29、直線翼 2 の翼枚数および翼直径 26 から演算されたソリディティ (翼直径 26 における円周の長さ と翼弦長 29 × 翼枚数の比率)、直線翼 2 の全長となる翼長 34、および基準角度 12 からの垂直型ブレード 1 または直線翼 2 の回転角度となるブレード回転角度 13 のすべての数値またはいずれか一つ以上の数値から演算される。

40

【 0 1 4 1 】

この時、上記の各々の情報がすべてあれば精度のよい回転角度テーブル 14 を作成でき

50

るが、翼長 3 4 は基準長さで代用（演算）すれば回転角度テーブル 1 4 は算出可能であり、翼全体の回転エネルギーは計算できないが、相対的な値は算出可能となるため、回転角度テーブル 1 4 の算出に翼長 3 4 は必須ではない。

また、風速 1 6 および周速比は平均的な値を代入することで、回転角度テーブル 1 4 の大まかな形を算出することは可能である。

【 0 1 4 2 】

回転角度テーブル 1 4 はあらかじめ計算しておいても良いし、リアルタイムで計算する構成でもよい。あらかじめ計算しておく場合には、少なくとも迎角 3 8、相対角度 8 またはピッチ角度 3 9、ブレード回転角度 1 3、周速比および風速 1 6 との関係をデータセットの形で備えておき、風速検出手段 1 7、回転数検出手段 1 8、風向検出手段 1 9 による検出結果を参照して、ブレード回転角度 1 3 に応じた迎角 3 8、相対角度 8 またはピッチ角度 3 9 を読み出すことができる。具体的には、回転角度テーブル 1 4 はコンピュータの記憶手段に格納し、各検出手段 1 7、1 8、1 9 の検出結果をコンピュータに入力することで、読み出しが実現される。

10

【 0 1 4 3 】

一方、リアルタイムで計算する構成では、翼直径 2 6 や上記ソリディティの値などは予め備えたものを用い、風速検出手段 1 7、回転数検出手段 1 8、風向検出手段 1 9 による検出結果をコンピュータの演算手段に入力し、ブレード回転角度 1 3 に応じた迎角 3 8、相対角度 8 またはピッチ角度 3 9 を算出することができる。

20

【 0 1 4 4 】

図 9 A ~ C はそれぞれ、図 8 (b) における周速比 0 . 5 (図 9 A)、周速比 1 . 5 (図 9 B)、周速比 3 (図 9 C) における相対角度 8 またはピッチ角 3 9 の回転角度テーブル 1 4 を図示した一例である。この時、風向 2 8 は x 軸に平行とし、風速 1 6、翼直径 2 6、ソリディティ、翼型、翼特性は特定の値を用いているが、詳細な数値の提示はしないものとする。

【 0 1 4 5 】

また、回転角度テーブル 1 4 の演算は、C p の算出において、翼素運動量理論を多数の分割した領域で演算するいわゆる多流管モデルかつ風の流れの上流および下流でそれぞれ演算を行う多流管のダブルアクチュエータ法にて行ったものである。

30

【 0 1 4 6 】

以下、図面および数式を用いて、その概要を説明する。

二重アクチュエータ多流管モデルによる風車特性計算の概要を説明する。二重アクチュエータ多流管モデルでは、図 2 3 に示すような複数の流管を設定する。そして、図 2 4 に示すようにブレード回転円と各流管が交差する上流側および下流側それぞれの位置にアクチュエータ面を仮想し、各流管に対して翼素運動量理論を適用する。

なお、図 2 4 中において

p : 垂直型風車上下流の一様流および風車内の圧力（大気圧）

R : アーム長（ブレード回転半径）

A : 流管 s 入口面積

V : 流管 s 入口の風速（一様流風速）

40

A_u : 流管 s の上流側アクチュエータ面における断面積

V_u : 流管 s の上流側アクチュエータ面における風速

p⁺_u : 流管 s の上流側アクチュエータ面上流側における圧力

p⁻_u : 流管 s の上流側アクチュエータ面下流側における圧力

A_a : 流管 s の風車内における断面積

V_a : 流管 s の風車内における風速

A_d : 流管 s の下流側アクチュエータ面における断面積

V_d : 流管 s の下流側アクチュエータ面における風速

p⁺_d : 流管 s の下流側アクチュエータ面上流側における圧力

p⁻_d : 流管 s の下流側アクチュエータ面下流側における圧力

50

A_w : 流管 s 出口面積
 V_w : 流管 s 出口の風速
 である。

【 0 1 4 7 】

質量保存則から図 2 4 の流管 s の各断面における空気の質量流量は等しく

【 数 1 】

$$\rho A_\infty V_\infty = \rho A_u V_u = \rho A_a V_a$$

となる。流管 s を上流側でよぎるブレードが受ける力 F_u は、流管 s を通る風が失う運動量に等しく

10

【 数 2 】

$$F_u = \rho A_\infty V_\infty^2 - \rho A_a V_a^2$$

となり、数 1 から

【 数 3 】

$$F_u = \rho A_u V_u (V_\infty - V_a)$$

20

となる。

一方、力 F_u は上流側アクチュエータ面の風上側の圧力 p_u^+ と風下側の圧力 p_u^- による力の差として

【 数 4 】

$$F_u = A_u (p_u^+ - p_u^-)$$

と表される。

ベルヌーイの定理を図 2 4 の流管 s 入口と上流側アクチュエータ面の風上側に適用した

【 数 5 】

30

$$p_\infty + \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 = p_u^+ + \frac{1}{2} \rho V_u^2$$

と、ベルヌーイの定理を図 2 4 の流管 s の風車内と上流側アクチュエータ面の風下側に適用した

【 数 6 】

$$p_\infty + \frac{1}{2} \rho V_a^2 = p_u^- + \frac{1}{2} \rho V_u^2$$

40

から算出された p_u^+ と p_u^- を数 4 に代入すれば

【 数 7 】

$$F_u = \frac{1}{2} \rho A_u (V_\infty^2 - V_a^2)$$

となる。数 3 と数 7 を等値して得られる関係

【数 8】

$$V_a = 2V_u - V_\infty$$

を数 3 に代入すれば、

【数 9】

$$F_u = 2\rho A_u V_u (V_\infty - V_u)$$

となり、上流側減速率 a_u を

10

【数 10】

$$a_u = \frac{V_\infty - V_u}{V_\infty} = 1 - \frac{V_u}{V_\infty} \quad (0 \leq a_u \leq 1)$$

と定義すれば、 F_u は未知の上流側減速率 a_u の関数として

【数 11】

$$F_u(a_u) = 2\rho A_u V_\infty^2 a_u (1 - a_u)$$

20

と表される。

上流側アクチュエータにおける風速 V_u は、数 10 より

【数 12】

$$V_u = V_\infty (1 - a_u)$$

となる。

【0148】

上流側アクチュエータをよぎるブレードには、図 25 に示すようにブレード回転による向周速 V_r と数 12 の上流側アクチュエータにおける風速 V_u の合成された相対速度 W の流れがあたることになる。

30

【0149】

二重アクチュエータ多流管モデルでは、この相対速度 W の一樣流中に置かれたブレードに作用する力が、上流側アクチュエータ位置にあるブレードに作用すると考える。この上流側アクチュエータ位置にあるブレードに作用する力 F_B は、ブレード断面形状を持つ翼型が前記相対速度の一樣流中に置かれた場合のレイノルズ数における迎角と揚力 L および迎角と抗力 D の関係の予め用意されたデータから算出される。

【0150】

前記ブレード作用力 F_B は、上流側アクチュエータにおける風速 V_u の関数である。ここで風速 V_u は数 12 に示す上流側減速率 a_u の関数であるため、前記ブレード作用力 F_B は a_u の関数 $F_B(a_u)$ となる。その x 方向成分 $F_{Bx}(a_u)$ と数 12 を等値して得られる a_u に対する方程式

40

【数 13】

$$F_u(a_u) = F_{Bx}(a_u)$$

の解から前記ブレード作用力 F_B が求められる。そして、このブレード作用力 F_B の回転円接線方向成分がブレード回転駆動力となる。

【0151】

下流側アクチュエータに対しては、流管入口条件を風車内の風速 V_a と流管断面積 A_a とすることにより上流側アクチュエータと同様に処理され、下流側におけるブレード回転駆動

50

力が算出される。以上の処理を各流管に対して行えば、流管ごとのブレード回転駆動力およびトルクが求まり、その総和から風車全体の出力（ P ）が計算される。

【0152】

このように計算された出力 P を用い、 C_p を次のように導出する。

$$C_p = P / (1/2 \rho A V^3)$$

【0153】

図9A～Cは同一円周上に配置された直線翼2のみの相対角度 θ またはピッチ角 β の回転角度制御の一例を示したが、この回転角度制御を図5A～Cに示す複数の同心円状に配置された垂直型ブレード1でそれぞれの同心円上の直線翼2で行うことで一層、発電効率、回転エネルギー変換効率、起動特性に優れた垂直型風力発電システム15または垂直型水力発電システムを実現できる。

10

【0154】

また、図8(b)のブレード回転角度 θ とピッチ角度 β と周速比との関係より、周速比が小さいほうがピッチ角度 β の回転角度調整を大きくする必要があることがわかる。言い換えれば、周速比が大きい場合は回転角度調整の範囲が狭く、周速比が小さいほど回転角度調整の範囲が大きいこととなり、周速比が小さくなるに従い相対角度 θ の調整による発電効率の向上の効果が大きくなることがわかる。

【0155】

また、この際の C_p を最大とする相対角度 θ の導出過程を図10に示す。

20

図10(a)はゾーンごとに C_p が最大となる相対角度 θ （または迎角 α 、ピッチ角 β ）を演算する過程を示したもので、それぞれのゾーンで C_p が最大になる相対角度 θ を演算し、変化させていった際のエネルギー変換効率改善量（ ΔC_p ）を示した一例である。

【0156】

このように、一つ前のゾーンとの C_p と ΔC_p および相対角度 θ をとの関係を明確にすることで、相対角度 θ を調整することの効果および各ゾーンまたはブレード回転角度 θ の変化に対する相対角度 θ の回転調整に対する必要なエネルギーを把握することができる。

【0157】

たとえば、回転角度テーブル14は、相対角度 θ による回転エネルギー変換効率（ C_p ）の ΔC_p の演算値を有し、垂直型ブレード1が1回転する間の相対角度 θ の変化量を必要最小限とするために、 ΔC_p があらかじめ指定した値より低い相対角度 θ および回転角度テーブル14のゾーンまたはブレード回転角度 θ では相対角度 θ の調整を行わないまたは、 ΔC_p と相対角度 θ との変化量を比較し、 ΔC_p の改善量に見合う効果が無い場合は相対角度 θ の変化量を少なくするような回転角度テーブル14とすることも可能となる。

30

この時、 ΔC_p と相対角度 θ の変化量とにより、その効果度合いで回転角度テーブル14を作成しても良い。

【0158】

また、垂直型ブレードが1回転する間の相対角度 θ の変化量を必要最小限とするために、一つ前のゾーンの相対角度 θ が必要最小限となるよう、 ΔC_p に対し相対角度 θ の変化量を優先した回転角度テーブル（相対角度 θ の変化量最少の優先モード）としても良い。

40

【0159】

図10(b)は、周速比と C_p との計算結果を示した一例で、相対角度 θ を90度または93度に固定した場合の C_p と、周速比0.5（低速回転域）、周速比1.5（中速回転域）および周速比3（高速回転域）でそれぞれ C_p が最大になる回転角度テーブル14での C_p のカーブを示している。周速比0.5、周速比1.5および周速比3でそれぞれの C_p の改善効果（ ΔC_p ）を示していることになり、それぞれの周速比および風速における最大の相対角度 θ の回転角度テーブル14を網羅し、それぞれの条件における最大の

