

(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2018-155128

(P2018-155128A)

(43) 公開日 平成30年10月4日(2018.10.4)

(51) Int.Cl.
F03D 3/06 (2006.01)F1
F03D 3/06テーマコード (参考)
3H178

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2017-50981 (P2017-50981)
(22) 出願日 平成29年3月16日 (2017.3.16)(71) 出願人 000102692
NTN株式会社
大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
(74) 代理人 100086793
弁理士 野田 雅士
(74) 代理人 100087941
弁理士 杉本 修司
(72) 発明者 伊藤 健
三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番
地 NTN株式会社内
Fターム(参考) 3H178 AA16 AA22 AA43 BB31 BB62
BB75 CC03 CC04 DD02Z DD12Z

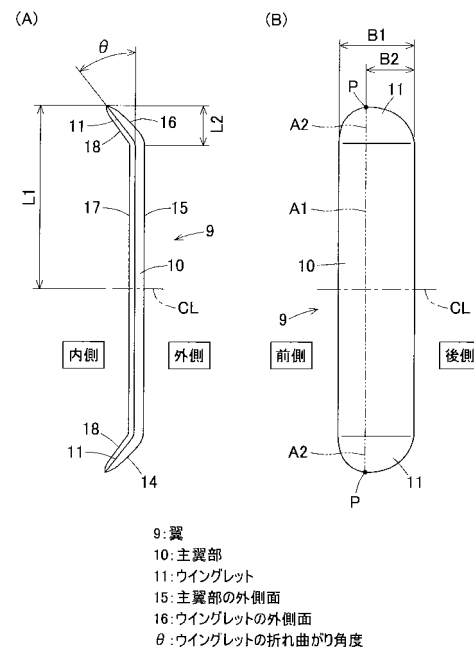
(54) 【発明の名称】 垂直軸風車および風力発電装置

(57) 【要約】

【課題】回転エネルギー変換効率が良く、空転時の抵抗が小さく、騒音を抑えることができるようにウイングレットの折れ曲がり角度が最適な角度とされた垂直軸風車を提供する。

【解決手段】垂直軸風車は、垂直主軸に支持体を介して翼9が連結されている。翼9は、垂直主軸と平行に延びる主翼部10と、この主翼部10の両端部から垂直主軸の側に斜めに折れ曲がって延びるウイングレット11とを有する。翼9の横断面形状は、翼9の回転進行方向の前端寄りの箇所では径方向の厚みが最も厚くなるように、径方向外側ないし内側の面が翼の回転進行方向の前後両端から次第に径方向の外側ないし内側に膨らんでいる形状である。ウイングレット11は、先端側へ行くに従って径方向外側の面の膨らみ量が次第に小さくなる形状である。主翼部10に対するウイングレット11の折れ曲がり角度 θ が20°から55°の範囲内である。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転自在に設けられる垂直主軸と、この垂直主軸に設けられた支持体と、前記垂直主軸に前記支持体を介して連結され風を受けて前記垂直主軸の軸心回りに回転する翼とを備えた垂直軸風車であって、

前記翼は、前記垂直主軸と平行に延びる主翼部と、この主翼部の両端部から前記垂直主軸の側に斜めに折れ曲がって延びるウイングレットとを有し、前記主翼部および前記ウイングレットにわたり前記翼の横断面形状は、前記翼の回転進行方向の前端寄りの箇所で径方向の厚みが最も厚くなるように、径方向外側の面が前記翼の回転進行方向の前後両端から次第に径方向の外側に膨らんでいる形状であり、かつ前記ウイングレットは、先端側へ行くに従い径方向外側の面の膨らみ量が次第に小さくなる形状であり、

前記主翼部に対する前記ウイングレットの折れ曲がり角度が 20° から 55° の範囲内であることを特徴とする垂直軸風車。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の垂直軸風車において、前記ウイングレットの折れ曲がり角度が 40° から 50° の範囲内である垂直軸風車。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の垂直軸風車と、この垂直軸風車の前記垂直主軸の回転で発電する発電機とを備える風力発電装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、この発明は、垂直主軸を持つ垂直軸風車、およびこの垂直軸風車を備えた風力発電装置に関する。

【背景技術】

【0002】

風力発電装置に用いられる風車は、水平軸式と垂直軸式とに大別される。垂直軸式は、風向を問わずに回転力が得られて、風向に対する制御が不要なことから、比較的小型の風車に用いられることが多い。垂直軸式の風車において、翼の形状によって発電量が左右することが知られており、効率の良い発電が可能な翼の開発が進められている。その一つとして、翼端にウイングレットを設けた翼がある（例えば特許文献 1～4）。ウイングレットは、先端側を垂直主軸に近づけるよう傾斜させた翼端板のことである。ウイングレットを設けることで、翼端での渦の発生が抑制される。これにより、風から受けるエネルギーを回転エネルギーに変換する回転エネルギー変換効率を向上させることができると共に、風切り音による騒音を低減することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2004-204801 号公報

【特許文献 2】特開 2004-293409 号公報

【特許文献 3】特開 2011-169267 号公報

【特許文献 4】特開 2016-205204 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のウイングレットの効果は経験的には知られているが、翼全体の形状とウイングレットの形状とがどのように関係するのか、またウイングレットをどのような形状にすれば最適な効果が得られるのかについて、まだ十分には研究されていない事項がある。例えば、ウイングレットの折れ曲がり角度と、前記回転エネルギー変換効率、空転時の抵抗、および騒音との各関係が明確ではなかった。空転時の抵抗は、自然界の変動風下において回

10

20

30

40

50

転が停止しやすいかの判断材料となり、発電効率に影響する。従来のウイングレットを備えた垂直軸風車では、ウイングレットの折れ曲がり角度が経験的に決定されており、適切な角度であるかが明確ではなかった。

