

(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2014-25434

(P2014-25434A)

(43) 公開日 平成26年2月6日(2014. 2. 6)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**FO3D 9/00 (2006.01)** FO3D 9/00 G 3H078  
**FO3D 11/04 (2006.01)** FO3D 11/04 A

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2012-167079 (P2012-167079)	(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
(22) 出願日	平成24年7月27日 (2012. 7. 27)	(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

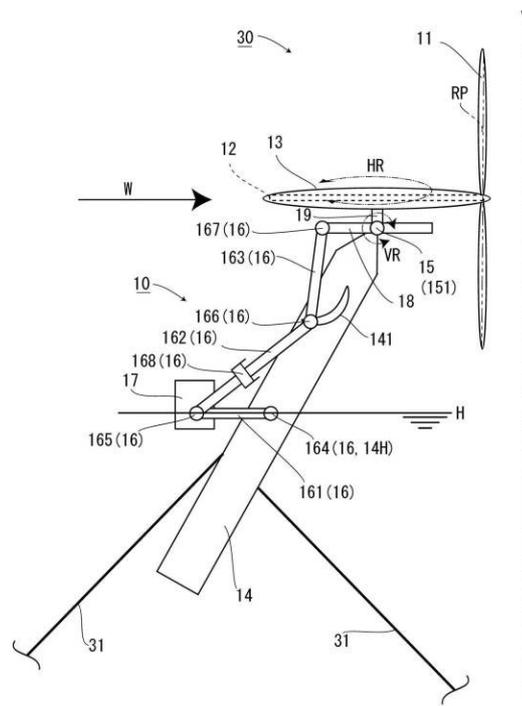
(54) 【発明の名称】 浮体式洋上風車の水平維持装置及び浮体式洋上風力発電施設

(57) 【要約】

【課題】ローターの回転面が風の流れの方向に対して出来るだけ垂直となるように維持して、発電効率を良好にすることができる洋上風車の水平維持装置及び浮体式洋上風力発電施設を提供する。

【解決手段】 水平維持装置10は、風により回転するローター11と、少なくともローター11の回転軸12を収容するナセル13と、ローター11とナセル13を支持する水面Hに浮かぶ浮体構造体14と、ナセル13を浮体構造体14の上に水面Hに対して垂直をなす鉛直面に対して平行に回動可能に支持する回動支持手段15と、浮体構造体14の傾斜時にナセル13を略水平に維持するリンク機構16を備えている。

【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、  
前記ローターと前記ナセルを支持する水面に浮かぶ浮体構造体と、  
前記ナセルを前記浮体構造体の上に前記水面に対して垂直をなす面に対して平行に回動可能に支持する回動支持手段と、  
前記浮体構造体の傾斜時に前記ナセルを略水平に維持する水平維持手段とを備えたことを特徴とする浮体式洋上風車の水平維持装置

**【請求項 2】**

前記水平維持手段は、前記浮体構造体の近傍に設けた水平維持用浮体の前記浮体構造体に対する相対的な位置変化をリンク機構で前記ナセルに伝えて前記ナセルを略水平に維持させたことを特徴とする請求項 1 に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 3】**

前記リンク機構の一部が、前記浮体構造体に可動的に係止されて構成されたことを特徴とする請求項 2 に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 4】**

前記リンク機構が、  
前記水面近傍で前記浮体構造体と前記水平維持用浮体を連結する第 1 アームと、  
前記水平維持用浮体と前記浮体構造物の前記水面と前記ナセルの間の部分を連結する第 2 アームと、  
前記第 2 アームに連結され前記回動支持手段に直接あるいは間接的に係止される第 3 アームを備えて成ることを特徴とする請求項 3 に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 5】**

前記第 2 アームの途中に前記浮体構造体の揺動による前記リンク機構への影響を低減するダンパーを設けたことを特徴とする請求項 4 に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 6】**

前記水平維持手段は、前記回動支持手段に固定され垂下する重錘機構であることを特徴とする請求項 1 に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 7】**

前記水平維持手段は、前記回動支持手段を回動させるワイヤー付き重錘を有した回動機構であることを特徴とする請求項 1 に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 8】**

前記水平維持手段は、前記浮体構造体に設けた傾斜センサあるいは前記ナセルに設けた水平センサの信号に基づき駆動手段により前記回動支持手段を回動させる回動駆動制御手段であることを特徴とする請求項 1 に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 9】**

前記ナセルを前記水面に対して平行に回動自在に支持する水平回動手段を備えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のうちの 1 項に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 10】**

前記ナセルを前記ローターに対して風上側に設け、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 1 から請求項 9 のうちの 1 項に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置。

**【請求項 11】**

請求項 1 から請求項 10 のうちの 1 項に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置を、洋上で風力発電を行う風力発電施設に適用したことを特徴とする本発明の浮体式洋上風力発電施設。

**【請求項 12】**

前記浮体構造体を係留索により係留したことを特徴とする請求項 11 に記載の浮体式洋上風力発電施設。

10

20

30

40

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は浮体式洋上風車の水平維持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、浮体式洋上風力発電施設の傾斜に対する復元性や安定性を確保することを目的とした、風力発電用浮体装置や（例えば、特許文献1）、緊張係留浮体の傾斜調整方法（例えば、特許文献2）が提案されている。また、風力駆動型発電所のタワーが傾斜しているときであっても回転子軸を水平な配置に保つことを目的とした風力駆動型発電所も提案されている（例えば、特許文献3）。

10

## 【0003】

特許文献1には、メインフロータの下端部から外周方向に向けて複数の連結部材を延設し、各連結部材の先端部にそれぞれサブフロータを傾動可能に支持させた風力発電用浮体装置が開示されている。特許文献2には、重錘又は浮力体を移動機構により水平方向に関する位置を移動することにより、浮体の傾斜を調整する緊張係留浮体の傾斜調整方法が開示されている。しかし、これら特許文献1、2に開示されている装置及び方法はいずれも、浮体自体の復元性や安定性を通じての水平維持を目的としており、浮体の傾斜とは別に洋上風車の水平を維持するものではない。

## 【0004】

特許文献3には、風力駆動型発電所のタワーの傾斜とは別に回転子軸の水平配置を維持するために、機械室とタワーとの間における伝達手段の中に傾斜継手を配置する風力駆動型発電所が開示されている。同文献には、傾斜継手を回転子軸の水平配置を維持する手段として用いることが記載されている。しかし、従来、浮体式洋上風力発電施設において、タワーの傾斜とは別に回転子軸の水平配置を維持することは行われていない。このため、技術常識を参酌したとしても特許文献3の記載から傾斜継手をどのように構成すれば回転子軸の水平配置を維持できるのかが不明である。

20

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献1】特開2009-85167号公報

【特許文献2】特開2010-18129号公報

【特許文献3】特表2005-526213号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

以上のとおり、従来の浮体式洋上風力発電施設は、ローターの回転子の水平を維持するための手段を備えていない。このため、浮体式洋上風力発電施設では、波、風、潮流等によりタワーが傾くと、ナセルも一緒に傾いて水平を維持できなくなる。そして、ナセルが傾斜すると、ローターの回転面が風の流れ方向に対して垂直ではなくなって発電効率が落ちるといった問題が生じる。

40

そこで、本発明は、ローターの回転面が風の流れ方向（風向）に対して出来るだけ垂直となるように維持して、発電効率を良好にすることができる洋上風車の水平維持装置及び浮体式洋上風力発電施設の提供を目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

請求項1の本発明の浮体式洋上風車の水平維持装置は、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、前記ローターと前記ナセルを支持する水面に浮かぶ浮体構造体と、前記ナセルを前記浮体構造体の上に前記水面に対して垂直をなす面に対して平行に回動可能に支持する回動支持手段と、前記浮体構造体の傾斜時

50

に前記ナセルを略水平に維持する水平維持手段とを備えたことを特徴とする。

上記構成により、水平維持手段がナセルを略水平に維持することにより、風向に正対しているローターの回転面が浮体構造体の傾斜に起因して傾くことを抑制することができる。ナセルの傾斜はナセル内に収容されているローターに直交した回転軸の軸方向の傾斜を意義する。したがって、「浮体構造体の傾斜時に前記ナセルを略水平に維持する」とは、浮体構造体の傾斜に起因して生じるローターの回転軸の水平面に対する傾きが小さくなるようにすることをいう。また「水面に対して垂直をなす面」とは鉛直面をいい、この面に対して「平行に回動可能」とはナセルの回動に伴う回転軸の軌跡により鉛直面が形成されるように構成されていることをいう。

【0008】

請求項2の本発明は、請求項1に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記水平維持手段は、前記浮体構造体の近傍に設けた水平維持用浮体の前記浮体構造体に対する相対的な位置変化をリンク機構で前記ナセルに伝えて前記ナセルを略水平に維持させたことを特徴とする。

上記の構成により、浮体構造体の傾斜に伴って生じる浮体構造体と水平維持用浮体との相対的な位置変化（以下「相対位置変化」という。）をナセルに伝達し、ナセルを略水平に維持することができる。なお「リンク機構」とは、相対位置変化に連動して水平維持用浮体の浮力をナセルに伝達する装置をいう。また、浮体構造体の「近傍」とは相対位置変化が生じ、かつ相対位置変化をリンク機構によってナセルに伝達できる程度に近接した位置をいう。

【0009】

請求項3の本発明は、請求項2に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記リンク機構の一部が、前記浮体構造体に可動的に係止されて構成されたことを特徴とする。

請求項4の本発明は、請求項3に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記リンク機構が、前記水面近傍で前記浮体構造体と前記水平維持用浮体を連結する第1アームと、前記水平維持用浮体と前記浮体構造物の前記水面と前記ナセルの間の部分を連結する第2アームと、前記第2アームに連結され前記回動支持手段に直接あるいは間接的に係止される第3アームを備えて成ることを特徴とする。

上記の構成により、浮体構造体の傾斜に伴って生じる浮体構造体と水平維持用浮体との相対位置変化に連動させて、浮体構造体の傾斜による影響を打ち消す方向にナセルを回動することができる。

【0010】

請求項5の本発明は、請求項4に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記第2アームの途中に前記浮体構造体の揺動による前記リンク機構への影響を低減するダンパーを設けたことを特徴とする。

上記の構成により、浮体構造体の揺動のうち発電効率の低下に及ぼす影響が小さい揺動をダンパーにより選択的に吸収し、リンク機構への影響を低減することができる。

【0011】

請求項6の本発明は、請求項1に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記水平維持手段は、前記回動支持手段に固定され垂下する重錘機構であることを特徴とする。

請求項7の本発明は、請求項1に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記水平維持手段は、前記回動支持手段を回動させるワイヤー付き重錘を有した回動機構であることを特徴とする。