50

C_pとなる条件で垂直型ブレード1の回転数制御を行うことで、垂直型風力発電システム15のいわゆるパワーカーブを最も回転エネルギー変換効率の高い状態を実現できる。

【0160】

この際、風向検出手段19により検出した、平面座標系11における風向28の角度を、回転角度テーブル14の相対角度8に加算または減算することで、あらゆる風向28に対応した回転エネルギー変換効率に優れた垂直型風力発電システム15を実現することができる。

【0161】

図11は直線翼2の回転角制御および垂直型ブレード1の回転数制御の動作を示した簡易的な動作図である。符号20は回転トルク、符号21は回転抑止トルク可変手段、符号22は発電機コントローラ（回転数制御手段）、符号23はパワーコントローラを示す。

10

【0162】

直線翼2の回転角度制御は、回転角度テーブル14により相対角度8の情報が回転角制御装置10に入り、相対角度8とするために必要な出力信号を回動手段9の駆動源30に出力し、直線翼2をブレード回転角度13に応じた相対角度8に設定する。

【0163】

一方、垂直型ブレード1の回転数制御に関しては、風速16に応じて発生する垂直型ブレード1の回転エネルギーによる回転トルク20と、発電機5の負荷による回転抑止トルクを釣り合わせるにより垂直型ブレード1の回転数を一定回転数に制御する回転数制御手段22を有する。

20

【0164】

回転トルク20の情報と回転数検出手段18の情報が回転数制御手段22に入り、回転数制御手段22は発電機5の回転数検出手段18に応じて発生する回転トルク20に対して、発電機5の回転数検出手段18に応じて発生する電力、電圧、電流または発電機に付加する抵抗値を変化させる回転抑止トルク可変手段21により垂直型ブレード1の回転トルクと発電機5の回転抑止トルクを釣合わせることで、回転数を一定に制御することが可能となる。

【0165】

この際、図10(b)の周速比 - C_pカーブにおいて、パワーカーブにおけるピークの右側（回転数が高い側）の回転数で釣合わせる必要となる。ピークの右側では回転抑止トルクを増やすことで回転数が下がるとともに垂直型ブレード1の回転トルク20が増えるため、再び回転数が増加する方向に垂直型ブレード1が回転し、回転数制御が可能となる。一方ピークの左側では発電機5の回転抑止トルクを増やすと垂直型ブレード1の回転トルクが低下するとともに回転数が急速に低下するため、垂直型ブレード1は回転数が増加することなく（回転数制御ができず）失速する。このためピークの左側の制御領域の場合は、回転抑止トルクを一時的に減らし、ピークの右側の制御領域の回転数の状態に復帰させることが必要となる。発電機5の出力は回転数制御手段22を経てパワーコントローラ23に入り、外部に出力される。

30

【0166】

従って、C_pが高くかつ安定した回転数制御を行うには、周速比に応じた回転角度テーブル14を用い、C_pが最大となるように常に相対角度8を角度制御する場合、周速比（回転数）の制御ポイントは、必ず周速比はC_p - 周速比カーブにおいてピークの右側とすることが必要になる。

40

【0167】

上記の結果より、図5A～Cにおける直線翼2の相対角度8の回転角度調整を行う場合、比較的周速比の高い領域での相対角度8の回転角度調整の効果に対し、周速比の比較的低い領域における相対角度8の回転角度調整の回転エネルギー変換効率の向上への効果は数倍～数10倍大きくなる。

【0168】

このため、設備のコストと発電効率とのバランスを考慮し、最外周の同心円上に配置さ

50

れた直線翼 2 は固定の相対角度 θ とし、最外周の同心円上に位置する直線翼 2 以外の内周側の同心円上に位置する直線翼 2 または最内周の同心円上に位置する直線翼 2 の相対角度 θ の回転角度調整を行う構成としたほうが望ましい。

【0169】

また、複数の同心円状に配置された垂直型ブレード 1 において、すべての直線翼 2 の回転角度調整を行ってもよいし、必ず周速比が小さくなる内周側の同心円上に位置する直線翼 2 のみ相対角度調整を行ってもよいし、最外周の円周上に位置する直線翼 2 を除いた他の同心円上の直線翼 2 の回転角度調整を行ってもよい。また、最内周の円周上に位置する直線翼 2 の相対角度調整のみを行ってもよい。

【0170】

このように、同心円状に配置された垂直型ブレード 1 でそれぞれの同心円上の直線翼 2 において、最適な相対角度 θ の回転角度調整を行うことで一層、発電効率、回転エネルギー変換効率、起動特性に優れた垂直型風力発電システム 15 または垂直型水力発電システムを実現できる。

【0171】

さらに、図 5 A ~ C において、外周側の同心円上に位置する直線翼 2 に対して内周側の同心円上に位置する直線翼 2 のソリディティーを同等あるいはそれ以下とした垂直型ブレード 1 の構成としてもよい。外周側の同心円上に位置する直線翼 2 に対して、内周側の同心円上に位置する直線翼 2 の周速比は必ず小さくなる。このとき、内周側と外周側の直線翼 2 のソリディティーが同じなら、内周側の同心円上に行くに従い、回転エネルギー変換効率が最大となる周速比は次第に低い周速比側へとシフトすることになる。

【0172】

従って、内周側に行くに従い、ソリディティーを増加させる場合は、起動特性および微風時及び低風速時の発電効率の向上に大幅寄与する。しかしながら、起動特性および微風時および低風速時の発電効率は比較的配慮せず、発電効率の最大値をさらに向上させるには、外周側から内周側の同心円上に位置するそれぞれの直線翼 2 のソリディティーを徐々に低下させ最大出力となる周速比を可能な限り近づけることが必須となる。

【0173】

このように、2重または3重の同心円状の直線翼 2 を有した垂直型ブレード 1 により、1重の垂直型ブレード 1 に対して最大出力を大幅に向上させるには、それぞれの同心円毎のソリディティーの設定が重要な構成要素であり、最大出力を出す回転数または周速比を可能な限り一致させることで、従来の垂直型垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムの発電効を大幅に向上させることが可能となる。

【0174】

一方、相対角度調整モードを有し、風速または流速、垂直型ブレード 1 の回転数または周速比に応じて、直線翼 2 の1枚ごとの相対角度 θ の回転角度調整を行い、最も回転エネルギー変換効率または発電効率が高くなる最適固定角度となる相対角度 θ の調整を行う構成としてもよい。

さらには回転角度テーブル 14 およびブレード回転角度 13 に応じた直線翼 2 の相対角度 θ の回転角度調整を行い、発電効率が最大となる相対角度 θ の回転角度テーブル 14 を更新する構成としてもよい。

【0175】

このように、相対角度 θ を自動的に学習調整することで、一層回転エネルギー変換効率および発電効率が高く、起動特性に優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを高精度かつ簡素な調整行程で実現することが可能となる。

【0176】

また、出力検査モードを有し、記憶された前回の発電効率または発電量などの出力特性または、回転角度テーブル 14 と新たに測定したそれぞれの結果を定期的に比較し、垂直型風力発電システム 15 または垂直型水力発電システムの発電状態を検証し把握するとともに、予め設定した出力特性の変化量を超えた場合は相対角度調整モードを実施する構成

10

20

30

40

50

とする。この出力検査モードを定期的を実施し、相対角度 8 のメンテナンスを行うことで、安価な構成で垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムの信頼性を大幅に向上させることが可能となる。

【0177】

尚、実施形態 1 では図 5 A ~ C において、複数の同心円状に直線翼 2 を配置し、いずれかまたはすべての直線翼 2 の相対角度 8 の角度調整を行うとしたが、強風時にいずれかあるいはすべての同心円上の直線翼 2 を回転トルクを低減するように相対角度 8 の角度調整を行う構成としてもよい。この構成により、発電機への負荷を減らすとともに、垂直型ブレード 1 の回転数増加による遠心力の増大を低減することが可能となり、信頼性と発電効率に優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

10

【0178】

(実施形態 2)

図 1 2 および図 1 3 を参照して実施の形態 2 に係る垂直型風力発電システムについて説明する。

図 1 2 A は垂直型風力発電システム 1 5 または垂直型水力発電システム 1 5 の上面図の模式図を示したものであり、図 1 2 B は垂直型風力発電システム 1 5 または垂直型水力発電システム 1 5 の側面図の模式図を示したものである。図 1 3 は垂直型風力発電システム 1 5 または垂直型水力発電システム 1 5 の上面図の模式図を示したものであり、直線翼 2 および垂直型ブレード 1 の回転方向を示している。

20

【0179】

図 1 2、図 1 3 に示すように、垂直型風力発電システム 1 5 または垂直型水力発電システム 1 5 は、複数の直線翼 2 から構成される垂直型ブレード 1 と、垂直型ブレード 1 (直線翼 2) を保持するアーム 3 と、アーム 3 と固定されアーム 3 の回転を支持するシャフトユニット 4 と、シャフトユニット 4 と連動し垂直型ブレード 1 の回転エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機 5 と、垂直型ブレード 1 とアーム 3 とシャフトユニット 4 を保持するフレーム 5 0 と、ベアリング等から構成されシャフトユニット 4 をフレーム 5 0 に回転軸支するシャフトユニット保持部 7 と、垂直型ブレード 1 に流入する空気または水の流速分布を付加する流速分布付加装置 5 2 と、流速分布付加装置 5 2 をフレーム 5 0 に固定する固定部 5 3 を備えた構成としている。

30

【0180】

垂直型ブレード 1 は 2 つ搭載され、互いに逆の回転方向をしている。逆向きの回転方向とすることで、X 方向および Y 方向へ発生する半径方向の力を互いにキャンセルすることが可能となり、フレーム 5 0 に発生する振動を大幅に低減することが可能となる。

【0181】

流速分布付加装置 5 2 は、複数の流速制御手段である流速制御板 5 7 から構成され垂直型ブレード 1 に流入する空気または水に流速分布をつけることで、垂直型ブレード 1 のブレード回転角度 1 3 において最も発電効率が高くなるブレード回転角度 1 3 あるいは、揚力および効力による接線方向への回転力が高いブレード回転角度 1 3、またはあらかじめ設定した角度範囲となるゾーンに流速を集中させることができ、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量の多い垂直型風力発電システム 1 5 または垂直型水力発電システム 1 5 を実現することが可能となる。

40

【0182】

また、負の回転トルクを発生するブレード回転角度 1 3 の流速を減少させるまたは流速をゼロとすることにより、負の回転トルクを低減し、接線方向の回転トルクを大幅に増加させ回転エネルギー変換効率および発電効率を大幅に向上させることが可能となる。

この時、流速分布付加装置 5 2 は、垂直型ブレード 1 の投影面積より大きな領域の流速を集めることになるため、一層発電効率を向上させることが可能となる。

【0183】

また、フレーム 5 0 は、天面 5 4、底面 5 5、仕切り部 5 1 より構成され、天面 5 4 お

50

よび底面 55 にそれぞれシャフトユニット保持部 7 を構成し、シャフトユニット 4 を精度よく回転状態に保持している。

【0184】

フレーム 50 の仕切り部 51 により、2 つの垂直型ブレード 1 の回転により発生する流れの干渉を大幅に低減することができ、発電効率の低下を防止することが可能となる。

【0185】

符号 56 は流速加速機構で、流路の幅を狭くすることで、垂直型ブレード 1 の流速を増加させる構成としている。この時、流速加速機構 56 は垂直型ブレード 1 の中心線より下流側に構成し、フレーム 50 の幅方向の小型化を図るとともに、効率の良い増速を実現している。また、符号 12 は基準角度、符号 13 はブレード回転角度、符号 8 は相対角度、符号 16 は風速または流速をそれぞれ示している。

10

【0186】

垂直型ブレード 1 は同心円状に配置された複数の直線翼 2 から構成され、アーム 3 により回転可能に保持される。シャフトユニット 4 はアーム 3 を固定し保持するとともにアームの回転を支持する。シャフトユニット 4 は前記垂直型ブレード 1 の回転エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機 5 の回転部分（ロータ、シャフトなど）と結合（または一体化）され連動し、垂直型ブレード 1 の回転エネルギーを電気エネルギーに変換する。

