

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5678391号
(P5678391)

(45) 発行日 平成27年3月4日(2015.3.4)

(24) 登録日 平成27年1月16日(2015.1.16)

(51) Int.Cl.

F 1

F03D	11/00	(2006.01)	F 03 D	11/00	Z
F03D	1/06	(2006.01)	F 03 D	1/06	A
F03D	11/04	(2006.01)	F 03 D	11/04	A
F03D	9/00	(2006.01)	F 03 D	11/00	A

F 03 D 9/00

請求項の数 8 (全 25 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)

(65) 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)

審査請求日

平成25年9月19日(2013.9.19)

(73) 特許権者 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】浮体式洋上風力発電施設

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

洋上で構造体の一部として浮体を用いて発電を行う浮体式洋上風力発電施設において、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、前記ナセルを水面に対して回動自在に支持する回動手段を有した前記構造体と、前記ナセルの水面に対する回動揺動を抑制する揺動抑制手段とを備え、前記揺動抑制手段として前記構造体の形状または構造と周囲の流体との相互干渉により回動揺動を抑制する流体力学的ダンパーを用いたことを特徴とする浮体式洋上風力発電施設。

【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 に記載の浮体式洋上風力発電施設。 10

【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 に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 4】

前記揺動抑制手段として油圧ダンパーを更に備えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のうちの1項に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 5】

前記揺動抑制手段として摩擦ダンパーを更に備えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のうちの1項に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 6】

前記浮体を係留索で係留したことを特徴とする請求項1から請求項5のうちの1項に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 7】

前記浮体を略円筒形状に形成し、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本の前記係留索からなる係留索対が用いられ、前記2本の前記係留索は、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6に記載の浮体式洋上風力発電施設。

【請求項 8】

風を受けて傾いた状態における前記ローターの前記回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前記ローターの前記回軸を前記水面に対して所定角を持たせて前記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1から請求項7のうちの1項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、ローターの回軸を収容するナセルの回動揺動（ヨーイング回転、偏擺回転）及び浮体の回動揺動を効率的に抑制することができる浮体式洋上風力発電施設に関する。 10

【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、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。 20

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、ローターの回軸の自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、ローターの回軸の自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。 30

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。 40

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。

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）。 50

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。

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。10

【先行技術文献】

【特許文献】

【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】20

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。30

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項 1 に記載の本発明の浮体式洋上風力発電施設は、洋上で構造体の一部として浮体を用いて発電を行う浮体式洋上風力発電施設において、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、前記ナセルを水面に対して回動自在に支持する回動手段を有した前記構造体と、前記ナセルの水面に対する回動揺動を抑制する揺動抑制手段とを備え、前記揺動抑制手段として前記構造体の形状または構造と周囲の流体との相互干渉により回動揺動を抑制する流体力学的ダンパーを用い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。また、洋上における浮体のピッキング動搖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。また、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。40

請求項 2 に記載の本発明は、請求項 1 に記載の浮体式洋上風力発電施設において、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 に記載の浮体式洋上風力発電施設において、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。50

この構成によりれば、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 項に記載の浮体式洋上風力発電施設において、前記揺動抑制手段として油圧ダンパーを更に備え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 項に記載の浮体式洋上風力発電施設において、前記揺動抑制手段として摩擦ダンパーを更に備え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 に記載の本発明は、請求項 1 から請求項 5 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、前記浮体を係留索で係留したことを特徴とする。

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、前記浮体を略円筒形状に形成し、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 本の前記係留索からなる係留索対が用いられ、前記 2 本の前記係留索は、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 8 に記載の本発明は、請求項 1 から請求項 7 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前記ローターの前記回軸が風向に対しても平行になるように、風を受けていない状態における前記ローターの前記回軸を前記水面に対して所定角を持たせて前記ナセルを前記構造体に支持したことを特徴とする。

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軸が風向に対して平行となるようになることができる。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行う。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。

【発明の効果】

【0009】

本発明の浮体式洋上風力発電施設は、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できるとなる。

また、揺動制御手段として油圧ダンパー又は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とから、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できる。

【0010】

本発明の浮体式洋上風力発電施設は、揺動抑制手段を備えているから、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できるとなる。また、ジャイロ効果の逆作用により浮体のピッティング揺動も抑制することができる。

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索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ティ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できるとなる。

また、風を受けていない状態におけるローターの回軸と水平面との間に所定角を持た

10

20

30

40

50

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のであるから、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、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、ジャイロ効果に基づいてナセルあるいは浮体に生じる回動揺動を抑制し、また浮体のピッティ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。

【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 10

【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

【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A-A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 20

【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

【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 30

【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】

(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を参照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。 40

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。

【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 50

結された回転軸 12 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。

【 0 0 1 4 】

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 10 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 20 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。

【 0 0 1 5 】

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 20 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できるとなる。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。

【 0 0 1 6 】

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。

【 0 0 1 7 】

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 30 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。

$$\times L = T$$

: 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ティング揺動 T が生じると、ローター 11 は自転軸 S に直交す 40 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。

【 0 0 1 8 】

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 50 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のピッキング動搖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のピッキ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。

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て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。

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。

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。

【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。10

【0022】

浮体31は略円筒形状に形成されており、浮体31を水平面上に投影した際に、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。20

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Lは、(1)式で与えられる。

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

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。30

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

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

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に、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。40

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方向に放射状に伸びた係留索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あるが、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を参照して以下に説明する。本実施形態の風力50

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。10

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を参照して説明する。20

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。30

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、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。

【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を参照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。40

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するものである。

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50

ができる。すなわち、羽根形状の流体力学的ダンパー 4 4 の水に対する抵抗は、構造体 4 1 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 4 1 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 4 1 に流体力学的ダンパー 4 4 を設けることにより構造体 4 1 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 4 1 の回動揺動を抑制するために油圧ダンパー 1 6 0 (図 4 参照) や摩擦ダンパー 1 6 5 (図 5 参照) を併せて、構造体 4 1 に設けることとしてもよい。