上記の構成によれば、浮体構造体が傾斜した場合、重錘にはたらく重力によってナセルを回動させて、ナセルを略水平に維持することができる。

【0012】

請求項8の本発明は、請求項1に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記水平維持手段は、前記浮体構造体に設けた傾斜センサあるいは前記ナセルに設けた水平セ

10

20

30

40

50

ンサの信号に基づき駆動手段により前記回動支持手段を回動させる回動駆動制御手段であることを特徴とする。

上記の構成によれば、傾斜センサ又は水平センサからの信号に基づいて、駆動手段により回動支持手段を回動させて、ナセルを略水平に維持することができる。

【0013】

請求項9の本発明は、請求項1から請求項8のうちの1項に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記ナセルを前記水面に対して平行に回動自在に支持する水平回動手段を備えたことを特徴とする。

上記構成により、風向の変化に対応してナセルを水平方向に回動させて、ローターの回転面を風向に正対させることができる。

【0014】

請求項10の本発明は、請求項1から請求項9のうちの1項に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置において、前記ナセルを前記ローターに対して風上側に設け、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。

上記の構成によれば、いわゆる風見鶏効果によりナセルを支持する回動支持手段を回動させてローターの回転軸を略水平としてローターの回転面を風向に正対させることに寄与させることができる。

【0015】

請求項11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10のうちの1項に記載の浮体式洋上風車の水平維持装置を、洋上で風力発電を行う風力発電施設に適用したことを特徴とする。

請求項12の本発明は、請求項11に記載の浮体式洋上風力発電施設において、前記浮体構造体を係留索により係留したことを特徴とする。

上記の構成により、風向に正対しているローターの回転面が浮体構造体の傾斜に起因して傾くことを、係留索による係留によって抑制することができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明の浮体式洋上風車の水平維持装置によれば、浮体構造体の傾斜に起因するローターの回転面の傾きを浮体構造体とは別に抑制して、発電効率を良好にすることができる。

浮体構造体と水平維持用浮体との相対位置変化をリンク機構によりナセルに伝える構成とすれば、水平維持用浮体に働く浮力または重力により、浮体構造体の傾斜に伴って生じる相対位置変化をナセルに伝達することができる。このように、相対位置変化に連動して水平維持用浮体の相対位置変化をナセルに伝達することによって、浮体構造体の傾斜による影響を抑制してナセルを略水平に維持することができる。この結果として、発電効率を良好にすることができる。

リンク機構にダンパーを設ける構成とすれば、浮体構造体の揺動によるリンク機構への負荷を抑えて、リンク機構を長寿命化してコストを抑制することができる。

【0017】

重錘機構又はワイヤー付き重錘を有した回動機構により水平維持手段を構成すれば、重力を用いて簡単な構成によりナセルを略水平に維持することが可能となる。

また、回動駆動制御手段により水平維持手段を構成すれば、ナセルを略水平に維持する回動駆動をより精密に制御することが可能となる。

水平回動手段でローターの回転面方向を風向に正対させる構成や、ローターにコーニング角を付与してローターの回転面を風向に正対させる構成とすれば、発電効率をさらに良好にすることが可能となる。

【0018】

本発明の浮体式洋上風力発電施設によれば、浮体構造体の傾斜に起因してローターの回転面が風向に正対した状態から傾くことを抑制できるから、発電効率を良好にした風力発電施設を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 9 】

【図 1】第 1 の実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設（例その 1）の概略を示す模式側面図

【図 2】図 1 の浮体式洋上風車の水平維持装置のリンク機構を説明する模式側面図（ a ）浮体構造体が直立した状態、（ b ）浮体構造体が傾いた状態、（ c ）浮体構造体が（ b ）と反対方向に傾いた状態

【図 3】第 1 の実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設（例その 2）の概略を示す模式側面図（ a ）浮体構造体が直立した状態、（ b ）浮体構造体が傾いた状態

【図 4】第 1 の実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設（例その 3）の概略を示す模式側面図

【図 5】第 2 の実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設（例その 1）の概略を示す（ a ）模式側面図、（ b ）矢印 A から見た要部正面図

【図 6】第 2 の実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設（例その 2）の概略を示す（ a ）模式側面図、（ b ）要部側面図

【図 7】第 3 の実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設の概略を示す（ a ）模式側面図、（ b ）浮体構造体内における要部構造の側面図

【図 8】図 7 の浮体式洋上風車の水平維持装置の要部機能ブロック図

【図 9】実施例における座標系を説明する浮体式洋上風車の水平維持装置の模式側面図

【図 10】実施例 1 の溝の概略形状を示す模式図

【図 11】実施例 2 の溝の概略形状を示す模式図

【図 12】ナセルの鉛直からの傾斜角と発電出力との関係を示すグラフ

【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 2 0 】

（第 1 の実施形態）

本発明の第 1 の実施形態について、以下、図 1 ~ 図 4 に基づいて説明する。

図 1 は、本実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置（以下、適宜「水平維持装置」という。）及びこれを備えた洋上風力発電施設（例その 1）の概略を示す模式側面図である。同図に示すように、本実施形態の水平維持装置 10 は、ローター 11、ローター 11 の回転軸 12 を収容するナセル 13、浮体構造体 14、回動支持手段 15、リンク機構（水平維持手段）16、水平維持用浮体 17、支持台 18 及び水平回転軸（水平回動手段）19 を備えている。また、洋上風力発電施設 30 は水平維持装置 10 を備えてなるものである。

## 【 0 0 2 1 】

ローター 11 は、風により回転するものであり、例えば、複数のブレードがハブに取り付けられて構成される。通常、ブレードの取付け角は可変な構成となっている。受ける風の速度に応じて取付け角を調整することにより、ローター 11 の回転速度を適切な範囲に調整することができる。また、ローター 11 は、その回転面 R P が回転軸 12 と直交するように構成されている。このため、回転面 R P が風向 W に正対（風向 W に対して直交）しているときは、回転軸 12 の伸長方向（以下、適宜「回転軸の方向」という。）が風向と一致し、両者が平行になる。なお、回転面 R P とは、ローター 11 の回転にともないブレード先端により形成される軌跡により規定される面（軌跡により形成される円が位置する平面）をいう。

## 【 0 0 2 2 】

回転軸 12 は、ナセル 13 に収容されており、ローター 11 の回転を発電機（図示せず）に伝達するものである。ナセル 13 内には、発電機その他、風力発電機が一般に備えている部材も設けられている（図示せず）。このような部材としては、例えば、倍速機（増速機）やブレーキ等が挙げられる。

## 【 0 0 2 3 】

浮体構造体 14 は、水面 H に浮かぶローター 11 とナセル 13 を支持する、細長い円筒

形状のものであって、一般にタワーといわれるものがこれにあたる。浮体構造体 14 は複数の係留索 31 によって海底に係留されている。本実施形態では、浮体構造体 14 が係留索 31 により係留されたいわゆるスパー型洋上風力発電施設 30 について説明するが、本発明を適用可能な洋上風力発電施設は、これに限られるものではない。スパー型以外のものとしては、例えば、TLP (テンション・リグ・プラットフォーム)等が挙げられる。

#### 【0024】

回動支持手段 15 は、浮体構造体 14 の上に水面 H に対して垂直をなす面に対して平行に回動可能にナセル 13 を支持するものである。本実施形態では、ナセル 13 は支持台 18 および水平回転軸 19 を介して回動支持手段 15 に支持されている。また、ナセル 13 は、他の部材を介して回動支持手段 15 に取り付けられているが、回動支持手段 15 に直接取り付けられる構成としてもよい(図 3 参照)。

10

#### 【0025】

回動支持手段 15 は、洋上風力発電施設 30 が設置された状態において、浮体構造体 14 の上端となる部分の近傍に、支持台 18 を回動可能に支持している。本実施形態では、浮体構造体 14 の先端に支持台 18 を回動可能に支持する回動軸 151 により、回動支持手段 15 が構成されている。回動支持手段 15 により支持された支持台 18 は、図 1 に V R を付した矢印の方向、すなわち鉛直 V と水平(水面 H)を含む面内で回動可能となっている。ナセル 13 は、水平回転軸 19 により支持台 18 に取り付けられており、回動支持手段 15 による支持台 18 の回動に連動して、ナセル 13 およびナセル 13 内の回転軸 12 が鉛直 V と水平(水面 H)を含む面内で回動する。このように、ナセル 13 は、回動支持手段 15 (回動軸 151)を中心として、水面 H に対して垂直をなす面に対して平行に回動可能に構成されている。

20

#### 【0026】

リンク機構 16 は、浮体構造体 14 の傾斜時にナセル 13 を水面 H に対して略水平に維持する水平維持手段として機能する。本実施形態では、浮体構造体 14 の傾斜により、その近傍に設けた水平維持用浮体 17 の浮体構造体 14 に対する相対的な位置変化(相対位置変化)が生じる。リンク機構 16 によりこの相対位置変化をナセル 13 に伝えて、相対位置変化と連動するように回動させ、ナセル 13 を略水平に維持する。なお、ここで、ナセル 13 が水平であるとは、その内部の回転軸 12 の伸長方向が水平(水面 H と平行)であることをいう。また、「ナセル 13 が略水平に維持」されるとは、浮体構造体 14 の傾斜に起因する回転軸 12 の水面 H に対する傾きを抑制することをいう。具体的には、単位時間当たりの発電量が、浮体構造体 14 の傾斜前の 95% 以上となるように、ナセル 13 の鉛直 V からの傾きを  $10^\circ$  以内に抑制することをいう。

30

#### 【0027】

図 12 はナセルの鉛直からの傾斜角と発電出力との関係を示すグラフであり、傾斜角を変化させて発電出力を測定した結果を示している。同図に示す実験結果によれば、浮体構造体 14 が直立しナセル 13 の傾斜角が  $0^\circ$  である状態における洋上発電施設 30 の発電出力を 1 とすると、ナセル 13 の傾斜角が  $\theta$  のときに得られる発電出力は、 $\cos^3 \theta$  で表される。したがって、ナセル 13 の鉛直 V からの傾きを  $10^\circ$  以内に抑制することにより、洋上発電施設 30 の発電出力を、ローター 11 の回転面 RP が傾いていない状態における発電出力の 95% 以上に維持することができる。これにより、浮体構造体 14 の傾きによるローター 11 の回転面 RP の傾きが発電に及ぼす影響を抑制して、洋上発電施設 30 による発電を安定的かつ効率が良いものとすることができる。

40

#### 【0028】

リンク機構 16 は、第 1 アーム 161、第 2 アーム 162 及び第 3 アーム 163 を備えている。第 1 アーム 161 は、水面 H の近傍に位置しており、浮体構造体 14 の水面部 14H と水平維持用浮体 17 とを連結する。第 1 アーム 161 は、その一端が第 1 ヒンジ 164 と接合されており、他端が第 2 ヒンジ 165 と接合されている。第 1 ヒンジ 164 は浮体構造体 14 の水面部 14H に設けられている。第 1 アーム 161 は第 1 ヒンジ 164 及び第 2 ヒンジ 165 を介して、その両側の各端部がこの順に浮体構造体 14 の水面部 1