【0187】

この際、結合部 24（詳細は図示せず）を介してシャフトユニット 4 と発電機 5 の回転部分とを結合してもよく、結合部 24 はカップリング、ギヤ、増速機、減速機などのいずれかから構成されている。この時、結合部 24 の増速比または減速比により垂直型ブレード 1 の回転数 - 出力特性と、発電機 5 の回転数 - 出力特性をマッチングさせることが可能となる。

20

また、直線翼 2 はアーム 3 に回動手段 9（図示せず）により回転可能に保持されている。回動手段 9 の詳細は図 2（a）または（b）と同様の構成である。

【0188】

また、平面座標系 11（X 軸、Y 軸、Z 軸、原点 O）における基準角度 12（0 度）、垂直型ブレード 1 または直線翼 2 のブレード回転角度 13（ θ ）、垂直型ブレード 1 の直径となる翼直径 26、アーム 3 と直線翼 2 の取り付け部 27 および相対角度 8、風速 16 をそれぞれ示している。直線翼 2 はアーム 3 に対して取り付け部 27 の位置に相対角度 8 の取り付け角で回転可能状態にて保持されている。

30

【0189】

上記した構成により、前記垂直型ブレード 1 に流入する空気または水の流速エネルギーにおいて、垂直型ブレード 1 の発生する接線方向の回転力が最も高くなるブレード回転角度 13 の回転角度付近に水または空気の流速エネルギーを集中させることで、垂直型ブレード 1 のブレード回転角度 13 において最も発電効率が高くなるブレード回転角度 13 あるいは、揚力および効力による接線方向への回転力が高い前記ブレード回転角度 13 の回転角度付近に流速を集中させることができ、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量の多い垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。また、負の回転トルクを発生するブレード回転角度 13 の流速を減少させるまたは流速をゼロとすることにより、負の回転トルクを低減し、接線方向の回転トルクを大幅に増加させ回転エネルギー変換効率および発電効率を大幅に向上させることが可能となる。

40

【0190】

図 14 ~ 図 18 は、実施形態 2 における流速分布付加装置 52 による流速分布の付加およびピッチ角 39 の角度制御をそれぞれ行った場合の C_p 改善量と、流速分布の付加とピッチ角 39 の角度制御を同時に行った場合との効果を示した図である。

【0191】

それぞれの風速および周速比（回転数）で、 C_p （回転エネルギー変換効率）が最大となるピッチ角 39 の探索を行い、風速と周速比と C_p の関係の解析結果の関係の一例を示

50

した図であり、 C_p の大幅な向上効果をあらわしている。

【0192】

図14(a)において、垂直型ブレード1の上流側の受風面積を風向と直角方向に3等分し、3段階の風速分布を設定した場合の最適なピッチ角39の分布を探索した結果である。風速分布は、受風面を通過する運動エネルギー流量が一様流の場合と一致する設定とする。この時、運動エネルギー流量一定とする風速分布の設定は、以下の考えを基に設定している。

【0193】

図14(b)に示すように、高速域(基準風速12m/s)では、3段階の風速のうち中速 V_M を基準流速 $V_M = 12 \text{ m/s}$ 、高速 V_H を $V_H = 14 \text{ m/s}$ とした場合、低速 V_L は運動エネルギー流量一定の条件(数14)に、それぞれ V_H および V_M を代入し、数15に示す $V_L = 8.93 \text{ m/s}$ を得る。

10

【数14】

$$\frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} \rho V_L^3 + \frac{1}{2} \rho V_M^3 + \frac{1}{2} \rho V_H^3 \right) = \frac{1}{2} \rho \times V_M^3$$

【数15】

$$V_L = (3 \times 12^3 - 14^3 - 12^3)^{1/3} = 8.929490 \text{ m/s}$$

20

【0194】

また、中速域(基準風速6m/s)では、3段階の風速のうち中速 V_M を基準流速 $V_M = 6 \text{ m/s}$ 、高速 V_H を $V_H = 7 \text{ m/s}$ とした場合、低速 V_L は運動エネルギー流量一定の条件(数14)に、それぞれ V_H および V_M を代入し、数16に示す $V_L = 4.46 \text{ m/s}$ を得る。

【数16】

30

$$V_L = (3 \times 6^3 - 7^3 - 6^3)^{1/3} = 4.464745 \text{ m/s}$$

【0195】

同様に低速域(基準風速3m/s)では、3段階の風速のうち中速 V_M を基準流速 $V_M = 3 \text{ m/s}$ 、高速 V_H を $V_H = 3.5 \text{ m/s}$ とした場合、低速 V_L は運動エネルギー流量一定の条件(数14)に、それぞれ V_H および V_M を代入し、数17に示す $V_L = 2.23 \text{ m/s}$ を得る。

40

【数17】

$$V_L = (3 \times 3^3 - 3.5^3 - 3^3)^{1/3} = 2.232373 \text{ m/s}$$

【0196】

一方、 C_p を算出は上記数1~数13に示すいわゆる多流管のダブルアクチュエータ法にて行い、垂直型ブレード1の計算条件は、翼型データとして特定の対象翼の揚力係数及び抗力係数と迎角の関係を用い、風速は上記のデータを設定し、翼直径は4m、翼弦長2

50

9は30cm、直線翼2の長さは4m、直線翼2の枚数は3枚とし同心円は1重としている。

【0197】

C_pを最大とする最適なピッチ角39の探索は、図14(a)に示すx軸正の方向を基準としたブレード回転角度13()を10度刻みとして、一回転360度を36ゾーンに等分割し、順番に1~36ゾーンとしている。最適なピッチ角39の探索の一例を図15~17に示す。横軸はゾーン19(ブレード回転角度13が180度~190度)におけるピッチ角39(PITCH ANGLE)、縦軸はC_p(C_Pと表す)を示す。

【0198】

図15(a)は高速域(基準風速12m/s)における周速比3の条件の結果を、図15(b)は高速域(基準風速12m/s)における周速比0.5の条件の結果をそれぞれ示している。

10

【0199】

また、図16(a)は中速域(基準風速6m/s)における周速比3の条件の結果を、図16(b)は中速域(基準風速6m/s)における周速比0.5の条件の結果をそれぞれ示している。

【0200】

さらに、図17(a)は低速域(基準風速3m/s)における周速比3の条件の結果を、図17(b)は低速域(基準風速3m/s)における周速比0.5の条件の結果をそれぞれ示している。

20

【0201】

図15~図17では、条件1~条件4の4つの条件におけるC_Pの結果を示しており、条件1における固定ピッチ/風速分布無しに対する風速分布(流速分布)を付加した効果、ピッチ角39の調整の効果、風速分布を付加しさらにピッチ角39を調整した効果をそれぞれ示している。

【0202】

図15に示す高速域では、周速比3の時、固定ピッチ/風速分布無しに対して風速分布を付加した結果約20% C_Pが上昇し、一方ピッチ角39の調整の結果約10% C_Pが上昇し、風速分布を付加しさらにピッチ角39を調整した結果約30% C_Pが上昇している。

30

【0203】

また、周速比0.5の条件では、固定ピッチ/風速分布無しに対して風速分布を付加した結果ほぼ0から0.1程度へとC_Pが大幅に上昇し、ピッチ角39の調整の効果はあまりないことがわかる。

【0204】

同様に、図16に示す中速域では、周速比3の条件では、固定ピッチ/風速分布無しに対して風速分布を付加した結果約15% C_Pが上昇し、一方ピッチ角39の調整の結果約10% C_Pが上昇し、風速分布を付加しさらにピッチ角39を調整した結果約25% C_Pが上昇している。

40

【0205】

また、周速比0.5の条件では、固定ピッチ/風速分布無しに対して風速分布を付加した結果ほぼ0から0.1程度へとC_Pが大幅に上昇し、ピッチ角39の調整の効果がないことがわかる。

【0206】

同様に、図17に示す低速域では、周速比3の条件では、固定ピッチ/風速分布無しに対して風速分布を付加した結果約5% C_Pが上昇し、一方ピッチ角39の調整の結果約20% C_Pが上昇し、風速分布を付加しさらにピッチ角39を調整した結果約30% C_Pが上昇している。

【0207】

また、周速比0.5の条件では、固定ピッチ/風速分布無しに対して風速分布を付加し

50

た結果ほぼ0から0.08程度へとCPが大幅に上昇し、ピッチ角39の調整の効果は小さいことがわかる。

【0208】

以上のように、周速比が大きいときは、高速域および中速域の場合、ピッチ角39の調整および流速分布の付加は効果が大きく、低速域ではピッチ角39の調整の効果が大きい。

また、周速比が小さいときは、高速域、中速域、低速域ともにピッチ角39の調整の効果が大きい。

【0209】

このように、それぞれの風速、周速比においてCPの改善効果に差はあるが、流速分布の付加、ピッチ角39の角度調整、流速分布の付加とピッチ角39の調整はいずれも大きな効果があることがわかる。

10

【0210】

尚、この計算においては流速分布の付加とピッチ角の調整の効果を算出するために上記の計算方法で行ったが、実際の垂直型風力発電システム15または垂直型水力発電システム15における流速分布および圧力分布とは差が生じるため、CP改善効果には誤差を含むものとする。

【0211】

尚、この流速分布は圧力を一定とした前提のもと、運動エネルギー流量一定の条件を用いた計算により算出している。したがって、現実的には垂直型ブレード1と同等の受風面積の一樣流から、同一の流速分布を精度よく実現することは困難となる。

20

【0212】

しかしながら、上記のような流速分布を作成し、上記のようなCp改善効果を得るといふ方向性は問題ない。また、一樣流と流速分布の関係を、圧力分布や風車の回転や効率を考慮して、精度よく検証するには、CFDなどの熱流体解析を別途行うことが必要となる。

図18(a)および(b)は、図14(b)の高速域の回転トルクの発生量をさらに詳しく示した図である。

【0213】

図18(a)は条件1(風速分布無し)および条件2(風速分布有り)に対しての周速比とCpの関係を示し、図18(b)は図18(a)でもっともCPの差が大きな周速比3.5における周速比3.5における垂直型ブレード1が一回転する間の、ブレード回転角度13とトルク係数(torque coefficient)を示した図である。この条件では、ブレード回転角度13が180度付近で最も発生トルクが大きくなっていることがわかる。

30

【0214】

従って、垂直型ブレード1の発生する接線方向の回転力が最も高くなるブレード回転角度13の特定の領域に水または空気の流速エネルギーを集中させることで、垂直型ブレード1の発電効率が最も高くなるブレード回転角度13あるいは、揚力および効力による接線方向への回転力が高いブレード回転角度13の付近に流速を集中させることができ、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量の多い垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

40

【0215】

図18(b)の垂直型ブレード1の1回転あたり回転トルク出力特性より、90度~270度の間となり、180度がピークとなっている。従って、垂直型ブレード1の翼直径26に対して、流束(または流速)と直交する面内において、前記垂直型ブレード1の直径の30%~85%となる略中心部分の領域の流速または、前記ブレード回転角度13における110度から250度の領域の流速を上げ、それ以外の分割領域の流速を低下させる構成とすることで、Cpを大幅に向上させることが可能となる。

図19(a)および(b)は、図14(b)の低速域の発生トルク特性をさらに詳しく示した図である。

50

【0216】

図19(a)は条件1(風速分布無し)および条件2(風速分布有り)に対しての周速比と C_p (CP)の関係を示し、図19(b)は図19(a)で低周速比の領域となる周速比が0.5における垂直型ブレード1が一回転する間の、ブレード回転角度13とトルク係数を示した図である。この条件では、ブレード回転角度13が90度付近で発生トルクが負の回転トルクとなっており、この負の回転トルクが風速分布を付加することにより大きく低減していることがわかる。

【0217】

従って、特に低速域で低周速比の条件においては、垂直型ブレード1の発生する回転トルクを抑制する負の回転トルクを、ブレード回転角度13の特定の領域に水または空気の流速エネルギーを集中させることで、大幅に低減することが可能となり、起動特性に優れた垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムを実現することが可能となる。

