

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年12月19日(19.12.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/257699 A1

(51) 国際特許分類:
F03D 1/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/020825

(22) 国際出願日: 2024年6月7日(07.06.2024)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2023-097432 2023年6月14日(14.06.2023) JP

(71) 出願人: 東レ株式会社 (**TORAY INDUSTRIES, INC.**) [JP/JP]; 〒1038666 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 Tokyo (JP).

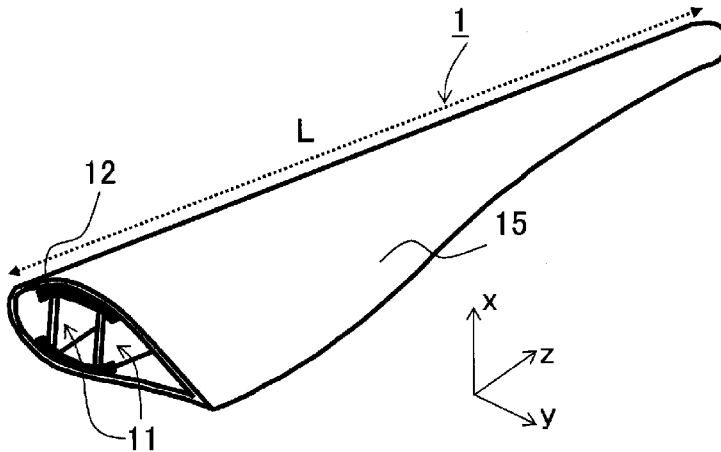
(72) 発明者: 唐木 琢也 (**KARAKI Takuya**); 〒4558502 愛知県名古屋市港区大江町9番地の1 東レ株式会社 名古屋事業場内 Aichi (JP). 中村 和弘 (**NAKAMURA Kazuhiro**); 〒4558502 愛知県名古屋市港区大江町9番地の1 東レ株式会社 名古屋事業場内 Aichi (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: WIND TURBINE BLADE

(54) 発明の名称: 風車ブレード

[図2]



(57) Abstract: In order to provide a wind turbine blade in which peeling fracture of spar caps can be minimized even when a carbon-fiber-reinforced resin having a high modulus of elasticity is used in the spar caps, provided is a wind turbine blade has spar caps disposed in contact with the inner side of a pressing-side skin and with the inner side of a contraction-side skin, wherein: at least one of the spar caps is essentially configured from a composite material obtained by impregnating reinforcing fibers with a resin; the value calculated using



PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

expression (1) below from the blade length L of the wind turbine blade, the elastic modulus E of the composite material, and the maximum thickness $t_{\max}$ of the spar caps is equal to or greater than 3.0 and less than 6.0; and the maximum value of a plate thickness change rate according to the definition below is equal to or less than 5.0. Expression (1): $L^4/(t_{\max}^3 \times E)$. Plate thickness change rate: a value expressed by the absolute value of $(t_2 - t_1)/0.5$, where t_1 is the spar cap thickness at a position where the distance r from a blade root is r_1 , and t_2 is the spar cap thickness at a position separated from r_1 by a distance of $0.5L$.

(57) 要約: 高弾性率の炭素繊維強化樹脂をスパークャップに用いた場合にもスパークャップの剥離破壊を抑制できる風車ブレードとするため、加圧側スキンの内側と、収縮側スキンの内側とにそれぞれ接して配置されたスパークャップを有する風車ブレードであって、前記スパークャップの少なくとも一方は、強化繊維に樹脂が含浸してなるコンポジット材から本質的に構成され、前記風車ブレードのブレード長 L と、前記コンポジット材の弾性率 E と、前記スパークャップの最大厚さ $t_{\max}$ とから、下記式(1)により算出される値が3.0以上6.0未満であり、かつ、下記の定義による板厚変化率の最大値が5.0以下である風車ブレードとする。 $L^4 / (t_{\max}^3 \times E) \cdots (1)$ 板厚変化率: ブレード根元からの距離 r が r_1 におけるスパークャップ厚さを t_1 、 r_1 から距離 $0.5L$ だけ離れた位置におけるスパークャップ厚さを t_2 としたとき、 $(t_2 - t_1) / 0.5$ の絶対値で表される値

明 細 書

発明の名称：風車ブレード

技術分野

[0001] 本発明は、風力発電用風車などに使用される風車ブレードに関する。

背景技術

[0002] 近年、風力発電用の風車ブレードは、より大きな発電量を得るために長大化してきている。風車ブレードを長大化することで、風を受ける面積を大きくすることができる反面、回転に伴う遠心力や風力に負けない剛性を確保する必要がある。

[0003] 風車ブレードの材料としては、これまでは、コストが比較的安いガラス繊維強化樹脂が使われることが多かった。しかし、100mを超える超大型のブレードではガラス繊維強化樹脂では力学特性が足りなくなり、風車ブレードの曲げ変形が大きくなる。その結果、ブレードを支えるタワーとブレードが接触し、ブレードが破損するという課題が顕在化している。

[0004] このような課題に対して、非特許文献1では、117mのブレードにおいて、ガラス繊維強化樹脂より力学特性に優れる炭素繊維強化樹脂を用いることで、ブレードの剛性を高める検討がなされている。また、特許文献1では、炭素繊維強化樹脂を用いるスパーキャップの厚さを工夫する検討がなされている。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1: Definition of the IEA Wind 15MW Offshore Reference Wind Turbine (2020)