【0005】

この発明の目的は、回転エネルギー変換効率が良く、空転時の抵抗が小さく、騒音を抑えることができるようにウイングレットの折れ曲がり角度が最適な角度とされた垂直軸風車を提供することである。

この発明の他の目的は、発電効率が良く、かつ騒音が少ない風力発電装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明の垂直軸風車は、回転自在に設けられる垂直主軸と、この垂直主軸に設けられた支持体と、前記垂直主軸に前記支持体を介して連結され風を受けて前記垂直主軸の軸心回りに回転する翼とを備え、

前記翼は、前記垂直主軸と平行に延びる主翼部と、この主翼部の両端部から前記垂直主軸の側に斜めに折れ曲がって延びるウイングレットとを有し、前記主翼部および前記ウイングレットにわたり前記翼の横断面形状は、前記翼の回転進行方向の前端寄りの箇所で径方向の厚みが最も厚くなるように、径方向外側ないし内側の面が前記翼の回転進行方向の前後両端から次第に径方向の外側ないし内側に膨らんでいる形状であり、かつ前記ウイングレットは、先端側へ行くに従い径方向外側の面の膨らみ量が次第に小さくなる形状であり、

前記主翼部に対する前記ウイングレットの折れ曲がり角度が 20° から 55° の範囲内であることを特徴とする。

【0007】

前記ウイングレットの折れ曲がり角度は、より好ましくは 40° から 50° の範囲内である。

【0008】

ウイングレットは、翼端渦の抑制を目的とする部位であるが、その折れ曲がり角度が、風エネルギーを翼の回転エネルギーに変換する回転エネルギー変換効率に影響する。また、ウイングレットの折れ曲がり角度は、空転時の抵抗、および風切り音による騒音の程度にも影響する。前記空転時の抵抗が大きいと、変動風において風が弱まったときに翼の回転が止まり易い。

【0009】

ウイングレットの折れ曲がり角度と、回転エネルギー変換効率、空転時の抵抗、および騒音との関係につき流体解析を行ったところ、回転エネルギー変換効率は、折れ曲がり角度が大きくなるに従って低下するが、 50° 前後まではある程度高く保たれることが判った。空転時の抵抗は、 20° 前後で最も小さく、これより角度が大きくなっても小さくなっても抵抗は大きくなるが、 45° 前後までは変化が緩いことが判った。騒音は、 0° から 45° 前後までは次第に小さくなるが、 45° を超えるとあまり変わらず、むしろ折れ曲がり角度が大きくなると騒音が若干大きくなることが判った。

【0010】

これにより、ウイングレットの折れ曲がり角度が 20° から 55° の範囲内であることが、回転エネルギー変換効率、空転時の抵抗、および騒音において、総合的に優れることが判った。さらに、折れ曲がり角度が 40° から 50° の範囲内がより好ましいことが判った。

【0011】

この発明の風力発電装置は、前記垂直軸風車と、この垂直軸風車の前記垂直主軸の回転で発電する発電機とを備える。

この風力発電装置に用いられる垂直軸風車は、上述したように、回転エネルギー変換効率が良く、空転時の抵抗が小さく、騒音を抑えることができる。このため、この風力発電

10

20

30

40

50

装置は、発電効率が良く、かつ騒音が少ない。

【発明の効果】

【0012】

この発明の垂直軸風車は、回転自在に設けられる垂直主軸と、この垂直主軸に設けられた支持体と、前記垂直主軸に前記支持体を介して連結され風を受けて前記垂直主軸の軸心回りに回転する翼とを備え、前記翼は、前記垂直主軸と平行に延びる主翼部と、この主翼部の両端部から前記垂直主軸の側に斜めに折れ曲がって延びるウイングレットとを有し、前記主翼部および前記ウイングレットにわたり前記翼の横断面形状は、前記翼の回転進行方向の前端寄りの箇所では径方向の厚みが最も厚くなるように、径方向外側ないし内側の面が前記翼の回転進行方向の前後両端から次第に径方向の外側ないし内側に膨らんでいる形状であり、かつ前記ウイングレットは、先端側へ行くに従い径方向外側の面の膨らみ量が次第に小さくなる形状であり、前記主翼部に対する前記ウイングレットの折れ曲がり角度が 20° から 55° の範囲内であるため、回転エネルギー変換効率が良く、空転時の抵抗が小さく、騒音を抑えることができる。

10

【0013】

この発明の垂直軸風車は、前記垂直軸風車と、この垂直軸風車の前記垂直主軸の回転で発電する発電機とを備えるため、発電効率が良く、かつ騒音が少ない。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】この発明の一実施形態に係る垂直軸風車を備えた風力発電装置の正面図である。

20

【図2】同風力発電装置の平面図である。

【図3】(A)は同垂直軸風車の翼の正面図、(B)はその側面図である。

【図4】(A)は図3(A)の部分拡大図、(B)は図3(B)の部分拡大図である。

【図5】(A)は図4(B)のVA-VA断面図、(B)は図4(B)のVB-VB断面図、およびVC-VC断面図である。

【図6】(A)～(E)はそれぞれウイングレットの折れ曲がり角度の解析に用いた翼の一部を示す正面図である。

【図7】ウイングレットの折れ曲がり角度と、風によって翼が回転するときに垂直主軸に作用する回転モーメントとの関係を示すグラフである。

【図8】ウイングレットの折れ曲がり角度と、翼の空転時に垂直主軸に作用する回転モーメントとの関係を示すグラフである。

30

【図9】ウイングレットの折れ曲がり角度と騒音との関係を示すグラフである。

【図10】(A)～(E)は翼端における最大音響発生箇所とその音響の大きさを示す図である。

【図11】(A)～(C)はそれぞれ翼の全長に対するウイングレットの長さの解析に用いた翼の正面図である。

【図12】翼の全長に対するウイングレットの長さと、風によって垂直軸風車が回転するときに翼に作用する回転モーメントとの関係を示すグラフである。

【図13】(A)～(D)はそれぞれウイングレットの頂点位置の解析に用いた翼の一部を断面で表した平面図である。

40

【図14】ウイングレットの頂点位置と騒音との関係を示すグラフである。

【図15】(A)～(D)は翼端における最大音響発生箇所とその音響の大きさを示す図である。

【図16】ウイングレットの頂点位置と、垂直軸風車の空転時に翼に作用する回転モーメントとの関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

