

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5837323号
(P5837323)

(45) 発行日 平成27年12月24日 (2015. 12. 24)

(24) 登録日 平成27年11月13日 (2015. 11. 13)

(51) Int. Cl. F I
FO3D 11/00 (2006.01) FO3D 11/00 A

請求項の数 8 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2011-94854 (P2011-94854) (22) 出願日 平成23年4月21日 (2011. 4. 21) (65) 公開番号 特開2012-225296 (P2012-225296A) (43) 公開日 平成24年11月15日 (2012. 11. 15) 審査請求日 平成26年1月15日 (2014. 1. 15)</p> <p>(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成22年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「省エネルギー革新技术開発事業/先導研究/動的流れ場に対するプラズマ気流制御最適化の研究開発」業務委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号</p> <p>(74) 代理人 100117787 弁理士 勝沼 宏仁</p> <p>(74) 代理人 100091982 弁理士 永井 浩之</p> <p>(74) 代理人 100107582 弁理士 関根 毅</p> <p>(74) 代理人 100124372 弁理士 山ノ井 傑</p> <p>(72) 発明者 松田 寿 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風力発電装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の電極と、前記第1の電極と誘電膜を隔てて設けられた第2の電極とを有し、前記第1の電極と前記第2の電極との間に電圧を印加されると誘電体バリア放電によりプラズマ気流を発生する、複数の系統からなるプラズマ気流発生装置と、

前記プラズマ気流発生装置に電圧を供給する、少なくとも一つのプラズマ電源と、

前記系統毎に設けられた遮断装置と、

前記遮断装置の導通状態又は遮断状態を制御する制御部と、

を備え、

前記プラズマ気流発生装置は風力発電装置における翼に設けられ、前記複数の系統に分かれて系統毎に独立して電圧が供給され、

前記プラズマ気流発生装置は、前記系統毎に前記遮断装置を介して前記プラズマ電源に接続されており、

前記制御部は、いずれかの前記プラズマ気流発生装置に故障が発生すると、このプラズマ気流発生装置と同一系統の前記遮断装置を遮断し、この系統に属する前記プラズマ気流発生装置への電圧の供給を停止し、他の前記遮断装置は導通状態を維持することを特徴とする風力発電装置。

【請求項2】

第1の電極と、前記第1の電極と誘電膜を隔てて設けられた第2の電極とを有し、前記第1の電極と前記第2の電極との間に電圧を印加されると誘電体バリア放電によりプラズ

マ気流を発生する、複数の系統からなるプラズマ気流発生装置と、
前記プラズマ気流発生装置に電圧を供給する、少なくとも一つのプラズマ電源と、
を備え、
前記プラズマ気流発生装置は風力発電装置における翼に設けられ、前記複数の系統に分
かれて系統毎に独立して電圧が供給され、
 前記プラズマ電源は前記系統毎に設けられ、
 前記系統毎に、少なくとも一つの前記プラズマ気流発生装置が同じ系統の前記プラズマ
 電源に接続されており、
 前記系統毎に独立して、前記プラズマ電源が前記プラズマ気流発生装置に電圧を供給す
 ることを特徴とする風力発電装置。

10

【請求項 3】

第 1 の電極と、前記第 1 の電極と誘電膜を隔てて設けられた第 2 の電極とを有し、前記
第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に電圧を印加されると誘電体バリア放電によりプラズ
マ気流を発生する、複数の系統からなるプラズマ気流発生装置と、
前記プラズマ気流発生装置に電圧を供給する、少なくとも一つのプラズマ電源と、
前記プラズマ気流発生装置毎に複数設けられた遮断装置と、
前記遮断装置の導通状態又は遮断状態を制御する制御部と、
を備え、
前記プラズマ気流発生装置は風力発電装置における翼に設けられ、前記複数の系統に分
かれて系統毎に独立して電圧が供給され、
 前記プラズマ電源は、前記プラズマ気流発生装置毎に設けられており、
 前記プラズマ気流発生装置と前記プラズマ電源とは、それぞれ複数の前記遮断装置を介
 して接続導線により前記プラズマ電源に接続されており、
 前記制御部は、いずれかの前記接続導線に断線が発生すると、この接続導線に接続され
 た前記遮断装置を遮断し、この接続導線に接続された前記プラズマ気流発生装置に接続さ
 れている他の遮断装置の導通状態を継続することを特徴とする風力発電装置。

20

【請求項 4】

第 1 の電極と、前記第 1 の電極と誘電膜を隔てて設けられた第 2 の電極とを有し、前記
第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に電圧を印加されると誘電体バリア放電によりプラズ
マ気流を発生する、複数の系統からなるプラズマ気流発生装置と、
前記プラズマ気流発生装置に電圧を供給する、少なくとも一つのプラズマ電源と、
を備え、
前記プラズマ気流発生装置は風力発電装置における翼に設けられ、前記複数の系統に分
かれて系統毎に独立して電圧が供給され、
 前記プラズマ気流発生装置は、前記翼のコード方向に沿ってタンDEM状に複数配置され
 たブロックが、前記翼のスパン方向に沿って複数配置されており、
 前記プラズマ電源は、前記ブロック毎に設けられており、
 各々の前記ブロックは複数のサブブロックを有し、前記サブブロック毎に前記プラズマ
 気流発生装置が複数設けられ、同一の前記サブブロック内の前記プラズマ気流発生装置の
 間には他の前記サブブロック内の前記プラズマ気流発生装置が配置されており、
 前記サブブロック毎に設けられた遮断装置と、
 前記遮断装置の導通状態又は遮断状態を制御する制御部と、をさらに備え、
 各々の前記サブブロック内の前記プラズマ気流発生装置は、前記遮断装置を介して前記
 プラズマ電源に接続されていることを特徴とする風力発電装置。

30

40

【請求項 5】

前記プラズマ発生装置は、風力発電装置における前記翼の表面上に配置されていること
 を特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の風力発電装置。

【請求項 6】

前記翼の回転速度、前記翼の表面の圧力状態、前記翼の表面上の気流の流速の少なくと
 もいずれか一つに関する情報を検出する物理センサと、

50

前記プラズマ電源の動作を制御する制御部と、をさらに備え、

前記制御部は、前記物理センサが検出した前記情報に基づいて、前記プラズマ電源の動作を制御することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の風力発電装置。

【請求項 7】

前記プラズマ気流発生装置は、前記第 1 の電極の長手方向の一端面が、前記翼のキャンバーラインで規定される前記翼の前縁基点から背面側に渡る範囲内に、前記翼のスパン方向に沿って配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の風力発電装置。

【請求項 8】

前記プラズマ気流発生装置は、前記翼のスパン方向に沿って、異なる前記系統に属するものが交互に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の風力発電装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は風力発電装置に係わり、特に誘電体バリア放電により気流を発生させるプラズマ気流発生装置を備えたものに関する。