10

【0218】

尚、実施形態2では流速分布付加装置52は、垂直型ブレード1への空気または水の流入面において、水平方向(Y方向)に3つ以上の分割領域を想定した長方形断面において、略中心部分の分割領域の流速を上げ、それ以外の分割領域の流速を低下させた構成としてもよいし、最も発生トルクが高いブレード回転角度13のゾーン付近に、流速分布を構成としてもよい。

【0219】

尚、実施形態2では、垂直型ブレード1は2重の同心円構成としたが、1重でもよいし、3重でもよい。また、相対角度8の回転調整は特定の同心円上の直線翼2のみ行ってもよいし、相対角度8の角度調整をすべての直線翼2で行わない構成でもよい。

20

【0220】

さらに、流速分布付加装置52は、垂直型ブレード1の投影面積より大きな領域の流速を集めることとしたが、垂直型ブレード1と同程度の投影面積の領域の流速を集める構成でもよいし、スライドさせて流速を集める領域を調整できる構成でもよいし、流速分布付加装置52の取り付け角度を可変とする構成でもよい。

【0221】

尚、実施形態2では、流速分布付加装置52はフレーム50に対して回動またはスライド可能な状態で固定され、流速、流量に応じて流速分布のパターンを可変とする構成としてもよいし、垂直型ブレード1に流入する上流側の流体の投影面積を調整できる構成としてもよい。

30

この構成により、比較的簡単な構成で様々な流速分布を形成することができることに加え短時間に高精度な流速分布を形成することが可能となるため、簡素かつ安価で高精度な流速分布付加装置52を実現でき、設備コストの低減をはかるとともに、回転エネルギー変換効率および発電効率に優れ、発電量が多く投資回収効率の高い垂直型風力発電システム15または垂直型水力発電システム15を実現することが可能となる。

尚、実施形態2では仕切り部51を設けたが、流束の干渉により発電効率が低下することを考慮して、仕切り部51を無くする構成でもよい。

【0222】

また、フレーム50の、天面54、底面55、仕切り部51などの構成面は、軽量化および流速抵抗を減らすため、図12に示すような板でもよいし、枠だけの中空やシャフトユニット保持部7などの中心部を部分的に残しそれ以外はくりぬいた構成でもよいし、側壁は中心部だけくりぬいた構成でもよい。この場合、フレームの内部を流束が流れるため、流束(流速)の抵抗は大きく低減されるし、大幅な軽量化も可能となる。

40

さらに、流速加速機構56は、サイズ、コストの観点より無くする構成でもよい。

【0223】

尚、実施形態2では、流速分布付加装置52は固定部53を介しフレーム50に固定する構成としたが、垂直型ブレード1およびフレーム50とは別体で構成し、垂直型ブレード1または垂直型風力発電システムまたは垂直型水力発電システムの上流側に配置する構

50

成としてもよい。

また、実施形態 2 では垂直型ブレード 1 は 2 機搭載する構成としたが、振動抑制機能は低下するが、垂直型ブレード 1 を 1 機のみ搭載する構成でも問題ない。

【0224】

さらに、流速分布付加装置 5 2 の構成要素となる板状の流速制御部 5 7 は、板状ではない形状でもよいことは言うまでもなく、流速分布を付加する機能があればよく、流速制御部 5 7 としてもよい。

【0225】

また、流速分布付加装置 5 2 の構成要素となる板状の流速制御部 5 7 または流速制御部 5 7 は、斜め状の構成要素ではなく、図 1 2 C および D に示すように、開門式の構成でもよい。

10

【0226】

図 1 2 C および図 1 2 D は、河川および水路に流速分布付加装置 5 2 と、垂直型水力発電システム 1 5 を構成した図であり、垂直型水力発電システム 1 5 の垂直型ブレード 1 およびフレーム 5 0 と流速分布付加装置 5 2 とは別体としている。

【0227】

図 1 2 C において、流速分布付加装置 5 2 はボルトあるいは基礎工事などで垂直型ブレード 1 の上流側に固定され、流速分布付加装置 5 2 には固定部 5 3 を介して流速制御部 5 7 が構成されている。流速制御部 5 7 の開口サイズ 5 8 は垂直型ブレード 1 の直径 D (直直径 2 6) の 30% ~ 85% またはブレード回転角度 1 3 の 120 度 ~ 250 度の任意の値とし、その流入方向と直交する方向の開口位置 5 9 は垂直型ブレード 1 の回転中心にこだわらず、前記垂直型ブレード 1 の回転中心に対して開口位置 5 9 の中心位置のずれは前記翼直径 2 6 の 0% から $\pm 30\%$ の範囲内で設定値は翼直径 2 6、周速比、流速、ソリディティ、ピッチ角度 3 9 に応じて任意とする。

20

【0228】

この時、この開口サイズ 5 8 の範囲はブレード回転角度 1 3 の 1 回転におけるトルク係数または発生トルクの最大値の範囲があらかじめ定められた値 (スレッシュホールド) より大きな値とすることで決定する。また、開口位置 5 9 は、垂直型ブレード 1 の回転中心と開口サイズ 5 8 の中心との Y 方向の距離と定義する。

【0229】

さらに開口部の開口サイズ 5 8 および開口位置 5 9 は、垂直型ブレード 1 の構成、流速、周速比の条件下における垂直型ブレード 1 のブレード回転角度 1 3 に対する発生トルクの関係より、 C_p が最大となる開口サイズ 5 8 および開口位置 5 9 を演算して決定することとなる。

30

【0230】

尚、この時、流速制御部 5 7 は流速および周速比によりリアルタイムで開口サイズ 5 8 をおよび開口位置 5 9 を調整する構成でもよいし、固定部 5 3 により完全に流速分布付加装置 5 2 に流速制御部 5 7 が固定されている構成でもよい。

【0231】

垂直型ブレード 1 に流入する流体 (水) の流速分布は開口部の開口サイズ 5 8 および開口位置 5 9 により決定されるが、開口部を外れた Y 方向位置での流速は大きく低下する構成でもよいし、比較的流速差が緩和される構成でもよい。

40

【0232】

流速制御部 5 7 が短く、開口部と垂直型ブレード 1 の流れ方向の距離が近づいている場合は、垂直型ブレード 1 に流入する開口部の領域と開口部以外の領域での Y 方向位置で流速分布の差は比較的大きいが、流速制御部 5 7 が比較的長く、開口部と垂直型ブレード 1 の流れ方向の距離が離れている場合は、垂直型ブレード 1 に流入する開口部の領域と開口部以外の領域での Y 方向位置での流速分布の差は比較的小さくなる。また、流速制御部 5 7 を流れの方向に対して斜めに配置することで、流れの乱れ (乱流度合い) が小さくなり、渦も発生しにくくなるため、比較的乱れの少ない位相の揃った流速が垂直型ブレード 1

50

に流入するため、斜めの構成となる流速制御部 5 7 の構成は発電効率を維持するために大きな構成要素となる。

尚、実施形態 2 における流速分布付加装置 5 2 と、フレーム 5 0 および垂直型ブレード 1 とは一体でも良いし別体でもよい。

【0233】

また、流速制御部 5 7 は流速方向に対して斜めの構成でも良いし、平行でもよいし、発電効率は下がるが、コスト低減効果があるため無くして単なる開口部としてもよい。

【0234】

尚、図 1 2 C における垂直型水力発電システム 1 5 の水路または河川への固定は、コンクリートなどへのボルト固定でもよいし、基礎工事などを行い、金属部品などで固定する方法でもよい。

【0235】

図 1 2 D は、河川および水路に流速分布付加装置 5 2 と、垂直型水力発電システム 1 5 を構成した図である。図 1 2 C との違いは、流速制御部 5 7 を斜めの角度を有した案内板ではなく、流速と略直交する面に構成された流速制御部 5 7 を上下に移動させて、開口部を形成する構成としている。この時、流速制御部 5 7 の上下方向への移動は、流速および周速比に応じてリアルタイムで開口サイズ 5 8 をおよび開口位置 5 9 を調整する構成でもよいし、固定式でも良い。固定方法としてはネジ式で移動させてもよいし、ボルトまたはピンなどのとめ具で固定してもよい。

【0236】

また、開口部の開口サイズ 5 8 および開口位置 5 9 が固定なら、流速制御部 5 7 はなくして、単に流速分布付加装置 5 2 に開口部（穴）があいているだけでもよい。

尚、図 1 2 D において、開口部は連続して構成されているが、一定の距離を離して、開口部を形成してもよい。

【0237】

（実施形態 3）

図 2 0 (a)、(b) を参照して実施の形態 3 に係る垂直型風力発電システムについて説明する。実施形態 1 および 2 との差は、風向検出手段 1 9 を用い、垂直型ブレード 1 9 に流入する風の平面座標系 1 1 の回転中心 O を中心とした基準角度 1 2 に対する風向 2 8 (角度) を検出する構成とする。また、流速分布付加装置 5 2 を垂直型ブレード 1 の 4 隅に配置するとともに、固定部 5 3 の下部に回動手段 9 を設置し流速分布付加装置 5 2 を回動可能な状態で保持し、風向 2 8 に応じて流速分布付加装置 5 2 を回動させ、あらゆる風向（または流れの向き）に応じて常に C_p を最大にする構成としたことである。

【0238】

この構成により、あらゆる風向、流れの向き、潮の流れの向きに応じて、常に最大の C_p を維持することができ、発電効率に優れた垂直型風力発電システム 1 5、垂直型水力発電システム 1 5、または洋上風力発電における海中に配した垂直型水力発電システム 1 5 を実現できる。

【0239】

尚、実施形態 3 において垂直型ブレード 1 への空気または水の流速を検出する流速検出手段 1 7 と流入角度を検出する風向検出手段 1 9 と回動手段 9 とを用い、流速分布付加装置 5 2 は、複数配置され、空気または水の流速および垂直型ブレード 1 への風向 2 8 (流入角度) に応じて流速分布のパターンを可変とする構成としてもよい。

【0240】

また、実施の形態 1 ~ 3 では主に垂直型風力発電システムを本発明の適応範囲としたが、水力発電システムへ適応しても問題ないし洋上の風力発電システムまたは潮力発電システムに適応してもよい。この場合、翼素運動量理論を用いた回転角度テーブル 1 4 の演算において、流体が空気から水に変わることにより密度、粘性係数および翼型特性（揚力、抗力）の情報を変更することになる。

【0241】

10

20

30

40

50

(実施形態4)

図21A、図21B、図21C、図21Dおよび図22を参照して実施形態4に係わる垂直型水力発電システム15について説明する。

実施形態1～3との違いは、ピッチ角度39の角度制御を行った場合において、中周速比および高周速比における開口位置59と、低周速比における開口位置59が大きく異なるという点である。

【0242】

図21Aは、流速方向に対して直交する断面において、流速分布を3つの長方形断面に分割した状態を示している。数14の運動エネルギー流量一定の条件より算出した流速分布を示しており、CASE2は中心部分が最大流速の3.5m/sとなり、それぞれ両側に3m/sと2.23m/sの流速分布を形成している。この場合、Y軸方向の中心(垂直型ブレード1の回転中心)と流速分布の最大値のY軸方向の中心はほぼ一致している。

10

【0243】

一方CASE3は、図中において、図の下側(ブレード回転角度13が200度から340度付近)の領域の流速を最大流速と設定し、中心付近の領域を3m/s、上側を2.23m/sとそれぞれ設定している。

【0244】

図21B、図21Cは、図21Aの流速分布を用い、Cpと周速比の関係を示した図で、条件3、条件4および条件5は条件1および条件2に対してCpの改善効果は大きい。これはピッチ角39の角度調整の効果が大きいといえる。

20

【0245】

また、条件3、条件4および条件5のCp改善効果に有意差が無い。条件4(CASE2)および条件5(CASE3)のCp改善効果に有意差があまりないという結果になっている。

