

(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2012-97713

(P2012-97713A)

(43) 公開日 平成24年5月24日(2012.5.24)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
FO3D 11/00 (2006.01)	FO3D 11/00 Z	3H078
FO3D 1/06 (2006.01)	FO3D 1/06 A	
FO3D 11/04 (2006.01)	FO3D 11/04 A	
FO3D 9/00 (2006.01)	FO3D 11/00 A	
	FO3D 9/00 G	
審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 26 頁)		

(21) 出願番号 特願2010-248511 (P2010-248511)
(22) 出願日 平成22年11月5日 (2010.11.5)

(71) 出願人 501204525
独立行政法人海上技術安全研究所
東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(74) 代理人 100098545
弁理士 阿部 伸一
(74) 代理人 100087745
弁理士 清水 善廣
(74) 代理人 100106611
弁理士 辻田 幸史
(74) 代理人 100111006
弁理士 藤江 和典
(74) 代理人 100116241
弁理士 金子 一郎

最終頁に続く

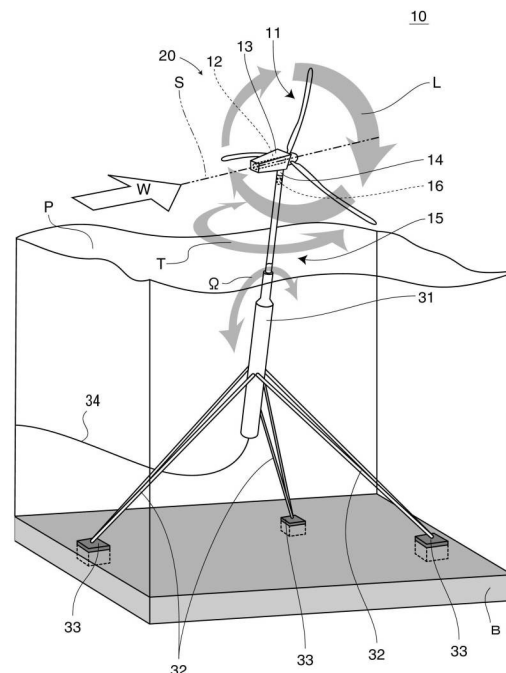
(54) 【発明の名称】 風力発電施設の回動揺動抑制装置及び浮体式洋上風力発電施設

(57) 【要約】

【課題】 風力発電施設の発電効率や機器の耐久性に対する悪影響の原因となるジャイロ効果によるナセルの回動揺動を抑制することができる浮体式洋上風力発電施設を提供すること。

【解決手段】 風により回転するローター11と、ローター11の回転軸12を収容するナセル13と、ナセル13を海面Pに対して回動自在に支持して風見鶏効果を発揮させて回動座軸受14を有したタワー15を備えた浮体式洋上風力発電施設10において、タワー15にナセル13の回動揺動Tを抑制するための揺動抑制手段16が設けられていることにより、海面Pの波浪によって浮体31に生じる揺動Ωに起因するジャイロ効果によるナセル13の回動揺動Tを抑制することができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

風により回転するローターと、少なくとも前記ローターの回転軸を収容するナセルと、前記ナセルを水面または地面に対して回転自在に支持する回転手段を有した構造体と、前記ナセルの水面または地面に対する回転揺動を抑制する揺動抑制手段とを備えたことを特徴とする風力発電施設の回転揺動抑制装置。

【請求項 2】

前記ナセルを前記ローターに対して風上側に設けたことを特徴とする請求項 1 に記載の風力発電施設の回転揺動抑制装置。

【請求項 3】

前記ローターにコーニング角を付与したことを特徴とする請求項 2 に記載の風力発電施設の回転揺動抑制装置。

【請求項 4】

前記揺動抑制手段は油圧ダンパーを用いたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のうちの 1 項に記載の風力発電施設の回転揺動抑制装置。

【請求項 5】

前記揺動抑制手段は摩擦ダンパーを用いたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のうちの 1 項に記載の風力発電施設の回転揺動抑制装置。

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のうちの 1 項に記載の風力発電施設の回転揺動抑制装置を、洋上で前記構造体の一部として浮体を用いて発電を行う風力発電施設に適用したことを特徴とする浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 7】

前記浮体を前記浮体の中心軸回りの回転運動を抑制する係留方式で係留したことを特徴とする請求項 6 に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 8】

前記浮体を略円筒形状に形成し前記係留方式を、前記浮体を水平面に投影した際に、前記略円筒形状における円の円周上の 2 点をそれぞれの一端として接続される 2 本の係留索からなる係留索対が用いられ、前記 2 本の係留索は、それぞれが前記円の略接線となる形状とされ、同一側に延びる形態としたことを特徴とする請求項 7 に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 9】

風を受けて傾いた状態におけるローターの回転軸が風向に対して平行になるように、風を受けていない状態におけるローターの回転軸を水平面に対して所定角を持たせてナセルを前記構造体に支持したことを特徴とする請求項 6 から請求項 8 のうちの 1 項に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 10】

前記浮体を前記浮体の中心軸回りの回転運動を抑制しない係留方式で係留し、前記浮体の水面または地面に対する回転揺動を抑制する前記揺動抑制手段は水中の前記構造体の形状または構造と外部水の相互干渉による流体力学的ダンパーを用いたことを特徴とする請求項 6 または請求項 9 に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ローターの回転軸を収容するナセルの回転揺動（ヨーイング回転、偏揺れ回転）及び浮体の回転揺動を効率的に抑制することができる風力発電施設の回転揺動抑制装置及び浮体式洋上風力発電施設に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、風力発電施設においては、風向の変化に対応して風車の向きを変化させるため、

10

20

30

40

50

風向センサーと組み合わせた能動的制御装置が用いられている。例えば、風向センサーの測定結果に応じて動力装置により風車を回動させて、風向に合わせた位置で風車を保持する構成が採用されている。また、風力発電施設全体のシステムを簡便化するための方策として、能動的制御装置を省略することがある。能動的制御装置を省略する場合、風車のローターの回転軸を水平面上で自由に回動可能な状態で支持し、風見鶏効果により風車の向きを変化させることにより風向の変化に対応させている。

風力発電施設は、ローターが風を受けて回転することによって発電するものである。そして、ローターの回転の自転軸に対して鉛直方向のモーメントが加えられると、いわゆるジャイロ効果によって、当該モーメントの方向及びローターの自転軸の両方と直交する方向にジャイロモーメントが発生する。たとえば、水に浮かんだ浮体上に設けられた浮体式洋上風力発電施設においては、波浪の影響によって鉛直方向のモーメントが発生する。このため、ジャイロ効果によって、ローターの回転の自転軸に直交する水平方向にジャイロモーメントが発生する。

10

能動的制御装置を備えた浮体式洋上風力発電施設では、風向に合わせた位置においてナセルが浮体に保持されている。このため、風車のローターの回転軸を収容するナセルに生じたジャイロ効果に起因するジャイロモーメントにより、鉛直軸を回転軸とする浮体の回転運動が生じる。ここで、波の運動は反復運動であるから、浮体はナセルと共に反復運動（回動揺動）することとなる。

また、能動的制御装置を省略した浮体式洋上風力発電施設においては、風車のローターの回転軸は浮体に対して自由に回動可能な状態で支持されている。このため、ナセルに生じたジャイロ効果に起因するジャイロモーメントにより、ナセルの回動揺動が生じることとなる。

20

発明者は、このジャイロ効果に起因するモーメントが、浮体式洋上風力発電施設の発電効率や機器の耐久性に悪影響を及ぼす原因となっていることを見いだした。

【0003】

風力発電装置において発生する振動の防止を目的として、種々の構成を採用することが提案されている（特許文献1～3）。

特許文献1には、ナセルの能動的制御装置として、タワーの上端部に水平方向に回動可能に支持されたプラットフォームを旋回する旋回駆動源と旋回方向の固定手段とを備えた風力発電装置が記載されている。そして、この風力発電装置において、ブレードの共振や共振風速によりタワー等に発生する振動を抑制することを目的として、制振装置を設ける構成が記載されている。

30

特許文献2には、風力タービンにおいて、ローターの羽根の縁部方向の揺動作用を減衰させることを目的として、ナセルに揺動作用減衰手段を配置する構成が記載されている。

特許文献3には、風力発電機において、増速ギアボックスを介してナセルフレームに伝達される振動を防止すること及びナセルフレームから増速度ギアボックスに伝達される振動を防止することを目的として、増速ギアボックスとナセルフレームとの間に防振ダンパーを設ける構成が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0004】

【特許文献1】特開2003-176774号公報

【特許文献2】特表2002-517660号公報

【特許文献3】特表2008-546948号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

このように、風力発電施設において、従来、ローター等の回転自体によって発生する振動は問題とされていたものの、ジャイロ効果に起因するジャイロモーメントにより生じるナセルの揺動について着目したものは存在しない。このため、これら特許文献に記載の風

50

力発電装置に用いられている振動抑制手段では、浮体式洋上風力発電施設が波浪の影響を受ける際、ジャイロ効果に起因するジャイロモーメントによって発生するナセルや浮体の回動揺動を防止することはできない。

【0006】

そこで、本発明は、ジャイロ効果に起因するジャイロモーメントによって発生するナセルや浮体の回動揺動を防止して風力発電施設の発電効率や機器の耐久性に対する悪影響を抑制することができる風力発電施設の回動揺動抑制装置及び浮体式洋上風力発電施設を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項1に記載の本発明の風力発電施設の回動揺動抑制装置は、風により回転するローターと、少なくとも前記ローターの回転軸を収容するナセルと、前記ナセルを水面または地面に対して回動自在に支持する回動手段を有した構造体と、前記ナセルの水面または地面に対する回動揺動を抑制する揺動抑制手段とを備えたことを特徴とする。