この発明の実施形態を図面と共に説明する。

図1はこの発明の一実施形態に係る垂直軸風車を備えた風力発電装置の正面図、図2はその平面図である。地面に築かれた基礎1に鉄塔2が構築され、この鉄塔2の上に風力発

50

電装置 3 が設置されている。風力発電装置 3 は、垂直軸風車 4 と、この垂直軸風車 4 の垂直主軸 5 の回転で発電する発電機 6 と、その他の配電用、制御用等の機器とを備える。垂直主軸 5 は上下方向に沿って延びる軸であって、軸受によって回転自在に支持され、下部が発電機 6 に連結されている。垂直主軸 5、発電機 6、および他の機器は、カバー 7 によって覆われている。

【0016】

垂直軸風車 4 は、前記垂直主軸 5 に支持体 8 を介して複数の翼 9 が取り付けられている。図の例では、翼 9 の数が 2 つであり、それぞれの翼 9 は垂直主軸 5 を中心として 180° 位相の異なる位置に設けられている。翼 9 の数は 3 つ以上であってもよい。支持体 8 は、垂直主軸 5 の上端に水平に固定された 1 本の水平アーム 8 a と、この水平アーム 8 a の中央部付近からそれぞれ図の左右両側に向かって上向きの斜め方向および下向きの斜めに延びる計 4 本の斜めアーム 8 b とからなる。水平アーム 8 a の左端および左側の 2 本の斜めアーム 8 b の先端に左側の翼 9 が結合され、水平アーム 8 a の右端および右側の 2 本の斜めアーム 8 b の先端に右側の翼 9 が結合されている。垂直軸風車 4 は、風を受けると、垂直主軸 5 の軸心 O の回りに図 2 の矢印方向に回転する。

【0017】

図 3 (A)、(B) は翼 9 の正面図と側面図である。翼 9 は、垂直主軸 5 (図 1 参照) と平行、すなわち上下方向に沿って延びる主翼部 10 と、この主翼部 10 の上下両端からそれぞれ垂直主軸 5 の側に斜めに折れ曲がって延びる上下のウイングレット 11 とからなる。ウイングレット 11 は直線状に延びていてもよく、曲線状に延びていてもよい。曲線状である場合、その曲線は、円弧状であっても、曲率が異なる複数の円弧が組み合わされたものであってもよい。上下のウイングレット 11 は、主翼部 10 の長手方向中間部の中心線 CL に対し、線対称となる同一形状に形成されている。

【0018】

なお、以下の説明では、垂直主軸 5 の軸心方向を「上下方向」とする。また、垂直主軸 5 の軸心 O を中心として径方向の外径側を「外側」、内径側を「内側」とする。また、垂直軸風車 4 が図 2 の矢印方向に回転するとき翼 9 が進行する側を「前側」、その反対側を「後側」とする。翼 9 の回転進行方向は、後述する翼 9 の断面形状によって決まる。

【0019】

図 3 (A) に示すように、主翼部 10 の断面形状および断面寸法は上下全域にわたって一定であり、ウイングレット 11 は先端側に行くに従って厚みが薄くなっている。但し、主翼部 10 およびウイングレット 11 のいずれについても、後で説明するように回転進行方向の位置によって厚みが異なっている。先に述べたウイングレット 11 の厚みは、回転進行方向の最大厚み部の厚みについてである。

【0020】

図 3 (B) に、主翼部 10 およびウイングレット 11 の最大厚み部の位置が線 A 1、A 2 で示されている。主翼部 10 の最大厚み部を示す線 A 1 は直線である。ウイングレット 11 の最大厚み部を示す線 A 2 は、ウイングレット 11 の上下方向の最先端の位置である頂点位置 P によって変わる。頂点位置 P は線 A 2 上に位置する。図 3 (B) に示す例のように、頂点位置 P が主翼部 10 の最大厚み部を示す線 A 1 の延長線上に位置する場合、ウイングレット 11 の最大厚み部を示す線 A 2 は直線となる。頂点位置 P が主翼部 10 の最大厚み部を示す線 A 1 の延長線からずれている場合、ウイングレット 11 の最大厚み部を示す線 A 2 は、主翼部 10 の最大厚み部を示す線 A 1 に対して曲がった線となる。この場合、線 A 2 は曲線であっても直線であってもよいが、いずれの場合も、線 A 1 の先端と線 A 2 の基端とは、その繋がり部が滑らかに繋がっているのが望ましい。

【0021】

図 3 (B) の部分拡大図である図 4 (B) に示すように、主翼部 10 は、前後の縁 13 F、13 R が直線で形成され、回転進行方向の幅 B 1 が一定である。ウイングレット 11 の前後の縁 14 F、14 R は、主翼部 10 の前後の縁 13 F、13 R とそれぞれ滑らかに繋がる曲線で形成されており、回転進行方向の幅は先端側へ行くに従い連続的に徐々に狭

