

(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2017-166359

(P2017-166359A)

(43) 公開日 平成29年9月21日(2017.9.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
F03D 80/30 (2016.01)	F03D 80/30	3H178
F03D 1/06 (2006.01)	F03D 1/06	A 4F205
B29C 70/06 (2006.01)	B29C 67/14	P
B29K 105/08 (2006.01)	B29K 105:08	
B29L 31/08 (2006.01)	B29L 31:08	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-50289 (P2016-50289)
 (22) 出願日 平成28年3月14日 (2016.3.14)

特許法第30条第2項適用申請有り 平成28年電気学会全国大会 講演論文集 第1分冊第140, 141頁、第142, 143頁、第201頁

(71) 出願人 598015084
 学校法人福岡大学
 福岡県福岡市城南区七隈8丁目19番1号
 (74) 代理人 100099634
 弁理士 平井 安雄
 (72) 発明者 花井 正広
 福岡県福岡市城南区七隈8丁目19番1号
 学校法人福岡大学内
 (72) 発明者 西嶋 喜代人
 福岡県福岡市城南区七隈8丁目19番1号
 学校法人福岡大学内
 (72) 発明者 松本 宇生
 福岡県福岡市城南区七隈8丁目19番1号
 学校法人福岡大学内

最終頁に続く

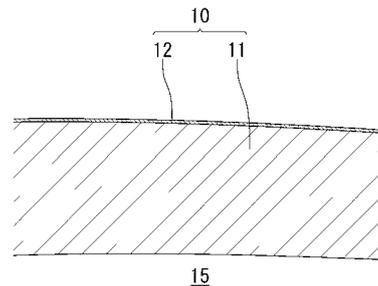
(54) 【発明の名称】 風力発電装置用ブレード及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 ブレード表面に十分な厚さの絶縁被覆材を配設して、落雷による放電がブレード内部に貫通せず、ブレードの破損を防げる風力発電装置用ブレードを提供する。

【解決手段】 落雷のような高電圧の放電が薄板又はシート表面に達する状況でも、薄板又はシートが高分子材製で所定厚さ以上とされると、放電による薄板又はシートの貫通を抑えられる知見に基づいて、風力発電装置のFRP製ブレード表面に十分な厚さの高分子材製の絶縁被覆材12を配置して表面全体を覆うことで、絶縁被覆材12表面への放電の影響で絶縁被覆材12の裏面側が高電界となる事態を回避でき、放電が絶縁被覆材12を貫通せずに絶縁被覆材表面側のみ進展する状態が得られ、放電が絶縁被覆材12に覆われたFRP製のブレード本体11を貫通してブレード内部に到達することはなく、放電に起因する熱でブレード10の内部の圧力が高くなる事態を招かず、ブレード10の破損を未然に防止できる。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

風力発電装置の羽根車をなす複数のブレードにおいて、
繊維強化プラスチック製のブレード本体に、合成高分子からなる厚さ 0.5 mm 以上の伸縮変形可能な一層の絶縁被覆材を被覆配設することを
特徴とする風力発電装置用ブレード。

【請求項 2】

前記請求項 1 に記載の風力発電装置用ブレードにおいて、
前記絶縁被覆材が、可撓性を有するシート体とされ、ブレード本体表面に貼り付けて配設されることを
特徴とする風力発電装置用ブレード。

10

【請求項 3】

前記請求項 1 又は 2 に記載の風力発電装置用ブレードにおいて、
前記絶縁被覆材が、紫外線を透過させない材質であることを
特徴とする風力発電装置用ブレード。

【請求項 4】

前記請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の風力発電装置用ブレードにおいて、
前記絶縁被覆材が、アブレーション性を有する材質であることを
特徴とする風力発電装置用ブレード。

【請求項 5】

前記請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の風力発電装置用ブレードにおいて、
前記絶縁被覆材の外側に、当該絶縁被覆材とは異なる材質からなる外層材を被覆配設することを
特徴とする風力発電装置用ブレード。

20

【請求項 6】

風力発電装置用のブレードの製造方法において、
繊維強化プラスチックで形成されたブレード本体の表面に、合成高分子からなる厚さ 0.5 mm 以上の伸縮変形可能な一層の絶縁被覆材を被覆配設する工程を少なくとも有することを
特徴とする風力発電装置用ブレードの製造方法。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、風力発電装置の繊維強化プラスチック製ブレードに関する。

【背景技術】**【0002】**

風力発電装置は、風力を利用して羽根車（風車）を回転させ、その回転力で発電機を作動させて発電を行うものであり、環境負荷が比較的小さいことから、近年その設置使用が増えている。風力発電装置としては、一般に、水平軸プロペラ型風車タイプのものが、その発電効率の良さから多く採用されている。

40

【0003】

この従来の風力発電装置は、複数枚のブレード（羽根）を中心のハブで連結一体化した羽根車を、支柱により風を受けやすい高所に回転可能に支持し、同じく支柱に支持された発電機を羽根車の回転力で駆動して発電を行う構成である。発電機は支柱の上部に設けられたナセル内に配置されて、ハブと回転軸を通じて接続される。

【0004】

こうした風力発電装置のブレードには、一般に繊維強化プラスチック（FRP）が使用されている。ブレードを軽量で強度面でも優れる FRP 製とすることで、発電に有利な大型の羽根車の製造も可能になっており、近年ではブレード長が 40 m を超えるような大型の風力発電装置も使用されるようになってきている。

50

【0005】

ただし、風力発電装置が大型になると共に、落雷による被害も増加している。風力発電装置では、落雷により制御系装置等が故障するだけでなく、ブレードの破損も起り得る。ブレードの破損は、雷の放電がブレードを貫通し、ブレード内部に大電流が流れるのに伴い、この電流により発生する大量の熱量でブレード内部の空気が爆発的に膨張することで、ブレードを形成するFRPを内側から破裂させることが主な原因である。