【背景技術】

【0002】

地球温暖化防止の観点から、全地球規模で再生エネルギー発電システムの導入が進められている。普及が進められている発電方式の一つとして、風力発電が存在する。しかし、風力発電は風速変動や風向変動によって発電量が左右される。このため、日本等のように風速および風向がめまぐるしく変わる山岳性気象を有する地域においては発電出力を安定維持することが困難であり、風力発電装置導入の足かせになっている。従って、安定かつ高効率な風力発電装置の開発が強く望まれている。

20

【0003】

こうした背景のもとで、風車翼面に誘電体バリア放電によりプラズマ気流を発生させる装置を配設することで、風の変動に対応した制御が可能な風力発電装置が特許文献 1 において提案されている。

【0004】

30

また後述するように、プラズマ気流発生装置を用いて翼の剥離流れを抑制する際に、剥離渦の放出周期に同調してプラズマ気流を発生すると、より効果的に剥離流れを抑制することができることが特許文献 2 において開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2008 - 25434 号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】「日本機械学会論文集 (B 編) , 74 巻 744 号 , (2008 - 8) , 論文 NO.08 - 7006」

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

風車翼周りの気流は、主流速に対して風車回転数が遅い時、あるいは風向が急に変わったとき等の場合、風車翼周りの速度三角形が定格点から大きくずれることで、流れの剥離が風車翼の広範囲で発生する。従来の風力発電装置では、こうした風の急激な変動にピッチ制御及びヨー制御が対応できず、発電が不安定になり高効率の風力発電装置を実現することができないという問題があった。

【0008】

50

特許文献 1 に記載された誘電体バリア放電によるプラズマ気流発生装置を備えた風力発電装置は、図 10 に概略的に示されたように、翼 21 の前縁に沿って配置された複数のプラズマ気流発生装置 10 を備えている。

【0009】

このようなプラズマ気流発生装置 10 を備えた風力発電装置では、風洞実験を実施した結果、プラズマ気流発生装置がオフ状態の場合と比較し、オン状態では風車の回転数が大幅に増大することが明らかとなった。この現象は、風車翼の前縁に設けたプラズマ気流発生装置により翼の表面を流れる空気の境界層付近に高速なプラズマ気流が発生し、境界層の速度分布が変化して翼周りの剥離流れが抑制され、風車翼の揚力が増大することで風車の回転数が増大し、これがポジティブフィードバックとなって一挙に回転数が増大したものと考えられる。

10

【0010】

風力発電装置の定格風速は、一般には 12 ~ 13 m/s とされる。しかし、このような定格風速に恵まれる風車立地点は少なく、より低速域 (4 ~ 8 m/s) の風が年間を通じて吹くような立地点が多い。よって、プラズマ気流発生装置の設置により低・中風速域での発電を増大できることは、年間を通じて安定して高効率な風力発電装置が実現できることを意味している。

【0011】

ところで、運転時の風車翼は風の力によって大きく撓むため、翼の変形に対しても対応可能なようにプラズマ気流発生装置を設置する必要がある。図 11 に、翼 121 の前縁にプラズマ気流発生装置 110 を複数配置した例を示す。従来は、このように複数のプラズマ気流発生装置 110 を接続導線 109 により単純に直列接続し、低圧側電源 101 に接続されたプラズマ電源 102 に接続されており、プラズマ気流発生装置における短絡等の故障が発生した場合に対する配慮が施されていなかった。

20

【0012】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、プラズマ気流発生装置において短絡等の故障が発生した場合であってもその影響が装置全体に及ぶことを防止し、安定して高効率の風力発電装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の風力発電装置は、
第 1 の電極と、前記第 1 の電極と誘電膜を隔てて設けられた第 2 の電極とを有し、前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に電圧を印加されると誘電体バリア放電によりプラズマ気流を発生する、複数の系統からなるプラズマ気流発生装置と、

30

前記プラズマ気流発生装置に電圧を供給する、少なくとも一つのプラズマ電源とを備え、

前記プラズマ気流発生装置は風力発電装置における翼に設けられ、前記複数の系統に分かれて系統毎に独立して電圧が供給されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明の風力発電装置によれば、プラズマ気流発生装置への電源供給系統を複数備えることで、一部のプラズマ気流発生装置が故障した場合であってもその影響が装置全体に及ぶことを防止し、安定して高効率の風力発電装置を実現することが可能である。

40

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態による風力発電装置におけるプラズマ気流発生装置の配置構成及びプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を示した説明図。

【図 2】同プラズマ気流発生装置の構成を示した斜視図及び縦断面図。

【図 3】同プラズマ気流発生装置において翼にプラズマ気流発生装置を取り付ける位置を示した断面図。

50

【図4】本発明の第2の実施の形態による風力発電装置におけるプラズマ気流発生装置の配置構成及びプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を示した説明図。

【図5】本発明の第3の実施の形態による風力発電装置におけるプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を示した説明図。

【図6】本発明の第4の実施の形態による風力発電装置におけるプラズマ気流発生装置の配置構成及びプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を示した説明図。

【図7】本発明の第5の実施の形態による風力発電装置におけるプラズマ気流発生装置の配置構成及びプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を示した説明図。

【図8】本発明の第6の実施の形態による風力発電装置におけるプラズマ気流発生装置の配置構成及びプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を示した説明図。

【図9】本発明の第7の実施の形態による風力発電装置におけるプラズマ気流発生装置の配置構成及びプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を示した説明図。

【図10】プラズマ気流発生装置を備えた風力発電装置の全体の概略構成を示した斜視図。

【図11】従来の風力発電装置におけるプラズマ気流発生装置の配置構成及びプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を示した説明図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施の形態による風力発電装置について、図面を参照しながら説明する。

【0017】

(第1の実施の形態)

本発明の第1の実施の形態による風力発電装置において、翼21に複数のプラズマ気流発生装置を配置した構成を図1(a)に、さらにプラズマ気流発生装置に電源を供給する接続構成を図1(b)にそれぞれ示す。

【0018】

図1(a)に示されたように、風車の翼21の前縁に沿って、ユニット化されたプラズマ気流発生装置10が複数配置されている。このプラズマ気流発生装置は、外観を示した斜視図である図2(a)、並びに図2(a)におけるA-A線に沿う縦断面図である図2(b)に示されたように、耐候性が高くかつ変形に対する耐性が高い樹脂8が基材として設けられ、樹脂8の表面上に導電性を有する内挿電極6bが配置されている。内挿電極6bを覆うように樹脂8の表面上に誘電膜7が形成され、誘電膜7の表面上に導電性を有する表面電極6aが設けられてユニットとして成形されている。

【0019】

このように耐候性並びに変形に対する耐性の高い樹脂8を用いてユニット成型したことにより、このプラズマ気流発生装置10は風車が設置されるような屋外環境においても長寿命で信頼性が高く、また凹凸が少ないため気流制御特性に優れた流体制御用アクチュエータとして動作することができる。

