

明 細 書

発明の名称：

浮体式流体力利用システム及びこれを用いた風力推進船

技術分野

[0001] 本発明は、揺動する船舶や洋上構造物で利用できる浮体式流体力利用システム及びこれを用いた風力推進船に関するものである。

背景技術

[0002] 風力発電システムとして、陸上では水平軸風車が普及している。風車の先進国においては、既に陸上では安定した風力エネルギーがあつてかつ風車の設置に適した土地は足りなくなりつつあり、安定した風力が得られてかつ広大な面積がある洋上での設置が不可欠となっているが、今のところ水深10 m程度までのごく浅い海岸線近くの海域に、陸上同様に海底に固定設置される方法でしか実施されていない。

[0003] 今後洋上設置の更なる拡大が期待されているため浮体に設置する実用的な方法の開発が求められている。一般に電力は陸上で必要とされるため陸上まで電力を電線で供給する必要があるが、その伝達過程でのロスを抑えるためには陸上近くに設置する必要がある、必然的に浅い海域で設置する必要がある。次世代の洋上風車設置方法として期待される浮体式風力発電システムとしては、まずは水深20～30 m程度の浅い海域で経済的に設置できる方法が求められている。

[0004] 風車は、風力エネルギーを回転力に転換する際に、強い風力を受け、それが風車を横倒しにさせるモーメントを生むが、陸上で発達した水平軸風車は、空中の高い位置に支持した水平軸一点で風力を受けるため、鉛直の支柱の根元では巨大な転倒モーメントが発生している。水平軸風車では、風車支柱の上端近辺を中心に回転する風車に取り付けられており、かつその風車は、常時風車を風に正対させるよう向きを変え続ける必要があるため、前述の巨大なモーメントを支えるために、支柱を支えるガイワイヤーを張ることがで

きない。従って水平軸風車の支柱はできる限り強固に地面に固定する必要がある、風車の向きを変えるために支柱ごと回すことは困難であり、仮にターンテーブルを地上レベルに設けても、ターンテーブルの直径を極端に大きくしない限り、支柱の転倒モーメントを支えることはできない。このため、通常、水平軸風車のターンテーブルは支柱上端のナセルの直下に設けられている。一方、水平軸風力発電に必要な機能として、水平軸のベアリング支持システム、増速ギア、発電機、ブレーキ、ブレードピッチコントロール装置等、風車軸回転の周囲に設ける必要がある機器があるが、その回転トルクの変動とターンテーブル回転の干渉を避けるため、それらの機器はターンテーブルより風車側に設けるのが都合がよく、これら全ての主要機器のみならず潤滑油システム、制御盤等に至る周辺機器まで、空中のナセルに設けられている。その結果、水平軸風車の重心は非常に高い位置になる。また、水平軸風車を浮体に強固に取り付けた場合、支柱上端では浮体を中心とする揺れが増幅されるために、過大な横Gが発生するため、ナセルに設置する機器にはそれに耐えうる強度や潤滑システム等が必要となるという欠点がある。

[0005] 図17は、比較例1として、水平軸風車を浮体に載せた場合の傾斜と復元力の関係を模式的に示した図である。

一般に浮体が復元力を持つためには重心を浮体近辺にあるメタセンター（浮力線と浮体中心線の交点）より低い位置に持つ必要があるが、前述のような構成の水平軸風車200では、重量機器が全て空中高い位置にあるために重心Gがとても高く、復元力を持ってない。すなわち、陸上型の水平軸風車200を浮体201に固定し設置しようとする、図17に示すように、重心Gが高いために、少しでも浮体201が傾斜すると、その重力F1は浮体201に働く浮力F2よりも外側で働くため、より傾斜させようとする力が働く。加えて、図17に示すように、高い位置で受ける風力F3による巨大かつ変動する転倒モーメントを受ける。

つまり、浮体201として必要な復元力を持たない上に、風力F3による巨大かつ変動する転倒モーメントを受けるため、浮体構造物として成立しな

いという問題がある。

[0006] このような問題を解決するためには、主要機器をすべて浮体上の低い位置に設け、重心Gとともにメンテナンスの作業場所を極力下げることが必要である。

水平軸風車200の場合、先に陸上風車の例で見たように、風車支柱202を浮体201に強固に固定する、という必要性を排除できない限り、ターnte이블を風車支柱202の上端に設置する必要があり、必然的にすべての上流機器をその上のナセル203に載せることになってしまい、重心Gを下げるのは困難である。

[0007] 図18は、比較例2として、垂直軸風車を浮体に載せた場合の傾斜と復元力の関係を模式的に示した図であり、(a)は傾斜が軽微な状態、(b)は傾斜が大きくなった状態、(c)は傾斜がさらに大きくなった状態、をそれぞれ示している。

比較例1の水平軸風車200に対して、図18に示すような垂直軸風車300であれば、すべての重量機器を空中高くではなく陸上において通常基礎上に設けるのと同様に浮体301上に設けることができ、重心Gをかなり低くすることができるはずである。しかしながら、陸上の例で見るように、支柱302そのものがローターといっしょに回転する垂直軸風車300の場合、風力F3による転倒モーメントに耐えうるように支柱302を固定することは難しく、ガイワイヤー（図示省略）を四方に張って支柱302の上端を支える必要がある。これでは浮力体として必要な大きさ以上に広いデッキ面を持つ浮体構造物が必要になってしまう。また、ガイワイヤーの問題を別としても、この程度の低重心化によれば、図18(a)に示すように、風力F3等による浮体301の傾斜が小さい間は傾斜により重心Gが横に移動するよりも浮力中心Cが横に移動する移動量が大きいため復元力が働くが、さらに傾斜が進むと、図18(b)に示すように、いずれ重心Gの横移動が浮力中心Cの横移動に追いついて復元力を失い、それ以上の傾斜では、図18(c)に示すように、より傾斜させようとする力が働くようになる。つまり、

ある程度の傾斜角度を超えると復元力を失い転覆するという問題がある。これは、重心Gが浮体301上にある場合、傾斜が大きくなっていくと重心Gは横に移動して行くが、浮力中心Cは浮体より外には出られないために重心Gの横移動に追い越されるために起こる現象であり、浮体301の没水部以下に重心Gがない限り避けられない問題である。

[0008] 図19は、比較例3として、垂直軸風車を浮体に対して傾動不能に支持するとともに、水中バラストを設けた場合の傾斜と復元力の関係を模式的に示した図である。

一般的なヨットの場合、水中にバラストを設け、いくら傾斜しても復元力がある構造を実現している。このようなヨットの構造を応用して、図19に示すように、支柱403を浮体401に対して傾動不能に支持するとともに、水中にバラスト402を設けた垂直軸風車400とすることが考えられる。垂直軸風車400は、浮体401の近辺にある傾斜運動の回転中心（浮力中心C）よりも重心Gが低いために実現できているが、この形態の場合、支柱403の浮体401への取り付け部401aには過大なストレスがかかるため、それだけで支えるのは現実的ではなく、支柱403を支えるフォアステー、サイドステーと呼ばれるワイヤー（図示省略）が、陸上の垂直軸風車のガイワイヤーと同様に三方乃至四方に張られていることで初めて実現できているものである。また、この構造を洋上に係留して運営される風力発電システムにそのまま適用した場合、支柱403とともに浮体401が大きく傾斜するため、作業員にとって危険であり、浮体401の傾斜の影響を受ける係留システムの負担も、特に浅瀬では過大となる。

[0009] このような浮体の復元力不足を解決する方法として、これまでに様々な方法が検討されてきた。例えば、複数の水平軸風車を設置することにしてそれらをすべて一体の巨大な浮体に設置する方法、複数の水平軸風車を設置することにしてそれらをそれぞれ支持する浮体を剛に結合する方法（例えば特許文献1参照）、縦に長く水面下深くまで伸びる円筒形のスパーと呼ばれる浮体を利用して安定を得る方法（例えば特許文献2参照）、テンドンと呼ばれ

る金属パイプ等で浮体を海底に向かって引っ張って安定させる T L P と呼ばれる方法（例えば特許文献 3 参照）などが提案されている。

- [0010] しかし、いずれもそのシステムで風力から回収できるエネルギーの量の割に浮体構造物が大掛かりなため、建造コスト、設置コストがかかりすぎるといふ欠点があり、経済的に成り立ち難い。またいずれの方法も巨大な構造物の揺れによる喫水変化、縦長の構造物の喫水、縦に引っ張るテンドンの幾何学的可動範囲等を考えるとある程度の水深が必要なコンセプトであり、前述のように電力を必要とする陸地に近い浅瀬の設置に向かないという欠点がある。

先行技術文献

特許文献

- [0011] 特許文献 1：特開 2 0 1 0－2 1 6 2 7 3 号公報
特許文献 2：特開 2 0 0 9－2 4 8 7 9 2 号公報
特許文献 3：特開 2 0 1 0－0 3 0 3 7 9 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0012] 本発明は、上記の状況を鑑みてなされたものであり、その目的は、流体力による転倒モーメントに対応でき、浮体の傾斜及び大型化を抑制することができる浮体式流体力利用システム及びこれを用いた風力推進船を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0013] 本発明は、風または水からエネルギーを取り出すアッセンブリと、前記アッセンブリを支持する浮体と、を備える浮体式流体力利用システムであって、前記アッセンブリは、流体力を受ける受力部と、前記受力部を支持する支柱と、を有し、前記アッセンブリは、その重心が水面下に配置されているとともに、前記浮体に対して任意の方向に揺動可能に支持されていることを特徴とする。