50

4 H及び水平維持用浮体 1 7 と連結されている。

【 0 0 2 9 】

第 2 アーム 1 6 2 は、水平維持用浮体 1 7 と浮体構造体 1 4 の溝 1 4 1 とを連結する。第 2 アーム 1 6 2 は、その一端が第 2 ヒンジ 1 6 5 と接合されており、他端が第 3 ヒンジ 1 6 6 と接合されている。第 2 ヒンジ 1 6 5 は、第 1 アーム 1 6 1 と第 2 アーム 1 6 2 とを接合する関節様の働きをしている。

【 0 0 3 0 】

第 3 ヒンジ 1 6 6 は、浮体構造体 1 4 が設置された状態において想定される傾斜（例えば、鉛直 V に対する 3 0 度の傾斜）が生じた場合でも、水面部 1 4 H よりも高くなる位置に設けられた溝 1 4 1 に沿って可動的に係止されている。すなわち、第 3 ヒンジ 1 6 6 は、溝 1 4 1 に係止された状態で、溝 1 4 1 の形状に沿って移動可能に構成されている。第 2 アーム 1 6 2 は、第 2 ヒンジ 1 6 5 及び第 3 ヒンジ 1 6 6 を介して、その両側の各端部がこの順に水平維持用浮体 1 7 及び浮体構造体 1 4 の溝 1 4 1 と連結されている。なお、図 1 には三日月形の溝 1 4 1 を示したが、他の形状とすることもできる。溝 1 4 1 は、リンク機構 1 6 を構成する第 1 アーム 1 6 1、第 2 アーム 1 6 2 及び第 3 アーム 1 6 3 の長さ、想定される浮体構造体 1 4 の傾斜に基づいて計算により求めることができる（実施例参照）。

【 0 0 3 1 】

第 3 アーム 1 6 3 は、第 3 ヒンジ 1 6 6 を介して第 2 アーム 1 6 2 ・溝 1 4 1 に連結され、回動支持手段 1 5 により鉛直 V と水平（水面 H ）を含む面内で回動可能な支持台 1 8 に第 4 ヒンジ 1 6 7 を介して係止されている。第 3 ヒンジ 1 6 6 は、第 2 アーム 1 6 2 と第 3 アーム 1 6 3 とを接合する関節様の働きをしている。第 3 アーム 1 6 3 は、支持台 1 8 を介して間接的にナセル 1 3 と連結されている。しかし、第 3 アーム 1 6 3 が直接ナセル 1 3 に連結される構成としてもよい（図 3 参照）。

【 0 0 3 2 】

上述したリンク機構 1 6 は、浮体構造体 1 4 の傾斜に伴う浮体構造体 1 4 と水平維持用浮体 1 7 との相対的な位置変化を支持台 1 8 に伝えるものである。より具体的には、相対的な位置変化によって水平維持用浮体 1 7 に働く力（浮力、重力）を支持台 1 8 に伝達して、支持台 1 8 を回動支持手段 1 5 の周りを回動させて、ナセル 1 3 を回動させる。これにより、浮体構造体 1 4 が傾斜した場合に、ナセル 1 3 を略水平に維持する。したがって、ローター 1 1 の回転面 R P が風向 W に正対した状態を維持し、洋上風力発電施設 3 0 の発電効率を良好なものとする事ができる。

【 0 0 3 3 】

第 2 アーム 1 6 2 の途中には、ダンパー 1 6 8 が設けられている。ダンパー 1 6 8 は、浮体構造体 1 4 の揺動により生じる浮体構造体 1 4 と水平維持用浮体 1 7 との相対的な位置の変化のうち、発電効率の低下への影響が小さいものを選択的に吸収して、リンク機構 1 6 への影響を低減させる。より具体的には、ダンパー 1 6 8 により第 2 アーム 1 6 2 が伸縮することによるエネルギーを吸収し、第 1 アーム 1 6 1 から第 3 アーム 1 6 3 に伝達される変位の変動を抑制することができる。このように、このダンパー 1 6 8 が第 1 アーム 1 6 1 の変位を吸収することで、リンク機構 1 6 を構成する第 2 ヒンジ 1 6 5、第 3 ヒンジ 1 6 6 及び第 4 ヒンジ 1 6 7 への負荷を低減することができる。例えば、風や潮流に比べて周期が短い波の影響による浮体構造体 1 4 の揺動をダンパー 1 6 8 により吸収すれば、リンク機構 1 6 の耐用年数を長くして経済性を向上させることができる。

【 0 0 3 4 】

水平維持用浮体 1 7 は、浮体構造体の近傍に位置しており、浮体構造体 1 4 の水面部 1 4 H と第 1 アーム 1 6 1 により連結されている。また、上述したように、第 1 アーム 1 6 1 の両端には第 1 ヒンジ 1 6 4 及び第 2 ヒンジ 1 6 5 が設けられている。このため、浮体構造体 1 4 が傾斜すると、水平維持用浮体 1 7 は第 1 ヒンジ 1 6 4 を原点として回動する。この回動が第 2 アーム 1 6 2 及び第 3 アーム 1 6 3 を介して支持台 1 8 に伝えられる。これにより、浮体構造体 1 4 の傾斜に起因して生じる水平維持用浮体 1 7 の回動と連動し

10

20

30

40

50

て、回動支持手段 15 により浮体構造体 14 に取り付けられている支持台 18 が、浮体構造体 14 の傾斜を打ち消す方向および大きさで回動する。この回動により、浮体構造体 14 が傾斜した場合にも、ナセル 13 は略水平を維持することができる。

【0035】

支持台 18 は浮体構造体 14 の上端付近に回動支持手段 15 に支持されて設けられている。そして、ナセル 13 が、水平回転軸 19 を介してこの支持台 18 上に取り付けられている。図 1 に HR を付した矢印で示したように、水平回転軸 19 は、その回転軸が鉛直方向となるよう回転自在に構成されている。このため、ナセル 13 は水面 H に対して平行に自在に回転可能に構成されている。

【0036】

したがって、風向 W が変化した場合、いわゆる風見鶏効果により、ナセル 13 が水平回転軸 19 を中心軸として回転することで（HR を付した矢印参照）、ローター 11 の回転面 RP を風向 W に正対させることができる。そして、浮体構造体 14 が傾斜したときには、傾斜によるローター 11 の回転面 RP への影響を打ち消す方向に支持台 18 が回動する（VR を付した矢印参照）。これにより、ローター 11 の回転面 RP が風向 W に正対した状態を維持して、洋上風力発電施設 30 の発電効率の低下を防止することができる。なお、回転軸 12 が回動支持手段 15 の回動軸 151 と平行となった場合、支持台 18 の回動に連動してローター 11 の回転面の傾きは変化しないが、このような状態となることは設置海域を考慮しても極めて稀となる。

【0037】

図 2 は、図 1 の水平維持装置のリンク機構を説明する模式側面図であり、(a) は浮体構造体が直立した状態を示し、(b) は浮体構造体が傾いた状態を示し、(c) は浮体構造体が (b) とは反対方向に傾いた状態を示している。

【0038】

図 2 (a) に示すように、洋上風力発電施設 30 は、浮体構造体 14 が鉛直方向に直立した状態で、ローター 11 の回転面 RP が風向 W と略直交しているから、効率良く発電することができる。しかし、従来の洋上風力発電施設は、浮体構造体が傾斜するとナセルも一緒に傾いてローターの回転面が風向 W に垂直ではなくなる（図 2 (b) の破線参照）。この結果、発電効率が悪くなる。

【0039】

しかし、本実施形態の洋上風力発電施設 30 は、鉛直方向に回動可能にナセル 13 を支持する回動支持手段 15 及び、浮体構造体 14 の傾斜と連動してナセル 13 を浮体構造体 14 の傾斜による影響を打ち消すように回動させるリンク機構 16（図 1 参照）を備えている。この構成により、浮体構造体 14 が傾斜した場合にナセル 13 を略水平に維持し、ローター 11 の回転面 RP が風向 W に正対した状態を維持することができる。この結果、洋上風力発電施設 30 の発電効率が従来よりも良好になる。

【0040】

第 1 アーム 161 に連結されている水平維持用浮体 17 は、浮体構造体 14 の傾斜運動に連動して、第 1 ヒンジ 164 を原点として回動する。図 2 (b) では、浮体構造体 14 が直立した状態における水平維持用浮体 17 及び第 1 アーム 161 の浮体構造体 14 に対する相対的な位置（図 2 (a) 参照）を破線で示している。同図に示すように、水平維持用浮体 17 は、浮体構造体 14 の傾斜に連動して下方方向に回動する。この回動はリンク機構 16 を介して、支持台 18 に伝えられる。これにより、支持台 18 及びその上のナセル 13 は、浮体構造体 14 の傾斜運動と連動して、浮体構造体 14 の傾斜の影響を打ち消す方向に回動する。したがって、ナセル 13 の水平を維持し、ローター 11 の回転面 RP を風向 W に正対させて、浮体構造体 14 の傾斜による発電施設 30 の発電効率の低下を抑制することができる。

【0041】

図 2 (c) に示すように、風向 W が反対になった場合、浮体構造体 14 が図 2 (b) とは反対方向に傾く。この場合、水平維持用浮体 17 に働く浮力により、水平維持用浮体 1

10

20

30

40

50

7が上方方向に回転する。そして、図2(b)を参照して説明したリンク機構16により、支持台18及びナセル13が浮体構造体14の傾斜運動を打ち消すように回転する。また、洋上風力発電施設30では、ナセル13がローター11に対して風上側に設けられているから、いわゆる風見鶏効果によってナセル13が180度回転する。

【0042】

図3は、本実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設(例その2)の概略を示す模式側面図であり、(a)は浮体構造体が直立した状態を示し、(b)は浮体構造体が傾いた状態を示している。同図に示す水平維持装置40及びこれを備えた洋上風力発電施設45は、(1)リンク機構16の第1アーム163がナセル13に直接係止されている点、及び(2)回転支持手段15に直接ナセル13が設けられており、支持台18及び水平回転軸19を備えていない点において、図1の水平維持装置10及び洋上風力発電施設30と異なっている。

10

【0043】

図3に示す水平維持装置40は、水平回転軸19を備えていないため風見鶏効果によりナセル13が水平方向に回転しない。しかし、同じ番号を付した各部材の機能は同じであり、浮体構造体14の傾斜による影響を抑制して効率の良い発電を実現する点は洋上風力発電施設30と同様である。

【0044】

図4は、本実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設(例その3)の概略を示す模式側面図である。同図に示す水平維持装置50及びこれを備えた洋上風力発電施設55は、ローター51にコーニング角が付与されている点において、図1に示した水平維持装置10及び洋上風力発電施設30と異なっている。