【0020】

このプラズマ気流発生装置10の装着は、翼21の成型時に埋め込んでもよく、あるいは翼21の表面に接着、ネジ止め等により固定してもよい。尚、翼21の表面にプラズマ気流発生装置10を装着する部位は、剥離流れを抑制することが可能な位置である必要がある。具体的には、図3に示されたように、プラズマ気流発生装置10の表面電極6aの長手方向の一端面が、翼21の前縁において、キャンパーラインCLで規定される翼21の前縁基点BPから背面側21aの所定範囲に渡る、図中点線で示された範囲21bであることが望ましい。しかし、この範囲21bに限定されるものではなく、空力学的及び剥離流れの抑制を行う上で望ましい任意の位置にプラズマ気流発生装置10を装着することができる。

【0021】

表面電極6a、内挿電極6bは、それぞれ図示されていない接続導線により後述するプ

10

20

30

40

50

ラズマ電源に接続される。表面電極 6 a と内挿電極 6 b との間にプラズマ電圧が印加され、表面電極 6 a の近傍において誘電体バリア放電が誘起され、電子やイオンが生成されて電界により移動して翼 2 1 の表面を流れる空気の境界層付近に高速なプラズマ気流が発生し、境界層の速度分布が変化して空気の剥離が抑制される。尚、気流の大きさや向きは、プラズマ電圧、周波数、電流波形、デューティ比等を変化させることで制御することができる。

【 0 0 2 2 】

そして、図 1 (a) に示されたように、電源を供給される系統が異なる第 1 の系統の複数のプラズマ気流発生装置 1 0 A 1、1 0 A 2、1 0 A 3 と、第 2 の系統の複数のプラズマ気流発生装置 1 0 B 1、B 2、B 3 とが、翼 2 1 の前縁に沿って交互に配置されている。ここで、それぞれの系統のプラズマ気流発生装置 1 0 の数は 1 以上の任意の数でよく、また系統は複数であればよく 3 以上設けられていてもよい。

10

【 0 0 2 3 】

このように配置されたプラズマ気流発生装置 1 0 に電源を供給する接続構成について、図 1 (b) を参照して説明する。低圧側電圧 1 から、例えば A C 1 0 0 V の電源電圧がプラズマ電源 2 に供給される。プラズマ電源 2 は、内蔵する制御機構により、印加電圧や発生周波数を調整して誘電体バリア放電の制御を行う。尚、プラズマ電源 2 の装着部位は、翼 2 1 の回転軸に接続された発電機等を収納したナセル内、あるいは翼 2 1 の内部等、プラズマ気流発生装置 1 0 に電氣的に接続可能な箇所であれば限定されずいずれの箇所であってもよい。

20

【 0 0 2 4 】

プラズマ電源 2 には、第 1 の系統のプラズマ気流発生装置 1 0 A 1、1 0 A 2、1 0 A 3 が、遮断装置 3 A を介して並列に接続導線 9 A により接続されている。また、第 2 の系統のプラズマ気流発生装置 1 0 B 1、1 0 B 2、1 0 B 3 が、遮断装置 3 B を介して並列に接続導線 9 B により接続されている。尚、それぞれのプラズマ気流発生装置 1 0 が遮断装置 3 A、3 B を介して接続される接続構成は、並列に限らず直列であってもよい。

【 0 0 2 5 】

尚、本実施の形態並びに後述する第 2 ~ 第 7 の実施の形態における接続導線 9 は、高電圧と例えば接地された低電圧とを、表面電極 6 a と内挿電極 6 b とにそれぞれ供給するため、2 本の導線が 1 対をなしているものとする。

30

【 0 0 2 6 】

遮断装置 3 A、3 B は、それぞれ制御部 1 1 に接続されている。制御部 1 1 は、いずれかのプラズマ気流発生装置 1 0 において絶縁破壊等により故障が発生したことを例えばセンサからの情報により検出し、このプラズマ気流発生装置 1 0 が属するいずれかの系統の遮断装置 3 A 又は 3 B を遮断する。これにより、故障したプラズマ気流発生装置 1 0 が含まれる系統の全てのプラズマ気流発生装置 1 0 にはプラズマ電源が供給されず、動作を停止する。

【 0 0 2 7 】

しかし、他の系統のプラズマ気流発生装置 1 0 にはプラズマ電源が供給されて動作状態を維持するので、翼 2 1 周りの剥離流れを抑制することができる。さらに、第 1 の系統のプラズマ気流発生装置 1 0 A 1、1 0 A 2、1 0 A 3 と第 2 の系統のプラズマ気流発生装置 1 0 B 1、1 0 B 2、1 0 B 3 とを翼 2 1 のスパン方向に沿って交互に配置しているので、一方の系統に故障が発生して動作を停止した場合であっても翼 2 1 のスパン方向に沿う全域に渡って剥離流れの抑制制御が可能である。

40

【 0 0 2 8 】

以上説明したように、第 1 の実施の形態の風力発電装置によれば、プラズマ気流発生装置により翼周りの剥離流れを抑制する際に、複数のプラズマ気流発生装置を複数系統に分けて電源を供給し、いずれかのプラズマ気流発生装置に故障が発生した場合その系統の動作を停止し、故障が発生していない系統は引き続き動作させるように構成したことにより、故障の影響が装置全体に及ぶことがなく、安定して高効率の風力発電装置を実現するこ

50

とができる。

【0029】

(第2の実施の形態)

本発明の第2の実施の形態について、そのプラズマ気流発生装置の配列並びに接続構成を示した図4を参照して説明する。上記第1の実施の形態と同一の構成要素には同一の番号を付して、重複する説明は省略する。

【0030】

図4(a)に示されたように、翼21の前縁方向に沿って複数のプラズマ気流発生装置10A、10B、10C、10Dが配置されている。そして第2の実施の形態では、図4(b)に示されたように、各々のプラズマ気流発生装置10A、10B、10C、10D 10
毎にプラズマ電源2A、2B、2C、2Dが設けられ、それぞれ接続導線9A、9B、9C、9Dにより直接接続されている。

【0031】

いずれかのプラズマ気流発生装置10A、10B、10C、10Dが故障した場合であっても、装置毎にプラズマ電源2A、2B、2C、2Dが設けられているので、他のプラズマ気流発生装置10にはそれに接続されたプラズマ電源2からの電源の供給を継続することができる。これにより故障の影響が装置全体に及ばず、剥離流れの抑制制御を継続して行い、安定して高効率の風力発電装置を実現することが可能である。

【0032】

ところで近年は、ロータ径が80mを超える風力発電装置が現れている。このような大型風力発電装置では、翼の先端領域、中間領域、翼根領域において回転速度が大きく異なる。また、翼コード長も半径位置毎に異なっており、半径位置毎の翼周りも大きく異なっている。 20

【0033】

上述したように、プラズマ気流発生装置により翼の剥離流れを抑制する際に、剥離渦の放出周期に同調してプラズマ気流を発生することで、より効果的に剥離流れを抑制することができる。第2の実施の形態では、スパン方向に沿って配列されたプラズマ気流発生装置10A、10B、10C、10D毎にプラズマ電源2A、2B、2C、2Dを設けているので、個別にプラズマ電源の電圧周波数を制御することが可能である。これにより、スパン方向に沿って大きく異なる翼21周りの剥離渦周期に同調した最適な剥離防止のための制御を行うことができる。 30