くなっている。ウイングレット 11 の前後の縁 14 F, 14 R は互いに滑らかに繋がり、その繋がり部が前記頂点位置 P となる。ウイングレット 11 の前後の縁 14 F, 14 R をなす曲線は、例えば円弧、楕円弧からなる。前記縁 14 F, 14 R を成す曲線は、単一の曲線であってもよく、複数の曲線が組み合わされていてもよい。また、前後の縁 14 F, 14 R は、直線と曲線を組み合わせて構成されていてもよい。

【0022】

図 3 (A) の部分拡大図である図 4 (A) に示すように、ウイングレット 11 は、主翼部 10 の上下両端に続く曲がり部 11 a と、この曲がり部 11 a から斜めに延びる傾斜部 11 b とからなる。主翼部 10 の前側の縁 13 F は正面視で直線状である。ウイングレット 11 の前側の縁 14 F は、この例では、曲がり部 11 a では主翼部 10 の縁 14 F に滑らかに繋がる円弧状で、傾斜部 11 b では直線状である。主翼部 10 およびウイングレット 11 の後側の縁 13 R, 14 R は、正面視で前側の縁 13 F, 14 F と同位置に重なる。

10

【0023】

主翼部 10 の外側面 15 とウイングレット 11 の曲がり部 11 a の外側面 16 a とが滑らかに繋がり、ウイングレット 11 の曲がり部 11 a の外側面 16 a と傾斜部 11 b の外側面 17 とが滑らかに繋がっている。曲がり部 11 a の外側面 16 a と傾斜部 11 b の外側面 16 b とで、ウイングレット 11 の外側面 16 を構成する。図 3 (A), 図 4 (A) における主翼部 10 およびウイングレット 11 の外側の外形線は、図 3 (B), 図 4 (B) における線 A1, A2 に相当し、主翼部 10 およびウイングレット 11 の最大厚み部を示す。図 4 (A) に示す正面視において、主翼部 10 の外側の外形線は直線状であり、ウイングレット 11 の外側の外形線は、曲がり部 11 a では円弧状、傾斜部 11 b では前記円弧に滑らかに繋がる曲線または直線である。

20

【0024】

また、主翼部 10 の内側面 17 とウイングレット 11 の曲がり部 11 a の内側面 18 a とが滑らかに繋がり、ウイングレット 11 の曲がり部 11 a の内側面 18 a と傾斜部 11 b の内側面 18 b とが滑らかに繋がっている。この例では、ウイングレット 11 の傾斜部 11 b の内側面 18 b は、先端部分を除いて平面状で、先端部は曲面状である。曲がり部 11 a の内側面 18 a と傾斜部 11 b の内側面 18 b とで、ウイングレット 11 の内側面 18 を構成する。

30

【0025】

図 5 (A), (B), (C) は、図 4 (B) の VA-VA 断面図、VB-VB 断面図、および VC-VC 断面図である。これらの各断面図では、主翼部 10 およびウイングレット 11 が中実で示されているが、実際には、軽量化のためにさまざまな材料により構成されている。例えば、繊維強化樹脂等により中空状に形成されるか、または発泡体やアルミ等の軽量な材料で形成されている。

【0026】

図 5 (A), (B), (C) に示すように、主翼部 10 およびウイングレット 11 は、回転進行方向の前端寄りの箇所で径方向の厚みが最も厚くなるように、外側面 15, 16 (16 a, 16 b) と内側面 17, 18 (18 a, 18 b) が、翼弦長 19 に対して、前後両端から次第に径方向の外側と内側に膨らんでいる形状である。前記翼弦長 19 は、翼 9 の前端 QF および後端 QR を通る直線を指す。言い換えると、外側面 15, 16 は、翼弦長 19 に対して外側に膨らんでおり、内側面 17, 18 は翼弦長 19 に対して内側に膨らんでいる。外側面 15, 16 および内側面 17, 18 の片方だけが翼弦長 19 に対して膨らむ形状であってもよい。

40

図 5 の例の場合、主翼部 10 およびウイングレット 11 の内側面 17, 18 (18 a, 18 b) は、前端付近は内側に膨らむ曲線状で、この曲線状部分の端から後端にかけて直線状となっているが、前端から後端にかけて全体が曲線によって径方向の内側に膨らんだ形状であってもよく、また径方向の中央部分が凹んだ形状であってもよい。なお、翼 9 の回転軌跡 C は、翼 9 の前端 QF および後端 QR が通る軌跡である。

50

【0027】

図5 (A) に示すように、主翼部10の外側面15および内側面17の前端側は滑らかな曲面で互いに繋がっており、この曲面上に主翼部10の前端Q Fが位置する。また、外側面15および内側面17の後端側は互いに鋭角をなして交差しており、この交差部が主翼部10の後端Q Rとなる。同様に、図5 (B), (C) に示すように、ウイングレット11の外側面16 (16 a, 16 b) および内側面18 (18 a, 18 b) の前端側は滑らかな曲面で互いに繋がっており、この曲面上にウイングレット11の前端Q Fが位置する。また、外側面16および内側面18の後端側は互いに鋭角をなして交差しており、この交差部がウイングレット11の後端Q Rとなる。

【0028】

主翼部10の先端の断面形状とウイングレット11の基端の断面形状は、互いに同じである。ウイングレット11における傾斜方向の各部の断面形状は、傾斜方向の位置によって寸法のみが変化する相似形であってもよく、寸法だけでなく形状も変化する非相似形であってもよい。この実施形態では、主翼部10およびウイングレット11の最大厚み部の位置が回転進行方向の同位置にあるため、ウイングレット11における傾斜方向の各部の断面形状が互いにほぼ相似形となるが、主翼部10の最大厚み部の位置に対してウイングレット11の最大厚み部の位置が回転進行方向にずれている場合、ウイングレット11における傾斜方向の各部の断面形状が互いに相似形とならない。