【 0 0 2 9 】

図 1 2 は、本実施形態による上述した浮体式洋上風力発電施設 4 0 とは別の構成を備えた浮体式洋上風力発電施設 5 0 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 5 0 は、構造体 5 1 の上部 5 1 A とナセル 1 3 とを一体にし、構造体上部 5 1 A と構造体下部 5 1 B との間に回動手段 4 2 を設けたものである。また、構造体 5 1 は回動手段 4 2 よりも下方に位置する構造体下部 5 1 B において、複数の係留索 5 4 により海底 B のアンカー 4 3 に固定されている。

10

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。

【 0 0 3 0 】

(第 4 の実施形態)

20

本発明の第 4 の実施形態について、図 1 3 を参照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。

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 は中心軸回りに一定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。

30

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構成とする場合、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。

【 0 0 3 1 】

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 のピッティ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、ピッティ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。

40

50

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】

【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

10

1 1 ローター

1 2 回転軸

1 3 ナセル

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

20

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

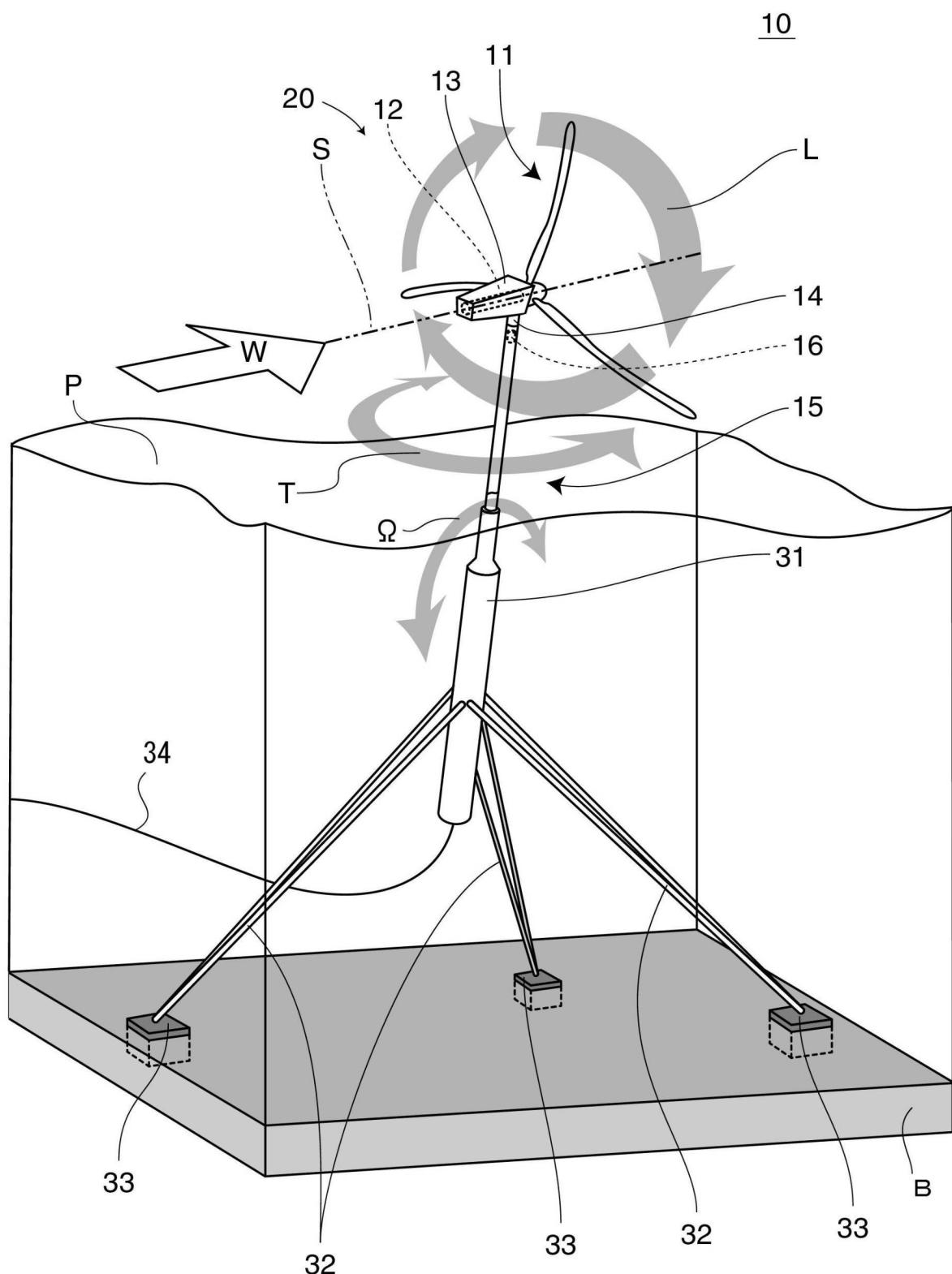
5 1 B 構造体下部

コーニング角

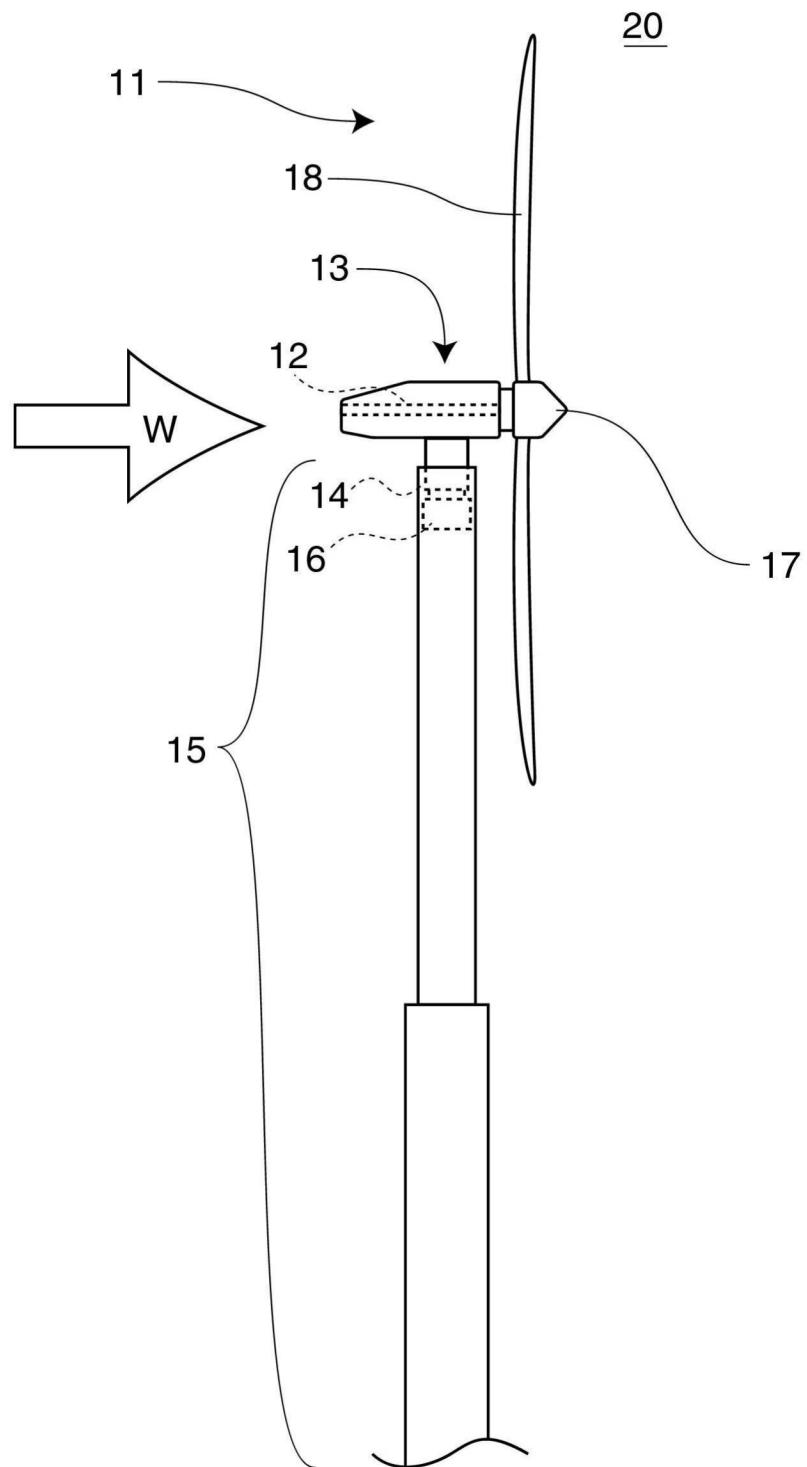
所定角

30

【図1】

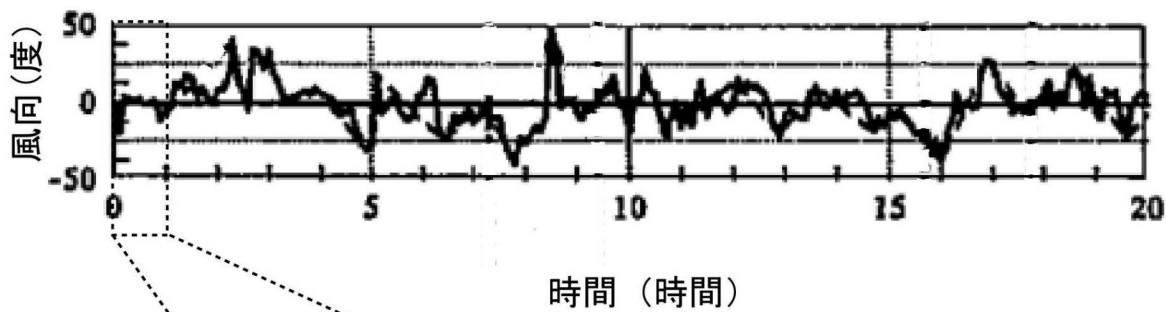


【図2】

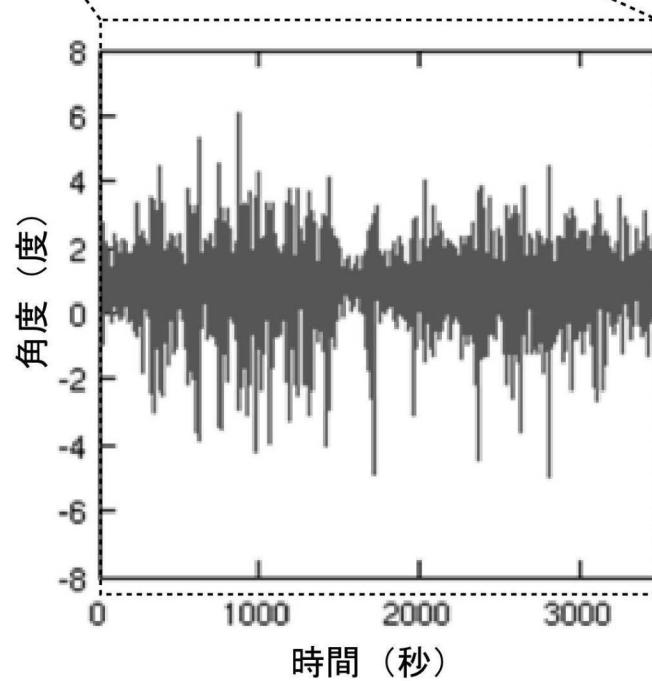


【図3】

(a)

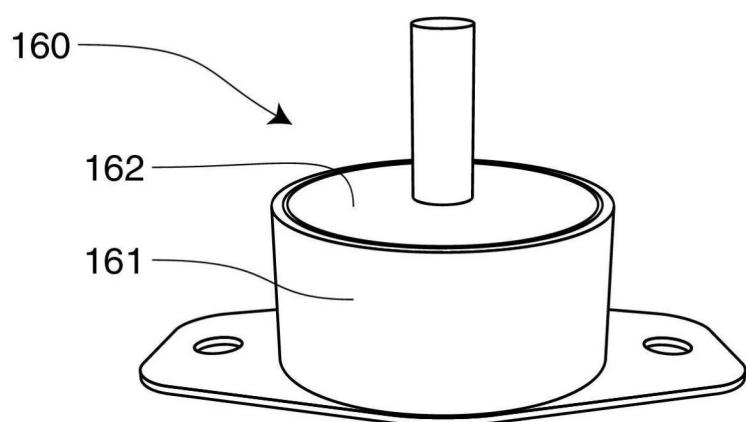


(b)