[0014] 本発明によれば、アッセンブリは、その重心が水面下に配置されているとともに、前記浮体に対して任意の方向に揺動可能に支持されているので、アッセンブリは流体力を受けると任意の方向に傾斜するが、水面下にある重心にかかる重力が揺動軸の支持部を中心に傾斜を戻そうとする復元力を発生する。この復元力は傾斜が大きくなるに従い大きくなり、失われることはない。このため、アッセンブリ自身がアッセンブリの転倒モーメントに対抗することができる。そのため、浮体が転倒モーメントを負担する必要がなく、従ってワイヤーを設置する必要がないので、浮体を小型化することができる。また、アッセンブリは、浮体に対して揺動可能に支持されているので、アッセンブリの傾斜が浮体に伝わることがない。

なお、受力部としては、風を受けるセイル、固定翼、水平型あるいは垂直型風車、潮流力を受ける潮流力セイル、キール、水平型あるいは垂直型水車などを利用することが考えられる。

[0015] また、前記アッセンブリは、ピンジョイント、ユニバーサルジョイント、ピロボール型球面軸受及び弾性体支持機構のいずれか一つを介して、前記浮体に対して揺動可能に支持されている構成としてもよい。

[0016] このような構成によれば、揺動を許容しながら大きな重量のアッセンブリを簡便、確実に浮体に支持することができる。

[0017] また、前記アッセンブリは、前記浮体に対して前記支柱の中心軸回りに回転可能に支持されている構成としてもよい。

[0018] このような構成によれば、受力部が回転が必要なタイプの場合に、アッセンブリ全体を一体に組み上げたまま、回転を許容することができる。

[0019] また、前記流体エネルギーの少なくとも一つとして風力を利用する浮体式流体力利用システムであって、前記受力部は、空中で風力を受ける受風部を含んで構成され、前記支柱は、前記受風部を支持する上支柱と、水面下に配置されたバラストを支持する下支柱と、を備えてなる構成としてもよい。

[0020] このような構成によれば、受力部は、空中で風力を受ける受風部を含んで構成され、前記支柱は、前記受風部を支持する上支柱と、水面下に配置され

たバラストを支持する下支柱と、を備えて構成されるので、浮体を貫通するように配置した支柱で受風部とバラストを支持しながら、アッセンブリ全体を浮体に対して揺動可能かつ回転可能に支持することができる。

なお、例えば受風部が固定翼である場合、風向に合わせて受力部の向きを変える必要があるが、水中でバランスをとるバラストを円柱状あるいは球状（支柱の回転軸に対して回転対称な形状）としておけば、受力部を空中に保持する上支柱とバラストを水中に保持する下支柱を一体に構成することができる。

[0021] また、前記上支柱と前記下支柱とは、前記支柱の中心軸に関して剛な状態で、ベアリングを介して相対的に同軸回転可能に連結されている構成としてもよい。

[0022] かかる構成によれば、前記上支柱と前記下支柱とは、前記支柱の中心軸に関して剛な状態で、ベアリングを介して相対的に同軸回転可能に連結されているので、上支柱と受力部が回転していても下支柱とバラストは回転しないように構成することができる。そのため、例えば、下支柱とバラストが浮遊物を巻き込むことを防止することができる。また、例えば、水面上に固定翼を設けると共に、水面下にキールとバラストを設けている場合でも、それぞれを最適な角度に保つことができる。

[0023] また、前記受力部は、水平軸風車又は垂直軸風車を含んで構成されているのが好ましい。

[0024] かかる構成によれば、受力部を水平軸風車又は垂直軸風車で構成した場合でも、アッセンブリの重心が水面下に配置されているとともに、これらの風車を含むアッセンブリ全体が浮体に対して揺動可能に支持されているので、転倒モーメントに対抗することができるとともに、浮体の傾斜や大型化を抑制することができる。

[0025] また、前記受力部は、水平軸水車又は垂直軸水車を含んで構成され、前記水平軸水車又は前記垂直軸水車は、水面下に配置されてバラスト又はその一部として機能するように構成してもよい。

[0026] かかる構成によれば、受力部を水平軸水車又は垂直軸水車で構成した場合でも、アッセンブリの重心が水面下に配置されているとともに、これらの水車を含むアッセンブリ全体が浮体に対して揺動可能に支持されているので、転倒モーメントに対抗することができるとともに、浮体の傾斜や大型化を抑制することができる。

また、水平軸水車又は垂直軸水車が、バラスト又はその一部として機能するので、別途バラストを設ける必要がなく、構造の簡素化を図ることができる。さらには、支柱の上下に風車と水車を設ける構成とすることができる。

[0027] また、前記上支柱と前記下支柱とは、所定の相対的回転関係を保って同軸回転するように、ギアシステムを介して互いに連結されているとともに、前記浮体に対して相対回転可能かつ揺動可能に支持されている構成としてもよい。

[0028] このような構成によれば、上支柱と下支柱とがギアシステムを介して互いに連結されることにより、両者が所定の相対的回転関係を保って同軸回転するので、設計潮流速と設計風速が異なる場合に風車と水車をそれぞれの効率のよい回転数で回転させながら両方のエネルギーを取り出す構成とすることができる。例えば、受風部は垂直軸風車、バラスト部は垂直軸水車として構成し、上支柱と下支柱を、軸線は剛なままに、ベアリングと遊星ギアシステムまたは差動ギアシステムを介して連結し、下支柱と垂直軸水車が1回転する間に上支柱と受風部が複数回回転するように構成すれば、両方のエネルギーを効率よく取り出すことができる。

[0029] また、前記上支柱と前記下支柱とは、所定条件下で前記上支柱及び前記下支柱のうちの一方向の回転を他方に伝達し、他の条件下で前記上支柱及び前記下支柱のうちの一方向の回転を他方に伝達しない機構を有している構成としてもよい。

[0030] このような構成によれば、上支柱と下支柱との間に例えばラチェットギア、クラッチ、ビスカスカップリング、トルクリミッタ等を組み込むことによって、相互回転を切り離したり、回転の伝達を一方通行にしたり、過回転を

防止したり相互回転をロックしたりすることができる。

[0031] また、前記アセンブリは、前記受力部の回転から回転エネルギーを取り出す回転エネルギー取出部を備え、前記上支柱と下支柱とは、互いに同軸逆回転させるように構成され、前記回転エネルギー取出部は、前記上支柱及び下支柱から回転エネルギーを取り出す際に生じるトルクが互いに打ち消されるように配置されている構成としてもよい。

[0032] このような構成によれば、上支柱と下支柱とが、互いに同軸逆回転するように構成され、回転エネルギー取出部が、エネルギーを取り出す際に生じるトルクが互いに打ち消されるように取り付けられているので、浮体の回転や浮体の係留システムの負担を抑制することができる。

[0033] さらに詳しく説明すると、例えば、水車が上から見て例えば時計回りに回転する際そのエネルギーを浮体に取りだすと浮体をも時計まわりに回そうとするトルクが生じる。同様に、風車の垂直軸回転もそこからエネルギーを取り出す際には浮体を一緒に回転させようとするトルクが生じる。これらの場合、浮体が回転しその係留システムがひねられ、場合によっては浮体側面に巻き取られて張力が上がり、前記トルクに対抗する反トルクを発生してバランスするまで浮体の回転は止まらず、係留システムの構成要素に過大な曲げや疲労、摩耗を生じることになる。そこで、本発明のように、例えば垂直軸水車が設けられた下支柱と垂直軸風車が設けられた上支柱とが必ず逆回転するように、例えば風車及び水車の翼の進行方向を設定したり、上支柱と下支柱の間に逆回転ギアシステムを介設したりすれば、トルクはお互いに打ち消しあい、問題を解消または低減することができる。

[0034] また、前記回転エネルギー取出部は、ローターとステーターとを備える発電機であり、前記発電機は、前記上支柱及び前記下支柱のいずれか一方に前記ローターを接続し、他方に前記ステーターを接続し、前記ローターと前記ステーターの差動により発電する構成としてもよい。

[0035] このような構成によれば、回転エネルギーを電力に変換して取り出そうとする場合に、上支柱と下支柱のどちらか片方にローターを接続すると共に、

他方にステーターを接続し、差動により発電するように構成すれば、トルクを相殺させるとともに相対的に高い回転数となって、例えば発電機の極数を減らしてより小型の発電機を使用することができる。

[0036] また、前記受力部は、揚力型の垂直軸風車と抗力型の垂直軸水車とを含んで構成され、前記垂直軸風車は、前記垂直軸水車の回転によって起動する構成としてもよい。

[0037] このような構成によれば、一般に自己起動性に乏しい揚力型の垂直軸風車を、比較的起動性のよい抗力型の垂直軸水車によって起動させることができる。また、垂直軸水車は水面下に設けられているので、垂直軸風車にあたる風流が乱れることがなく、風車の回転効率の低下を抑制することができる。