20

【0045】

ここで、コーニング角とは、ローター51のブレードのハブ接続部と先端部とを結んだ二点鎖線で示した直線と、図中二点鎖線で示した鉛直Vとの角度をいう。ローター51にコーニング角を付与することにより、いわゆる風見鶏効果(水面に対して垂直をなす面に対して平行に回転支持手段15周りに回転させる)を利用してローター51の回転面を風向に正対させる水平維持装置50の機能を補助することができる。また、コーニング角による風見鶏効果(水平回転軸19回りに水面に対して平行に回転させる)により、風向Wの変化に応じて、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。

30

【0046】

(第2の実施形態)

本発明の第2の実施形態について、以下、図5及び図6に基づいて説明する。

本実施形態の水平維持装置及びそれを備えた洋上風力発電施設は、リンク機構に代わる水平維持手段として、重錘又はワイヤー付き重錘を備えている構成において、第1の実施形態とは異なっている。なお、上述した実施形態において説明した部材と機能が同じ部材については、同じ番号を付して説明を省略する。この点、後の実施形態においても同様である。

【0047】

図5は、本実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設(例その1)の概略を示しており、(a)は模式側面図であり、(b)は矢印Aから見た要部正面図である。同図に示すように、本実施形態の水平維持装置60は、水平維持手段として回転支持手段15に固定され垂下する重錘(重錘機構)61を備えている。

40

【0048】

ナセル13は、ローター11を備えた状態で、図中に二点鎖線で示した回転支持手段15の回転軸の中心線Cでバランスをとり、かつ、ナセル13が水平となった状態において、重錘61の重心が最も低くなるように構成されている。また、重錘61が回転支持手段15の回転軸151から垂下するように、すなわち、重錘61の重心が回転軸151の鉛直下方に位置するように固定されている。このため、図5(a)中に破線で示した浮体構

50

造体 1 4 が傾斜した場合も、重錘 6 1 に働く重力により、ナセル 1 3 の水平を維持する方向にナセル 1 3 を回動させることができる。したがって、浮体構造体 1 4 が傾斜した場合でも、ナセル 1 3 を水平に保ち、発電効率を良好にすることができる。

【 0 0 4 9 】

重錘 6 1 は、図 5 ( b ) に実線で示すように、浮体構造体 1 4 外側の回動軸 1 5 1 の両端に固定したり、図 5 ( b ) に破線で示すように、浮体構造体 1 4 の内側の回動軸 1 5 1 の中心部に固定したりすることができる。なお、重錘 6 1 は、浮体構造体 1 4 の外側のみ ( 片方又は両方 )、内側のみ、あるいは外側及び内側に設けることとしてもよい。

【 0 0 5 0 】

図 6 は、本実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設 ( 例その 2 ) の概略を示している。図 6 ( a ) は模式側面図であり、図 6 ( b ) は要部側面図である。同図に示す水平維持装置 7 0 は、水平維持手段として、ナセル 1 3 が水平となった状態において、ナセル 1 3 を回動させる重錘 6 1 の重心が最も低くなるように構成されている点において、水平維持装置 6 0 と同様である。しかし、重錘 6 1 が回動支持手段 1 5 の回動軸 1 5 1 に直接設けられているのではなく、回動軸 1 5 1 に接続された車輪 7 1 の外周面にワイヤー 7 2 を介して接続されている点、ワイヤー 7 2 のガイド 7 3 ・ 7 3 を備えている点において水平維持装置 6 0 と相違している。

【 0 0 5 1 】

水平維持装置 7 0 は、車輪 7 1 にワイヤー 7 2 を巻くことにより、重錘 6 1 に至るワイヤー 7 2 の長さを調節している。ワイヤー 7 2 は、タワー 1 4 が直立の状態において車輪 7 1 の再下端となる部分に固定的に支持されている。ワイヤー 7 2 を車輪 7 1 に固定的に支持する手段としては、例えば、車輪 7 1 に連結されているガイド 7 3 ・ 7 3 を利用してワイヤー 7 2 を固定するクランプ機構等を用いればよい。この構成により、タワー 1 4 が傾いた場合、図 6 ( b ) に破線で示したように、ガイド 7 3 に矢印方向のトルクが掛かる。これによってナセル 1 3 を回動させ、図 6 ( a ) に示したように、ナセル 1 3 を略水平に維持することが可能となる。また、ワイヤー 7 2 の長さを調節することにより、重錘 6 1 の揺れの周期を変えてナセル 1 3 の周期的な揺動を抑制することができる。超強風時には、重錘 6 1 をガイド 7 3 ・ 7 3 近傍にまで引き上げることにより、重錘 6 1 が浮体構造体 1 4 に当たって損傷すること等を防止することができる。

【 0 0 5 2 】

車輪 7 1 は回動軸 1 5 1 の両端に取り付けられており、回動軸 1 5 1 と同じように回動する。タワー 1 4 が傾いた場合、重錘 6 1 によりガイド 7 3 に力が加えられる。そして、車輪 7 1 表面と重錘 6 1 とを接続するワイヤー 7 2 が、ガイド 7 3 に作用してトルクを掛ける構造となっている。回動軸 1 5 1 の中心からガイド 7 3 までの距離は、回動軸 1 5 1 の中心からその軸表面までの距離よりも大きい。これにより、重錘 6 1 の重力により回動軸 1 5 1 を回動させる力が大きくなる。したがって、ナセル 1 3 が水平から傾いたとき、ナセル 1 3 を水平に戻す方向へ回動する力を増大させることができる。

【 0 0 5 3 】

( 第 3 の実施形態 )

本発明の第 3 の実施形態について、以下、図 7 に基づいて説明する。本実施形態の水平維持装置及び洋上風力発電施設は、水平維持手段として、リンク機構の代わりに傾斜センサあるいは水平センサの信号に基づいて、駆動手段により回動支持手段を回動させる回動駆動制御手段を備えている点において、第 1 の実施形態と異なっている。

【 0 0 5 4 】

図 7 は、本実施形態の浮体式洋上風車の水平維持装置及びこれを備えた洋上風力発電施設の概略を示しており、( a ) は模式側面図であり、( b ) は浮体構造体内における要部構造の側面図である。図 8 は、図 7 の浮体式洋上風車の水平維持装置の要部機能ブロック図である。これらの図に示すように、本実施形態の水平維持装置 8 0 は、浮体構造体 1 4 の傾斜を検出する傾斜センサ 8 1、水平センサ 8 2、駆動手段 8 3、及び回動制御手段 8 4 を備えている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 5 】

傾斜センサ 8 1 は、浮体構造体 1 4 の傾斜、すなわち鉛直方向からの角度変化を検出する。水平センサ 8 2 は、ナセル 1 3 の傾きすなわち水平からの角度変化を検出する。駆動手段 8 3 は、傾斜センサ 8 1 及び / 又は水平センサ 8 2 の検出結果に対応した信号 S に基づいて、ナセル 1 3 の角度変化に見合った量だけ、回動支持手段 1 5 を回動させる。これによって、浮体構造体 1 4 が傾斜した場合に、ナセル 1 3 ( 回転軸 1 2 ) を水平に維持することができる。駆動手段 8 3 は、演算装置などで構成される回動制御手段 8 4 によって制御される。

## 【 0 0 5 6 】

傾斜センサ 8 1 及び水平センサ 8 2 としては、測定対象の傾斜角度の検出を目的として一般に用いられるものを用いることができる。また、駆動手段 8 3 としては、例えば、モータや油圧シリンダなどを用いることができる。

10

## 【 0 0 5 7 】

図 7 ( b ) は、浮体構造体内における要部構造の側面図である。同図には、駆動手段 8 3 としてモータ 8 3 1 を用いた場合を示している。モータ 8 3 1 の回転軸 8 3 2 にはウォームギア 8 3 3 が設けられている。また、回動支持手段 1 5 の回転軸 1 5 1 の周りに歯車 1 5 2 を備えている。この歯車 1 5 2 がウォームギア 8 3 3 と嵌り合っている。この構成により、モータ 8 3 1 の回転を回転軸 8 3 2、ウォームギア 8 3 3 及び歯車 1 5 2 を介して回転軸 1 5 1 に伝達して、ナセル 1 3 の角度変化に見合った量だけ、回動支持手段 1 5 を回動させることができる。

20

## 【 実施例 】

## 【 0 0 5 8 】

本発明の浮体式洋上風車の水平維持装置の溝 ( 図 1 参照 ) の形状 ( 以下、適宜「溝形状」という ) の求め方について以下に説明する。

図 9 は、実施例における座標系を説明する浮体式洋上風車の水平維持装置の模式側面図である。同図に示すように、第 1 ヒンジ 1 6 4 を原点 0 とし、空間座標として、水平右向きに x 軸、鉛直上向きに y 軸をとり、物体座標として、第 1 ヒンジ 1 6 4 から回転軸 1 5 1 に向かう直線を 軸、x - y 平面上の 軸に垂直な方向に 軸をとる。また、x 軸と 軸 ( y 軸と 軸 ) の成す角を ( 反時計回りを正 ) とする。第 1 ヒンジ 1 6 4 から第 2 ヒンジ 1 6 5 までの距離 ( 第 1 アーム 1 6 1 の長さ ) を  $L_1$ 、第 2 ヒンジ 1 6 5 から第 3 ヒンジ 1 6 6 までの距離 ( 第 2 アーム 1 6 2 の長さ ) を  $L_2$ 、第 3 ヒンジ 1 6 6 から第 4 ヒンジ 1 6 7 までの距離 ( 第 3 アーム 1 6 3 の長さ ) を  $L_3$ 、第 4 ヒンジ 1 6 7 から回転軸 1 5 1 までの距離を  $L_4$ 、第 1 ヒンジ 1 6 4 から回転軸 1 5 1 までの距離を  $H$  とすると、x - y 平面における、第 2 ヒンジ 1 6 5 の座標は  $( - L_1, 0 )$ 、第 4 ヒンジ 1 6 7 の座標は  $( - H \sin \theta - L_4, H \cos \theta )$ 、回転軸 1 5 1 の座標は  $( - H \sin \theta, H \cos \theta )$  となる。

30

## 【 0 0 5 9 】

溝 1 4 1 との係合により浮体構造体 1 4 に可動的に係止される第 3 ヒンジ 1 6 6 の座標を  $( x, y )$  とおくと、下記の ( 1 ) 式が成り立つ。

## 【 数 1 】

40

$$\begin{cases} (x + H \sin \theta + L_4)^2 + (y - H \cos \theta)^2 = L_3^2 \\ (x + L_1)^2 + y^2 = L_2^2 \end{cases} \quad (1)$$