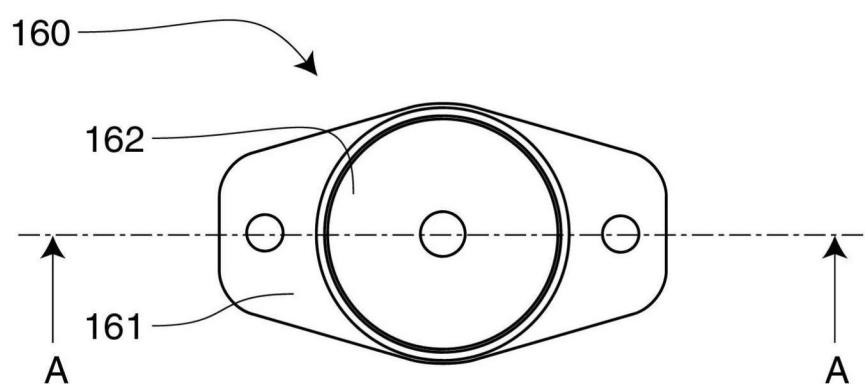


【図4】

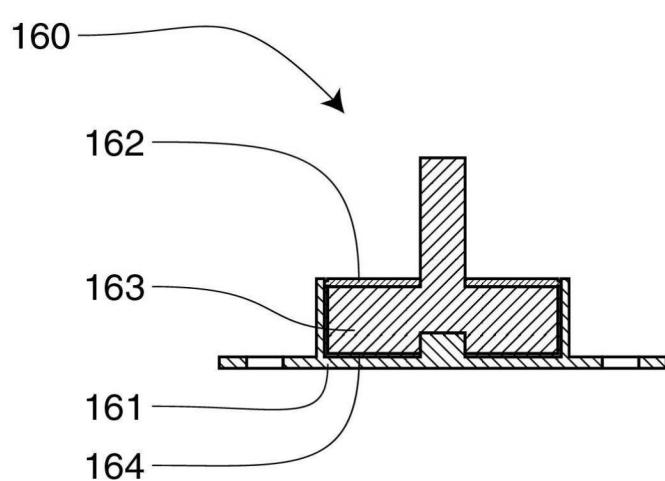
(a)



(b)

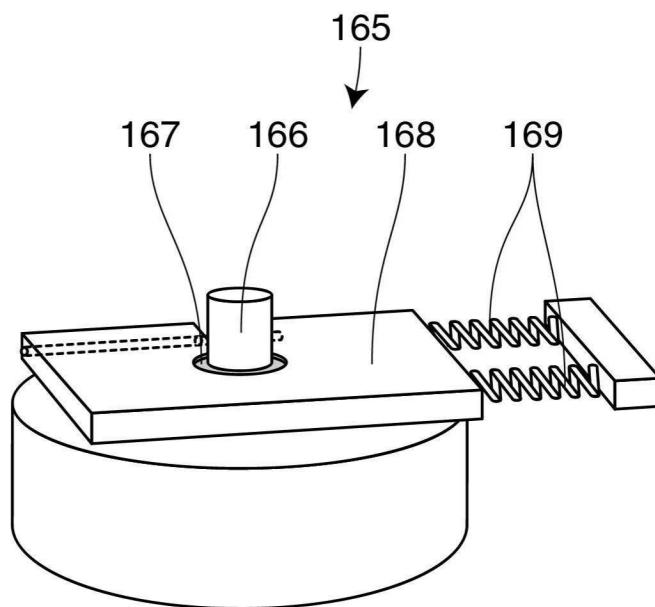


(c)

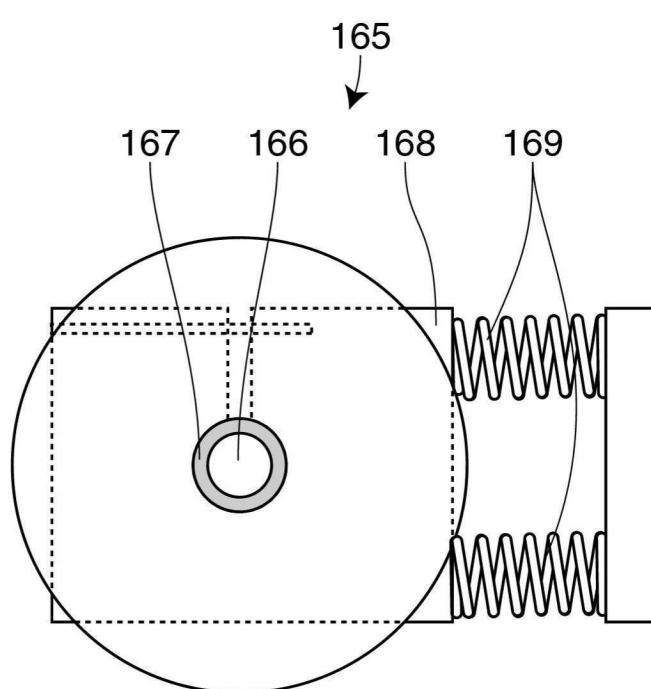


【図5】

(a)

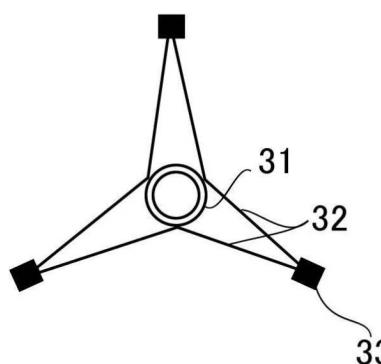


(b)