【0034】

(第3の実施の形態)

本発明の第3の実施の形態について、プラズマ気流発生装置の接続構成を示した図5を用いて説明する。上記第1、第2の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付して、重複した説明を省略する。

【0035】

第3の実施の形態では、プラズマ気流発生装置10A、10B、10C、10D毎にプラズマ電源2A、2B、2C、2Dを備える。尚、プラズマ気流発生装置10A~10Dの翼21への配列は、図4(a)に示された上記第2の実施の形態と同一であり、説明を省略する。 40

【0036】

プラズマ気流発生装置10Aとプラズマ電源2Aとを接続するため2本の接続導線9A1及び9A2が設けられている。同様に、プラズマ気流発生装置10Bとプラズマ電源2B、プラズマ気流発生装置10Cとプラズマ電源2C、プラズマ気流発生装置10Dとプラズマ電源2Dとを接続するため、それぞれ2本の接続導線9B1及び9B2、9C1及び9C2、9D1及び9D2が設けられている。

【0037】

尚、上述したように、高電圧と低電圧とを表面電極6a、内挿電極6bにそれぞれ供給するため、接続導線9A1、9A2、9B1、9B2、9C1、9C2、9D1、9D2は 50

それぞれ2本の導線で1対をなしている。

【0038】

さらに、接続導線9A1及び9A2、9B1及び9B2、9C1及び9C2、9D1及び9D2には、プラズマ電源2A、2B、2C、2Dに近接した接続根部において、それぞれ遮断装置3A1及び3A2、3B1及び3B2、3C1及び3C2、3D1及び3D2が接続されている。

【0039】

遮断装置3A1及び3A2、3B1及び3B2、3C1及び3C2、3D1及び3D2は、制御部11に接続されている。翼21の撓み等により、2本の接続導線9A1又は9A2、9B1又は9B2、9C1又は9C2、9D1又は9D2のいずれか一方において断線が発生した場合には、制御部11が断線した接続導線9に接続されている遮断装置3を遮断する。

10

【0040】

これにより、断線が生じた接続導線9による接続を遮断し、残った接続導線9により当該プラズマ気流発生装置10に電源を供給して引き続き駆動を継続することができる。この結果、断線が生じたいずれか一方の接続導線9に接続されているプラズマ気流発生装置10の動作を他方の接続導線9により継続することができるので、スパン方向において大きく異なる翼21の周りの気流に対応して半径位置毎に異なる剥離渦周期に同調した最適な制御を維持することが可能である。

【0041】

20

尚、第3の実施の形態では1つのプラズマ気流発生装置10に対して2本の接続導線9を接続した場合について説明した。しかし、接続導線の数には2本に限定されず3本以上接続してもよい。

【0042】

(第4の実施の形態)

本発明の第4の実施の形態について、プラズマ気流発生装置の翼における配列、並びにプラズマ気流発生装置の接続構成を示した図6を用いて説明する。上記第1～第3の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付して、重複した説明を省略する。

【0043】

第4の実施の形態は、上記第1の実施の形態における複数のプラズマ気流発生装置10を複数系統に分けて各々の系統に複数のプラズマ気流発生装置10をそれぞれ設けた構成と、上記第2の実施の形態における複数系統毎に1つずつプラズマ電源2を設けた構成とを組み合わせて、複数系統毎に1つずつプラズマ電源2を設けて各々の系統に複数のプラズマ気流発生装置10をそれぞれ設けたものに相当する。

30

【0044】

具体的には、10個のプラズマ気流発生装置10が5系統に分割され、各々の系統には2個ずつプラズマ気流発生装置10が配置され、系統毎にプラズマ電源2が設けられている。プラズマ気流発生装置10A1及び10A2にプラズマ電源2Aが接続導線9Aにより接続される。プラズマ気流発生装置10B1及び10B2にプラズマ電源2Bが接続導線9Bにより接続される。プラズマ気流発生装置10C1及び10C2にプラズマ電源2Cが接続導線9Cにより接続される。プラズマ気流発生装置10D1及び10D2にプラズマ電源2Dが接続導線9Dにより接続される。プラズマ気流発生装置10E1及び10E2にプラズマ電源2Eが接続導線9Eにより接続される。そして、プラズマ気流発生装置10A1とプラズマ気流発生装置10A2との間に他の系統のプラズマ気流発生装置10B1が配置されるといように、同じ系統内の2つのプラズマ気流発生装置10の間に他の系統のプラズマ気流発生装置10が配置されている。但し、全てのプラズマ気流発生装置10がこのように間隔を開けて配置される必要はなく、プラズマ気流発生装置10E1及び10E2のように連続して配置されたものが含まれてもよい。

40

【0045】

例えば、一つの系統内のプラズマ気流発生装置10A1に故障が発生したような場合、

50

これに接続されたプラズマ電源 2 A からの電源の供給動作を停止し、プラズマ気流発生装置 10 A 1 及び 10 A 2 の駆動を停止する。他のプラズマ気流発生装置 10 B 1 及び 10 B 2、10 C 1 及び 10 C 2、10 D 1 及び 10 D 2、10 E 1 及び E 2 への電源の供給は継続し、動作状態を維持する。

【0046】

このように、系統毎にプラズマ電源 2 を設けることで、いずれかの系統内のプラズマ気流発生装置 10 に故障が発生した場合にも、他の系統のプラズマ気流発生装置 10 の動作状態を維持することができる。また、同一系統内の複数のプラズマ気流発生装置 10 の間に他の系統のプラズマ気流発生装置 10 を挿入するように配置したことで、いずれかの系統のプラズマ気流発生装置 10 が動作しない状態になった場合にも、翼 21 の半径位置毎に異なる剥離流れに対応した最適制御を維持することができる。

10

【0047】

さらに、一つの系統に設けられた 1 個のプラズマ電源 2 に対して複数のプラズマ気流発生装置 10 を配置したことにより、プラズマ電源 2 の数の増加を抑制しコスト低減を図りつつ、翼 21 の広い範囲に渡って剥離流れの制御が可能である。

【0048】

(第 5 の実施の形態)

本発明の第 5 の実施の形態について、プラズマ気流発生装置の翼における配列、並びにプラズマ気流発生装置の接続構成を示した図 7 を用いて説明する。上記第 1 ~ 第 4 の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付して、重複した説明を省略する。

20

【0049】

近年の風力発電装置では大型風車が用いられており、ロータ径が 80 m を超えるものも現れてきた。このため、翼の半径位置によってはコード長が 2 ~ 4 m にも達する。

【0050】

このような大きな翼周りの流れを制御するためには、プラズマ気流発生装置を翼弦方向に沿ってタンデム状に設けて、より強いプラズマ気流を発生させることが有効である。

【0051】

第 5 の実施の形態はこのような大型風車に対して特に有効なものであり、プラズマ気流発生装置が半径位置毎にタンデム状に複数設けられてブロックを構成するとともに、ブロック毎にプラズマ電源がそれぞれ設けられている。