【0246】

これは図21Dに示すように、トルク係数(発生トルク)を縦軸に取り、ブレード回転角度13を横軸にしたとき条件3ではブレード回転角度13が150度付近から240度にかけてトルク係数が大きく増加する。したがってその角度領域の流速をあげれば、条件4および条件5以上にトルク係数が増加することが容易に推察される。

【0247】

条件4および条件5は、200度付近で最大流速が入れ替わっているため、その効果が低下しているが150度付近から240度付近の風速を上げることで、条件3に対してさらに流速分布を付加した効果が発揮できCpが増加することとなる。

30

【0248】

この時、条件3で最大トルクを発生するブレード回転角度13は約200度付近となっており、その最大トルクを発生するブレード回転角度は180度から大きくずれることとなる。従って、開口位置59は周速比により大きく変化し、周速比が1以下の領域では、150度付近から240度付近の流速をあげることが重要となる。

【0249】

図22は、実施形態4における水力発電システム15の構成例を示したもので、図12Cにおける開口位置59を大きくY軸のマイナス側にずらし、ブレード回転角度13の200度付近に開口サイズ58の中心を配置し、ブレード回転角度13の150度～240度付近の流速を上げる構成としている。

40

この構成により、低周速比および低流速の条件下において、垂直型水力発電システム15の発電効率を大幅に向上させることが可能となる。

【0250】

上記説明から、当業者にとって、本発明の多くの改良や他の実施形態が明らかである。

従って、上記説明は、例示としてのみ解釈されるべきであり、本発明を実行する最良の態様を当業者に教示する目的で提供されたものである。本発明の精神を逸脱することなく、その構造および/または機能の詳細を実質的に変更できる。

50

【産業上の利用可能性】

【0251】

本発明は、従来に比べ、最適かつ緻密な垂直翼の相対角度の回転角制御を行うことにより発電効率に優れ、信頼性に優れた垂直型風力発電システムまたは水力発電システムを実現する。よって、本発明は、例えば、垂直型風力発電システムや垂直型水力発電システムに利用できる。

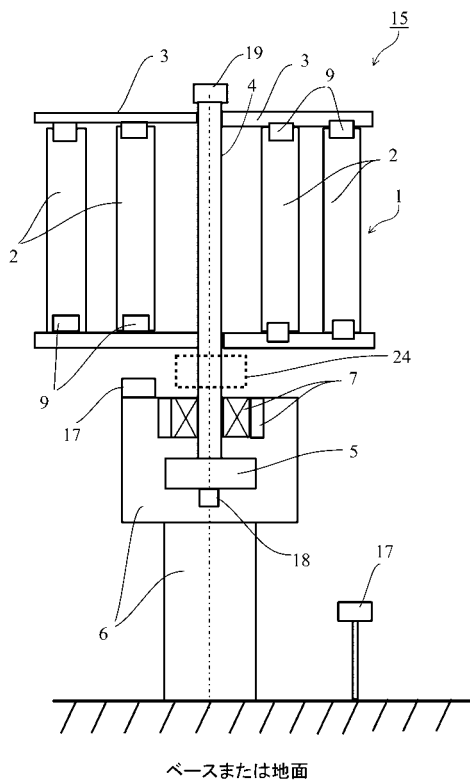
【符号の説明】

【0252】

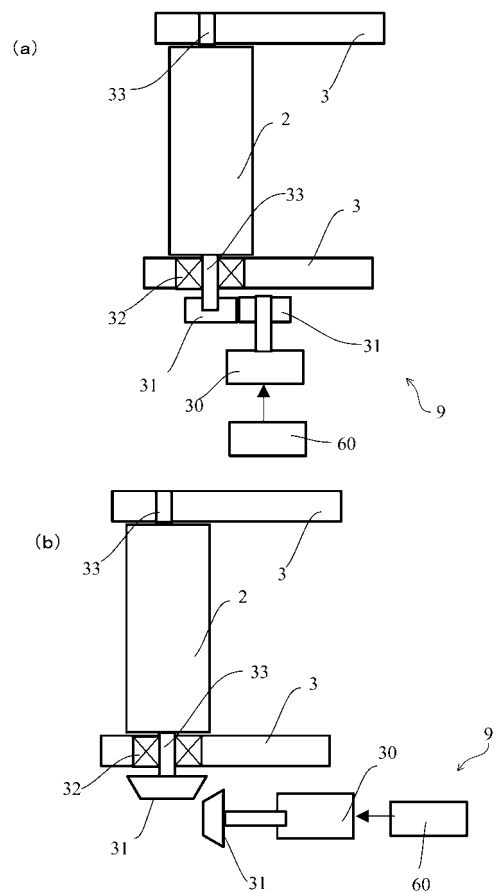
1	垂直型ブレード	
2	直線翼	10
3	アーム	
4	シャフトユニット	
5	発電機	
6	ポール	
7	シャフトユニット保持部	
8	相対角度	
9	回動手段	
10	回転角制御装置	
11	平面座標系	
12	基準角度	20
13	ブレード回転角度	
14	回転角度テーブル	
15	垂直型風力発電システム（水力発電システム）	
16	風速	
17	風速検出手段	
18	回転数検出手段	
19	風向検出手段	
20	回転トルク	
21	回転抑止トルク可変手段	
22	発電機コントローラ（回転数制御手段）	30
23	パワーコントローラ	
24	結合部	
25	翼弦	
26	翼直径	
27	取付け部	
28	風向	
29	翼弦長	
30	駆動源	
31	動力伝達部	
32	軸支部	40
33	回動軸部	
34	翼長	
35	周速	
36	向周速	
37	相対風速	
38	迎角	
39	ピッチ角度	
40	揚力	
41	抗力	
42	揚力による回転トルク	50

- 4 3 抗力による回転トルク
- 5 0 フレーム
- 5 1 仕切り部
- 5 2 流速分布付加装置
- 5 3 固定部
- 5 4 天面
- 5 5 底面
- 5 6 流速加速機構
- 5 7 流速制御部 (流速制御板)
- 5 8 開口サイズ
- 5 9 開口位置
- 6 0 電力源

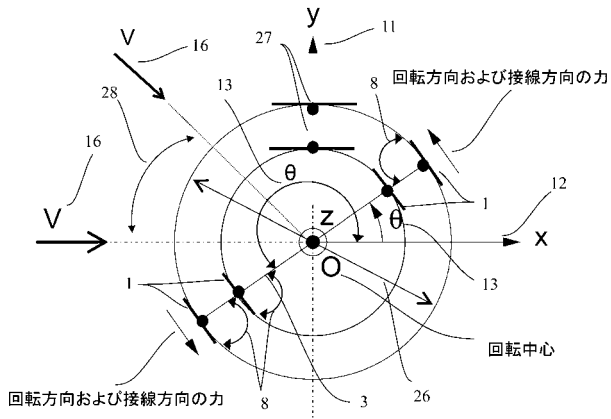
【 図 1 】



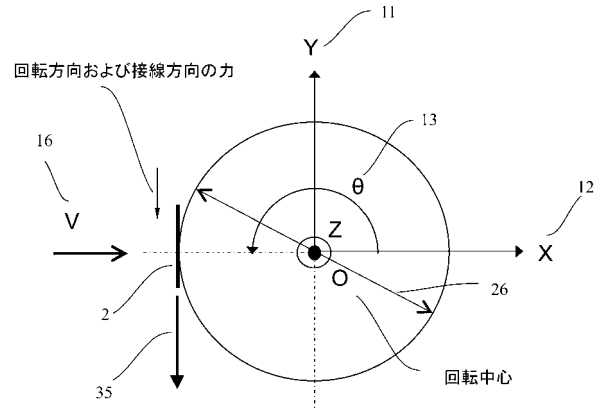
【 図 2 】



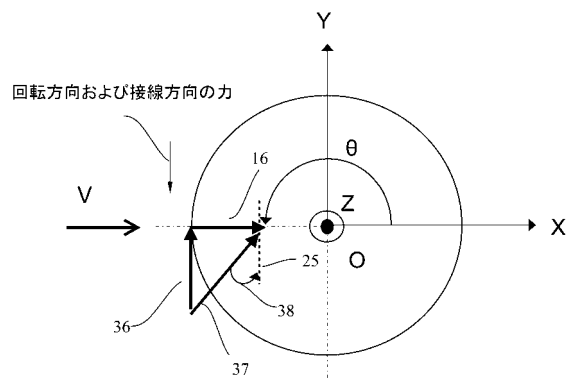
【図3A】



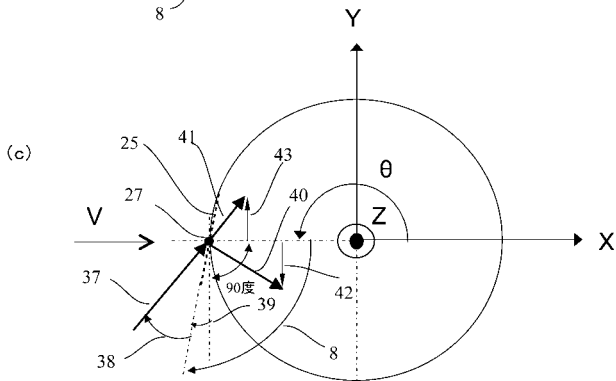
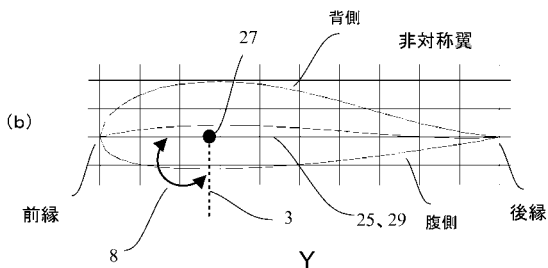
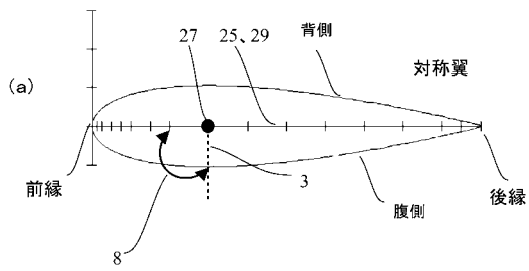
【図3B】