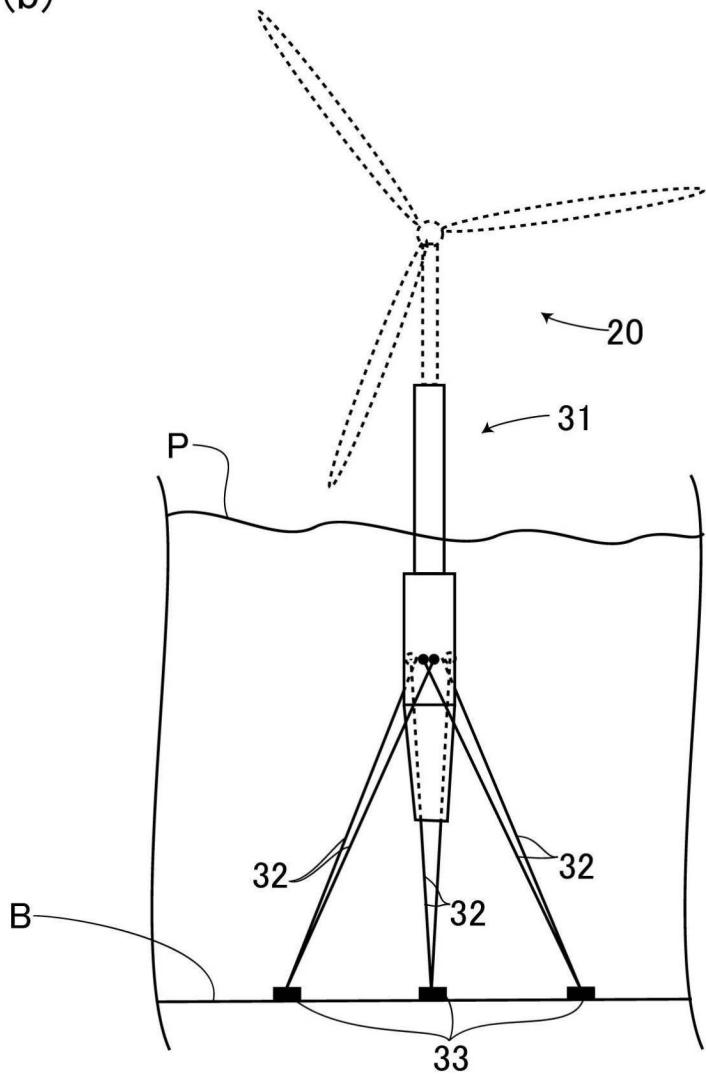


【図 6】

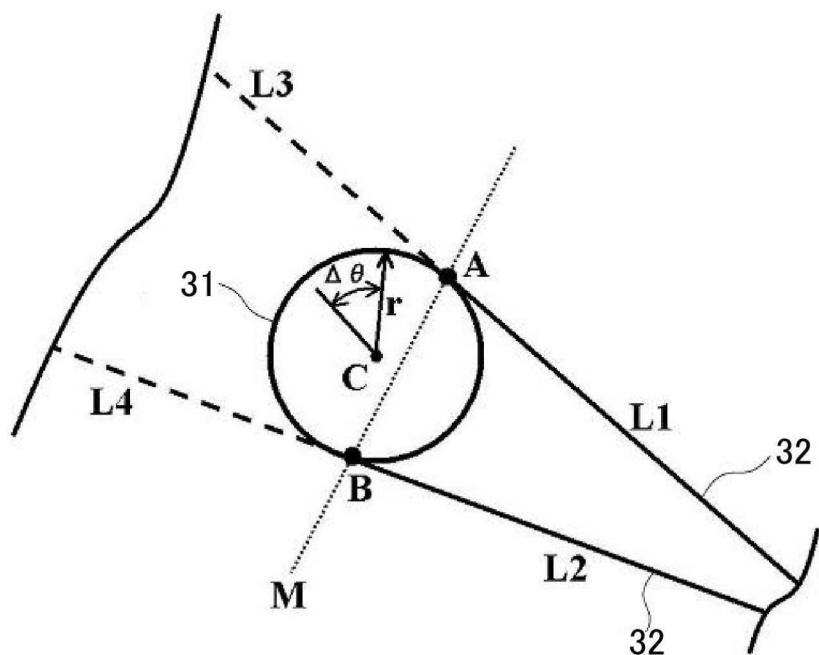
(a)



(b)