30

【0052】

具体的には、図 7 (a)、(b) に示されたように、プラズマ気流発生装置 10 A 1 2、10 A 2 2、10 A 1 1 及び 10 A 2 1 が気流発生方向に沿ってタンデム状に配置されて 1 つのブロックを構成している。図 7 (a) においては、翼 21 の前縁に沿って配置された 4 個のプラズマ気流発生装置 10 のうち、プラズマ気流発生装置 10 A 1 2、10 A 2 2 が図示されており、プラズマ気流発生装置 10 A 1 1、10 A 2 1 はプラズマ気流発生装置 10 A 2 2 の背後に配置されている。同様に、4 個のプラズマ気流発生装置 10 B 1 2、10 B 2 2、10 B 1 1 及び 10 B 2 1、4 個のプラズマ気流発生装置 10 C 1 2、10 C 2 2、10 C 1 1 及び 10 C 2 1、4 個のプラズマ気流発生装置 10 D 1 2、10 D 2 2、10 D 1 1 及び 10 D 2 1 が気流発生方向に沿ってタンデム状にそれぞれブ

40

【0053】

図 7 (b) に示されたように、タンデム状に配置された 4 個のプラズマ気流発生装置 10 から成るブロック毎に、1 つずつプラズマ電源 2 A、2 B、2 C、2 D が配置されている。

【0054】

プラズマ電源 2 A には、遮断装置 3 A 1、3 A 2 をそれぞれ介して接続導線 9 A 1、9 A 2 によりプラズマ気流発生装置 10 A 1 1、10 A 2 1 が並列に接続され、プラズマ気流発生装置 10 A 1 1 と直列にプラズマ気流発生装置 10 A 1 2 が接続され、プラズマ気流発生装置 10 A 2 1 と直列にプラズマ気流発生装置 10 A 2 2 が接続されている。

50

【 0 0 5 5 】

同様に、プラズマ電源 2 B には、遮断装置 3 B 1、3 B 2 をそれぞれ介して接続導線 9 B 1、9 B 2 によりプラズマ気流発生装置 1 0 B 1 1、1 0 B 2 1 が並列に接続され、プラズマ気流発生装置 1 0 B 1 1 と直列にプラズマ気流発生装置 1 0 B 1 2 が接続され、プラズマ気流発生装置 1 0 B 2 1 と直列にプラズマ気流発生装置 1 0 B 2 2 が接続されている。

【 0 0 5 6 】

プラズマ電源 2 C には、遮断装置 3 C 1、3 C 2 をそれぞれ介して接続導線 9 C 1、9 C 2 によりプラズマ気流発生装置 1 0 C 1 1、1 0 C 2 1 が並列に接続され、プラズマ気流発生装置 1 0 C 1 1 と直列にプラズマ気流発生装置 1 0 C 1 2 が接続され、プラズマ気流発生装置 1 0 C 2 1 と直列にプラズマ気流発生装置 1 0 C 2 2 が接続されている。

【 0 0 5 7 】

プラズマ電源 2 D には、遮断装置 3 D 1、3 D 2 をそれぞれ介して接続導線 9 D 1、9 D 2 によりプラズマ気流発生装置 1 0 D 1 1、1 0 D 2 1 が並列に接続され、プラズマ気流発生装置 1 0 D 1 1 と直列にプラズマ気流発生装置 1 0 D 1 2 が接続され、プラズマ気流発生装置 1 0 D 2 1 と直列にプラズマ気流発生装置 1 0 D 2 2 が接続されている。

【 0 0 5 8 】

そして、遮断装置 3 A 1、3 A 2、3 B 1、3 B 2、3 C 1、3 C 2、3 D 1、3 D 2 は、それぞれ制御部 1 1 に接続されている。

【 0 0 5 9 】

このように第 5 の実施の形態では、4 個のプラズマ気流発生装置 1 0 を 1 つのブロックとして気流発生方向に沿ってタンデム状に配置するとともに、翼 2 1 の半径位置毎に独立してプラズマ電源 2 A、2 B、2 C、2 D を設けたことにより、大型風車において半径位置により大きく変化する翼 2 1 周りの気流に対応して、それぞれの剥離渦周期に同調した最適な制御を行うことができる。

【 0 0 6 0 】

また、タンデム状に配置された 4 個のプラズマ気流発生装置 1 0 のうち、直列に接続された例えばプラズマ気流発生装置 1 0 A 1 1 及び 1 0 A 1 2 に遮断装置 3 A 1、プラズマ気流発生装置 1 0 A 2 1 及び 1 0 A 2 2 に遮断装置 3 A 2 が接続されている。例えば、プラズマ気流発生装置 1 0 A 1 1 に故障が発生した場合には制御部 1 1 が遮断装置 3 A 1 を遮断し、これに直列に接続されたプラズマ気流発生装置 1 0 A 1 1 及び 1 0 A 1 2 への電力の供給を停止する。しかし、残りのプラズマ気流発生装置 1 0 には電力の供給が可能であり、引き続き動作状態を継続することができる。

【 0 0 6 1 】

さらに、同一の遮断装置 3 に直列接続されたプラズマ気流発生装置 1 0 の間に、他の遮断装置 3 に接続されたプラズマ気流発生装置 1 0 が配置されていることで、いずれかの遮断装置 3 において遮断が生じた場合にも気流の発生に与える影響が抑制され、翼 2 1 全体としての剥離流れ制御を十分維持することができ、安定して高効率の風力発電装置が実現される。

【 0 0 6 2 】

(第 6 の実施の形態)

本発明の第 6 の実施の形態について、プラズマ気流発生装置の翼における配列、並びにプラズマ気流発生装置の接続構成を示した図 8 を用いて説明する。上記第 1 ~ 第 5 の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付して、重複した説明を省略する。

【 0 0 6 3 】

第 6 の実施の形態では、上記第 4 の実施の形態によるプラズマ気流発生装置において、翼 2 1 の運転状態をモニタして得られた情報に基づきプラズマ電源 2 A ~ 2 E の動作に対して制御部 1 1 がフィードバック制御を行う構成が加えられたものに相当する。プラズマ気流発生装置 1 0 の翼 2 1 における配列、プラズマ気流発生装置 1 0 とプラズマ電源 2 との接続構成は上記第 4 の実施の形態と同一であり、説明を省略する。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 4 】

プラズマ気流発生装置 1 0 により翼 2 1 の剥離流れを制御する場合には、上述したように剥離渦の放出周期に同調してプラズマ気流を発生させることにより、剥離現象をより抑制することができる。しかしながら、翼 2 1 の半径位置により回転速度や翼弦長が異なり、さらには装置の高さ位置により風速や風向が異なるため、剥離渦の周波数も位置により異なることとなる。