特許文献

[0006] 特許文献1: 欧州特許第2715118号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] しかしながら、非特許文献1では、さらに長いブレード長に対して剛性を高める検討はなされていない。また、特許文献1は、35～55mのブレード長のものと比較して、50～100mの範囲のブレードにおいてより有効である技術が開示されているのみであり、100mを超える超大型のブレードについては、効果は検証されていない。
- [0008] 風車ブレードのスパークアップは、強化繊維に樹脂が含浸してなる長尺平板上のコンポジット材を、長さ方向、幅方向および高さ方向に複数枚連結することによって構成されている。一般的には、超大型のブレードに対応するためには、より高弾性の炭素繊維強化樹脂からなるコンポジット材をスパークアップに用いることで、剛性を確保することが考えられる。しかし、本発明者らの検討によれば、高弾性率の炭素繊維強化樹脂は荷重がかかった際の相互の接着性が低下するため、単にガラス繊維強化樹脂のコンポジット材を高弾性率の炭素繊維強化樹脂のコンポジット材に置き換えるだけでは、コンポジット材同士の間で剥離破壊が発生するという新たな課題が発生すると考えられた。
- [0009] そこで、本発明は、風車ブレードにおいて高弾性率の炭素繊維強化樹脂からなるコンポジット材をスパークアップに用いた場合でも、スパークアップの剥離破壊を抑制することを課題とする。

課題を解決するための手段

- [0010] 上記課題を解決するための本発明は、以下のものである。
- [1] 加圧側スキンの内側と、収縮側スキンの内側とにそれぞれ接して配置されたスパークアップを有する風車ブレードであって、
- 前記スパークアップの少なくとも一方は、強化繊維に樹脂が含浸してなるコンポジット材から本質的に構成され、
- 前記風車ブレードのブレード長 L と、前記コンポジット材の弾性率 E と、前記スパークアップの最大厚さ t_{max} とから、下記式(1)により算出される値が3.0以上6.0未満であり、

かつ、下記の定義による板厚変化率の最大値が5.0以下である風車ブレード。

$$L^4 / (t_{\max}^3 \times E) \quad \dots (1)$$

板厚変化率：ブレード根元からの距離 r が r_1 におけるスパーキャップ厚さを t_1 、 r_1 から距離 $0.5L$ だけ離れた位置におけるスパーキャップ厚さを t_2 としたとき、 $(t_2 - t_1) / 0.5$ の絶対値で表される値

[2] 前記式 (1) により算出される値が3.5以上5.0未満である、1に記載の風車ブレード。

[3] 前記板厚変化率の最大値が4.0以下である、1または2に記載の風車ブレード。

[4] 前記ブレード長 L が130m以上である、1～3のいずれかに記載の風車ブレード。

[5] 前記スパーキャップの最大厚さ $t_{\max}$ が90mm以下である、1～4のいずれかに記載の風車ブレード。

[6] 前記スパーキャップは、 r/L が0.3～0.5の位置において最も厚くなるよう構成される、1～5のいずれかに記載の風車ブレード。

[7] 前記コンポジット材が一方向に配列された強化繊維に樹脂が含浸してなるコンポジット材である、1～6のいずれかに記載の風車ブレード。

[8] 前記コンポジット材に含まれる強化繊維が炭素繊維である、1～7のいずれかに記載の風車ブレード。

[9] 前記炭素繊維の弾性率 E が350GPa以上である、8に記載の風車ブレード。

[10] 1～9のいずれかに記載の風車ブレードを備えた風力発電用風車。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、風車ブレードのスパーキャップとして高弾性率の炭素繊維強化樹脂製のコンポジット材を用いた場合でも、スパーキャップ内でのコンポジット材同士の剥離を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]風力発電用風車の全体図である。

[図2]風車ブレード1を、風車ブレード長さ方向に垂直な面で切った場合の断面を含めて示す斜視図である。

[図3]風車ブレードの側面視（A）、および、風車根元からの距離 r とスパーキャップ厚さ t との関係を示す模式的なグラフ（B）である。

[図4]風車ブレードに風を想定した圧力を与えて風車ブレード先端部の変位量を評価する際の模式図である。

発明を実施するための形態

[0013] 本明細書において、風車ブレード（以下、単にブレードという場合がある）の長さ方向とは、ハブへの固定部分近傍の断面における重心と、ハブへの固定部分から最も離れている部分（ブレード先端）を繋ぐ直線方向（各図面における z 方向）を指すものとする。風車ブレード幅方向とは、ブレード長さ方向に垂直な断面において、リーディングエッジとトレーリングエッジとをつなぐ方向（各図面における y 方向）を指し、風車ブレード高さ方向とは、当該 y 方向および z 方向に垂直な方向（各図面における x 方向）を指す。

[0014] また、加圧側（pressure side）とは、正圧側、すなわち風車ブレードの、風が当たる側をいい、収縮側（suction side）とは、減圧側、すなわち風車ブレードの、風が離れる側をいう。

[0015] 以下に、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。なお、図面に示される特定の実施形態についての説明は、上位概念としての本発明の説明としても理解し得るものである。

[0016] 本発明の風車ブレードは、例えば図1の（A）および（B）に示すような典型的な風力発電用風車に用いられる。図1の風車は、主に、ブレード1、タワー2、ナセル3、ハブ4から構成される。ブレード1はハブ4に取り付けられており、風力によってブレード1が回転し、その回転がハブ4を介してナセル3内の動力伝達軸に伝わり、ナセル3内の発電機が駆動される。

[0017] ブレード1は、タワー2に衝突しにくいように、タワー2から離れる向き

に先端側をあらかじめ曲げた構成（プリベンド）となっても良い。なお、プリベンドの場合の風車ブレード長さ方向とは、ブレード根元の断面の重心と、プリベンドの開始位置までの範囲でハブへの固定部分から最も離れている部分の断面の重心と、を繋ぐ直線の方角のことを指す。