今、空間座標の点  $( x, y )$  を物体座標上で  $( \quad, \quad )$  とすれば、下記の ( 2 ) 式が成り立つ。

## 【数 2】

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} \quad (2)$$

この(2)式を、(1)式に代入すれば、下記の(3)式が得られる。

## 【数 3】

$$\begin{cases} (\xi \cos \theta - \eta \sin \theta + H \sin \theta + L_4)^2 + (\xi \sin \theta + \eta \cos \theta - H \cos \theta)^2 = L_3^2 \\ (\xi \cos \theta - \eta \sin \theta + L_1)^2 + (\xi \sin \theta + \eta \cos \theta)^2 = L_2^2 \end{cases} \quad (3)$$

(3)式の連立方程式から、 $\theta$ の関数として $\xi$ と $\eta$ を求めれば、零を中心に $\theta$ を振った場合の点 $(\xi, \eta)$ の軌跡が、第3ヒンジ166が浮体構造体14上を動く軌跡の形状となる。ここで、(3)式からは $(\xi, \eta)$ の解が2セット求まるが、片方の解は浮体構造体14に無い。実装が容易なのは、浮体構造体14に位置する解(軌跡)にそって溝141を作ることである。

## 【0060】

(実施例1)

$L_1 = 2$ 、 $L_2 = 3$ 、 $L_3 = 2$ 、 $L_4 = 1$ 、 $H = 4$ (各長さは相対的な長さを表している)、 $\theta = 0$  /  $60$  /  $60$ とした場合に得られる $(\xi, \eta)$ の解を図10に示す。

20

(実施例2)

$L_1 = 2$ 、 $L_2 = 3$ 、 $L_3 = 2$ 、 $L_4 = 0.7$ 、 $H = 4$ (各長さは相対的な長さを表している)、 $\theta = 0$  /  $60$  /  $60$ とした場合に得られる $(\xi, \eta)$ の解を図11に示す。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0061】

本発明の浮体式洋上風車の水平維持装置によれば、浮体構造体であるタワーの傾きに関わらずナセルを略水平に維持して、ローターの回転面を風向に対して垂直にすることができる。このため、本発明は、浮体構造体を係留索により係留したいわゆるスパー型等の洋上で風力発電を行う風力発電施設に用いてその発電効率を向上させることができる。

30

## 【符号の説明】

## 【0062】

10、40、50、60、70、80 水平維持装置

11、51 ローター

12 回転軸

13 ナセル

14 浮体構造体

15 回動支持手段

16 リンク機構(水平維持手段)

161 第1アーム

162 第2アーム

163 第3アーム

17 水平維持用浮体

19 水平回転軸(水平回転手段)

30、45、55、65、75、90 洋上風力発電施設

31 係留索

61 重錘(重錘機構、水平維持手段、回動機構)

72 ワイヤ(水平維持手段、回動機構)

81 傾斜センサ

82 水平センサ

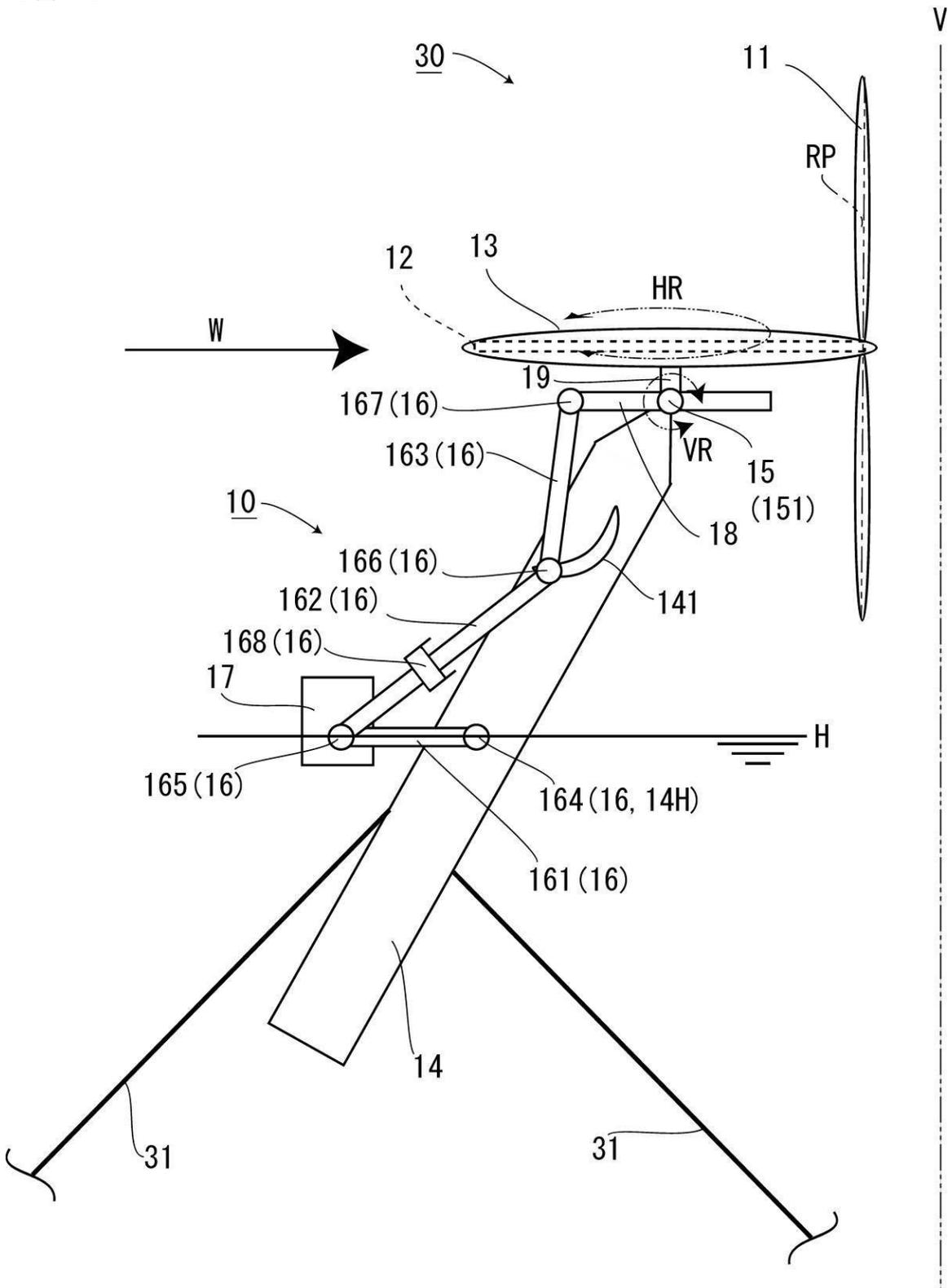
40

50

8 3 駆動手段

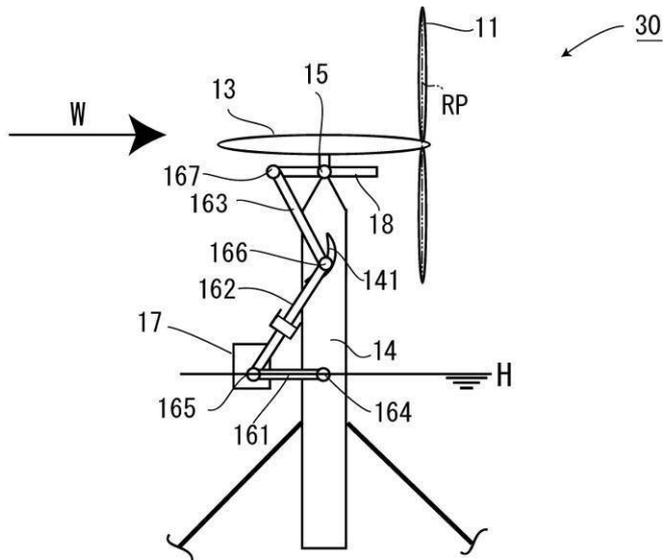
8 4 回動制御手段(水平維持手段)

【図 1】

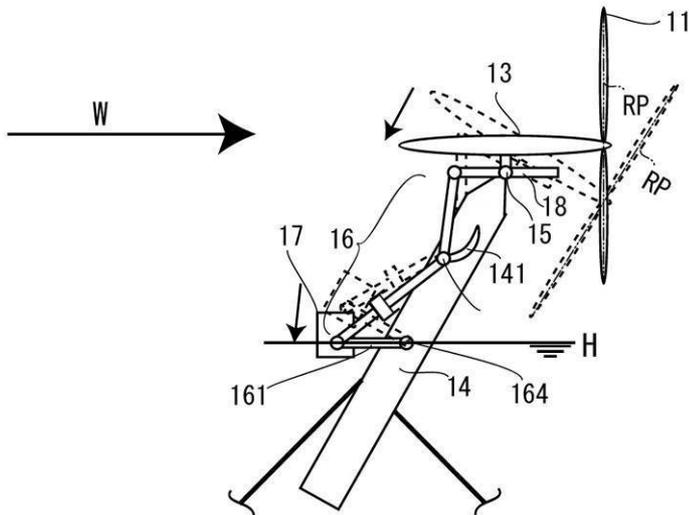


【図2】

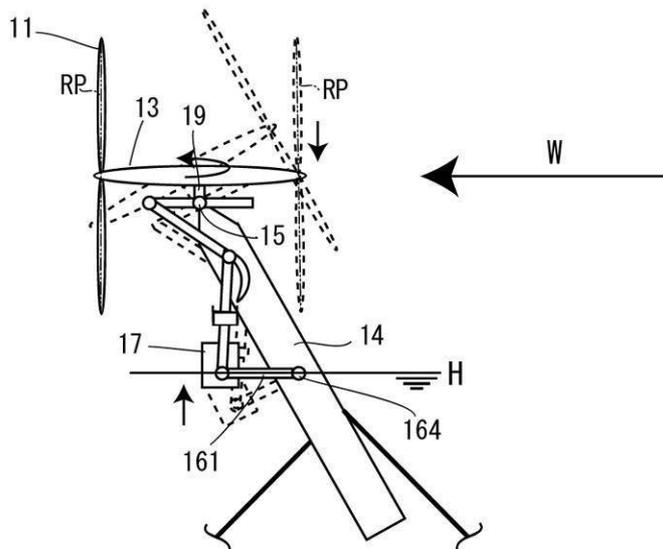
(a)



(b)