【0029】

この構成の垂直軸風車4の作用・効果、および具体的な構成を説明する。

翼9の横断面形状が、翼9の回転進行方向の前端寄りの箇所で径方向の厚みが最も厚くなるように、外側面15, 16 a, 16 b ないし内側面17, 18 a, 18 b が翼9の回転進行方向の前後両端から次第に径方向の外側ないし内側に膨らんでいる形状である。このため、翼9が風を受けると翼9に揚力が発生し、この揚力によって、垂直軸風車4が垂直主軸5の軸心O 回りに図2の矢印方向に回転する。

【0030】

翼9の両端にウイングレット11が設けられていると、翼9の内側面17, 18 と外側面15, 16 の圧力差が小さくなり、気流の巻き込みが抑制されるため、翼端付近に渦が発生し難く、騒音の発生が抑えられる。

【0031】

翼9の断面形状を、回転進行方向の前端寄りの箇所で径方向の厚みが最も厚くなるようにしたことで、回転進行方向前方に強い揚力が発生し、回転軌跡C 上に翼9の前端Q F および後端Q R が配置されるピッチ角が0°である状態でも、翼9が回転することができる。ピッチ角が0°となることで回転時の抵抗、特に、空転時の抵抗が小さくなり、垂直軸風車4の回転が止まり難い。

【0032】

また、ウイングレット11は、先端側へ行くに従い翼9の回転進行方向の幅が狭くなる形状であるため、翼9が回転進行しているときにおける翼端周辺の空気の流れがスムーズになり、騒音の発生を抑えられる。

【0033】

この実施形態の垂直軸風車4は、さらに回転エネルギー変換効率を良くし、空転時の抵抗を小さくし、騒音を抑制するために、ウイングレット11の詳細な形状が以下のように定められている。

【0034】

[ウイングレットの折れ曲がり角度]

主翼部10に対する上下のウイングレット11の折れ曲がり角度 θ (図3 (A)) は、20°から55°の範囲内、より好ましくは40°から50°の範囲内とされる。ここで、前記折れ曲がり角度 θ は、主翼部10の径方向の中心 (横断面の中心) とウイングレット11の径方向の中心 (横断面の中心) とが成す角度であり、この例では、主翼部10の前後の縁13 F, 13 R とウイングレット11の傾斜部11 b における前後の縁14 F,

10

20

30

40

50

14Rとが互いに成す角度と一致する。上記の望ましい折れ曲がり角度 θ は、以下の流体解析により得られた。

【0035】

試供体として図6に示す5つの翼を想定して解析を行った。(A)に示す翼9Aは、主翼部10のみからなり、ウイングレットを有しない。(B), (C), (D), (E)に示す各翼9B, 9C, 9D, 9Eは、ウイングレット11の折れ曲がり角度 θ がそれぞれ 0° , 20° , 45° , 60° である。翼9Aの全長と翼9Bの全長は同じである。翼9B, 9C, 9D, 9Eは、互いに主翼部10の長さが同じで、かつ互いにウイングレット11の長さも同じである。翼9B, 9C, 9D, 9Eのサイズは、全長2800mm程度とした。なお、翼9Bのウイングレット11は、垂直主軸5の側に折れ曲がっていないので、この発明で言う「ウイングレット」には厳密には該当しないが、先細りに絞られた形状となっているので「ウイングレット」に含ませている。

10

【0036】

(1) ウイングレットの折れ曲がり角度と回転エネルギー変換効率との関係

ウイングレット11を有する各翼9B, 9C, 9D, 9Eについて、一定方向に吹く風によって翼9が回転するときに垂直主軸5に作用する回転モーメントを計算した。翼9の回転速度を4通りに変えて計算を行い、そのうち最も効率の良い結果が得られた回転速度の解析結果を図7に示す。この解析結果から、全体的に折れ曲がり角度 θ が大きくなるほど回転エネルギー変換効率が低下するが、折れ曲がり角度 θ が 50° 前後までは回転エネルギー変換効率が高く保たれ、 50° を超えると回転エネルギー変換効率の低下率が大きくなることが判った。

20

【0037】

(2) ウイングレットの折れ曲がり角度と空転時の抵抗との関係

無風環境において翼9を回転させ、このときに垂直主軸5に作用する回転モーメントを計算した。これにより、空転時の抵抗、つまり風が弱まったときの翼9の回転の止まり難さが判る。翼9の回転速度は、前記「ウイングレットの折れ曲がり角度と回転エネルギー変換効率との関係」の解析により得られる最も効率の良い回転速度とした。その解析結果を図8に示す。この解析結果から、折れ曲がり角度 θ が 20° 前後で空転時の抵抗が最も小さく、これよりも折れ曲がり角度 θ が大きくなっても小さくなっても空転時の抵抗が大きくなることが判った。また、折れ曲がり角度 θ が 45° 前後で空転時の抵抗が大きくなる率が緩くなることも判った。参考までに、ウイングレットを有しない翼9Aについても同条件で回転モーメントを計算したが、ウイングレット11を有する翼9B, 9C, 9D, 9Eと比べて、翼9Aは空転時の抵抗が極端に大きいことが判る。

30

【0038】

(3) ウイングレットの折れ曲がり角度と騒音との関係

無風環境において翼9を回転させ、翼端における音響を計算した。翼9の回転速度は、前記「ウイングレットの折れ曲がり角度と回転エネルギー変換効率との関係」の解析により得られる最も効率の良い回転速度とした。その解析結果を図9に示す。また、ウイングレットを有しない翼9A、およびウイングレット11の折れ曲がり角度 θ がそれぞれ 0° , 20° , 45° , 60° である翼9B, 9C, 9D, 9Eについて、翼端における最大音響発生箇所とその音響の大きさを図10に示す。これらの解析結果から、折れ曲がり角度 θ が 0° から 45° 前後までは騒音が次第に小さくなるが、 45° を超えると騒音の低下がなくなり、ある折れ曲がり角度 θ 以上になるとむしろ騒音が大きくなる傾向があることが判った。