【0006】

大型の風力発電装置では、破損により交換されるブレード自体の部品としてのコストだけでなく、ブレードの交換作業に要するコストも大きなものとなり、また交換の間は発電機の作動を停止させることで発電による受益が見込めなくなることから、こうした落雷によるブレードの破損を防ぎ、発電機を停止させないようにする試みが従来からなされてきた。

10

【0007】

落雷によるブレード破損を防ぐために、従来から、ブレード表面や内部に金属等の導電性部材を配設し、ブレードへの落雷の際には、放電電流がブレードの導電性部材の部位を流れてハブや支柱に向かい、さらに地面へ到達することで、落雷の放電がブレードをなすFRPに影響を与えないようにする構成が提案されている。このような従来の落雷による破損の防止を図った風力発電装置用ブレードの一例として、特開2004-245174号公報や特開2008-115783号公報に記載されるものがある。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2004-245174号公報

【特許文献2】特開2008-115783号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

従来の風力発電装置用ブレードは、前記各特許文献に示される構成とされており、特に、前記特許文献1に記載のものは、ブレード表面全面に導電性材料の被膜を配設することで、落雷を受けても、雷のエネルギーをブレード全面に分散でき、ブレードが破損するのを防止できる、とされている。ただし、ブレード表面の導電性被膜は、実際には落雷の極めて強力な放電の影響で蒸発したり剥がれるなど何らかの形で損傷することが多く、仮にこの被膜が損傷した状態を放置すると、次に落雷があった際に電流がブレード表面を流れる状態を得にくくなり、ブレードの破損に繋がるおそれがある。

30

【0010】

従って、一度落雷した場合には、次の新たな落雷でブレードが破損しないよう、再度導電性材料を配設するのが望ましい。しかしながら、既設の風力発電装置のブレード表面に導電性材料を塗布等により配設する作業は、装置が大型であるほど時間やコストがかかってしまうという課題を有していた。

【0011】

また、前記特許文献2に記載されるような、ブレード表面に露出する導電性材料製の受雷部（レセプタ）と、この受雷部及びハブ側接地経路に接続されてブレード内部に設けられる導電線（ダウンコンダクタ）との組合せにより、落雷時に電流を地面に逃がし、ブレードの破損を防ぐ構造も従来から数多く提案されている。しかし、こうした従来構造の受雷部や導電線としては通常は金属材が用いられることもあり、ブレードの重量増が避けられず、発電効率の低下に繋がると共に、高速回転するブレードをその増大した重量分の荷重に耐え得る強度として、破損分解や部品脱落等の危険な事態が生じないようにする必要があり、ブレード全体のコストが上昇してしまうという課題を有していた。

40

【0012】

本発明は前記課題を解消するためになされたもので、ブレード表面に十分な厚さの絶縁

50

被覆材を配設して、落雷による放電がブレード内部に貫通せず、ブレードの破損を防げる風力発電装置用ブレード、及び当該ブレードの製造方法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】

本発明に係る風力発電装置用ブレードは、風力発電装置の羽根車をなす複数のブレードにおいて、繊維強化プラスチック製のブレード本体に、合成高分子からなる厚さ0.5m以上の伸縮変形可能な一層の絶縁被覆材を被覆配設するものである。

【0014】

このように本発明によれば、落雷のような高電圧の放電が薄板又はシート表面に達する状況では、この薄板又はシートにおける放電を受ける表面所定箇所の裏面側部分が放電の影響で高電界になり、裏面側部分でも放電が進展して薄板又はシートを貫通する事態が起こり得る一方、薄板又はシートが高分子材製で所定厚さ以上とされると、薄板又はシートの裏面側で高電界とならず放電の貫通を抑えられる事象を本願発明者が知見したことに基づいて、風力発電装置のFRP製ブレードに十分な厚さの高分子材製の絶縁被覆材を配置して全体を覆うことにより、絶縁被覆材表面への放電の影響で絶縁被覆材におけるFRPと接する裏面側が高電界となる事態を回避でき、放電が絶縁被覆材を貫通せずに絶縁被覆材表面側にのみ進展する状態が得られ、放電が絶縁被覆材に覆われたFRP製のブレード本体を貫通してブレード内部に到達することはなく、放電に起因する熱でブレードの内部の圧力が高くなる事態を招かず、ブレードの破損を未然に防止できる。

10

【0015】

また、ブレードに高分子材製の絶縁被覆材を被覆配設する以外に、落雷対策として金属材料等の導電性部材をブレード表面や内部に設ける必要は無く、ブレード全体の軽量化が図れ、ブレードの負荷も小さくなる分、構造を簡略化できることで、製造コストが抑えられると共に、軽量化でブレードの動きもスムーズとなり、発電効率を高くすることができる。

20

【0016】

また、本発明に係る風力発電装置用ブレードは必要に応じて、前記絶縁被覆材が、可撓性を有するシート体とされ、ブレード本体表面に貼り付けて配設されるものである。

【0017】

このように本発明によれば、絶縁被覆材をシート体としてブレード本体に貼り付けることでブレード本体を被覆可能とすることにより、絶縁被覆材のブレード本体表面への配設が容易となり、絶縁被覆材の配設作業の能率を高めて作業時間の短縮が図れると共に、仮に劣化した場合の新たな絶縁被覆材との交換作業も効率よく行える。

30

【0018】

また、本発明に係る風力発電装置用ブレードは必要に応じて、前記絶縁被覆材が、紫外線を透過させない材質とされるものである。

【0019】

このように本発明によれば、絶縁被覆材が紫外線を通さない材質製とされて、絶縁被覆材各部の紫外線による劣化を抑えられることにより、絶縁被覆材の耐候性を高められ、ブレード表面に絶縁被覆材が存在する状態を可能な限り確保して、表面の絶縁被覆材によるブレードの耐雷機能をより長期にわたって維持できる。