この構成によれば、ジャイロ効果に起因するナセルの回動揺動を揺動抑制手段により抑制することができる。

請求項2に記載の本発明は、請求項1に記載の風力発電施設の回動揺動抑制装置において、前記ナセルを前記ローターに対して風上側に設けたことを特徴とする。

この構成によれば、いわゆる風見鶏効果によってナセルを水面または地面に対して回動させて、回転軸の向きを風向と合せることができる。

請求項3に記載の本発明は、請求項2に記載の風力発電施設の回動揺動抑制装置において、前記ローターにコーニング角を付与したことを特徴とする。

この構成によれば、いわゆる風見鶏効果をさらに向上させることができる。

請求項4に記載の本発明は、請求項1から請求項3のうちの1項に記載の風力発電施設の回動揺動抑制装置において、前記揺動抑制手段は油圧ダンパーを用いたことを特徴とする。

請求項5に記載の本発明は、請求項1から請求項3のうちの1項に記載の風力発電施設の回動揺動抑制装置において、前記揺動抑制手段は摩擦ダンパーを用いたことを特徴とする。

振動抑制手段として油圧ダンパー又は摩擦ダンパーを用いることにより、ナセルの回動を抑制するための抵抗をナセルの回動の早さに応じて変化させることができる。

【0008】

請求項6に記載の本発明の浮体式洋上風力発電施設は、請求項1から請求項5のうちの1項に記載の風力発電施設の回動揺動抑制装置を、洋上で前記構造体の一部として浮体を用いて発電を行う風力発電施設に適用したことを特徴とする。

この構成によれば、洋上における浮体のピッチング動揺に起因するジャイロ効果により誘起されるナセルの回動揺動を揺動抑制手段により抑制することができる。

請求項7に記載の本発明は、請求項6に記載の浮体式洋上風力発電施設において、前記浮体を前記浮体の中心軸回りの回転運動を抑制する係留方式で係留したことを特徴とする。

請求項8に記載の本発明は、請求項7に記載の浮体式洋上風力発電施設において、前記浮体を略円筒形状に形成し前記係留方式を、前記浮体を水平面に投影した際に、前記略円筒形状における円の円周上の2点をそれぞれの一端として接続される2本の係留索からなる係留索対が用いられ、前記2本の係留索は、それぞれが前記円の略接線となる形状とされ、同一側に延びる形態としたことを特徴とする。

この構成により、浮体の円筒中心軸回りの回転を抑制することができる。

請求項9に記載の本発明は、請求項6から請求項8のうちの1項に記載の浮体式洋上風力発電施設において、風を受けて傾いた状態におけるローターの回転軸が風向に対して平行になるように、風を受けていない状態におけるローターの回転軸を水平面に対して所定角を持たせてナセルを前記構造体に支持したことを特徴とする。

10

20

30

40

50

この構成により、ローターが風を受けたときに風力発電施設が傾くことを考慮して所定角を設定できるから、発電時においてローターの回転軸が風向に対して平行となるようにすることができる。なお、ここで「風を受けて傾いた状態」とは、風力発電施設が設置される場所において想定される代表的な風速の風を受けることによって傾いた状態のことをいう。また、代表的な風速としては、例えば年間の平均風速や発電効率が最大となる風速等が挙げられる。

請求項10に記載の本発明は、請求項6または請求項9に記載の浮体式洋上風力発電施設において、前記浮体を前記浮体の中心軸回りの回転運動を抑制しない係留方式で係留し、前記浮体の水面または地面に対する回動揺動を抑制する前記揺動抑制手段は前記ナセルとともに回動する水中の前記構造体の形状または構造と外部水の相互干渉による流体力学的ダンパーを用いたことを特徴とする。

10

この構成によれば、水中の流体力学的ダンパーの水への抵抗によりナセルまたは浮体の回動速度に応じて、回動への抵抗を変化させ回動揺動を抑制することができる。

【発明の効果】

【0009】

本発明の風力発電施設の回動揺動抑制装置は、ジャイロ効果に起因する回動揺動を揺動抑制手段により抑制できるから、回動揺動による風力発電施設の発電効率や機器の耐久性に対する悪影響を抑制することが可能となる。

また、ナセルをローターに対して風上側に設けた構成やローターにコーニング角を付与した構成とすれば、いわゆる風見鶏効果によりナセルを回動させてローターの回転軸を風向に合せて、ローターを風向に正対させることができるから、風力発電施設の発電効率を向上させることが可能となる。

20

また、揺動制御手段として油圧ダンパーや摩擦ダンパーを用いた構成を採用すれば、ナセルの回動速度に応じて揺動制御手段の抵抗を変化させることができるから、風見鶏効果による速度の遅いナセルの回動を抑制することなく、ジャイロ効果による速度の速いナセルの回動揺動を抑制することが可能となる。

【0010】

本発明の浮体式洋上風力発電施設は、本発明の風力発電施設の回動揺動抑制装置を備えているから、ジャイロ効果によるナセルの回動揺動を抑制することにより、発電効率及び機器の耐久性を向上させることが可能となる。また、ジャイロ効果の逆作用により浮体のピッチング揺動も抑制することができる。

30

また、浮体を、前記浮体の中心軸回りの回転運動を抑制する係留方式で係留した構成とすれば、ジャイロ効果に起因するナセルの回動揺動および浮体のピッチング揺動を効果的に抑制することができ、発電効率及び機器の耐久性を向上させることが可能となる。

また、風を受けていない状態におけるローターの回転軸と水平面との間に所定角を持たせた構成とすれば、発電時においてローターの回転軸の向きと風向とを略平行として略一致させることができるから、ローターの回転面を風向に対して略直角として発電効率を向上させることが可能となる。

また、浮体を前記浮体の中心軸回りの回転運動を抑制しない係留方式で係留し、揺動制御手段として水中の前記構造体に設けられた流体力学的ダンパーを用いた構成とすれば、ナセルの回動速度に応じて抵抗を変化させることができ、ジャイロ効果に起因してナセルあるいは浮体に生じる回動揺動を抑制し、また浮体のピッチング揺動を抑制して、発電効率及び機器の耐久性を向上させることが可能となる。

40

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施形態による浮体式洋上風力発電施設の概略構成を示す斜視図

【図2】本発明の第1の実施形態による風力発電施設の回動揺動抑制装置の構造を示す要部側面図

【図3】海上における風向の変化と波浪の影響による水上の浮体の揺れ角度との関係を示しており、(a)は風向の変化を示すグラフ、(b)は揺れ角度の変化を示すグラフ

50

【図４】油圧ダンパーの概略構成を示しており、（a）は斜視図、（b）は正面図、（c）は（b）のAA矢視断面図

【図５】摩擦ダンパーの概略構成を示す図であり、（a）は斜視図、（b）は正面図

【図６】本発明の第１の実施形態となる浮体の係留装置の構成を示しており、（a）は上面図、（b）は側面図

【図７】本発明の第１の実施形態における一つの係留索対の構成を示す図

【図８】従来の緊張係留方式の構成を示しており、（a）は上面図、（b）は側面図

【図９】本発明の第２の実施形態による風力発電施設の回動揺動抑制装置の構造を示す要部側面図

【図１０】本発明の第２の実施形態による浮体式洋上風力発電施設の備えている回動揺動抑制装置の概略構成を示しており、（a）は風を受けた状態における側面図、（b）は風を受けていない状態における側面図

10

【図１１】本発明の第３の実施形態による浮体式洋上風力発電施設の概略構成を示す斜視図

【図１２】本発明の第３の実施形態による浮体式洋上風力発電施設の概略構成を示す斜視図

【図１３】本発明の第４の実施形態による浮体式洋上風力発電施設の概略構成を示す斜視図

【発明を実施するための形態】

【００１２】

20

（第１の実施形態）

本発明の第１の実施形態について、図１～図８を参酌して以下に説明する。本実施形態では、本発明を浮体式洋上風力発電施設として実施する場合について説明する。

図１は本実施形態による浮体式洋上風力発電施設１０の概略構成を示す斜視図である。同図に示すように浮体式洋上風力発電施設１０は、回動揺動抑制装置２０が設けられた浮体３１が係留索３２を介して海底Ｂのアンカー３３に係留されたものである。なお、浮体３１の下から出ている線は送電線３４を示している。本実施形態の浮体式洋上風力発電施設１０が備えている回動揺動抑制装置２０の構造について、図２を参照して説明する。

図２は、本実施形態による浮体式洋上風力発電施設１０の回動揺動抑制装置２０の構造を示す要部側面図である。同図に示すように、回動揺動抑制装置２０は、風により回転するローター１１と、ローター１１の回転軸１２を収容するナセル１３と、ナセル１３を水面または地面に対して回動自在に支持する回動座軸受（回動手段）１４を有したタワー（構造体）１５と、ナセル１３の水面に対する回動揺動を抑制する揺動抑制手段１６を備えて構成されている。

30

【００１３】

ローター１１は、複数の羽根１８が放射状に設けられているハブ１７と、ハブ１７に連結された回転軸１２とを備えている。回転軸１２は、ナセル１３内に回転可能に軸支されており、ローター１１が風を受けることにより回転軸１２が回転して、ナセル１３内に設けられている発電機（図示しない）によって発電を行う。図２における白抜き矢印Wは風向を示している。本実施形態の回動揺動抑制装置２０では、ローター１１がナセル１３よりも風下側に設けられている。これにより、回動座軸受１４に設けられているナセル１３の回転による風見鶏効果を効果的に生じさせることができる。