【 0 0 6 5 】

そこで第 6 の実施の形態では、例えば風車回転数を回転数センサ 5 を用いてモニタし、風車回転数が増大するような周波数制御条件を制御部 1 1 にて演算して、プラズマ電源 2 A、2 B、2 C、2 D にそれぞれ独立してフィードバックする。これにより、半径位置に
10 応じた剥離流れを抑制することが可能となる。尚、この周波数制御条件は、プラズマ電源 2 A、2 B、2 C、2 D 毎に独立して与えることが半径位置に応じた制御を行うためには望ましい。しかし、翼 2 1 全体で一括して同一の周波数条件をプラズマ電源 2 A、2 B、2 C、2 D に与えても、剥離を制する制御自体は可能である。

【 0 0 6 6 】

また、風力発電装置が一般に備えている種々のセンサ、例えば翼 2 1 に流入する気流の速度を測定する風速センサ、翼 2 1 に流入する気流の風向を計測する風向センサ、翼 2 1 の表面の圧力を計測する圧力センサ等から得られた情報に基づいて、プラズマ電源 2 A、2 B、2 C、2 D が発生する電圧の周波数条件を設定してもよい。

【 0 0 6 7 】

周波数条件の設定は、例えば、制御部 1 1 において第 1 の周波数条件を設定してプラズマ電源 2 に与え、この第 1 の周波数条件で電源をプラズマ気流発生装置 1 0 に与えて所定時間駆動し、この時の風車回転数を測定する。そして、異なる第 2 の周波数条件でプラズマ気流発生装置 1 0 を所定時間駆動し、この時の風車回転数を測定する。第 1 の周波数条件と第 2 の周波数条件の時とにおけるそれぞれの風車回転数を比較して望ましい方を選択する。このような処理を繰り返していくことで、最適な条件を探索していく。
20

【 0 0 6 8 】

当然ながら、フィードバック制御は風速風向変動に対して応答するまでに時定数が存在する。しかし、所定時間を単位として平均化すると、フィードバック制御による最適条件の探索を行うことは剥離抑制を行う上で有効である。
30

【 0 0 6 9 】

このように第 6 の実施の形態によれば、例えば風車回転数をモニタしてその情報に基づいて翼周りの剥離流れを抑制し、また上記第 4 の実施の形態と同様に一部のプラズマ気流発生装置に故障が発生した場合にも他のプラズマ気流発生装置の駆動を継続することで、安定して高効率な風力発電装置を実現することが可能である。

【 0 0 7 0 】

(第 7 の実施の形態)

本発明の第 7 の実施の形態について、プラズマ気流発生装置の接続構成を示した図 9 を用いて説明する。上記第 1 ~ 第 6 の実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付して、重複した説明を省略する。
40

【 0 0 7 1 】

第 7 の実施の形態は、上記第 6 の実施の形態の構成に加えて翼 2 1 の表面に物理センサ 4 を設け、翼 2 1 周りの気流の情報を検出してその情報を制御部 1 1 に与え、この情報に基づいてプラズマ電源 2 A、2 B、2 C、2 D、2 E の電源電圧の周波数を制御する。このようなフィードバックループを設けたことによって、上記第 6 の実施の形態よりさらに有効に剥離を抑制するようプラズマ気流を発生させるものである。尚、プラズマ気流発生装置 1 0 A 1、1 0 A 2、1 0 B 1、1 0 B 2、1 0 C 1、1 0 C 2、1 0 D 1、1 0 D 2、1 0 E 1、1 0 E 2 の翼 2 1 の表面における配列、及びこれらのプラズマ気流発生装置 1 0 とプラズマ電源 2 A、2 B、2 C、2 D との接続構成は、上記第 6 の実施の形態と同様であり説明を省略する。
50

【 0 0 7 2 】

物理センサ 4 として、例えば圧力センサや、翼 2 1 の表面の流速を計測する流速センサ等を用いてもよい。圧力センサを用いた場合は、翼 2 1 の表面に付着していた流れが剥離すると表面圧力が増大するため、この圧力の変化を検出する。流速センサを用いた場合は、剥離現象が起こると翼 2 1 の表面における気流の流速に変化が生じるため、この流速の変化を検出する。

【 0 0 7 3 】

翼 2 1 の先端が地上 1 0 0 m 近くにもなる大型風車の場合は、垂直方向の風速や風向の分布も翼 2 1 周りの流れに影響する。このため、翼 2 1 周りの気流は時々刻々、半径位置及び回転位置で異なる。翼 2 1 の表面の圧力や表面の流速を物理センサ 2 1 を用いてモニタしておくことで、翼 2 1 周りの各位置における局所的な流れの挙動を把握することが可能となる。

10

【 0 0 7 4 】

そこで、翼 2 1 に設けた物理センサ 4 により流れの挙動を把握しておき、流れが剥離している領域が時間的に最も多い箇所に配置されたプラズマ気流発生装置 1 0 のプラズマ気流発生周波数の最適化を図る。例えば、具体的には第 1 の周波数条件でプラズマ気流発生装置 1 0 を所定時間駆動し、この時に物理センサ 4 が検知した情報を制御部 1 1 が取得する。次に、第 2 の周波数条件でプラズマ気流発生装置 1 0 を所定時間駆動し、この時に物理センサ 4 が検知した情報と先の情報を比較し、剥離流れがより抑制されるいずれかの周波数条件を探索する処理を繰り返していく。

20

【 0 0 7 5 】

第 7 の実施の形態によれば、物理センサ 4 が検出した流れの挙動に基づき最適な電圧周波数をプラズマ気流発生装置 1 0 に供給しプラズマ気流の最適化を図ることで、翼 2 1 周りの剥離流れを有効に抑制することができる。また上記第 6 の実施の形態と同様に、一部のプラズマ気流発生装置 1 0 が故障した場合にも、他のプラズマ気流発生装置 1 0 の動作を継続することができるので、安定して高効率の風力発電装置を実現することができる。

【 0 0 7 6 】

上記実施の形態はいずれも一例であって、本発明の技術的範囲内において様々に変形することが可能である。例えば、上記第 1 ~ 第 7 の実施の形態におけるプラズマ気流発生装置の個数や配列、翼の設置位置、プラズマ気流発生装置の系統数等について、必要に応じて任意に設定することができる。

30

【 0 0 7 7 】

例えば、上記第 1 ~ 第 7 の実施の形態では、図 1 (a) 等に示されたように、翼 2 1 の前縁に沿ってプラズマ気流発生装置 1 0 の長手方向がスパン方向に一致するように配置している。しかしプラズマ気流発生装置 1 0 の配列方向は限定されず、例えばプラズマ気流発生装置 1 0 の長手方向が翼 2 1 のコード方向に一致するように配置してもよい。このように、プラズマ気流発生装置 1 0 の配列方向は、風車翼が回転する際に空力的に望ましいように、また剥離の抑制制御において望ましいように配列することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 8 】

- 1 低圧側電源
- 2、2 A、2 B、2 C、2 D プラズマ電源
- 3 A、3 B、3 A 1、3 A 2、3 B 1、3 B 2、3 C 1、3 C 2、3 D 1、3 D 2 遮断装置
- 4 物理センサ
- 5 回転センサ
- 6 a 表面電極
- 6 b 内挿電極
- 7 誘電膜
- 8 樹脂