40

【0039】

(1)～(3)の解析結果から、回転エネルギー変換効率については折れ曲がり角度 θ が 55° 未満であることが好ましく、空転時の抵抗についてはウイングレット11を有していれば良く、騒音については折れ曲がり角度 θ が 20° 以上であることが好ましいと言える。これらを複合的に判断すると、主翼部10に対するウイングレット11の折れ曲がり角度 θ が 20° から 55° の範囲内であることが好ましく、より好ましくは 40° から

50

50°である。このようにウイングレット11の折れ曲がり角度 θ を設定することで、回転エネルギー変換効率、空転時の抵抗、および騒音のいずれについても満足させることができる垂直軸風車4が得られる。

【0040】

[翼全長の半分の長さに対するウイングレットの長さ]

翼9全体の上下方向全長の半分の長さL1(図3(A))に対するウイングレット11の上下方向長さL2(図3(A))の割合は、10%から20°の範囲内、より好ましくは16%から18°の範囲内とされる。ここで、ウイングレット11の上下方向長さL2は、ウイングレット11の曲がり部11aの基端からウイングレット11の頂点位置Pまでの上下方向長さを指す。上記の望ましい割合は、以下の流体解析により得られた。

10

【0041】

試供体として図11に示す3つの翼を想定して解析を行った。(A)に示す翼9Fは($L2/L1$)が11.4%であり、(B)に示す翼9Gは($L2/L1$)が17.0%であり、(C)に示す翼9Hは($L2/L1$)が26.8%である。各翼9F, 9G, 9Hは、全長が同じで(例えばL1が約1400mm)、ウイングレット11の折れ曲がり角度 θ はいずれも45°とした。

【0042】

各翼9F, 9G, 9Hについて、風によって翼9が回転するときに垂直主軸5に作用する回転モーメントを計算した。翼9の回転速度を4通りに変えて計算を行い、そのうち最も効率の良い結果が得られた回転速度の解析結果を図12に示す。この解析結果から、($L2/L1$)が17%前後で回転エネルギー変換効率が最も高く、これよりも大きくなっても小さくなっても回転エネルギー変換効率が低下することが判った。また、($L2/L1$)が10%から20%の範囲内では、ある程度高い回転エネルギー変換効率が保持されることが判った。これらのことから、翼9の長さとウイングレット11の長さとの前記望ましい割合が導かれる。

20

【0043】

[ウイングレットの頂点位置]

ウイングレット11の頂点位置P(図3(B))は、翼9の回転進行方向の幅B1に対する翼9の回転進行方向の後端からの距離B2の割合が50%から83%の範囲内、より好ましくは60%から75%の範囲内とされる。この望ましいウイングレット11の頂点位置Pは、以下の流体解析により得られた。

30

【0044】

試供体として図13に示す4つの翼を想定して解析を行った。(A)に示す翼9Iは($B2/B1$)が83%であり、(B)に示す翼9Jは($B2/B1$)が75%であり、(C)に示す翼9Kは($B2/B1$)が53%であり、(D)に示す翼9Lは($B2/B1$)が33%である。各翼9I, 9J, 9K, 9Lの進行方向の幅B1は同一であり、厚みも同一である。

【0045】

(1) ウイングレットの頂点位置と騒音との関係

無風環境において翼9を回転させ、翼端における音響を計算した。その解析結果を図14に示す。また、各翼9I, 9J, 9K, 9Lにつき、翼端における最大音響発生箇所とその音響の大きさを図15(A), (B), (C), (D)にそれぞれ示す。この解析結果から、全体的に($B2/B1$)が大きいほど、つまりウイングレット11の頂点位置Pが回転進行方向の前側に位置するほど騒音が小さく、また、($B2/B1$)が50%前後以下では騒音が高いレベルのまま保たれ、($B2/B1$)が50%前後を超えると騒音レベルが二次曲線的に低下することが判った。

40

【0046】

(2) ウイングレットの頂点位置と空転時の抵抗との関係

無風環境において翼9を回転させ、このときに垂直主軸5に作用する回転モーメントを計算した。これにより、空転時の抵抗、つまり、変動風において風が弱まったときの翼9

50

の回転の止まり難さが判る。その解析結果を図16に示す。この解析結果から、全体的に（ $B2/B1$ ）が大きいほど、つまりウイングレット11の頂点位置Pが回転進行方向の前側に位置するほど空転時の抵抗が小さいことが判った。また、（ $B2/B1$ ）が50%前後以上では空転時の抵抗がある程度低く抑えられ、50%前後以下になると空転時の抵抗が急激に大きくことが判った。

【0047】

（1）、（2）の解析結果から、騒音については（ $B2/B1$ ）が50%以上であることが好ましく、また空転時の抵抗についても（ $B2/B1$ ）が50%以上であることが好ましいと言える。但し、ウイングレット11の頂点位置Pがあまりに前側過ぎると、ウイングレット11の前端の面が広くなり、空気抵抗が大きくなる。これらを複合的に判断した結果、 $B2/B1$ 値が50%から83%の範囲内が好ましく、60%から75%の範囲内がより好ましい。このようにウイングレットの頂点位置Pを設定することで、騒音および空転時の抵抗のいずれについても満足させることができる垂直軸風車4が得られる。

【0048】

以上に説明したように、この垂直軸風車4は、回転エネルギー変換効率が良く、空転時の抵抗が小さく、騒音を抑えることができる。このため、この垂直軸風車4を用いた風力発電装置3は、発電効率が良く、かつ騒音が少ない。