[0038] さらに詳しく説明すると、一般に垂直軸風車は、ダリウス型に代表される揚力型の風車の効率がよく、またどの風向からの風でも何ら調整する必要がないという利点があるが、初動時に回転を与えないと自己起動はできないという欠点がある。これを解決するものとして、風上と風下等の位置によって迎角を変えるリンク機構を加えて自己起動を可能にしたジャイロミル型風車もあるが、風向や、回転速度と風速との関係によつての調整を必要とし、かつ機構が手の届かない位置に搭載されるため、洋上ではメンテナンスが難しいという欠点がある。ダリウス型を主ローターとした上で、効率は低い但起動特性のよいサボニウス型等の風車を組み合わせてダリウス型風車の内側に設置し、自己起動力不足を補う方式も実用化されているが、サボニウス型風車がダリウス型風車にあたる風流を乱して効率を下げるという欠点がある。本発明では、例えば風車にダリウス型を使用し、水面下の潮流力にサボニウス型を使用してダリウス型風車を起動することができる。このように構成すれば、サボニウス型水車がダリウス型風車にあたる流体流を乱すことはない。

[0039] また、前記受力部は、揚力型の垂直軸風車と抗力型の垂直軸水車とを含んで構成され、前記垂直軸水車は、増速装置を介して前記垂直軸風車に連結され、前記増速装置は、垂直軸風車の増速後の回転速度が前記垂直軸水車の回

転速度以下の場合には前記垂直軸風車の回転を前記垂直軸風車に伝達し、前記垂直軸風車の増速後の回転速度が前記垂直軸水車の回転速度よりも大きい場合には前記垂直軸風車の回転を前記垂直軸水車に伝達しない構成としてもよい。

[0040] このような構成によれば、垂直軸風車の増速後の回転速度が垂直軸水車の回転速度以下の場合には垂直軸水車の回転が垂直軸風車に伝達されるので、揚力型の垂直軸風車の起動性を高めることができる。また、垂直軸風車の増速後の回転速度が垂直軸水車の回転速度よりも大きい場合には垂直軸風車の回転が垂直軸水車に伝達されないので、垂直軸水車が抵抗になることがない。

[0041] さらに詳しく説明すると、一般的に潮流の設計速度は風の設計風速より格段に遅く、更にサボニウス型ローターはローターの最大径部の周速が流体速度と同程度で効率がよいのに対しダリウス型ローターは周速が風速の4～6倍程度で効率がよいため、サボニウス型水車の軸回転は増速してダリウス型風車の軸回転に伝えるのがよく、また風速が上がった場合には風車軸の回転は水車がブレーキにならないよう回転の伝達を切り離すか一方通行にするのがよい。なお、潮流速は一般にかなり遅いが、水は空気の800倍近い比重を持つため、空中に設置される起動用サボニウス風車と同程度の大きさの起動用サボニウス水車を水中に設置すれば空中のダリウス型風車を起動することができる。このような構成は、潮流は流速が遅いものの比較的多くの時間流れており、風速は吹けば速いが止むことが多く、風向が一定ではない等の特徴を持つ日本近海含む海域では特に有用である。

[0042] また、前記アセンブリは、前記アセンブリの自重と釣り合う程度の浮力を有しているとともに、前記浮体に対して相対的に上下動可能に支持されており、前記アセンブリと前記浮体との相対的上下動からエネルギーを取り出す上下動エネルギー取出部を備える構成としてもよい。

[0043] このような構成によれば、アセンブリは、アセンブリの自重と釣り合う程度の浮力を有しているとともに、浮体に対して相対的に上下動可能に支

持されているので、両者に作用する浮力が波により変動すると、それに対するそれぞれの浮体の追従性の差によって相対的に上下動する。そして、上下動エネルギー取出部によって、浮体とアセンブリの相対的上下動からエネルギー（波浪エネルギー）が取り出されることになる。

なお、アセンブリは比較的重量が大きく、また水面貫通部が比較的細いために喫水変動による浮力変化が比較的少なく、長い周期で上下に揺れる一方、浮体の方は比較的重量が軽く、かつ水面貫通部が大きいいため波浪によく追従するので、波浪中で相対的上下動が生じる。

[0044] また、前記上下動エネルギー取出部は、トランスレータースターとを備えるリニア発電機であり、前記リニア発電機は、前記アセンブリ及び前記浮体のいずれか一方に前記トランスレータースターを接続し、他方に前記スターを接続し、前記トランスレータースターと前記スターの差動により発電する構成としてもよい。

[0045] このような構成によれば、上下動エネルギー取出部は、トランスレータースターとスターとを備えるリニア発電機であり、リニア発電機は、アセンブリ及び浮体のいずれか一方にトランスレータースターを接続し、他方にスターを接続しているので、アセンブリと浮体の相対的上下動から直接発電することができる。

[0046] また、上下動エネルギー取出部は、ボールねじ、ラックアンドピニオン、コンロッドとクランク機構及びジャイロのいずれか一つからなる回転力変換機構を備えてなる構成としてもよい。

[0047] このような構成によれば、ボールねじ、ラックアンドピニオン、コンロッドとクランク機構、またはジャイロなどの回転力変換機構によって、上下動が回転に変換されるので、上下動エネルギーをより効率のよい回転型の発電機での発電に利用することができる。

[0048] また、前記受力部は、揚力型の垂直軸型風車及び揚力型の垂直軸水車の少なくともいずれか一つを備え、前記回転力変換機構によって得られた回転力によって起動する構成としてもよい。

[0049] このような構成によれば、回転力変換機構によって得られた回転力をダリウス型風車やダリウス型水車に伝えて、これらの起動に利用することができ、かつ風力エネルギーや潮流力エネルギーをひとまとめにして回転型発電機で発電することができる。

[0050] また、本発明は、前記した浮体式流体力利用システムを用いた風力推進船であって、前記浮体は、船体であり、前記受力部は、空中で風力を受ける受風部を含んで構成され、前記支柱は、前記受風部を支持する上支柱と、水面下に配置されたバラストを支持する下支柱と、を備え、水面下に配置され、前記受風部に受けた風力によって略水平軸回りに回転するプロペラを備えることを特徴とする。

[0051] このような構成によれば、受風部に受けた風力によって略水平軸回りに回転するプロペラによって、船体を推進することができる。このとき、受風部と支柱とからなるアセンブリは船体に対して揺動可能に構成されており、かつ、アセンブリの重心は水面下に配置されているので、十分な推力が得られるほど大きな受力部を持つ風車を設置しても、十分な復元力を持つ安全な風力推進船とすることができるとともに、船体の傾斜と大型化を抑制することができる。

なお、アセンブリは、航行中は、アセンブリの揺動方向を拘束する拘束装置によって、船体のロール方向のみに揺動可能なように拘束されているのが好ましい。

[0052] また、前記風力推進船のプロペラは、前記バラストに設置されている構成としてもよい。

[0053] このような構成によれば、例えば、バラスト内を下まで貫通するシャフトに垂直軸風車の回転を増速して伝え、バラスト内に設けた傘歯車により水平軸回転に変え、そこに設けたプロペラを回転し推進するように構成することができる。

[0054] また、前記バラストまたは前記下支柱は、揚力型のキールとして機能するように構成するのがよい。

[0055] このような構成によれば、前記バラストまたは前記下支柱は、揚力型のキールとして機能するので、下支柱の回転によってキールの迎角を調整することができる。

[0056] さらに詳しく説明すると、大きな風力エネルギーを受けて推進する船は、横風を受けて進むときには風に押されて風下側に滑りながら進むことになる。これはヨットでも同じであり、高性能ヨットの場合、横滑り速度があると前進速度との合成速度が水中のキールに迎角を作るために風上側へヨットを押す揚力がキールに生じることでバランスを保っているが、ある程度の横滑りがあって初めて釣り合う構成となっているため、横滑り分船体抵抗が増えることを避けられない。本発明では、回転可能に支持されたバラストキールシステムによって、横滑りが生じていなくても風上に押す揚力をキールに発生させられるようにキールに迎角をつけることができるため、船体は進行方向を向いたまま直進でき、船体抵抗を減じることができる。

[0057] また、前記船体の前後に配置された2つの前記アセンブリを備え、前記2つのキールは、横風を受けての直進時には同じ向きに迎角を持つように回転し、旋回時には前端の前記キールと後端の前記キールが互いに逆向きの迎角を持つように回転する構成としてもよい。

[0058] このような構成によれば、2つのキールが、横風を受けての直進時には同じ向きに迎角を持つように回転し、旋回時には前端の前記キールと後端の前記キールが互いに逆向きの迎角を持つように回転するので、ラダーを廃して抵抗の少ない高性能な風力推進船とすることができる。

発明の効果

[0059] 以上に説明したように、本発明の浮体式流体力利用システムによれば、水中に重心を持つアセンブリを浮体に揺動可能に支持するので、巨大かつ変動する流体力による転倒モーメントに対応し、空中の受力部が大きな力を受けて傾斜しても浮体は傾斜せず、常に浮体の復元力を保ち、かつ点検などのための作業員のアクセスを安全に実現することができる効果がある。