40

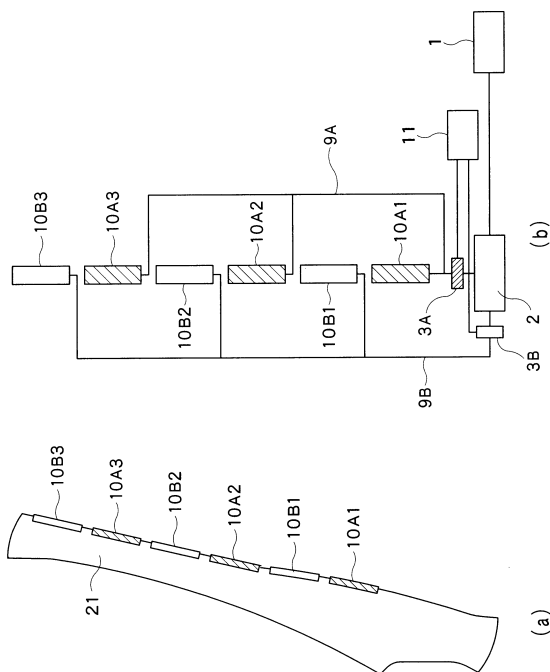
50

9、9A、9B、9C、9D、9E、9A1、9A2、9B1、9B2、9C1、9C2、9C1、9C2、9D1、9D2 接続導線

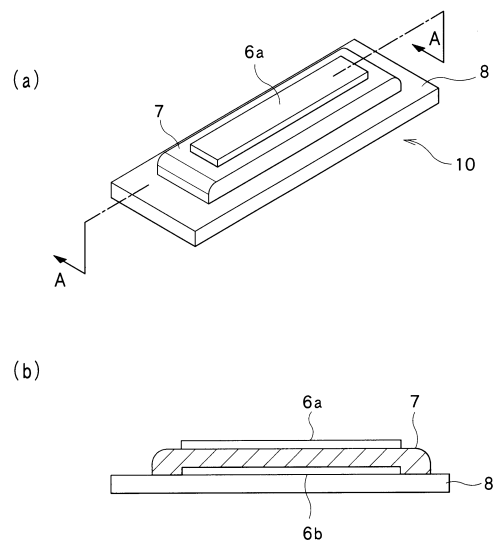
10、10A、10B、10C、10D、10A1、10A2、10B1、10B2、10B3、10C1、10C2、10D1、10D2、10E1、10E2、10A11、10A12、10A21、10A22、10B11、10B12、10B21、10B22、10C11、10C12、10C21、10C22、10D11、10D12、10D21、10D22 プラズマ気流発生装置