40

【００１４】

ナセル１３は風Wを受けて回転する回転軸１２をその内部に収容している。また、図示しないが、回転軸１２の回転速度を増加させて発電機に伝達するギアボックス等、風力発電機が備えている発電のための手段をも備えている。そして、ナセル１３は、タワー１５の上部に設けられている回動座軸受１４により、海面Pに対して回動自在に支持されている。これにより、ナセル１３の回動によって風向Wの変化に応じて回転軸１２の方向を変化させて、ローター１１の羽根１８の回転面を風に正対させることができる。

【００１５】

50

揺動抑制手段１６は、ローター１１が回転している際、波浪により鉛直方向の力が加わったときにジャイロ効果により生じるナセル１３の回動揺動を抑制するためのものである。このジャイロ効果によるナセル１３の回動揺動に着目して設けられた揺動抑制手段１６によりナセル１３の回動揺動を抑制することができるから、浮体式洋上風力発電施設１０の発電効率や機器の耐久性を向上させることが可能となる。なお、本実施形態ではタワー１５に揺動抑制手段１６を設けているが、ナセル１３側に揺動抑制手段１６を設けることとしても良い。

【００１６】

なお、回動揺動抑制装置２０を浮体式洋上風力発電施設１０ではなく、陸上の風力発電装置に設ける場合、ナセル１３は、回動座軸受１４により地面に対して回動自在に支持されることとなる。そして、何らかの理由により鉛直方向のモーメントが加わった場合に揺動抑制手段１６でナセル１３の回動揺動を抑制することができる。

【００１７】

つづいて、洋上において、浮体式洋上風力発電施設１０のナセル１３にジャイロ効果による回動揺動が発生する機構について、図１及び図３を参照して説明する。自転している物体が、自転軸と直交する方向に回転運動すると、それぞれに直交する方向にモーメントが働き、これをジャイロモーメントと呼ぶ。このジャイロモーメントが生じる効果をジャイロ効果という。

$$\Omega \times L = T$$

Ω ：自転軸を振る回転速度

L ：自転軸角運動量

T ：ジャイロモーメント

ローター１１が回転運動 L をしている場合において、海面 P の波浪によって浮体３１に復元力を伴う運動であるピッチング揺動 Ω が生じると、ローター１１は自転軸 S に直交する鉛直方向に回転運動することとなる。これにより、ローター１１の自転軸 S と鉛直方向の両方に直交する水平方向にジャイロモーメントが働くこととなる。浮体式洋上風力発電施設１０では、回動座軸受１４によりナセル１３が回動自在となっているから、このジャイロモーメントにより、図１中に T で示した方向にナセル１３の回動が生じる。

【００１８】

図３は、海上における風向の変化と、波浪の影響による水上の浮体の揺れ角度との関係を示すものであり、（ａ）は風向の変化を示すグラフであり、（ｂ）は揺れ角度の変化を示すグラフである。（ａ）のグラフ中の破線で囲んだ部分と（ｂ）のグラフは、いずれも１時間の間の変化を示している。図３（ａ）（ｂ）のグラフの比較によれば、風向の変化は長い時間をかけて生じ、波浪の影響による揺れ角の変化は短い時間に生じることが分かる。すなわち、風向の変化に伴うナセル１３の回動の速度は遅く、波浪の影響などに起因するジャイロ効果によるナセル１３の回動揺動の速度は速い。

このように、波浪の影響による揺れ角の角度は短い周期で変化することから、ジャイロ効果によってナセル１３の回動揺動が誘起されることとなる。このナセル１３の回動揺動が、風力発電施設の発電効率や機器の耐久性に対する悪影響の原因となる。

したがって、風向の変化に伴うナセル１３の回動を可能としつつ、ジャイロ効果によるナセル１３の回動揺動を選択的に抑制するためには、揺動抑制手段１６として、ナセル１３の回動の速度に応じて抵抗が変化するものを用いることが好ましい。これにより、比較的長時間をかけて変化する風向変化に起因する回動座軸受１４に支持されているナセル１３の遅い回動に対しては減衰効果を生じさせないで、いわゆる風見鶏効果を発揮させることができる。また、波浪によって起こる周期が回転速度の短いナセル１３の回動揺動に対しては減衰効果を生じさせて、選択的に抑止することができる。

本実施形態の浮体式洋上風力発電施設１０は、揺動抑制手段１６によりナセル１３の回動揺動を抑制することができるから、上記の悪影響を抑制することが可能となる。

揺動抑制手段１６を備えた回動揺動抑制装置２０を用いることにより、波浪に起因する浮体３１のピッチング動揺によるジャイロ効果によってナセル１３に回動揺動が生じるこ

10

20

30

40

50

とを抑制することができる。さらに、ナセル 13 の回動揺動を抑制することにより、ジャイロ効果の逆作用による浮体 31 のピッチング揺動をも抑制することが可能となる。

【0019】

図 4 は油圧ダンパーの概略構成を示しており、(a) は斜視図、(b) は正面図、(c) は (b) の AA 矢視断面図である。これらの図に示すように、油圧ダンパー 160 は、本体ケース 161 とキャップ 162 により囲まれた内部に回転体 163 とオイル 164 とを備えている。油圧ダンパー 160 は、オイル 164 の粘性抵抗によって生じる制動力を利用したダンパーであり、本体ケース 161 と回転体 163 との間隙、オイル 164 の接触面積、オイル 164 の粘性などを調整することにより、回転体 163 の回転に対する制動トルク（抵抗）を変化させることができる。また、回転体 163 の回転速度と制動トルクの間には、回転速度が上がると制動トルクは上がり、回転速度が下がると制動トルクも下がるという関係がある。

10

油圧ダンパー 160 を用いた場合、オイル 164 の粘性抵抗を利用しているので、磨耗など経時的な特性の変化が少なく済む利点を有している。

図 5 は摩擦ダンパーの概略構成を示しており、(a) は斜視図、(b) は正面図である。これらの図に示すように、摩擦ダンパー 165 は、回転軸 166 の外側面に接するように設けられている摩擦材 167 と、摩擦材 167 を囲むように設けられている回転軸繋ぎ材 168 を所定方向に押す弾性体 169 とを備えている。摩擦ダンパー 165 は、回転軸 166 と摩擦材 167 との間の摩擦抵抗によって生じる制動力を利用したダンパーであり、回転軸 166 と摩擦材 167 との間の摩擦抵抗、接触面積などを調整することにより、制動トルク（抵抗）を変化させることができる。また、回転軸 166 の回転速度と制動トルクの間には、回転速度が上がると制動トルクは上がり、回転速度が下がると制動トルクも下がるという関係がある。

20

摩擦ダンパー 165 を用いた場合は、シール部などが不要で構成が簡略化でき、周囲温度の変化が大きい環境下では比較的安定して特性を維持できる利点を有している。

【0020】

浮体 31 は水中において、係留索 32 により海底 B に設けられているアンカー 33 に浮体 31 の中心軸回りの回転運動を抑制する係留方式で係留されている。このため、浮体 31 の水中における回転が抑制される。この係留方式については、後で説明する。

ナセルを風向に合わせるためのナセルの回転運動を能動的に制御する装置を備えた浮体式洋上風力発電施設では、風向に合わせた位置において風車が浮体に一時的に固定されて保持されている。このため、風車のローターのジャイロ効果に起因するジャイロモーメントにより、鉛直方向を回転軸とする浮体の回転運動が生じようとするが、これを拘束する係留がこの回動揺動を抑制することで、浮体式洋上風力発電施設の発電効率や機器の耐久性への悪影響を抑制することができる。

30

しかし、ナセルの回転運動を能動的に制御する装置を省略して風見鶏効果によってナセルを風向に合わせる方式の浮体式洋上風力発電施設においては、風車のローターの回転軸は浮体に対して自由に回動可能な状態で支持されている。このため、浮体の回動揺動を抑制しても、ナセルに生じたジャイロ効果による回動揺動を抑制することはできない。そこで、本実施形態の浮体式洋上風力発電施設 10 では、揺動抑制手段 16 を設けることにより、ジャイロ効果によりナセル 13 に生じる回動揺動を抑制している。

40

【0021】

浮体 31 の中心軸回りの回転運動を抑制する係留方式について、図 6 および図 7 を参照して以下に説明する。

図 6 は、本実施形態に係る浮体の係留装置の構成を示す上面図 (a)、側面図 (b) である。ここで、上面図 (a) は、この浮体の係留装置を水平面上に投影した図となっている。浮体 31 には、複数の係留索 32 の一端が接続される。各係留索 32 の他端は、水中に設けられたアンカー 33 に接続されている。

【0022】

浮体 31 は略円筒形状に形成されており、浮体 31 を水平面に投影した際に、略円筒形

50

状における円の円周上の２点をそれぞれの一端として接続される２本の係留索３２からなる係留索対が用いられ、前記２本の係留索３２は、それぞれが前記円の略接線となる形状とされ、同一側に延びる形態となるように構成されている。これにより、揺動抑制手段１６が回動揺動を抑制した際、浮体３１に力が加わることにより浮体３１に回動揺動が生じることを防ぐことができる。

【００２３】

ここで、右下のアンカー３３に接続された２本の係留索３２と浮体３１との関係を、図６（ａ）の上面図（水平面上の投影図）において示したものが図７である。２本の係留索３２の一端は、それぞれ浮体３１の円周上の点Ａ、Ｂに接続される。各係留索３２は、点Ａ、Ｂにおける接線Ｌ１、Ｌ２の形態をなし配置されている。