[0018] 図2は、本発明の一実施形態である風車ブレード1を、ブレード長さ方向に垂直な面で切った場合の断面を含めて示す斜視図である。風車ブレード1は、加圧側スキンと収縮側スキンとからなるスキン15と、加圧側スキンの内側に接して配置された加圧側スパーキャップと、収縮側スキンの内側に接して配置された収縮側スパーキャップと（図2中、加圧側スパーキャップと収縮側スパーキャップとを併せてスパーキャップ12として示している）、加圧側スパーキャップおよび収縮側スパーキャップとに両端で接合されたシェアウェブ11とを有する。

[0019] シェアウェブ11は、ブレード1の内壁に沿ってブレード長さ方向に延在するスパーキャップ12を介して、ブレード1に接合されている。

[0020] シェアウェブ11の構成は特に限定されるものではないが、コア材とスキン材からなるサンドイッチ構造を有するものが好適に用いられる。サンドイッチ構造のコア材としてはバルサなどの木材や発泡樹脂材が、スキン材としては強化繊維織物を含む繊維強化樹脂などが好ましく使用される。

[0021] 本発明において、スパーキャップ12は、強化繊維（典型的には一方向に配列された強化繊維）に樹脂が含浸してなるコンポジット材から本質的に構成されている。より具体的には、スパーキャップ12は、長尺平板上のコンポジット材を、長さ方向、幅方向および高さ方向に複数枚連結することによって構成され、風車ブレードのスキン15の内側におけるシェアウェブ11と接合する部分を補強している。ここで「本質的」とは、スパーキャップが強化繊維に樹脂が含浸してなるコンポジット材を含んでいる限り、他の材料（例えばコンポジット材とコンポジット材との間に存在する接着剤などがあげられる）を含んでいてもよいことを意味する。また、本発明においては、加圧側スパーキャップおよび収縮側スパーキャップの少なくとも一方が前述

のコンポジット材から構成されていればよいが、加圧側スパーキャップおよび収縮側スパーキャップの両方が前述のコンポジット材から構成されていることが好ましい。

[0022] スパーキャップの成形方法としては、ブレードの外形となるスキン15の上にスパーキャップ12の材料となる多数のコンポジット材を長さ方向、幅方向および高さ方向に配列し、上型となるフィルムで被覆し、下型として機能するスキン15との間に形成された空間の気密性を保った上で、真空圧によってコンポジット材の間に樹脂を充填させることでそれらコンポジット材を樹脂で連結する、レジニンフュージョン法が好適である。

[0023] 本発明においては、スパーキャップを構成するコンポジット材は、強化繊維として炭素繊維を含んでいることが好ましい。コストを抑える観点からは、炭素繊維に加えガラス繊維等の他の強化繊維が併用されたものであってもよい。強化繊維として炭素繊維のみを含むコンポジット材の場合、中でも、弾性率350GPa以上の炭素繊維を用いたコンポジット材の場合、本発明の効果が特に顕著に発現する。一方で、炭素繊維の強度などの観点から、炭素繊維の弾性率は420GPa以下が好ましい。なお、本発明における強化繊維の弾性率はJIS R7606(2000)に従って測定した値である。

[0024] 本発明におけるコンポジット材の弾性率は140GPa以上が好ましく、より好ましくは175GPa以上である。一方で強度などの観点から235GPa以下が好ましい。なお、本発明におけるコンポジットの弾性率はJIS K7161(2014)に従って測定した値である。

[0025] コンポジット材に含まれる樹脂は、特に限定されず、エポキシ系樹脂、不飽和ポリエステル系樹脂、ビニルエステル系樹脂等の熱硬化性樹脂に加えて、ポリアミド系樹脂、ポリオレフィン系樹脂、ポリエステル系樹脂、ポリフェニレンスルフィド系樹脂、ABS系樹脂、ポリカーボネート系樹脂、ポリアセタール系樹脂、ポリブチレンテレフタレート系樹脂等の熱可塑性樹脂が挙げられる。特に、ビニルエステル系樹脂は成形性と力学特性とのバランス

に優れているため好ましく、また、エポキシ系樹脂は力学特性と炭素繊維との接着性に優れるため好ましい。

[0026] コンポジット材における強化繊維の体積含有量は、必要となる弾性率および強度が得られれば限定されるものではないが、45～75 vol%の範囲にあると成形性を維持しつつコンポジット材の弾性率を高めることができるため好ましい。より好ましくは55～72 vol%の範囲である。

[0027] スパーキャップ12の最大厚さ t_{max} は、90 mm以下とすると、ブレードの曲げ剛性とブレード製造時の樹脂含浸性とのバランスをとることができるため好ましい。 t_{max} を90 mm以下とすることにより、樹脂含浸時に未含浸の部分が生じるなどの不具合が生じにくくなるため好ましい。 t_{max} が80 mm以下であると、製造時に樹脂の未含浸などの不具合が生じる可能性がさらに小さくなり好ましい。一方で、 t_{max} はブレードに必要な剛性の観点から、50 mm以上であることが好ましい。なお、スパーキャップ12の厚さ t は、スパーキャップ幅方向において中央から±20%の範囲で測定する。

[0028] スパーキャップが最も厚くなる位置については、 r/L が0.3～0.5の位置において t_{max} となるよう設計すると、ブレードに必要な剛性が得られやすいため好ましい。より好ましくは、 r/L が0.35～0.45の位置において t_{max} となるよう設計する。

[0029] 本発明において、少なくとも一方のスパーキャップは、ブレード長 L 、コンポジット材の弾性率 E と、スパーキャップの最大厚さ t_{max} とから、下記式(1)により算出される値が3.0以上6.0未満であり、かつ、下記の定義による板厚変化率の最大値が5.0以下である。