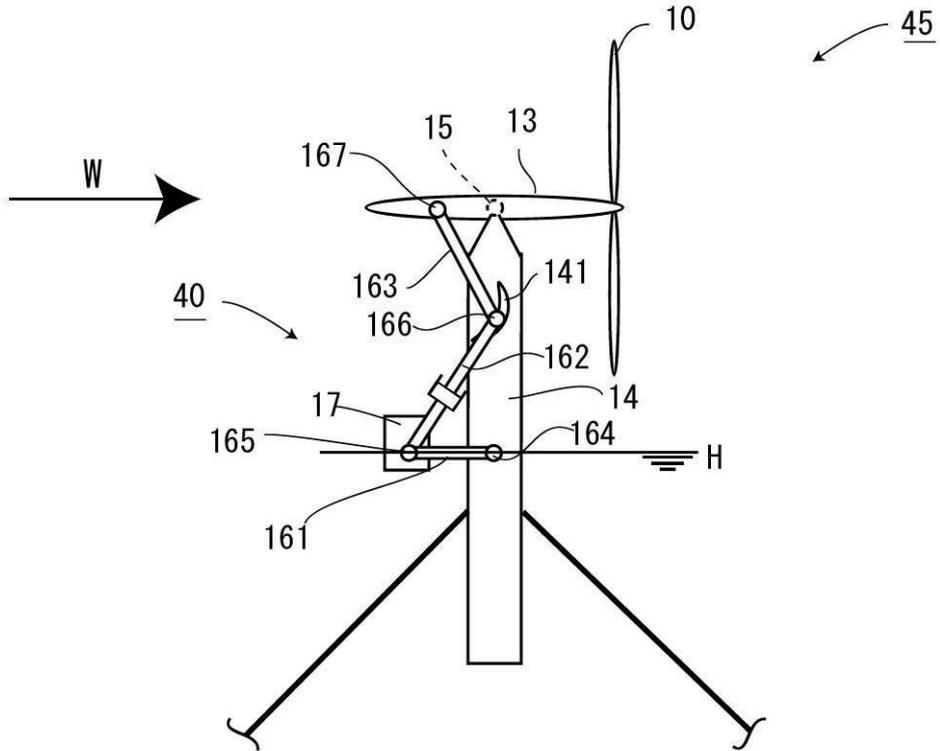


(c)

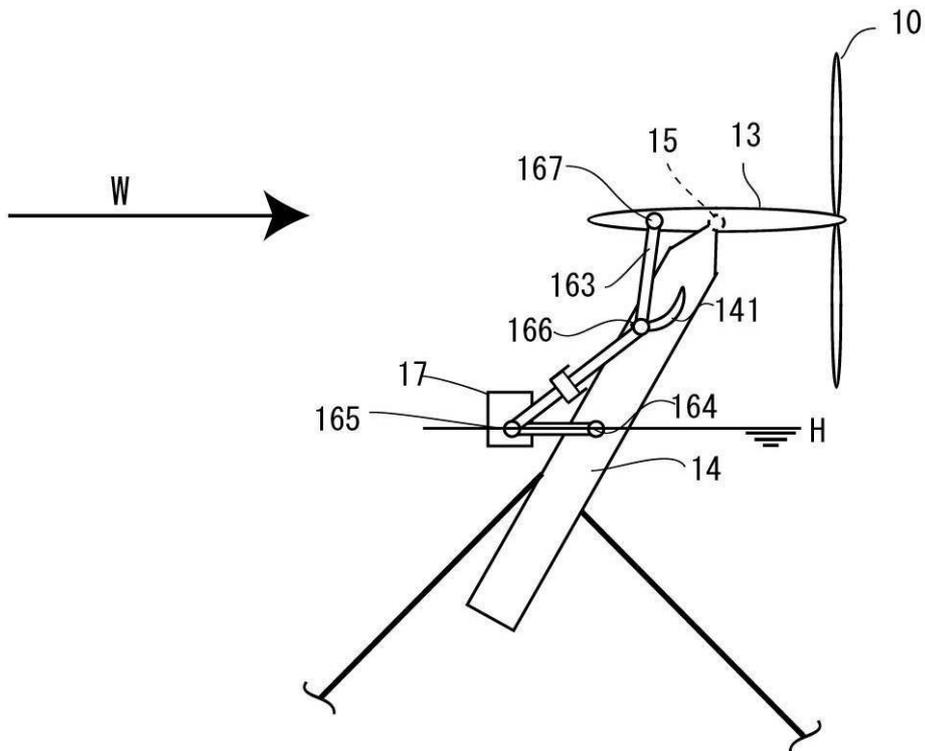


【図 3】

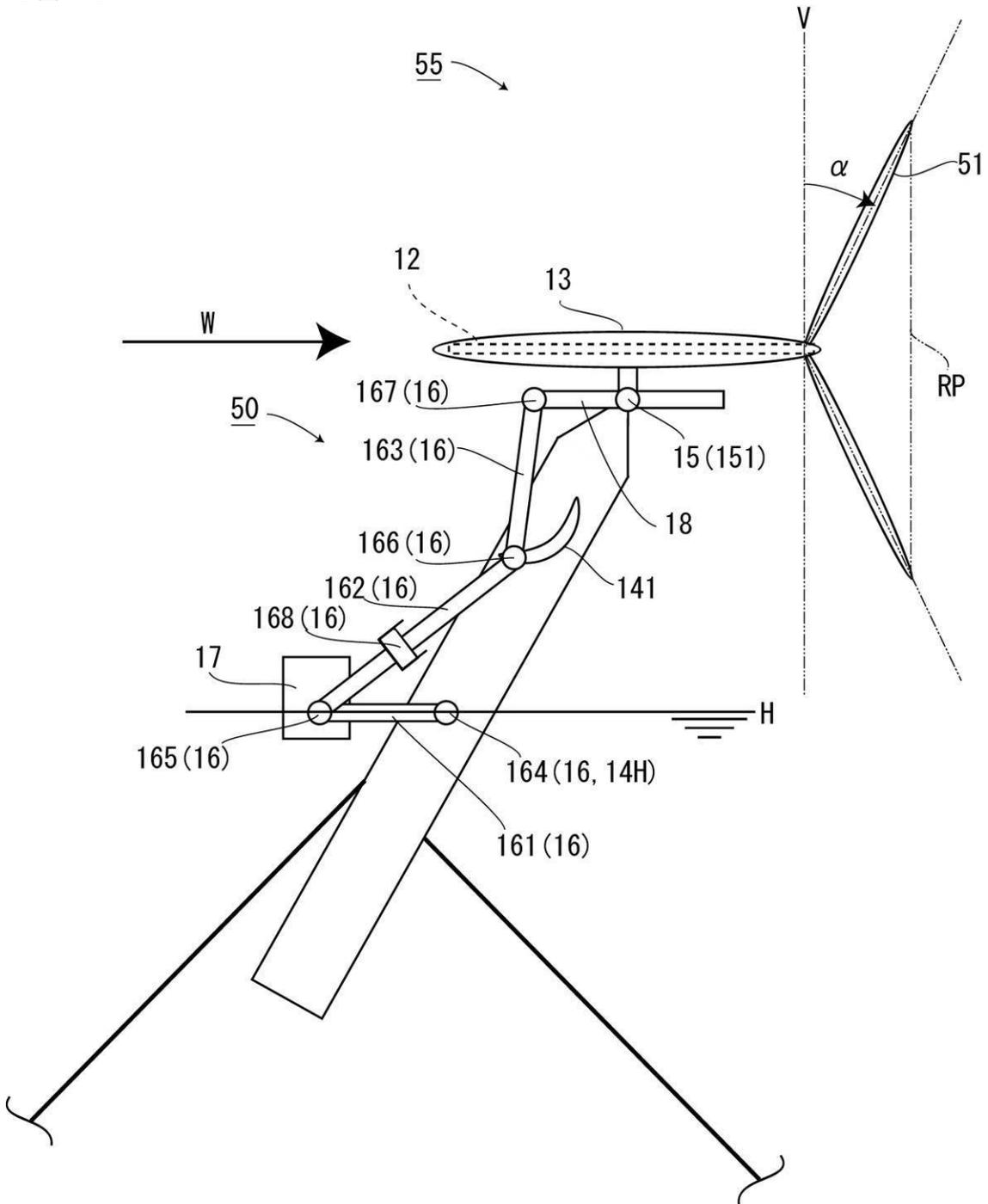
(a)



(b)

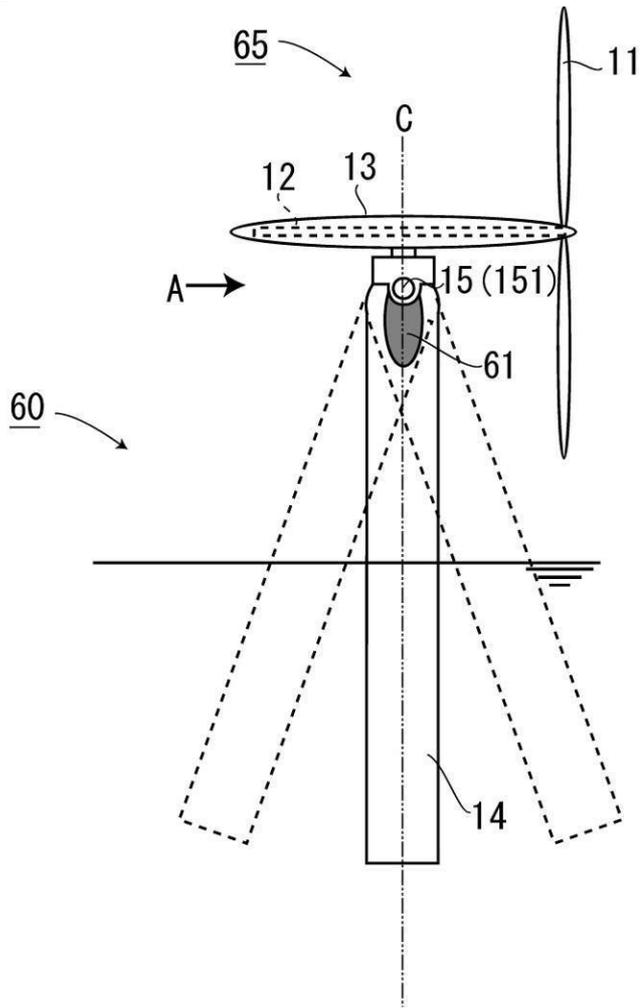


【 図 4 】

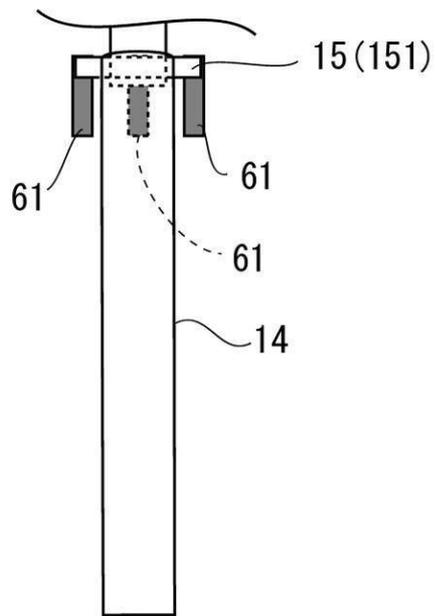


【図 5】

(a)