【0049】

以上、実施例に基づいて本発明を実施するための形態を説明したが、ここで開示した実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではない。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【0050】

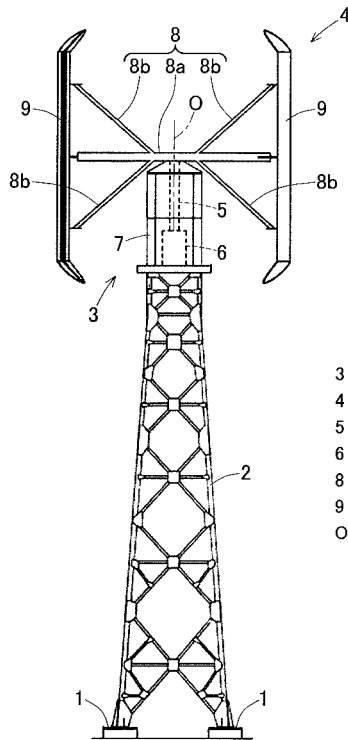
- 3…風力発電装置
- 4…垂直軸風車
- 5…垂直主軸
- 6…発電機
- 8…支持体
- 9…翼
- 10…主翼部
- 11…ウイングレット
- 15…主翼部の外側面
- 16…ウイングレットの外側面
- O…軸心
- θ …ウイングレットの折れ曲がり角度