[0030]
$$L^4 / (t_{max}^3 \times E) \quad \dots (1)$$

なお、ブレード長 L とスパーキャップ長は同じである。

[0031] 式(1)は材料力学の単純板形状片持ち梁のたわみ量計算式(2)から導き出されており、

$$\text{たわみ量} = q L^4 / (8 \times E \times I) \quad \dots (2)$$

ここで q は単位面積あたりにかかる荷重、 L と E は梁の長さとは構成材料の

弾性率を示している。 I は断面二次モーメントで梁の幅 b と厚さ t から導きだされる。実際のブレードはスパークアップ以外にスキンやリブなど多数の部品で構成され、それぞれにおいて E と I が異なり、それらを組み合わせた複雑な設計を要求されるが、筆者らは鋭意検討の結果、それらの中からブレードの長さ L 、スパークアップの最大厚さ t_{max} 、および、スパークアップの弾性率 E が特に支配的であることを見出し、式(1)を導出した。

[0032] 式(1)の値が3.0未満であると、スパークアップが厚すぎる、あるいは、コンポジット材の弾性率が大きすぎることにより、ブレードが変形した際に大きなせん断応力が発生し、コンポジット材の剥離の問題が生じる。一方、式(1)の値が6.0以上であると、スパークアップが薄すぎる、あるいは、コンポジット材の弾性率が小さすぎてブレードの剛性が足りず、ブレードが大きく変形することによってやはり大きなせん断応力が発生し、コンポジット材の剥離の問題が生じる。すなわち、式(1)の単位は $m / (N / m^2)$ となり、単位面積・荷重当たりのたわみ量を意味するが、本発明においてはこの式によって算出される値が上記した特定範囲内となるようにスパークアップ・風車ブレードを製造することで、特に高弾性率の繊維強化樹脂をスパークアップに用いた場合に問題となるスパークアップの剥離破壊を抑制することができる。式(1)の値は、より好ましくは3.5以上5.0未満である。なお、式(1)においては、ブレード長 L は m 、弾性率 E は GPa 、スパークアップ最大厚さ t_{max} は mm を計算の単位として用いる。

[0033] また、本発明においてスパークアップは板厚変化率の最大値が5.0以下である。スパークアップの板厚変化率とは、スパークアップの根元からの距離 r が r_1 （ここで r_1 は任意の距離）であるときのスパークアップ厚さを t_1 、距離 r_1 から距離 $0.5L$ だけ先端側もしくは反対側に離れた位置でのスパークアップ厚さを t_2 としたとき、 $(t_2 - t_1) / 0.5$ の絶対値で表される値であって、スパークアップの厚み変化のなだらかさを示す指標である。スパークアップの板厚 t のプロファイル（ブレード長さ方向におけるスパークアップの厚さ分布）を説明するため、図3(A)に風車ブレード

の側面図を示すとともに、当該側面図に対応する風車根元からの距離 r におけるスパーキャップ厚さ t を模式的なグラフとして図3（B）に示す。本発明においては、スパーキャップの板厚変化率の最大値を5.0以下とする。スパーキャップの板厚変化率が小さい、すなわちスパーキャップの厚さの遷移がなだらかであると、コンポジット材間の剥離が抑えられる。板厚変化率が5.0を超えると、ブレードが曲げ変形を生じている際にこの部分に高いせん断応力が発生し、特に高弾性率の炭素繊維を用いたコンポジット材の場合は、コンポジット材同士の間で剥離が発生してブレードが損壊しやすくなる。板厚変化率の最大値は、好ましくは4.0以下である。板厚変化率の下限値は特に限定されないが、板厚変化率の最大値が2.0未満であることは、スパーキャップの板厚がほぼ一様であることを示しており、最低限必要な剛性を確保するためには本来不要な部分にまで過剰にコンポジット材を配置していることを意味するため、一般的には好ましくない。板厚変化率が最大となる位置は、スパーキャップが最大厚さ t_{max} となる位置よりも根元側に存在することが好ましい。

[0034] 本発明においては、加圧側スパーキャップおよび収縮側スパーキャップの少なくとも一方が前述の構成を有するスパーキャップであればよいが、加圧側スパーキャップおよび収縮側スパーキャップの両方が前述の構成を有するスパーキャップであることが好ましい。

[0035] 以上のような本発明の構成は、ブレード長が130m以上の風車の場合に前述の剥離の問題が特に顕在化するため、ブレード長が130m以上のブレードに適用することが特に好ましい。ブレード長が130m以上のブレードにおいて上記の構成を採用する場合に本発明の効果が顕著に発揮される。また、上記した本発明の構成は、ブレードの曲げ変形のみならずねじり変形に対しても同様に効果を発揮する。一方、ブレード長は風車全体最適設計の観点から150m以下が好ましい。

実施例

[0036] 実施例として、コンピュータシミュレーションによって本発明の効果を検

証した例を以下に示す。

[0037] (評価方法)

スパークアップに発生する最大せん断応力を図4に示すように評価した。すなわち、図4(A)の模式図に示すように、風車ブレードの表面に、風(図中矢印で示す)を想定した分布荷重5778Paを与えた。そして、風車ブレード根元端部13を一周完全に拘束した時に、風車ブレード先端部14のx方向変位量を評価した。ここで風車ブレードの表面とは、図4(B)に示す通り、風車をxy平面で見たときに風荷重を受けると想定される表面であり、図4(C)に示す通りyz平面に投影される面を指す。

[0038] シミュレーションには、SIEMENS社製の構造解析ソフトウェア「NX Nastran」を使用した。風車としては、National Renewable Energy Laboratory(NREL)が公開している風車モデル「Definition of the IEA Wind 15MW Offshore Reference Wind Turbine」をベースとし、風車ブレードは図2に示すようにスキンとスパークアップとシェアウェブとで構成し、スパークアップは一方向に配した炭素繊維に樹脂を含浸したコンポジット材で構成した。なお、全ての実施例および比較例において、ブレード長は140mに設定した。