40

【0020】

また、本発明に係る風力発電装置用ブレードは必要に応じて、前記絶縁被覆材が、アブレーション性を有する材質とされるものである。

【0021】

このように本発明によれば、絶縁被覆材をアブレーション材料からなるものとして、絶縁被覆材表面に落雷による放電が達すると、放電電流に起因する熱で一部の絶縁被覆材が分解してガスを発生させる状態、すなわちアブレーションが絶縁被覆材表面に生じることにより、放電電流が発生したガスの影響を受けてブレード表面を離れて進行することとなり、放電による絶縁被覆材の破損を必要最小限に抑えられ、絶縁被覆材の耐久性を高めて

50

この絶縁被覆材によるブレードの耐雷機能を長期にわたり維持できる。

【0022】

また、本発明に係る風力発電装置用ブレードは必要に応じて、前記絶縁被覆材の外側に、当該絶縁被覆材とは異なる材質からなる外層材を被覆配設するものである。

【0023】

このように本発明によれば、絶縁被覆材の外側に他の材質製の外層材を配設し、絶縁被覆材を覆って保護することにより、例えば外層材に紫外線を通さない材質を適用すると、絶縁被覆材の紫外線による劣化を抑えて絶縁被覆材の耐候性を高められ、被覆材によるブレードの耐雷保護機能をより長期にわたって維持できることとなる。さらに、例えば外層材をアブレーション材料からなるものとするれば、ブレード表面に落雷による放電が達すると、放電電流に起因する熱で一部の外層材が分解してガスを発生させる状態、すなわちアブレーションが絶縁被覆材表面側に生じることにより、放電電流が発生したガスの影響を受けてブレード表面を離れて進行することとなり、放電による絶縁被覆材の破損を必要最小限に抑えられ、絶縁被覆材の耐久性を高められる。

10

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の一実施形態に係る風力発電装置用ブレードを適用する風力発電装置の正面図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る風力発電装置用ブレードを適用する風力発電装置の側面図である。

20

【図3】本発明の一実施形態に係る風力発電装置用ブレードの横断面図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る風力発電装置用ブレードの要部拡大断面図である。

【図5】本発明の他の実施形態に係る風力発電装置用ブレードの要部拡大断面図である。

【図6】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験における放電発光状態撮影時の各電極及びバリア板の配置状態説明図である。

【図7】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験における沿面フラッシュオーバー発生時の電圧及び電流波形図である。

【図8】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験での第1の撮影タイミングにおける放電発光状態画像である。

【図9】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験での第2の撮影タイミングにおける放電発光状態画像である。

30

【図10】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験での第3の撮影タイミングにおける放電発光状態画像である。

【図11】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験での第4の撮影タイミングにおける放電発光状態画像である。

【図12】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験での第5の撮影タイミングにおける放電発光状態画像である。

【図13】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験での第6の撮影タイミングにおける放電発光状態画像である。

【図14】本発明の風力発電装置用ブレードに使用されるFRP材製薄板に対する放電試験での第7の撮影タイミングにおける放電発光状態画像である。

40

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の一実施形態に係る風力発電装置用ブレードを前記図1ないし図4に基づいて説明する。

前記各図において本実施形態に係る風力発電装置用ブレード10は、繊維強化プラスチック(FRP)で形成されるブレード本体11と、ブレード本体11の表面にこれを覆うように配設されるシート状の絶縁被覆材12とを備える構成である。

【0026】

前記ブレード10を備える風力発電装置100は、複数枚のブレード10を連結一体化

50

するハブ20と、このハブ20及びブレード10からなる羽根車30を、所定高さ位置に回転可能に支持する支柱40と、同じく支柱40上に支持されてハブ20と回転軸51を通じて接続され、羽根車30の回転力で駆動される発電機50と、内部に発電機50を収納して支柱40の上部に設けられるナセル60とを備える構成である。ブレード10以外の各部は風力発電装置として公知の構成であり、詳細な説明を省略する。

【0027】

また、ブレード10についても、表面部に絶縁被覆材12を設けた点以外の基本的構造は、FRPで形成される一般的な風力発電装置用の翼型断面構造を有し、且つ中空部のあるブレードと同様の構成であり、詳細な説明は省略する。

【0028】

前記絶縁被覆材12は、合成高分子からなる厚さ0.5mm以上の伸縮変形可能で可撓性を有する一層のシート体とされ、ブレード本体11の表面に貼り付けて被覆配設される構成である。詳細には、絶縁被覆材12をなす高分子材としては、例えば、ポリエチレンやポリ塩化ビニル、ポリエチレンテレフタレート(PET)などのプラスチックを用いることができる。

【0029】

絶縁被覆材12は、シート体に限られるものではなく、ブレード本体11表面を隙間無く高密度に覆ってこれに密着でき、且つブレード本体11の変形に追従可能な弾性(伸縮性)を有するものであれば、例えば、可撓性のある薄板製でブレード本体表面形状に合わせて成型されたカバー体として貼着配設したり、合成高分子からなる厚さ0.5mm以上の塗膜として塗布配設する構成とすることもできる。

【0030】

この絶縁被覆材12は、紫外線を透過させない材質とするのが望ましい。具体的には、紫外線を透過させない、すなわち紫外線に対し不透明な材質となる所定の充填材又は着色剤を適量配合した樹脂材とする。充填材としては、例えばカーボンや酸化チタン等を用いることができる。なお、充填材として導電性のあるカーボンを用いる場合には、抵抗率が低くなり過ぎず絶縁性能を維持可能な程度の配合量とするのが望ましい。この他、絶縁被覆材をなす樹脂材に紫外線吸収剤を配合するようにしてもよい。