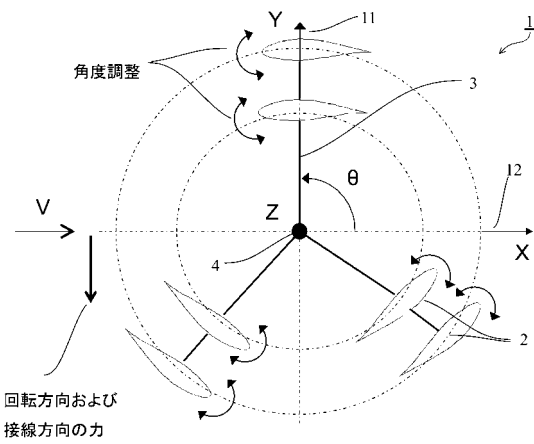
【図3C】



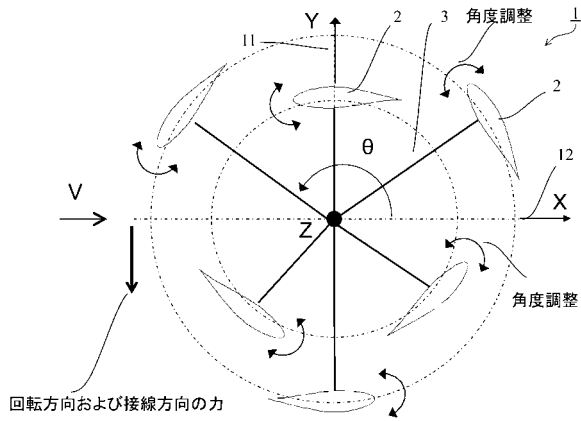
【図4】



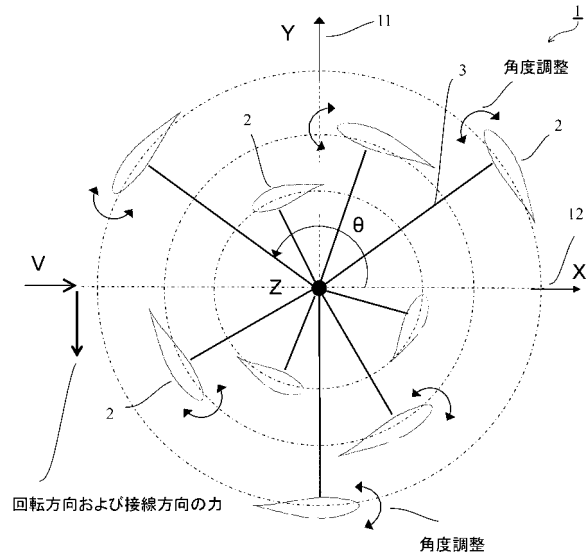
【図5A】



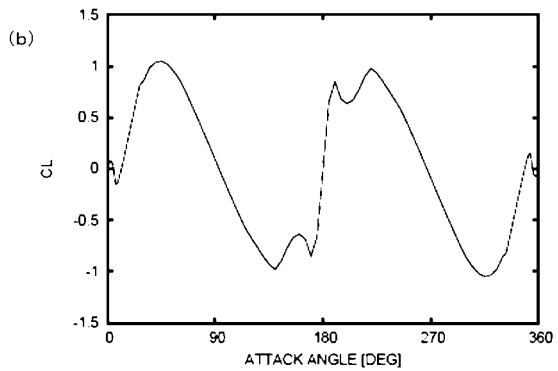
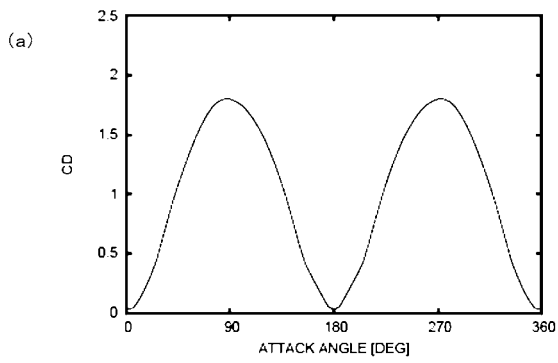
【図5B】