[0039] 解析に使用したコンポジット材の風車ブレード長さ方向の弾性率E、および、スパークアップの最大厚さ t_{max} を表1に示す。スパークアップの厚さプロファイルは、モデルのプロファイルをベースとした。モデルのプロファイルは、図3(B)に示すようなものであり、 t_{max} の位置(t_{max} のときのブレード根元からの距離) r はモデルの位置 r と同じとし(よって t_{max} の位置は r/L が0.37の位置にある)、実施例・比較例では t_{max} の値を変更した。そして、 t_{max} の位置から根元方向へは、実施例・比較例に記す板厚変化率に沿って厚さを定義していき、モデルで定義される根元の厚さに到達した位置から根元部へはモデルで定義される根元の厚さで一定とした。 t_{max} の位置からブレード先端方向へは、モデルで定義される先端の板厚に対して一律

の変化率で板厚を定義した。

[0040] コンポジット材の長さ方向の弾性率 E は、実施例1～3および比較例1～6では想定した炭素繊維の弾性率に体積含有量60%をかけた値とし、実施例4～6では体積含有量70%を掛けた値とした。

[0041] 表1の物性を上記解析モデル上でスパーキャップに相当するcarbon UD1とcarbon UD2に入力し、計算結果からcarbon UD1とcarbon UDに発生するX方向応力の差分をスパーキャップ内に発生するせん断応力とした。発生するせん断応力の最大値を、一般的にコンポジット材の剥離強度とみられる20Mpa、および、疲労まで考慮した安全強度17Mpaとそれぞれ比較した。

[0042]

[表1]

【表1】	入力条件					解析結果		備考
	炭素繊維の 弾性率 (GPa)	コンポジット材の 弾性率E (GPa)	体積含有率 (%)	スパークキャップの 最大厚さ t_{max} (mm)	式(1)の値	板厚変化率 の最大値	発生する 最大せん断応力 (MPa) ※	
実施例1	258	155	60	90	3.40	4.6	13.3	30.2
比較例1	258	155	60	100	2.50	4.6	15.2	29.8 成形不可
比較例2	258	155	60	90	3.40	7.0	20.4	30.2 剥離あり
実施例2	378	227	60	76	3.86	4.3	19.9	30.3
実施例3	378	227	60	76	3.86	3.0	16.8	30.2
比較例3	378	227	60	76	3.86	7.0	21.9	30.4 剥離あり
比較例4	378	227	60	60	7.83	4.3	18.2	35.2 タワーヒットあり
実施例4	258	180	70	86	3.36	4.6	13.7	30
実施例5	258	180	70	83	3.73	3.8	11.8	30.2
実施例6	258	180	70	74	5.27	4.6	17.3	32.2
比較例5	258	155	60	74	6.12	4.6	18.3	35.3 タワーヒットあり
比較例6	378	227	60	84	2.86	4.9	20.2	30.1 剥離あり

[0043] (実施例1)

弾性率258GPaの炭素繊維を含むコンポジット材を想定し、繊維方向

がブレード長さ方向となるよう、かつ、スパーキャップ最大厚さ t_{max} が表 1 に記載の値となるようコンポジット材を積み重ねた構成を想定して、表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。

[0044] 解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 30.2 m で、タワーとのクリアランスは充分であった。また、発生した最大せん断応力は 13.3 MPa で、剥離強度と想定される 20 MPa を大きく下回った。

[0045] （比較例 1）

t_{max} を 100 mm に変えた以外は実施例 1 と同じように表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 29.8 m で、タワーとのクリアランスは充分であったが、スパーキャップ最大厚さが厚すぎて実際の成形は困難になる。

[0046] （比較例 2）

スパーキャップ板厚変化率の最大値を 7.0 に変えた以外は実施例 1 と同じように表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 30.2 m で、タワーとのクリアランスは充分であったが、発生した最大せん断応力は 20.4 MPa となり、スパーキャップに剥離破壊が発生してしまう値となった。

[0047] （実施例 2）

実施例 1 のコンポジット材を、強化繊維に弾性率の高い炭素繊維に変更した構成を想定して、 t_{max} と板厚変化率の最大値を表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 30.3 m で、タワーとのクリアランスはさらに余裕があった。また、発生した最大せん断応力は 19.9 MPa となり、剥離強度と想定される 20 MPa を下回った。

[0048] （実施例 3）

板厚変化率の最大値を 3.0 に変えた以外は実施例 2 と同じように表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 30.2 m でタワーとのクリアランスは十分に

あった。また、発生した最大せん断応力は 16.8 MPa となり、剥離強度と想定される 20 MPa を下回った。

[0049] (比較例 3)

板厚変化率の最大値を 7.0 に変えた以外は実施例 2 と同じように表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 30.4 m でタワーとのクリアランスは十分であったが、発生した最大せん断応力は 21.9 MPa となり、スパーキャップに剥離破壊が発生してしまう値となった。

[0050] (比較例 4)

t_{max} を 60 mm に変えた以外は実施例 2 と同じように表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 35.2 m となり、タワーヒットが発生してしまうたわみ量となった

(実施例 4)

体積含有率を 70% に、 t_{max} を 86 mm に変えた以外は実施例 1 と同じように表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 30.0 m で、タワーとのクリアランスは充分であった。また、発生した最大せん断応力は 13.7 MPa で、剥離強度と想定される 20 MPa を大きく下回った。

[0051] (実施例 5)

t_{max} を 83 mm に、板厚変化率を 3.8 に変えた以外は実施例 4 と同じように表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（たわみ量）は 30.2 m で、タワーとのクリアランスは充分であった。また、発生した最大せん断応力は 11.8 MPa で、剥離強度と想定される 20 MPa をさらに大きく下回った。