この構成において、浮体３１においてその中心Ｃの回りの回転運動が生じた場合、この２本の係留索３２のうちの一方が伸び、張力が働く。浮体３１の半径を r 、浮体３１の回転角度を $\Delta\theta$ とした場合、下面図におけるこの伸びた側の係留索３２の伸び量 ΔL は、（１）式で与えられる。

$$\Delta L = r \times \Delta\theta \quad \cdots \cdots (1)$$

フックの法則により、この場合に浮体３１の接線方向における張力 T は、係留索３２のばね係数を k とすると（２）式で与えられ、この伸びにより発生するトルク N は（３）式で与えられる。

$$T = k \cdot \Delta L \quad \cdots \cdots (2)$$

$$N = T \cdot r \quad \cdots \cdots (3)$$

２本の係留索３２の構成を図７の通りとすれば、どちらの回転方向であっても、回転運動に反発するトルクを生じさせることができるため、この浮体３１の回転運動が抑制される。

【００２４】

なお、図６においては、各係留索３２が図７における接線Ｌ１、Ｌ２の形態をなすように設定したが、各係留索３２を図７におけるＬ３、Ｌ４（破線）の形態としても、同様の効果を奏することは明らかである。

これに対して、単純な従来の緊張係留方式における構成を図８に示す。同図に示す３方向に放射状に延びた係留索３２によって、浮体３１の水平方向の運動（浮遊）が抑制されることは明らかである。しかしながら、その上面図（図８（ａ））においては、浮体３１の回転方向（円周方向）と係留索３２とのなす角度はほぼ垂直となるため、その回転運動を抑制することは困難である。このため、図８に示した係留方式は、浮体３１の中心軸回りの回転運動を抑制しない係留方式にあたるものである。

【００２５】

（第２の実施形態）

本発明の第２の実施形態について、図９を参酌して以下に説明する。本実施形態の風力発電施設の回動揺動抑制装置は、ローターにコーニング角を付与した構成において、第１の実施形態の回動揺動抑制装置と相違している。なお、第１の実施形態において説明した部材については、同じ番号を付して本実施形態では説明を省略する。

【００２６】

図９は、本実施形態による風力発電施設の回動揺動抑制装置３０の構造を示す要部側面図である。同図に示すように、本実施形態の回動揺動抑制装置３０は、ナセル１３がローター１１よりも風上側に設けられている。また、ローター１１にコーニング角 α が付与されている。ここで、コーニング角 α とは、羽根１８のハブ１７接続部１８Ａと先端部１８Ｂとを結んだ一点鎖線で示した直線と、図中に一点鎖線で示した鉛直線 V との角度をいう。

この構成によれば、風向 W の変化に応じて、水平方向に自由回動可能な状態で回動座軸受１４に支持されているナセル１３が自動的に回動してローター１１の回転軸１２を風向と一致させる風見鶏効果を向上させることができる。なお、回転軸１２の軸方向と風向とが一致しているときには、ローター１１の回転面すなわち羽根１８の先端部１８Ｂの軌跡

10

20

30

40

50

により形成される平面が風向に対して略直角となっている。

【0027】

本発明を、回動揺動抑制装置30を備えた浮体式洋上風力発電施設(図1参照)として実施する場合、風を受けて傾いた発電状態におけるローター11の回転軸12が水平面H上に位置するように構成することが好ましい。この構成について、図10を参酌して説明する。

図10は、本実施形態の浮体式洋上風力発電施設に備えられた回動揺動抑制装置30の概略構成を示しており、(a)は風を受けた状態における側面図であり、(b)は風を受けていない状態における側面図である。本実施形態の回動揺動抑制装置30は、図10(a)に示すように、風を受けて傾いた発電状態におけるローター11の回転軸12(軸方向の直線をSで示す)を水平面H上に位置させることにより、回転軸12の回転軸の方向を風向Wに一致させること(両者を平行にすること)ができる。このため、図10(b)に示すように、風を受けていない状態においては、ローター11の回転軸12(直線S)が水平面Hに対して所定角 β を持つようにしてナセル13はタワー15に支持されている。

10

所定角 β は、浮体式洋上風力発電施設による発電効率が良好になるよう、最も一般的な風速に基づいて設定すればよい。また、風速に応じて所定角 β が最適な角度になるように、所定角 β を変化させる所定角 β 制御手段を備えた構成としてもよい。

図7を参照して説明した上記の構成は、第1の実施形態において説明した回動揺動抑制装置20を用いた浮体式洋上風力発電施設においても用いることができる。

20

【0028】

(第3の実施形態)

本発明の第3の実施形態について、図11及び図12を参酌して以下に説明する。本実施形態では、本発明を浮体式洋上風力発電施設として実施する場合について説明する。なお、第1または第2の実施形態において説明した部材については、同じ番号を付して本実施形態では説明を省略する。

図11は、本実施形態による浮体式洋上風力発電施設40の概略構成を示す斜視図である。同図に示すように浮体式洋上風力発電施設40は、ナセル13と構造体41とを一体にして、ナセル13が構造体41に対して回動しないように構成したものである。構造体41は、水に浮くものであって、その上端にはナセル13が固定されており、その下端が回動手段42を介して海底Bのアンカー43に繋がれている。この回動手段42は、構造体41が風向Wの変化に応じて回動可能となるように構造体41をアンカー43に繋ぐものであって、構造体41に風見鶏効果を発揮させるものである。

30

構造体41の外側には流体力学的ダンパー44が設けられている。係留構造体41は中心軸回りの回転運動を抑制しない係留方式により係留されたものであるが、この流体力学的ダンパー44を水中に位置させることにより、揺動抑制手段としての機能を果たすことができる。すなわち、羽根形状の流体力学的ダンパー44の水に対する抵抗は、構造体41の遅い回動に対しては小さくなり、速い回動に対しては大きくなる。このため、速い回動であるジャイロ効果による構造体41の回動を選択的に減衰させて抑制することができる。このように構造体41に流体力学的ダンパー44を設けることにより構造体41のジャイロ効果による回動揺動を抑制することができる。なお、構造体41の回動揺動を抑制するために油圧ダンパー160(図4参照)や摩擦ダンパー165(図5参照)を併せて、構造体41に設けることとしてもよい。

40

【0029】

図12は、本実施形態による上述した浮体式洋上風力発電施設40とは別の構成を備えた浮体式洋上風力発電施設50の概略構成を示す斜視図である。同図に示すように、浮体式洋上風力発電施設50は、構造体51の上部51Aとナセル13とを一体にし、構造体上部51Aと構造体下部51Bとの間に回動手段42を設けたものである。また、構造体51は回動手段42よりも下方に位置する構造体下部51Bにおいて、複数の係留索54により海底Bのアンカー43に固定されている。

50

この構成により、回動手段 4 2 により構造体上部 5 1 A が風向 W の変化に応じて回動可能となるから、風見鶏効果を発揮することができる。そして、構造体 5 1 内部に備えられている揺動抑制手段 1 6 によりジャイロ効果によるナセル 1 3 の回動揺動を抑制することができる。

【0030】

(第 4 の実施形態)

本発明の第 4 の実施形態について、図 1 3 を参酌して以下に説明する。本実施形態では、浮体の中心軸回りの回転運動を抑制しない係留方式で浮体式洋上風力発電施設を係留する構成について説明する。なお、第 1 ～ 3 の実施形態において説明した部材については、同じ番号を付して本実施形態では説明を省略する。

10

図 1 3 は、本実施形態による浮体式洋上風力発電施設の概略構成を示す斜視図である。同図に示すように、本実施形態の浮体式洋上風力発電施設 6 0 の浮体 3 1 は、いわゆるカテナリー方式で係留索 3 2 により海底 B に係留されているから、浮体 3 1 は中心軸回りにある程度の範囲で回動揺動することができる。すなわち、浮体 3 1 はその中心軸回りの回転運動を抑制しない係留方式で係留されている。このため、ジャイロ効果によって生じるナセル 1 3 の浮体 3 1 に対する回動揺動を揺動抑制手段 1 6 によって拘束しても浮体 3 1 は中心軸回りにある程度の範囲で回動揺動することができるので、ナセル 1 3 の回動揺動を抑制することはできない。しかし、浮体式洋上風力発電施設 6 0 の浮体 3 1 には、羽根状の流体力学的ダンパー 6 4 が複数設けられているから、浮体 3 1 に回動揺動が生じることを抑制できる。

20

このように、浮体の中心軸回りの回転運動を抑制しない係留方式で浮体式洋上風力発電施設を係留する場合、回動座軸受 1 4 におけるナセル 1 3 の回動揺動を抑制するための揺動抑制手段 1 6 と、浮体 3 1 の回動揺動を抑制するための流体力学的ダンパー 6 4 とを組み合わせた構成とすることは、ジャイロ効果に起因するナセル 1 3 と浮体 3 1 の回動揺動を抑制するために有効である。

【0031】

本実施形態の浮体式洋上風力発電施設 6 0 では、2 枚の流体力学的ダンパー 6 4 が浮体 3 1 を介して対向するように、すなわち 2 枚の流体力学的ダンパー 6 4 の浮体 3 1 への取り付け部を結んだ線が浮体 3 1 の水平面に平行な断面の略中心を通るように配置されている。これは、流体力学的ダンパー 6 4 が浮体 3 1 のピッチング揺動ではなく回転揺動を抑制するために設けられたものであることによる。すなわち、浮体式洋上風力発電施設 6 0 の流体力学的ダンパー 6 4 は、外部の水との相互干渉により浮体 3 1 の回転揺動の抵抗となるように設けられたものであるから、ピッチング揺動の抑制を目的とするもののように 3 枚以上を設ける必要がない。このため、流体力学的ダンパー 6 4 は 1 枚であってもその機能を果たす。ただし、その数を 3 枚以上としても上記の機能を果たすから、流体力学的ダンパー 6 4 の数を 3 枚以上としても良い。