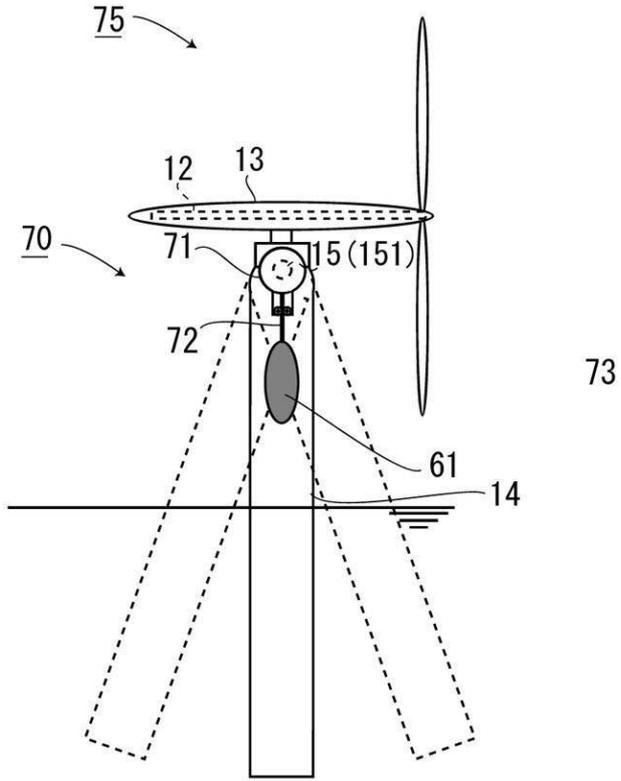


(b)

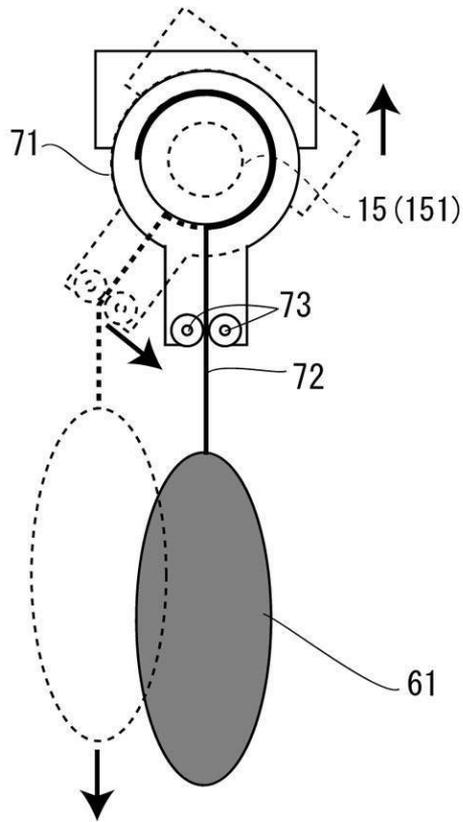


【図 6】

(a)

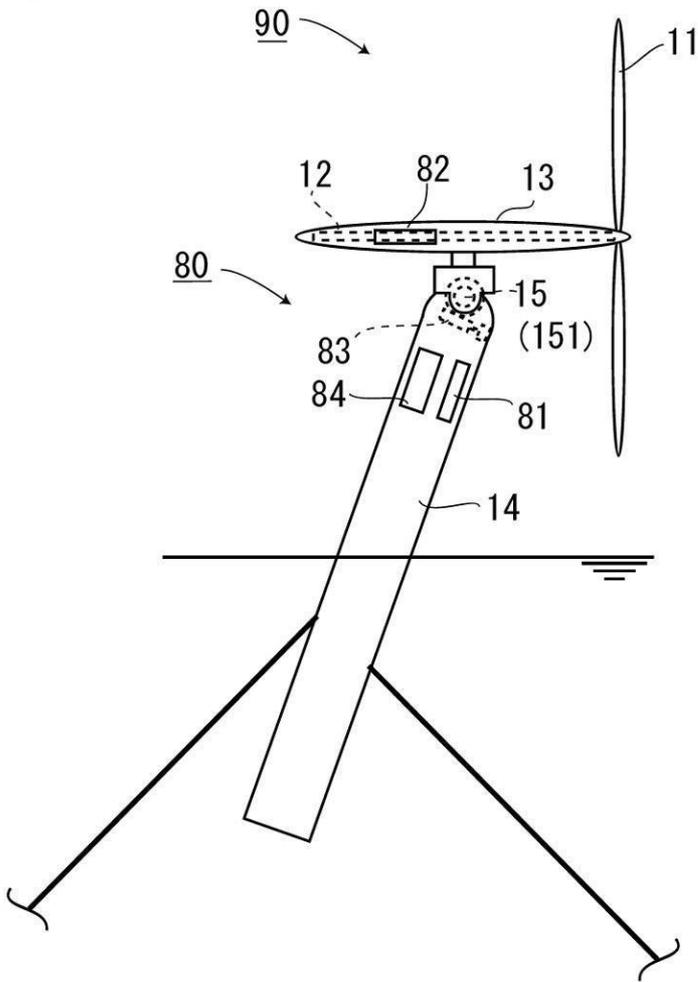


(b)

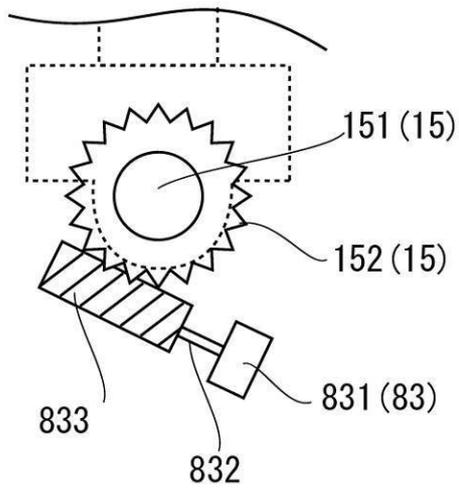


【図7】

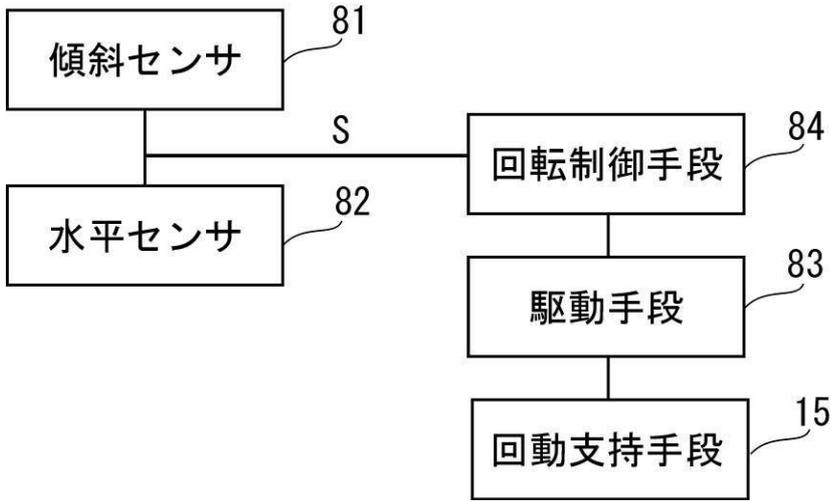
(a)



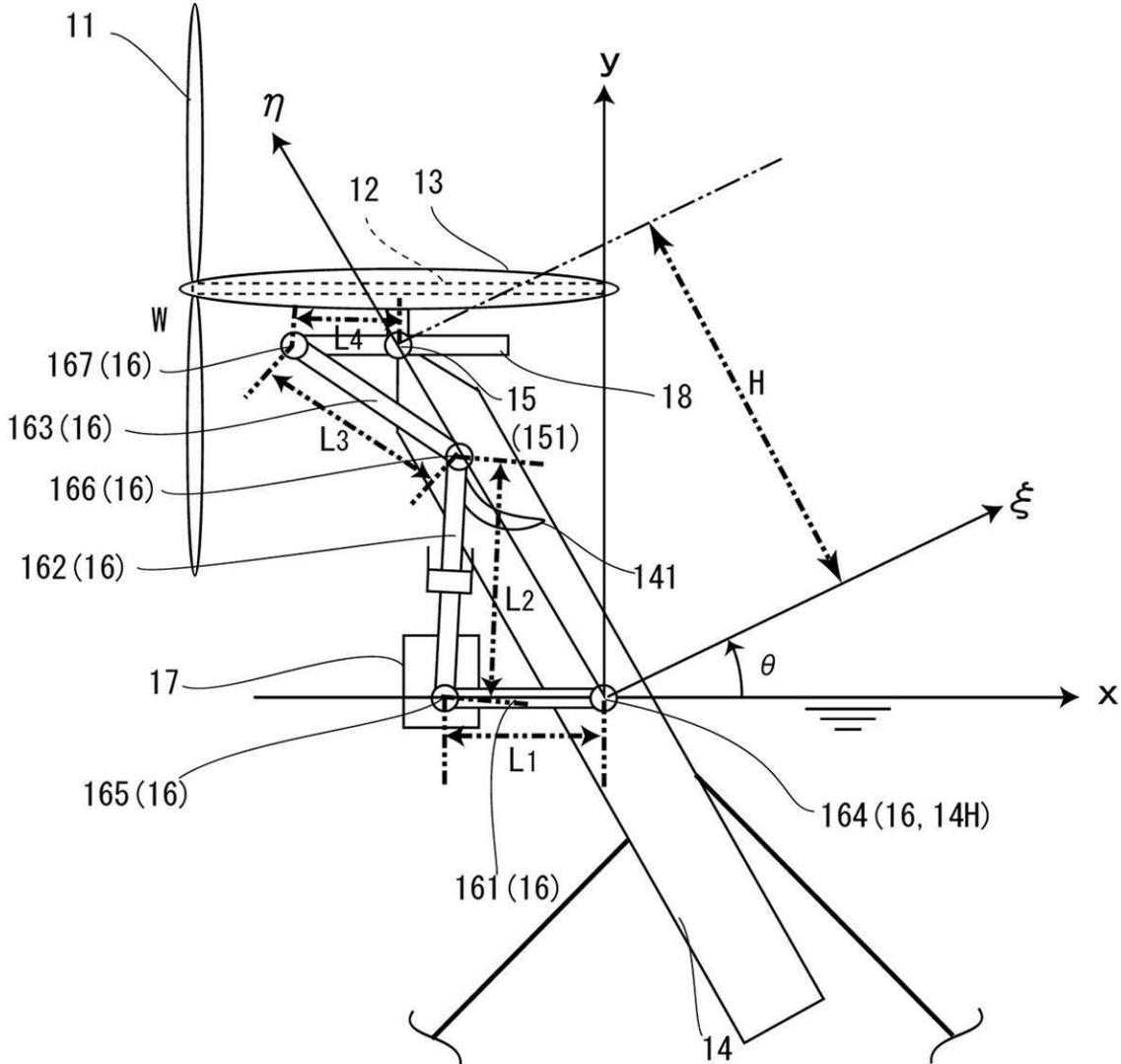
(b)