[0060] また、空中や水中の受力部が過大な流体速度にさらされた場合には受力部

を自然に傾斜させて流体力を逃がすことができるが、この場合でも浮体は傾斜せず復元力を保つ効果がある。

[0061] また、本発明によれば、ワイヤーを設置する必要がないので浮体の大型化を抑制することができる。また、水平軸風車であれ垂直軸風車であれ、ギヤボックス、ターンテーブル、発電機などの主要機器のほとんどを浮体上に設置することができ、点検、メンテナンスを容易にし、更に設置時や運転期間中に必要な高所クレーン作業を極力減らすことができる。

[0062] また、係留されていない状態でも自立安定があるシステムが実現されるため、岸壁において組み立てを完成した後に曳航することができ、設置コストを大幅に削減することができる。さらにこの特性を利用して、推進力の主力として足る程の浮力を受ける受力設備を設けて横風を受けてもロールせず、横滑りもせず直進できる高効率かつ大型の風力推進船を実現できる効果がある。

図面の簡単な説明

[0063] [図1]第1実施形態に係る浮体式流体力利用システムについて、垂直軸風車を揺動可能に浮体に支持した場合の傾斜と復元力の関係を模式的に示した図である。

[図2]第1実施形態のアッセンブリと浮体の連結部を拡大して示した断面図であり、(a)は正立時、(b)は傾斜時、の状態をそれぞれ示している。

[図3]第1実施形態のアッセンブリを揺動可能に支持する支持構造を示す図であり、(a)は断面図、(b)は斜視図、(c)は分解斜視図、である。

[図4]第2実施形態に係る浮体式流体力利用システムについて、水平軸風車を揺動可能に浮体に支持した場合を模式的に示した図であり、(a)は正立時、(b)は傾斜時、の状態をそれぞれ示している。

[図5]第2実施形態に係る浮体式流体力利用システムの平面図であり、(a)は回転前、(b)は回転後、の状態をそれぞれ示している。

[図6]第2実施形態のアッセンブリと浮体の連結部を拡大して示した断面図であり、(a)は正立時、(b)は傾斜時、の状態をそれぞれ示している。

[図7]第3実施形態に係る浮体式流体力利用システムについて、垂直軸風車と垂直軸水車とを揺動可能に浮体に支持した場合を模式的に示した図であり、

(a)は正立時の側面図、(b)は正立時の平面図、(c)は水車の断面図、である。

[図8]第3実施形態のアッセンブリと浮体の連結部を拡大して示した断面図であり、(a)は正立時、(b)は傾斜時、の状態をそれぞれ示している。

[図9]第3実施形態に係る浮体式流体力利用システムについて、強風対策時の状態を模式的に示した側面図である。

[図10]第4実施形態に係る浮体式流体力利用システムについて、上下動により起動する垂直型水車を揺動可能に浮体に支持した場合を模式的に示した側面図であり、(a)は正立時、(b)は傾斜時、をそれぞれ示している。

[図11]第4実施形態のアッセンブリと浮体の連結部を拡大して示した断面図であり、(a)は正立時、(b)は傾斜時、の状態をそれぞれ示している。

[図12]第5実施形態に係る風力推進船を模式的に示した図であり、(a)は側面図、(b)は正立時の断面図、(c)は傾斜時の断面図、をそれぞれ示している。

[図13]第6実施形態に係る風力推進船について、2つの垂直軸風車を搭載した場合を模式的に示した図であり、(a)は側面図、(b)は平面図、をそれぞれ示している。

[図14]第6実施形態に係る風力推進船の断面図であり、(a)は成立時、(b)は傾斜時、の状態をそれぞれ示している。

[図15]第6実施形態のアッセンブリと船体の連結部を拡大して示した断面図である。

[図16]第6実施形態に係る風力推進船の底面図であり、(a)は横風を受けての直進時、(b)は旋回時、のキールの状態をそれぞれ示している。

[図17]比較例1として、水平軸風車を浮体に載せた場合の傾斜と復元力の関係を模式的に示した図である。

[図18]比較例2として、垂直軸風車を浮体に載せた場合の傾斜と復元力の関

係を模式的に示した図であり、（a）は傾斜が軽微な状態、（b）は傾斜が大きくなった状態、（c）は傾斜がさらに大きくなった状態、をそれぞれ示している。

[図19]比較例3として、垂直軸風車を浮体に対して傾動不能に支持するとともに、水中バラストを設けた場合の傾斜と復元力の関係を模式的に示した図である。

発明を実施するための形態

[0064] <第1実施形態>

第1実施形態に係る浮体式流体力利用システム1は、図1に示すように、空中に配置されて風を受ける受風部10とそれを支える支柱11からなるアセンブリ12と、アセンブリを揺動可能に支持する浮体13と、を有している。アセンブリ12は、アセンブリ12の重心15を水面下に配置するためのバラスト14を支柱11の下端部に備えている。なお、浮体13は、係留索13aによって図示しないアンカーに連結されている。

[0065] アセンブリ12を浮体13に揺動可能に支持する支持構造としては、ピンジョイント、ユニバーサルジョイント、球面支持、弾性体支持等が考えられる。以下では、弾性体支持構造を採用した場合を例にとって、図2、図3を参照しながら説明する。

図2に示すように、支柱11は、受風部10を支持する上支柱11aと、バラスト14を支持する下支柱11bと、その中間に設けられた球形部17と、を有している。支柱11は、浮体13の略中央に設けられた開口部13bに、浮体13を貫通するように設置されている。開口部13bは、下方に向かうほど内径が大きくなるテーパ形状に形成されている。開口部13bの上部には、支柱11を支持するための支持架台20が架設されている。

[0066] 図2、図3に示すように、球形部17は、ドーナツ状の弾性ゴム支承18の上に載せられ加硫接着されているとともに、球形部17の上にも同様にドーナツ形状の弾性ゴム支承19が載せられ加硫接着されている。更に両弾性ゴム支承18、19の外側端部は、支持架台20の球形内面20aに加硫接

着されている。球形内面 20 a は、球形部 17 と共通の中心をもつ同心球状に形成されている。

[0067] 弾性ゴム支承 18, 19 は、例えばビルの免震支承などに用いられる部材であり、ゴム板と金属板とを図 3 (a) の断面図に模式的に示す方向（球形部 17 の半径方向）に積層して構成されている。弾性ゴム支承 18, 19 は、剪断力に対しては柔軟に変形するが、圧縮に対しては高剛性であるという特性があるため、球形部 17 は、上下動、左右動等についてはドーナツ状ゴムの圧縮特性により強固に拘束されるが、球形部 17 と球形内面 20 a の中心を回転中心とする回転に関してはドーナツ状ゴムの剪断変形特性により柔軟に支持される。このため、図 2 (b) に示すように、アッセンブリ 12 を浮体 13 に対して揺動可能に支持することができる。

[0068] 図 2 に示すように、支持架台 20 は、アッセンブリ 12 が設計揺動範囲を超えて揺動しようとしたときに柔軟に受け止めるため、コイルばね 21 を介して浮体 13 に連結されている。なお、コイルばね 21 は必要に応じて設ければよく、省略してもよい。

[0069] <第 2 実施形態>

第 2 実施形態に係る浮体式流体力利用システム 1 A は、受力部として水平軸風車 30 を採用している点、及び、上支柱 11 a と下支柱 11 b とが相対回転可能に連結されている点、が前記した第 1 実施形態と主に異なっている。

以下の説明においては、第 1 実施形態と異なる点について主に説明し、共通する構成については同一の符号を付して説明を省略する。

[0070] 図 4 (a) に示すように、浮体式流体力利用システム 1 A のアッセンブリ 12 は、上支柱 11 a の上端に水平軸風車 30 を備えている。また、上支柱 11 a は、支柱 11 の中心軸に関して剛な状態で、下支柱 11 b に対して回転可能に連結されている。下支柱 11 b の下端部には、アッセンブリ 12 の重心を水面下に配置するためのバラスト 14 が設けられている。アッセンブリ 12 は、浮体 13 に対して揺動可能に支持されている。

- [0071] 浮体式流体力利用システム 1 A のアッセンブリ 1 2 は、図 4 (b) に示すように、水平軸風車 3 0 が過大な風速にさらされた場合、浮体 1 3 は水平に安定したままで風車を支える上支柱 1 1 a を含むアッセンブリ 1 2 を傾斜させ、傾斜により風を受け流す効果と受風部を風速が低い高度に下げられる効果により、水平軸風車 3 0 が受ける風力を大幅に減じることができる。これにより強風により水平軸風車 3 0 が損傷する可能性を減らすことができ、従ってピッチコントロールシステムやブレーキシステムは必ずしも必要ではなくなる効果がある。
- [0072] また、浮体式流体力利用システム 1 A のアッセンブリ 1 2 には、それ自体に復元力があるため、上支柱 1 1 a を強固に浮体 1 3 に支持する必要がないため、図 5 (a) (b) に示すように、水平軸風車 3 0 を上支柱 1 1 a ごと浮体 1 3 に対して回転させるように支持することができる。そのため、水平軸風車で必ず必要な、風向に風車を向けるためのターンテーブル 3 1 を、空中のナセル 3 2 の直下ではなく、図 6 (a) (b) に示すように、浮体 1 3 のデッキ上近辺（下支柱 1 1 b の上端部）に設けることができる。
- [0073] なお、風車支柱を回転させる場合、通常であれば、支柱下端の固定が難しくなるため、陸上の垂直軸型ダリウス型風車に見るように、ワイヤーを四方に張って支柱を保持することが必要になるが、第 2 実施形態に係る浮体式流体力利用システムでは、支柱 1 1 の転倒モーメントは浮体 1 3 を貫通して設けたバラスト 1 4 による復元力で直接支えるため、浮体 1 3 から転倒モーメントの反力をとる必要を廃したことにより実現できているものである。
- [0074] また、従来、ターンテーブル 3 1 より風車のブレード側に取り付けることが望ましいためにナセル 3 2 上に設置する必要のあった増速ギアや発電機等（図示省略）も、ターンテーブル 3 1 の直上、つまり浮体 1 3 のデッキ上近辺の機械室 3 3（図 6 (a) 参照）に設けることが可能になる。この場合、空中の水平軸の回転は、ナセル 3 2 の内部に設けた傘歯車により垂直軸の回転に転換し、上支柱 1 1 a の内部で伝達軸を回転させて機械室 3 3 内の増速ギア、発電機に伝達できる。これらの構成により、典型的な水平軸風車では