【0031】

こうして絶縁被覆材12が紫外線を透過させず、紫外線による絶縁被覆材各部の劣化を抑えられることで、絶縁被覆材として耐候性を高められ、ブレード表面に絶縁被覆材が存在する状態を可能な限り確保して、この絶縁被覆材12によるブレードの耐雷保護機能をより長期にわたって維持できる。加えて、絶縁被覆材自体が紫外線を透過させない性質を有することで、紫外線を透過させない別の材質で絶縁被覆材を覆う場合よりブレード全体の構造を簡略化でき、製造コストを抑えられる。

【0032】

また、絶縁被覆材12は、アブレーション性を有する材質とすることもできる。例えば、フッ素樹脂やポリアセタールなどを用いることができる。絶縁被覆材をアブレーション材料にすることで、放電の電流はアブレーションによりブレード表面から離れるため、放電電流による絶縁被覆材の損傷、劣化も抑えられることとなる。そして、絶縁被覆材自体がアブレーション性を有することで、アブレーション性を有する別の材質で絶縁被覆材を覆う場合よりブレード全体の構造を簡略化でき、製造コストを抑えられる。

【0033】

この絶縁被覆材12の厚さは、耐雷性能を確保可能な0.5mm以上の任意の厚さとすることができるものの、厚さが増えるのに伴ってブレード全体の重量も増大する。このため、絶縁被覆材を、一般的な風力発電装置用のブレードに用いられる落雷対策用のレセプタやダウンコンダクタ等の導体部品に置き換わるものと見なして、こうしたブレードに付加された導体部品の重量と同程度の重さになる厚さ、具体的には2ないし3mmまでの厚さとするのが望ましい。

【0034】

10

20

30

40

50

次に、本実施形態に係る風力発電装置用ブレードにおける、放電によるFRP貫通破壊を防止する仕組みについて説明する。

雷のような高電圧の放電が絶縁材を貫通する仕組みは、本願発明者らの絶縁材製薄板に対する放電実験により、以下のようになっていることがわかってきた。すなわち、雷のような高いインパルス電圧が薄板に印加された状態になると、落雷のある外面側に相当する薄板表面側をまず正インパルス沿面コロナが進展する一方、表面側の放電を受ける箇所の反対側にあたる裏面側でも電界が高くなり、この裏面側と接地部との間でもコロナ放電が発生する。その後、薄板表面側でストリーマ放電が進展し、このストリーマが裏面側に高い電界を形成して、裏面側でもストリーマ放電が発生、進展することで、最終的に薄板表裏面間にリーダが進展し、絶縁破壊を生じさせて貫通に至る。

10

【0035】

このため、ブレードの表面近傍の環境に置き換えて考えると、ブレード表面に設けた別の絶縁材製シートがある厚さ以上であれば、落雷に起因するシート表面のストリーマがシートの裏面側に高い電界を形成できないことで、雷の放電がシートを貫通してブレード側へ進行できないこととなり、放電がブレード内部まで達しない状態が得られる。この原理に基づいて、実験で得られた適切な厚さのシート状の絶縁被覆材12をブレード本体11表面に被覆配設して落雷に対応させる。

【0036】

ブレード10への落雷が起こると、放電がブレード10表面の絶縁被覆材12に達するが、絶縁被覆材12が0.5mm以上の適切な厚さの高分子材製シートであることから、放電の影響で絶縁被覆材12の裏面側で高電界となることはなく、絶縁被覆材12の裏側で放電が進展せず、絶縁被覆材12は貫通破壊に至らない。そして、ブレード本体11に放電が達してこれを貫通させることもない。

20

放電が絶縁被覆材12やブレード本体11を貫通できないことで、放電は絶縁被覆材12表面を進展し、さらにハブ20や支柱40の表面又は接地用導体路を経て、地面に達することとなる。

【0037】

放電が絶縁被覆材12表面を進展することで、ブレード本体11の損傷を防ぐことができ、絶縁被覆材12の損傷劣化も極わずかとなる。絶縁被覆材12が、例えばアブレーション材料製の場合は、放電の電流の熱で絶縁被覆材の一部が蒸発、分解してガスが発生し、それに伴い電流が絶縁被覆材表面から離れることとなり、絶縁被覆材の損傷劣化をさらに抑えることができる。

30

【0038】

なお、FRPで構成される風力発電装置用ブレードの表面には、通常、見た目を美しくするため、エポキシ樹脂を塗ったゲルコートと称するエポキシ単独層がある。このエポキシ単独層に仮にひび割れがなければ、本実施形態の高分子材製シートである絶縁被覆材12に相当するものとして作用し、絶縁被覆材12と同様に雷の貫通を防止できることが予想される。しかしながら、このエポキシ単独層は、ブレードが回る際の機械力に耐えうるものとはなっておらず、こうした力によりひび割れが発生する。そして、このひび割れ部分からFRP製ブレード内部への雷の侵入を許してしまうことから、このエポキシ単独層では本発明構造のようなブレード破損防止の効果は到底期待できない。言い換えると、本実施形態の絶縁被覆材12を設けたブレード10は、こうした従来構造のブレードでは実現できなかった、落雷に対する有利な効果を発揮できるものである。

40

【0039】

このように、本実施形態に係る風力発電装置用ブレードにおいては、落雷のような高電圧の放電がシート表面に達する状況では、このシートにおける放電を受ける表面所定箇所の裏面側部分が放電の影響で高電界になり、裏面側部分でも放電が進展してシートを貫通する事態が起こり得る一方、シートが高分子材製で所定厚さ以上とされると、シートの裏面側で高電界とならず放電の貫通を抑えられる事象を本願発明者が知見したことに基づいて、風力発電装置のFRP製ブレード本体11表面に十分な厚さの高分子材製シートであ