30

この実施形態においては、揺動抑制手段 1 6 に代えて、ナセルの回転運動を能動的に制御する装置を具備した際にも、流体力学的ダンパー 6 4 によって、浮体 3 1 に回動揺動が生じることを抑制できる。

【産業上の利用可能性】

40

【0032】

本発明は、風力発電施設における発電効率や機器の耐久性を向上させるための装置として利用することができる。特に、浮体式洋上風力発電施設の発電効率や機器の耐久性を向上させるために有用である。

【符号の説明】

【0033】

1 0、4 0、5 0、6 0 浮体式洋上風力発電施設

1 1 ローター

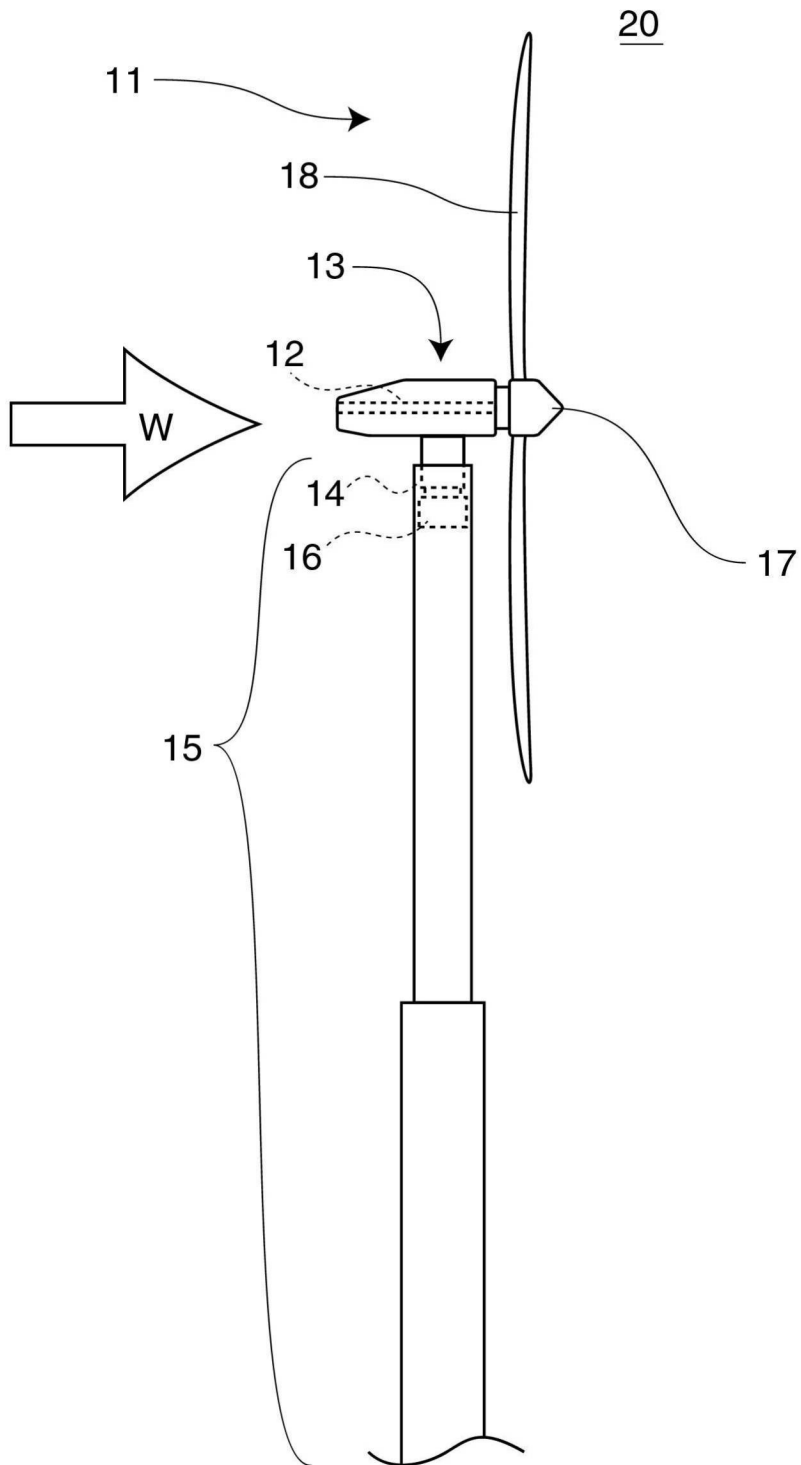
1 2 回転軸

1 3 ナセル

50

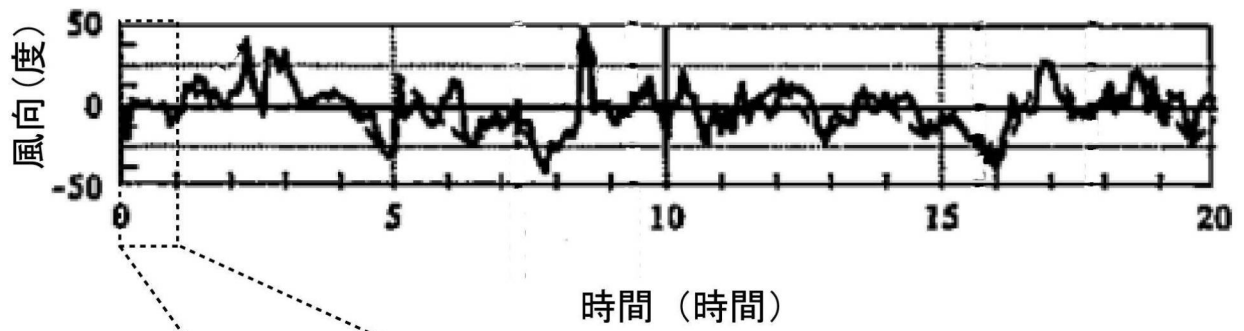
- 1 4 回動座軸受（回動手段）
- 1 5 タワー（構造体）
- 1 6 揺動抑制手段
- 1 6 0 油圧ダンパー
- 1 6 5 摩擦ダンパー
- 2 0、3 0 回動揺動抑制装置
- 3 1 浮体
- 3 2 係留索
- 4 1 構造体
- 4 2 回動手段
- 4 4、6 4 流体力学的ダンパー
- 5 1 A 構造体上部
- 5 1 B 構造体下部
- α コーニング角
- β 所定角

【図 2】

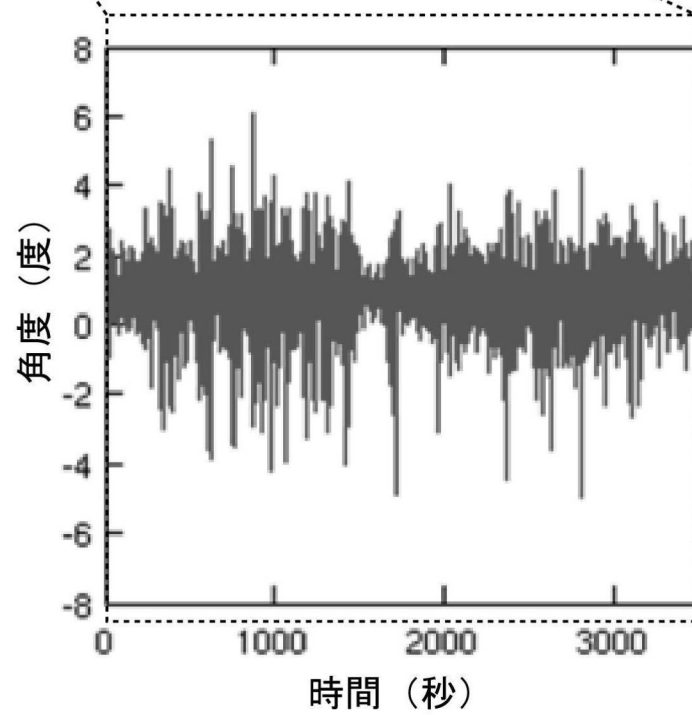


【図 3】

(a)

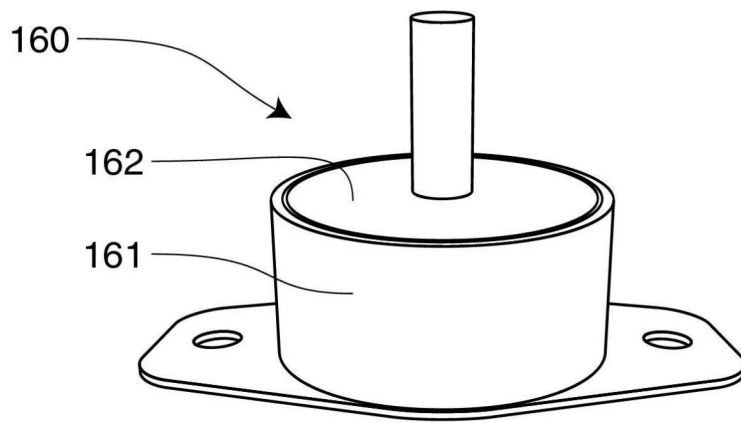


(b)