空中のナセル 3 2 に設けられているピッチコントロールシステム、増速ギア、その潤滑油システム、発電機、それに付随する制御盤、ブレーキシステム、ターンテーブルの全てを浮体 1 3 の近傍のデッキ上に設けるかまたは廃することができるので、大幅な重心の改善効果、メンテナンス可能な海象条件の緩和、メンテナンスに伴うコストや危険の低減、機械類にかかる横 G などの設計条件の緩和と横 G 等に伴う故障の防止などの効果がある。

[0075] 図 6 (a) (b) に示すように、上支柱 1 1 a の下端部には、機械室 3 3 と、挿入軸部 3 4 と、が設けられている。また、下支柱 1 1 b の上端部には、ターンテーブル 3 1 が設けられている。ターンテーブル 3 1 の中心には軸孔 3 5 が設けられており、軸孔 3 5 の上端と下端には、挿入軸部 3 4 を回転可能に支持するベアリング 3 5 a, 3 5 a が配置されている。また、下支柱 1 1 b の上側には球形部 1 7 が一体に設けられている。これにより、アッセンブリ 1 2 は、支柱 1 1 全体が浮体 1 3 に対して揺動可能に支持されると共に、上支柱 1 1 a 及び水平軸風車 3 0 が浮体 1 3 に対して回転可能に支持される。

[0076] <第 3 実施形態>

第 3 実施形態に係る浮体式流体力利用システム 1 B は、(1) 受力部としてダリウス型風車 4 0 を採用している点、(2) バラスト 1 4 としてサボニウス型水車 5 0 を採用している点、及び(3) 浮体 1 3 に対して下支柱 1 1 b も相対回転可能に構成されている点、の 3 点が前記した第 1 及び第 2 実施形態と主に異なっている。

以下の説明においては、第 1 及び第 2 実施形態と異なる点について主に説明し、共通する構成については同一の符号を付して説明を省略する。

[0077] 図 7 (a) (b) に示すように、第 3 実施形態に係る浮体式流体力利用システム 1 B は、受力部として揚力型の垂直軸風車の一種であるダリウス型風車 4 0 を備えている。ダリウス型風車 4 0 は、垂直軸となる上支柱 1 1 a と、上支柱 1 1 a の周囲に等間隔で 3 つ設けられたブレード 4 1 と、を有している。ブレード 4 1 の上端部 4 1 a 及び下端部 4 1 b は、上支柱 1 1 a の上

端部に設けられた上ブラケット 4 2 及び上支柱 1 1 a の下端側に設けられた下ブラケット 4 3 に上下方向に回転可能にそれぞれ支持されている。ブレード 4 1 の中間部 4 1 c は、ヒンジ構造に構成されている。また、下ブラケット 4 3 は、上支柱 1 1 a に対してスライド可能に構成されている。ブレード 4 1 は、下ブラケット 4 3 を上下にスライドさせることによりブレード 4 1 の中間部 4 1 c を屈曲させて、その回転半径 r を変更可能に構成されている。

[0078] サボニウス型水車 5 0 は、バラスト 1 4 としての機能を兼ねるものであり、その上端部を下支柱 1 1 b に支持されている。サボニウス型水車 5 0 は、図 7 (c) に示すように、円筒体を軸方向に反割りした形状のブレード 5 1, 5 1 を備えている。2つのブレード 5 1, 5 1 は、分割面に沿って互いにずらした形状に結合されている。サボニウス型水車 5 0 は、ブレード 5 1, 5 1 に囲まれた空間 5 1 a を潮流が通過することによって回転する。第 3 実施形態に係るサボニウス型水車 5 0 は、このようなブレード 5 1, 5 1 を上下に 2 段重ねて、互いに 90 度ずつ位相をずらして配置した構造となっている。

[0079] サボニウス型水車 5 0 は、支柱 1 1 の揺動中心からサボニウス型水車 5 0 の重心までの距離とサボニウス型水車 5 0 の水中重量との積が、支柱 1 1 の揺動中心からダリウス型風車 4 0 の重心までの距離とダリウス型風車 4 0 の空中重量との積よりも大きくなるように、例えば配置、寸法、質量などが設定されている。これにより、サボニウス型水車 5 0 がバラスト 1 4 としても機能し、アセンブリ 1 2 の重心が水面下に配置され、復元力を得ることができる。

[0080] 次に、第 3 実施形態におけるアセンブリ 1 2 の支持構造について、図 8 (a) (b) を参照して説明する。

図 8 (a) に示すように、第 3 実施形態においては、上支柱 1 1 a と、下支柱 1 1 b と、球形部 1 7 と、が相対回転可能に連結されている。

上支柱 1 1 a は、その下端部において連結部材 1 1 c の上部とテーパシ

ヤンクで一体に結合されている。連結部材 11c の下端側は、下支柱 11b の上端部に挿入されて回転可能に連結されている。また、連結部材 11c の上端側は、上に向かうほど径が小さくなるテーパ形状に形成されており、上支柱 11a の下端部に形成された逆テーパ形状の孔部 11a1 に挿入されている。連結部材 11c の上端部 11c1 にはねじ溝が形成されており、ナット N を締め付けることで連結部材 11c を介して下支柱 11b が上支柱 11a に引き付けられるようになっていて、一体に結合されている。連結部材 11c と下支柱 11b との間の適所にはベアリング B が設置されており、互いに相対回転可能になっている。また、下支柱 11b の上端部のさらに外側には、球形部 17 が外嵌されている。球形部 17 と下支柱 11b の間にはベアリング B が設けられており、互いに相対回転可能になっている。球形部 17 は、弾性ゴム支承 18, 19 を介して支持架台 20 に揺動可能に支持されている。これにより、上支柱 11a と下支柱 11b と球形部 17 とが、軸方向に剛な状態で強固に連結されたまま、互いに相対回転可能になるとともに、図 8 (b) に示すように、浮体 13 に対して揺動可能になっている。

[0081] 下支柱 11b の上端部には、上部が開口する円筒形状の円筒部 11d が形成されている。そして、この円筒部 11d と連結部材 11c の間（すなわち上支柱 11a と下支柱 11b の間）には、ギアシステム 60 と発電装置 70 とが設置されている。

[0082] ギアシステム 60 は、例えば遊星ギアシステムで構成されており、上支柱 11a と下支柱 11b とを同軸逆回転させる機能を有している。ギアシステム 60 は、連結部材 11c の周囲に刻設されたサンギア 61 と、円筒部 11d に後記するラチェット機構 64 を介して連結されたリングギア 62 と、サンギア 61 とリングギア 62 の間に配置された複数のプラネタリギア 63 と、で構成されている。プラネタリギア 63 は、図示しないキャリアによって球形部 17 に対して移動不能に接続されている。これにより、例えば、潮流によってサボニウス型水車 50 及び下支柱 11b が上方からみて時計回りに回転を開始すると、ギアシステム 60 によって、上支柱 11a 及びダリウス

型風車40が上方から見て反時計回りに回転を開始する（起動する）ことになる。これにより、ダリウス型風車40の起動性を向上させることができる。

[0083] また、ギアシステム60は、下支柱11bの回転を増速して上支柱11aに伝達する増速装置としての機能も有している。例えば、遊星ギアシステムのギア比を調節することにより、サボニウス型水車50（すなわちリングギア62）が1回転したときに、ダリウス型風車40（すなわちサンギア61）が複数回（例えば8回）回転するように設定することができる。これにより、風車の設計回転速度と水車の設計回転速度を、風速と流速に合わせて、それぞれ適切に設定することができる。