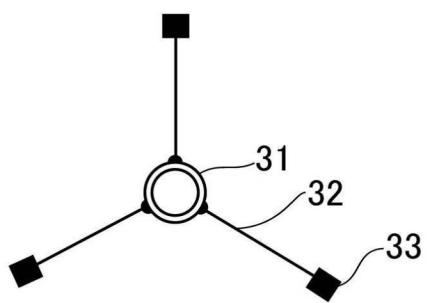


【図7】

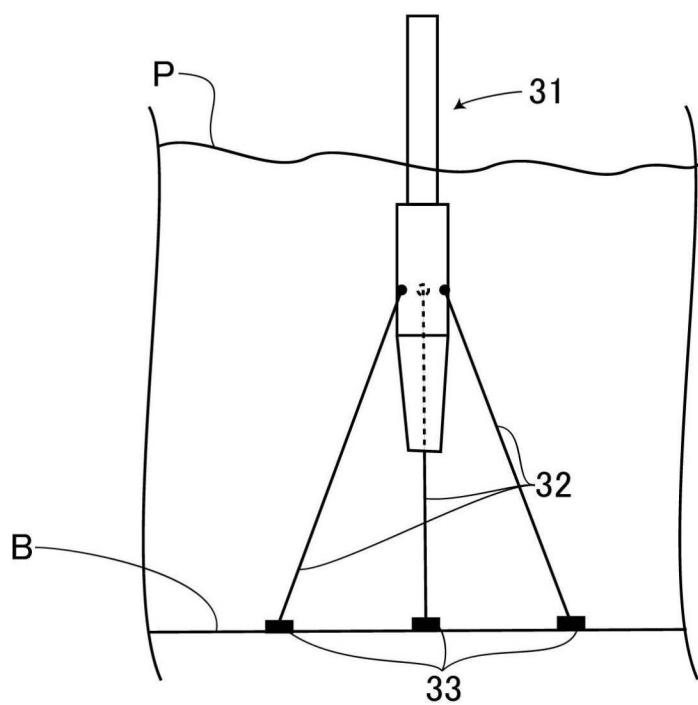


【図 8】

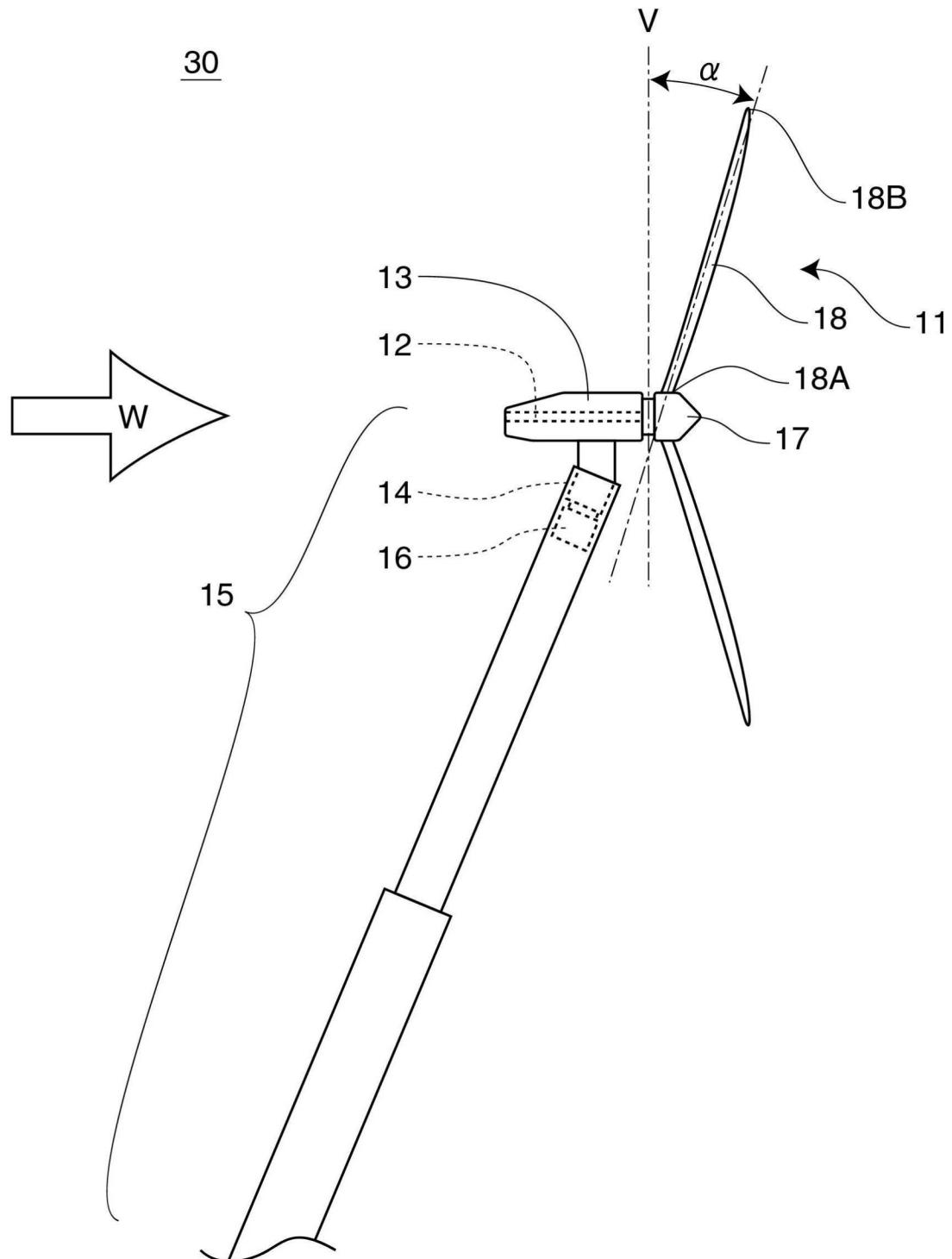
(a)



(b)