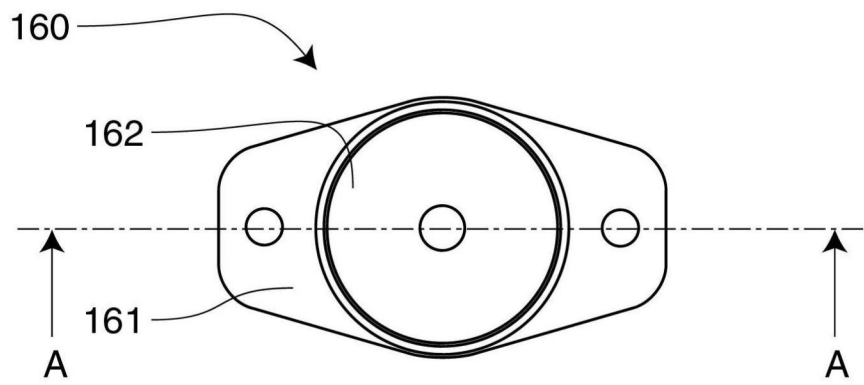


【図 4】

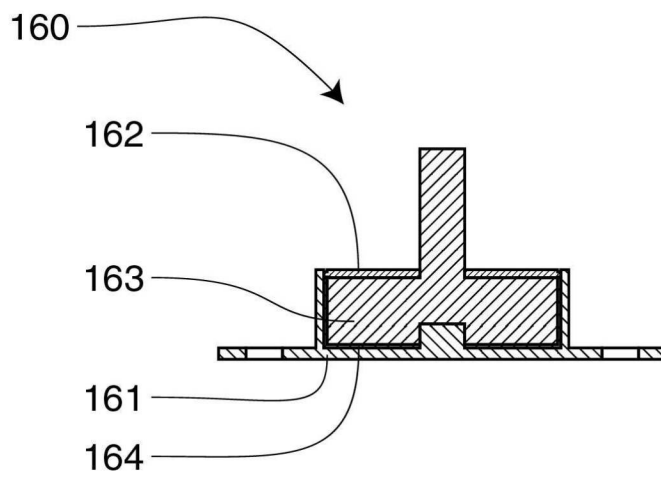
(a)



(b)

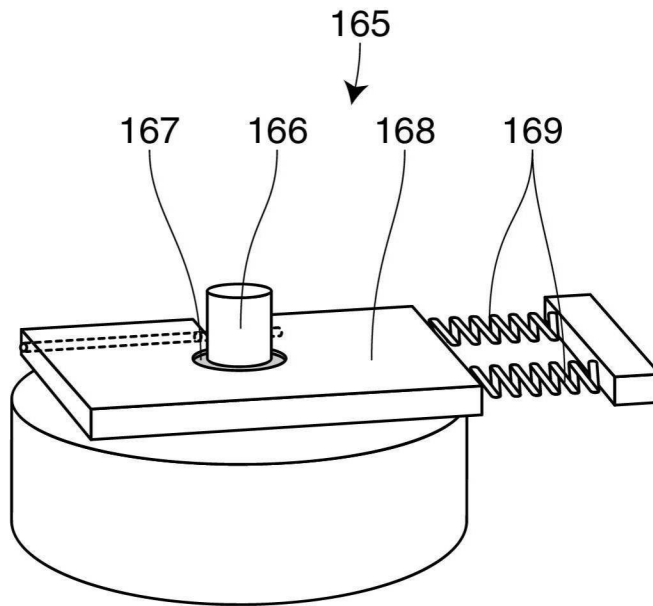


(c)

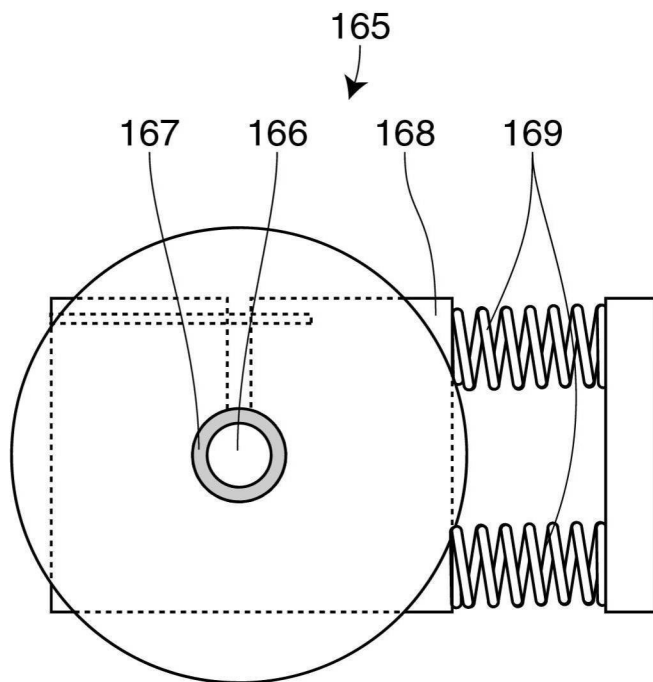


【図 5】

(a)

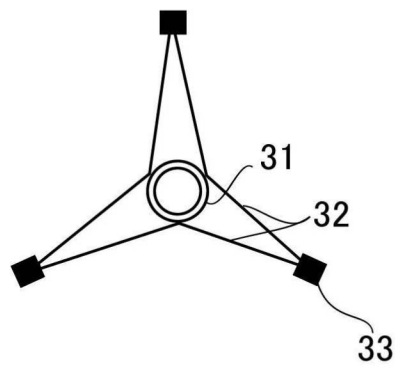


(b)

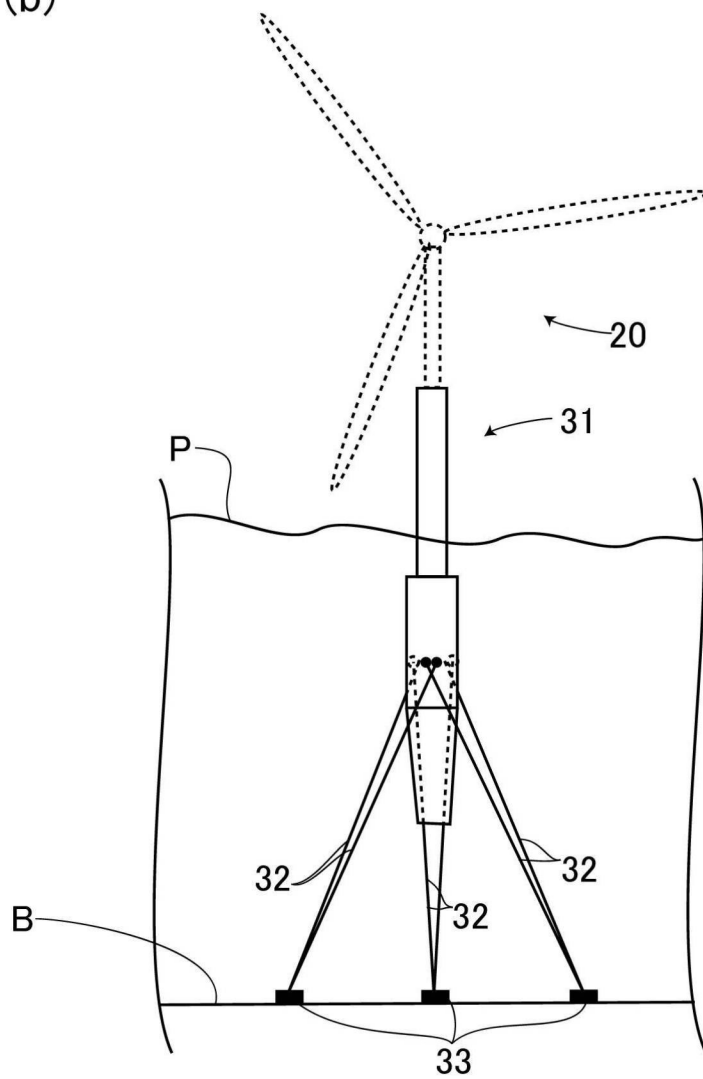


【図 6】

(a)

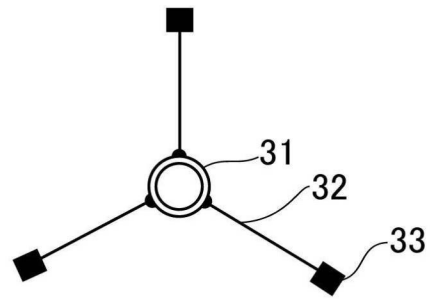


(b)