10

20

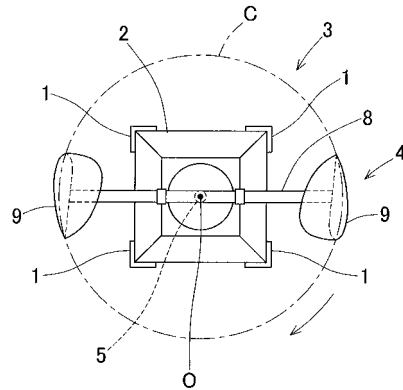
30

【図 1】

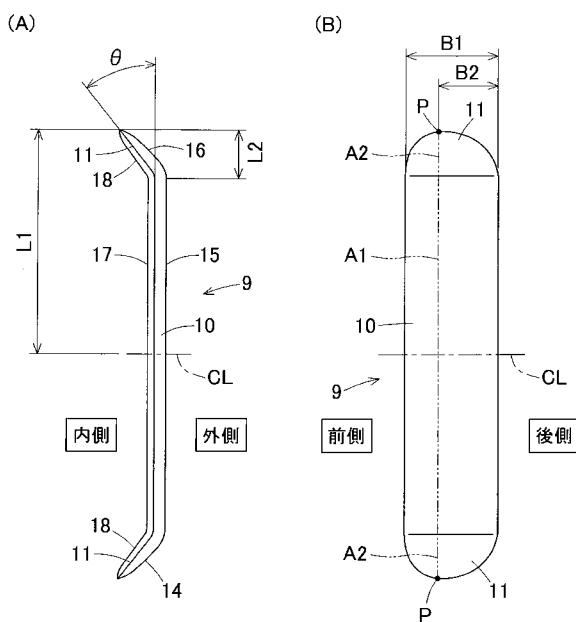


- 3: 風力発電装置
4: 垂直軸風車
5: 垂直主軸
6: 発電機
8: 支持体
9: 翼
O: 軸心

【図 2】

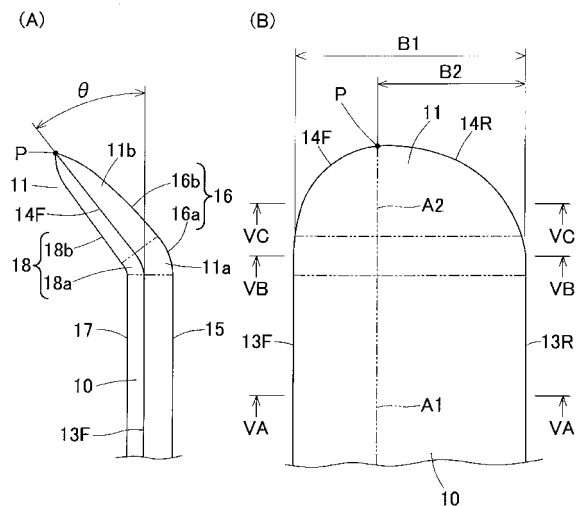


【図 3】

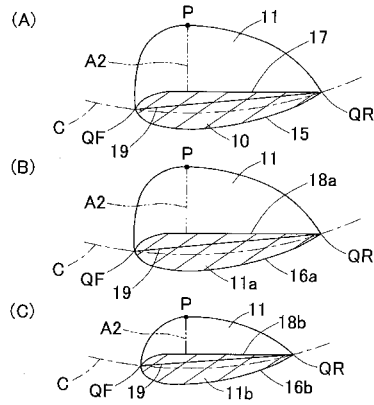


- 9: 翼
10: 主翼部
11: ウイングレット
15: 主翼部の外側面
16: ウイングレットの外側面
 θ : ウイングレットの折れ曲がり角度

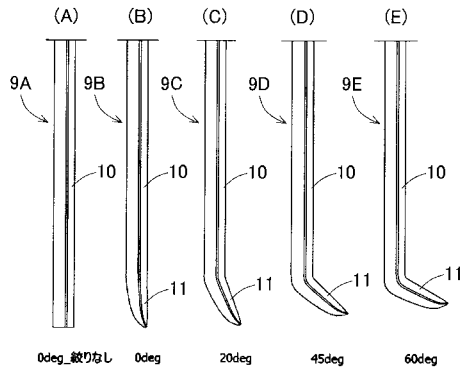
【図 4】



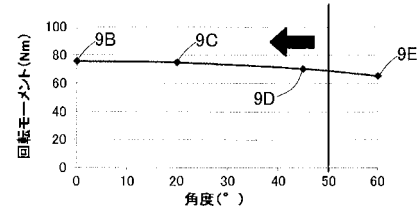
【図 5】



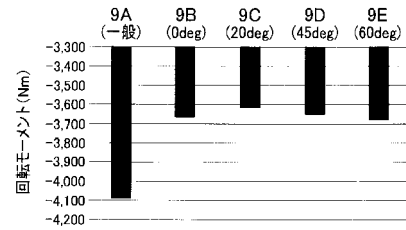
【図 6】



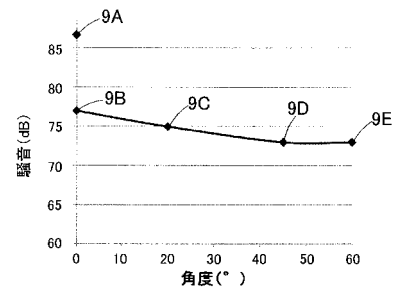
【図 7】



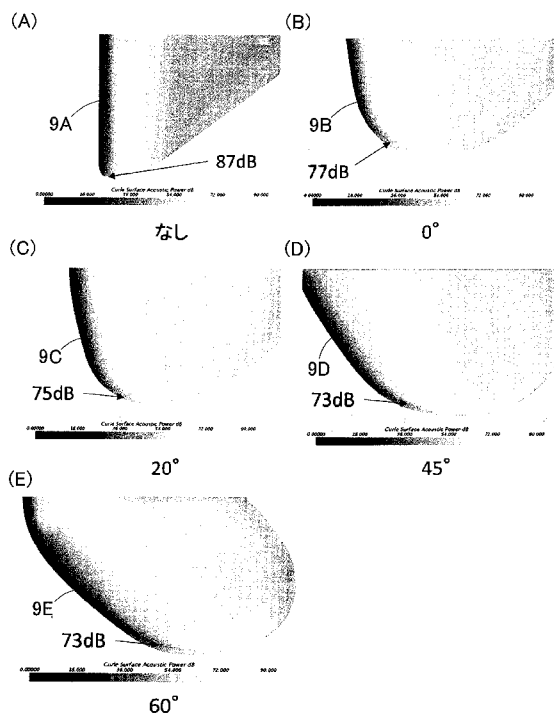
【図 8】



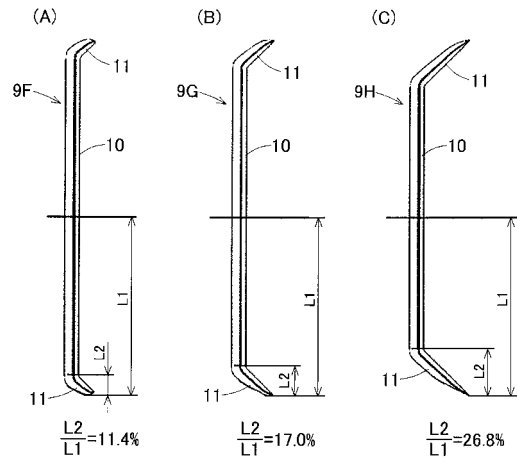
【図 9】



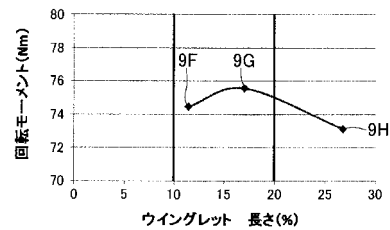
【図 10】



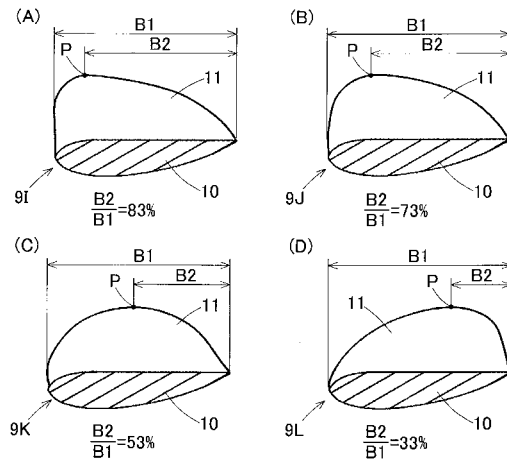
【図 11】



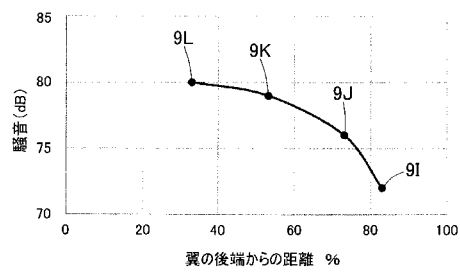
【図 12】



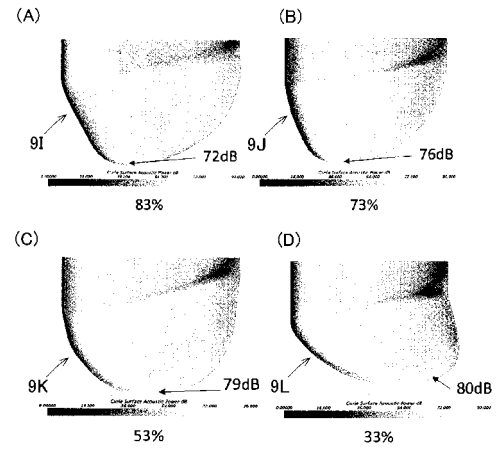
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【図 16】