50

る絶縁被覆材 1 2 を配置して表面全体を覆うことから、絶縁被覆材 1 2 表面への放電の影響で絶縁被覆材 1 2 における FRP と接する裏面側が高電界となる事態を回避でき、放電が絶縁被覆材 1 2 を貫通せずに絶縁被覆材 1 2 表面側にのみ進展する状態が得られ、放電が絶縁被覆材 1 2 に覆われた FRP 製のブレード本体 1 1 を貫通してブレード内部の中空部 1 5 に到達することはなく、放電に起因する熱でブレード 1 0 の中空部 1 5 における空気の圧力が高くなる事態を招かず、ブレード 1 0 の破損を未然に防止できる。

【 0 0 4 0 】

なお、前記実施形態に係る風力発電装置用ブレードにおいては、ブレード本体 1 1 の表面に絶縁被覆材 1 2 を貼り付けて被覆配設し、必要に応じて絶縁被覆材 1 2 を紫外線が透過しない性質やアブレーション性のある材質で形成する構成としているが、これに限らず、図 5 に示すように、絶縁被覆材 1 2 の外側に、この絶縁被覆材 1 2 とは別の、紫外線を透過させない材質や、アブレーション性を有する材質からなる外層材 1 3 を被覆配設する構成とすることもできる。

10

【 0 0 4 1 】

外層材 1 3 が紫外線を透過させないものである場合、外層材 1 3 が絶縁被覆材 1 2 の方へ紫外線を通さず、紫外線による絶縁被覆材各部の劣化を抑えられることで、前記実施形態同様、絶縁被覆材 1 2 の耐候性を高められ、ブレード表面に絶縁被覆材 1 2 が存在する状態を可能な限り確保して、この絶縁被覆材 1 2 によるブレードの耐雷保護機能をより長期にわたって維持できる。また、外層材 1 3 がアブレーション性を有するものである場合、ブレード表面に落雷による放電が達すると、放電電流に起因する熱で一部の外層材 1 3 が分解してガスを発生させる状態、すなわちアブレーションが絶縁被覆材表面側に生じることにより、放電電流が発生したガスの影響を受けてブレード表面を離れて進行することとなり、放電による絶縁被覆材 1 2 の破損を必要最小限に抑えられ、絶縁被覆材 1 2 の耐久性を高められる。

20

【 実施例 】

【 0 0 4 2 】

本発明の風力発電装置用ブレードで、落雷の際の放電が絶縁被覆材及びブレード本体を貫通する事態を絶縁被覆材で防止可能か否かを評価するために、ブレードに用いられる絶縁材が高電圧の放電を受ける際の放電の詳細な仕組みや、絶縁被覆材をなすシート体単独で落雷に相当する高電圧の放電を受ける状態でのシート体における貫通の有無を、放電試験を行って調べ、絶縁被覆材のブレード本体表面に配置する際に必要な厚さ等条件について検証した。

30

【 0 0 4 3 】

風力発電装置のブレードへの落雷では、雷放電が FRP 製ブレードを貫通してブレード内部空間に進入することでブレード破損に至っていたが、こうした放電が絶縁材を貫通する仕組みについて検討するために、絶縁材への高電圧放電について試験を行った。

この放電試験としては、大気中棒 - 平板の電極間短ギャップに貫通対象の絶縁材 (FRP) 製薄板であるバリア板を設けて、正極性の急峻インパルス電圧を印加した時の放電状況を観測した。

【 0 0 4 4 】

実験装置は、正極性高電圧直流安定化電源、レーザトリガ式球ギャップスイッチ、デジタルオシロスコープ、高速ゲート付 ICCD カメラ、放電管、電極、Nd : YAG パルスレーザ、及びディレイパルスジェネレータを用いる。そして、図 6 に示されるような、大気中棒 - 平板の短ギャップの電極配置構造を用いると共に、これら電極間に GFRP 製のバリア板を挿入配置した。バリア板の厚みは 0 . 4 mm、棒電極先端からバリア板上面までの距離を 2 mm、バリア板下面から平板状接地電極までの距離を 5 mm とした。

40

【 0 0 4 5 】

放電試験では、球ギャップスイッチのギャップに直流高電圧を印加した状態において、パルスレーザ照射によるトリガでインパルス電圧を発生させる。電圧の立ち上がりは約 6 5 ns であり、電圧ピーク値は 5 0 kV に調整した。高速ゲート付 ICCD カメラによ

50

て放電発光状態を撮影する際のバリア板及び各電極の配置状態（写真画像）を図6に、沿面フラッシュオーバー発生時の正極性インパルス電圧及び放電電流波形を図7にそれぞれ示す。そして、高速ゲート付ICCDカメラによって撮影した、バリア板上面の正インパルス沿面フラッシュオーバー進展に伴う板下面の放電発光状態（写真画像）を図8ないし図14に示す。

【0046】

図8ないし図14の放電発光状態図中の番号は図7の電圧電流波形図中の番号と対応しており、放電発光写真が撮影された時刻を表す。各放電発光状態は、ICCDカメラのTTL (Time to Live) = 100 nsで撮影された。

【0047】

実験結果によれば、まず、インパルス電圧が印加された直後は、図8に示すように、バリア板上面（表面）を正インパルス沿面コロナ（一次ストリーマ）が進展し、棒電極直下の発光の強い箇所ではバリア板下面（裏面）と平板状接地電極間で放電が発生した。この時、バリア板に孔などは開いていないことから、放電は一次ストリーマのチャージによってバリア板下面の電界が高くなったため生じた、すなわち、バリア放電のような状態であると考えられる。

【0048】

上面の一次ストリーマがバリア板外縁近くまで進展しきった後は、一次ストリーマの発光はしだいに消失し、図9に示すように、棒電極周辺のバリア板上面には二次ストリーマが発生した。そして、図9の二次ストリーマの放電発光の範囲は一次ストリーマと比べると狭いが、その発光範囲に対応する形でバリア板下面の放電が発生した。その後は、図10に示すように二次ストリーマの放電発光は縮小していく。