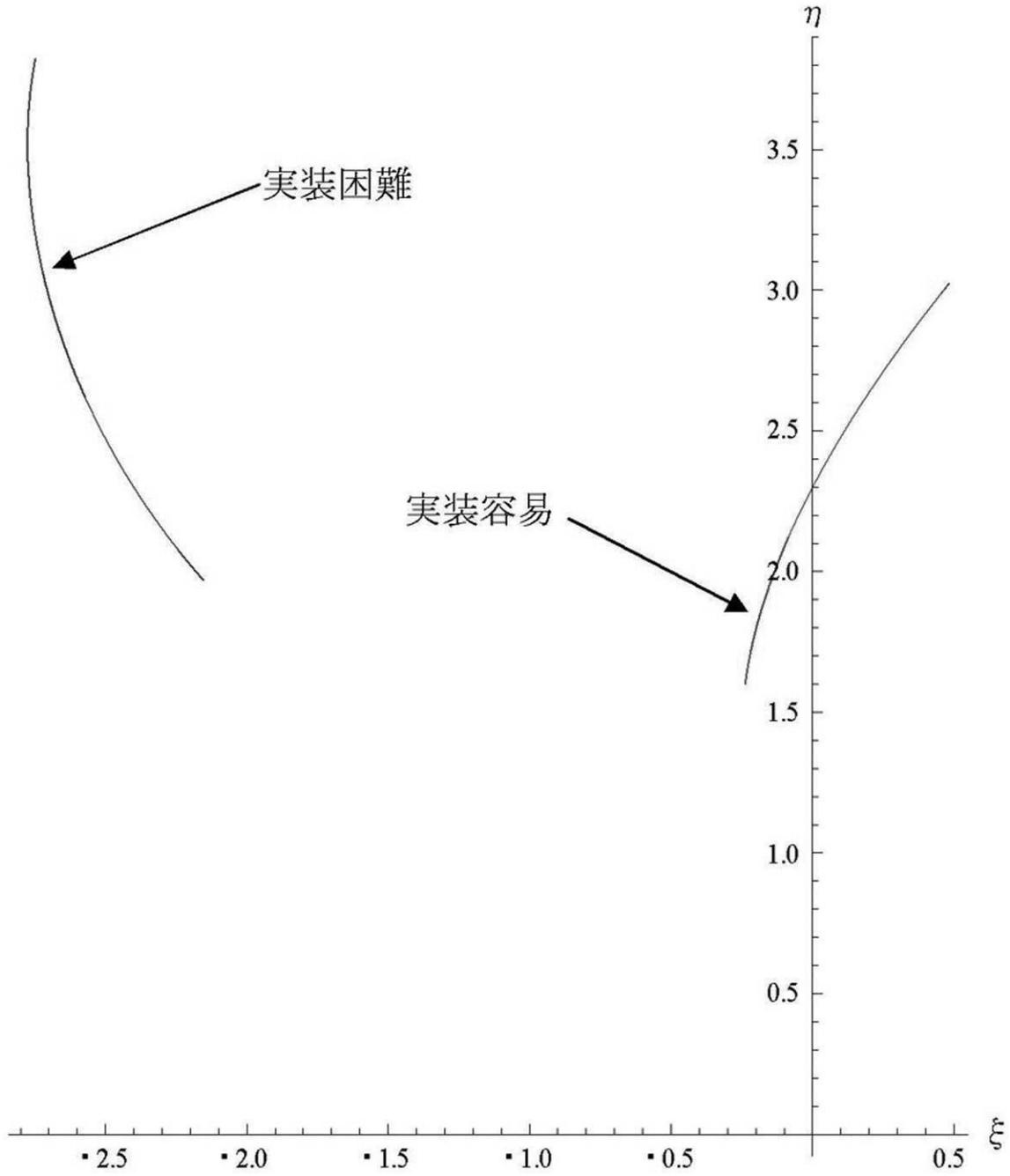
【図 8】



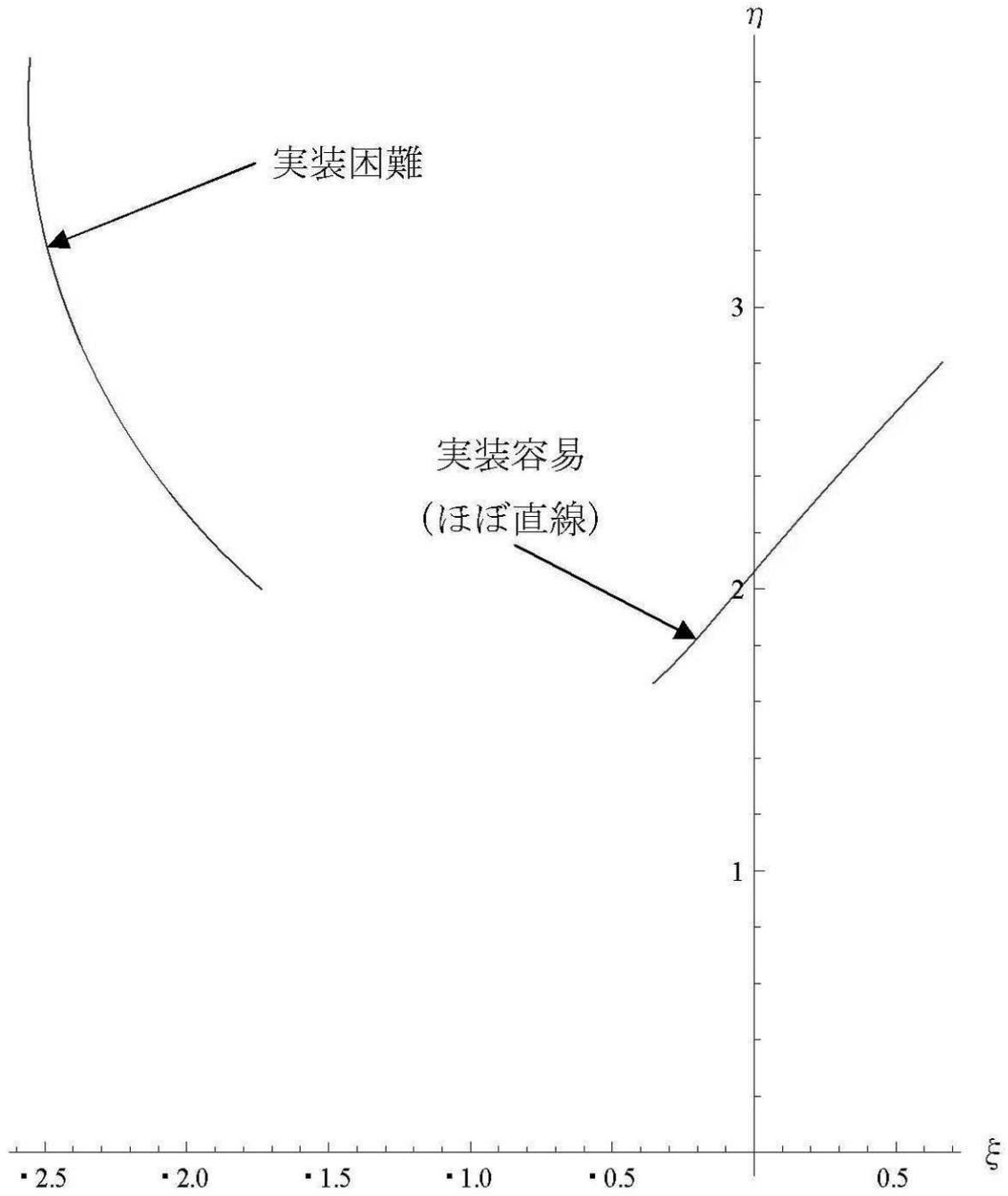
【図 9】



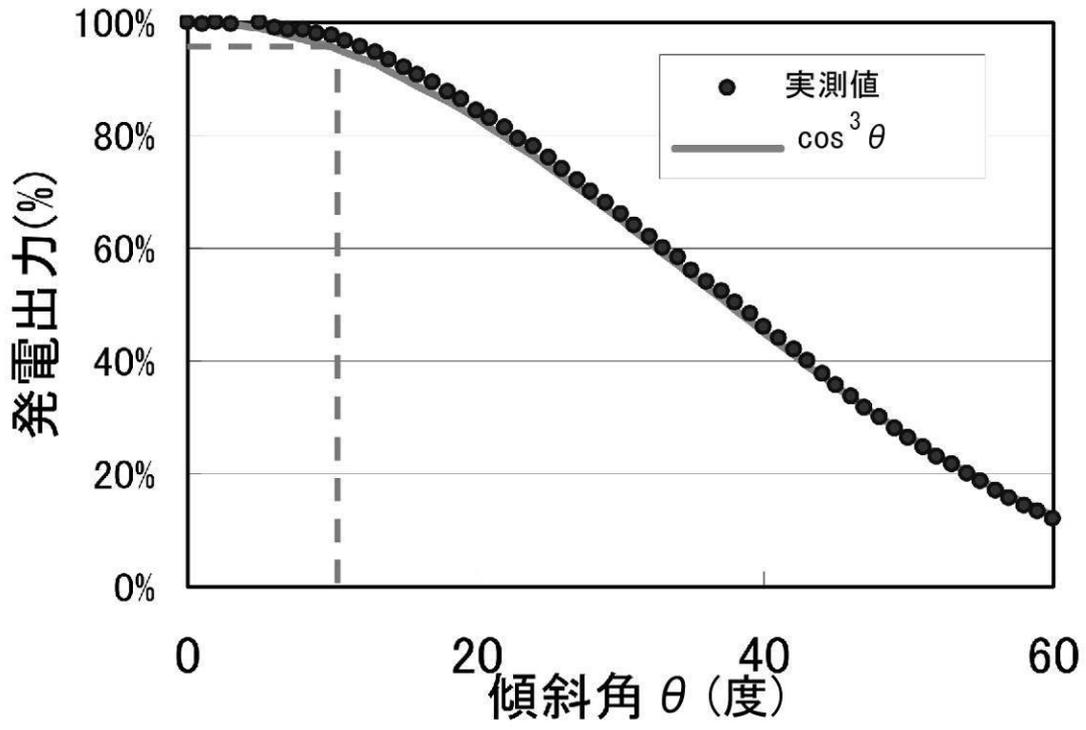
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

(72)発明者 國分 健太郎

東京都三鷹市新川6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 BB11 CC02 CC47 CC80