[0052] (実施例 6)

t_{max} を 74 mm に変えた以外は実施例 4 と同じように表 1 に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端の X 方向変位量（

たわみ量)は32.2mで、タワーとのクリアランスは確保できた。また、発生した最大せん断応力は17.3MPaで、剥離強度と想定される20MPaを下回った。

[0053] (比較例5)

t_{max} を74mmに変えた以外実施例1と同じように表1に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端のX方向変位量(たわみ量)は35.3mで、タワーヒットが発生してしまうたわみ量となった。

[0054] (比較例6)

t_{max} を84mmに、板厚変化率を4.9に変えた以外実施例2と同じように表1に従って物性値を入力し、シミュレーションを行った。解析の結果、翼先端のX方向変位量(たわみ量)は30.1mで、タワーとのクリアランスは充分であったが、発生した最大せん断応力は20.2MPaで、スーパーキャップに剥離が発生してしまう値となった。

符号の説明

[0055]	1	風車ブレード
	2	タワー
	3	ナセル
	4	ハブ
	11	シェアウェブ
	12	スーパーキャップ
	13	風車ブレード根元部
	14	風車ブレード先端部
	15	スキン
	L	風車ブレードのブレード長
	r	風車ブレード根元からの距離
	t	距離rにおけるスーパーキャップ厚さ
	t_{max}	スーパーキャップの最大厚さ

請求の範囲

- [請求項1] 加圧側スキンの内側と、収縮側スキンの内側とにそれぞれ接して配置されたスパークアップを有する風車ブレードであって、
前記スパークアップの少なくとも一方は、
強化繊維に樹脂が含浸してなるコンポジット材から本質的に構成され、
前記風車ブレードのブレード長 L と、前記コンポジット材の弾性率 E と、前記スパークアップの最大厚さ t_{max} とから、下記式（１）により算出される値が 3.0 以上 6.0 未満であり、かつ、
下記の定義による板厚変化率の最大値が 5.0 以下である、
風車ブレード。
$$L^4 / (t_{max}^3 \times E) \quad \dots (1)$$

板厚変化率：ブレード根元からの距離 r が r_1 におけるスパークアップ厚さを t_1 、 r_1 から距離 $0.5L$ だけ離れた位置におけるスパークアップ厚さを t_2 としたとき、 $(t_2 - t_1) / 0.5$ の絶対値で表される値
- [請求項2] 前記式（１）により算出される値が 3.5 以上 5.0 未満である、請求項１に記載の風車ブレード。
- [請求項3] 前記板厚変化率の最大値が 4.0 以下である、請求項１または２に記載の風車ブレード。
- [請求項4] 前記ブレード長 L が 130 m以上である、請求項１または２に記載の風車ブレード。
- [請求項5] 前記スパークアップの最大厚さ t_{max} が 90 mm以下である、請求項１または２に記載の風車ブレード。
- [請求項6] 前記スパークアップは、 r/L が $0.3 \sim 0.5$ の位置において最も厚くなるよう構成される、請求項１または２に記載の風車ブレード。
- [請求項7] 前記コンポジット材が、一方向に配列された強化繊維に樹脂が含浸

してなるコンポジット材である、請求項 1 または 2 に記載の風車ブレード。

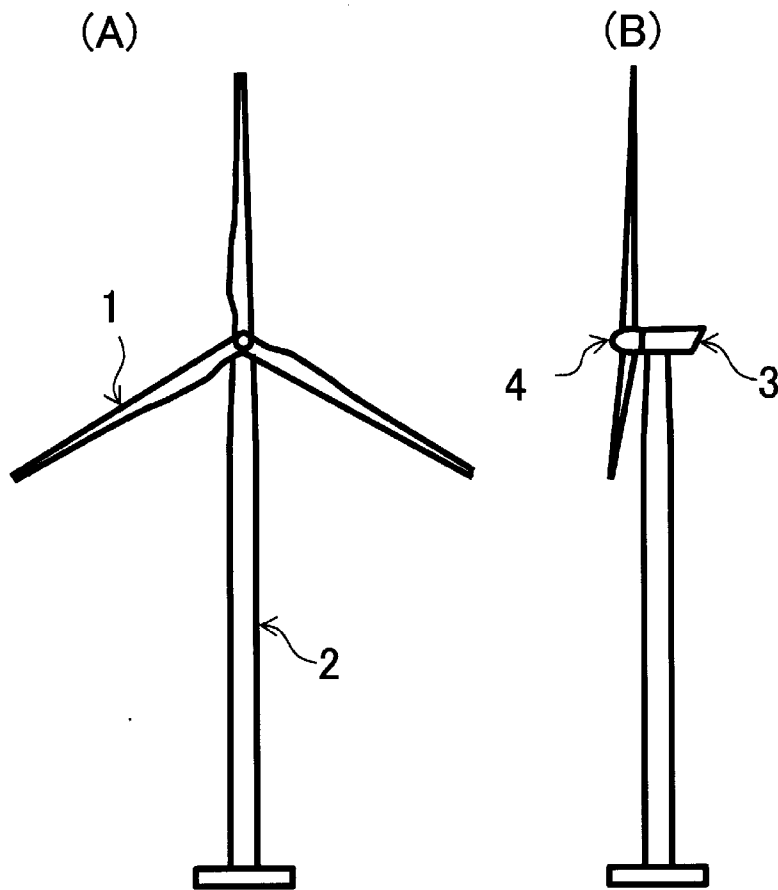
[請求項8] 前記コンポジット材に含まれる強化繊維が炭素繊維である、請求項 1 または 2 に記載の風車ブレード。