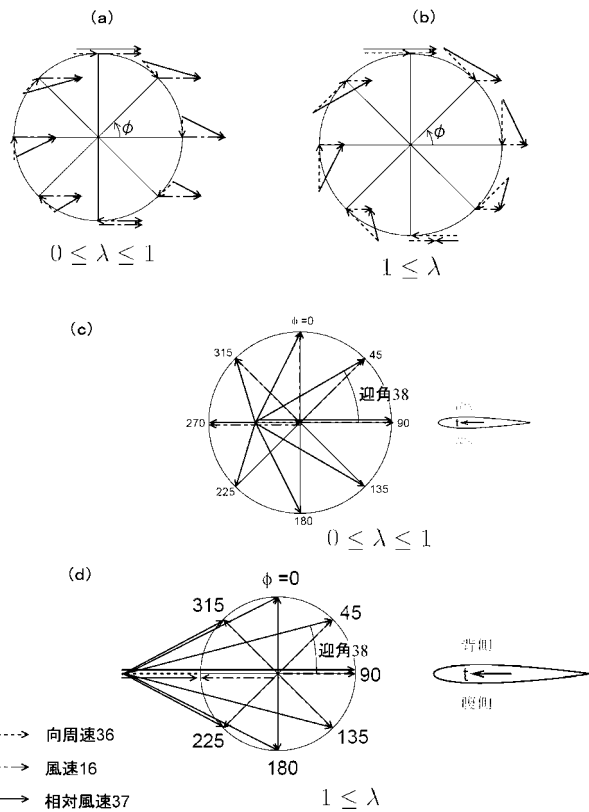
【図5C】



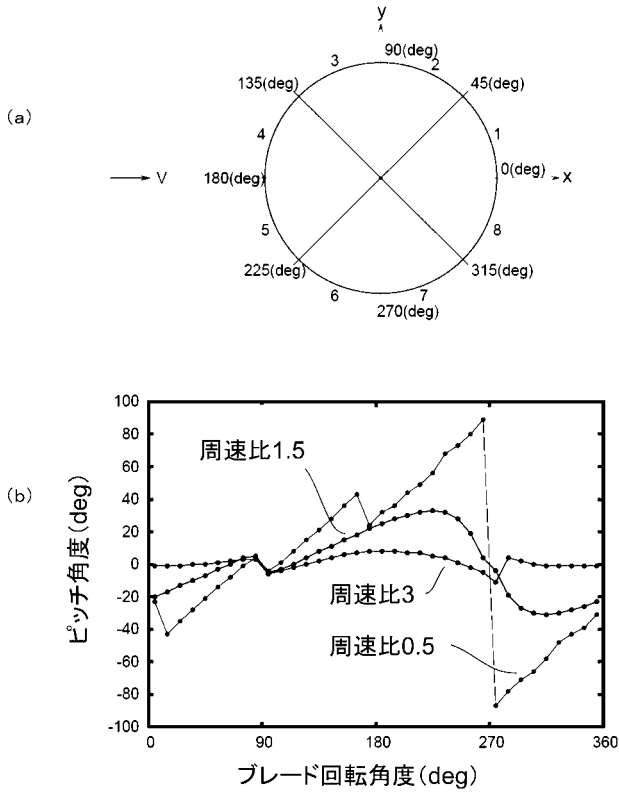
【図6】



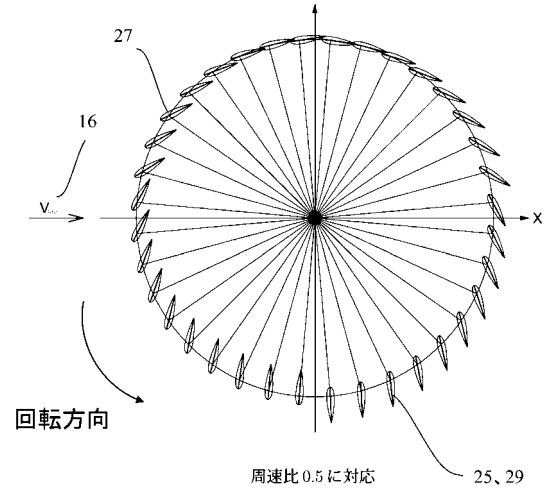
【図7】



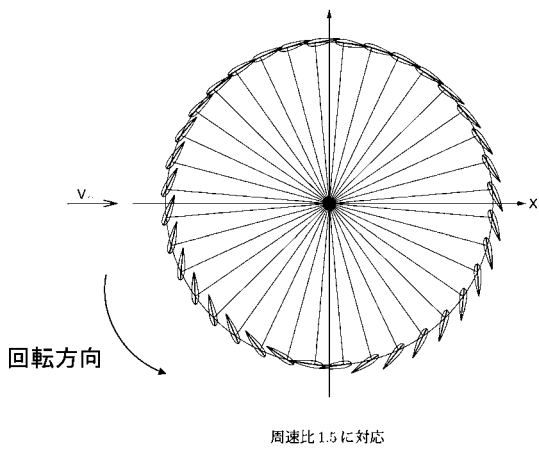
【 図 8 】



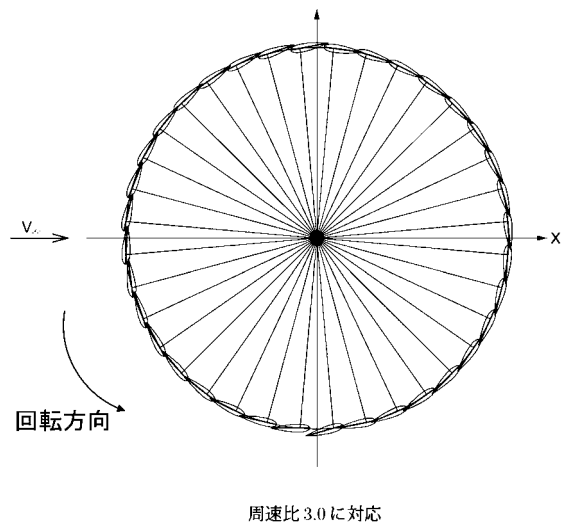
【 図 9 A 】



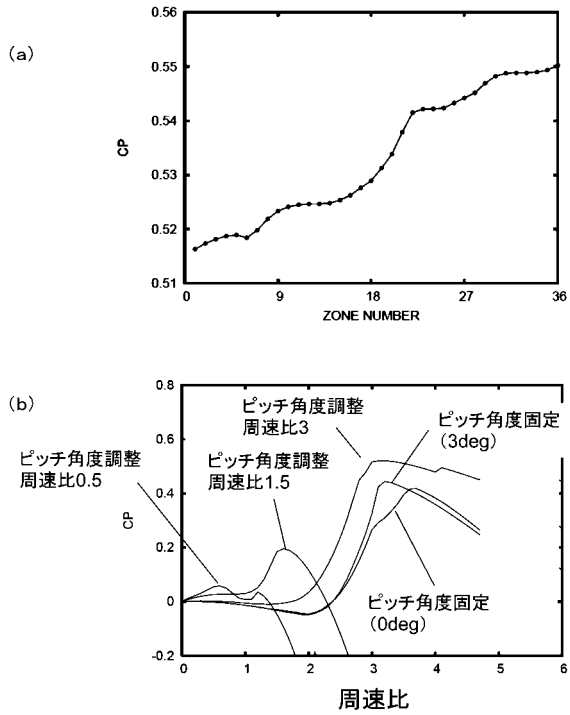
【 図 9 B 】



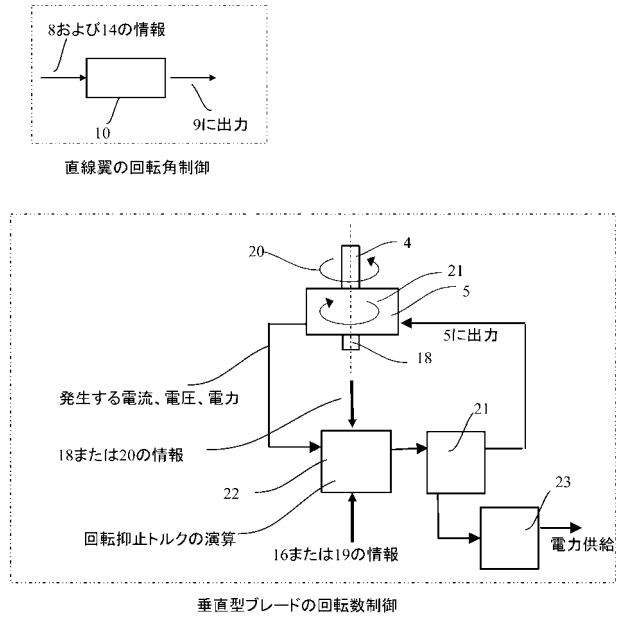
【 図 9 C 】



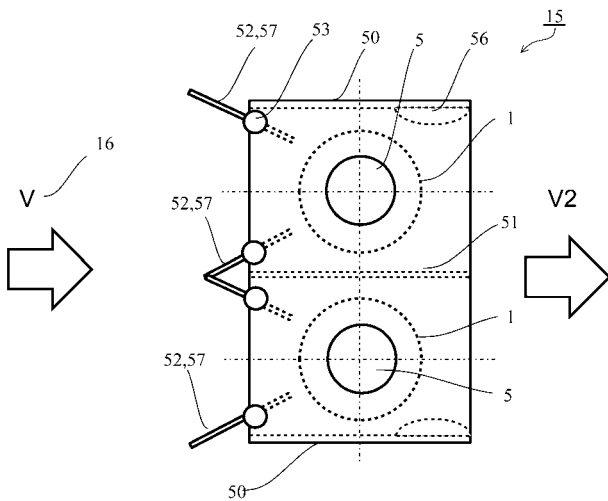
【図10】



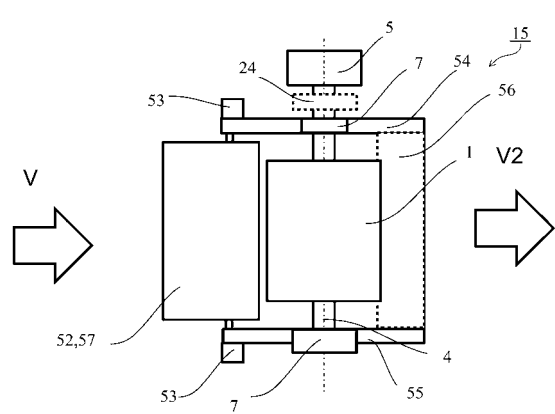
【図11】



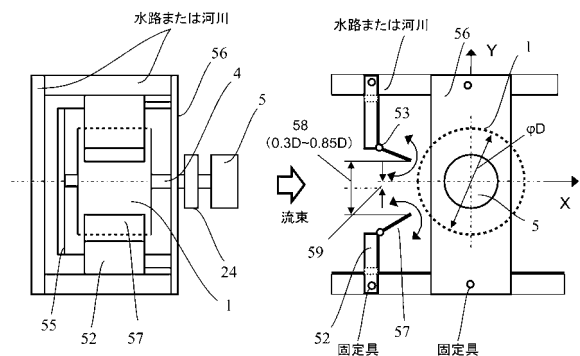
【図12A】



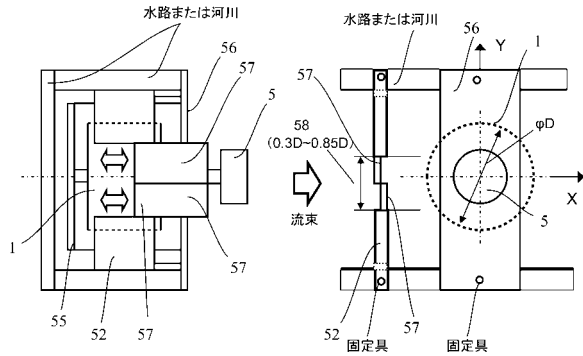
【図12B】



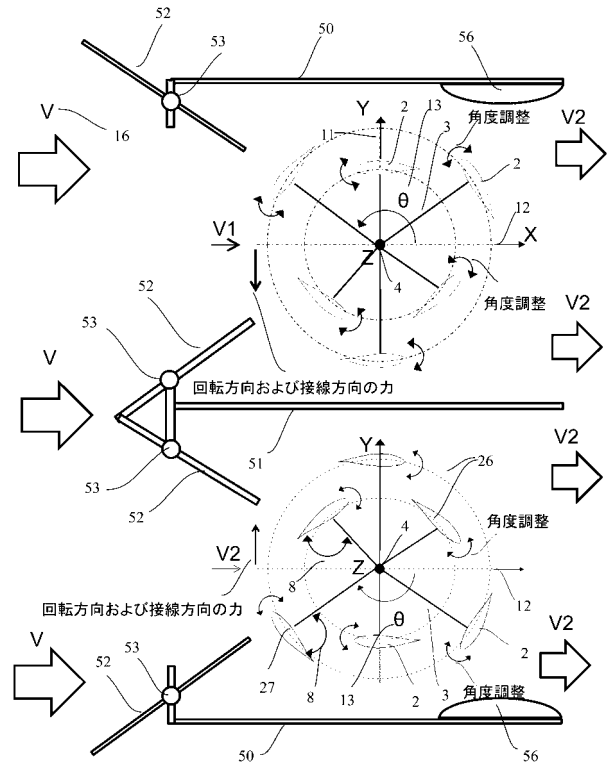
【図12C】



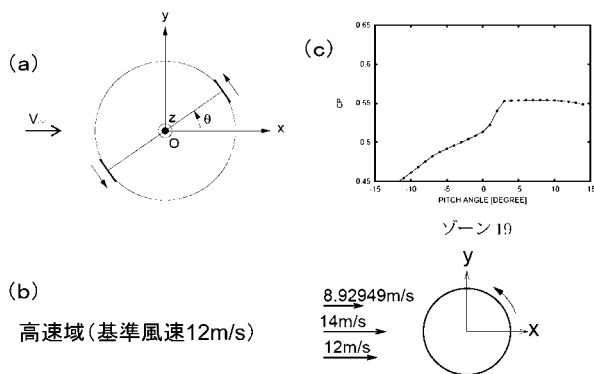
【図 1 2 D】



【図 1 3】

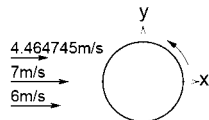


【図 1 4】



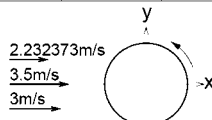
受風面 (上1/3)	受風面 (中1/3)	受風面 (下1/3)
風速 低 = 8.929490m/s	高 = 14m/s	中 = 12m/s

中速域 (基準風速6m/s)



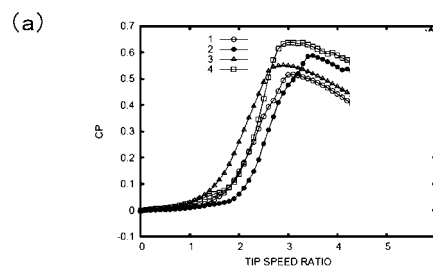
受風面 (上1/3)	受風面 (中1/3)	受風面 (下1/3)
風速 低 = 4.464745m/s	高 = 7m/s	中 = 6m/s

低速域 (基準風速3m/s)



受風面 (上1/3)	受風面 (中1/3)	受風面 (下1/3)
風速 低 = 2.232373m/s	高 = 3.5m/s	中 = 3m/s

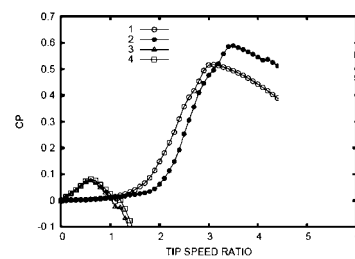
【図 1 5】



高速域 (基準風速12m/s、周速比3)

(1= 固定ピッチ 風速分布無し、 2= 固定ピッチ 風速分布有り
3= 最適ピッチ 風速分布無し、 4= 最適ピッチ 風速分布有り)

(b)

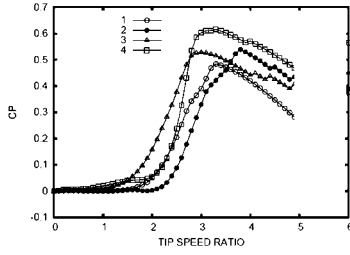


高速域 (基準風速12m/s、周速比0.5)

(1= 固定ピッチ 風速分布無し、 2= 固定ピッチ 風速分布有り
3= 最適ピッチ 風速分布無し、 4= 最適ピッチ 風速分布有り)

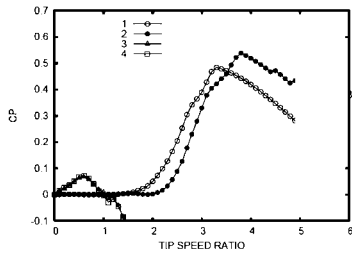
【 図 1 6 】

(a)



中速域 (基準風速 6m/s、周速比 3)
 (1= 固定ピッチ 風速分布無し、 : 2= 固定ピッチ 風速分布有り
 3= 最適ピッチ 風速分布無し、 : 4= 最適ピッチ 風速分布有り)

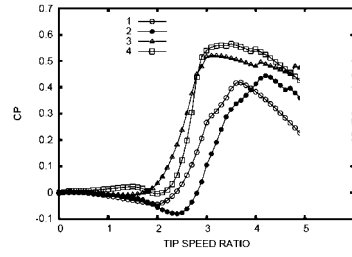
(b)



中速域 (基準風速 6m/s、周速比 0.5)
 (1= 固定ピッチ 風速分布無し、 : 2= 固定ピッチ 風速分布有り
 3= 最適ピッチ 風速分布無し、 : 4= 最適ピッチ 風速分布有り)

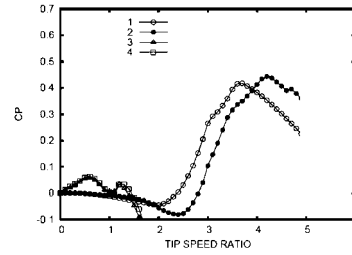
【 図 1 7 】

(a)



低速域 (基準風速 3m/s、周速比 3)
 (1= 固定ピッチ 風速分布無し、 : 2= 固定ピッチ 風速分布有り
 3= 最適ピッチ 風速分布無し、 : 4= 最適ピッチ 風速分布有り)

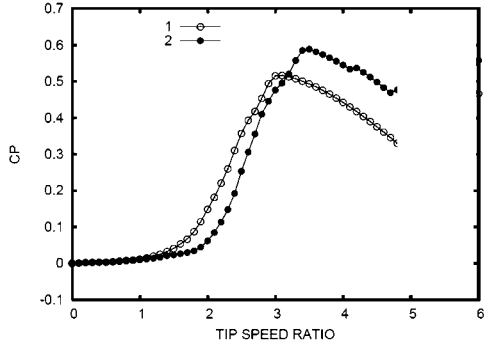
(b)



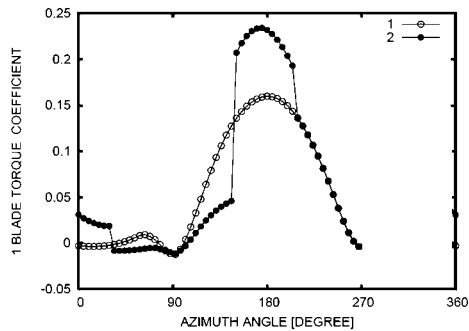
低速域 (基準風速 3m/s、周速比 0.5)
 (1= 固定ピッチ 風速分布無し、 : 2= 固定ピッチ 風速分布有り
 3= 最適ピッチ 風速分布無し、 : 4= 最適ピッチ 風速分布有り)

【 図 1 8 】

(a)

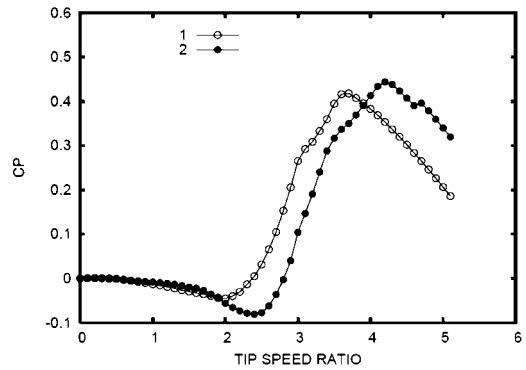


(b)