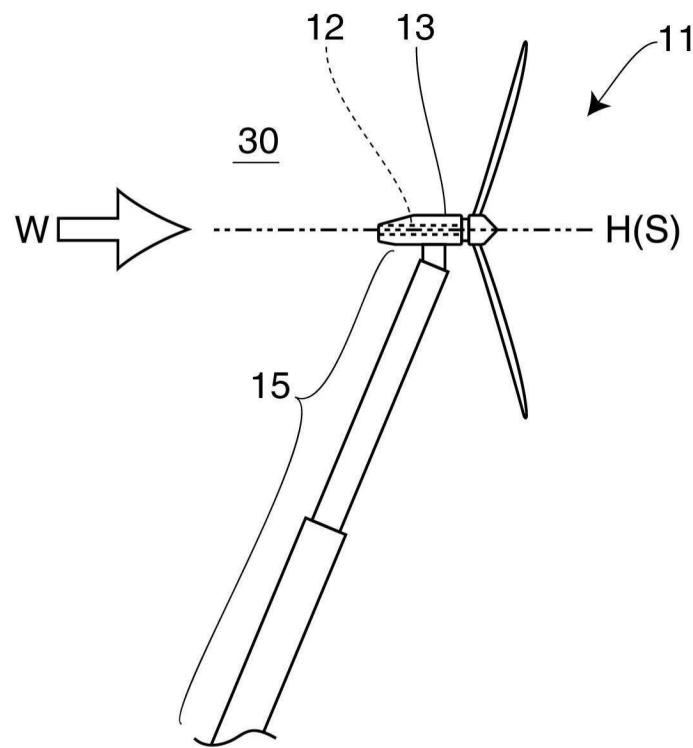


【図9】

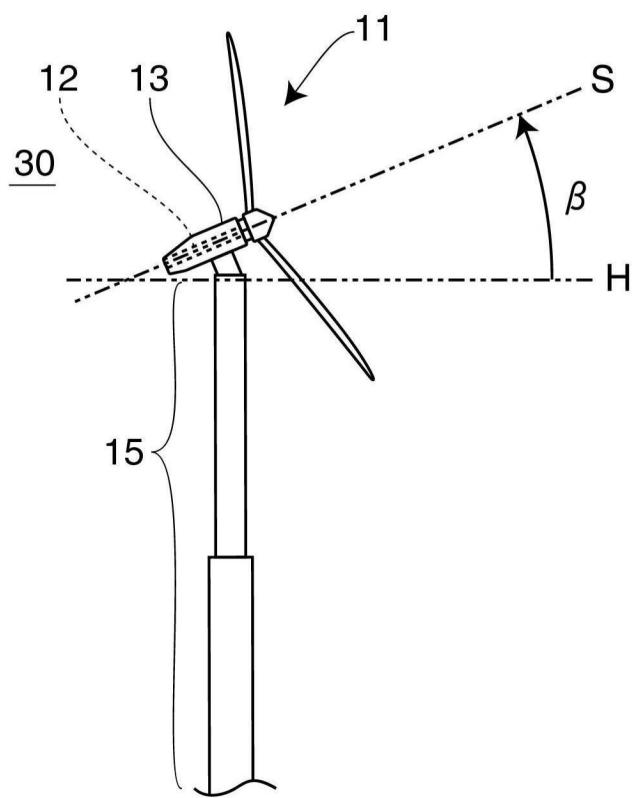


【図10】

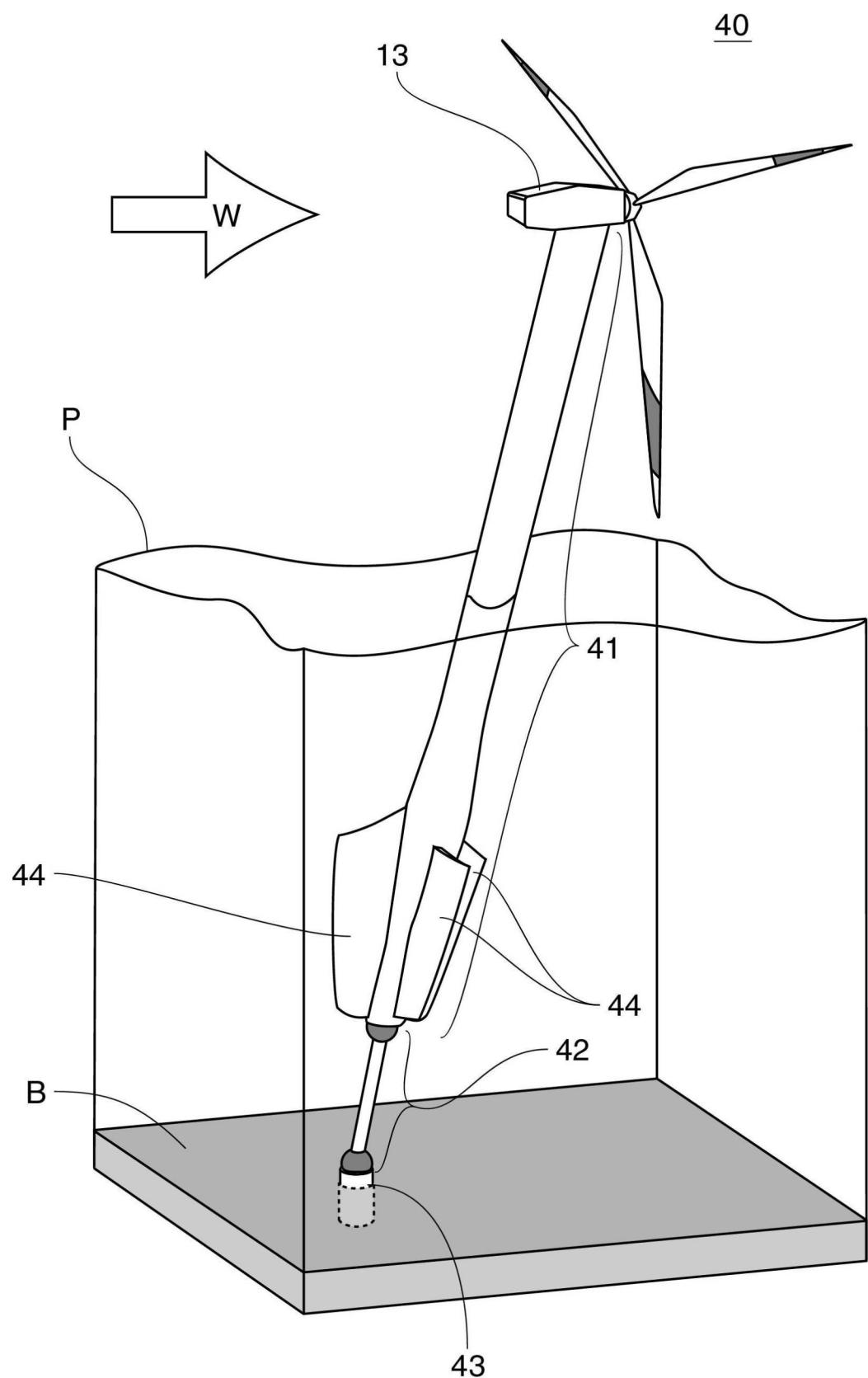
(a)