[請求項9] 前記炭素繊維の弾性率 E が 350 GPa 以上である、請求項 8 に記載の風車ブレード。

[請求項10] 請求項 1 または 2 に記載の風車ブレードを備えた風力発電用風車。

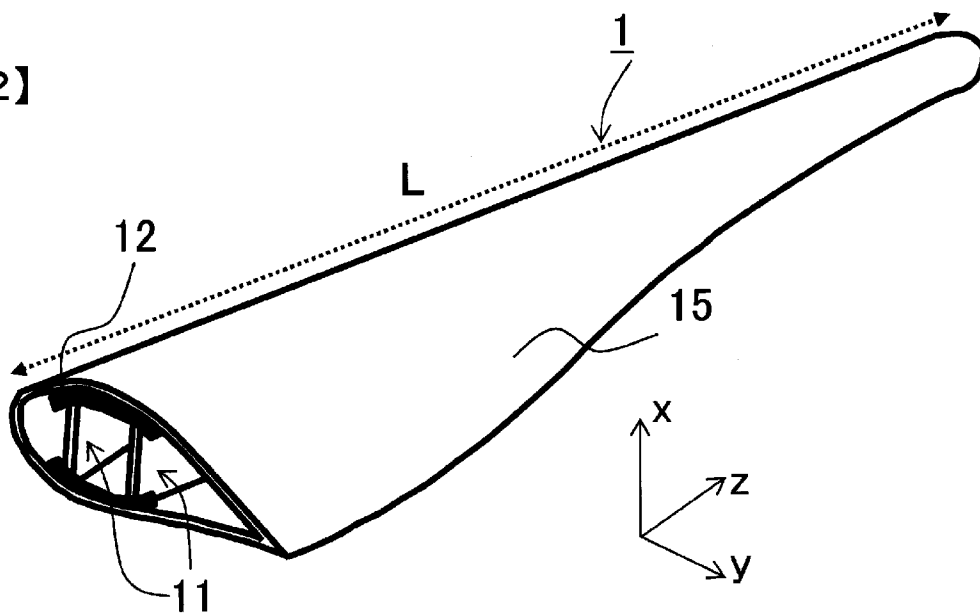
[図1]

【図1】



[図2]

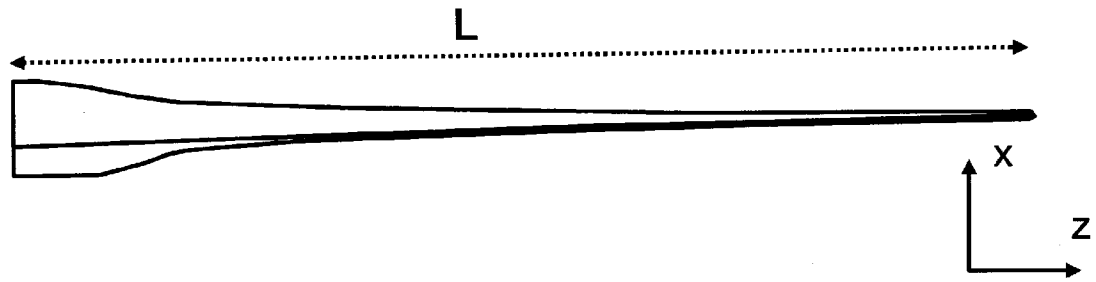
【図2】



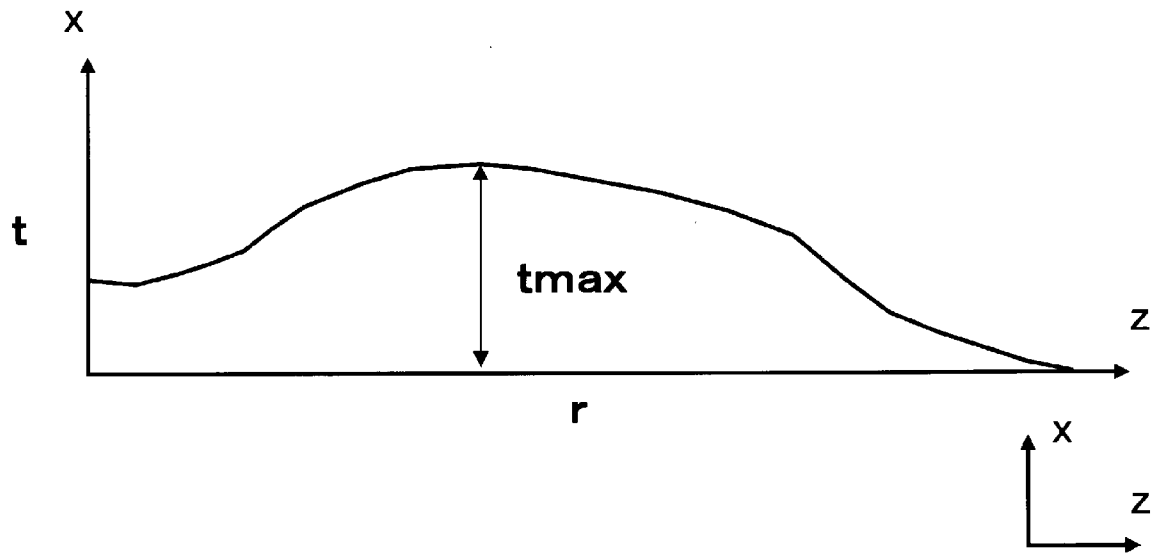
[図3]

【図3】

(A)