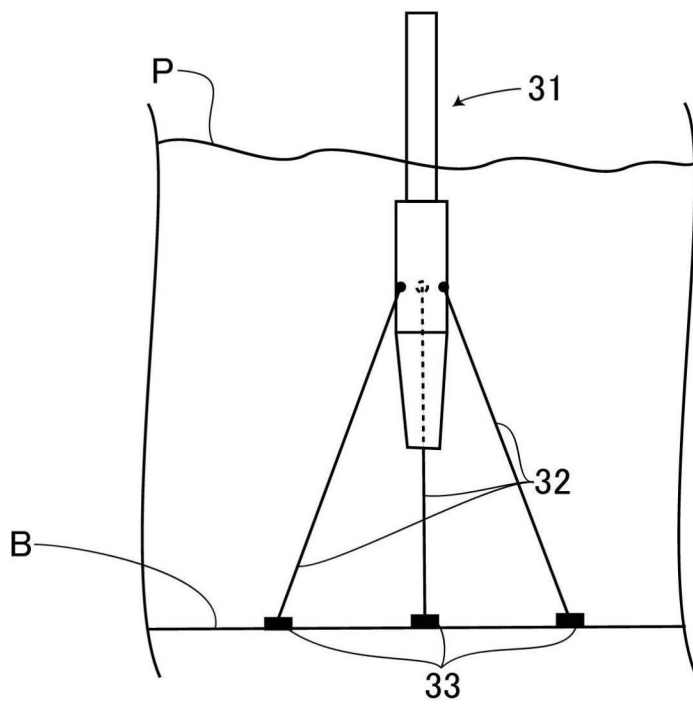


【図 8】

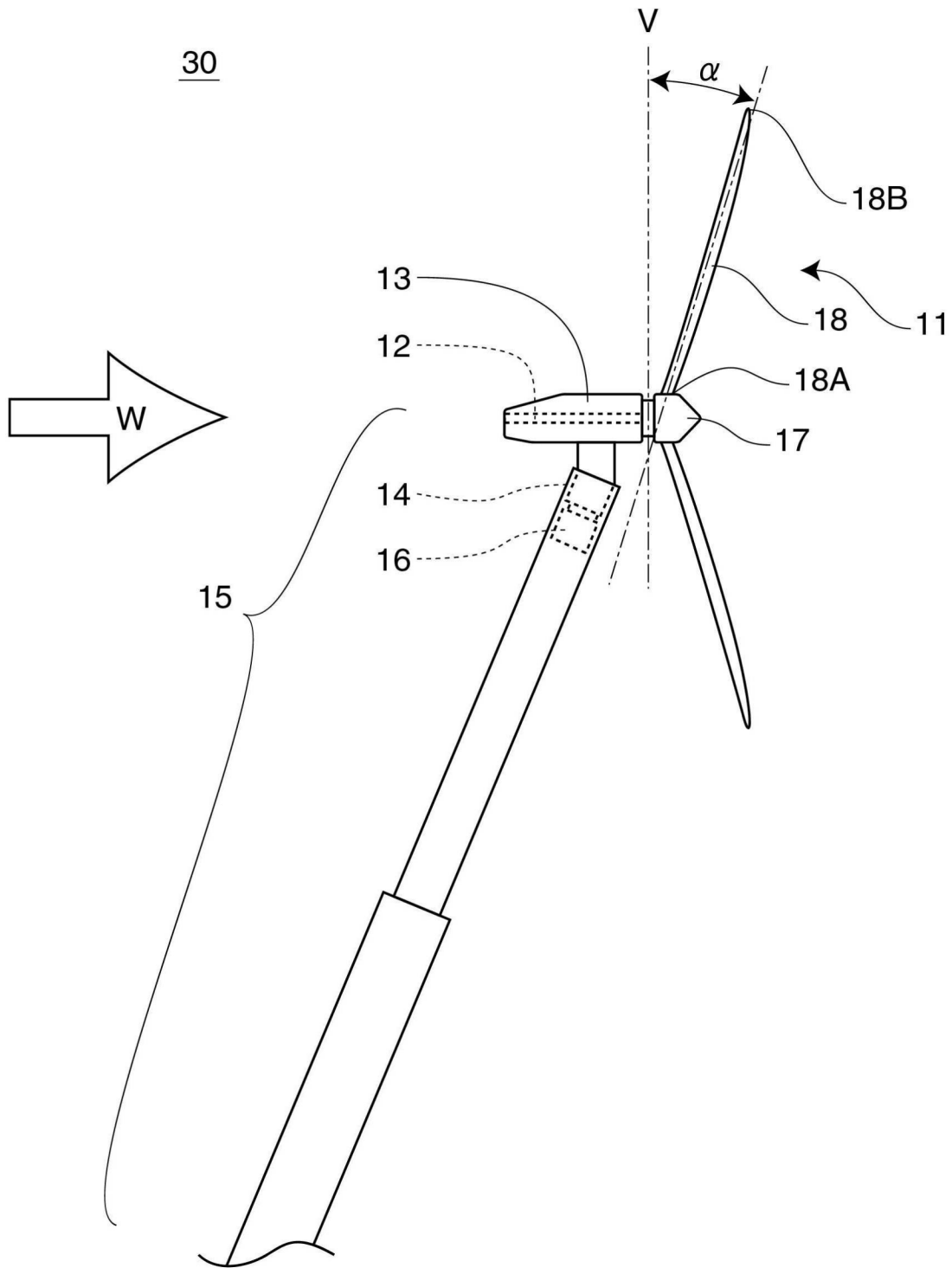
(a)



(b)

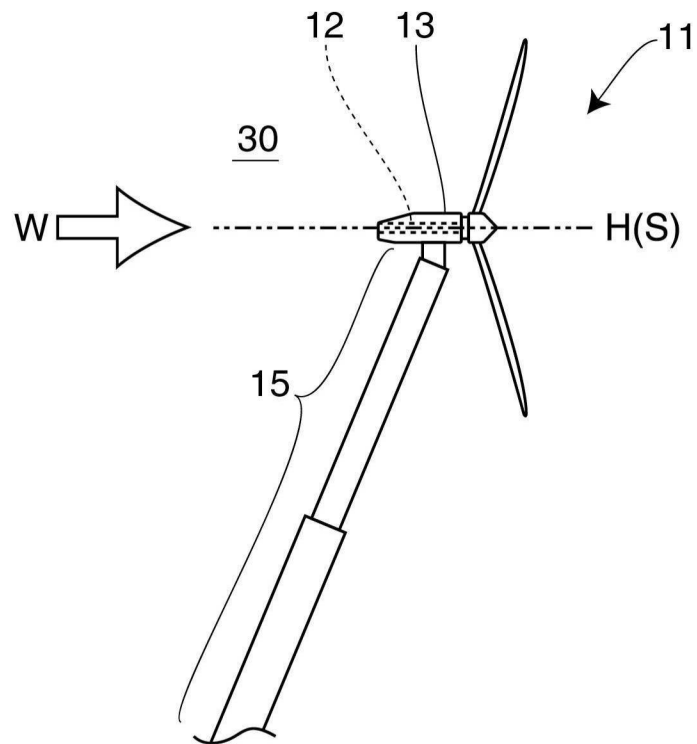


【図 9】

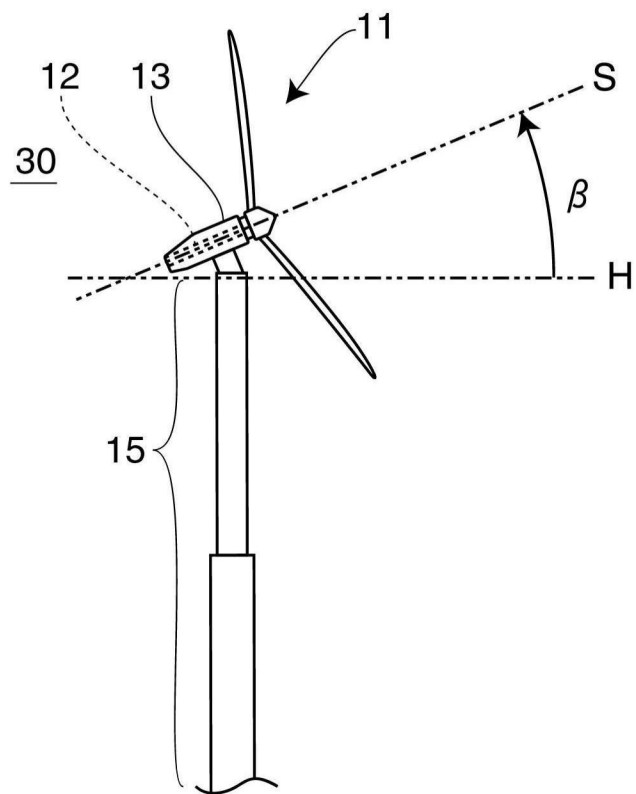


【図 10】

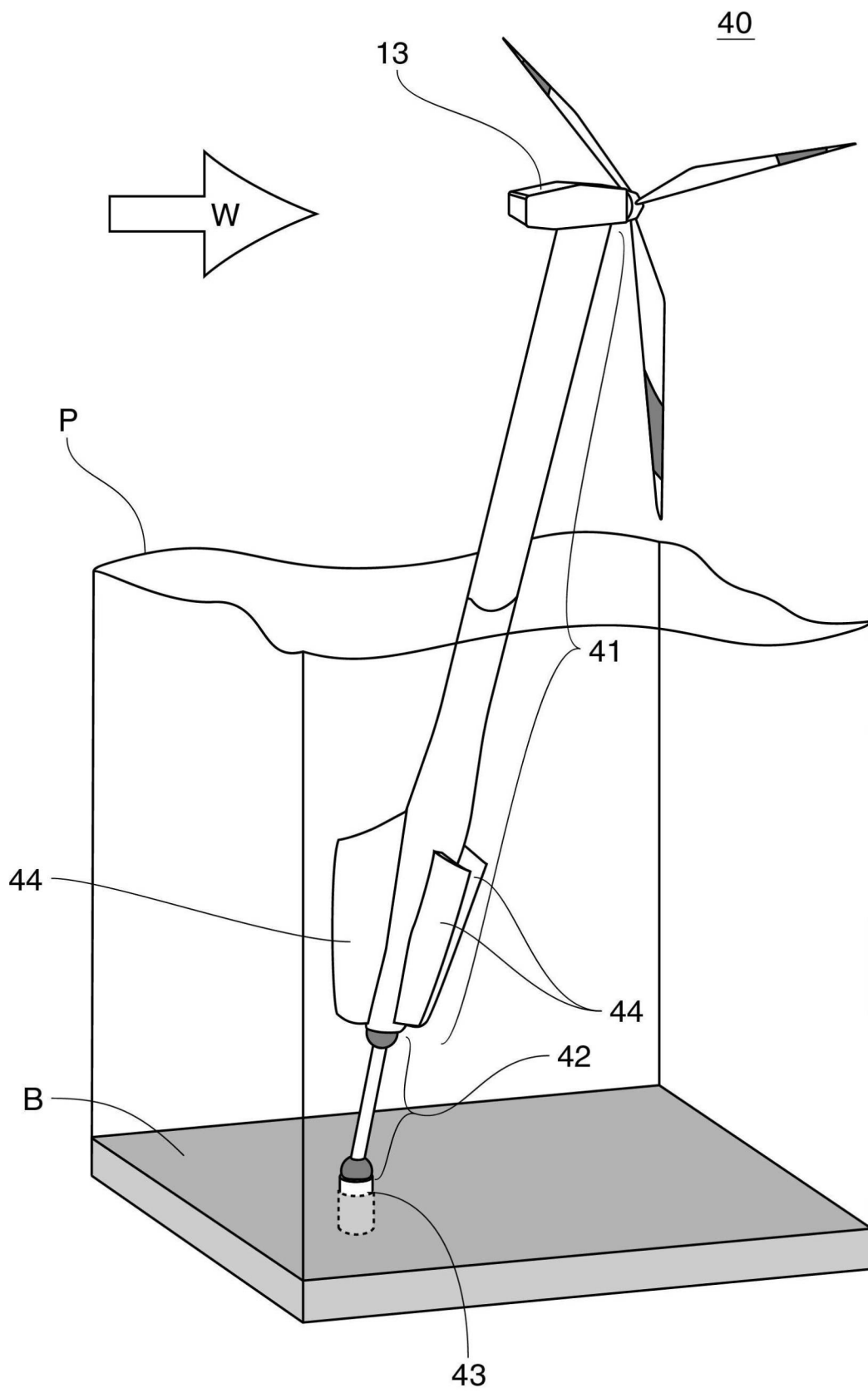
(a)