【0049】

さらに時間が経過すると、図11に示すように棒電極とバリア板上面間で沿面リーダークロナが発生した。リーダークロナは導電性が高いためバリア板下面の電界はより高くなり、発光の強い放電が発生した。そして、図11から図13に示すように、放電発光状態が進むのに従い、沿面リーダークロナがバリア板外縁に向かって進展し、これに呼応して、下面の放電も強い発光を伴いながら外縁方向に広がっているのが確認できる。最終的には、図14に示すように沿面リーダークロナがバリア板外縁に達し、フラッシュオーバーへと至った。

【0050】

上記の結果から、落雷のような高電圧の放電では、絶縁材製バリア板の放電を受けた表面だけでなく板の裏面側でも強力な放電発生があるといえる。このことから、板表面側の放電が強力なものであれば、これにより発生する板の裏面側と接地電極間での放電が大きくなり、バリア板に高い電界が加わって、板表面と裏面間に電流が流れて貫通状態に至ると予想される。

【0051】

従って、バリア板の表面側への放電に際し、裏面側での放電の発生を抑える、すなわち裏面側で電界が高くなるのを防止すれば、放電の貫通を防げる可能性がある。バリア板の表面側への放電に対し、裏面側の電界が高くなるのを防ぐ方策としては、板厚、すなわち電界に対しバリアとなる絶縁材の厚さを大きくすることが考えられる。これは、落雷の際の放電が所定の絶縁材製の薄板又はシートを貫通するのを防ぐ場合にも適用できる。

【0052】

続いて、本発明の風力発電装置用ブレードで、落雷の際の放電が絶縁被覆材及びブレード本体を貫通する事態を絶縁被覆材で防止可能か否かを評価するために、絶縁被覆材にあたるシートが単独で落雷に相当する高電圧の放電を受ける放電試験を行い、厚さを異ならせた複数のシートについて放電による貫通の有無を調べ、絶縁被覆材として必要な厚さ等の条件を求めた。

【0053】

本発明に係る風力発電装置用ブレードは、例えば、前記実施形態に示すように、FRPで形成されるブレード本体と、ブレード本体の表面にこれを覆うように配設されるシート

10

20

30

40

50

状の絶縁被覆材とを備えるものである。この風力発電装置用ブレードの絶縁被覆材に必要な条件を求めるために、本発明のブレードの絶縁被覆材として適用可能な高分子材のシートに対し、落雷に相当する高電圧で放電する雷インパルス放電試験を、負極性放電の場合と正極性放電の場合のそれぞれで、シート厚さを複数通り設定した各例について実施し、貫通状態を観測した。

【0054】

測定は、本発明のブレードの絶縁被覆材として適用可能な高分子材のシートに対し、落雷に相当する高電圧で放電する雷インパルス放電試験を、負極性放電の場合と正極性放電の場合のそれぞれで、シート厚さを複数通り設定した各例について実施し、貫通状態を観測する手順で行った。

10

【0055】

シートへの放電試験では、雷インパルス放電用の電圧発生装置における棒電極と平板電極の間にシートを1枚設置し、放電を1回のみ発生させて貫通の有無を確認する。平板電極とシートとの間隔は100mmとし、棒電極とシートの間隔は1mmから200mmとした。

【0056】

シートの厚さ(mm)は、0.1、0.3、0.5、1.0の四通りとし、厚さ0.1、0.3、0.5の各シートの材質はPVC、厚さ1.0のシートの材質はPETとしている。これらシートをなす高分子材の絶縁破壊電界は500~1000kV/cmである。出力電圧の波高値は、±825~1050(kV)の範囲内でシートの厚さごとに設定した。

20

【0057】

放電試験の結果として得られた、各厚さのシートについての放電実行ごとの貫通の有無を、表1(負極性放電の場合)、及び表2(正極性放電の場合)に示す。

なお、放電試験では、放電の極性やシートの厚さごとにサンプル数が一様でないものの、各試験では一つのシートに対し放電を1回だけ発生させて貫通の有無を確認しており、放電ごとにシートは取り替えられ、同じシートに2回以上の放電はされていない。

【0058】

【表1】

シート厚さ [mm]	サンプル No.	材質	印加回数 [回]	出力電圧の 波高値[kV]	貫通の有無
0.1	1	PVC	1	-915	有
	2	PVC	1	-915	有
	3	PVC	1	-915	有
	4	PVC	1	-915	有
0.3	5	PVC	1	-885	有
0.5	6	PVC	1	-1050	有
	7	PVC	1	-1050	無
1	8	PET	1	-855	無

30

40

【0059】

【表 2】

シート厚さ [mm]	サンプル No.	材質	放電回数 [回]	出力電圧の 波高値[kV]	貫通の有無
0.1	9	PVC	1	+825	無
0.3	10	PVC	1	+855	有
0.5	11	PVC	1	+1050	無
	12	PVC	1	+1050	無
	13	PVC	1	+1050	無
1	14	PET	1	+825	無

10

【0060】

シート厚さが0.1mmの場合、負極性放電では、各放電回のいずれでも放電がシートを貫通し、正極性放電では貫通せず空气中を進展した。

シート厚さが0.3mmの場合、正極性放電、負極性放電のいずれでも放電がシートを貫通した。

シート厚さが0.5mmの場合、負極性放電では1回の放電では放電がシートを貫通し、別の1回の放電では貫通せず空气中を進展した。また、正極性放電では各放電回のいずれでも放電がシートを貫通せず空气中を進展した。