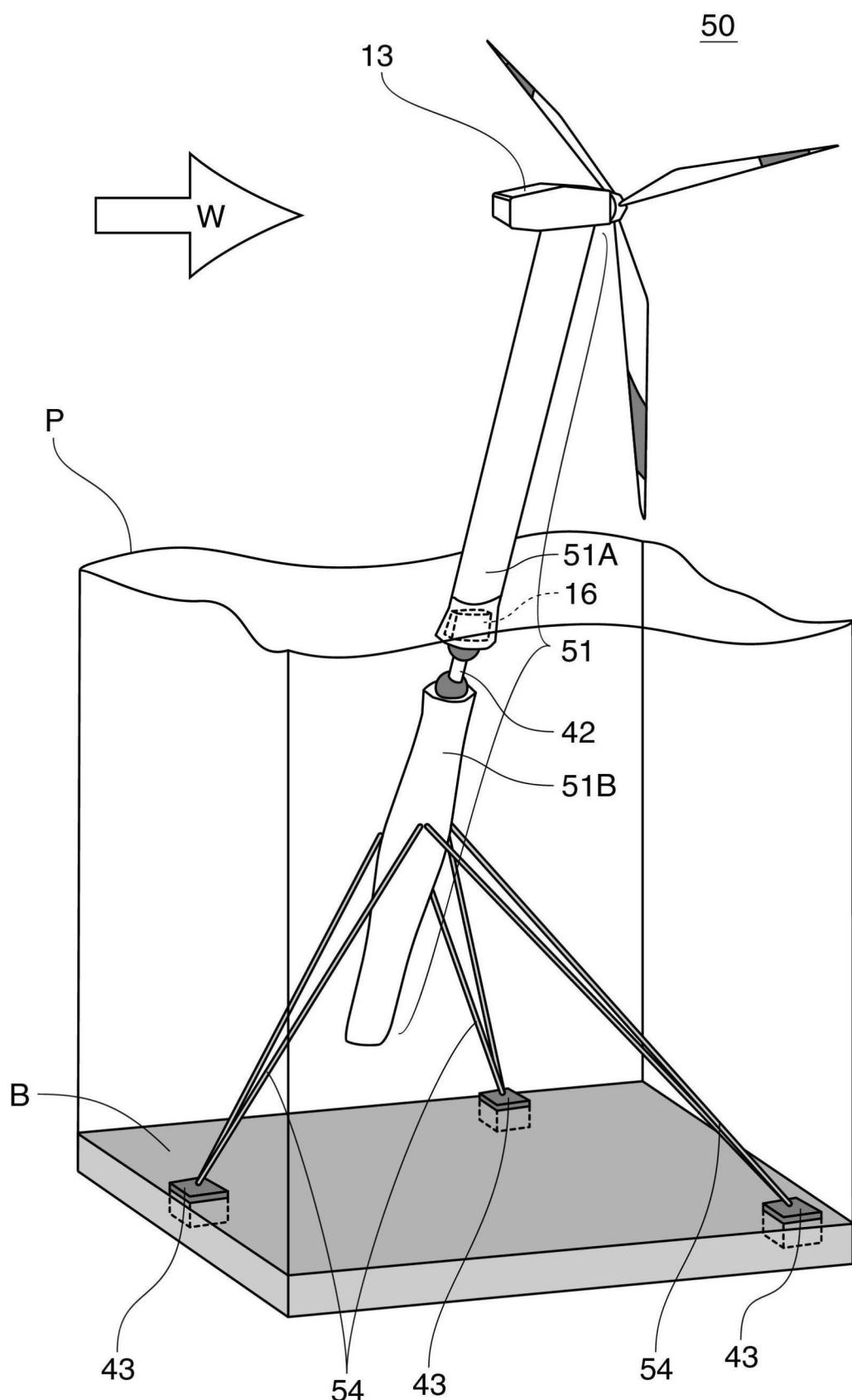
(b)



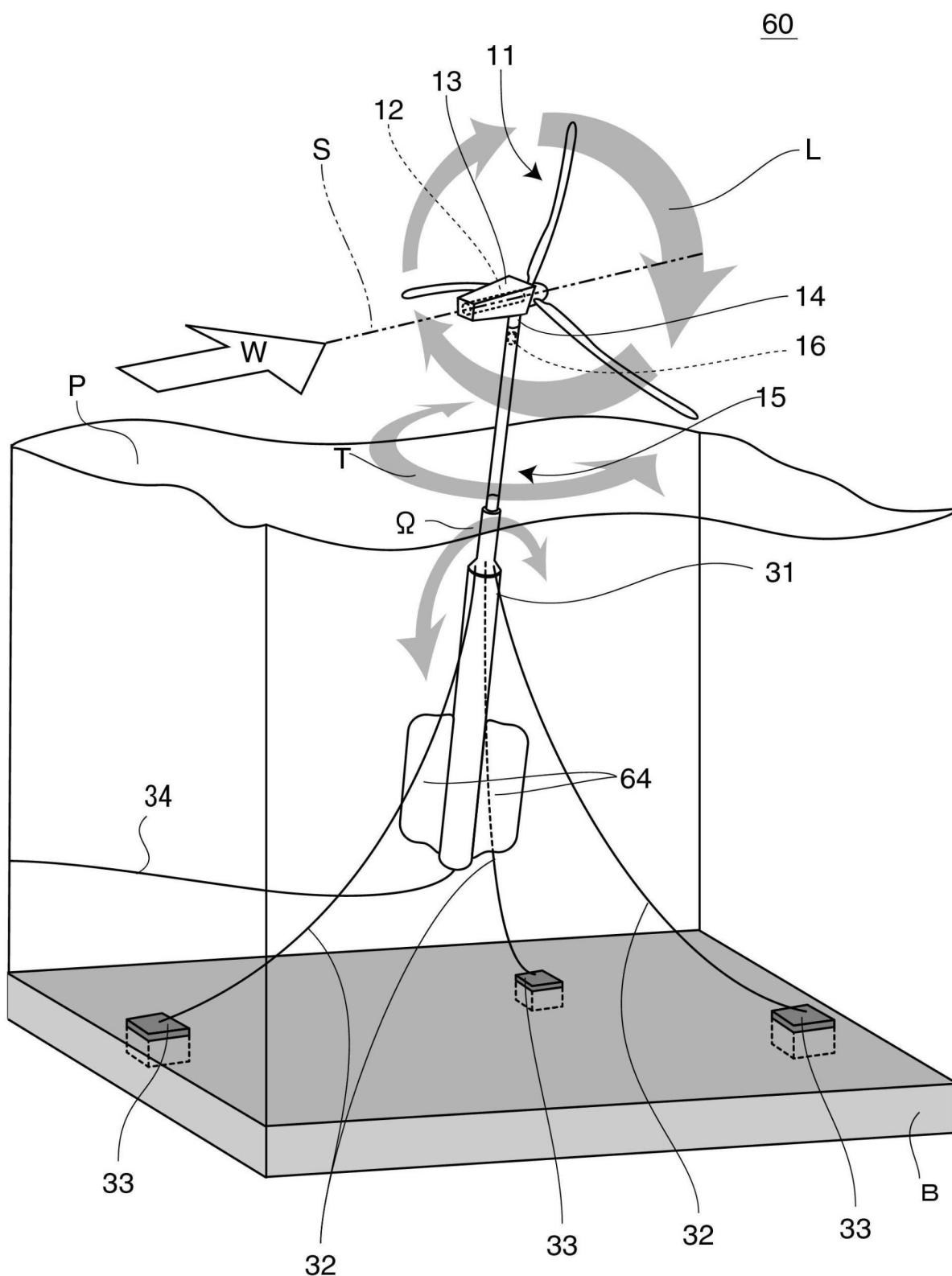
【図11】



【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38番1号 独立行政法人海上技術安全研究所内

審査官 山本 崇昭

(56)参考文献 特開2010-014105(JP,A)

特開2007-198167(JP,A)

特開2007-146858(JP,A)

特表2008-540902(JP,A)

特表2005-526213(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F03D 11/00

F03D 1/06

F03D 9/00

F03D 11/04