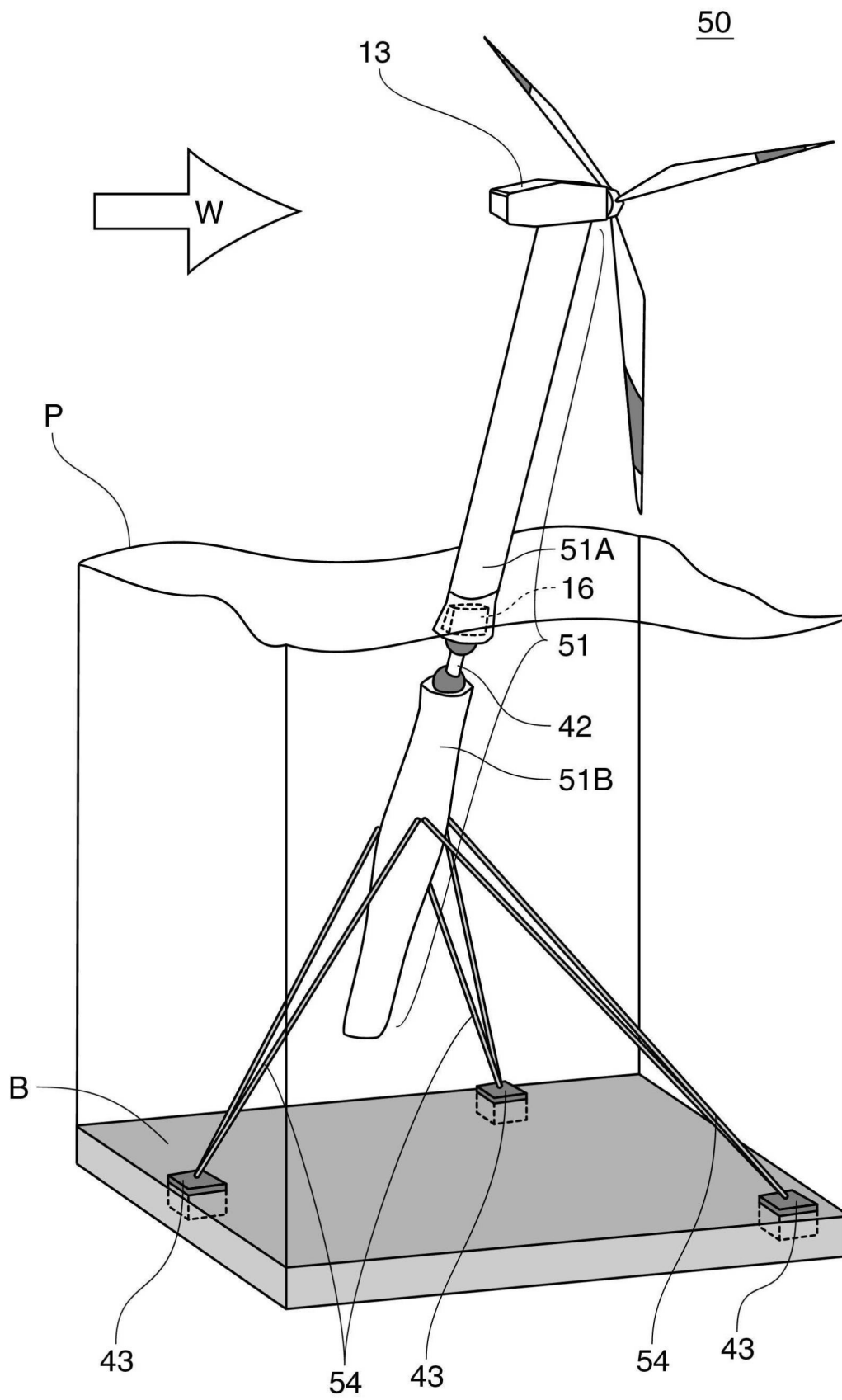
(b)



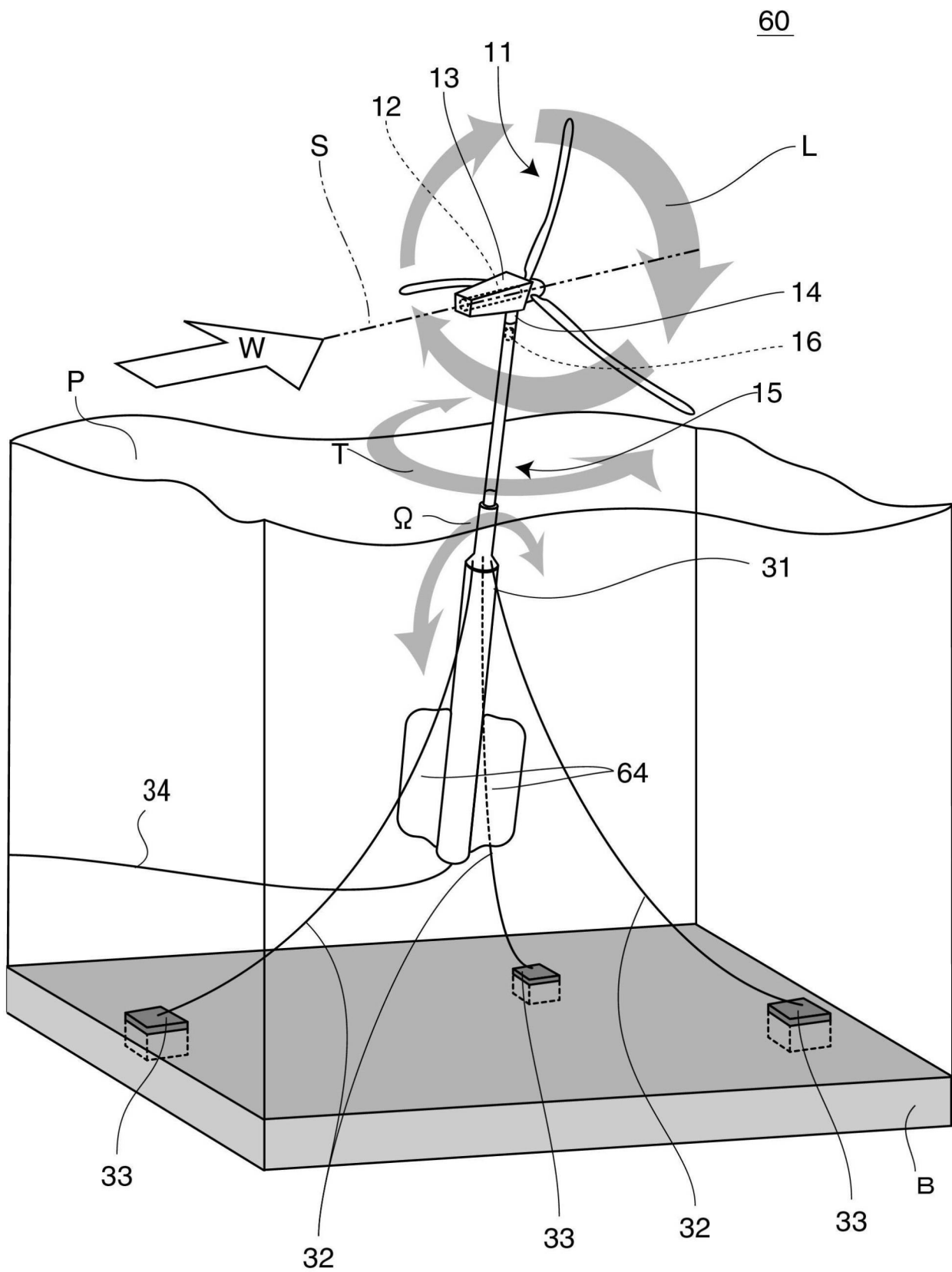
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 井上 俊司

東京都三鷹市新川六丁目３番１号 独立行政法人海上技術安全研究所内

Fターム(参考) 3H078 AA02 AA11 AA26 BB15 CC02 CC22 CC46 CC80