シート厚さが1.0mmの場合、正極性放電、負極性放電のいずれでも放電がシートを貫通せず空气中を進展した。

20

上記の結果から、シートの厚さが大きくなるほど、いずれの極性の放電も貫通しにくくなり、厚さが概ね0.5mm以上であれば放電がシートを貫通できない。

【0061】

このシートのみ結果は、シートの放電を受ける表面と反対側（裏面側）が空気と接している場合であるが、本発明のブレードにおける絶縁被覆材としてのシートに対しブレード本体を空気と仮定した場合の、ブレードをなすシートと空気についての放電の貫通に係る結果とも考えることができる。

【0062】

そして、空気の絶縁破壊電界が約30kV/cmであるのに対し、ブレード用のFRPの絶縁破壊電界が約50ないし100kV/cmであるなど、空気よりFRPの方が絶縁破壊電界が大きいことから、シートの裏面側がFRPとされた状態でも、放電の貫通しにくさについて、少なくとも空気が絶縁材としてシートに接する場合と同等以上の結果を見込める。すなわち、ブレード本体をなすFRP表面にシートを被覆配設した状態では、絶縁被覆材をなすシートが厚さ0.5mm以上であれば、前記同様に放電がシートとFRPを貫通しないと考えられる。

30

【0063】

以上から、本発明の風力発電装置用ブレードは、FRP製のブレード本体を厚さ0.5mm以上の高分子材からなる絶縁被覆材で覆うことで、ブレードへの落雷の放電が絶縁被覆材裏側までは電界の影響を及ぼさないようにし、放電が絶縁被覆材を貫通するのを防止することで、放電がFRPを貫通することもなく、ブレード内に放電が達することに伴う温度及び内部圧力の上昇が生じず、FRP製ブレードの破損を未然に防止できる。