[0084] 一例として、起動時の設計潮流速を0.3 m毎秒、設計風速を3 m毎秒として説明する。ダリウス型風車40が自己回転を始めるためには、ダリウス型風車40の周速を風速の3倍程度以上、つまり9 m毎秒程度以上になるように起動してやる必要がある。ダリウス型風車40の回転半径 r が20 mであれば、 4.3 rpm で回転させる必要がある。一方、サボニウス型水車50は潮流と同程度の周速でしか回らない。サボニウス型水車50の半径が5 mであれば、 0.6 rpm 程度であるから、風車軸である上支柱11aと水車軸である下支柱11bの間に設けた遊星ギアシステムにより、サボニウス型水車50の回転速度を8倍に増速してダリウス型風車40に伝達する。このケースでは、サボニウス型水車50は、それを空中に設ける場合と比べて流体速度が10分の1になっているため、仮に流体の比重が同じであれば発生トルクはその二乗で100分の1、そこから更に増速により8分の1になっているためダリウス型風車40の起動用のトルクは800分の1となるが、実際には流体の比重が800倍になっているため、陸上型と同等の大きさのサボニウス型水車50でダリウス型風車40を起動することができる。

[0085] ラチェット機構64は、所定条件の下で上支柱11aの回転を下支柱11bに伝達しない機能を有している。具体的には、サボニウス型水車50が停止状態から回転を開始すると、サボニウス型水車50の回転は、ラチェット

機構 6 4 を介してリングギア 6 2 に伝達され、リングギア 6 2 の回転に伴ってサンギア 6 1 に連結されたダリウス型風車 4 0 がサボニウス型水車 5 0 と逆方向に 8 倍の速さで回転を開始する。そして、ダリウス型風車 4 0 が、風力によってサボニウス型水車 5 0 の 8 倍以上の速度（すなわちサボニウス型水車 5 0 の増速後の回転速度以上）で回転するようになると、ラチェット機構 6 4 に対してリングギア 6 2 が空回りする。これにより、ダリウス型風車 4 0 の回転がサボニウス型水車 5 0 に伝達されなくなる。よって、サボニウス型水車 5 0 が、ダリウス型風車 4 0 の負荷（ブレーキ）になることがない。

[0086] 円筒部 1 1 d の内部であってギアシステム 6 0 の下方には、ローター 7 1 とステーター 7 2 とを有する発電装置 7 0 が設置されている。ローター 7 1 は、連結部材 1 1 c に固定されており、ステーター 7 2 は円筒部 1 1 d に固定されている。これにより、発電装置 7 0 は、ローター 7 1 とステーター 7 2 とが逆回転するので、両者の差速によって効率よく発電することができる。

このとき、ローター 7 1 とステーター 7 2 との間で反トルクが作用するが、ローター 7 1 及びステーター 7 2 は、逆回転する上支柱 1 1 a 及び下支柱 1 1 b にそれぞれ固定されているので、反トルクが打ち消される。そのため、浮体 1 3 の回転を防止するための係留設備の簡略化、小型化を図ることができる。

[0087] なお、第 3 実施形態では、円筒部 1 1 d と球形部 1 7 との間にもラチェット 7 5 が設置されている。これにより、例えば潮流が止んでしまっている場合でも、下支柱 1 1 b が上支柱 1 1 a と共回りすることなく、発電することができる。

[0088] 次に、第 3 実施形態におけるダリウス型風車 4 0 のリトラクタ機構について、図 9 を参照して説明する。

図 9 に示すように、ダリウス型風車 4 0 は、上支柱 1 1 a に対して下ブラケット 4 3 を下方にスライドさせることにより、ブレード 4 1 を直線状に変

形させることができる。これにより、ダリウス型風車40の回転半径 r を略0にして、強風によるブレード41の破損を防止するとともに、受風面積を低減して転倒モーメントを低減することができる。

[0089] <第4実施形態>

第4実施形態に係る浮体式流体力利用システム1Cは、アセンブリ80が単独で浮力を有している点、アセンブリ80と浮体13の波浪による上下動の差によって発電する点、が前記した第1乃至第3実施形態と主に異なっている。

[0090] 図10に示すように、第4実施形態に係る浮体式流体力利用システム1Cは、浮力を有するアセンブリ80と、アセンブリ80を揺動可能かつ回転可能かつ上下動可能に支持する浮体13と、を備えている。

アセンブリ80は、例えばダリウス型の垂直軸水車81と、回転軸となる支柱82と、を主に有している。アセンブリ80は、例えば支柱82を中空部材で構成することにより、アセンブリ80自身が水面に浮ぶことができるだけの浮力を有している。アセンブリ80は、上下に細長い形状に形成されているので、波浪による水面の上下動の影響を受け難い。一方、浮体13は、アセンブリ80に比較して波浪による水面の上下動の影響を受けやすい。そのため、アセンブリ80と浮体13とは、波浪に対する応答速度の差によって相対的に上下動する。

[0091] アセンブリ80は、浮体13に揺動可能に支持されているので、大きな潮流力が作用した場合にも、図10(b)に示すように、アセンブリ80を傾けて潮流力を逃がすことができる。また、垂直軸水車81がバラストとして機能するので、アセンブリ80を垂直な状態に回復することができる。

さらに、アセンブリ80は、浮体13に対して回転可能に支持されているので、アセンブリ80の回転によって後記する発電装置70(図11参照)を回転させることにより、潮流エネルギーを取り出すことができる。

また、アセンブリ80は、浮体に対して上下動可能に支持されていると

ともに、上下運動を回転力に変換する回転力変換機構 88 を備えている。これにより、アッセンブリ 80 の相対的上下運動を回転運動に変換して、ダリウス型の垂直軸水車 81 の起動力に利用することができる。

[0092] 次に、第 4 実施形態に係る浮体式流体力利用システム 1 C の支持構造について図 11 を参照して説明する。

図 11 (a) に示すように、アッセンブリ 80 の球形部 17 は、前記した他の実施形態と同様に、弾性ゴム支承 18, 19 を介して支持架台 20 に揺動可能に支持されている。球形部 17 の中心部には、垂直軸水車 81 の回転軸となる支柱 82 の上端部 83 が上下に貫通して配置されている。

[0093] 支柱 82 の上端部 83 にはリニア軸受であるボールスプラインブッシュ 86 が嵌装されている。ボールスプラインブッシュ 86 は、支柱 82 の上端部 83 に対して、上下方向（軸方向）に相対的に移動可能に設置されている。一方、ボールスプラインブッシュ 86 は、球形部 17 に上下動不能に保持されている。さらに、ボールスプラインブッシュ 86 は、支柱 82 の上端部 83 に刻設されたスプライン溝 86a に係合することで、支柱 82 とともに回転するようになっている。ボールスプラインブッシュ 86 には発電装置 70 のローター 71 が固定されており、球形部 17 の内周面にはステーター 72 が固定されている。これにより、ダリウス型の垂直軸水車 81 が回転すると、ボールスプラインブッシュ 86 と一緒にローター 71 が回転する。ステーター 72 は、球形部 17 に固定されて回転しないので、ローター 71 とステーター 72 の相対回転によって発電が行なわれる。なお、ステーター 72 に生じる反トルクは、浮体 13 の係留システムによって負担することになる。

[0094] 支柱 82 の上端部 83 のうち球形部 17 から突出した部分には、ねじ溝 83a が刻設されているとともに、ナット 84 が嵌装されており、いわゆるボールねじ機構を形成している。一方、球形部 17 の上部には、円筒状のナット保持部 17a が突出形成されており、ラチェット機構 85 を介してナット 84 を一方向に回転可能かつ上下移動不能に保持している。これらのねじ溝 83a、ナット 84、ラチェット機構 85 及びナット保持部 17a が、回転

力変換機構 88 を構成している。この回転力変換機構 88 によって、垂直軸水車 81 の起動が行なわれる。

[0095] 具体的には、例えば、上から見てナット 84 が反時計回りに回転できる（ラチェットに対してフリーになる）が、時計回りには回転できないようにラチェット機構 85 を設けるとともに、ダリウス型の垂直軸水車 81 を反時計回りに回転するように設ける。また、ねじ溝 83 a は、ナット 84 に対して支柱 82 を上から見て反時計回りに回転させたときに、ナット 84 に対して支柱 82 が下向きに移動するように刻設されている。

[0096] そして、垂直軸水車 81 が停止した状態で、アセンブリ 80 がナット 84（浮体 13）に対して上向きに移動すると、ねじ溝 83 a の向きによって、ナット 84 は反時計回りに回転する。このとき、ラチェット機構 85 は空転する。

[0097] 一方、垂直軸水車 81 が停止した状態で、アセンブリ 80 がナット 84 に対して下向きに移動すると、ねじ溝 83 a の向きによって、ナット 84 は時計回りに回転しようとするが、ラチェット機構 85 によって拘束されるので回転できない。そのため、垂直軸水車 81 の方が反時計回りに回転して下向きに移動する。これにより、垂直軸水車 81 が起動する。

[0098] 垂直軸水車 81 が起動して反時計回りに回転を開始すると、垂直軸水車 81 は、ナット 84 に対して下向きに移動しようとする。しかし、垂直軸水車 81 は浮力を有しているので、ある程度下向きに移動した後はそれ以上下方向に移動できない状態が生じる。そうすると、ナット 84 は、垂直軸水車 81 との相対的位置関係が変わらないように、垂直軸水車 81 と同じく反時計方向に回転し、このときラチェット機構 85 は空転する。これにより、垂直軸水車 81 が回転し、発電装置 70 によって発電が行なわれることになる。

[0099] なお、図示は省略するが、ボールスプラインブッシュ 86 と支柱 82 との間にリニア発電機（図示省略）からなる補助発電装置を設置してもよい。リニア発電機は、例えば、トランスレータをボールスプラインブッシュ 86 に取り付けるとともに、ステーターを支柱 82 の上端部 83 に取り付け。こ