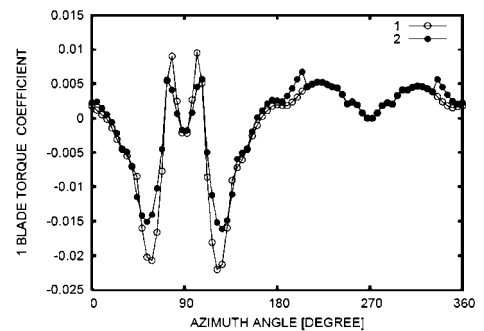


【 図 1 9 】

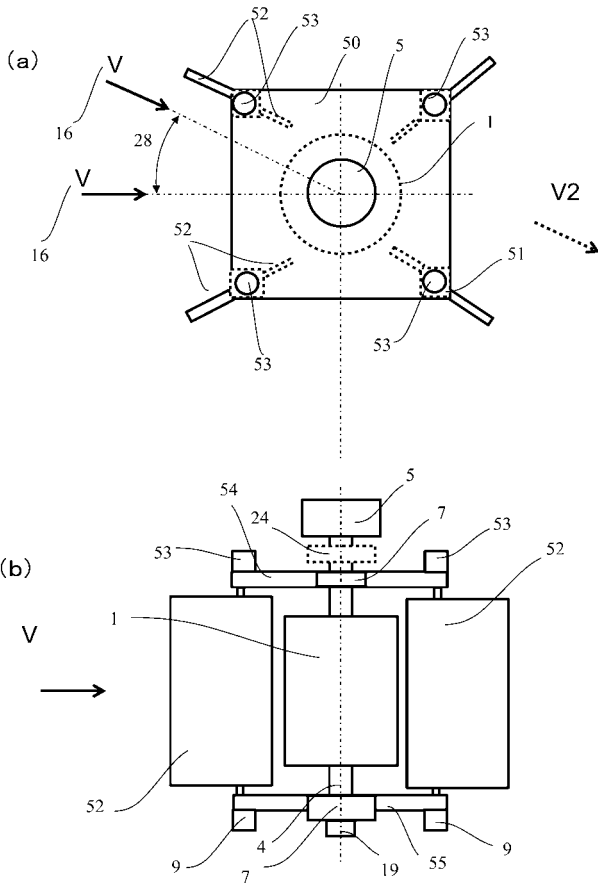
(a)



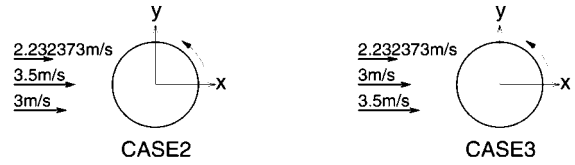
(b)



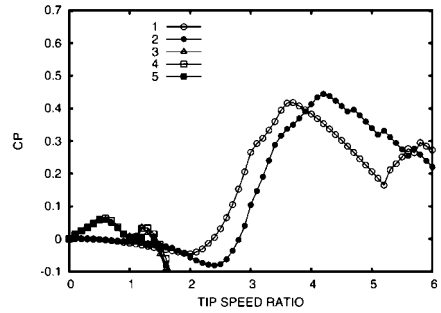
【図20】



【図21A】



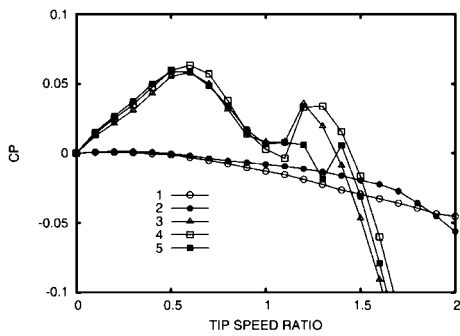
【図21B】



パワー係数と周速比の関係

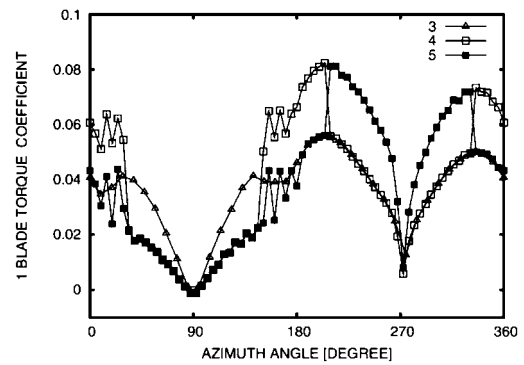
- 1=固定ピッチ(一様流)
- 2=固定ピッチ(図1風速分布)
- 3=最適ピッチ(一様流)(CASE1)
- 4=最適ピッチ(図1風速分布)(CASE2)
- 5=最適ピッチ(図2風速分布)(CASE3)

【図21C】



パワー係数と周速比の関係(低周速比部拡大図)

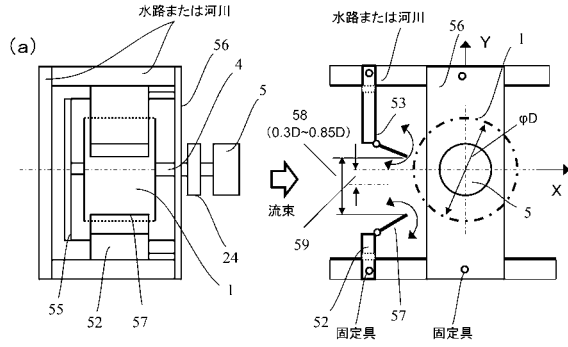
【図21D】



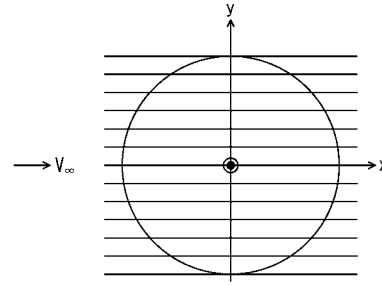
風車回転角とブレード1枚トルクの関係

- 3=最適ピッチ(一様流)(CASE1)
- 4=最適ピッチ(図1風速分布)(CASE2)
- 5=最適ピッチ(図2風速分布)(CASE3)

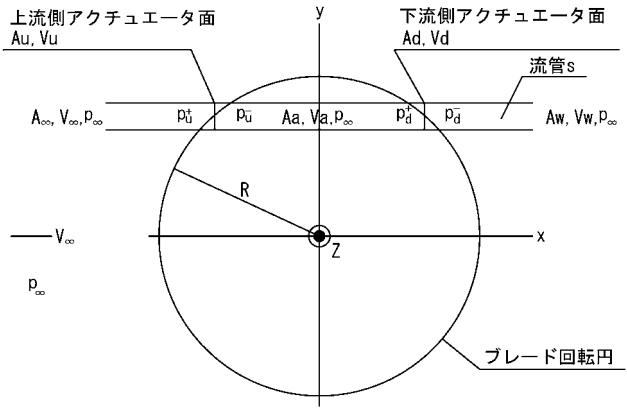
【図 2 2】



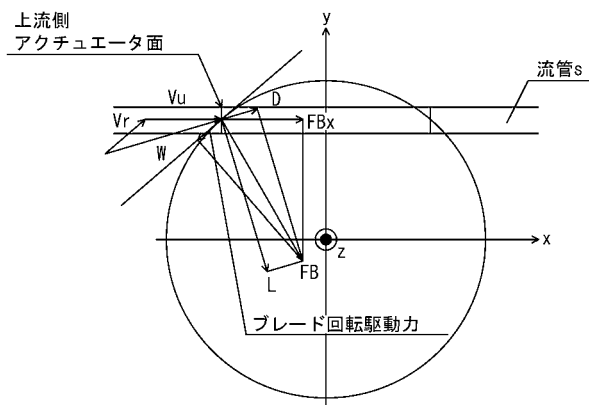
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



【手続補正書】

【提出日】平成28年11月14日(2016.11.14)

【手続補正1】

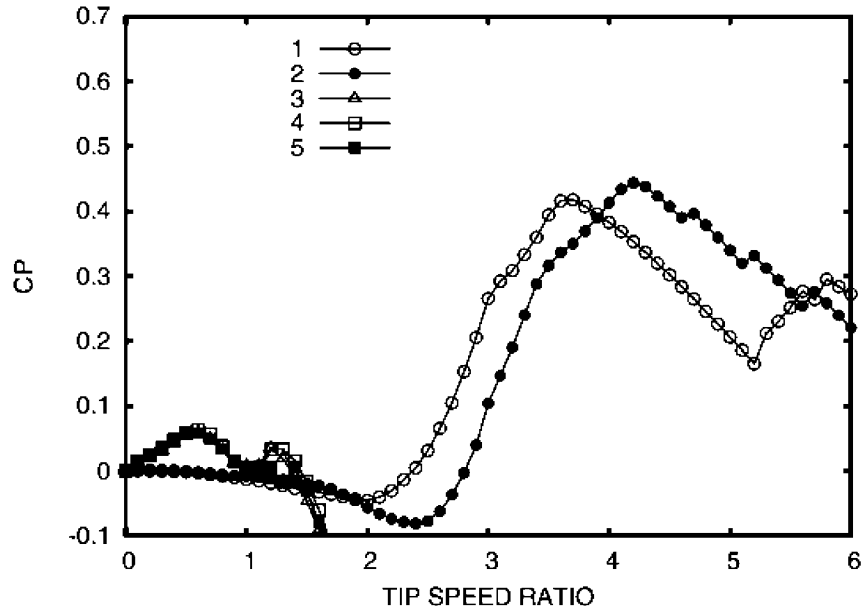
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図2 1 B

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図2 1 B】



パワー係数と周速比の関係

1= 固定ピッチ (一様流)

2= 固定ピッチ (図1 風速分布)

3= 最適ピッチ (一様流)(CASE1)

4= 最適ピッチ (図1 風速分布)(CASE2)

5= 最適ピッチ (図2 風速分布)(CASE3)

【手続補正2】

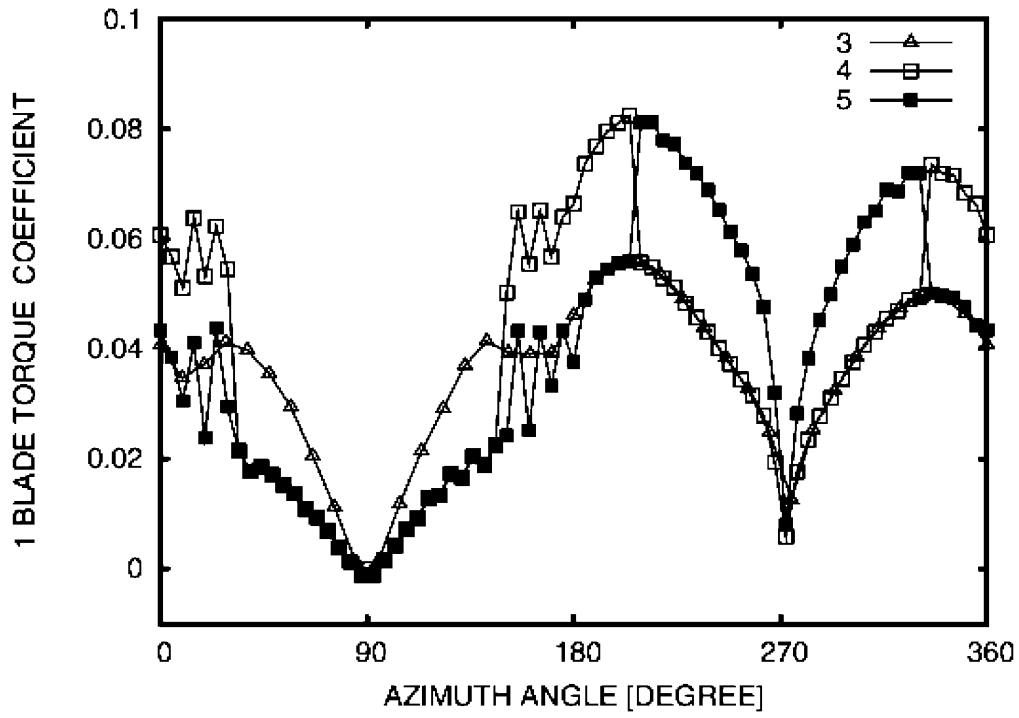
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図2 1 D

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 図 2 1 D 】



風車回転角とブレード 1 枚トルクの関係

3= 最適ピッチ (一様流)(CASE1)

4= 最適ピッチ (図 1 風速分布)(CASE2)

5= 最適ピッチ (図 2 風速分布)(CASE3)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード(参考)
F 0 3 B	7/00	(2006.01)	F 0 3 B	7/00		
F 0 3 B	15/04	(2006.01)	F 0 3 B	15/04	K	

Fターム(参考) 3H178 AA16 AA22 AA24 AA43 AA53 AA56 BB02 BB08 BB09 BB10
BB31 BB46 CC03 CC05 CC14 DD03Z DD04Z DD08Z DD12Z DD27X
DD30X DD34X DD52X DD54X EE02 EE05 EE13 EE23 EE25