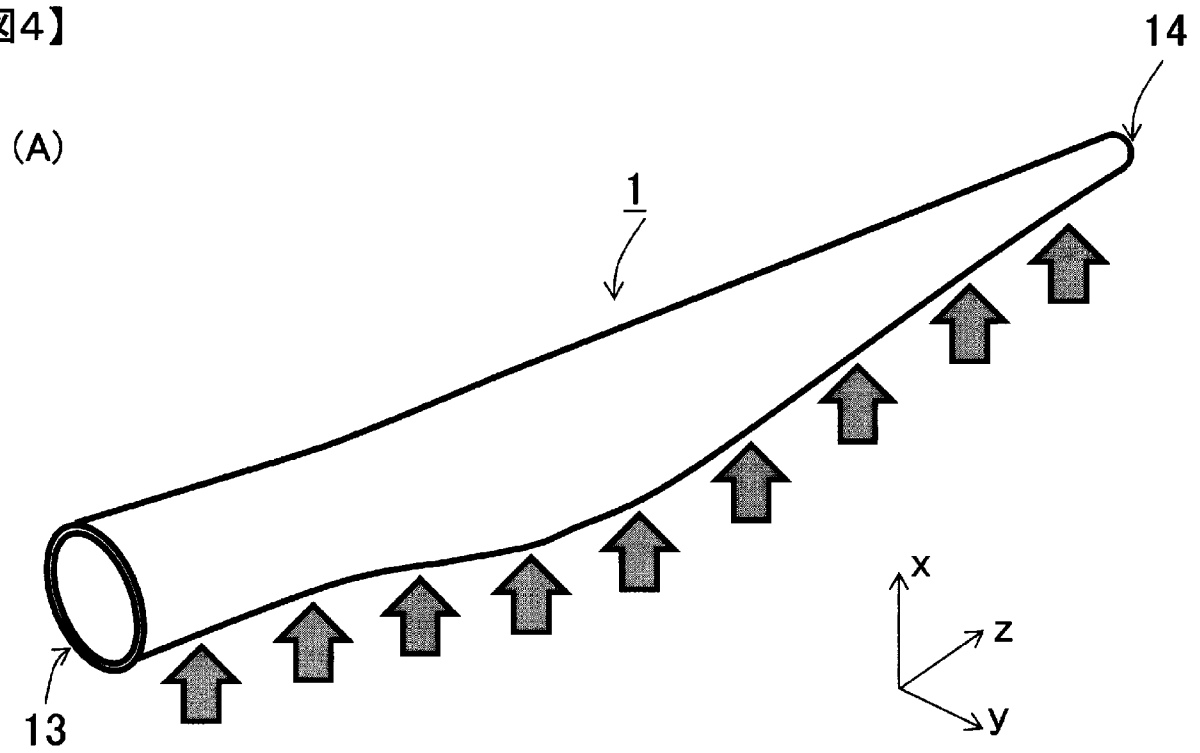


(B)

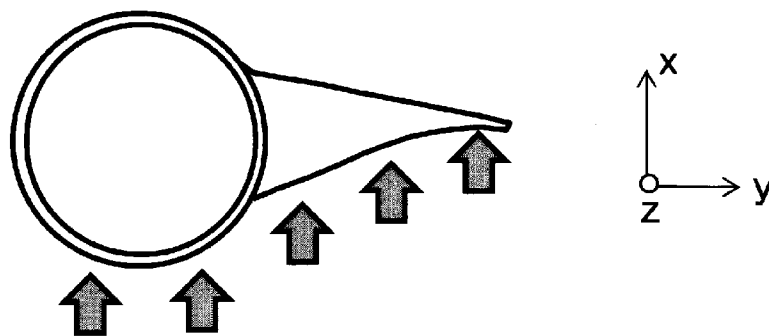


[図4]

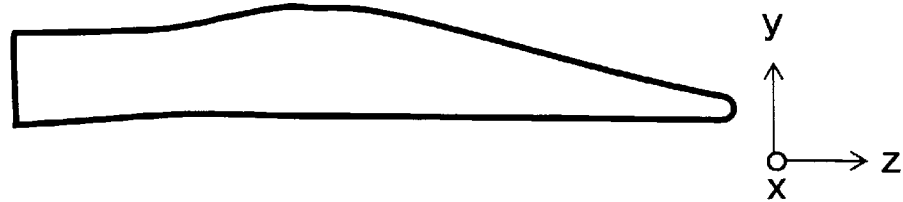
【図4】



(B)



(C)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/020825

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F03D 1/06 (2006.01)i FI: F03D1/06 A According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F03D1/06 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2004-308643 A (EBARA CORPORATION) 04 November 2004 (2004-11-04) paragraphs [0080]-[0098], [0102]-[0106], fig. 20-21	1-10
A	US 2014/0271217 A1 (MODULAR WIND ENERGY INC.) 18 September 2014 (2014-09-18)	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 July 2024		Date of mailing of the international search report 06 August 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/020825

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2004-308643	A	04 November 2004	(Family: none)	
US	2014/0271217	A1	18 September 2014	EP	2778393 A2

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

F03D 1/06(2006.01)i
FI: F03D1/06 A

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
F03D1/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
日本国実用新案公報 1922 - 1996年
日本国公開実用新案公報 1971 - 2024年
日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年
日本国登録実用新案公報 1994 - 2024年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2004-308643 A (株式会社荏原製作所) 04.11.2004 (2004 - 11 - 04) 段落0080 - 0098, 0102 - 0106, 図20 - 21	1-10
A	US 2014/0271217 A1 (MODULAR WIND ENERGY, INC.) 18.09.2014 (2014 - 09 - 18)	1-10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24.07.2024

国際調査報告の発送日

06.08.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

所村 陽一 30 2448

電話番号 03-3581-1101 内線 3316

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/020825

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2004-308643	A	04.11.2004	(ファミリーなし)			
US	2014/0271217	A1	18.09.2014	EP	2778393	A2	