のようにすれば、ボールスプラインブッシュ 8 6 と支柱 8 2 の相対的上下動を利用して、発電を行なうことができる。

[0100] また、第 4 実施形態では、回転力変換機構としてねじ溝 8 3 a とナット 8 4 とから成るボールねじ機構を採用したが、ボールねじ機構に替えて、ラックアンドピニオン機構やコンロッドとクランク機構やジャイロ機構など採用してもよい。

[0101] 次に、浮体式流体力利用システムを利用した第 5 実施形態に係る風力推進船 1 0 0 について、図 1 2 を参照して説明する。

[0102] 図 1 2 に示すように、第 5 実施形態に係る風力推進船 1 0 0 は、いわゆるヨットであり、浮体となる船体 1 0 1 と、アセンブリとなる固定翼 1 0 2 と、を備えている。固定翼 1 0 2 は、船体 1 0 1 を貫通して配置された支柱 1 0 3 を有している。支柱 1 0 3 は、船体 1 0 1 に揺動可能かつ回転可能に支持されている。また、支柱 1 0 3 は、船体 1 0 1 の支持機構 1 0 1 a よりも上側の上支柱 1 0 3 a と、当該支持機構よりも下側の下支柱 1 0 3 b と、を備えている。下支柱 1 0 3 b は、前後方向に幅広に形成されてキールとして機能する部位である。下支柱 1 0 3 b の下端部には、バラスト 1 0 4 が設置されている。このバラスト 1 0 4 によって、固定翼 1 0 2 の重心は水面下に配置されている。船体 1 0 1 の内部には、支柱 1 0 3 の前後方向への揺動を拘束するダンパー装置 1 0 5 が設置されている。ダンパー装置 1 0 5 の基端は船体 1 0 1 に連結されており、ダンパー装置 1 0 5 の先端は、下支柱 1 0 3 b のキール上部に連結されている。

[0103] なお、支柱 1 0 3 を揺動可能かつ回転可能に支持する支持機構 1 0 1 a は、とくに限定されるものではないが、例えば、第 2 乃至第 4 実施形態において説明した支持機構を適宜採用することができる。

[0104] 風力推進船 1 0 0 は、横風を受けて進むときには横風による横滑りを防止するよう、下支柱 1 0 3 b のキールを回転させて仰角をつけ、船体 1 0 1 は進行方向に向けたまま航行できる。また、風力推進船 1 0 0 は、風力に応じて固定翼 1 0 2 が大きな力を受けて傾斜しても船体 1 0 1 はロールせず、下

支柱１０３ｂとバラスト１０４とが傾斜して復元力を発生する。これにより船体１０１が傾いて居住性が犠牲になったり、船体抵抗が増えたり、抵抗中心が横方向にずれて当て舵が必要になり更に抵抗が増えたりするのを防止することができ、効率のよいヨットを実現できる。

[0105] なお、上支柱１０３ａを回転させる場合、支柱下端の固定が難しくなるため、通常なら従来のヨットに見るようなフォアステーやサイドステー、陸上の垂直軸型ダリウス型風車に見るようなワイヤーが必要になるが、風力推進船１００では上支柱１０３ａの転倒モーメントは船体１０１を貫通して設けた下支柱１０３ｂとバラスト１０４による復元力で直接支えるため、船体１０１からモーメントを支える必要がなく、省略可能となっている。

[0106] 次に、第６実施形態に係る風力推進船１１０について、図１３乃至図１６を参照して説明する。第６実施形態に係る風力推進船１１０は、受風部がダリウス型風車４０で構成されている点、及び、ダリウス型風車４０の回転によって回転するプロペラ１１６を備える点、が前記した第５実施形態に係る風力推進船１００と主に異なっている。

[0107] 図１３（ａ）（ｂ）に示すように、風力推進船１１０は、船体１１１の前後に２つのアッセンブリ１１２、１１２を備えている。各アッセンブリ１１２は、支持機構１１１ａを介して、船体１１１に対して揺動可能かつ回転可能に支持されている。各アッセンブリ１１２は、受力部を支持する支柱１１３と、受力部としてダリウス型風車４０と、を主に備えている。ダリウス型風車４０の構造は、第３実施形態の同様であるので、詳細な説明は省略する。

[0108] 支柱１１３は、上支柱１１３ａと下支柱１１３ｂとを備えている。上支柱１１３ａは、ダリウス型風車４０の回転軸として機能する部位である。下支柱１１３ｂは、前後方向に幅広に形成されており、キールとして機能する部位である。下支柱１１３ｂの下端部にはバラスト１１５が設置されている。バラスト１１５は、ダリウス型風車４０の回転に連動して回転するプロペラ１１６を有している。支柱１１３は、拘束装置１１７によって、ロール方向

のみに揺動するようになっている。拘束装置 117 は例えば油圧ダンパーなどで構成されている。

[0109] 図 14 (a) (b) に示すように、アッセンブリ 112 は、船体 111 に対して揺動可能に構成されている。風力推進船 110 は、風力に応じてアッセンブリ 112 が大きな力を受けて傾斜しても船体 111 はロールせず、下支柱 113 b とバラスト 115 とが傾斜して復元力を発生する。これにより船体 111 が傾いて居住性が犠牲になったり、船体抵抗が増えたり、抵抗中心が横方向にずれて当て舵が必要になり更に抵抗が増えたりするのを防止することができ、効率のよい風力推進船 110 を実現できる。

[0110] 図 15 に示すように、支持機構 111 a は、下支柱 113 b の上端部に形成された球形部 113 c と、球形部 113 c を揺動可能に支持する弾性ゴム支承 18, 19 と、弾性ゴム支承 18, 19 を支持する支持架台 20 と、を有している。

[0111] 上支柱 113 a の下端部には、下向きに開口する円筒部 113 d が形成されている。円筒部 113 d は、球形部 113 c に回転可能に保持されている。円筒部 113 d の内部には、増速装置 120 が設置されている。増速装置 120 は、リングギア 121 と、プラネタリギア 122 と、サンギア 123 と、を有している。リングギア 121 は、ラチェット 124 を介して円筒部 113 d に接続されている。プラネタリギア 122 は、図示しないキャリアによって球形部 113 c に対して移動不能に接続されている。サンギア 123 は、後記する回転軸 131 の外周面に刻設されている。これにより、上支柱 113 a が回転すると、所定の増速比で回転軸 131 が回転することになる。

[0112] 上支柱 113 a の下端部には、回転軸 131 が回転可能に吊り下げ支持されている。回転軸 131 は、球形部 113 c 及び下支柱 113 b を貫通してバラスト 115 まで到達している。回転軸 131 の下端部には、傘歯車 132 が設けられている。傘歯車 132 は、プロペラ 116 の水平軸 116 a の前端に設けられた 2 つの傘歯車 116 b に係合している。これにより、回転

軸 1 3 1 の回転が水平軸 1 1 6 a の水平軸回転に変換され、プロペラ 1 1 6 の回転により推進力が発生する。

[0113] 球形部 1 1 3 c の内部であって増速装置 1 2 0 の下方には、発電装置 7 0 が設置されている。発電装置 7 0 のローター 7 1 は、回転軸 1 3 1 の外周面に固定され、発電装置 7 0 のステーター 7 2 は、球形部 1 1 3 c に固定されている。回転軸 1 3 1 の回転に伴ってローター 7 1 が回転することにより、発電装置 7 0 で発電が行なわれるようになっており、停泊中には拘束装置 1 1 7 (図 1 3 参照) を解放することでアセンブリ 1 1 2 にロール、ピッチ方向 2 軸の揺動を許容し、ダリウス型風車 4 0 で受けた風により発電する。

なお、発電装置 7 0 は、航行中には電動機として風力による回転力を補うことができるように構成されている。

[0114] 風力推進船 1 1 0 は、横風を受けて直進する場合には、図 1 6 (a) に示すように、キールとして機能する下支柱 1 1 3 b を平行に傾ける。これにより、下支柱 1 1 3 b によって構成されるキールに仰角をつけて横滑りを防止する揚力を発生させることができる。

また、風力推進船 1 1 0 は、旋回する場合には、図 1 6 (b) に示すように、キールとして機能する下支柱 1 1 3 b を互いに逆向きに傾ける。これにより、旋回半径を小さくすることができる。

[0115] 以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

[0116] 例えば、第 3 実施形態に係る浮体式流体力利用システム 1 B の支持機構に、第 4 実施形態の上下動機構を加えるようにしてもよい。このようにすれば、浮体 1 3 に対するアセンブリ 1 2 の上下動によって浮体式流体力利用システム 1 B のダリウス型風車 4 0 を起動することができる。同様に、第 6 実施形態に係る風力推進船 1 1 0 の支持機構 1 1 1 a に、第 4 実施形態の上下動機構を加えるようにしてもよい。

[0117] また、第 3 実施形態では、図 8 (a) (b) に示すように、上支柱 1 1 a

と下支柱１１ｂとの間にギアシステム６０とラチェット機構６４と、を設置したが、下支柱１１ｂの回転の増速が不要な場合には、ギアシステム６０を省略して、上支柱１１ａと下支柱１１ｂとの間にラチェット機構６４だけを配置してもよい。このような構成によれば、回転の伝達を一方通行にしたり、過回転を防止することができる。