11 制御部
21 翼

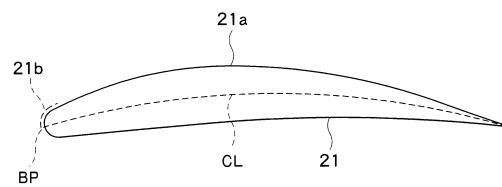
【図1】



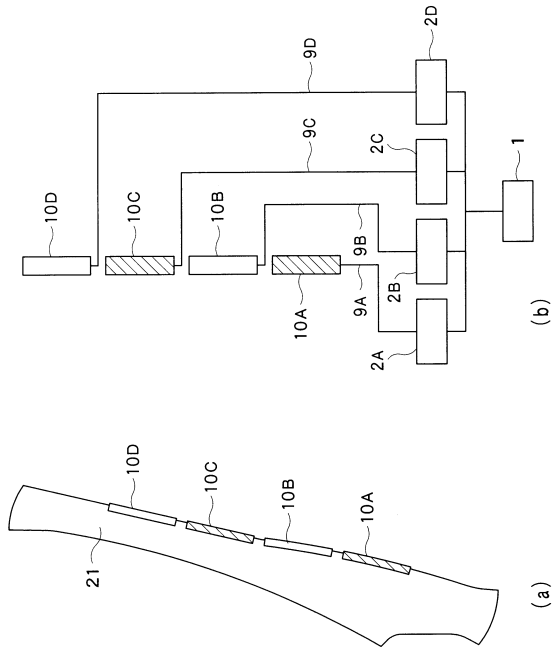
【図2】



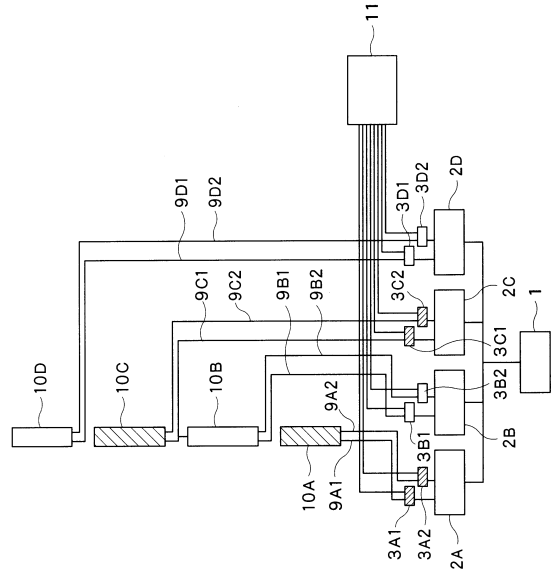
【図3】



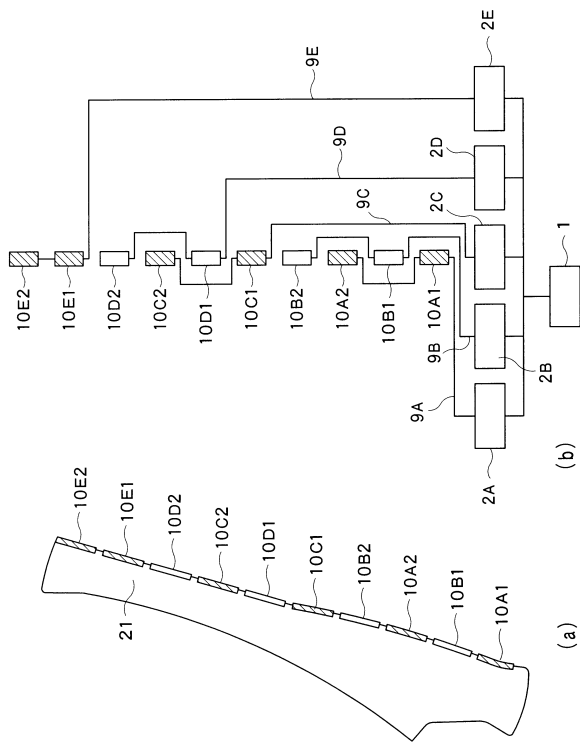
【 図 4 】



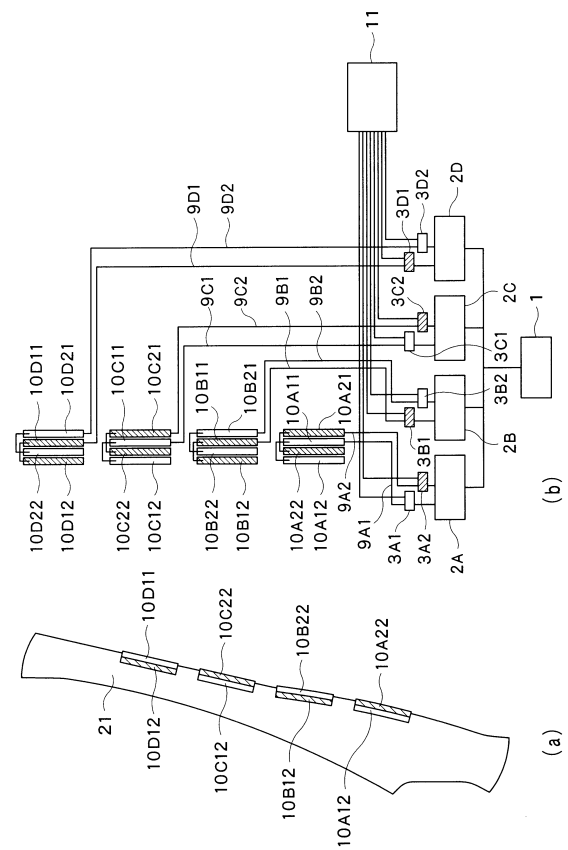
【 図 5 】



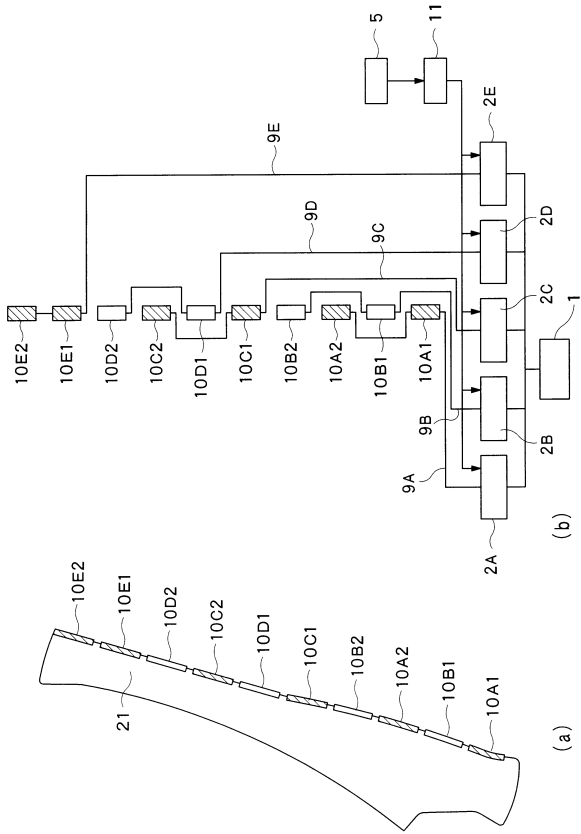
【 図 6 】



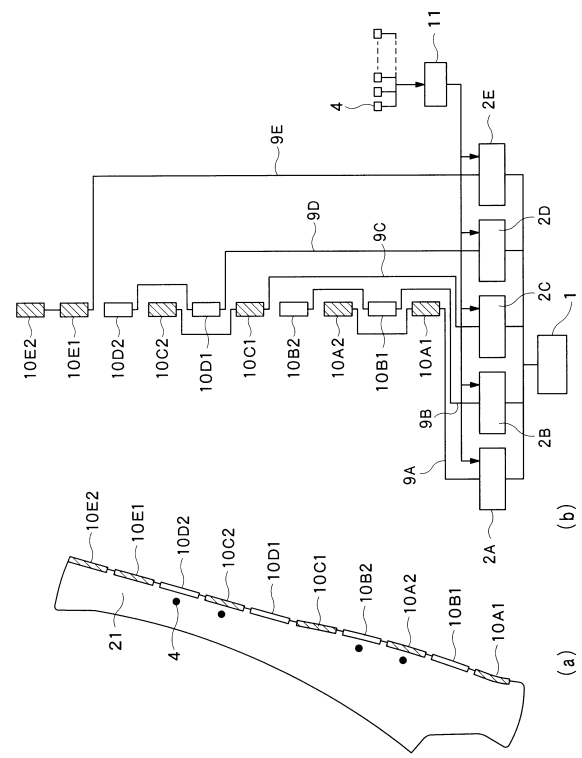
【 図 7 】



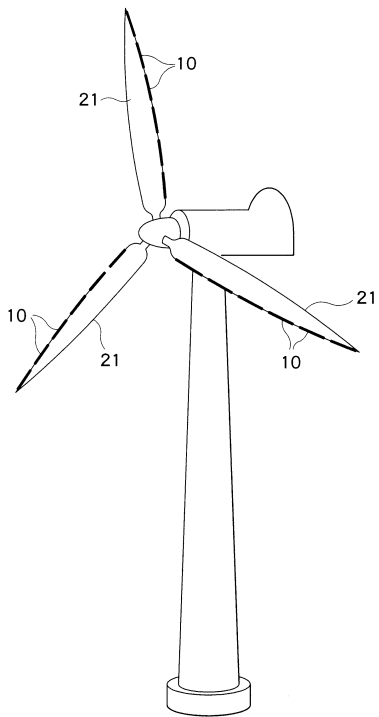
【 図 8 】



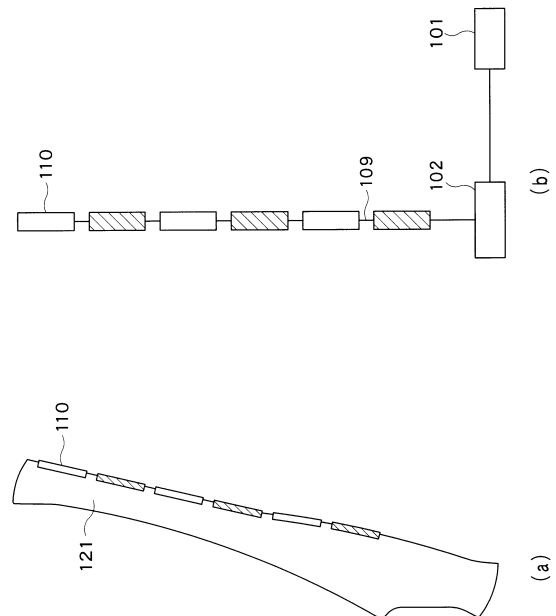
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

- (72)発明者 田 中 元 史
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 安 井 祐 之
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 五 嶋 祥 平
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 和 田 国 彦
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 尾 崎 多 文
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 大 迫 俊 樹
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 佐藤 秀之

- (56)参考文献 特開2008-025434(JP, A)
米国特許第06247671(US, B1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F03D 11/00