40

【符号の説明】

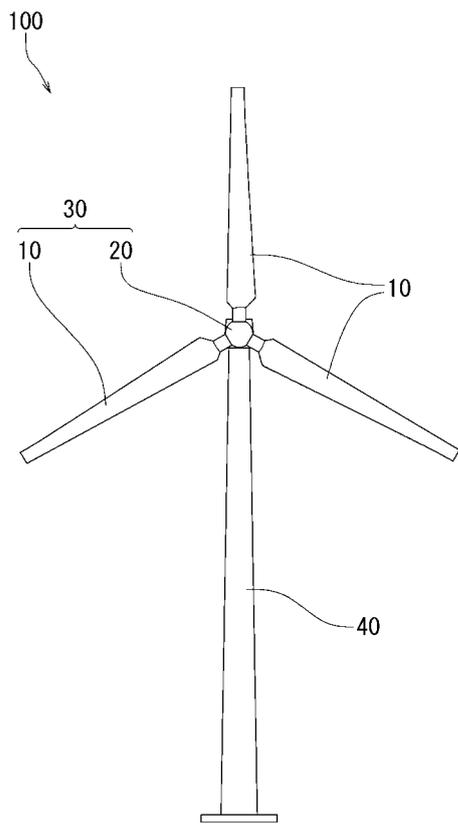
【0064】

- 10 ブレード
- 11 ブレード本体
- 12 絶縁被覆材
- 13 外層材
- 15 中空部
- 20 ハブ

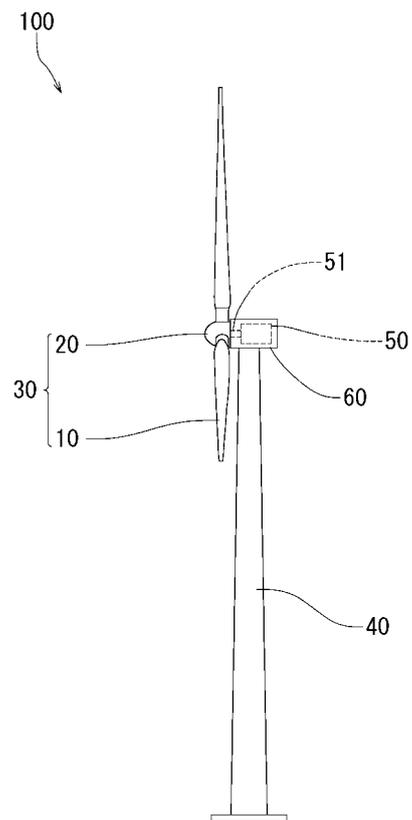
50

- 3 0 羽根車
- 4 0 支柱
- 5 0 発電機
- 5 1 回転軸
- 6 0 ナセル
- 1 0 0 風力発電装置

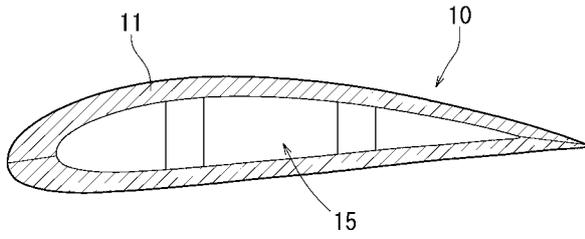
【図1】



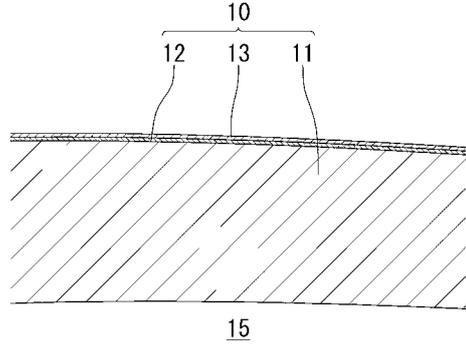
【図2】



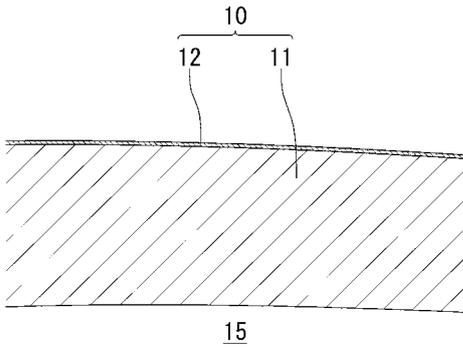
【 図 3 】



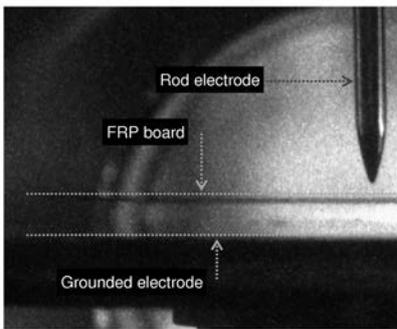
【 図 5 】



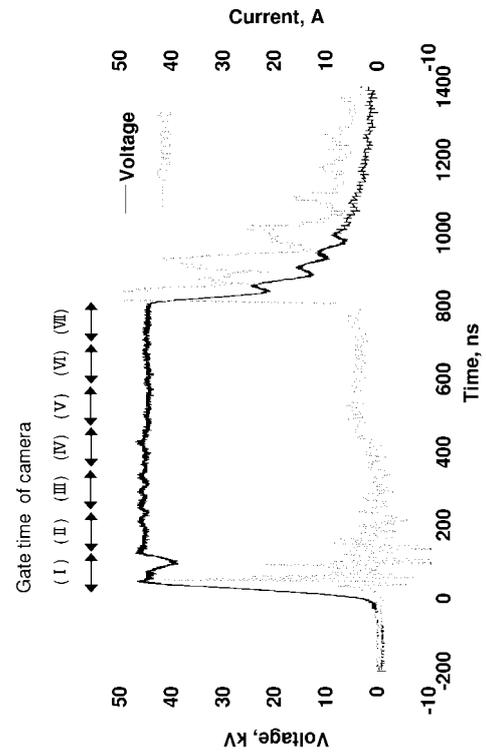
【 図 4 】



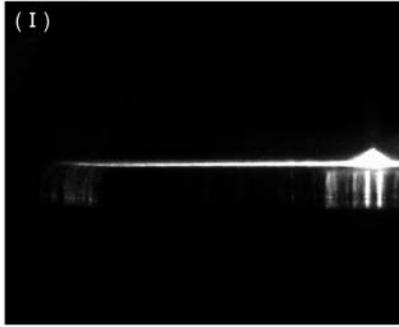
【 図 6 】



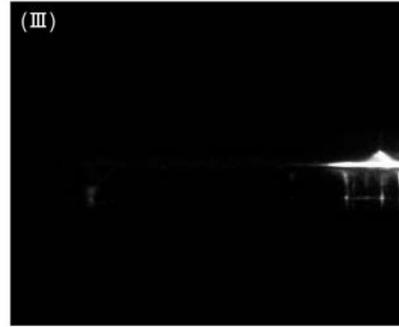
【 図 7 】



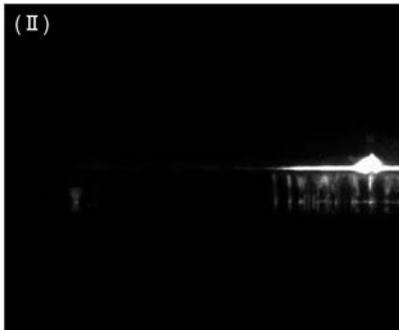
【 図 8 】



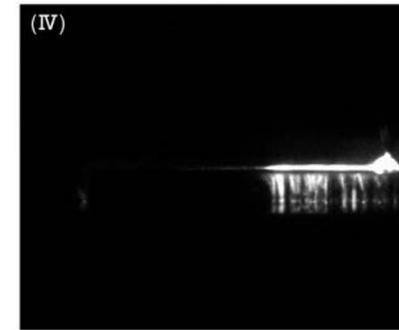
【 図 1 0 】



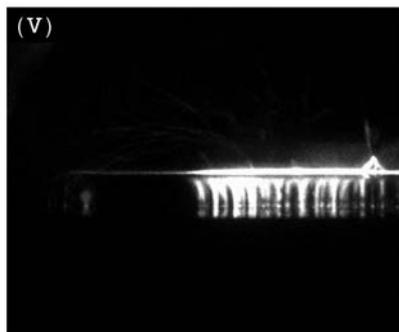
【 図 9 】



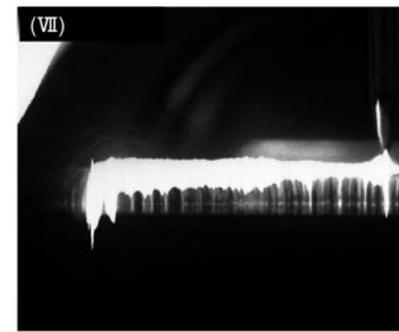
【 図 1 1 】



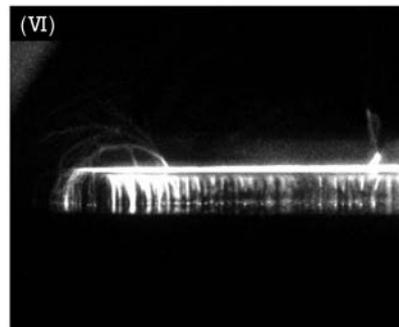
【 図 1 2 】



【 図 1 4 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

(72)発明者 高村 紀充

福岡県福岡市城南区七隈8丁目19番1号 学校法人福岡大学内

Fターム(参考) 3H178 AA03 AA40 AA43 BB35 BB43 BB75 CC02 CC04 DD02Z DD12Z
4F205 AA36 AD16 AE10 AG03 AH04 AR12 HA14 HA19 HA22 HA33
HA37 HB01 HC02 HC16 HC17 HK16 HT04