[0118] また、第３実施形態では、図８（ａ）（ｂ）に示すように、上支柱１１ａと下支柱１１ｂとの間にギアシステム６０を設けることで、上支柱１１ａと下支柱１１ｂとを同軸逆回転するように構成したが、水車により風車を起動する必要がない場合には、風車及び水車のブレードの向きを互いに逆回転するように設定すれば、ギアシステム６０を省略することができる。

[0119] また、第６実施形態に係る風力推進船１１０では、キールとして機能する下支柱１１３ｂとバラスト１１５とが船体１１１に対して一体的に回転する構成としたが、本発明はこれに限定されるものではなく、キールとなる下支柱１１３ｂのみが回転するように構成してもよい。

[0120] なお、本発明の参考例として、アセンブリが浮体に対して揺動しない場合について説明する。

例えば、本発明の第３実施形態では、図７に示すように、上支柱１１ａに揚力型の垂直軸風車であるダリウス型風車４０を設けるとともに、下支柱１１ｂに抗力型の垂直軸水車であるサボニウス型水車５０を設け、さらに、図８に示すように、浮体１３に対して支柱１１を揺動可能に支持する構成としたが、例えば、サボニウス型水車５０が十分に大きい場合は、浮体１３に対して支柱１１を揺動不能に支持する構成としてもよい。つまり、例えば水深が大きい海域などでは、サボニウス型水車５０を十分に大きくすることが容易であるので、ダリウス型風車４０が風力を受けても、その転倒モーメントに十分に対抗することができるため、過大な風力や潮流力を受け流すために過大な風力や潮流力を受けると傾斜するような重量設定等にする必要がなければ、必ずしも支柱１１を浮体１３に揺動可能に支持する必要はない。この場合、支持架台２０に対して支柱１１を回転可能に取り付ければ足りるので

、球形部 17 や弾性ゴム支承 18, 19 を省略して支持機構を簡素化することができる。

また、第 4 実施形態は、水車のみを備える構成であるので、過大な潮流力を受け流すために過大な潮流力を受けると傾斜するような重量設定等にする必要がなければ、必ずしも支柱 11 を浮体 13 に揺動可能に支持する必要はない。その場合、第 4 実施形態の支持架台 20 に支柱 11 を回転可能に連結するとともに、球形部 17 や弾性ゴム支承 18, 19 を省略する構成としてもよい。

符号の説明

[0121]	1	浮体式流体力利用システム
	10	受風部
	11	支柱
	12	アッセンブリ
	13	浮体
	14	バラスト
	15	重心

請求の範囲

- [請求項1] 風または水からエネルギーを取り出すアッセンブリと、前記アッセンブリを支持する浮体と、を備える浮体式流体力利用システムであって、
- 前記アッセンブリは、流体力を受ける受力部と、前記受力部を支持する支柱と、を有し、
- 前記アッセンブリは、その重心が水面下に配置されているとともに、前記浮体に対して任意の方向に揺動可能に支持されていることを特徴とする浮体式流体利用システム。
- [請求項2] 前記アッセンブリは、ピンジョイント、ユニバーサルジョイント、ピロボール型球面軸受及び弾性体支持機構のいずれか一つを介して、前記浮体に対して揺動可能に支持されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の浮体式流体力利用システム。
- [請求項3] 前記アッセンブリは、前記浮体に対して前記支柱の中心軸回りに回転可能に支持されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の浮体式流体力利用システム。
- [請求項4] 前記流体エネルギーの少なくとも一つとして風力を利用する請求の範囲第3項に記載の浮体式流体力利用システムであって、
- 前記受力部は、空中で風力を受ける受風部を含んで構成され、
- 前記支柱は、前記受風部を支持する上支柱と、水面下に配置されたバラストを支持する下支柱と、を備えてなることを特徴とする浮体式流体力利用システム。
- [請求項5] 前記上支柱と前記下支柱とは、前記支柱の中心軸に関して剛な状態で、ベアリングを介して相対的に同軸回転可能に連結されていることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の浮体式流体力利用システム。
- [請求項6] 前記受力部は、水平軸風車又は垂直軸風車を含んで構成されていることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の浮体式流体力利用システム。

- [請求項7] 前記受力部は、水平軸水車又は垂直軸水車を含んで構成され、
前記水平軸水車又は前記垂直軸水車は、水面下に配置されてバラスト又はその一部として機能することを特徴とする請求の範囲第4項に記載の浮体式流体力利用システム。
- [請求項8] 前記上支柱と前記下支柱とは、所定の相対的回転関係を保って同軸回転するように、ギアシステムを介して互いに連結されているとともに、前記浮体に対して相対回転可能かつ揺動可能に支持されていることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の浮体式流体力利用システム。
- [請求項9] 前記上支柱と前記下支柱とは、所定条件下で前記上支柱及び前記下支柱のうちの一方の回転を他方に伝達し、他の条件下で前記上支柱及び前記下支柱のうちの一方の回転を他方に伝達しない機構を有していることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の浮体式流体力利用システム。
- [請求項10] 前記アセンブリは、前記受力部の回転から回転エネルギーを取り出す回転エネルギー取出部を備え、
前記上支柱と下支柱は互いに同軸逆回転させるように構成され、
前記回転エネルギー取出部は、前記上支柱及び下支柱から回転エネルギーを取り出す際に生じるトルクが互いに打ち消されるように配置されていることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の浮体式流体力利用システム。
- [請求項11] 前記回転エネルギー取出部は、ローターとステーターとを備える発電機であり、
前記発電機は、前記上支柱及び前記下支柱のいずれか一方に前記ローターを接続し、他方に前記ステーターを接続し、前記ローターと前記ステーターの差動により発電することを特徴とする請求の範囲第10項に記載の浮体式流体力利用システム。
- [請求項12] 前記受力部は、揚力型の垂直軸風車と抗力型の垂直軸水車とを含ん

で構成され、

前記垂直軸風車は、前記垂直軸水車の回転によって起動することを特徴とする請求の範囲第4項に記載の浮体式流体力利用システム。

[請求項13] 前記受力部は、揚力型の垂直軸風車と抗力型の垂直軸水車とを含んで構成され、

前記垂直軸水車は、増速装置を介して前記垂直軸風車に連結され、

前記増速装置は、垂直軸風車の増速後の回転速度が前記垂直軸水車の回転速度以下の場合には前記垂直軸風車の回転を前記垂直軸風車に伝達し、前記垂直軸風車の増速後の回転速度が前記垂直軸水車の回転速度よりも大きい場合には前記垂直軸風車の回転を前記垂直軸水車に伝達しない、

ことを特徴とする請求の範囲第12項に記載の浮体式流体力利用システム。

[請求項14] 前記アセンブリは、前記アセンブリの自重と釣り合う程度の浮力を有しているとともに、前記浮体に対して相対的に上下動可能に支持されており、

前記アセンブリと前記浮体との相対的上下動からエネルギーを取り出す上下動エネルギー取出部を備える、

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の浮体式流体力利用システム。

[請求項15] 前記上下動エネルギー取出部は、トランスレータースターとを備えるリニア発電機であり、

前記リニア発電機は、前記アセンブリ及び前記浮体のいずれか一方に前記トランスレータースターを接続し、他方に前記スターを接続し、前記トランスレータースターと前記スターの差動により発電することを特徴とする請求の範囲第14項に記載の浮体式流体力利用システム。

[請求項16] 上下動エネルギー取出部は、ボールねじ、ラックアンドピニオン、

コンロッドとクランク機構及びジャイロのいずれか一つからなる回転力変換機構を備えてなることを特徴とする請求の範囲第14項に記載の浮体式流体力利用システム。

[請求項17] 前記受力部は、揚力型の垂直軸風車及び揚力型の垂直軸水車の少なくともいずれか一つを備え、前記回転力変換機構によって得られた回転力によって起動することを特徴とする請求の範囲第16項に記載の浮体式流体力利用システム。

[請求項18] 請求の範囲第1項から請求の範囲第17項のいずれか1項に記載の浮体式流体力利用システムを用いた風力推進船であって、

前記浮体は、船体であり、前記受力部は、空中で風力を受ける受風部を含んで構成され、前記支柱は、前記受風部を支持する上支柱と、水面下に配置されたバラストを支持する下支柱と、を備え、

水面下に配置され、前記受風部に受けた風力によって略水平軸回りに回転するプロペラを備え、その回転のためのエネルギーの少なくとも一部として風力を利用することを特徴とする風力推進船。

[請求項19] 前記プロペラは、前記バラストに設置されていることを特徴とする請求の範囲第18項に記載の風力推進船。

[請求項20] 前記バラスト又は前記下支柱は、揚力型のキールとして機能することを特徴とする請求の範囲第18項に記載の風力推進船。

[請求項21] 前記船体の前後に配置された2つの前記アセンブリを備え、
前記2つのキールは、横風を受けての直進時には同じ向きに迎角を持つように回転し、旋回時には前端の前記キールと後端の前記キールが互いに逆向きの迎角を持つように回転することを特徴とする請求の範囲第20項に記載の風力推進船。